

Comunicaciones Móviles

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

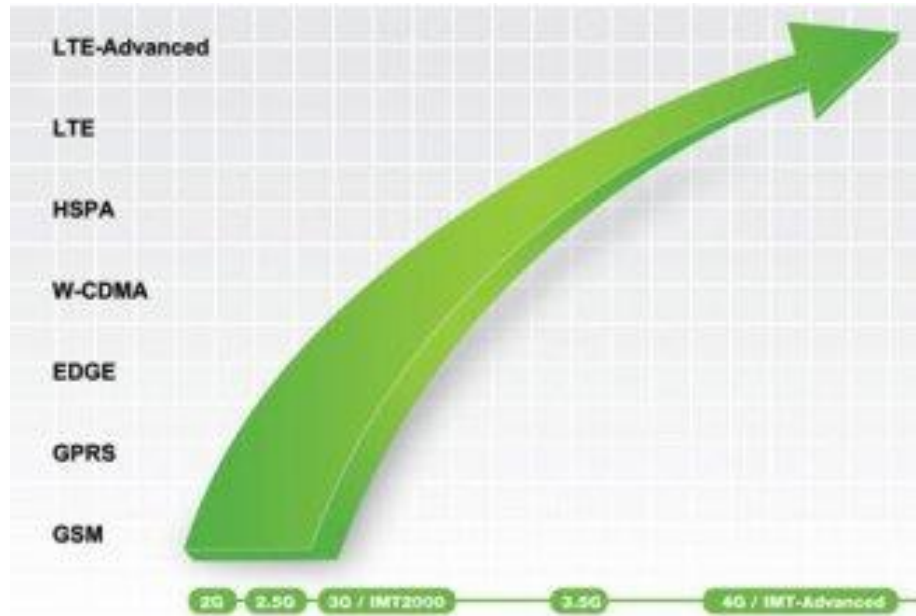
Area de Teoría de la Señal y Comunicaciones
<http://csm.unavarra.es>

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)

Visión General de Sistemas Móviles



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



Consideraciones Operación

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

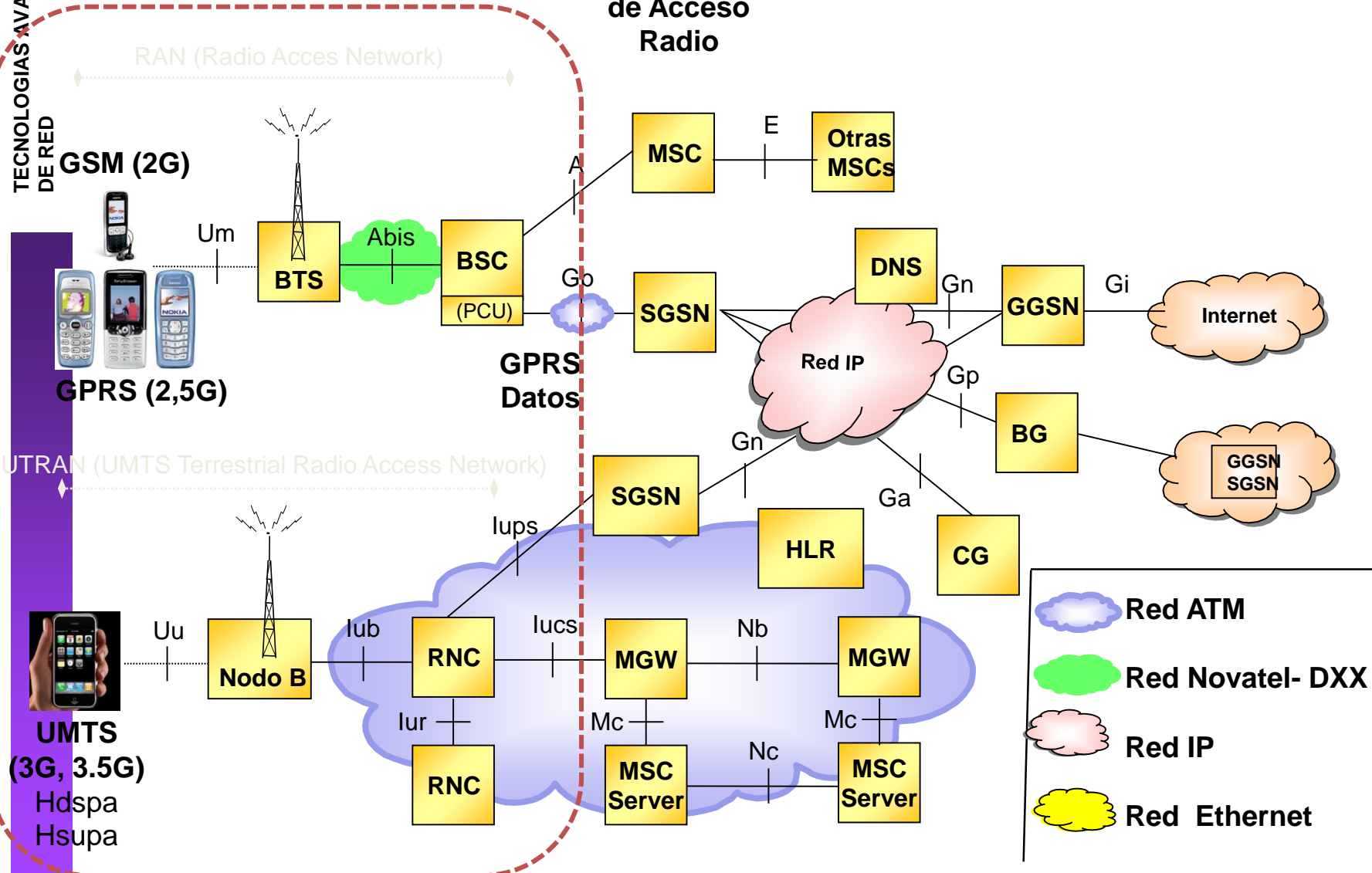
Datos de Usuario

Datos de Control

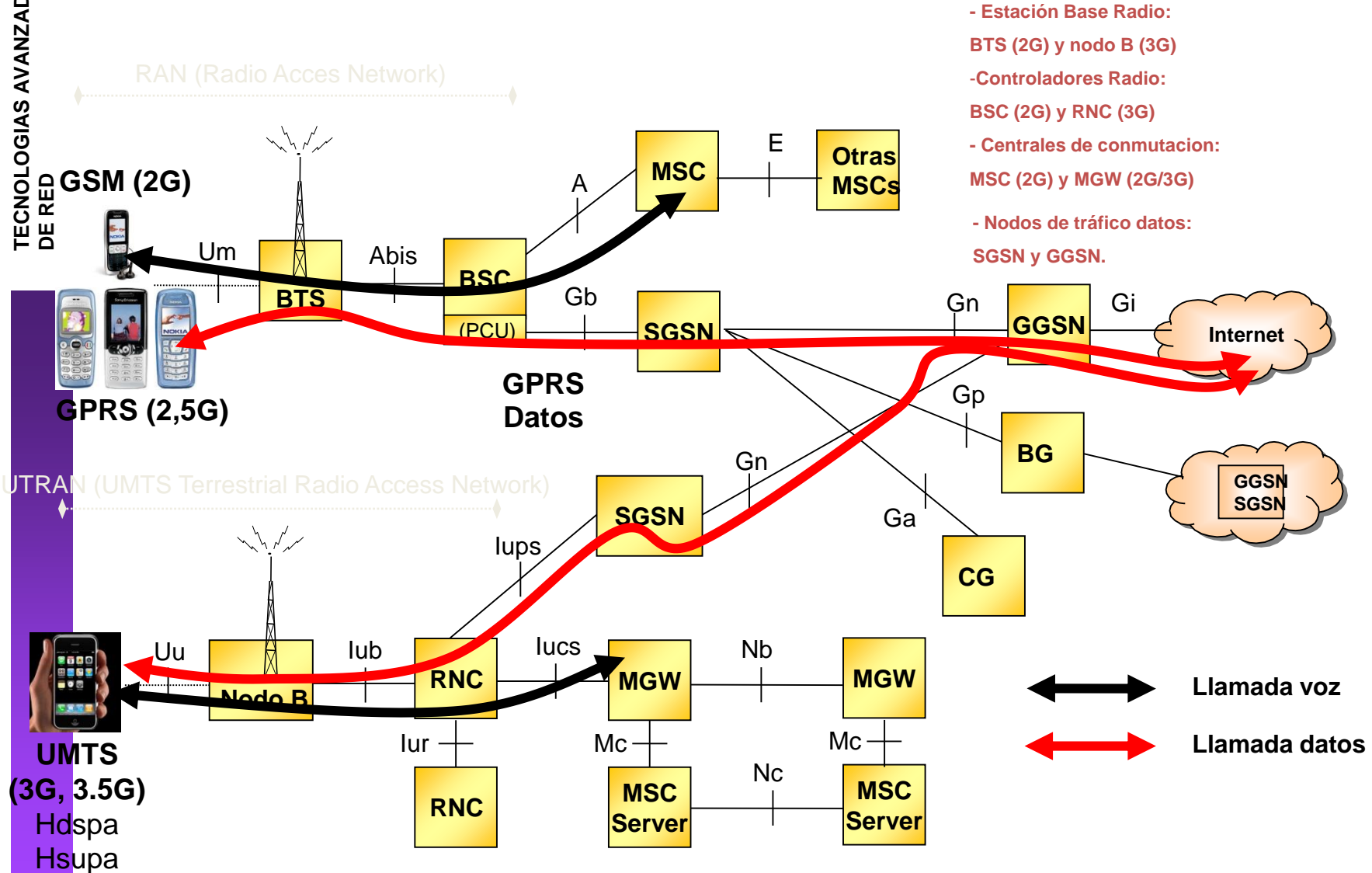
- Debido a las necesidades de alta movilidad y la hostilidad de canal radioeléctrico, se requiere la implementación de **nuevas funcionalidades**, tanto a nivel de capa física como en niveles superiores.
- La interpretación y análisis de dichos parámetros, en diferentes niveles de red ayuda a **mejorar 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**).

TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE RED

Movilidad: Red de Acceso Radio



TECNOLOGÍAS AVANZADAS
 DE RED



- Estación Base Radio: BTS (2G) y nodo B (3G)
- Controladores Radio: BSC (2G) y RNC (3G)
- Centrales de conmutación: MSC (2G) y MGW (2G/3G)
- Nodos de tráfico datos: SGSN y GGSN.

↔ Llamada voz
 ↔ Llamada datos

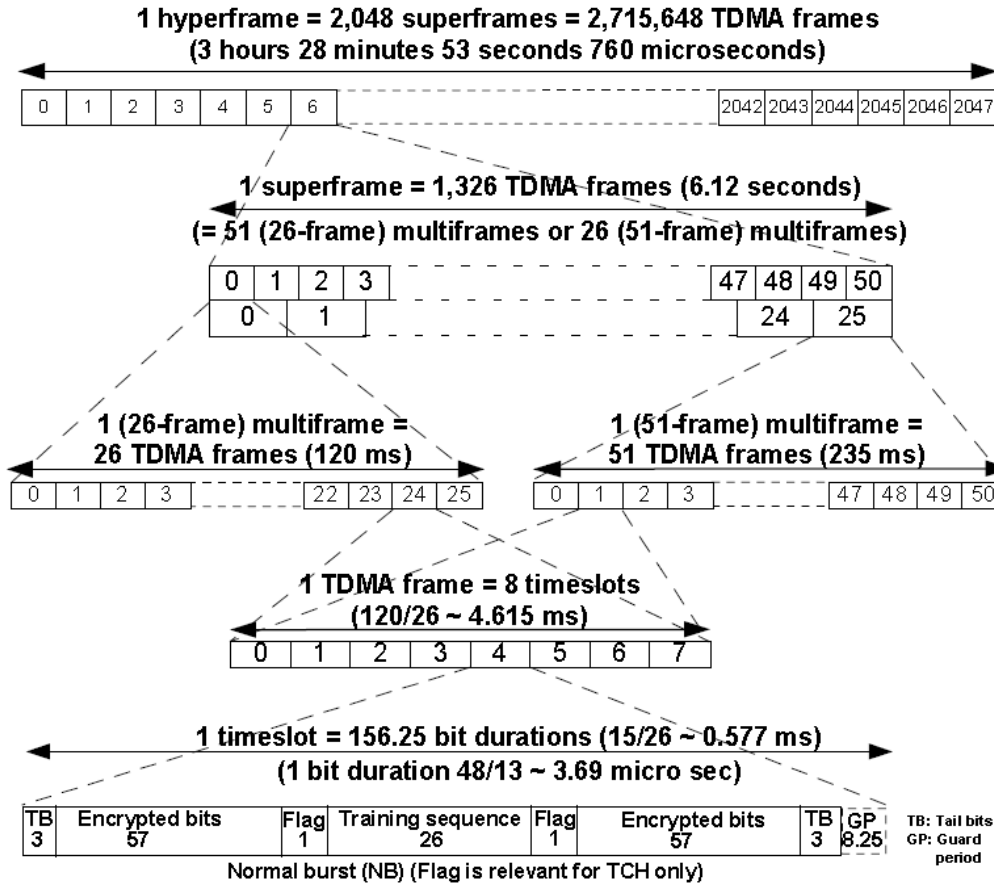
GSM

- 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)

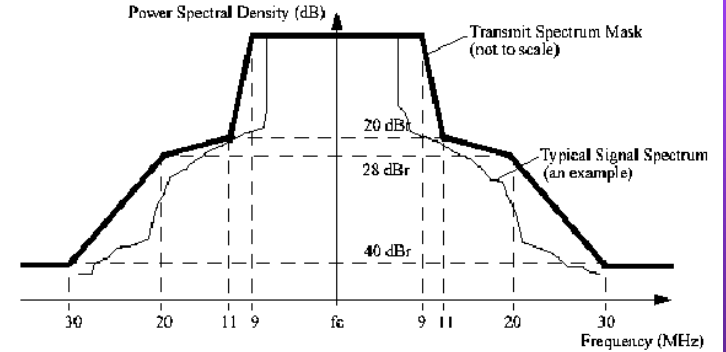
GSM

- 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

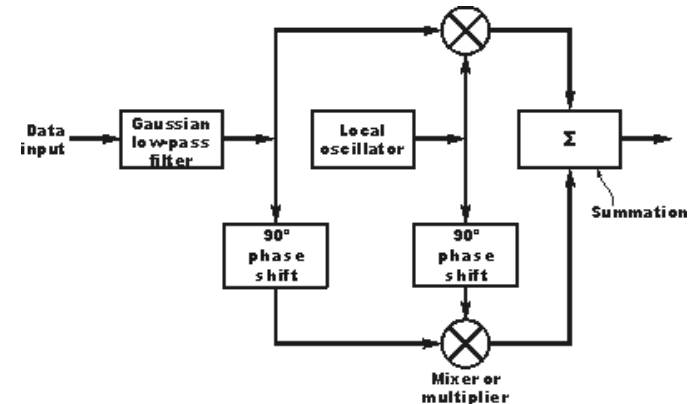
GSM



Estructura de Tramas



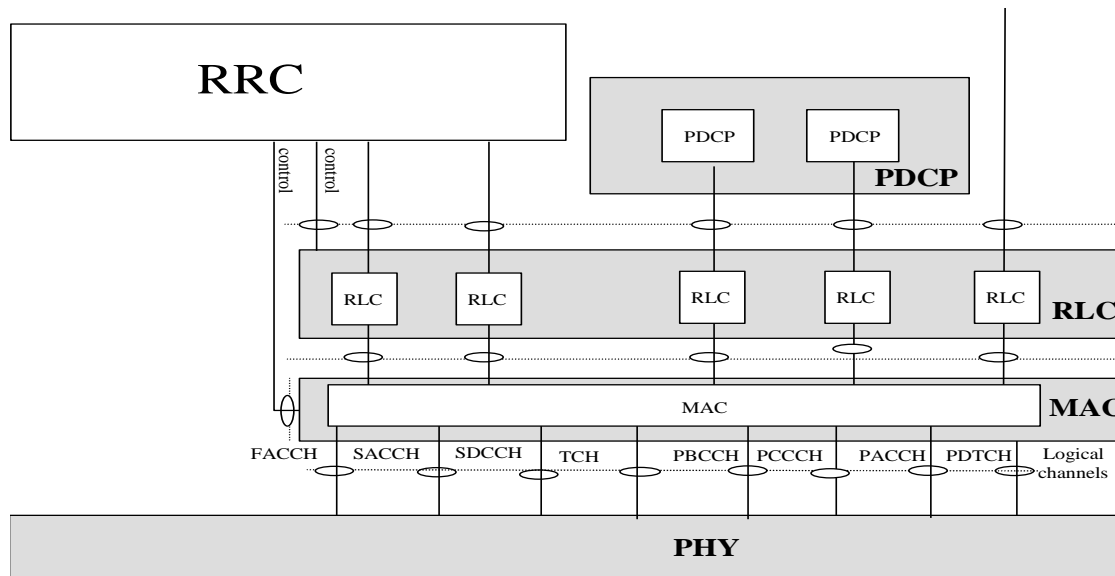
Máscara Espectral Modulador GMSK



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/IF, FACCH/IH	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

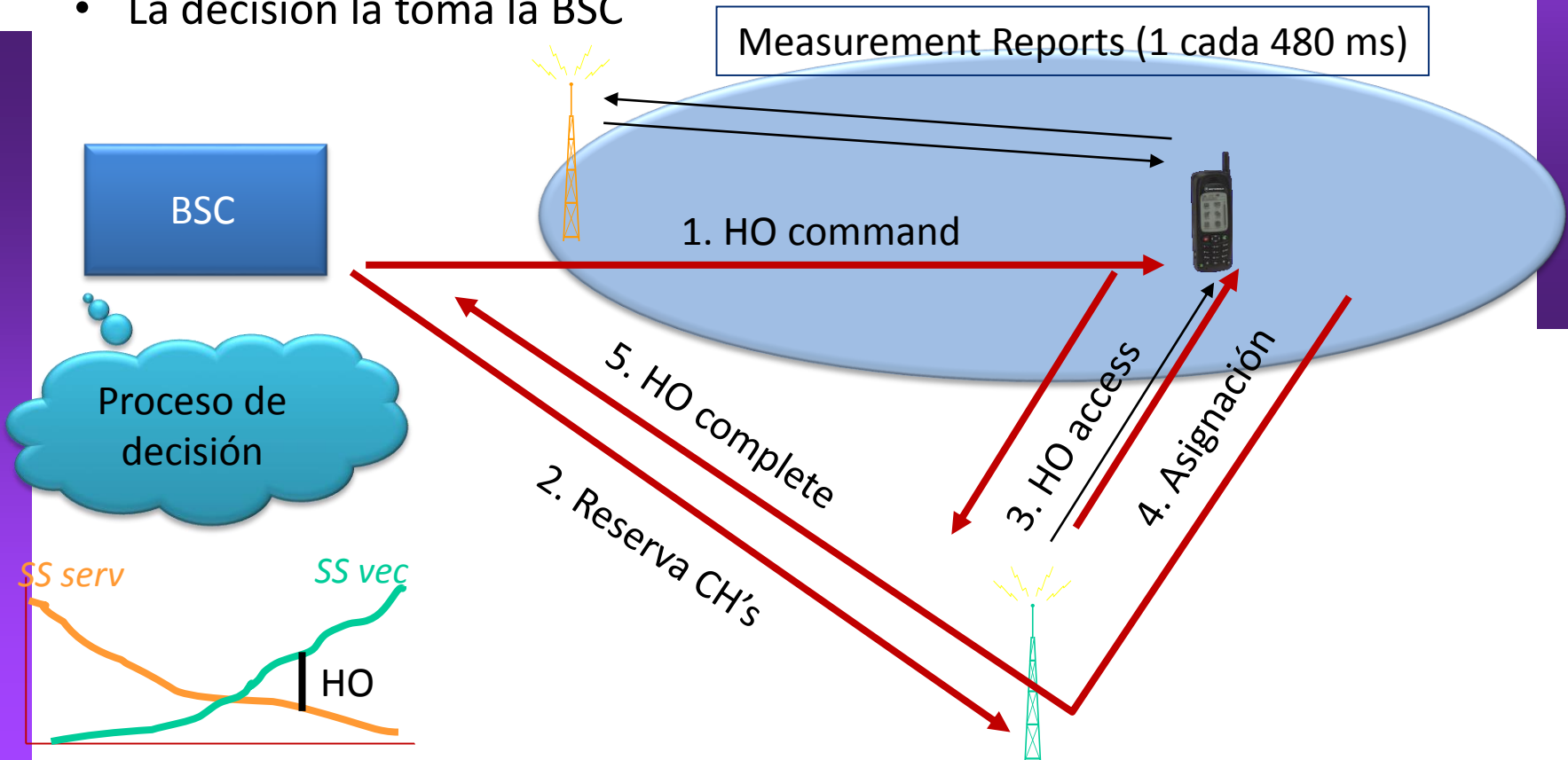
- Con el fin de poder llevar a cabo las diferentes operativas del sistema, es necesario contar con una serie de **funcionalidades**
- Las funcionalidades se implementan en uno o varios nodos de la red, apoyándose en diversos **interfaces** entre ellos.
- Es necesario conocer la **parametrización** de 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

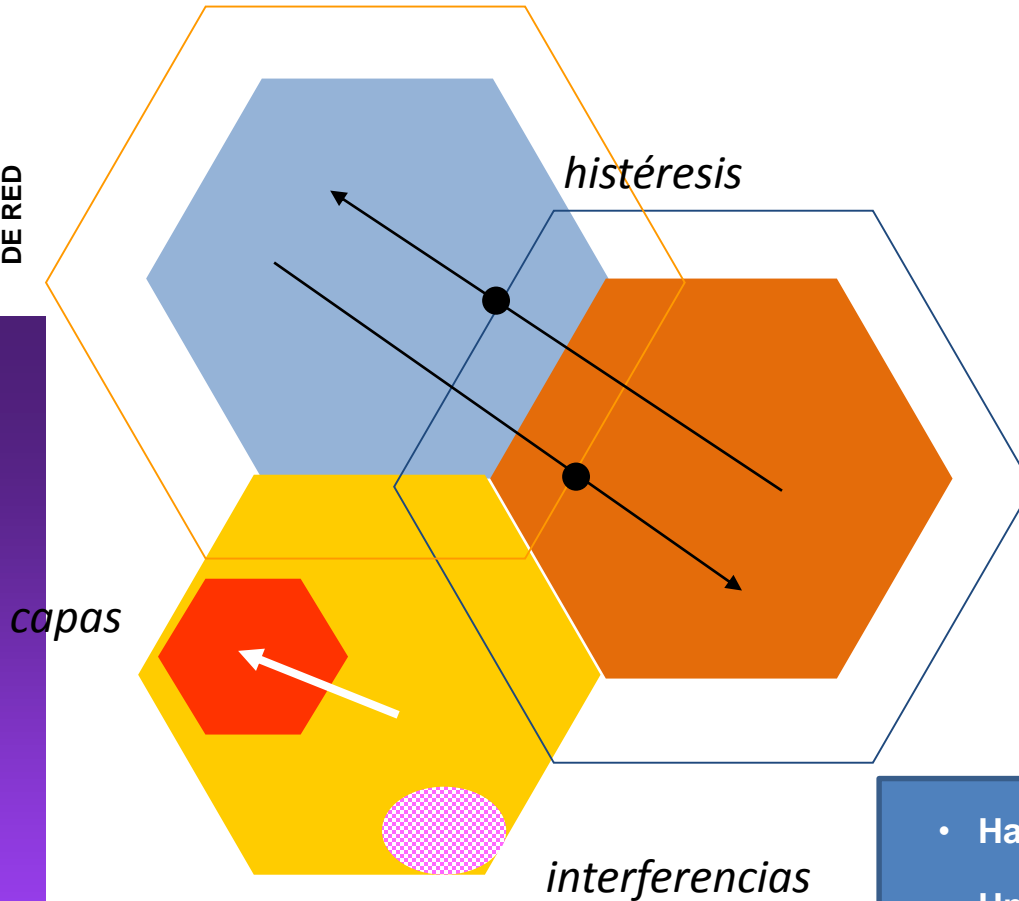


GSM: Proceso de HO

- 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



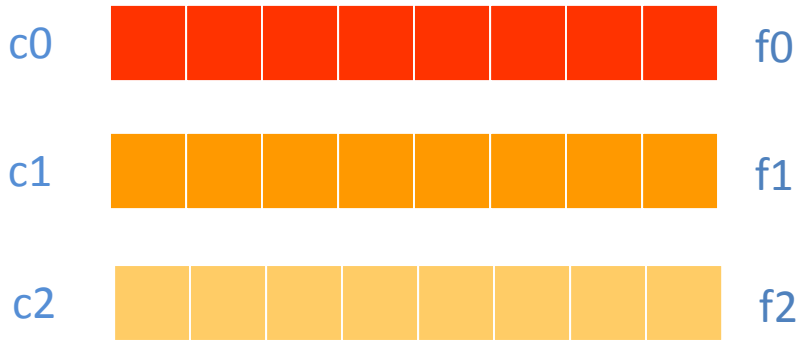
En GSM/DCS en todos los casos, se produce una ruptura transitoria del enlace y un nuevo enlace radioeléctrico. Esto se denomina Hard Handover

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

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

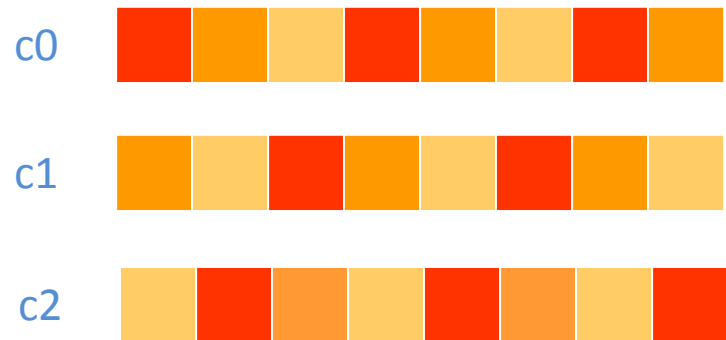
GSM: Frequency Hopping

Sin hopping



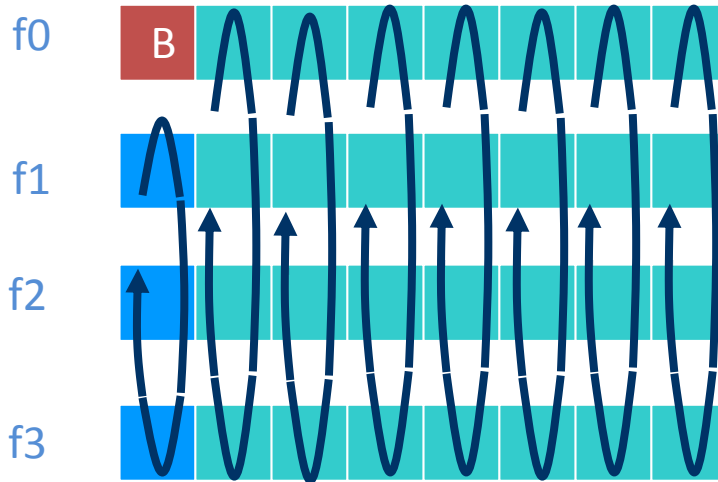
Si f0 interferida...

Con hopping

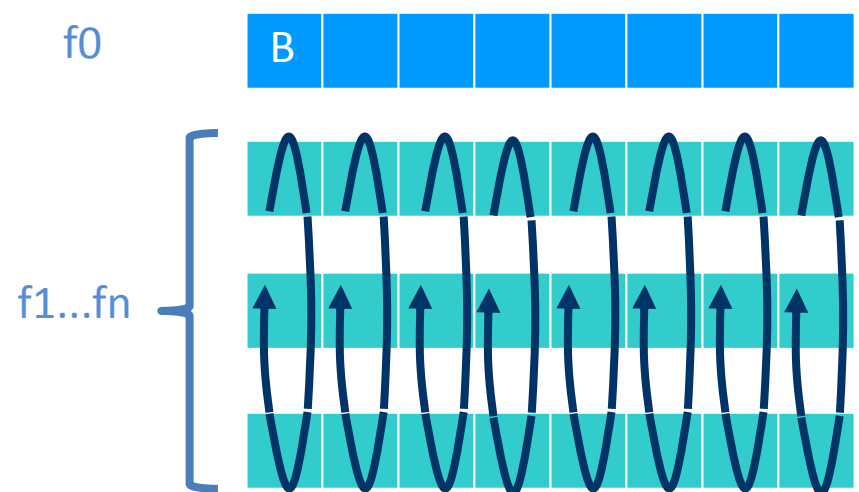


Se distribuye la interferencia

BANDA BASE



SINTETIZADO



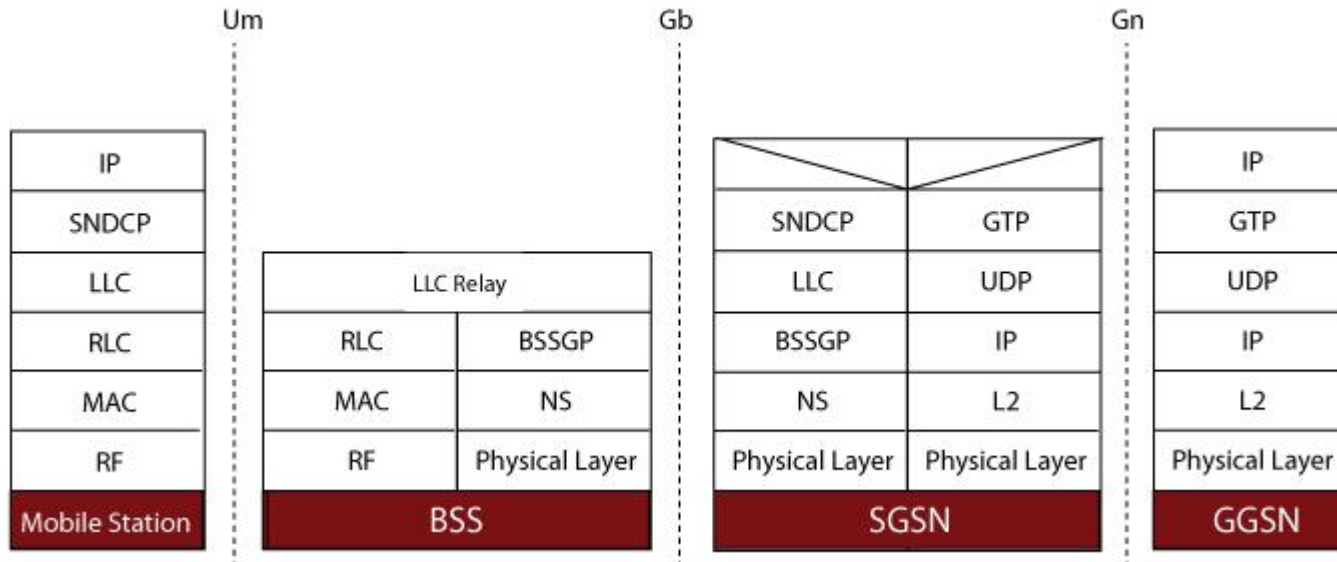
- N^o frecs. Salto = N^o TRX's
- Útil con 4 ó más portadoras

- N^o frecs. Salto > 2 * N^o 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

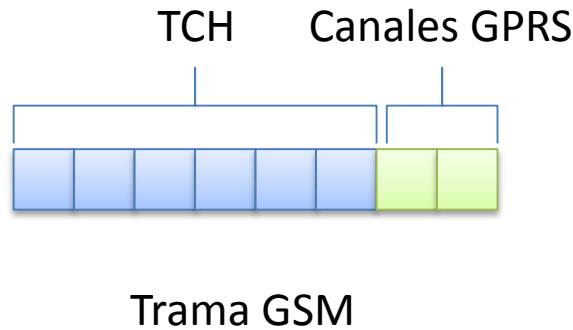
GTP: GPRS Tunneling Protocol

LLC: Logic Link Control

RLC: Radio Link Control

NS: Network Service

GPRS



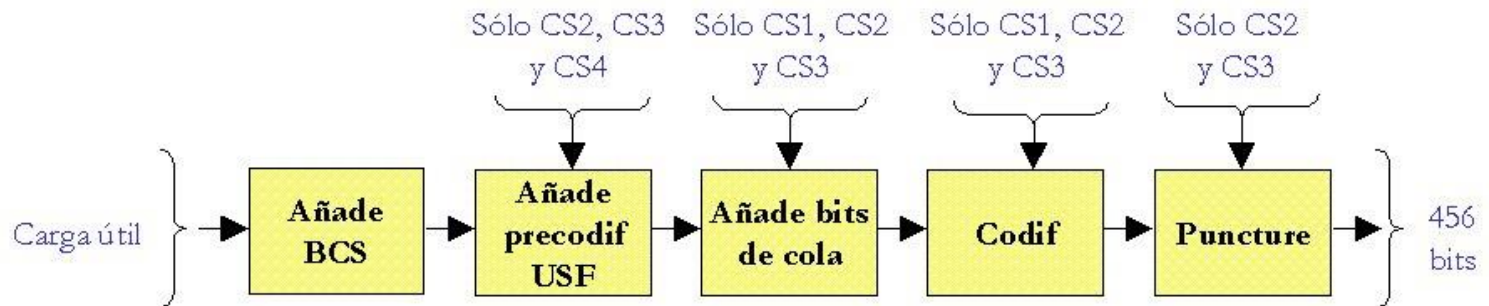
- Canales GPRS: se definen sobre un territorio GPRS
- Pueden ser dedicados o conmutables
- Definición asimétrica entre BTS y MS (en la práctica, limitado a 4 TS simultáneos)

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

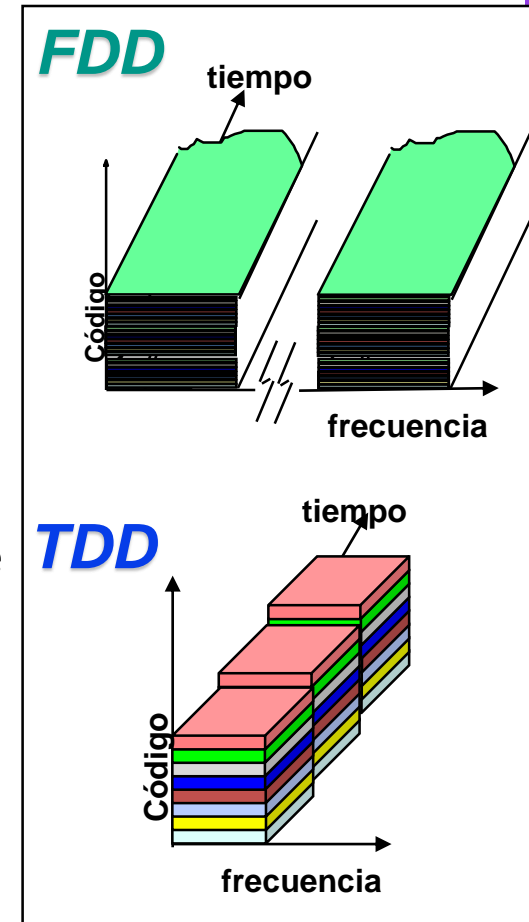


BCS : Block Check Sequence

USF : Uplink State Flag

Interfaz radio WCDMA de UMTS: UTRA Características generales

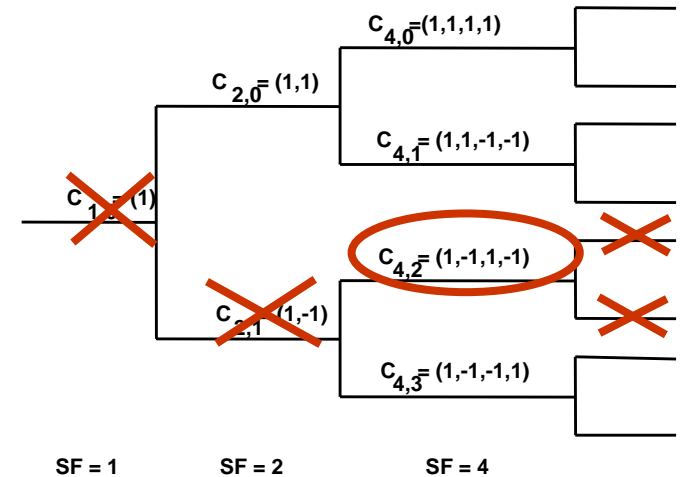
- Acceso múltiple DS-CDMA con chip rate: 3,84 Mchip/s.
- Tramas radio de 10 ms divididas en 15 slots
 - 1 slot=2560 chips
- Códigos con factor de ensanchamiento variable OVSF:
 - permite señales de tasa binaria diferente sobre la misma interfaz radio
- Control rápido de potencia, hasta 1500 Hz.
- Traspaso 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)

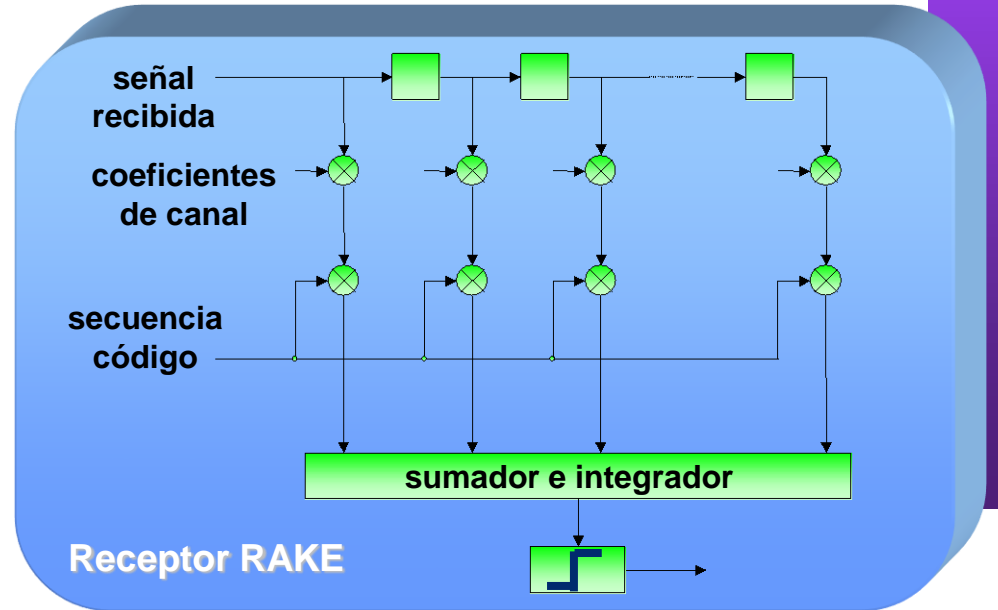


Árbol OVSF
 (Orthogonal Variable Spreading Factor)

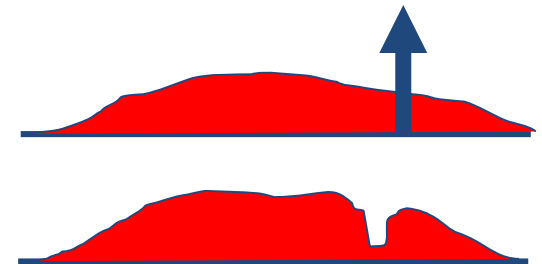
Ensamblamiento = Canalización + Scrambling

Ventajas de las señales de espectro ensanchando DS-CDMA

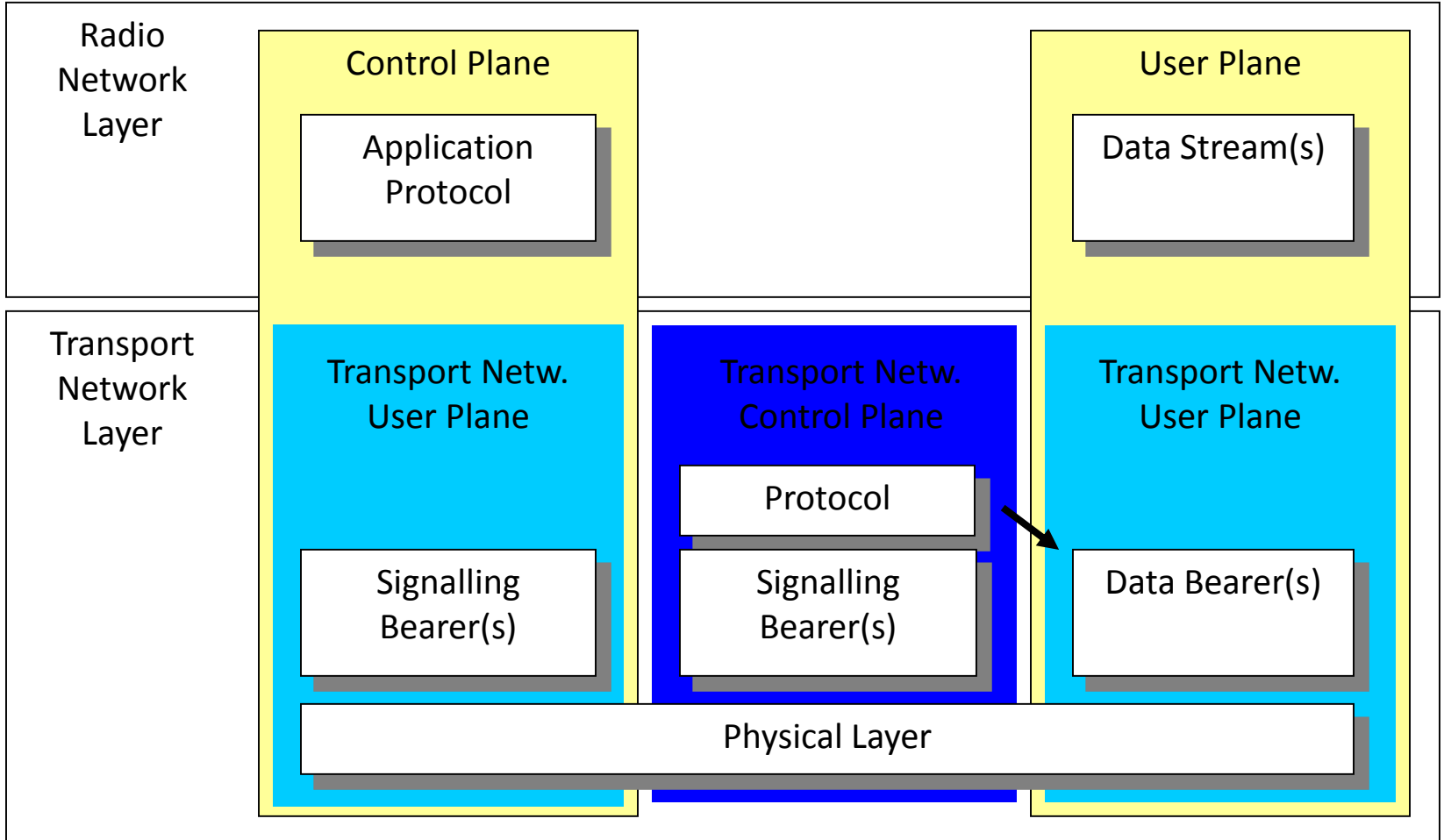
- Reducción de densidad espectral
- Privacidad
- Protección frente a interferencias de otros sistemas
 - De banda estrecha
 - Depende de la correlación cruzada de la interferencia
 - De banda ancha
- Resolución temporal y protección frente a multitrayecto:
 - Receptores RAKE
 - Cada rama: finger
 - 3GPP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



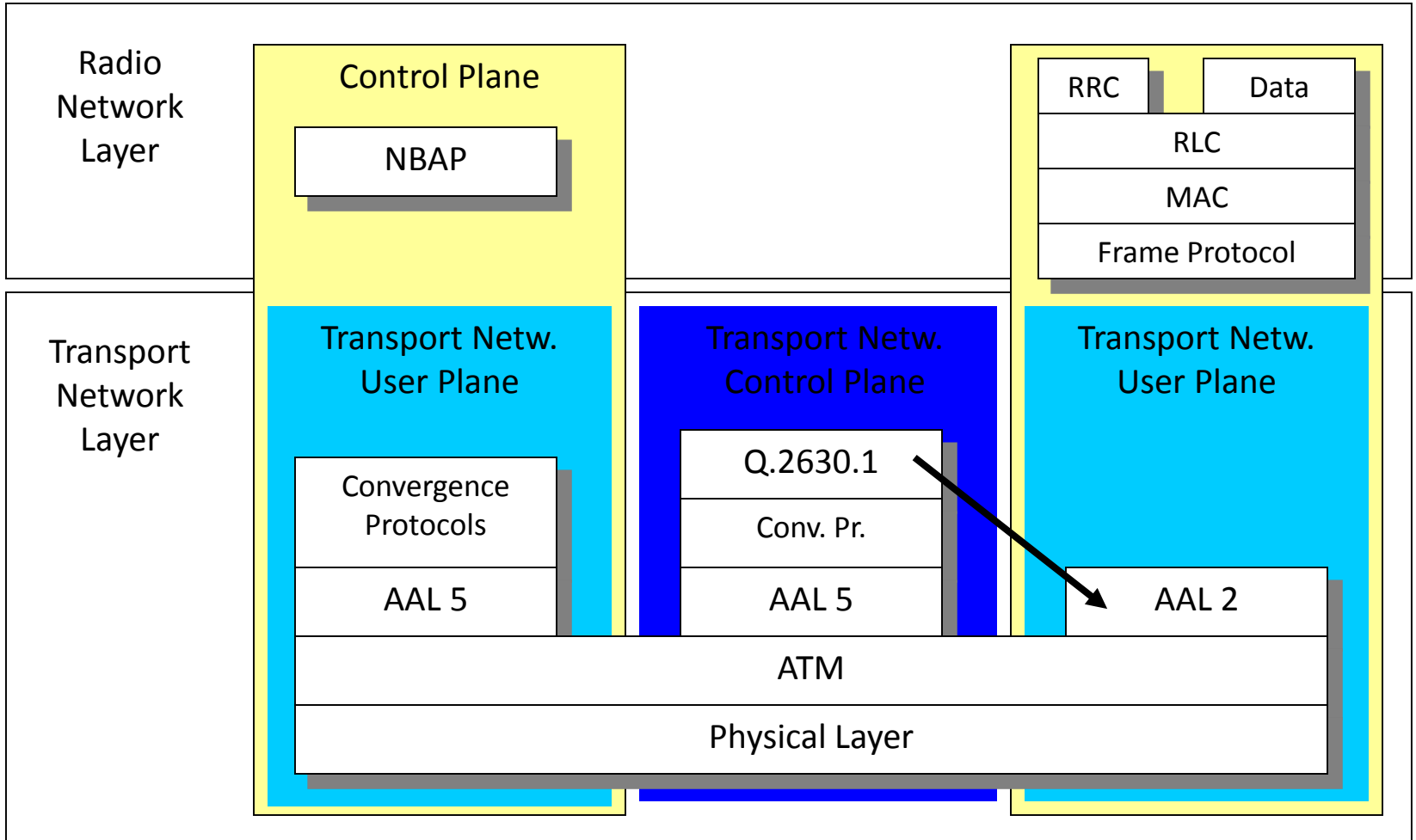
Inmunidad a perturbaciones de banda estrecha



Modelo de Protocolo

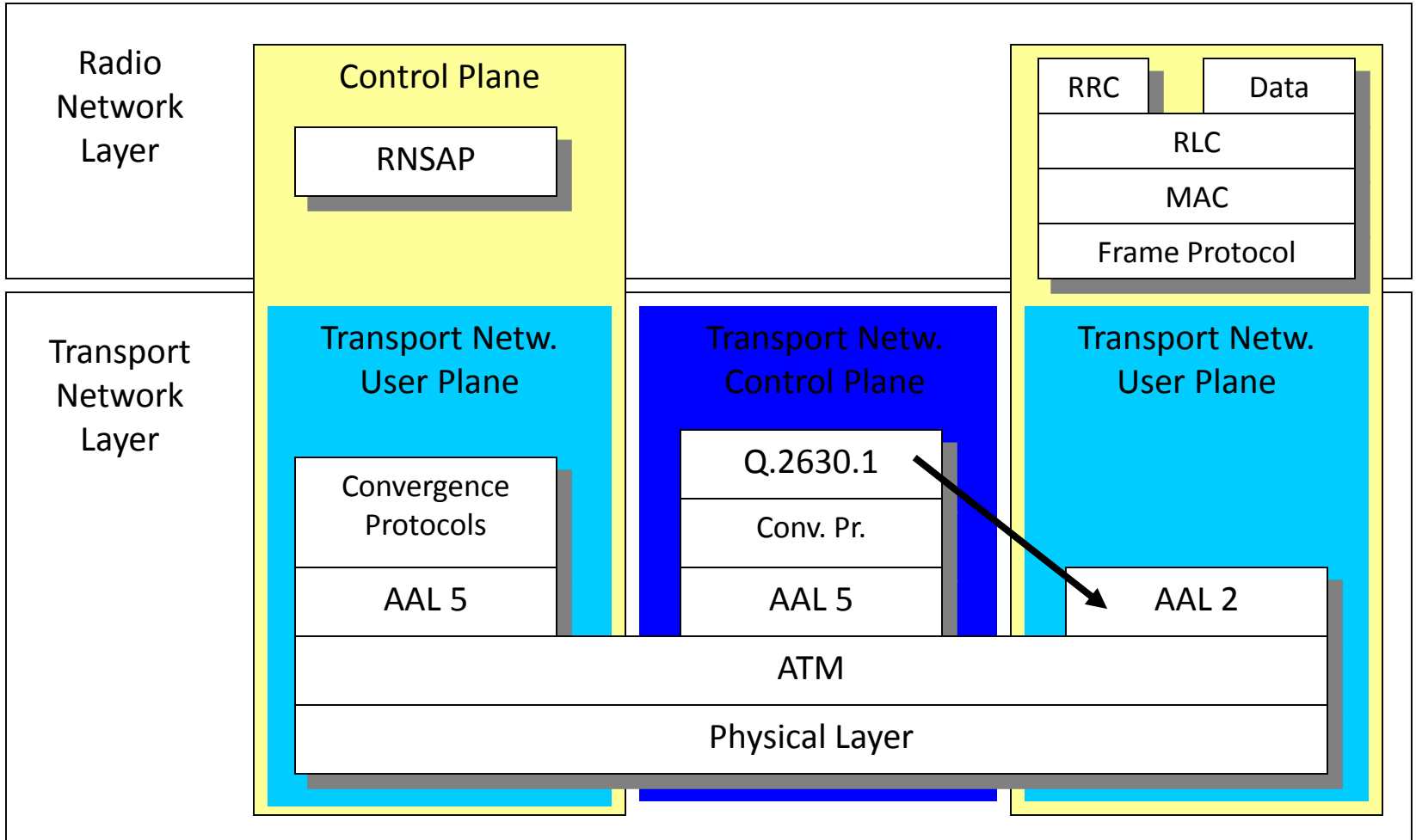


Modelo de Protocolo-lub



NBAP: Node B Application Part

Modelo de Protocolo-Iur



RNSAP: Radio Network Subsystem Application Part

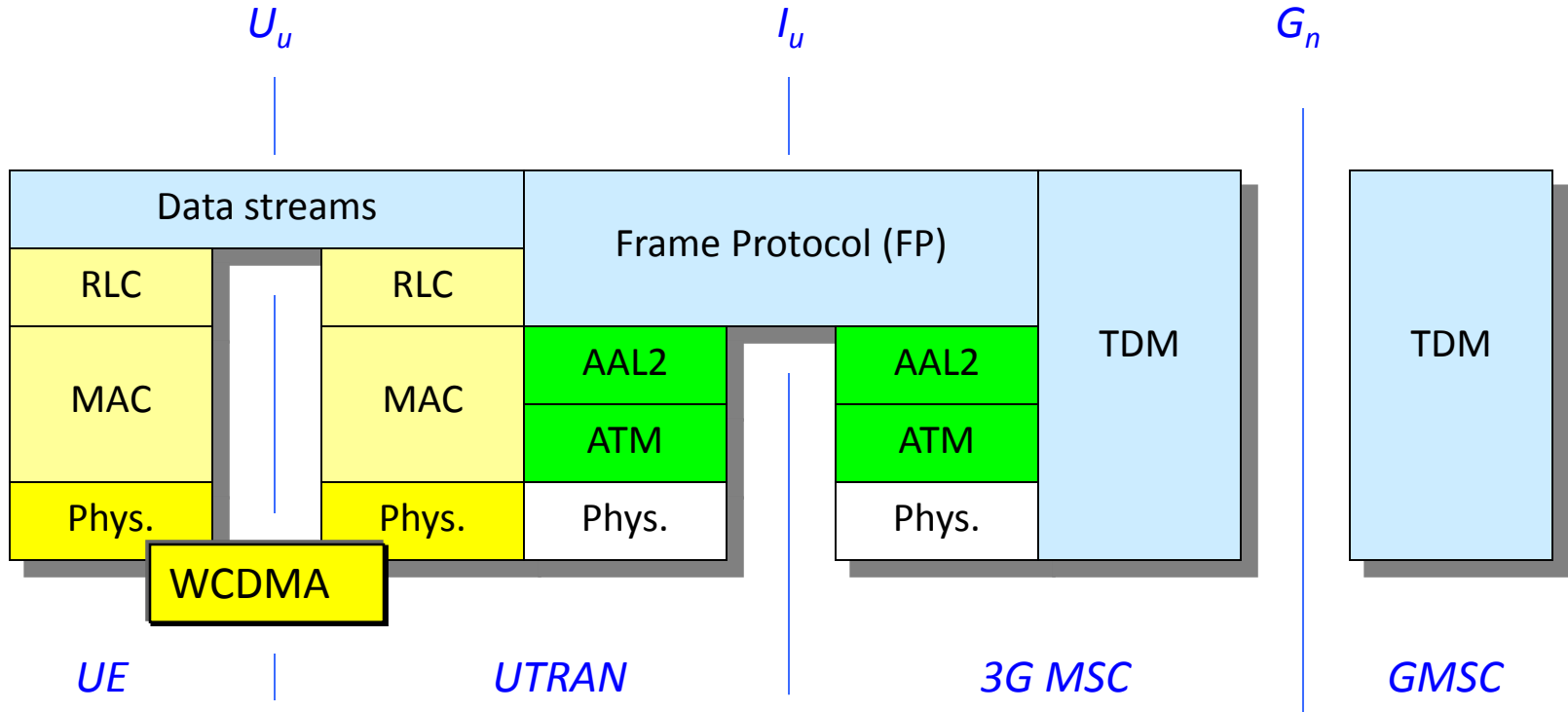
QOS en UMTS

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) file transfer
video telephony/ conferencing	audio streaming		
<i>basic applications</i>			

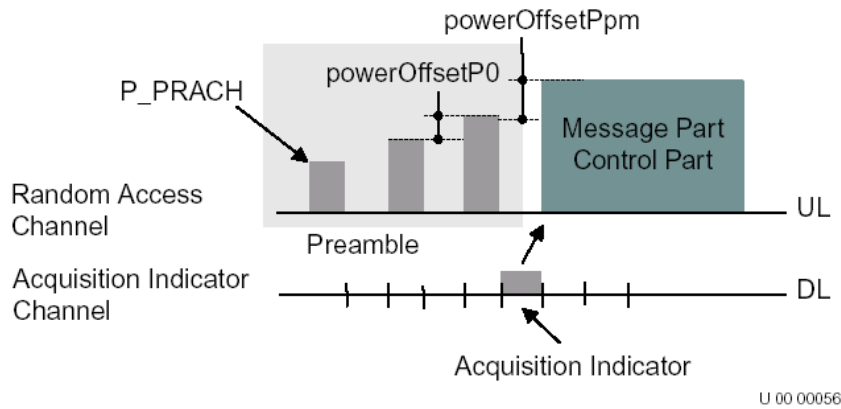
Plano de Usuario, CS



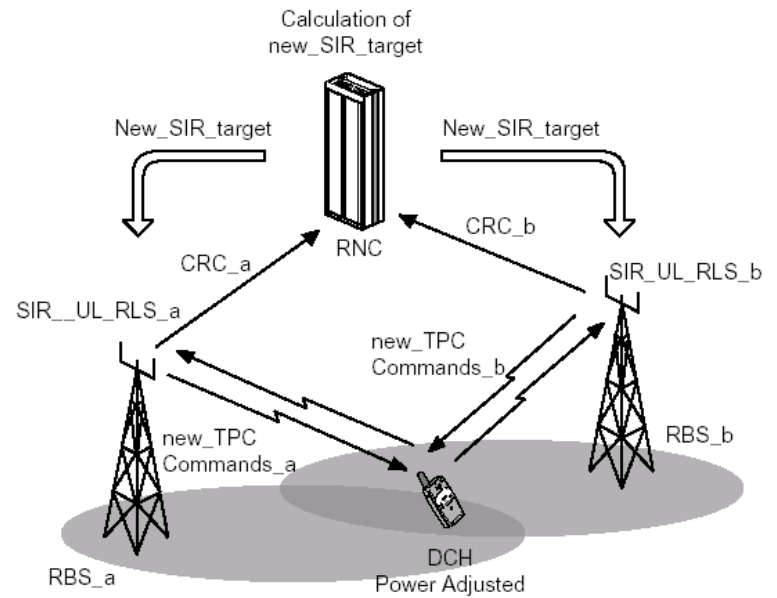
Control de potencia

- 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 por la base experimentan la 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



Lazo Abierto



Lazo Cerrado

Control de potencia

Ajuste de Potencia de CCH

RACH pot. preámbulo

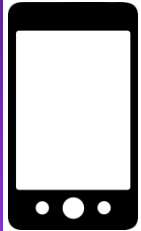
RACH pot. mensaje

Ajuste Inicial DPCCH
DPDCH

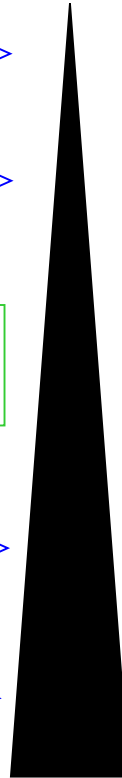
Pot. DPCCH inicial

Pot. DPDCH inicial

Lazo Cerrado Interno

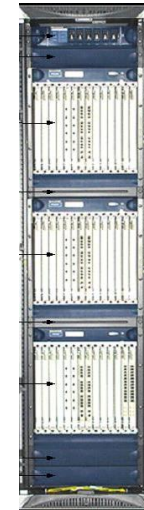


UE



RBS

Ajuste de potencias
de canal máximas y mínimas

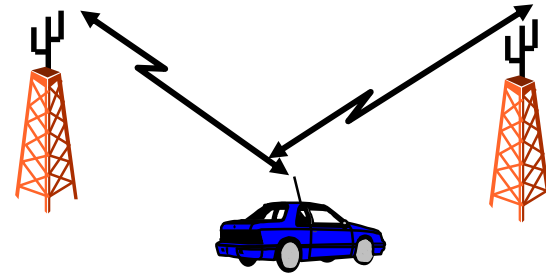


RNC

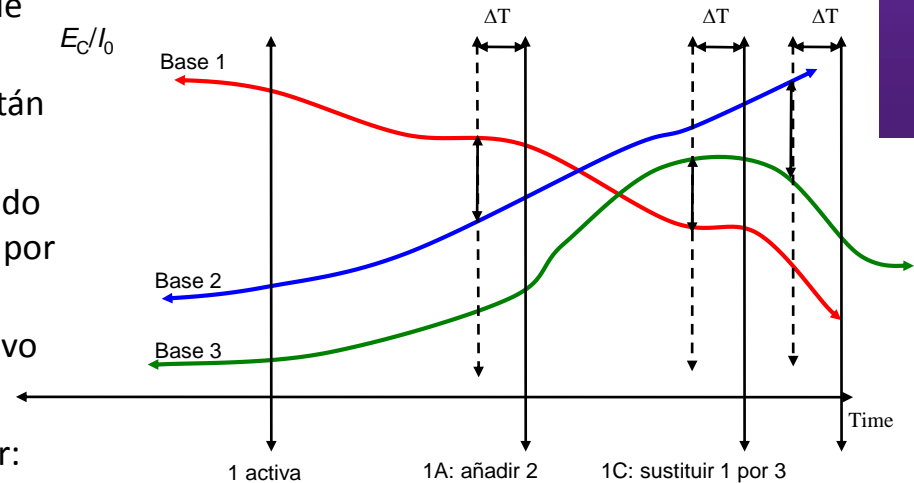
Lazo Cerrado Externo

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

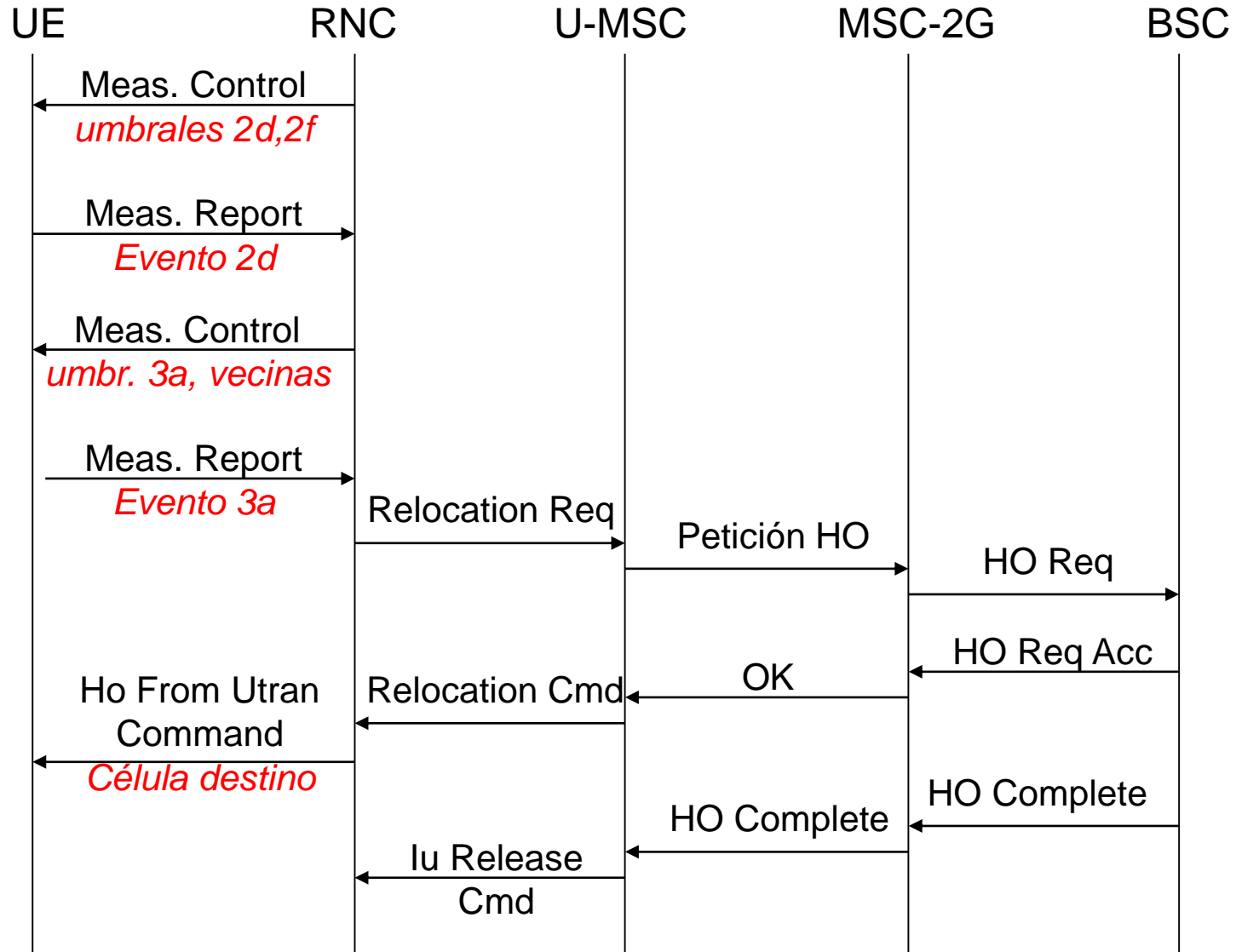


Soft handover: un móvil puede estar conectado simultáneamente a varias bases



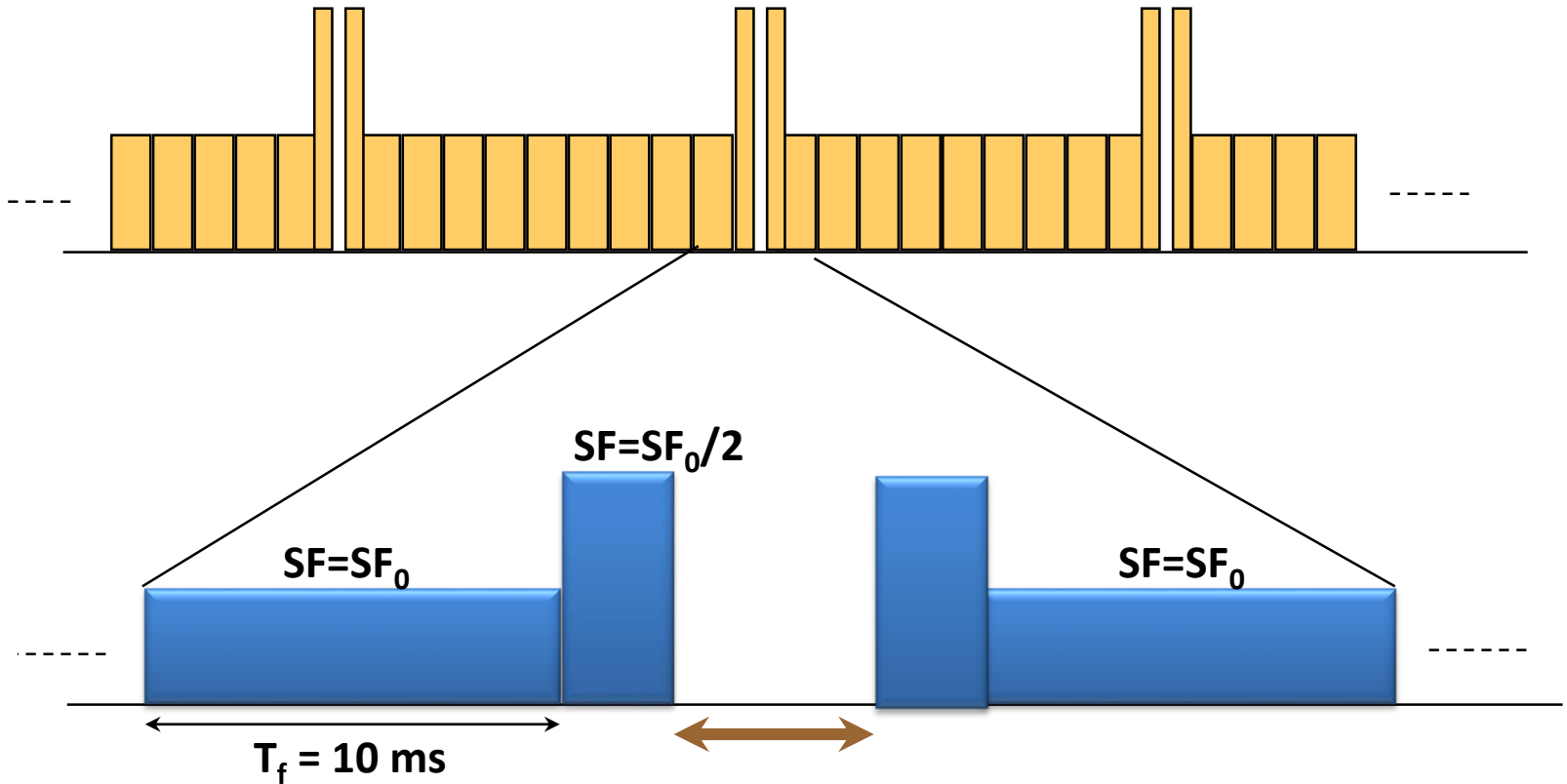
Algoritmo de control del soft-handover

HO Inter-RAT



Modo Comprimido

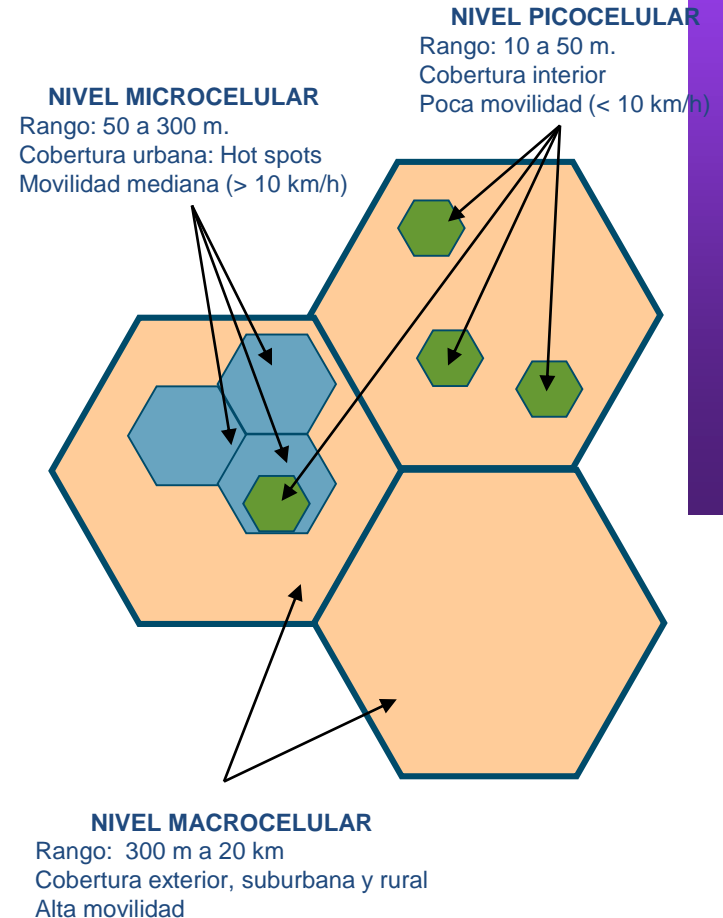
- **Modo comprimido: permite al terminal disponer de periodos idle para poder efectuar medidas interfrecuenciales.**



**TIEMPO DISPONIBLE
PARA MEDIDAS DE
OTRAS FRECUENCIAS**

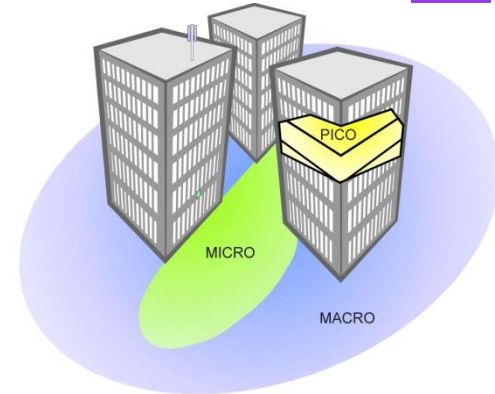
Despliegue de red mediante estructuras celulares jerárquicas

- 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 quasi-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

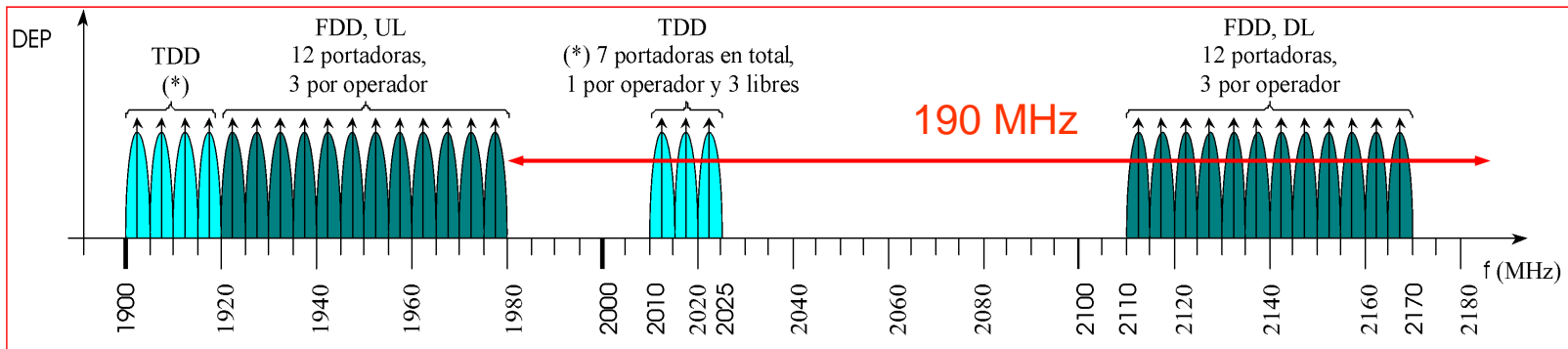
Zonas suburbanas

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*)
 - $UARFCN=5*f$ (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

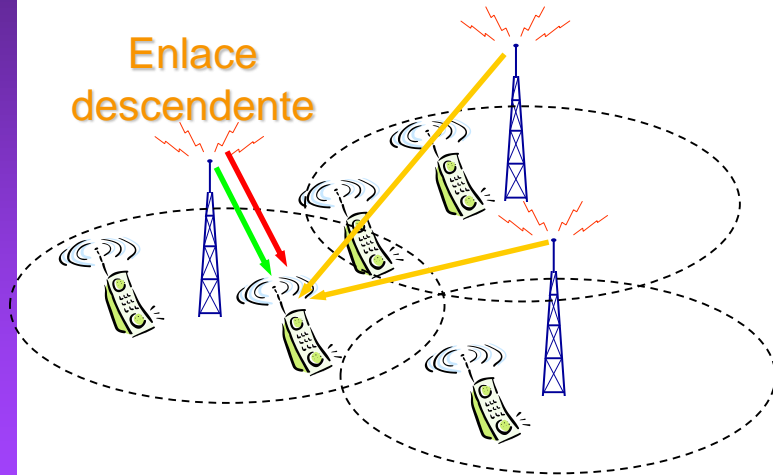
El parámetro que hace referencia a la relación señal a ruido de una comunicación es la relación de energía de bit de información (no chip) a densidad espectral de perturbación (ruido térmico+interferencia de otros usuarios)

- La relación E_b/N_o es el parámetro básico de calidad y viabilidad del enlace radio

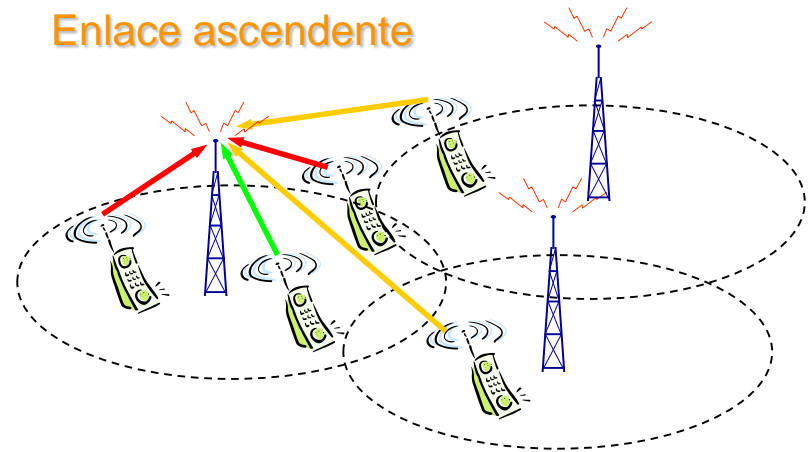
$$\frac{[P_{tik} G_i / A_{ij}] / R_k}{[I_{int} + I_{ext} + N] / W} \geq \left(\frac{E_b}{N_o} \right)_k$$

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

Enlace descendente



Enlace ascendente



Concepto de Cobertura/Capacidad (Enlace Ascendente Monoservicio)

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

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

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

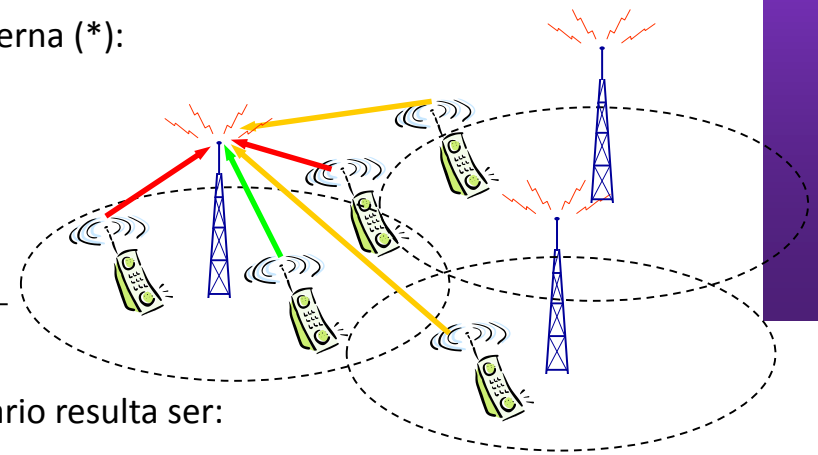
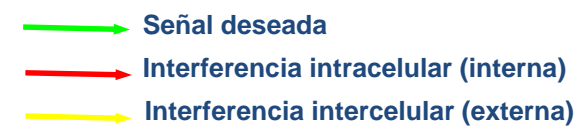
$$I_{ext} = (f - 1)I_{int}$$

- 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:

$$P_r = \frac{N}{G_p / (E_b / N_o) - (K - 1)\alpha f} \quad \xrightarrow{\text{Pole-capacity}} \quad K_{max} = 1 + \frac{G_p / (E_b / N_o)}{\alpha f}$$



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

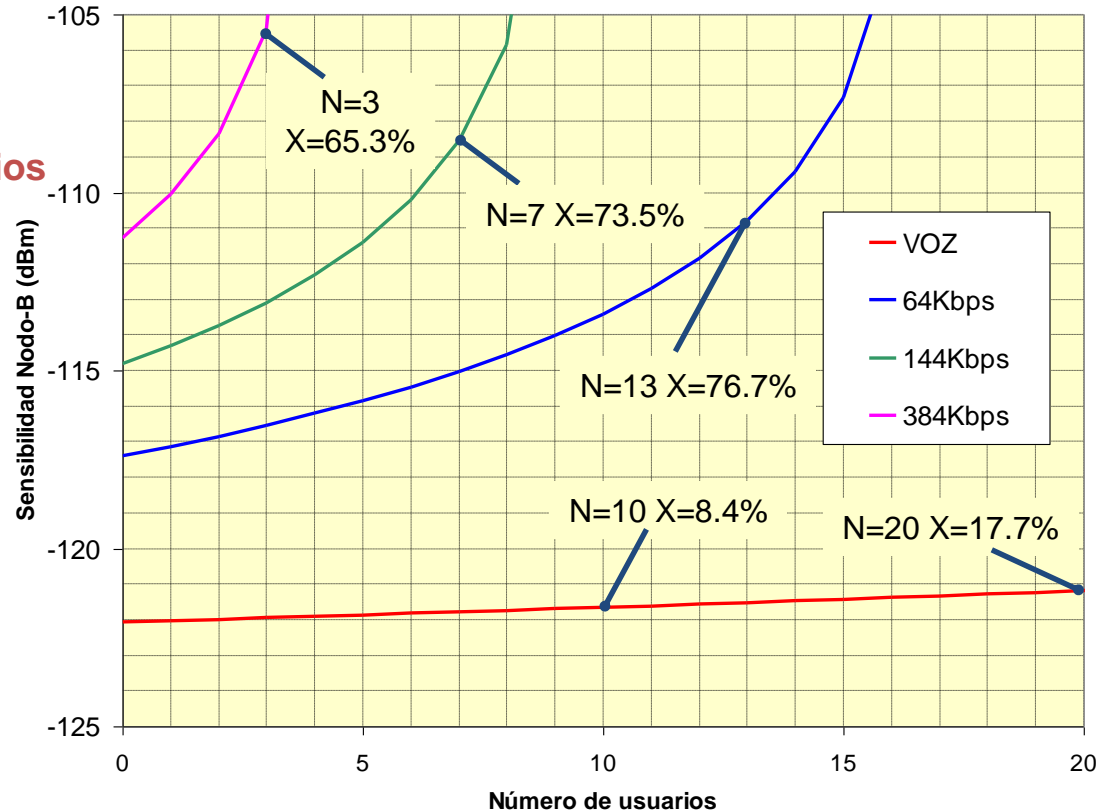
Capacidad en el enlace ascendente monoservicio

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

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 DPCH, 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

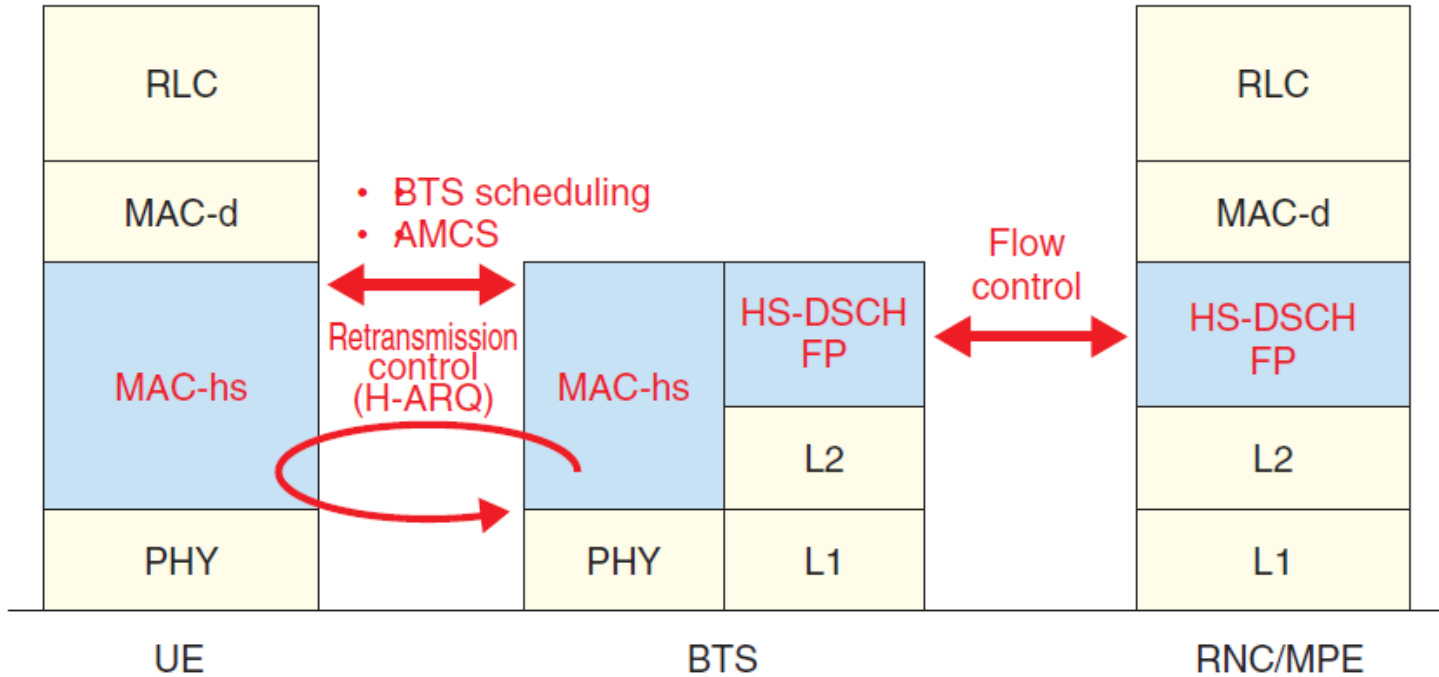
- High Speed Downlink Packet Access
- Release 5 3GPP, comienza explotación comercial en 2006
- Se implanta necesariamente sobre infraestructura UMTS existente
- Opera sobre plataforma CS/PS
- Evolución en interfaz radio
- Aumento de capacidades en nodo-B
- No emplea control de potencia ni SHO

Desde el punto de vista HW

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



HSPA

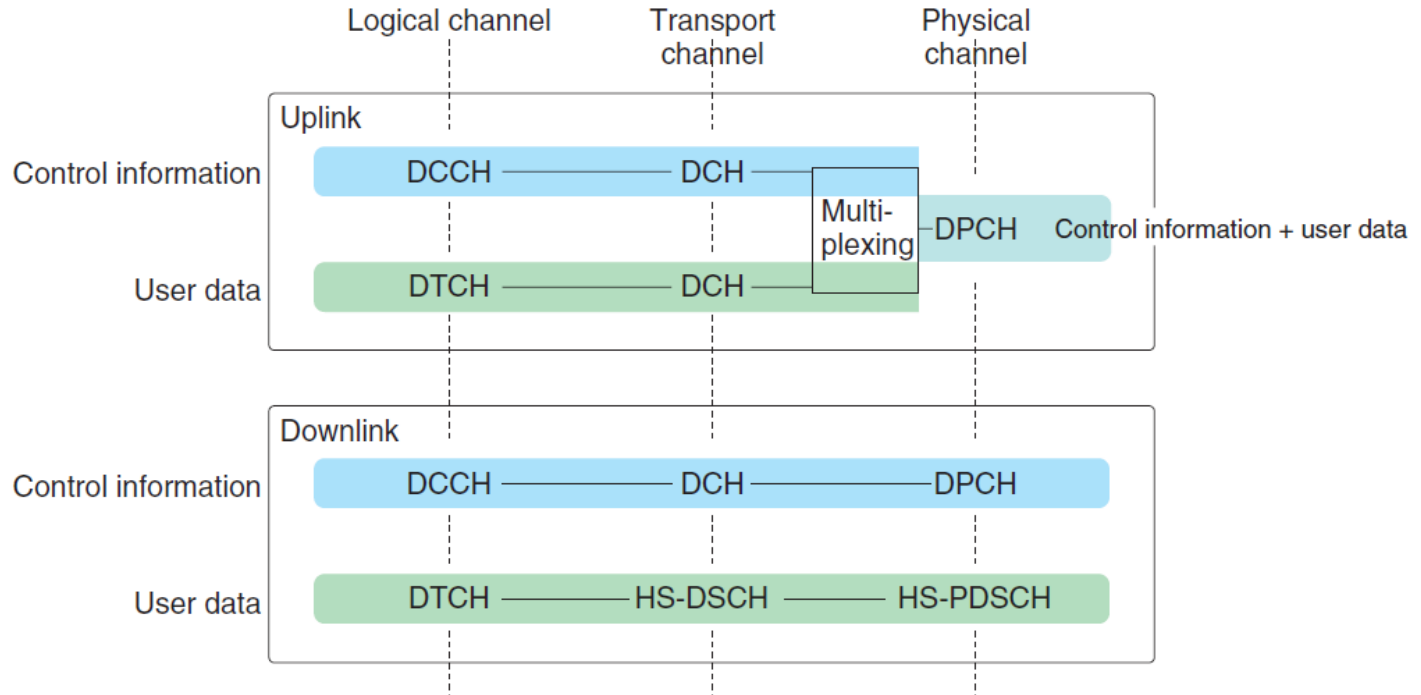


MAC-HS: Subcapa MAC HSPA

MAC-d: Subcapa dedicada MAC

HS-DSCH:

HSPA



Canales en HSDPA

DCCH: Dedicated Control Channel

DTCH: Dedicated Traffic Channel

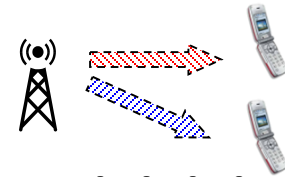
DPCH: Dedicated Physical Channel

DCH: Dedicated Channel

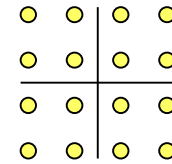
HS-DSCH: High Speed Downlink Shared Channel

HSPA

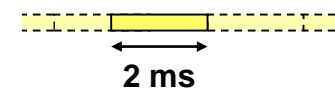
Transmisión en canal compartido



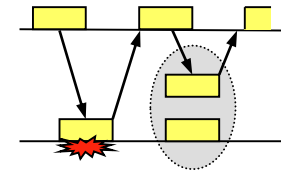
Posible modulación de mayor eficiencia
16QAM - QPSK



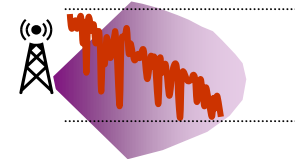
Transmission Time Interval de 2 ms
Se reduce el Round Trip Delay



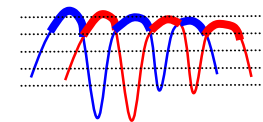
Fast Hybrid ARQ with Soft Combining
Se reduce el Round Trip Delay



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

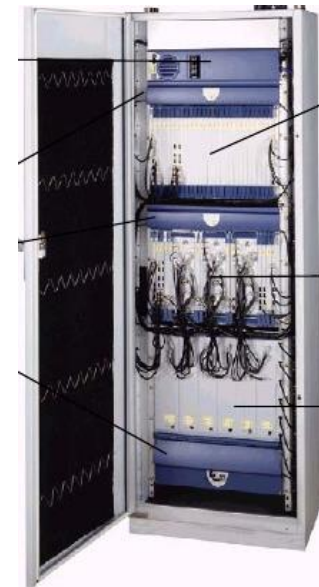
- High Speed Uplink Packet Access, Enhanced Uplink
- Release 6 3GPP, comienza explotación comercial en 2007
- Se implanta necesariamente sobre infraestructura UMTS existente (pre-existencia HSDPA)
- Opera sobre plataforma CS/PS, con conectividad a SGSN
- Evolución en interfaz radio (permite QPSK y TTI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

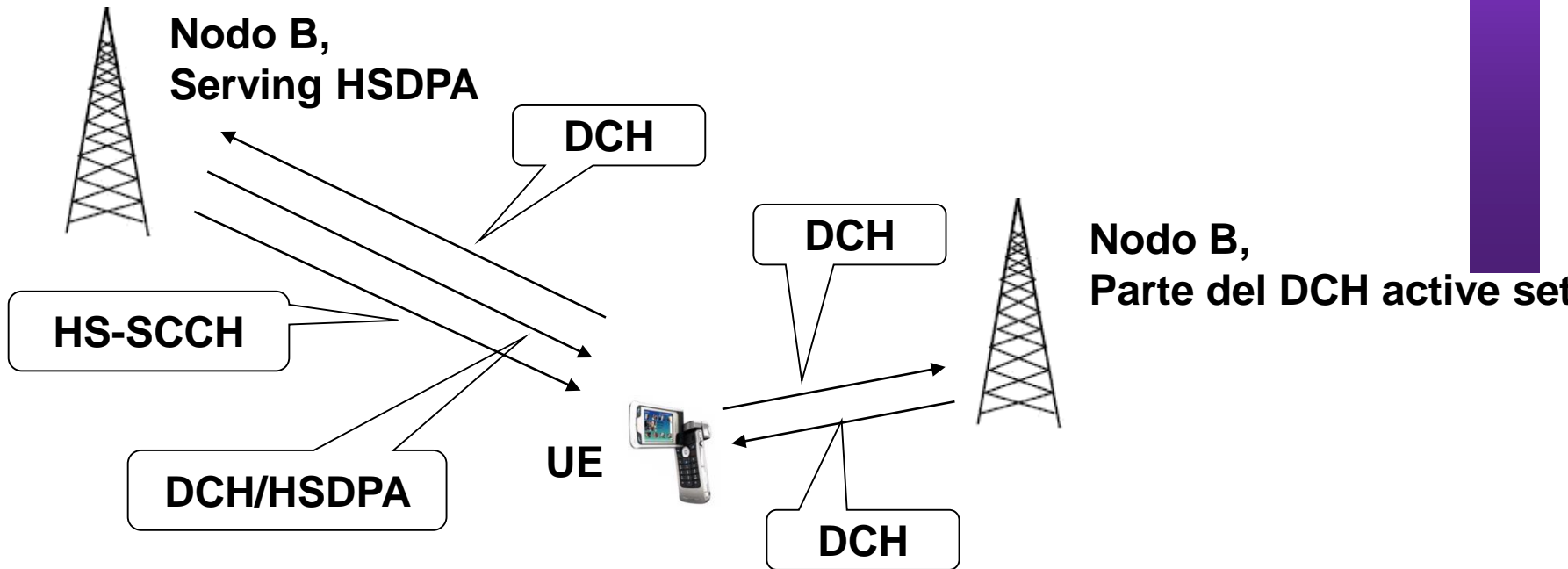
Desde el punto de vista HW

- 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

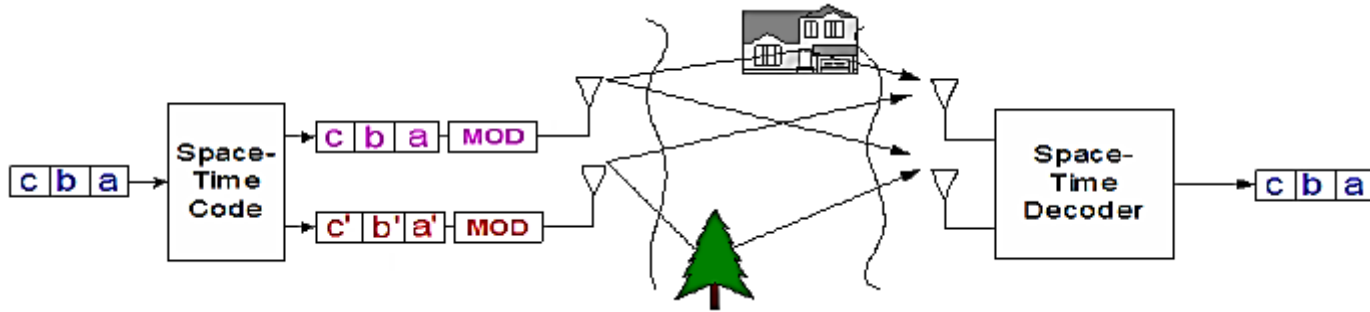
- Esquemas MIMO

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

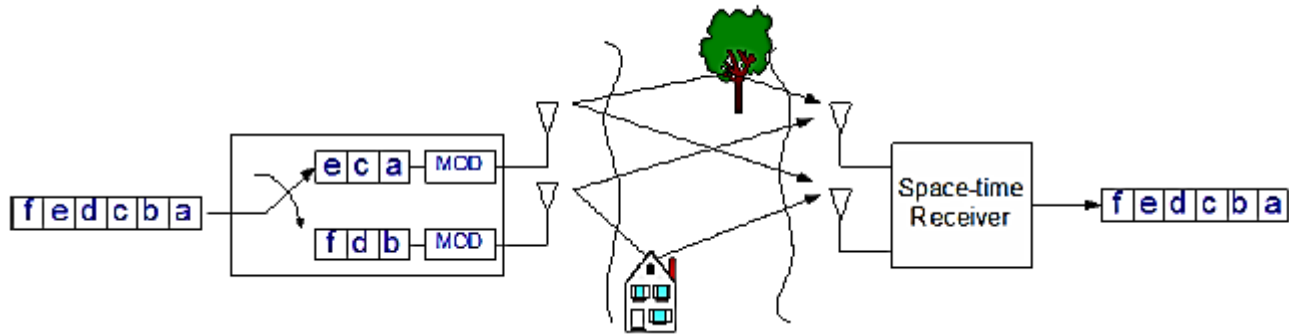


RBS 6201 is a LTE eNodeB base station (Motorola)

LTE



Codificación Espacio-Temporal



Multiplexación Espacial

LTE

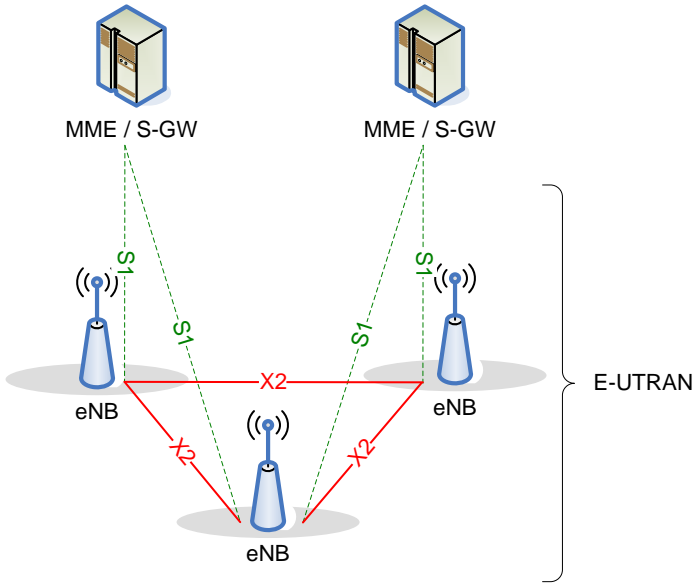
- ARQ (subcapa RLC) y Hybrid ARQ en subcapa MAC
- Control de potencia y adaptación de enlace
- Soporte para coordinación implícita de interferencia
- FDD y TDD soportados
- Scheduling & link adaptation dependiente del canal
- Nodos de acceso radio de coste reducido y funcionalidad compleja

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 Up to 4 layers for DL per UE MU-MIMO supported for UL and DL	



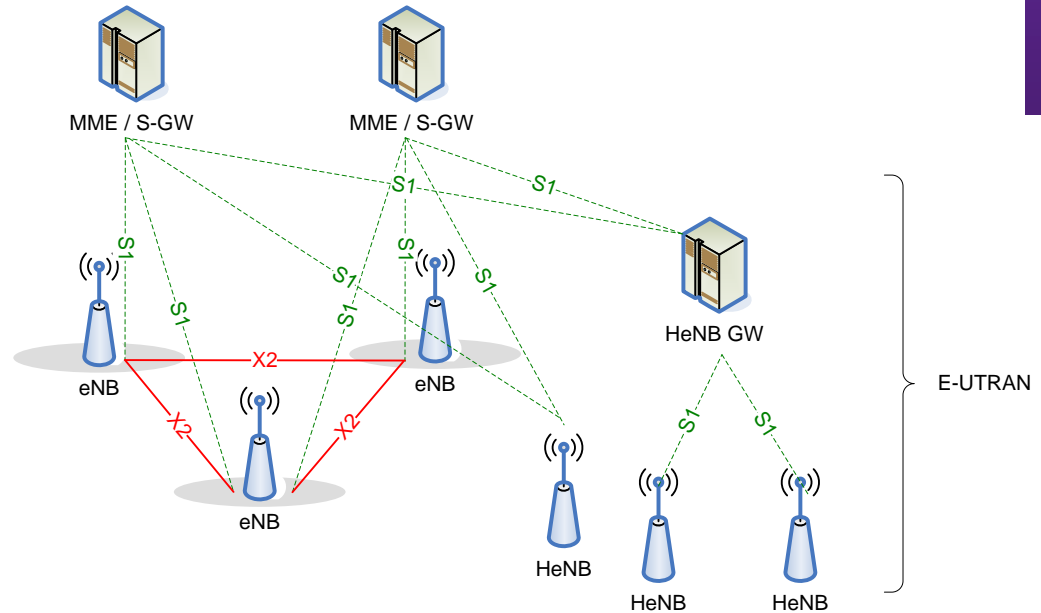
Ericsson MME-SGSN

LTE



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

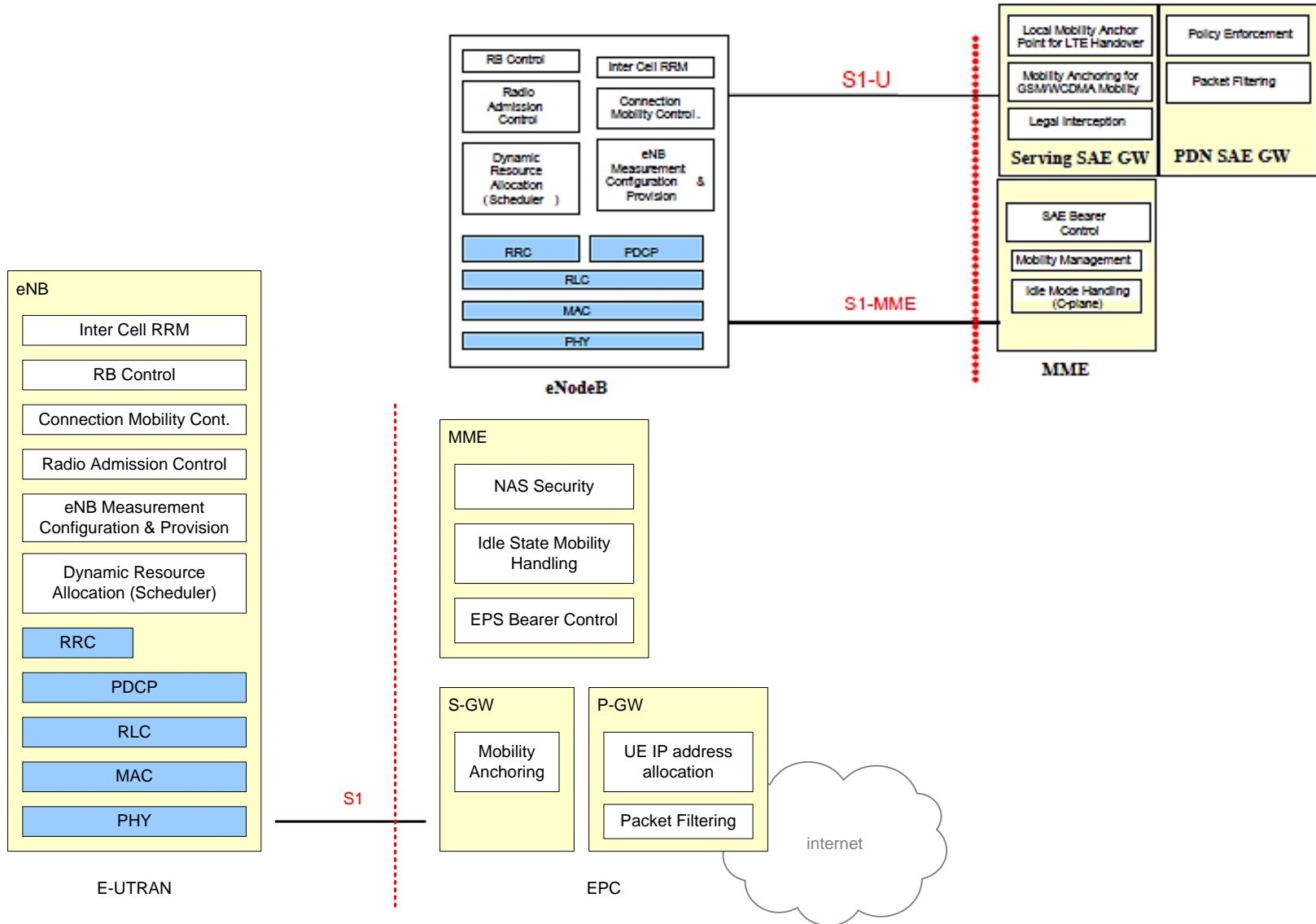
HeNB: Home eNB



LTE

EUTRAN

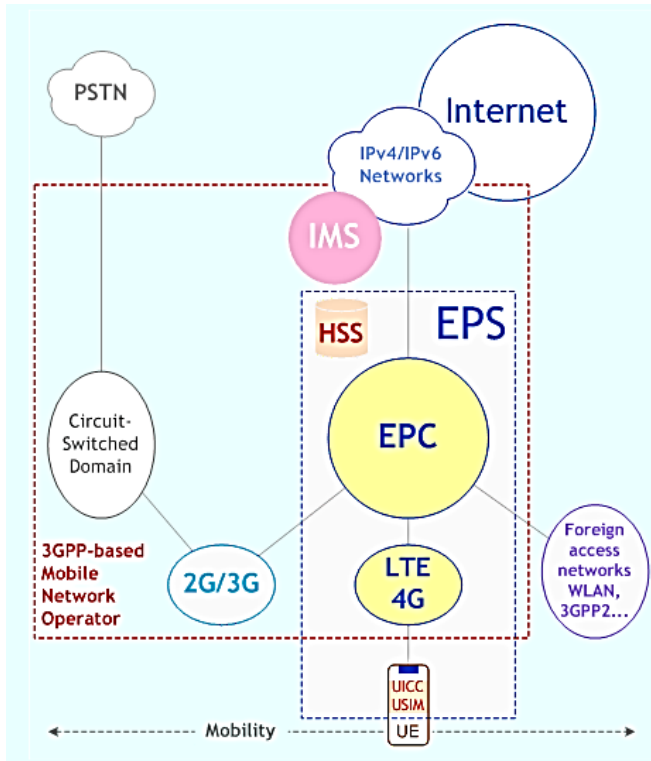
CORE NETWORK



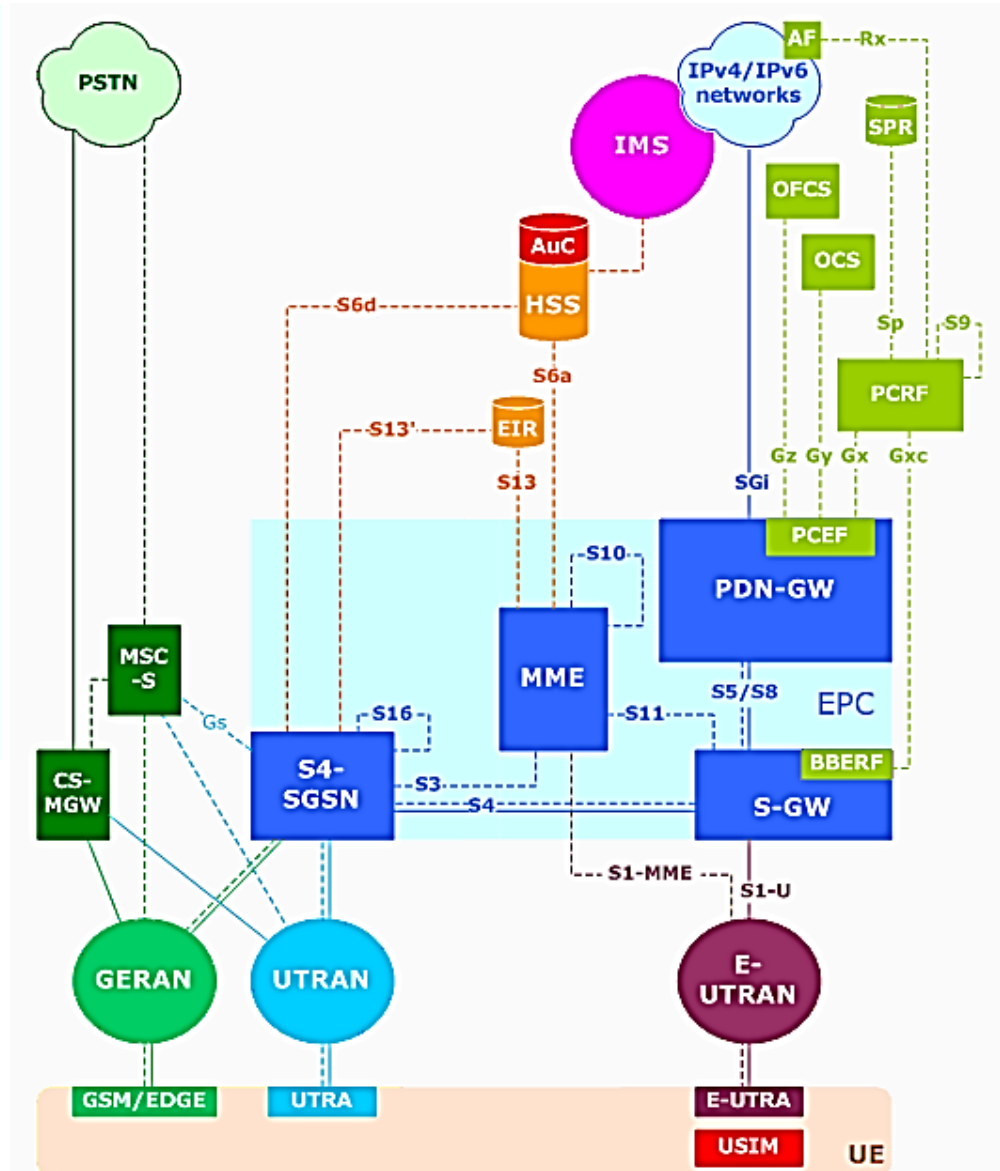
LTE



LTE

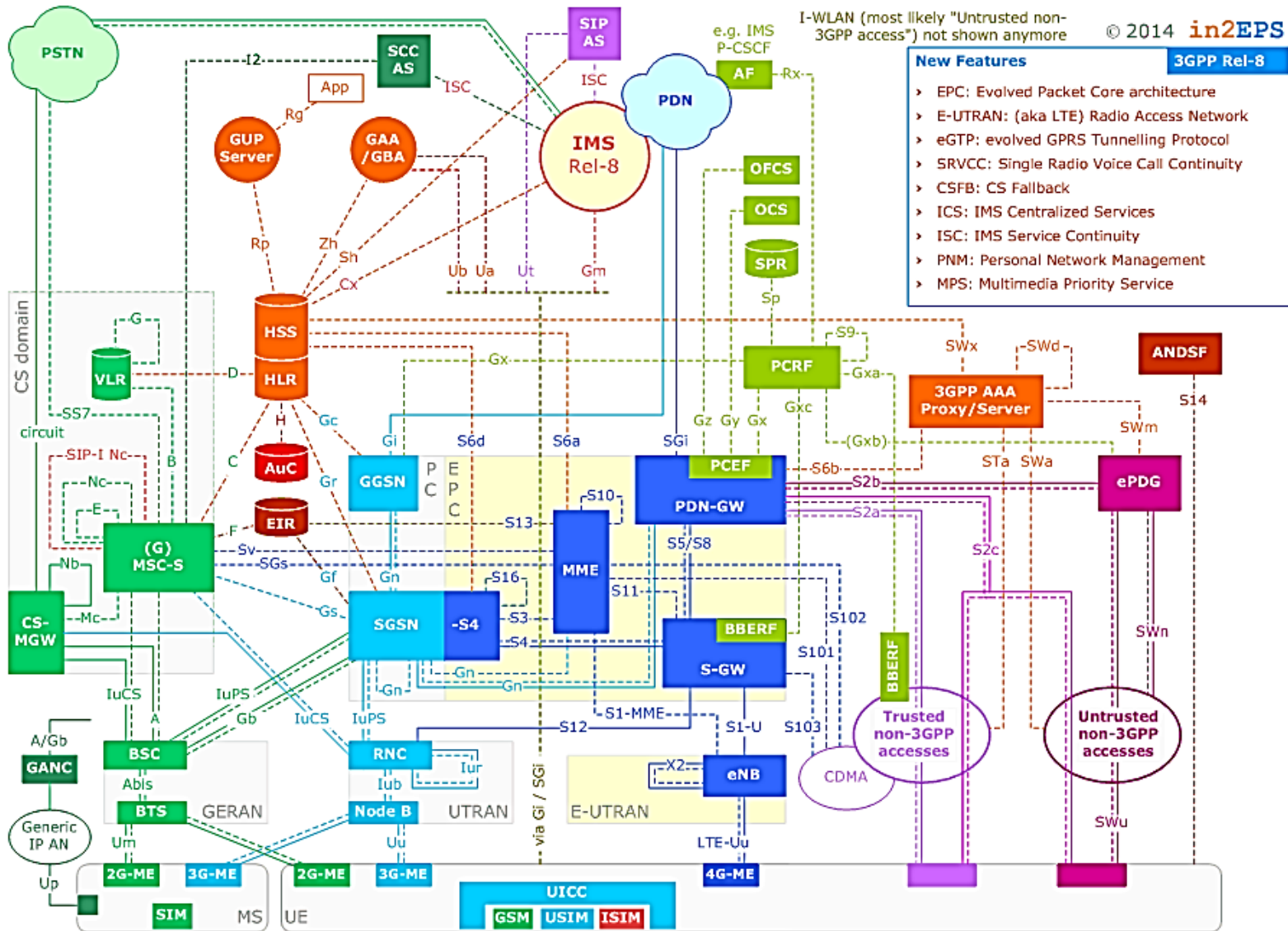


<http://www.in2eps.com/index.html>

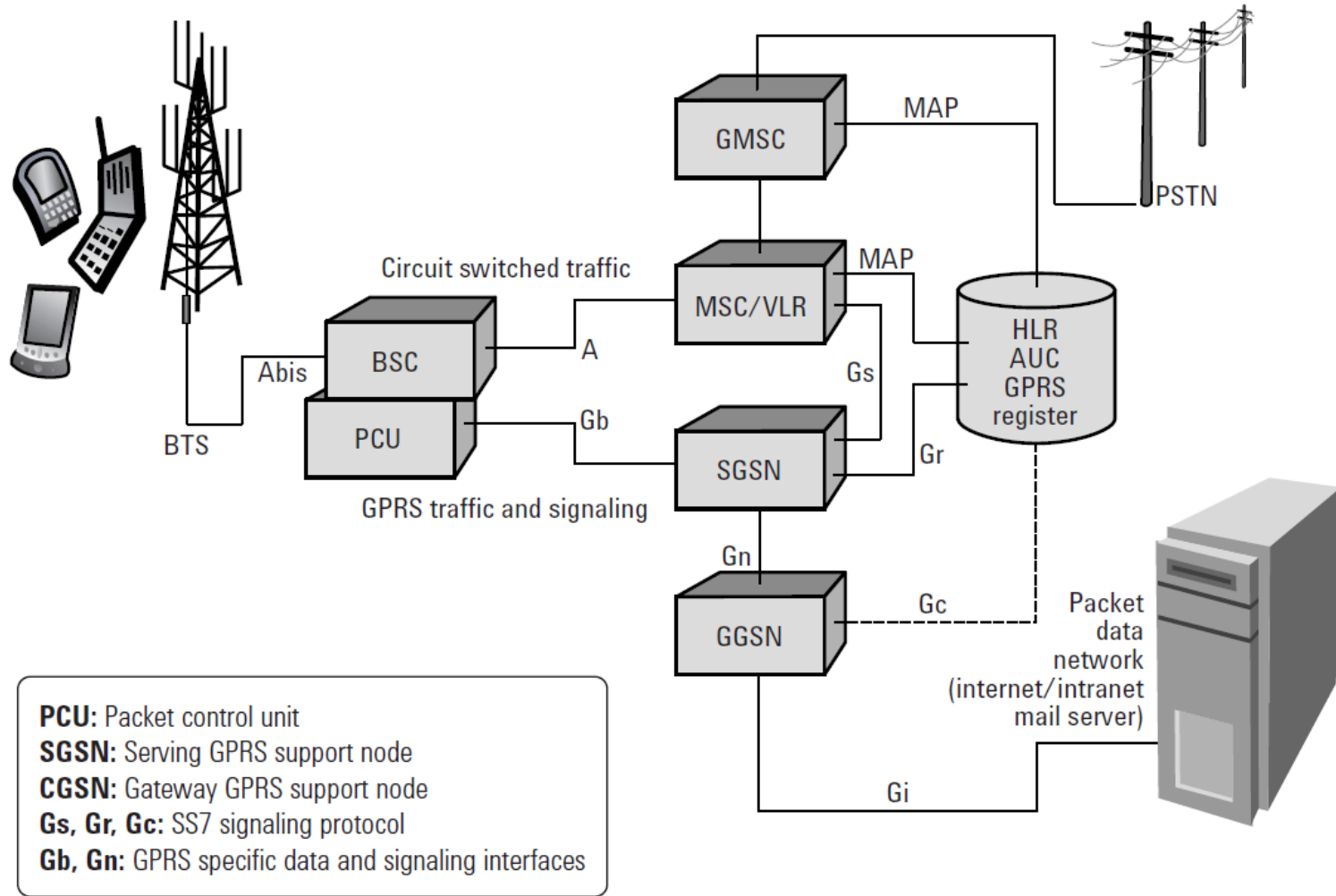


<http://www.in2eps.com/fo-epc/tk-fo-epc-0400.html>

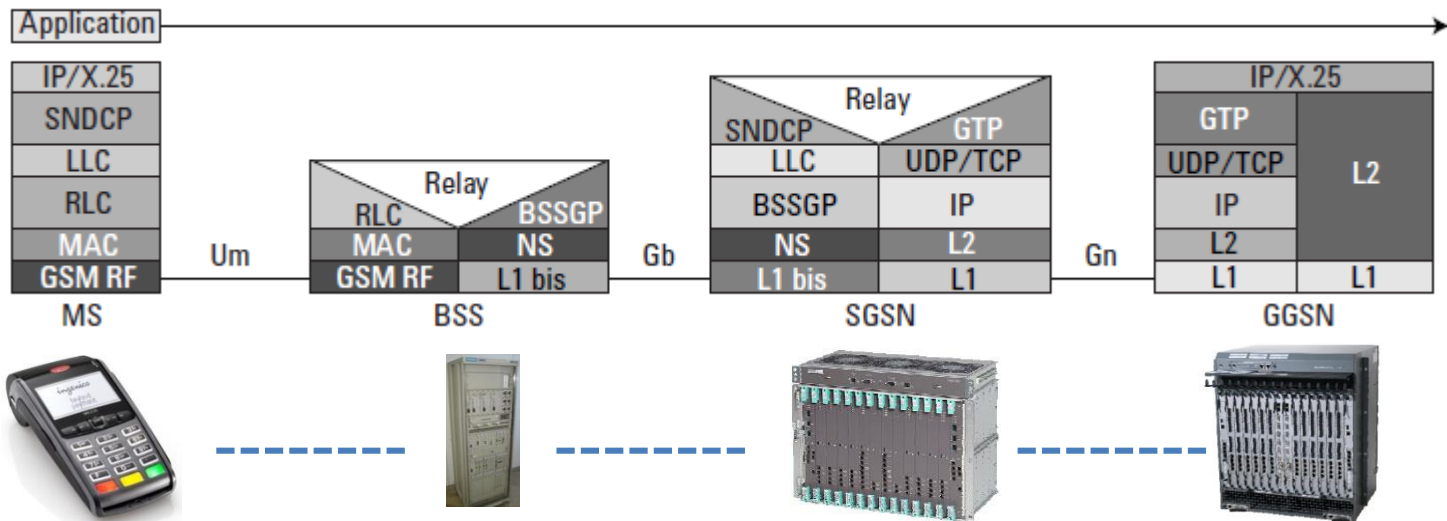
LTE



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

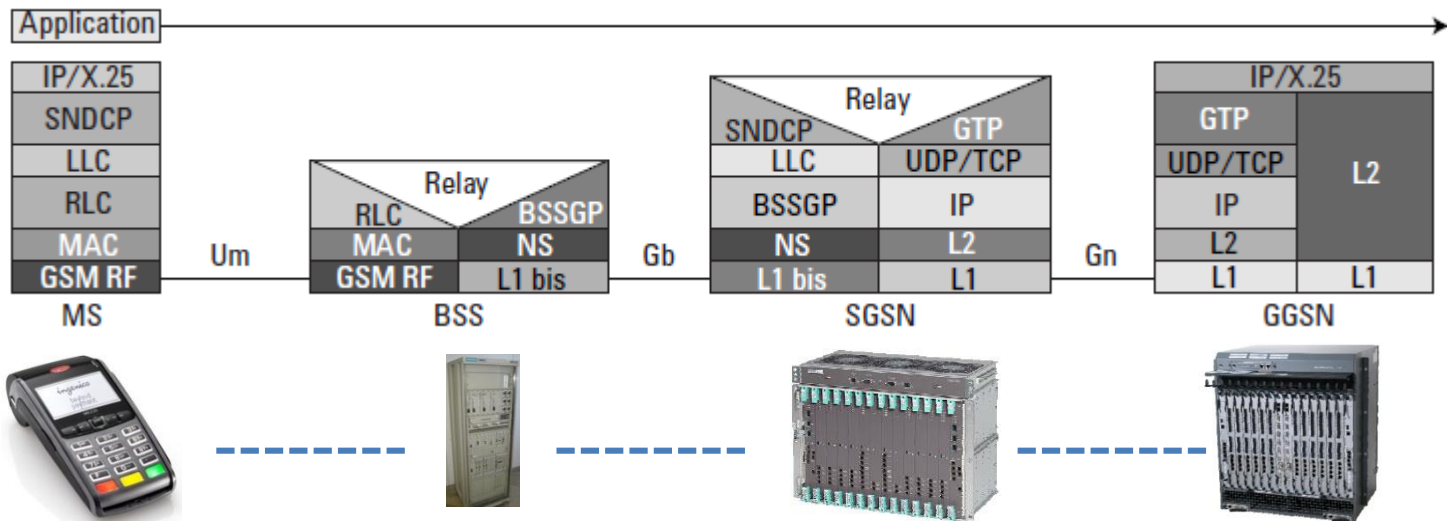
TCP: Transporta PDUs de manera fiable (retransmisiones/confirmaciones) a través de la interfaz G_n

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

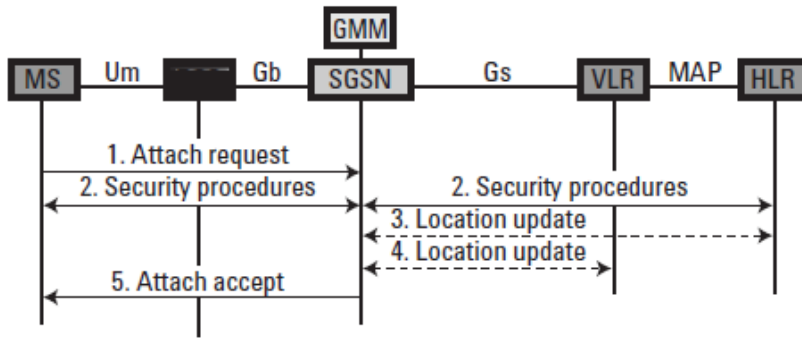
NS: Network Service; proporciona una conexión punto a punto entre el SGSN y la BSS

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

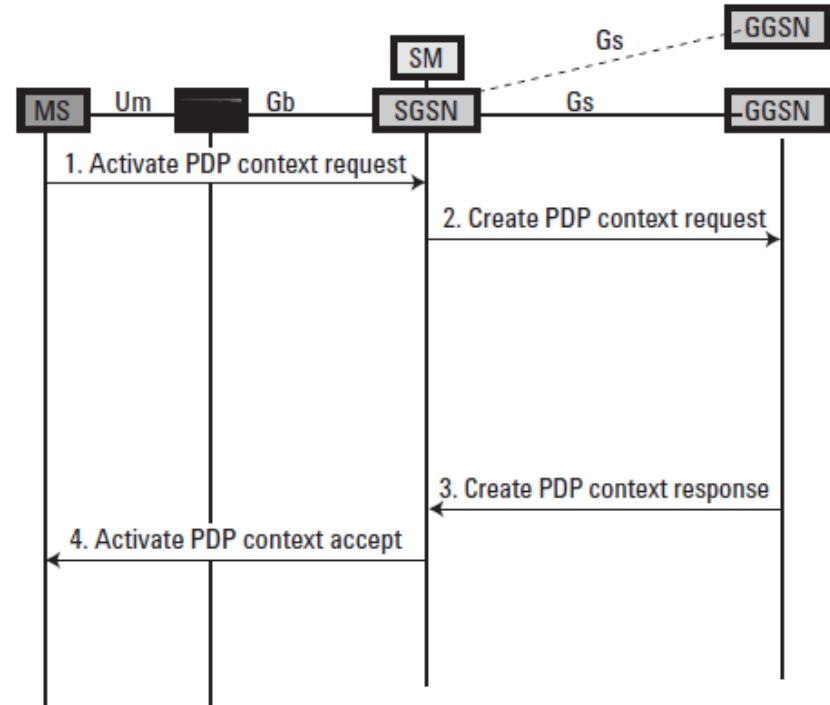


Proceso de GPRS Attach

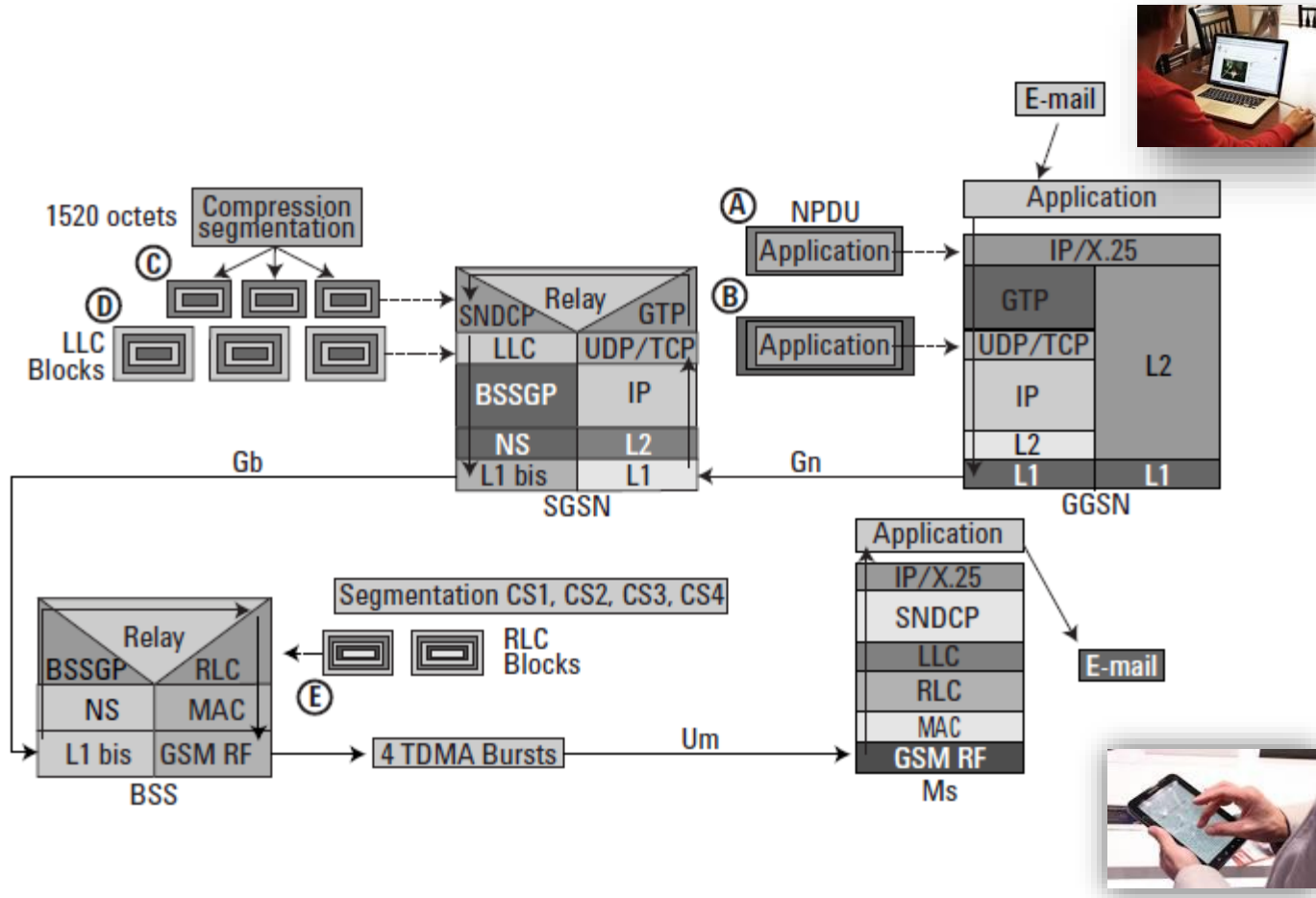
Iniciado por el terminal, hacia el SGSN y de manera transparente a la BSS.

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)

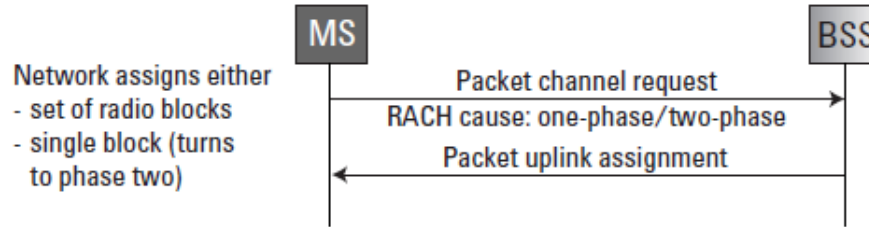


Transmisión de Paquetes

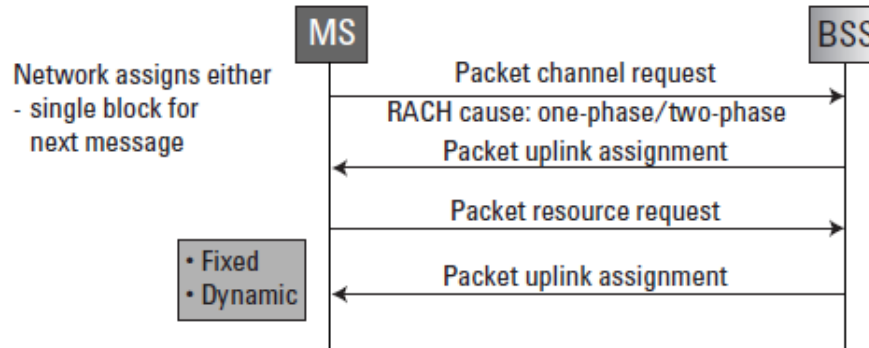


Transmisión de Paquetes

One-phase request

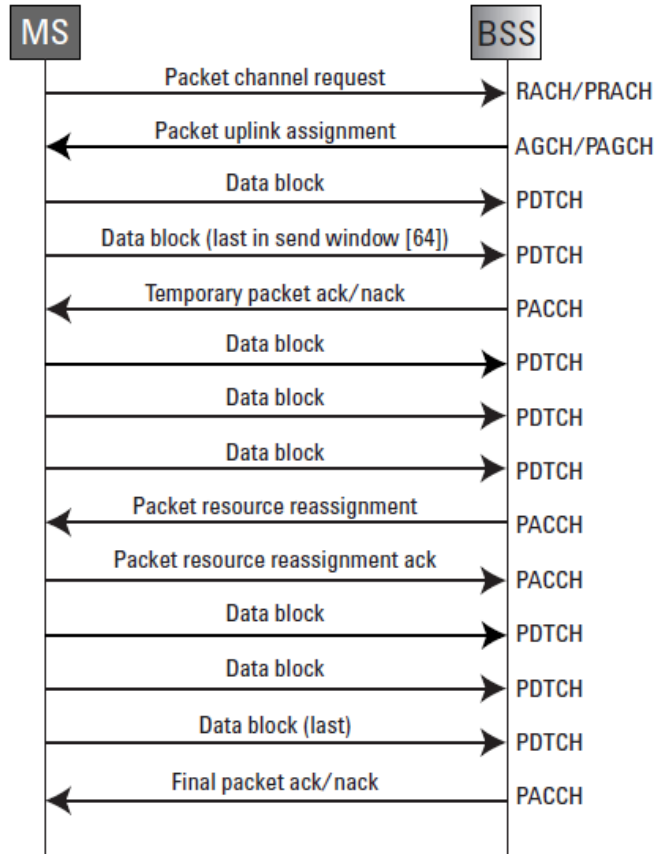


Two-phase request

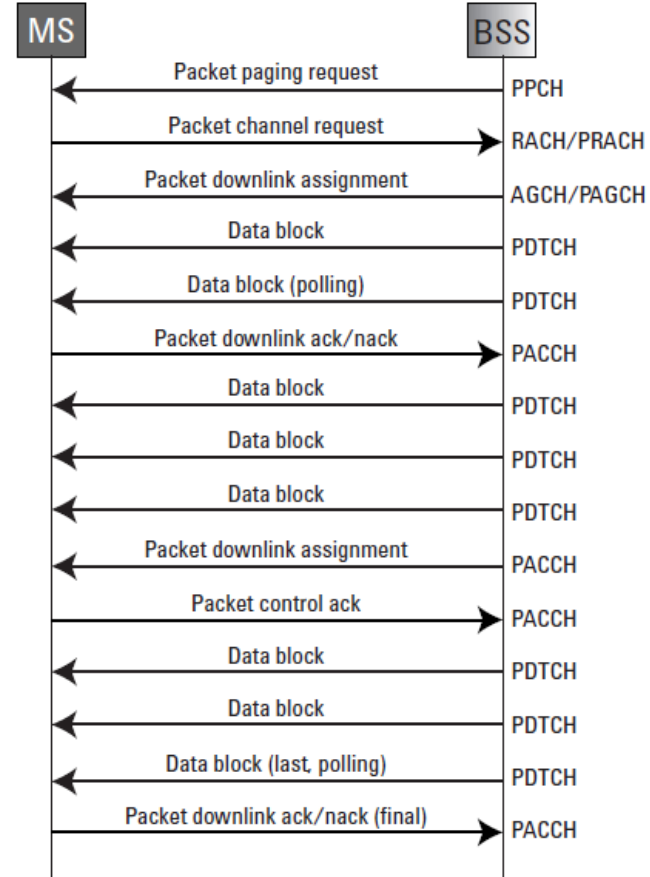


PRACH
 More capabilities
 - multislot class
 - priority level
 - # of Blocks required (1 - 8)

Transmisión de Paquetes

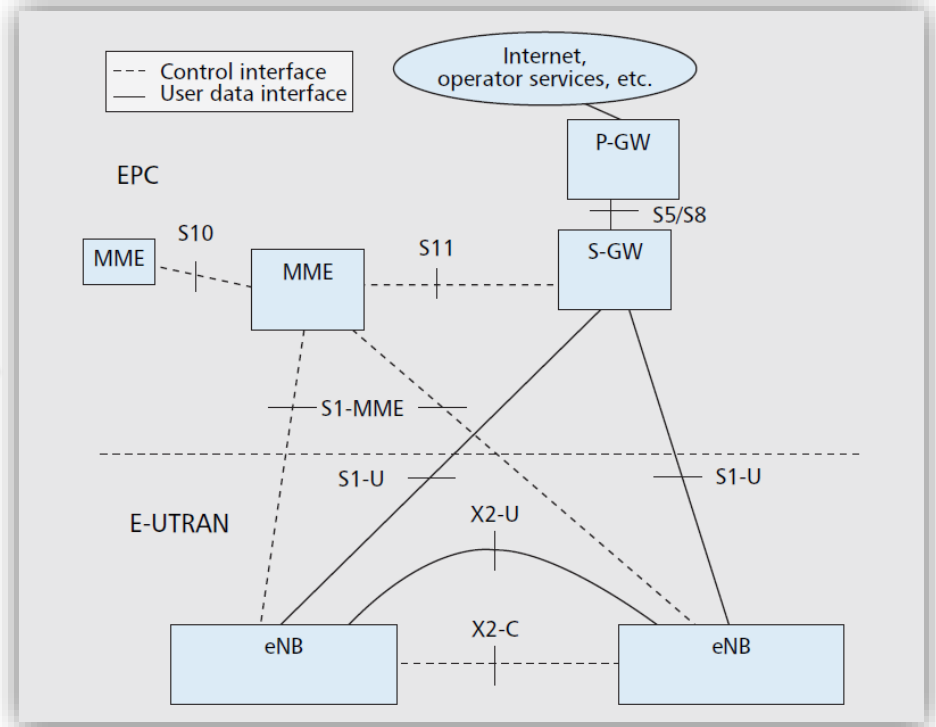
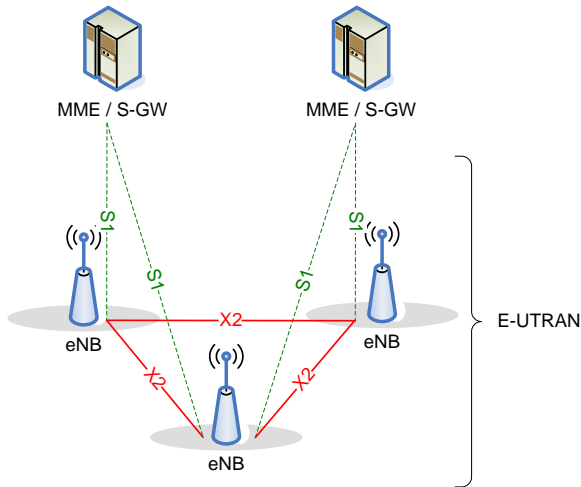


UL Data Transfer

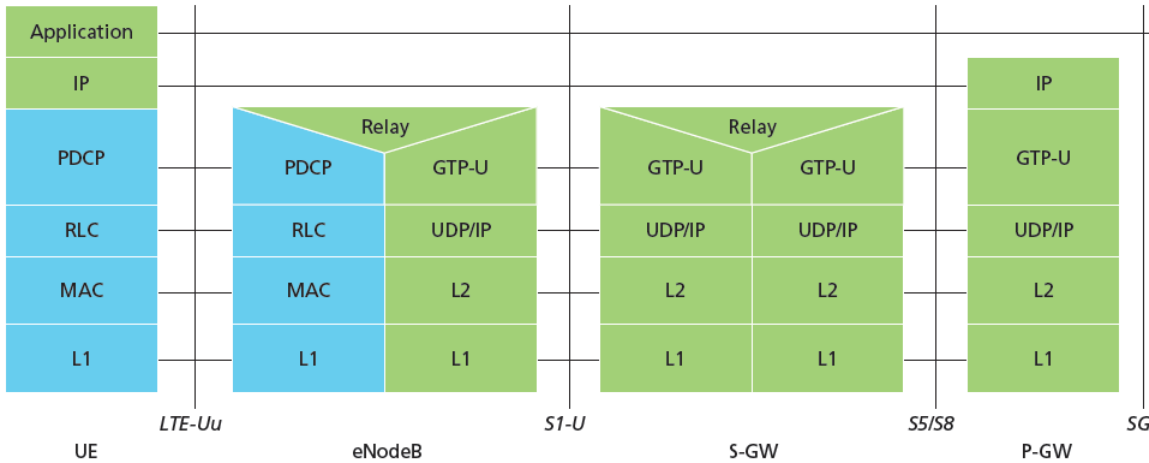


DL Data Transfer

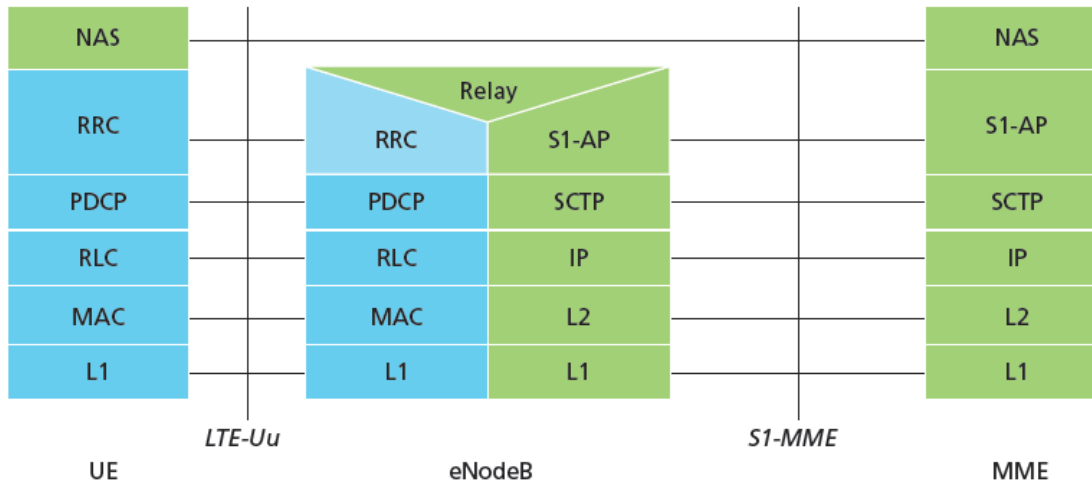
Transmisión de Paquetes-LTE



Transmisión de Paquetes-LTE

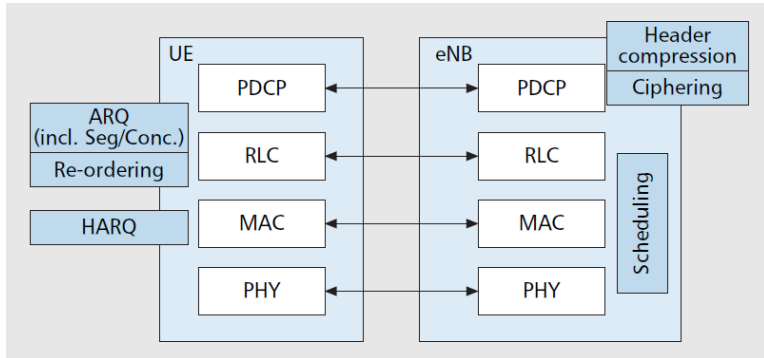


Pila de Protocolo
Plano de Usuario

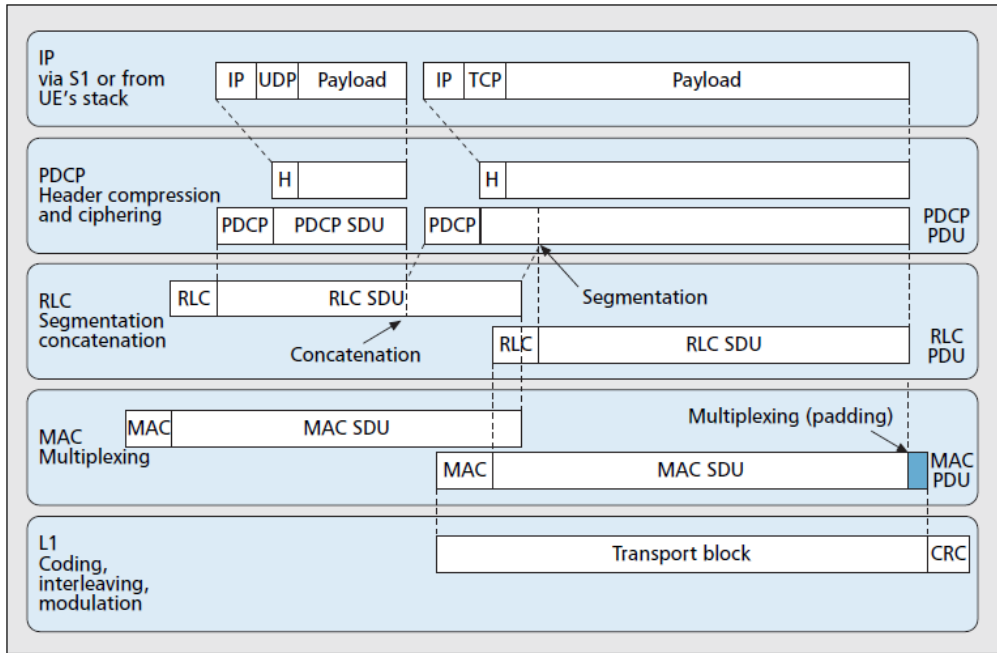


Pila de Protocolo
Plano de Control

Transmisión de Paquetes-LTE



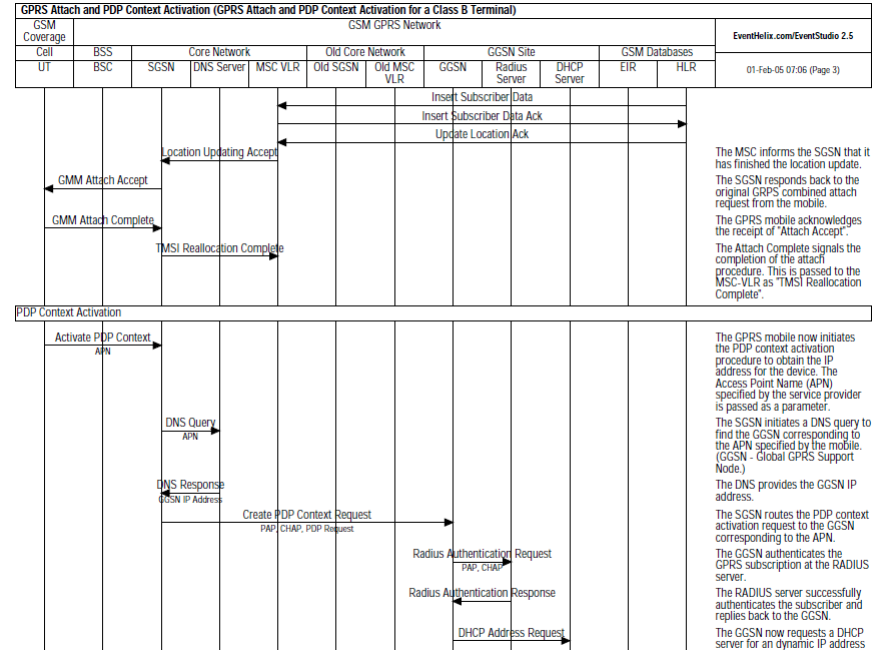
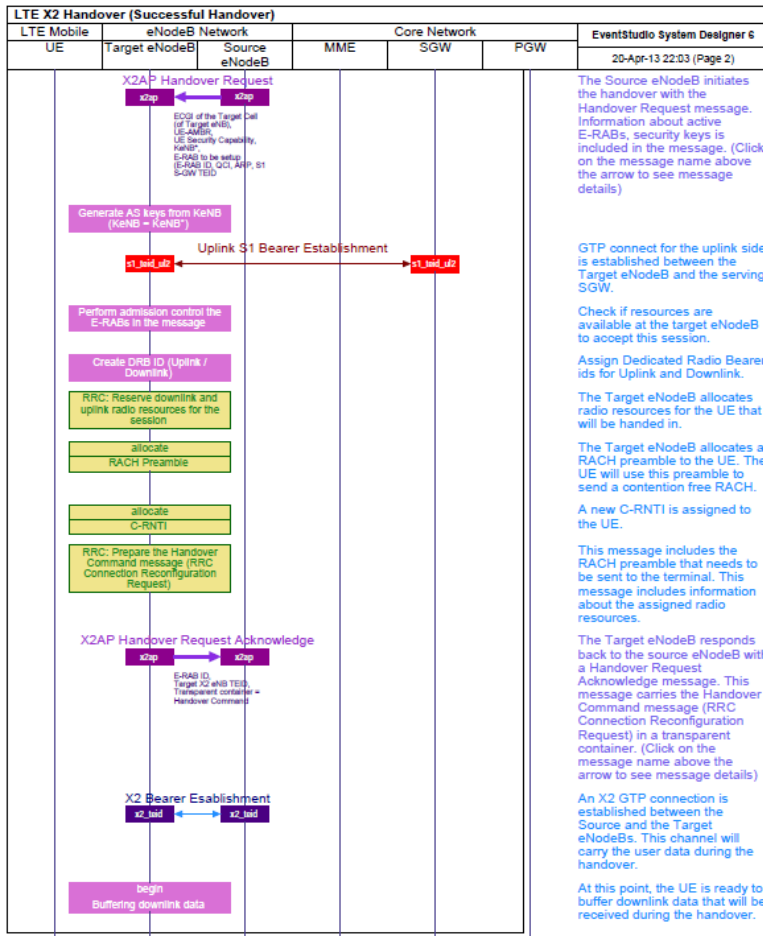
Plano de Usuario



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...