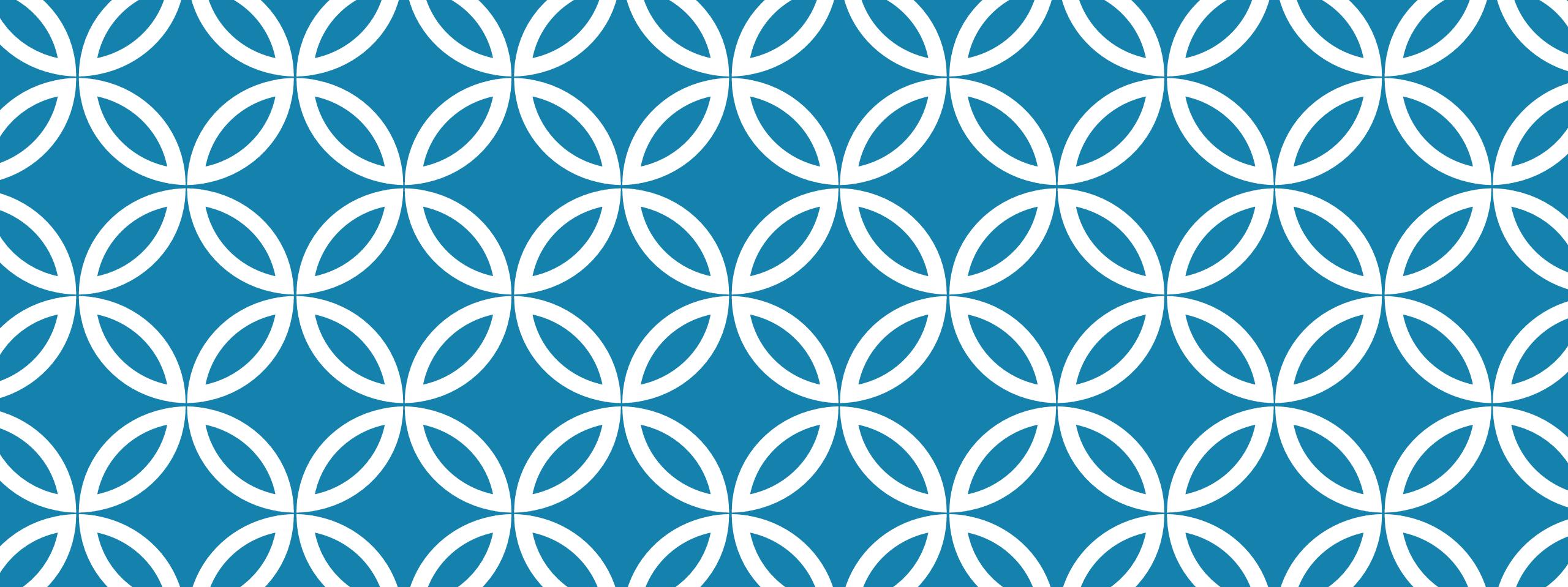




BIENVENIDOS

smartfactor



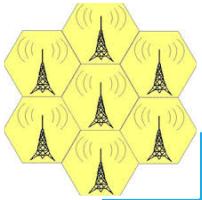
CURSO INTENSIVO PRINCIPIOS BÁSICOS DE LTE

PROGRAMA DE CURSOS INTENSIVOS EN TECNOLOGÍA LTE



Introducción a LTE, interfaces, canales y movilidad

- Motivación
- Arquitectura de Red
- Técnicas de transmisión
- Canales
- Movilidad



Técnicas de planificación y dimensionamiento LTE

- Diseño
- Planificación (PCI, RSI, ZCZ)
- Dimensionado (Hardware, canales físicos)

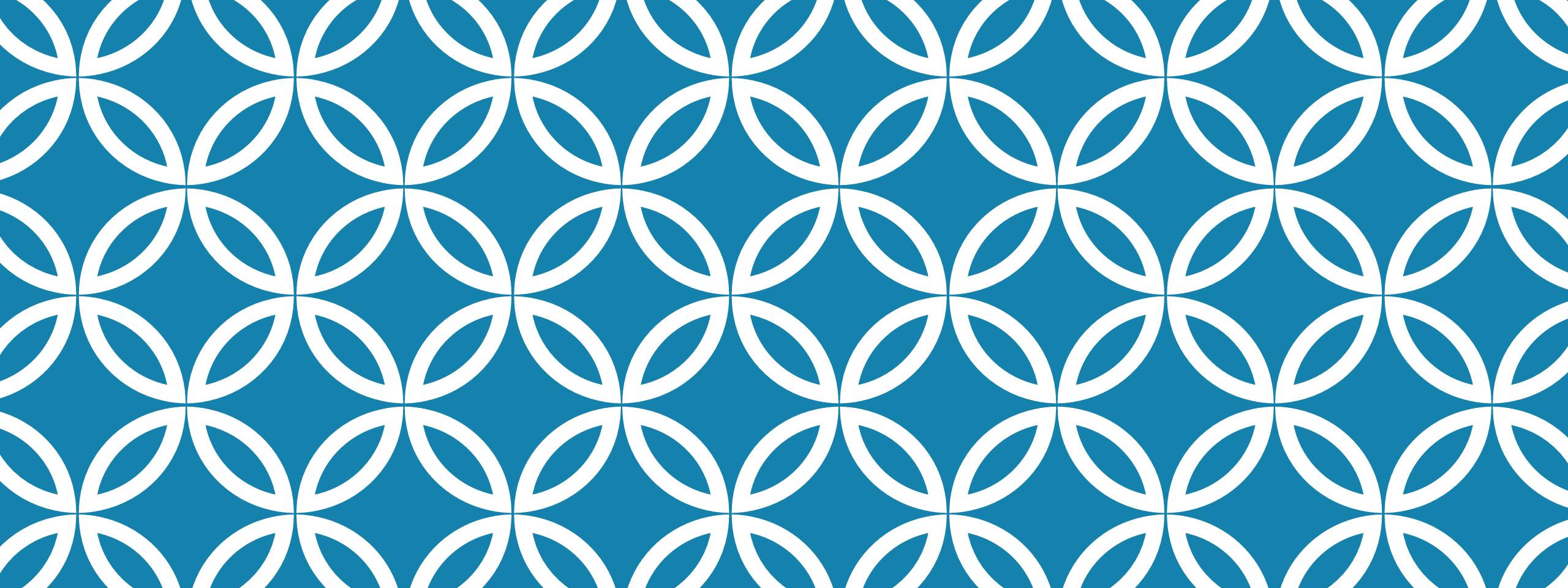


Ánalisis de Rendimiento en redes LTE

- Rendimiento
- Accesibilidad
- Integridad
- Movilidad
- VoLTE
- SON

PLAN DE CURSO

- Presentación
- Motivación
- Arquitectura de Red y Protocolos
- Principios básicos de la Red de Acceso
- Interfaz aire
- Canales
- RRM: Planificación de recursos
- RRM: Movilidad
- Dudas y preguntas



MOTIVACIÓN

Principios básicos de LTE

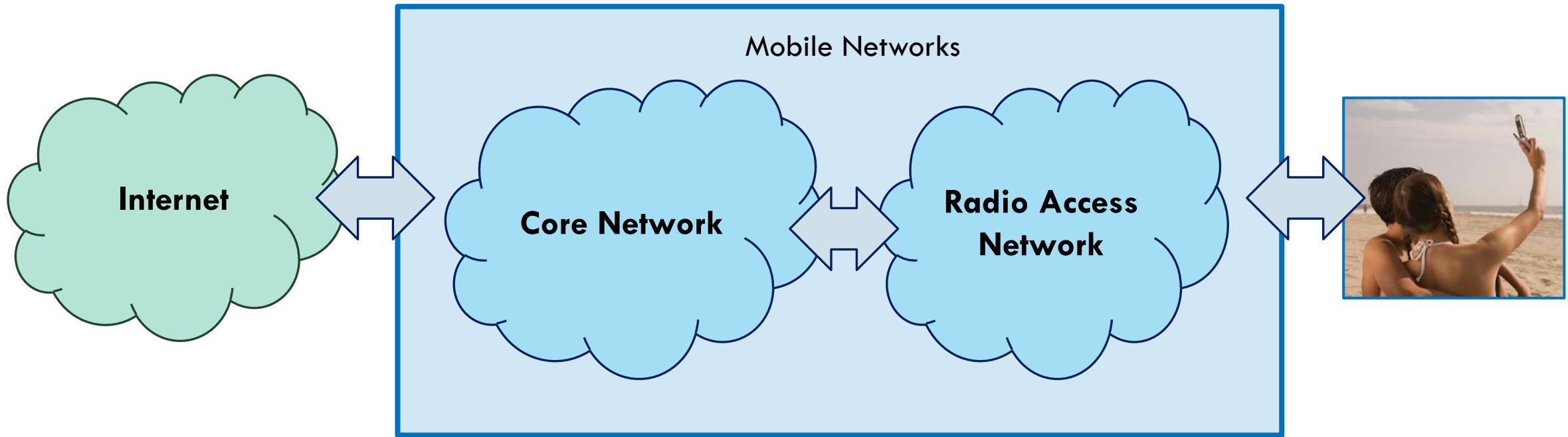
LTE... ¿POR QUÉ?

¿LTE? ¿Pero qué invento es esto?

¿Qué aporta que merezca gastarse millones de euros en desplegarlo?

¿Por qué merece la pena dar un curso de LTE?

RED MÓVIL CELULAR



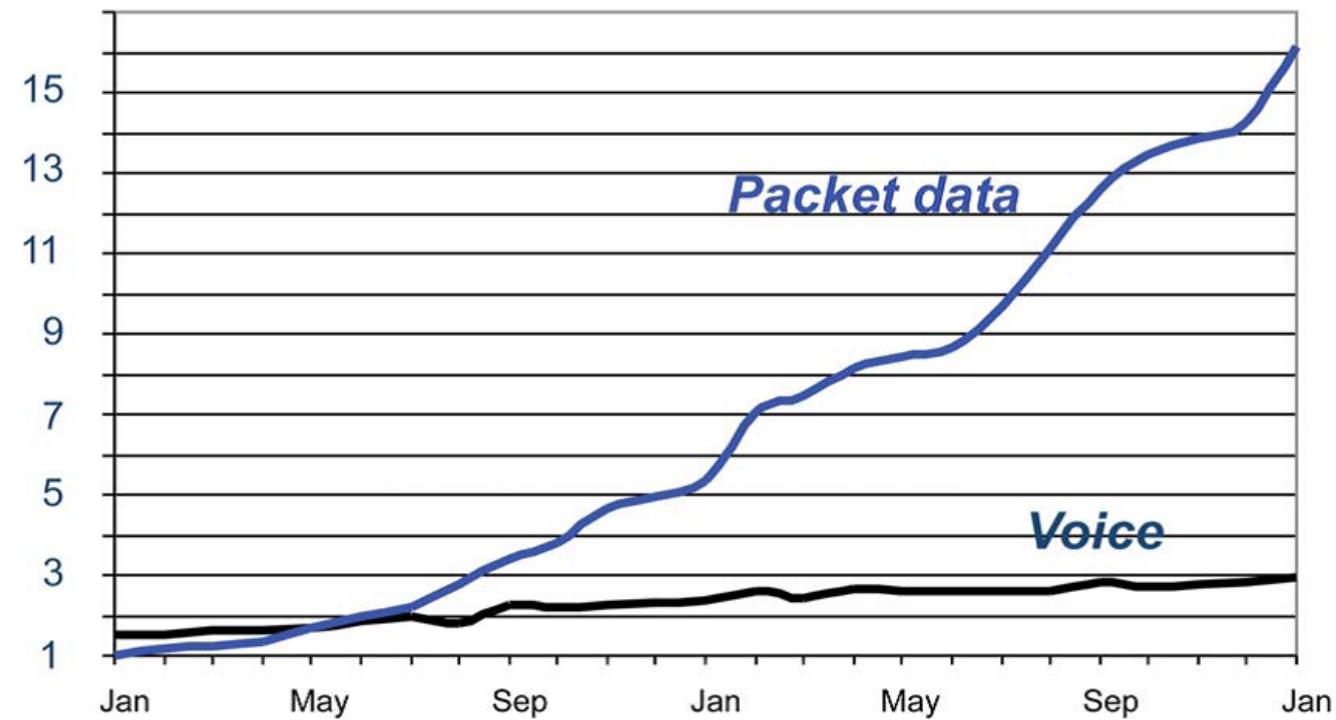
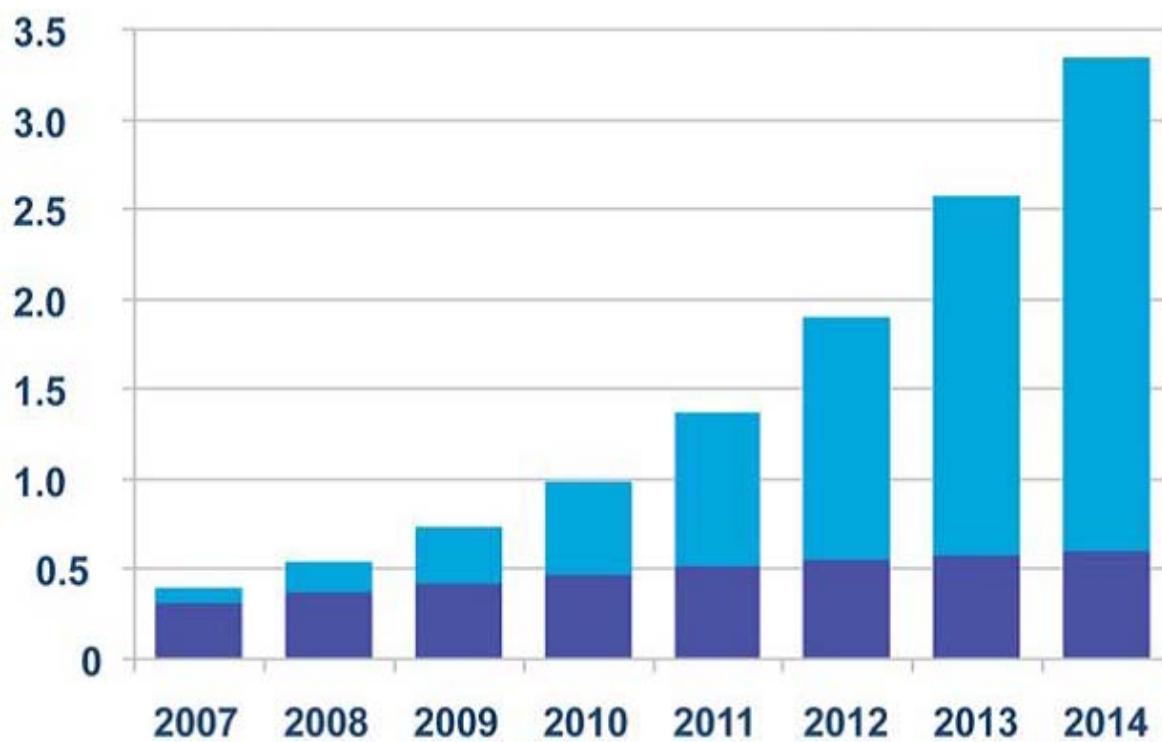
HABLEMOS CON PROPIEDAD

“LTE (Long Term Evolution) or the E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Access Network), introduced in 3GPP R8, is the access part of the Evolved Packet System (EPS). The main requirements for the new access network are high spectral efficiency, high peak data rates, short round trip time as well as flexibility in frequency and bandwidth.” *Magdalena Nohrborg, for 3GPP*

- 1. LTE es otra forma de llamar a E-UTRAN, la Red de Acceso Radio**
- 2. Equivalencias en tecnologías anteriores: UTRAN (3G) y GERAN (2G)**

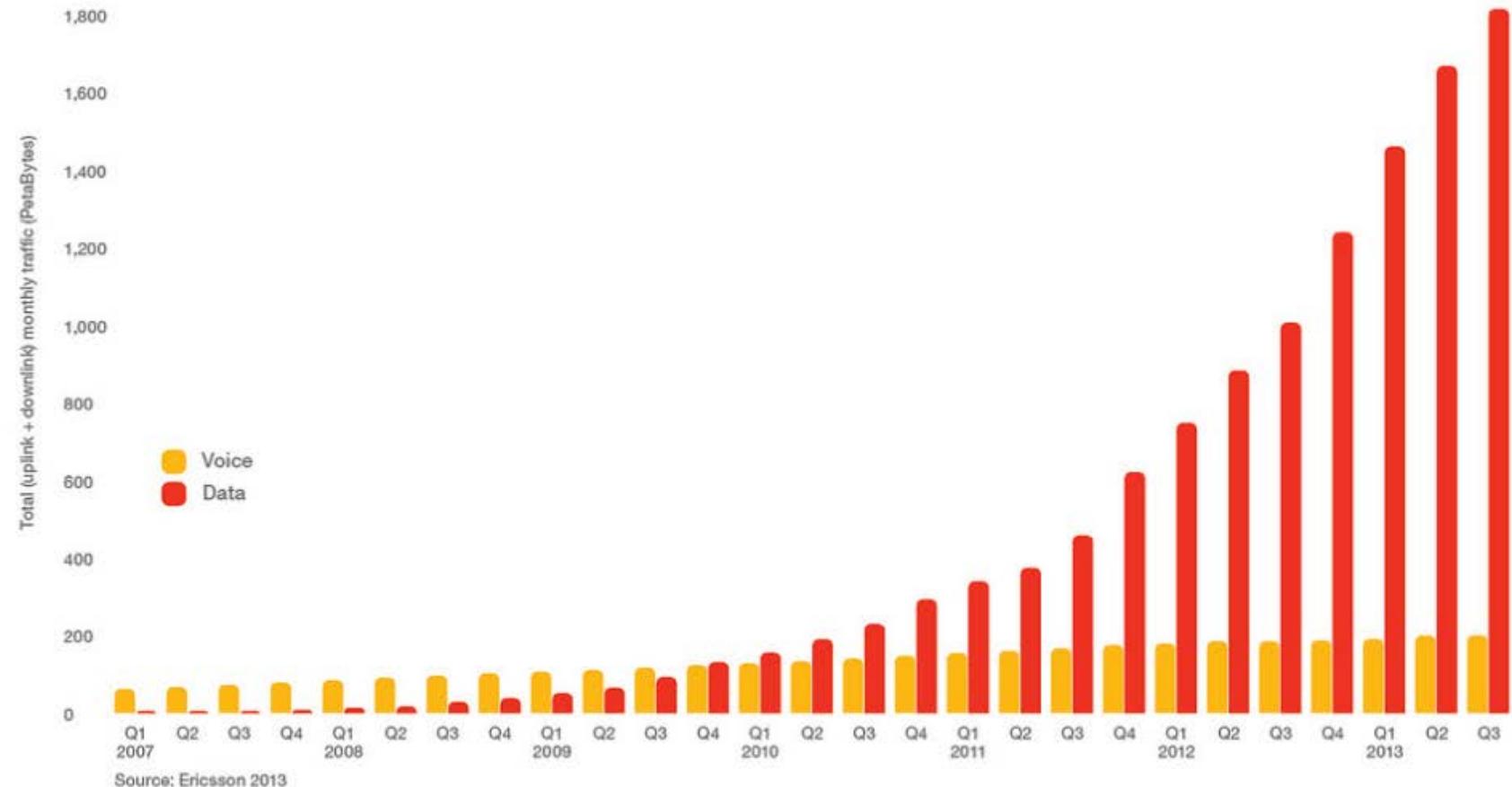
MOTIVACIÓN

Las estimaciones en 2009 auguraban lo imposible



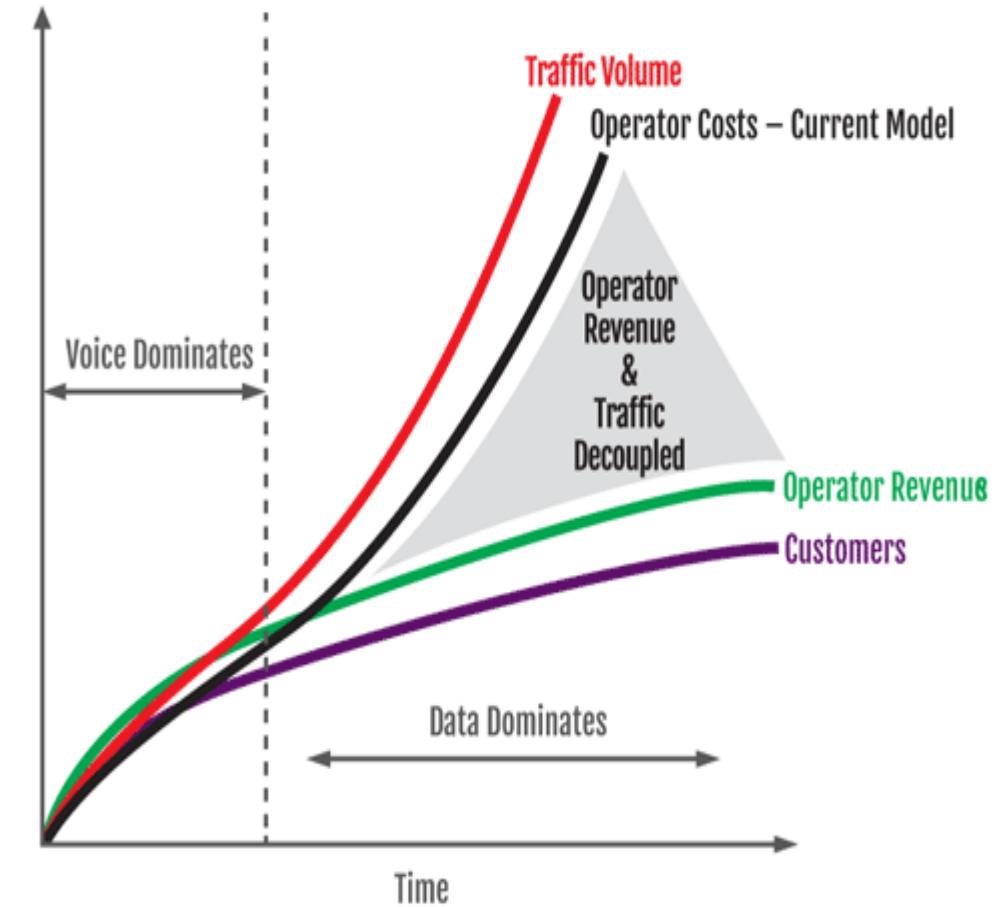
MOTIVACIÓN

¿O NO?



MOTIVACIÓN

- El tráfico y los beneficios de los operadores se han desacoplado con la irrupción de los smartphones
- La expansión de la Red para afrontar el incremento de tráfico tiene un horizonte complicado
- Necesidad de tecnología más eficiente

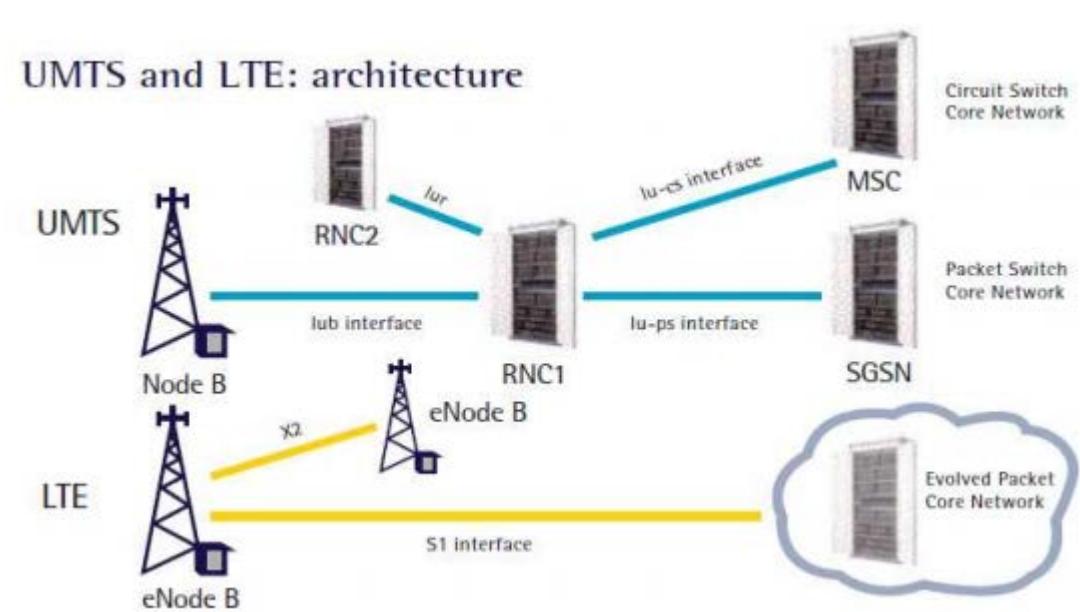


MOTIVACIÓN

1. Necesidad de mantener la competitividad en respuesta a la demanda creciente de los usuarios
2. Avanzar a un Sistema optimizado para conmutación de paquetes
3. Reducción de costes (CAPEX y OPEX)
4. Menor complejidad que redes anteriores
5. Evitar fragmentación

ARQUITECTURA SIMPLIFICADA

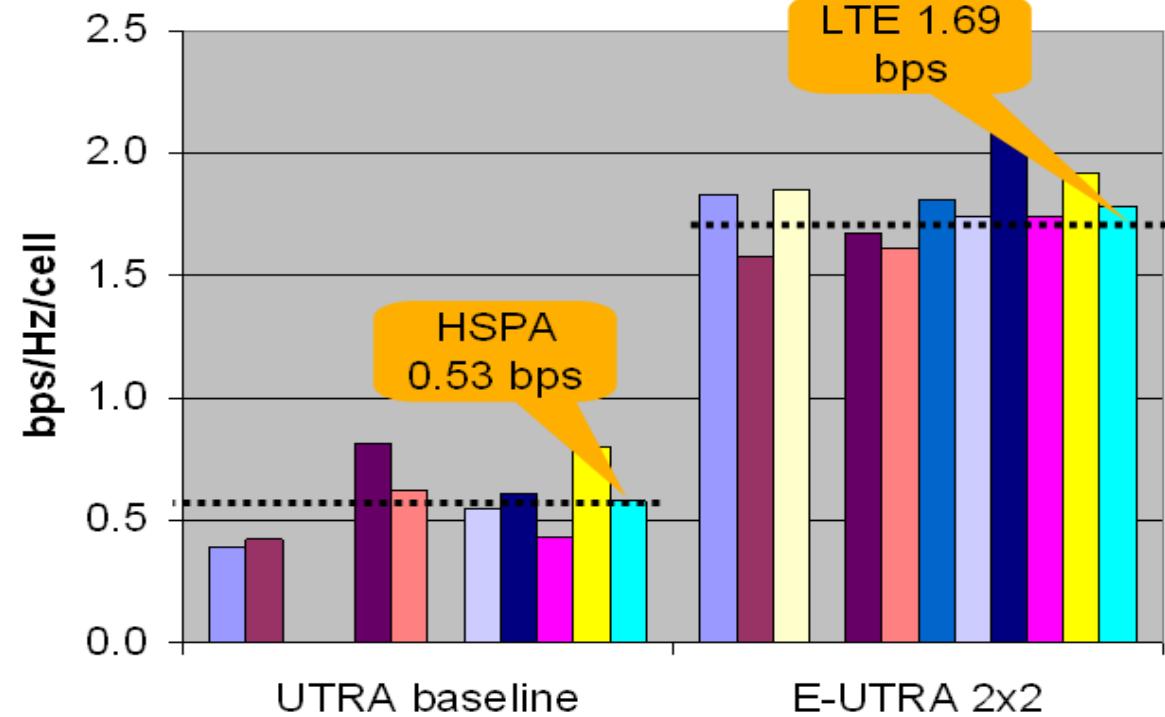
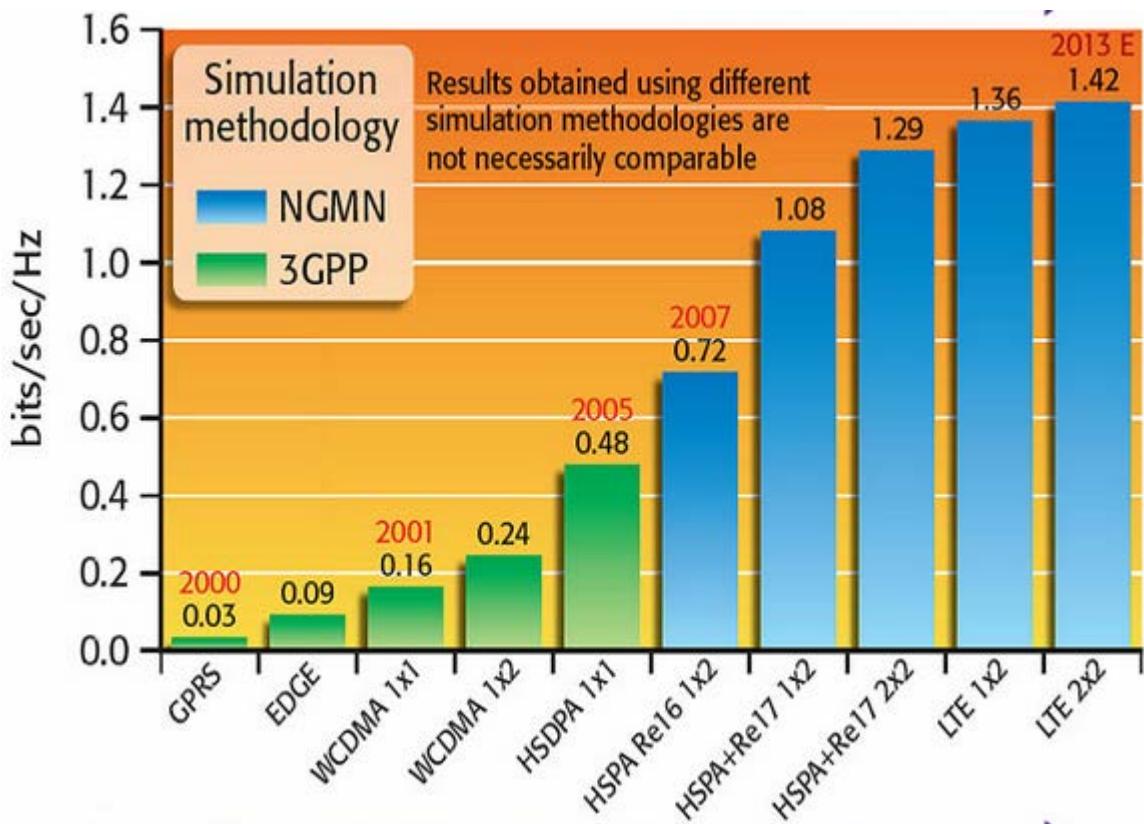
- Ausencia de controlador centralizado
- Los eNB se comunican entre sí
- Ausencia de tráfico CS, Core simplificado



Fuente: UMTS forum

EFICIENCIA ESPECTRAL

| |
|-------------------|
| Alcatel-Lucent |
| Ericsson |
| Huawei |
| InterDigital |
| Motorola |
| NEC |
| Nortel |
| Nokia-Siemens |
| Qualcomm |
| Samsung |
| Texax Instruments |
| Average |



EVOLUCIÓN DE LA EXPERIENCIA DE USUARIO



| Market impact | 2003 | 2006 | 2009 | 2010 | 2016 |
|----------------------------|-----------|-------------|--------------|------------|--------------|
| Peak rate | 384 kbps | 7 Mbps | 42 Mbps | ~150 Mbps | ~1 Gbps |
| Typical user rate downlink | ~200 kbps | 1–2 Mbps | 2–10 Mbps | 10–20 Mbps | ~30–100 Mbps |
| Typical user rate uplink | 64 kbps | 64–884 Mbps | 0.5–4.5 Mbps | 5–10 Mbps | ~10–60 Mbps |

Pero ¿a cuántos usuarios?

THROUGHPUT EN LTE

Downlink [Mbit/s]

| Modulación | Ancho de banda Resource blocks MIMO | 1.4 MHz | 3.0 MHz | 5.0 MHz | 10 MHz | 15 MHz | 20 MHz |
|------------|---|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
| | | 6 | 15 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| QPSK | Single stream | 0.9 | 2.3 | 4.0 | 8.0 | 11.8 | 15.8 |
| 16QAM | Single stream | 1.9 | 5.0 | 8.0 | 16.4 | 24.5 | 32.9 |
| 64QAM | Single stream | 4.4 | 11.1 | 18.3 | 36.7 | 55.1 | 75.4 |
| 64QAM | 2x2 MIMO | 8.8 | 22.2 | 36.7 | 73.7 | 110.1 | 149.8 |

Uplink [Mbit/s]

| Modulación | Ancho de banda Resource blocks MIMO | 1.4 MHz | 3.0 MHz | 5.0 MHz | 10 MHz | 15 MHz | 20 MHz |
|------------|---|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
| | | 6 | 15 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| QPSK | Single stream | 1.0 | 2.7 | 4.4 | 8.8 | 13.0 | 17.6 |
| 16QAM | Single stream | 2.8 | 7.0 | 11.4 | 22.9 | 35.2 | 46.9 |

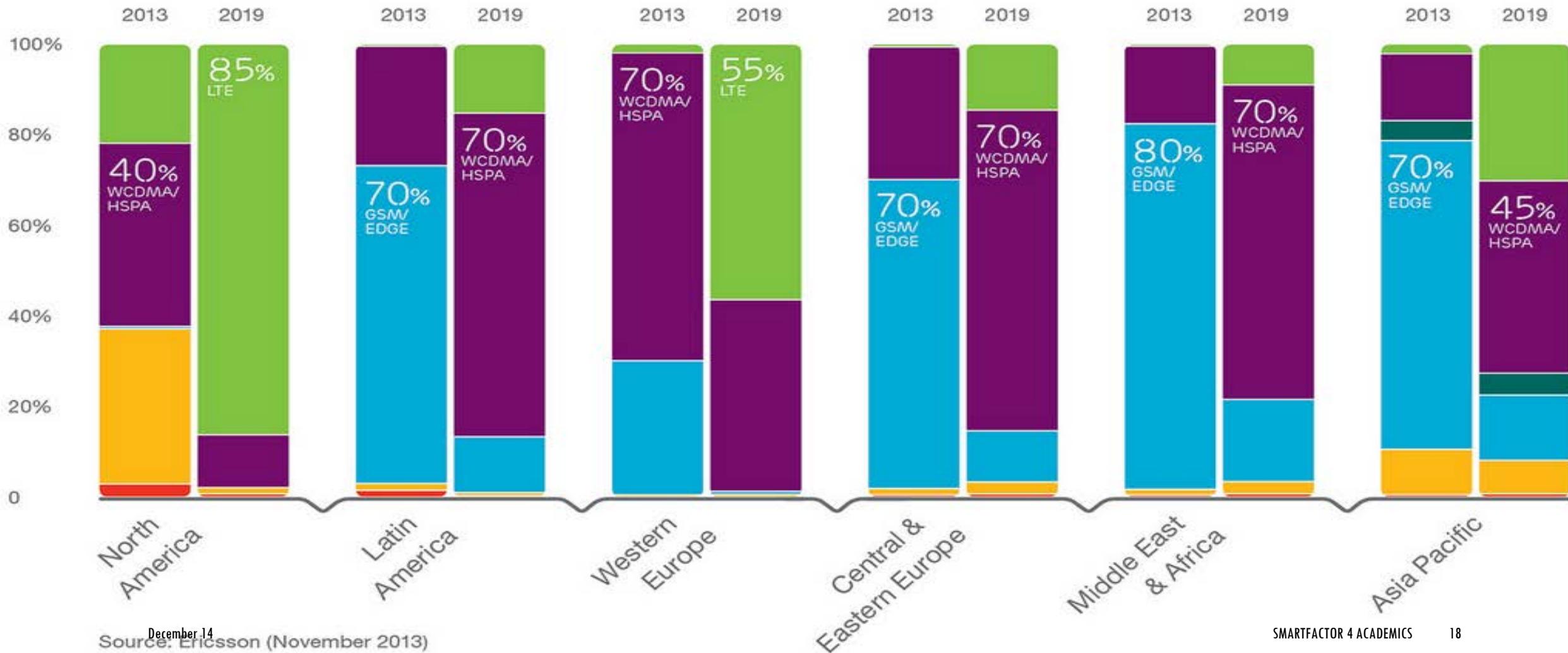
FORMARSE EN LTE

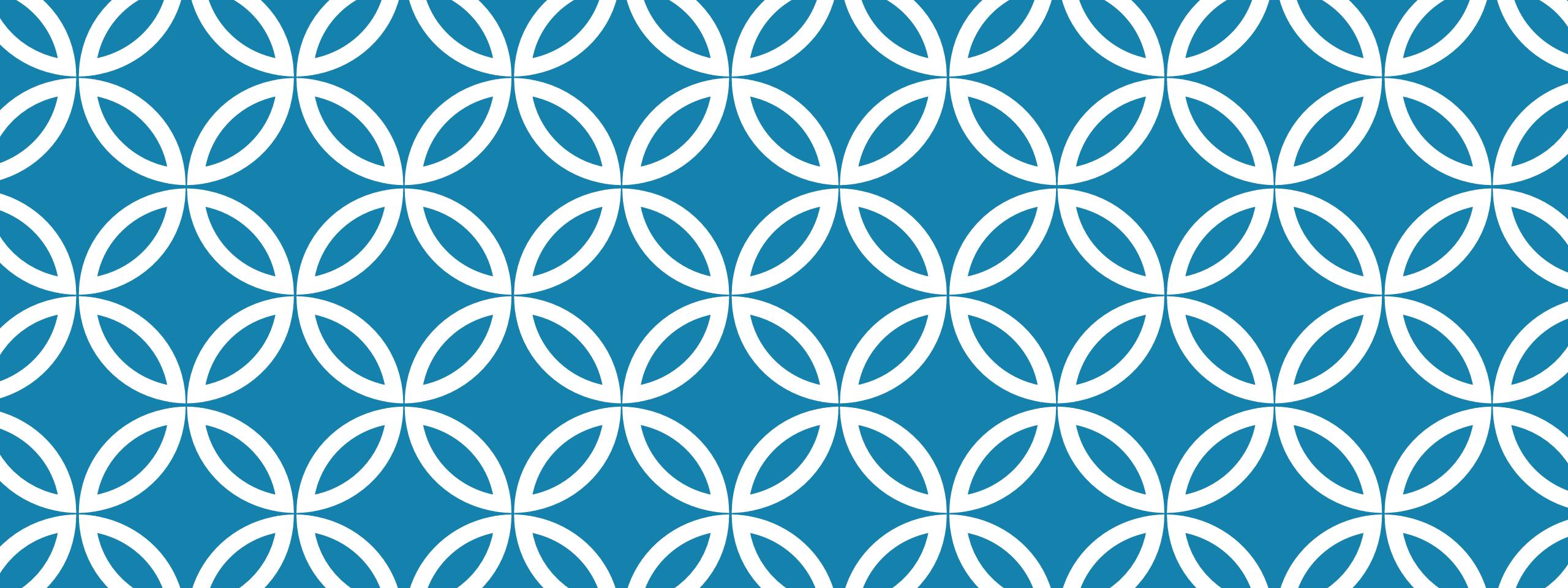
1. Riesgo de obsolescencia por focalización laboral en tecnologías previas **DEBILIDAD**
2. Escasa documentación oficial pero fácil acceso online **AMENAZA**
3. Barreras de entrada elevadas en el sector **FORTALEZA**
4. Más simple que el 3G, menos limitado que el 2G
5. Rupturista con tecnologías de acceso previas **OPORTUNIDAD**



- LTE/HSPA/GSM and LTE/CDMA
- HSPA/GSM
- GSM/EDGE-only
- TD-SCDMA/GSM
- CDMA-only
- Other

Mobile subscriptions





LTE: LA RED DE ACCESO RADIO

Principios Básicos de LTE

¿QUÉ ES UNA RED DE ACCESO RADIO?

EVOLUCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE ACCESO

| Date | System | Peak data rate | Channel Bandwidth | Frequency reuse | Peak Spectral efficiency | Normalized efficiency |
|------|----------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|
| 1985 | AMPS | 9.6 kbps | 30 kHz | 7 / 21 | 0.015 | 1 |
| 1992 | GSM | 9.6 – 14.4 kbps | 200 kHz | 4 / 12 | 0.032 - 0.048 | 2.1 – 3.2 |
| 1997 | GPRS | 171 kbps | 200 kHz | 4 / 12 | .07 | 4.7 |
| 2000 | EDGE | 474 kbps | 200 kHz | 4 / 12 | 0.2 | 13.3 |
| 2003 | W-CDMA | 2 Mbps | 5 MHz | 1 | 0.4 | 26.6 |
| 2006 | HSDPA | 14 Mbps | 5 MHz | 1 | 2.8 | 187 |
| 2009 | HSDPA+ 64QAM & 2x2 MIMO | 42 Mbps | 5 MHz | 1 | 8.4 | 560 |
| 2011 | LTE | 100 Mbps | 20 MHz | 1 | 5 | 333 |
| 2012 | LTE 2x2 MIMO | 172.8 Mbps | 20 MHz | 1 | 8.6 | 576 |
| 2013 | LTE 4x4 MIMO | 326.4 Mbps | 20 MHz | 1 | 16.3 | 1087 |
| 2015 | IMT-Advanced targets | 1 Gbps | 100 MHz | 1 | 10 | 667 |

LECCIONES APRENDIDAS DE UMTS

- Elevada complejidad del Núcleo de red en 3G en: Equipos Protocolos y Señalización Lo que se traduce en costes y latencia altos.
- Uso poco eficiente de la anchura de Banda. Se ocupan 5 MHz cualquiera que sea la tasa binaria, por ejemplo voz a 12,2 kb/s o datos a 384 kb/s.
- Prevalencia inicial de CS, aunque en 3,5G ya se da protagonismo a PS.

LECCIONES APRENDIDAS DE HSPA+

- Buen desempeño (performance) de los turbo códigos.
- Ventajas notorias de la planificación (Scheduling).
- Buen desempeño de la técnica AMC (Adaptive Modulation and Coding)
- Ventajas de la técnica ARQ “inteligente”: HARQ. (Hybrid-ARQ)

REQUISITOS LTE

LTE se define en 3GPP Rel 8 y Rel 9 con los siguientes requisitos para la E-UTRAN

- Eficiencia espectral downlink 3 veces superior al HSDPA Rel 6
- Eficiencia espectral uplink 2-3 veces superior a HSUPA Rel 6
- Throuhput de 100 Mbps en DL y 50 en UL
- RRT menor de 10 ms

CLAVES DE LTE

- Se utilizan nuevas técnicas de modulación y multiacceso: OFDMA y SC-FDMA.
- Se emplea la tecnología MIMO para aprovechar la propagación multirayecto.
- TTI de sólo 1 ms
- Modulaciones de hasta 64 QAM
- Comunicación IP extremo a extremo (EPS)
- Permite servicios de real time (VoLTE) desde 3GPP Rel 9
- Implementación progresiva de técnicas de organización autónoma de redes (Self-Organized Networks o SON)
- RRM más sencilla que en UMTS

LTE-ADVANCE

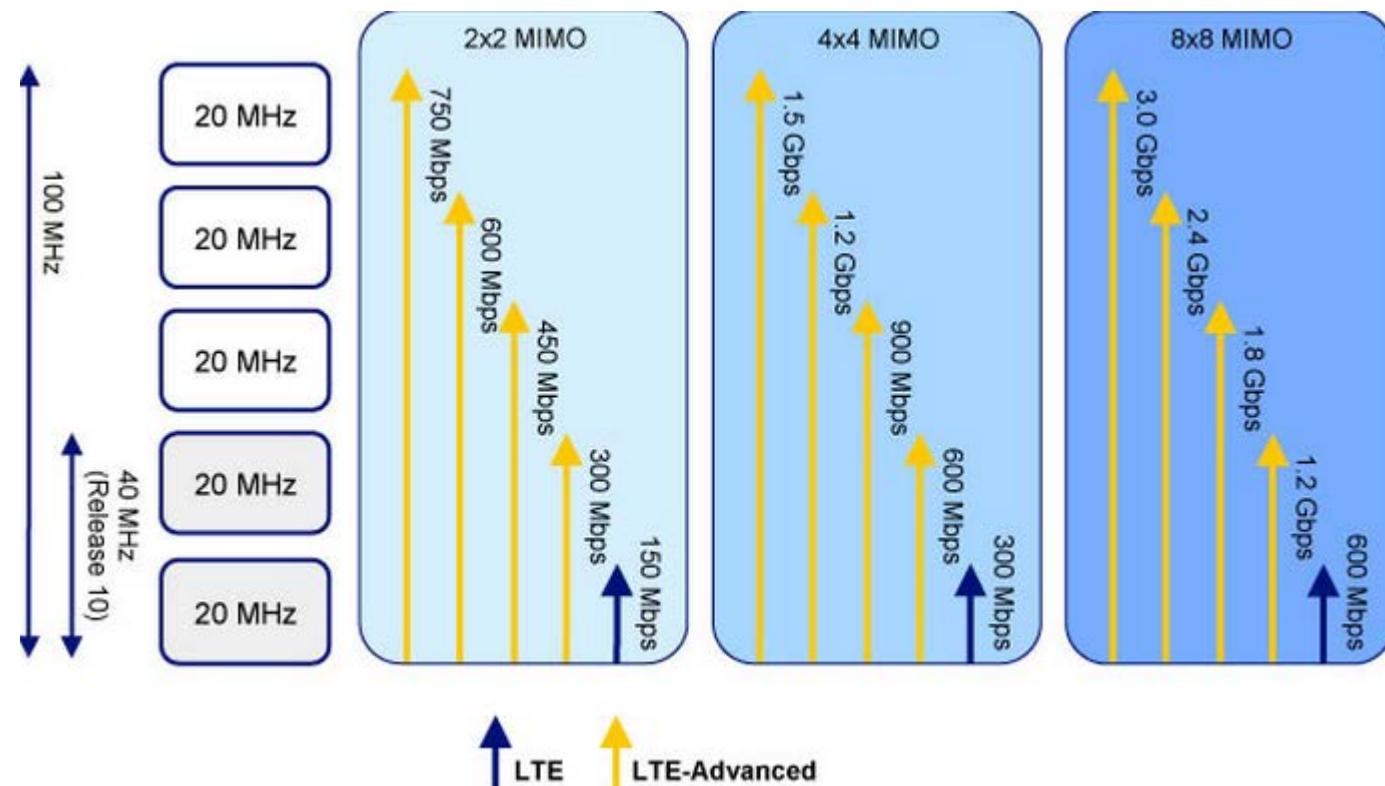
- LTE-Advance es el siguiente nivel de LTE
- Cumplirá todos los requisitos de la ITU para redes 4G
- Comienza en la Release 10 del 3GPP con los siguientes requisitos:
 - Mayor eficiencia espectral que LTE
 - Throuhput de 1 Gbps en DL y 500 Mbps en UL
 - RRT menor de 5 ms

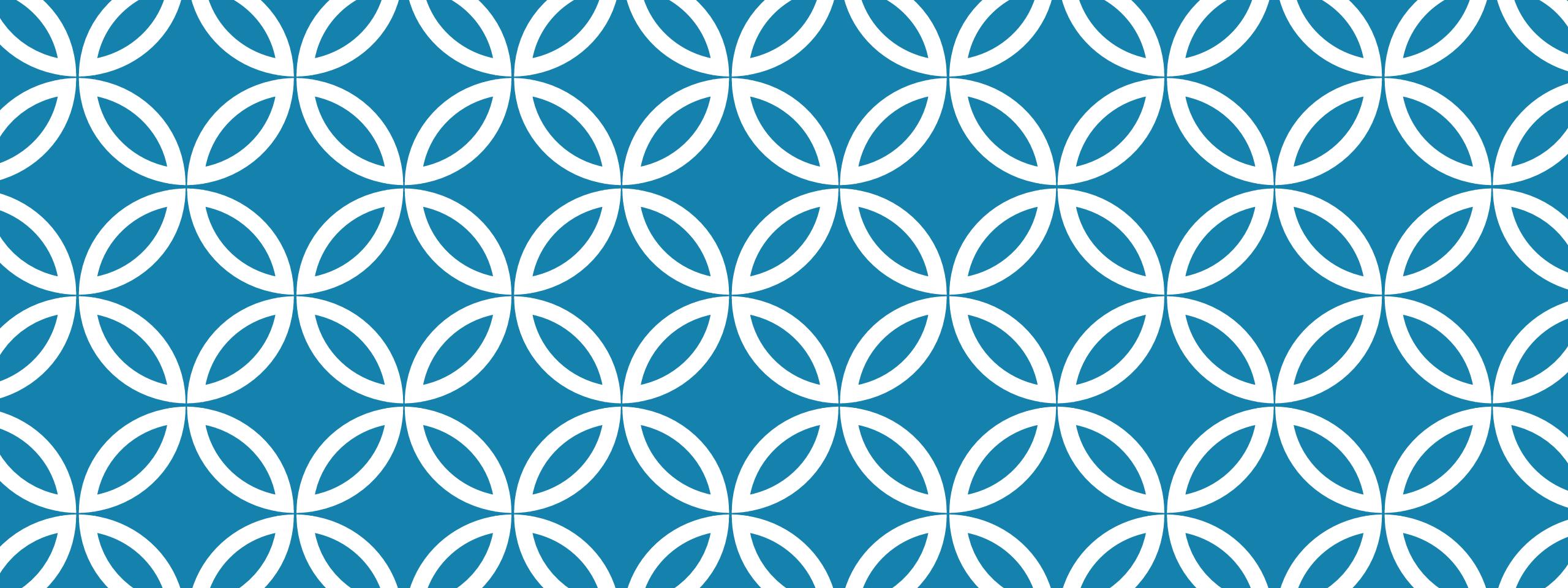
LTE-ADVANCE

Características principales

- Agregación de portadora (hasta 100 MHz)
- MIMO mejorado en DL (hasta 8x8)
- MIMO mejorado en UL (hasta 4x4)
- Repetidores LTE
- Femto celdas y funciones RRM asociadas: Concepto de redes heterogéneas
- Co-ordinated Multi-Point transmisión (CoMP)

LTE-ADVANCE

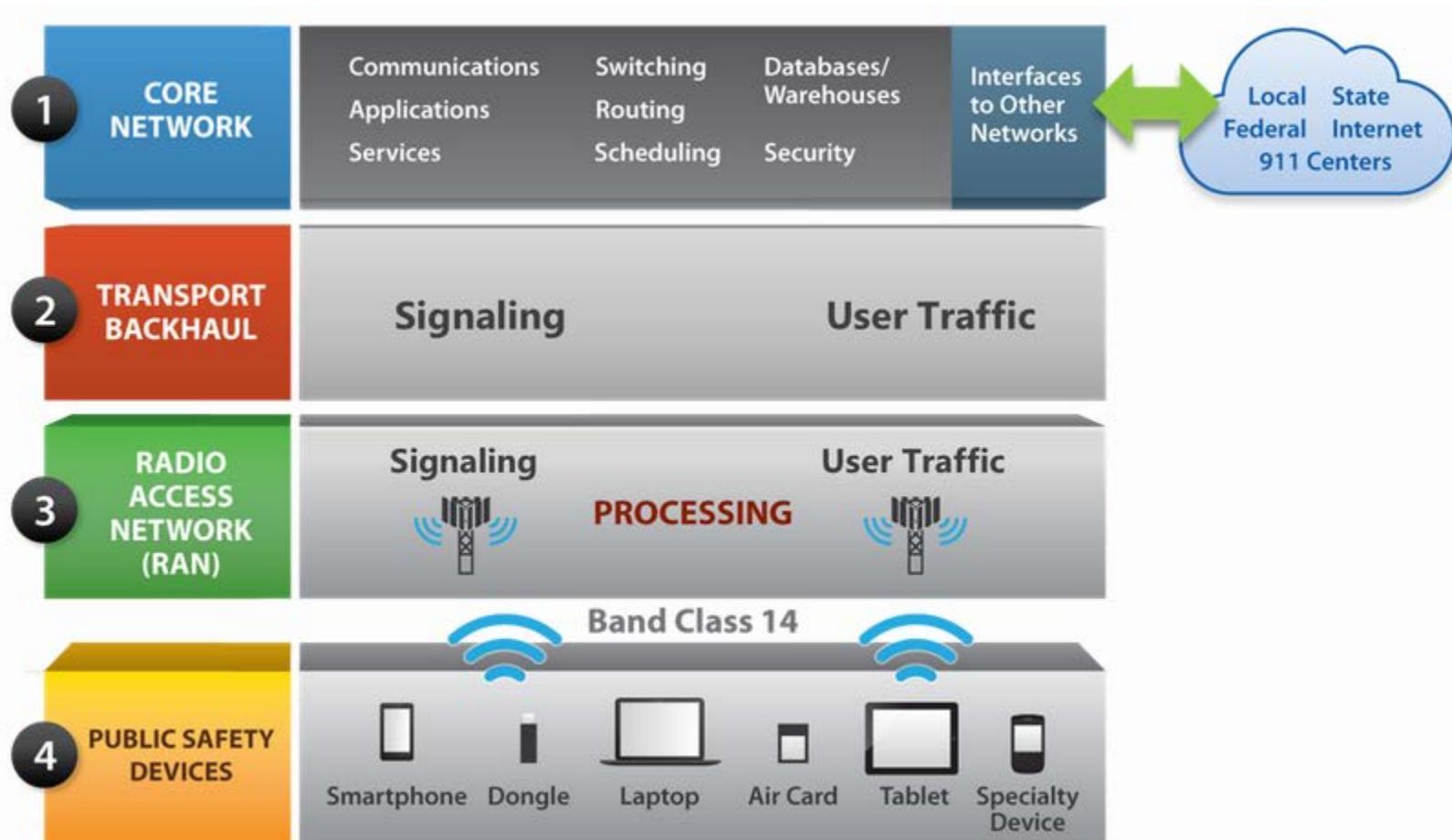




ARQUITECTURA DE RED

Principios Básicos de LTE

ELEMENTOS DE REDES CELULARES

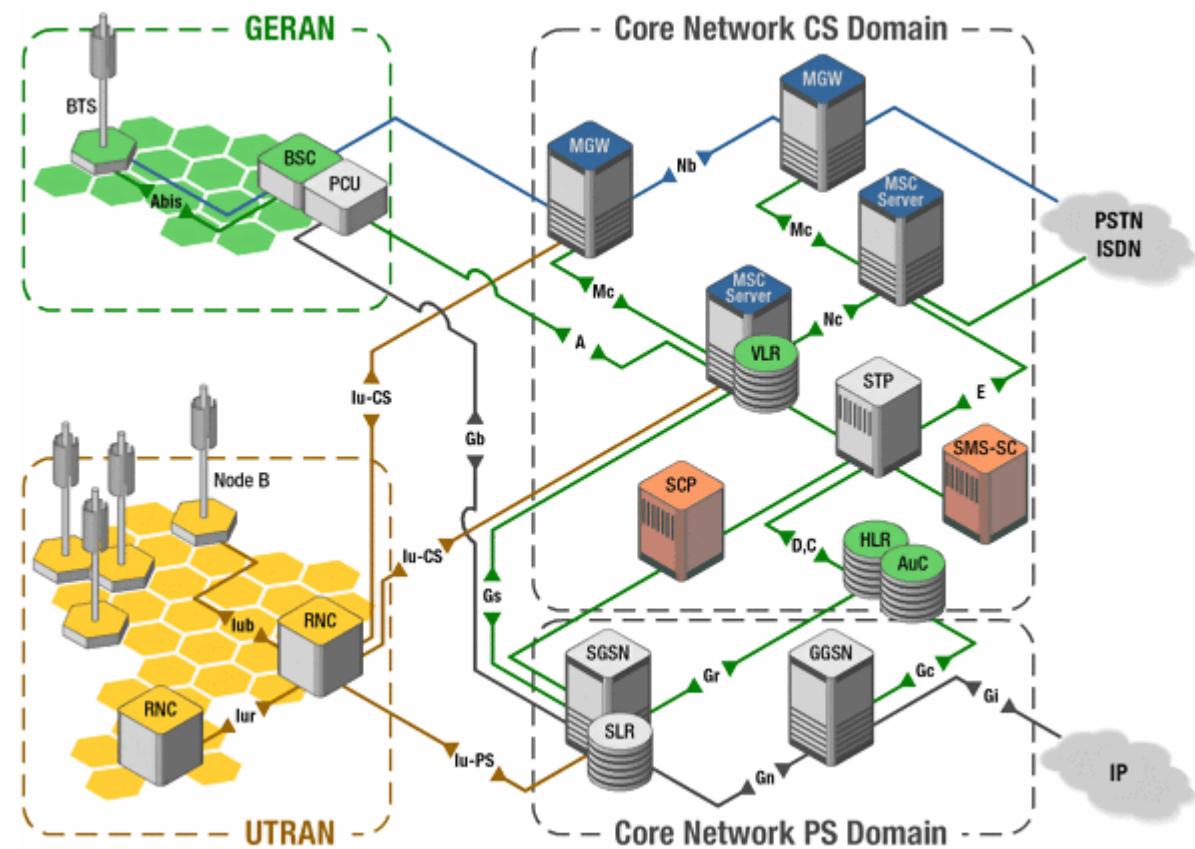


ARQUITECTURA DE RED 2G-3G

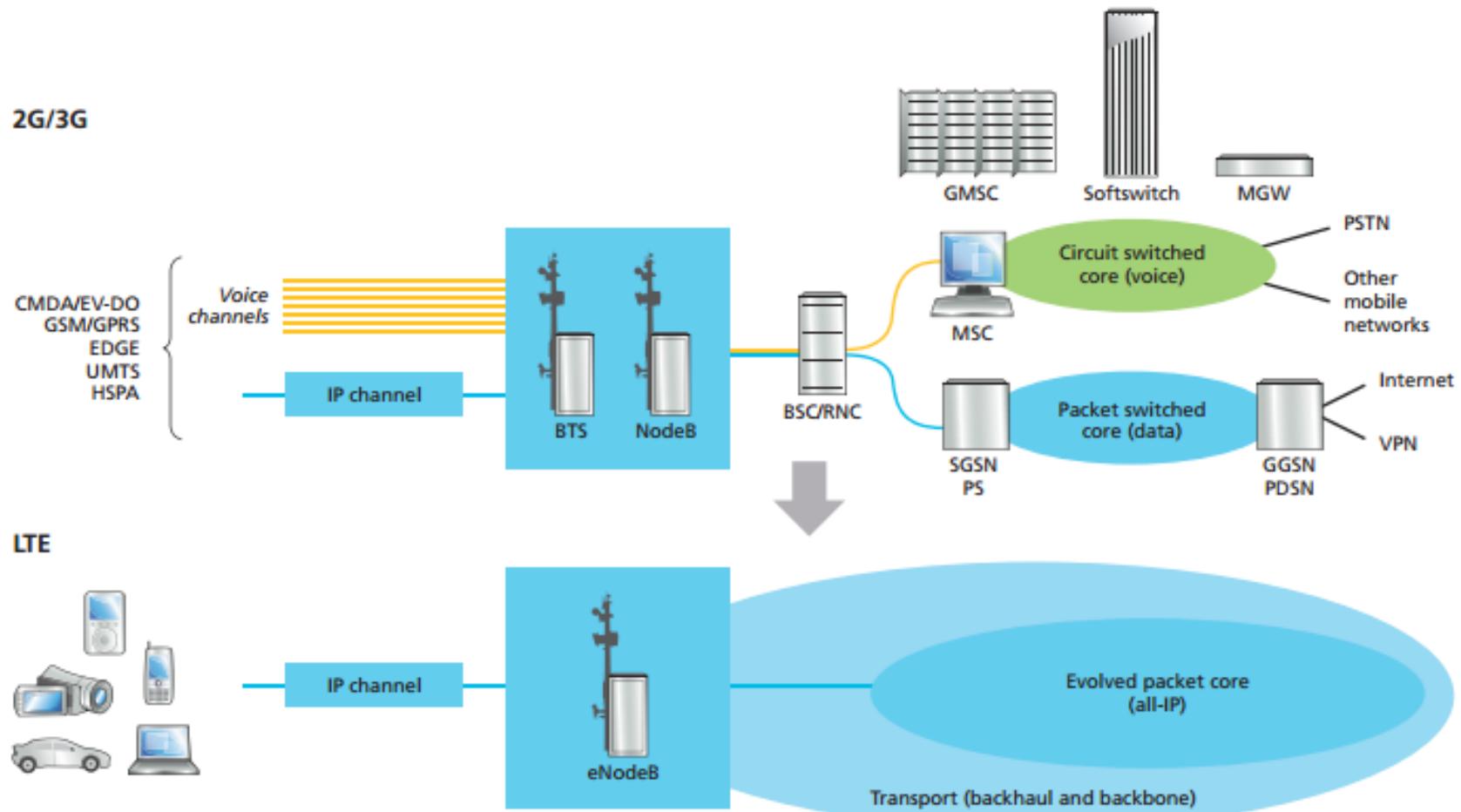
Se representa conjunta por la
compartición del núcleo de red.

La red de acceso radio (RAN) está
dividida en controladores y
estaciones base.

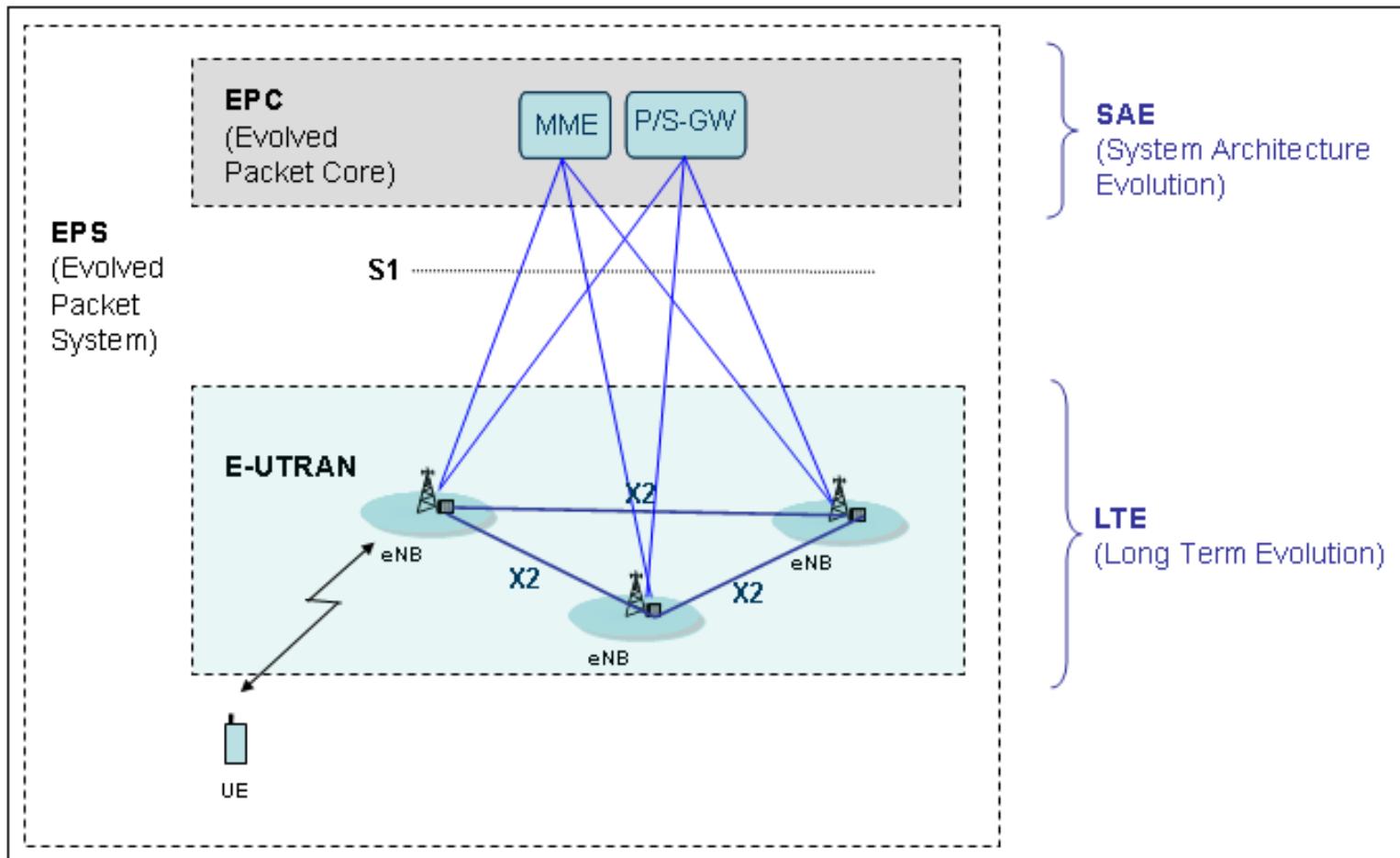
El núcleo de red se compone de una
parte destinada a tráfico
comutado (CS) y otra parte
destinada a tráfico de paquetes (PS)



EVOLVED PACKET SYSTEM



ARQUITECTURA DE RED LTE

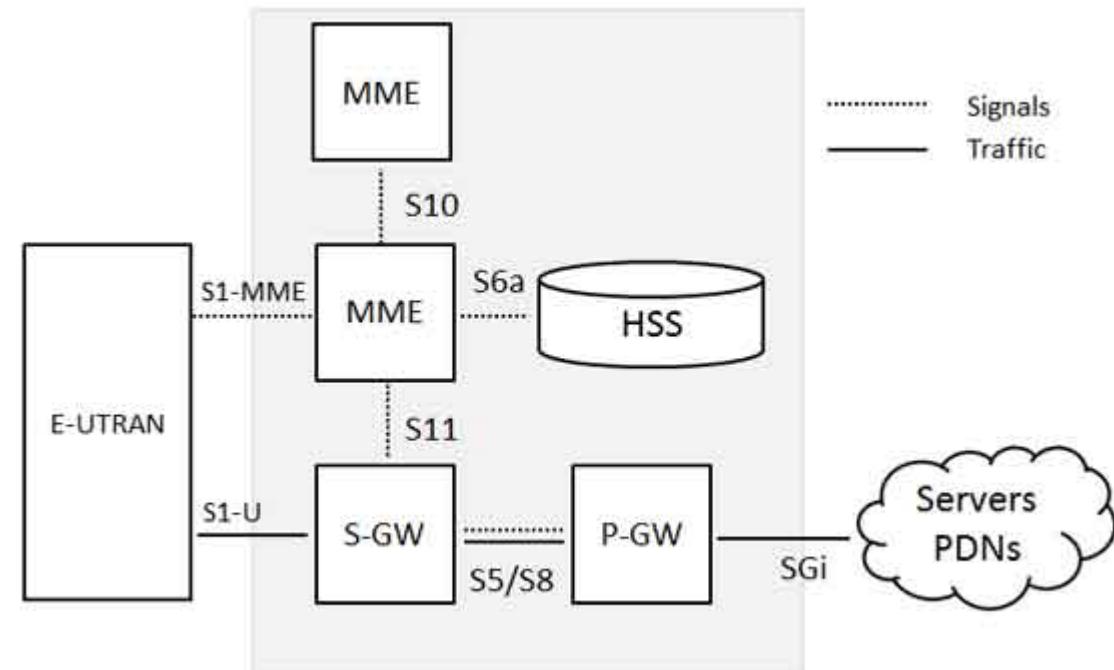


EVOLVED PACKET CORE

El EPC no pertenece al estándar LTE sino que se denomina System Architecture Evolution (SAE)

Debe ser simple, rápido y ofrecer la QoS requerida por la RAN

Faltan: el Earthquake and Tsunami Warning System (ETWS), el Equipment Identity Register (EIR) y la Policy Control and Charging Rules Function (PCRF).



ELEMENTOS DE RED: EVOLVED PACKET CORE

Serving gateway (S-GW): elemento cuyo cometido es enrutar el tráfico y la movilidad del plano de usuario. Es el punto de encuentro entre la E-UTRAN y el EPC

Packet Data Network (PDN) Gateway (P-GW): elemento terminal del EPC como salida al mundo exterior. Identificada por un APN.

MME: elemento local cuya función es gestionar el plano de control de las conexiones con los UE.

- Procedimientos de seguridad: autenticación y negociación de cifrado
- Control de la sesión del UE, incluyendo todos los procedimientos de señalización para establecer contextos y negociar QoS
- Gestión de la localización en idle: paging y TAU

Home Subscriber Server (HSS): portado desde UMTS y GSM, es una base de datos centralizada que contiene la información de los clientes del operador de red

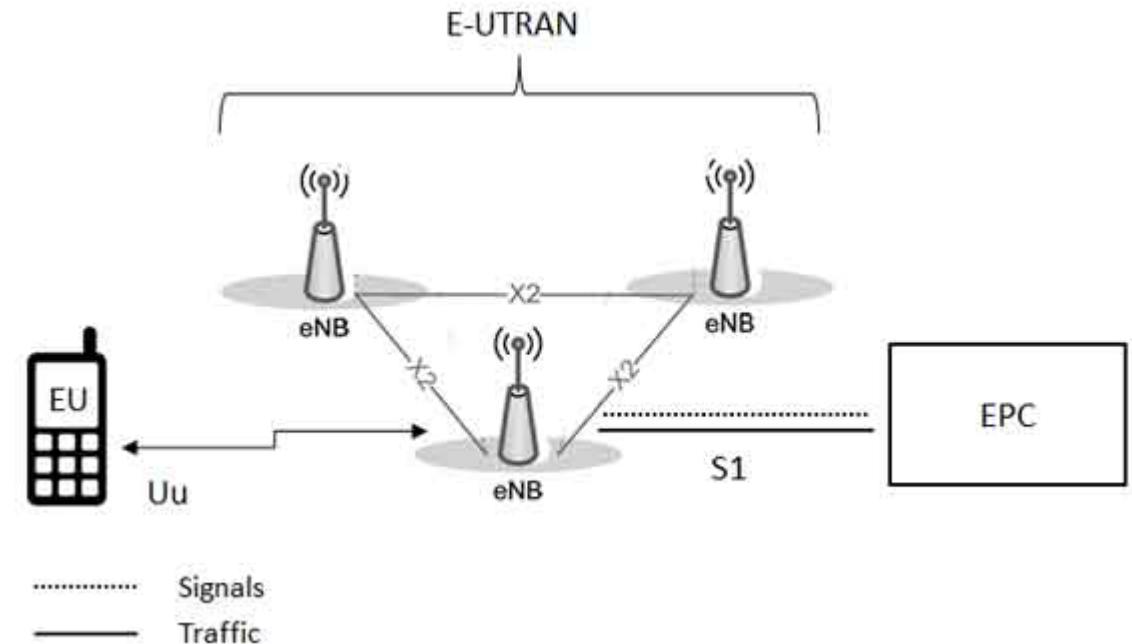
EVOLVED UTRAN

La E-UTRAN maneja las comunicaciones entre los terminales y el núcleo de red.

Está formado por un único componente, llamada evolved NodeB, eNodeB o eNB por simplicidad.

Ausencia de controlador centralizado y escalable: Un único eNB forma una red LTE

El eNB al que el usuario está conectado se denomina servidor.



E-UTRAN: EVOLVED NODE B

eNodeB: El ausencia de un controlador central, el evolved Node B desempeña básicamente las siguientes funciones:

Gestión Recursos de Radio (RRM)

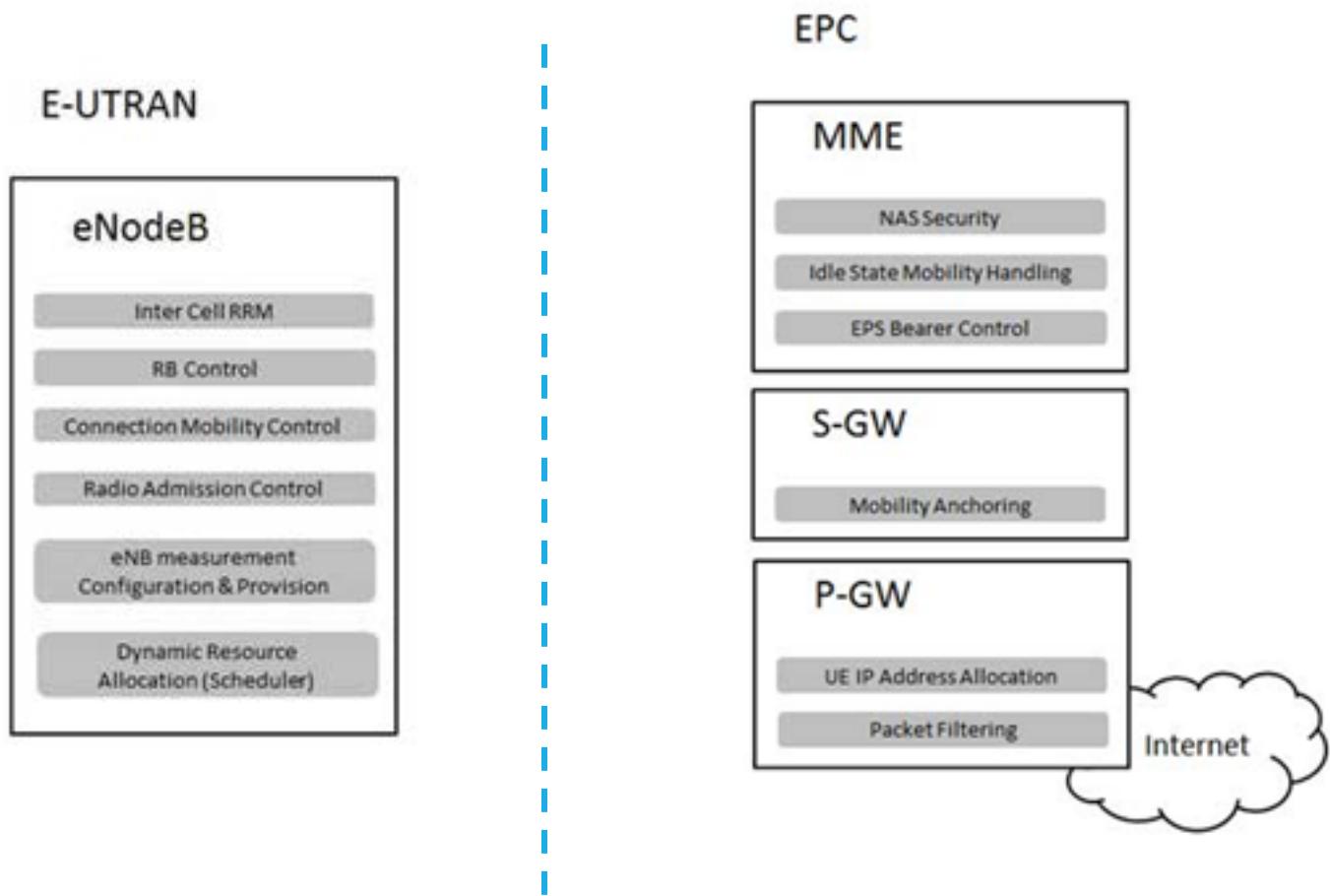
Asignación dinámica con planificación (Scheduling)

Control movilidad conexión

Control admisión.

Control de portadora radio (radio bearer)

DIVISIÓN DE FUNCIONES



ELEMENTOS DE RED: INTERFACES

S1: Interfaz entre LTE y SAE, está formado por dos subenlaces:

- **S1-MME:** Es el punto de referencia para el plano de control de la conexión. Definido entre el EUTRAN y el MME
- **S1-U:** Punto de referencia para el plano de usuario de la conexión. Definido entre EUTRAN y el SGW

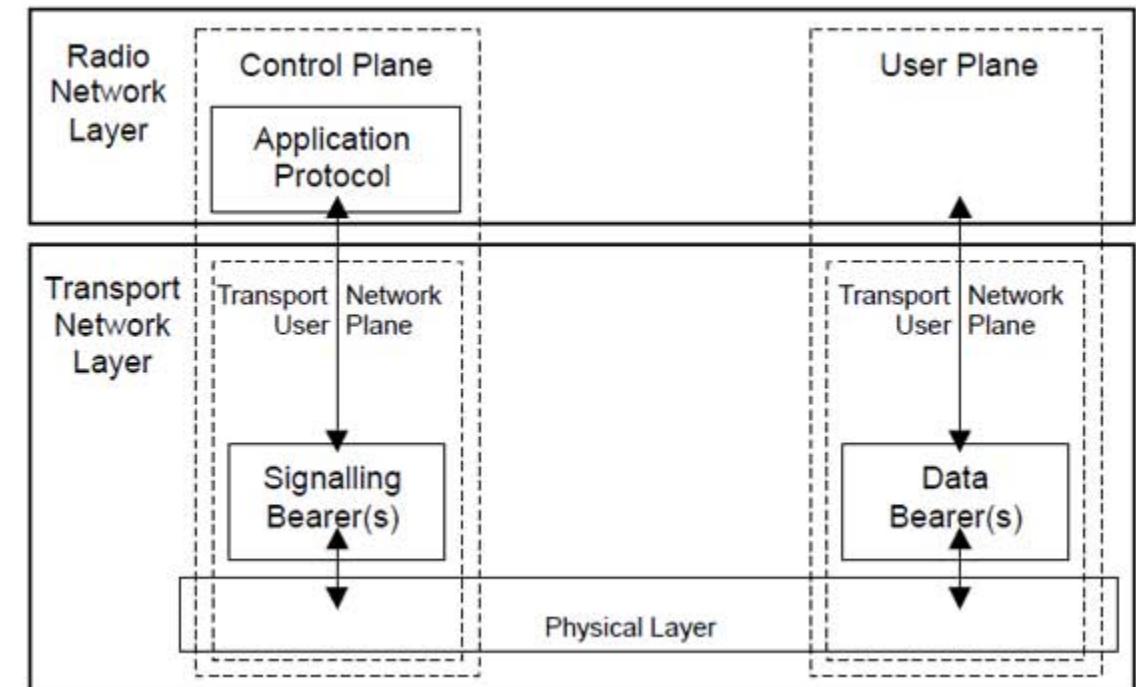
X2: Interfaz utilizado para la conectividad entre eNodeBs

S5: Interconecta el SGW con el PGW y además hace tunneling de los datos del plano de usuario entre estas dos interfaces

PROTOCOLOS DE RED

PROTOCOLOS RADIO

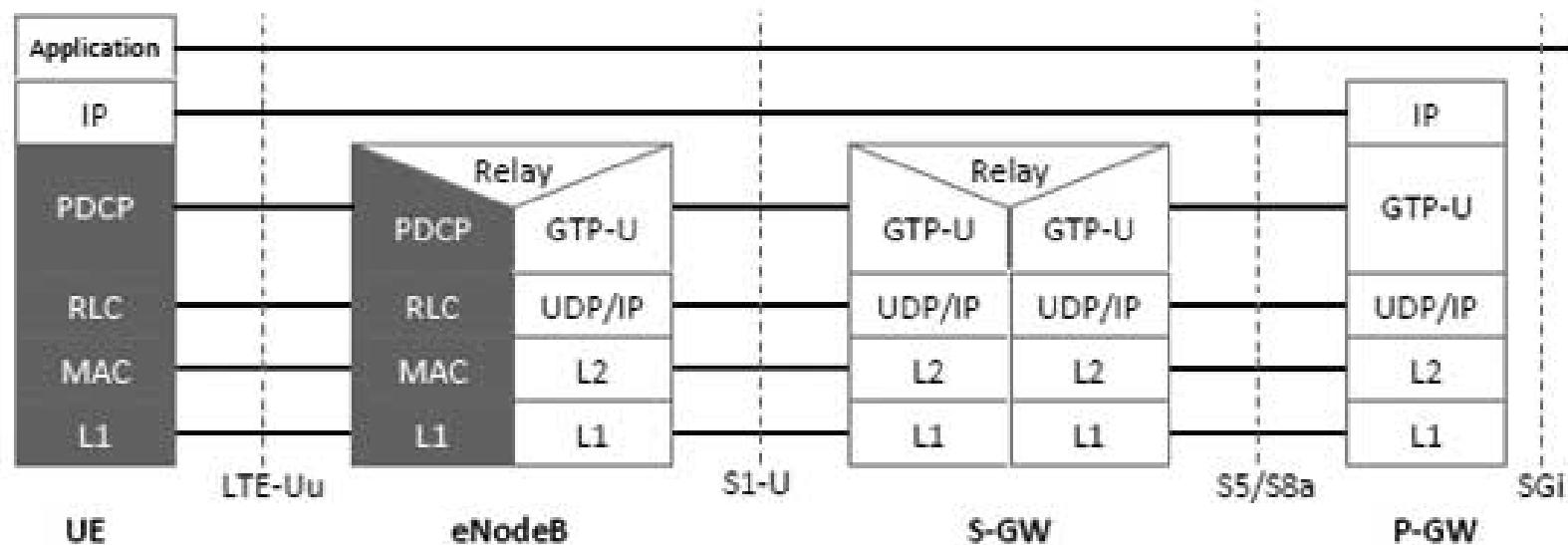
- Plano de usuario: capas superiores generan paquetes de datos usando protocolos TCP, UDP e IP
- Plano de control: protocolo **Radio Resource Control (RRC)** genera los mensajes de señalización que se intercambian entre la estación base y el móvil.
- La información es procesada por el **packet data convergence protocol (PDCP)**, el **radio link control (RLC)** y el protocolo **medium access control (MAC)**, antes de ser pasado a la capa física para la transmisión



PLANO DE USUARIO

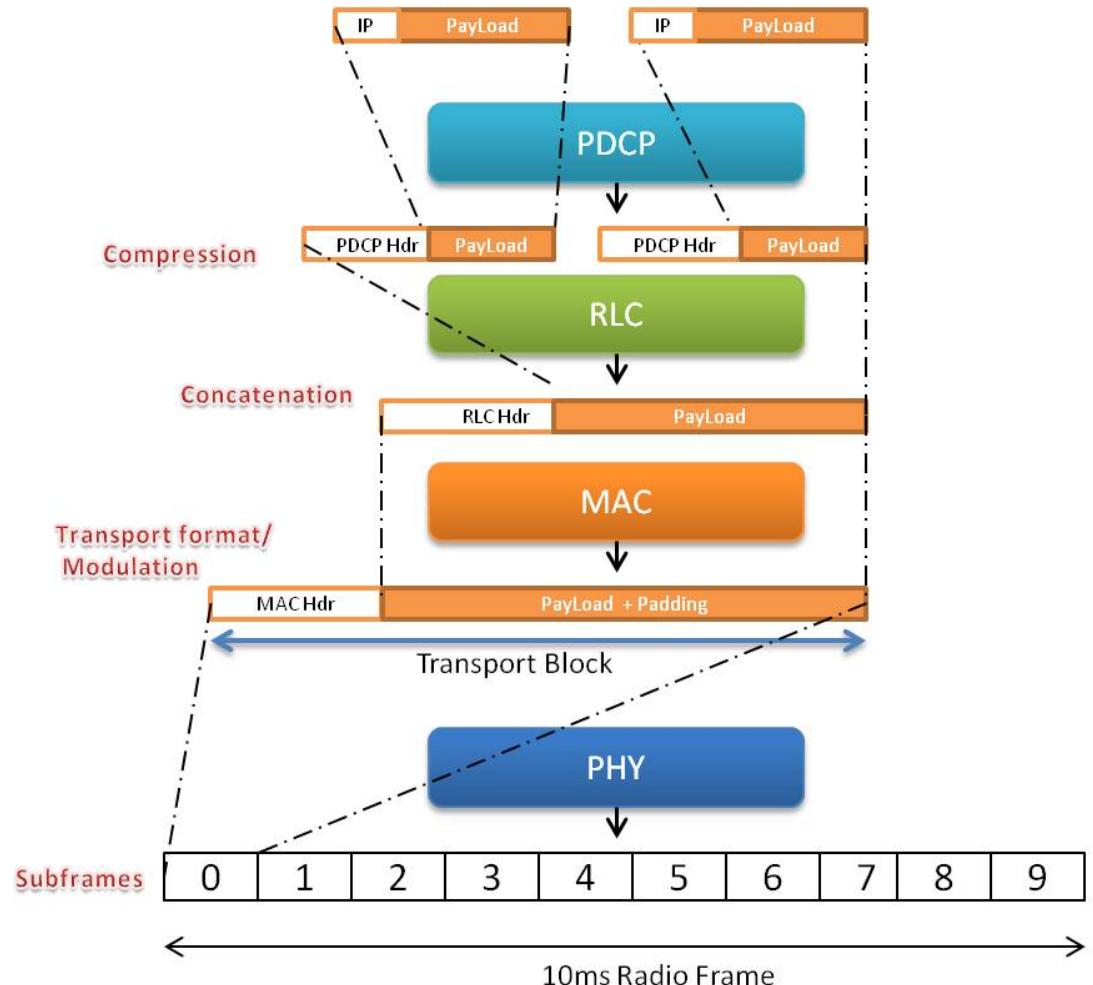
La pila de protocolos del plano de usuario entre el eNB y el UE consta de las siguientes subcapas:

- PDCP (Packet Data Convergence Protocol)
- RLC (radio Link Control)
- Medium Access Control (MAC).



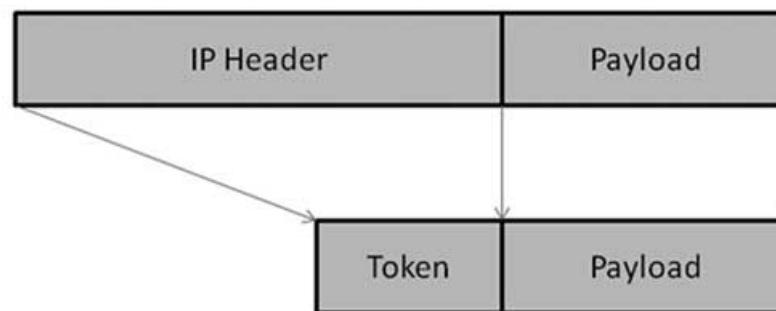
PLANO USUARIO: INTERACCIÓN CON TRÁFICO IP

- Capa IP manda PDCP SDUs (IP Packets) a la capa PDCP.
- Capa PDCP realiza compression de cabecera IP, añade la suya y la manda a la capa RLC
- Capa RLC realiza segmentación y cabecera en base a su modo de operación
- Capa MAC añade cabeceras y realiza padding para encajar las SDU en TTI y las envía a la capa física
- Capa física transmite esos datos en recursos radio disponibles



PLANO USUARIO: INTERACCIÓN CON TRÁFICO IP

PDCP Header Compression: Cabecera IP (20 bytes) sustituida por un token (1-4 bytes). Ahorro enorme de tráfico en el interfaz aire



RLC Segmentation: Si una RLC SDU es muy grande o si el throughput radio es bajo la SDU se divide en varias RLC PDU.
Si el throughput es alto o el SDU es pequeño, varias pueden agruparse en una única RLC PDUE.

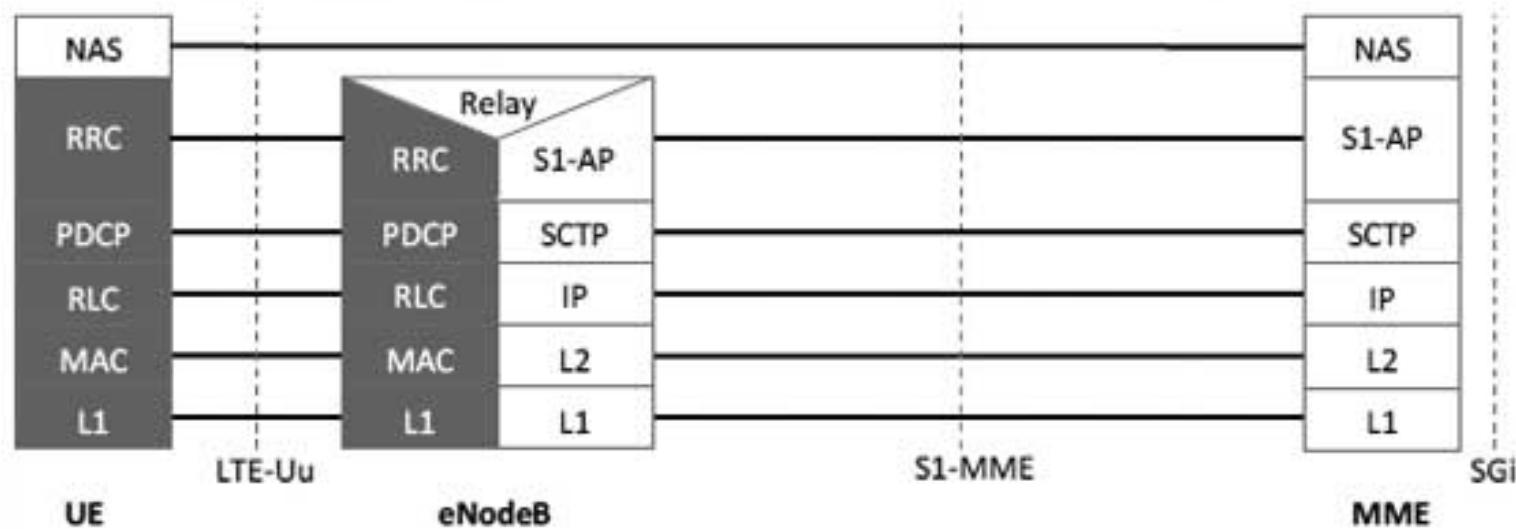
PLANO DE CONTROL

- El plano de control incluye además la capa de Control de recursos de Radio (RRC) que se encarga de configurar las capas inferiores.
- El plano de Control se encarga de funcionalidades específicas radio (invisibles a capas superiores) que depende del estado de los equipos de usuario: idle o connected.

| Mode | Description |
|-----------|---|
| Idle | The user equipment camps on a cell after a cell selection or reselection process where factors like radio link quality, cell status and radio access technology are considered. The UE also monitors a paging channel to detect incoming calls and acquire system information. In this mode, control plane protocols include cell selection and reselection procedures. |
| Connected | The UE supplies the E-UTRAN with downlink channel quality and neighbor cell information to enable the E-UTRAN to select the most suitable cell for the UE. In this case, control plane protocol includes the Radio Link Control (RRC) protocol. |

PLANO DE CONTROL

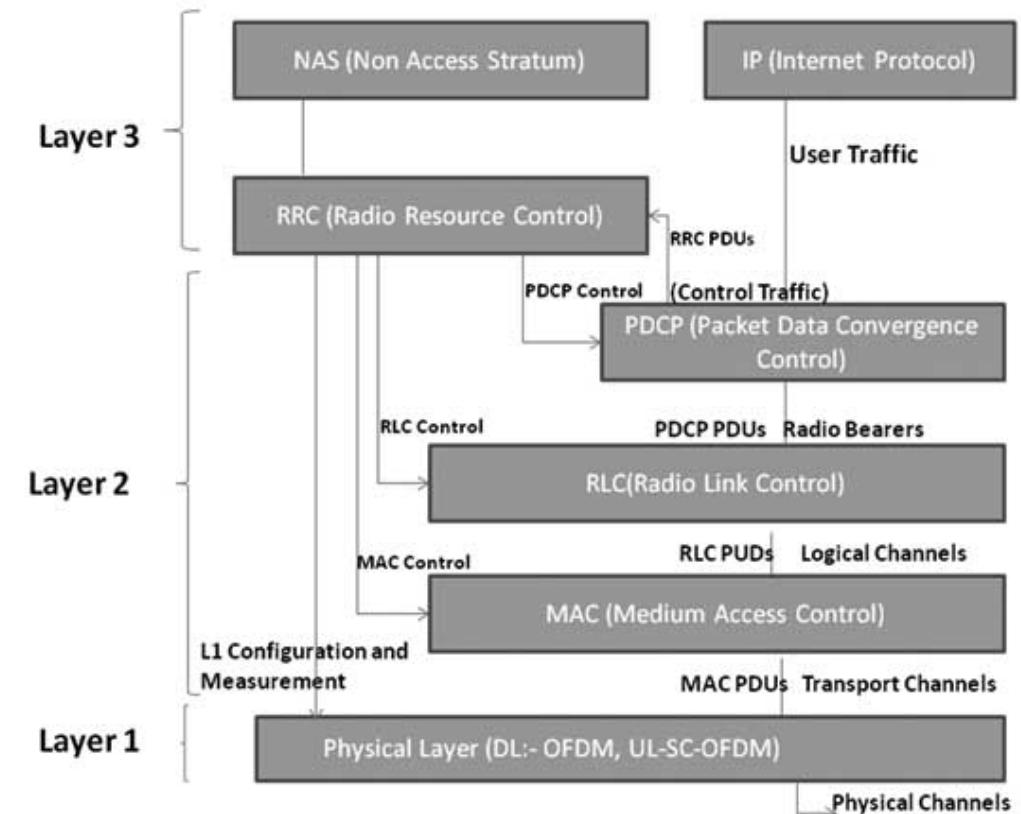
- Pila de protocolos para el plano de control entre la UE y MME
- Región gris indica los protocolos “Access Stratum” (AS)
- Las capas inferiores realizan las mismas funciones en cuanto al plano de usuario con la excepción de que no hay ninguna función de compresión de cabecera para el plano de control.



PROTOCOLS DESCRIPTION

Physical Layer (Layer 1)

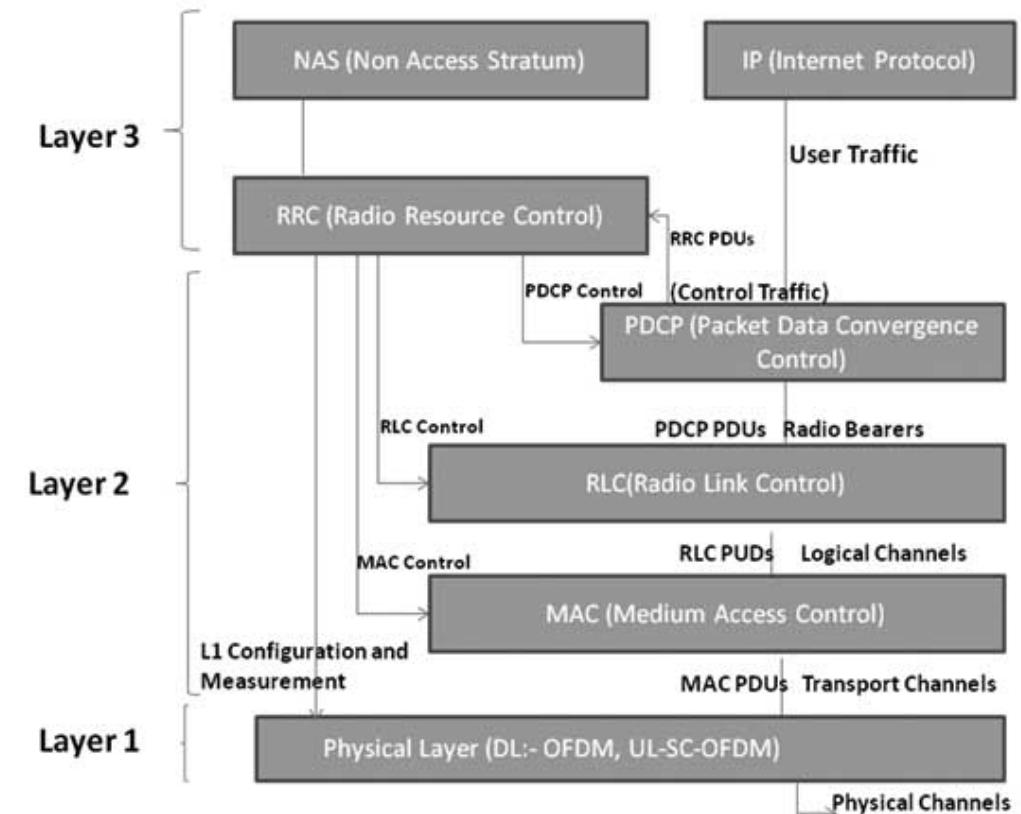
Physical Layer carries all information from the MAC transport channels over the air interface. Takes care of the link adaptation (AMC), power control, cell search (for initial synchronization and handover purposes) and other measurements (inside the LTE system and between systems) for the RRC layer.



PROTOCOLS DESCRIPTION

Medium Access Layer (MAC)

MAC layer is responsible for Mapping between logical channels and transport channels, Multiplexing of MAC SDUs from one or different logical channels onto transport blocks (TB) to be delivered to the physical layer on transport channels, de multiplexing of MAC SDUs from one or different logical channels from transport blocks (TB) delivered from the physical layer on transport channels, Scheduling information reporting, Error correction through HARQ, Priority handling between UEs by means of dynamic scheduling, Priority handling between logical channels of one UE, Logical Channel prioritization.



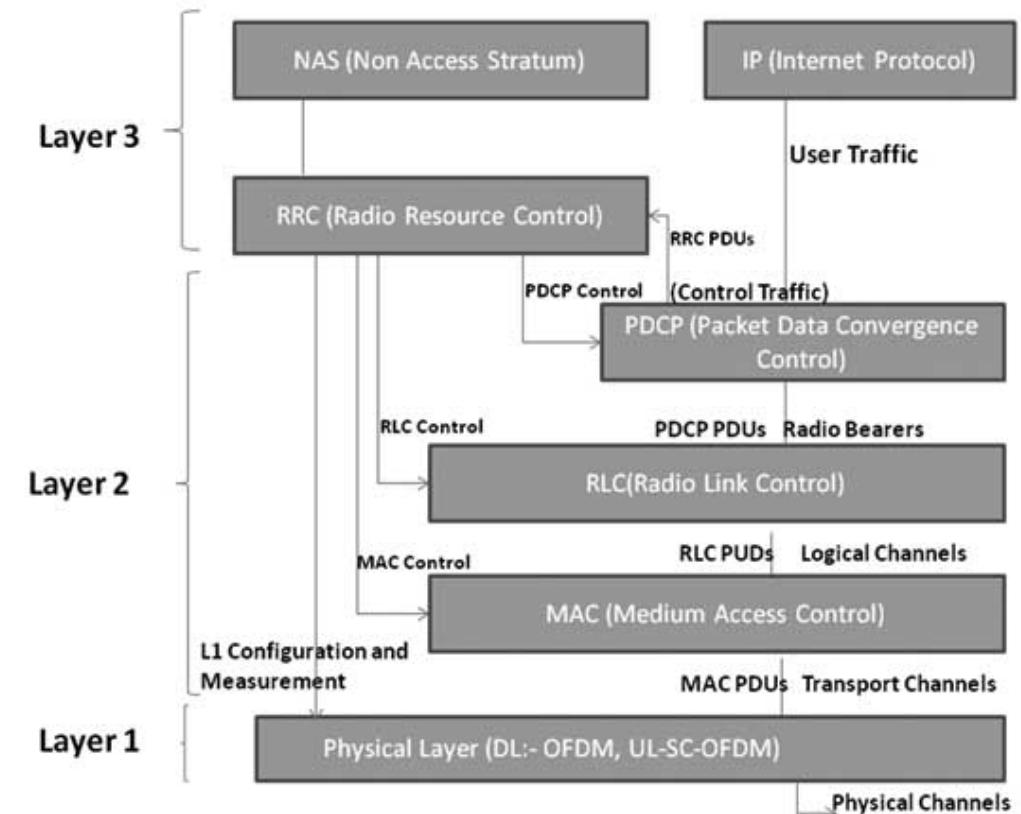
PROTOCOLS DESCRIPTION

Radio Link Control (RLC)

RLC operates in 3 modes of operation: Transparent Mode (TM), Unacknowledged Mode (UM), and Acknowledged Mode (AM).

RLC Layer is responsible for transfer of upper layer PDUs, error correction through ARQ (Only for AM data transfer), Concatenation, segmentation and reassembly of RLC SDUs (Only for UM and AM data transfer).

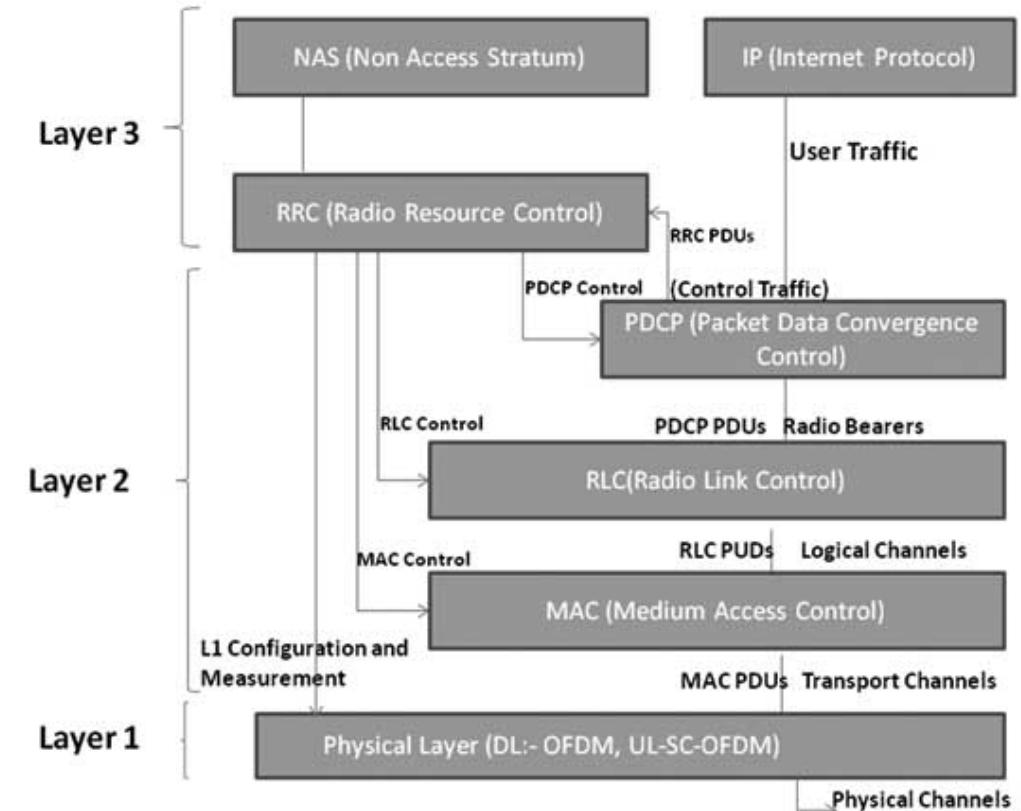
RLC is also responsible for re-segmentation of RLC data PDUs (Only for AM data transfer), reordering of RLC data PDUs (Only for UM and AM data transfer), duplicate detection (Only for UM and AM data transfer), RLC SDU discard (Only for UM and AM data transfer), RLC re-establishment, and protocol error detection (Only for AM data transfer).



PROTOCOLS DESCRIPTION

Radio Resource Control (RRC)

The main services and functions of the RRC sublayer include broadcast of System Information related to the non-access stratum (NAS), broadcast of System Information related to the access stratum (AS), Paging, establishment, maintenance and release of an RRC connection between the UE and E-UTRAN, Security functions including key management, establishment, configuration, maintenance and release of point to point Radio Bearers.

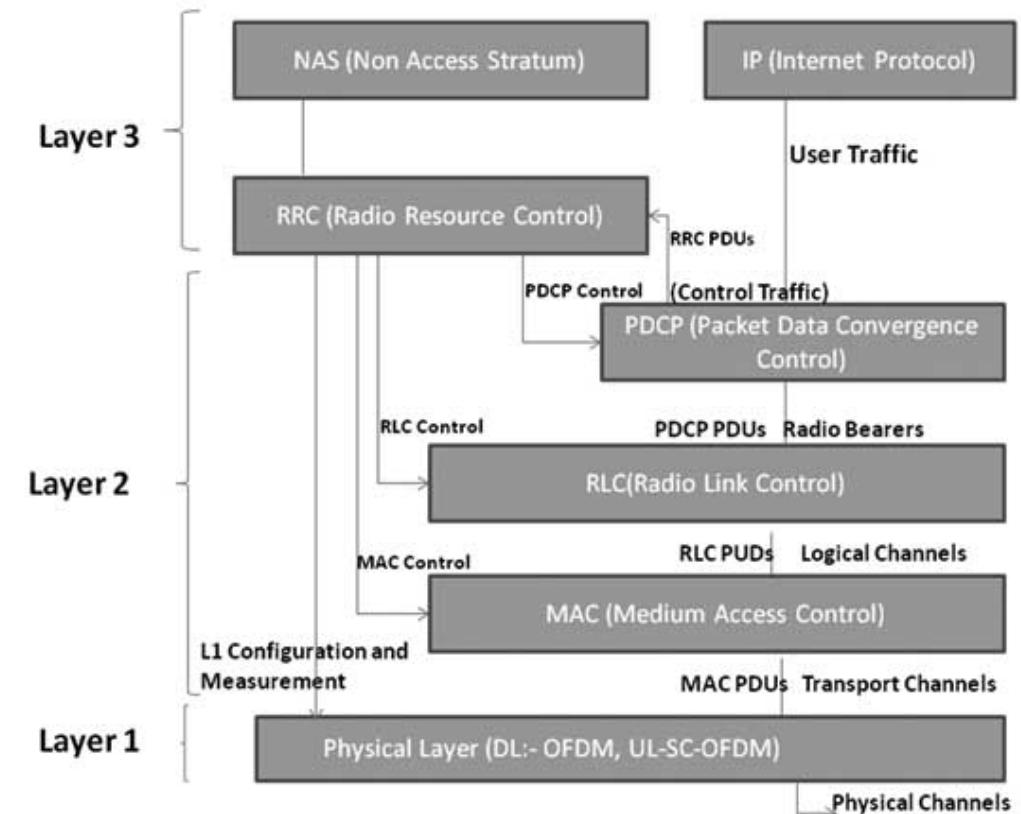


PROTOCOLS DESCRIPTION

Non Access Stratum (NAS) Protocols

The non-access stratum (NAS) protocols form the highest stratum of the control plane between the user equipment (UE) and MME.

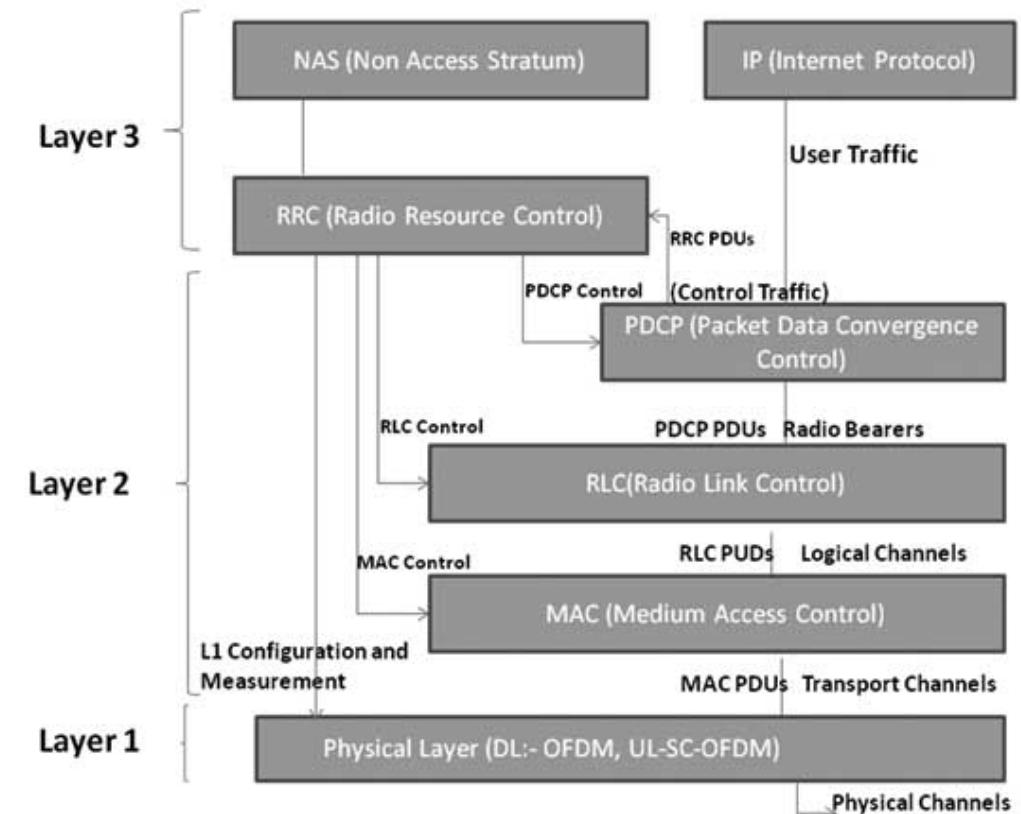
NAS protocols support the mobility of the UE and the session management procedures to establish and maintain IP connectivity between the UE and a PDN GW.



PROTOCOLS DESCRIPTION

Packet Data Convergence Control (PDCP)

PDCP Layer is responsible for Header compression and decompression of IP data, Transfer of data (user plane or control plane), Maintenance of PDCP Sequence Numbers (SNs), In-sequence delivery of upper layer PDUs at re-establishment of lower layers, Duplicate elimination of lower layer SDUs at re-establishment of lower layers for radio bearers mapped on RLC AM, Ciphering and deciphering of user plane data and control plane data, Integrity protection and integrity verification of control plane data, Timer based discard, duplicate discarding, PDCP is used for SRBs and DRBs mapped on DCCH and DTCH type of logical channels.



FUNCIONES DEL PROTOCOLO RRC

- System Information Broadcast (eNB)
- Radio Resource Management (eNB)
- Connection Management (eNB)
- Measurement Configuration and Mobility Control (Handover) (eNB)
- Paging (MT-Access, System Info Modification, ETWS) (eNB)
- AS Security (eNB)
- Transport NAS messaging (UE and eNB)
- System Selection (UE)
- Cell Reselection (UE)

MODELO DE ESTADOS DE CONEXIÓN (RRC)

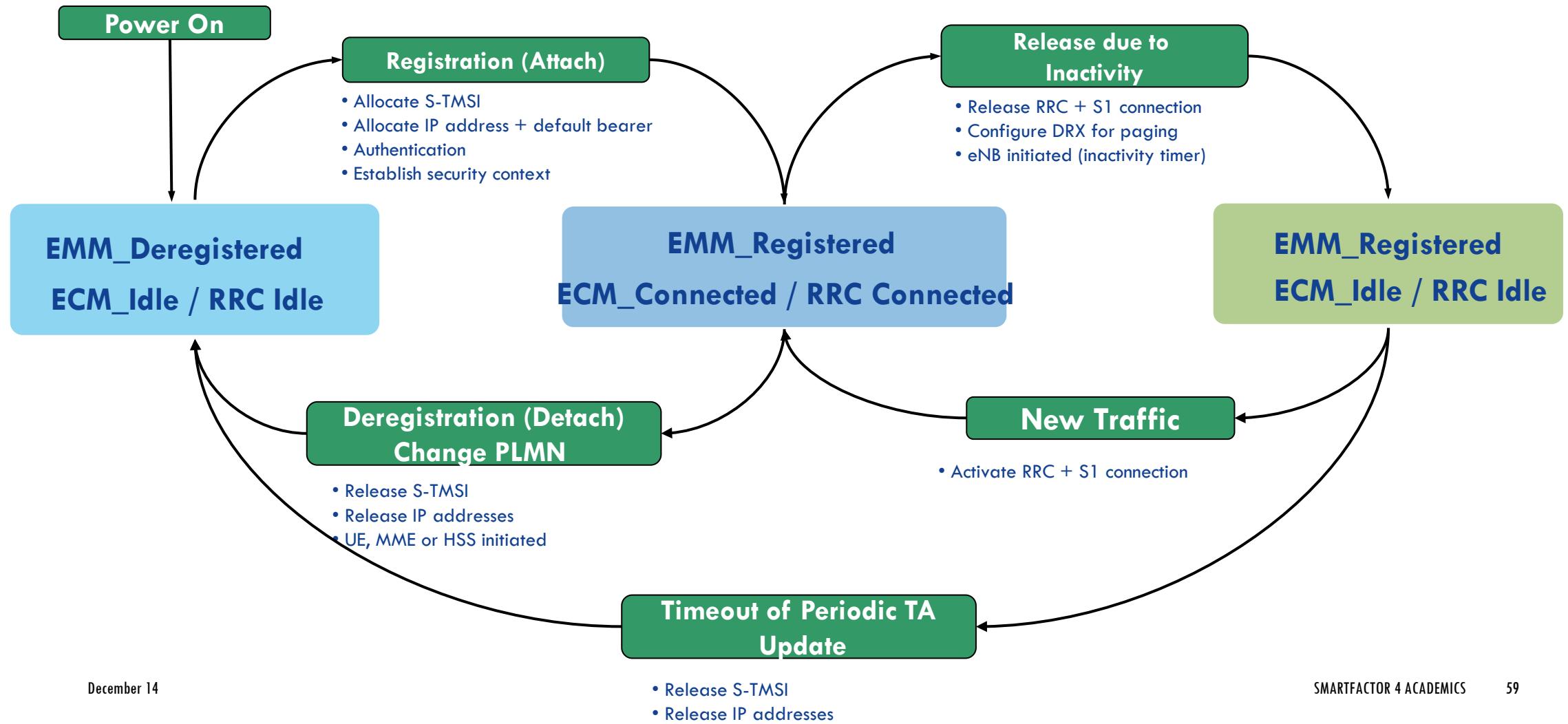
RRC-Idle

- A UE specific DRX may be configured by upper layers.
- UE controlled mobility; (Cell selection/reselection, TA update)
- The UE:
 - Monitors a Paging channel to detect incoming calls, system information change, for ETWS capable UEs, ETWS notification, and for CMAS capable UEs, CMAS notification;
 - Performs neighbouring cell measurements and cell (re-)selection;
 - Acquires system information.

RRC-Connected

- Transfer of unicast data to/from UE.
- At lower layers, the UE may be configured with a UE specific DRX.
- Network controlled mobility, i.e. handover;
- The UE:
 - Monitors a Paging channel and/ or System Information Block Type 1 contents to detect system information change, for ETWS capable UEs, ETWS notification, and for CMAS capable UEs, CMAS notification;
 - Monitors control channels associated with the shared data channel to determine if data is scheduled for it;
 - Provides channel quality and feedback information;
 - Performs neighbouring cell measurements and measurement reporting;
 - Acquires system information

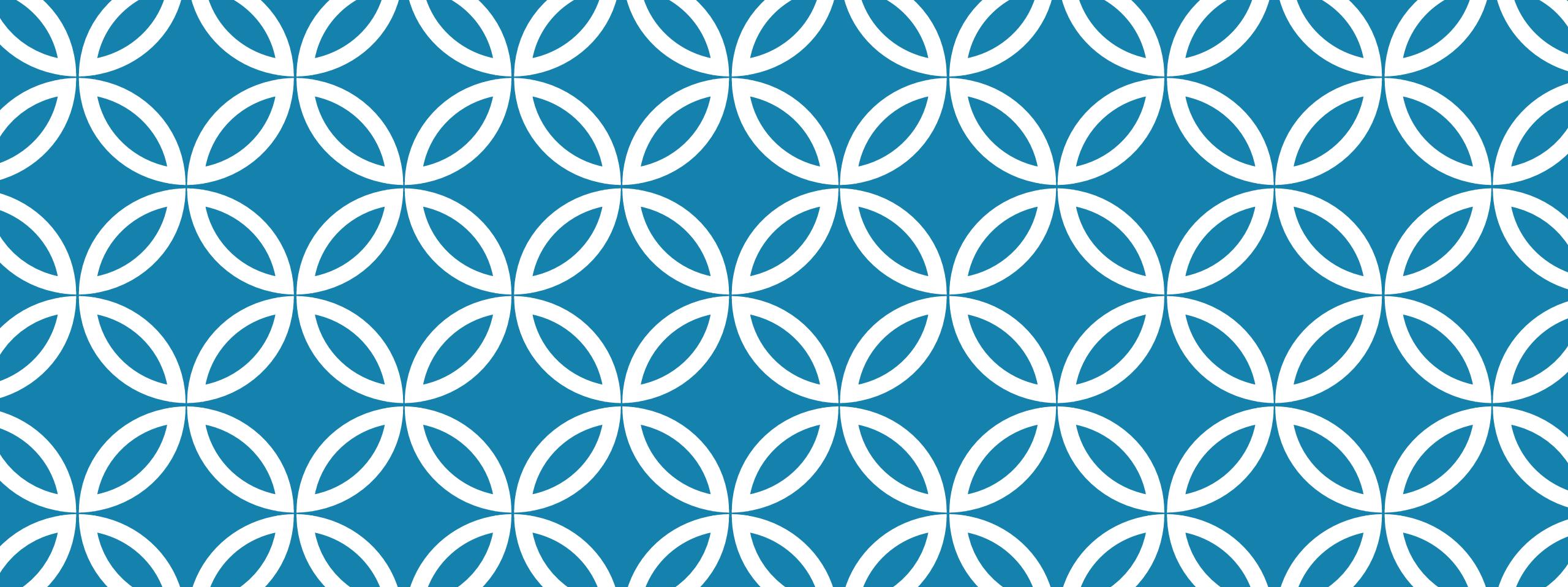
PLANO DE CONTROL: ESTADOS DE CONEXIÓN



MODELO DE ESTADOS DE CONEXIÓN

Modelo de gestión de conexión

- Un UE está en estado ECM-CONNECTED si existe una señalización entre el UE y el MME. Esta señalización consta de dos partes: conexión RRC y S1.
- El UE está en estado EMM-REGISTERED tras un procedimiento de registro exitoso mediante un proceso de Attach o bien un Tracking Area Update

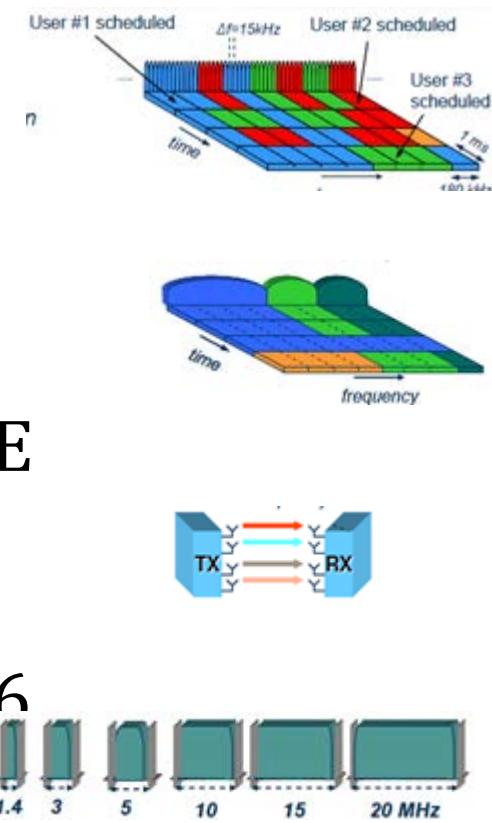


CAPA FÍSICA

Principios Básicos de LTE

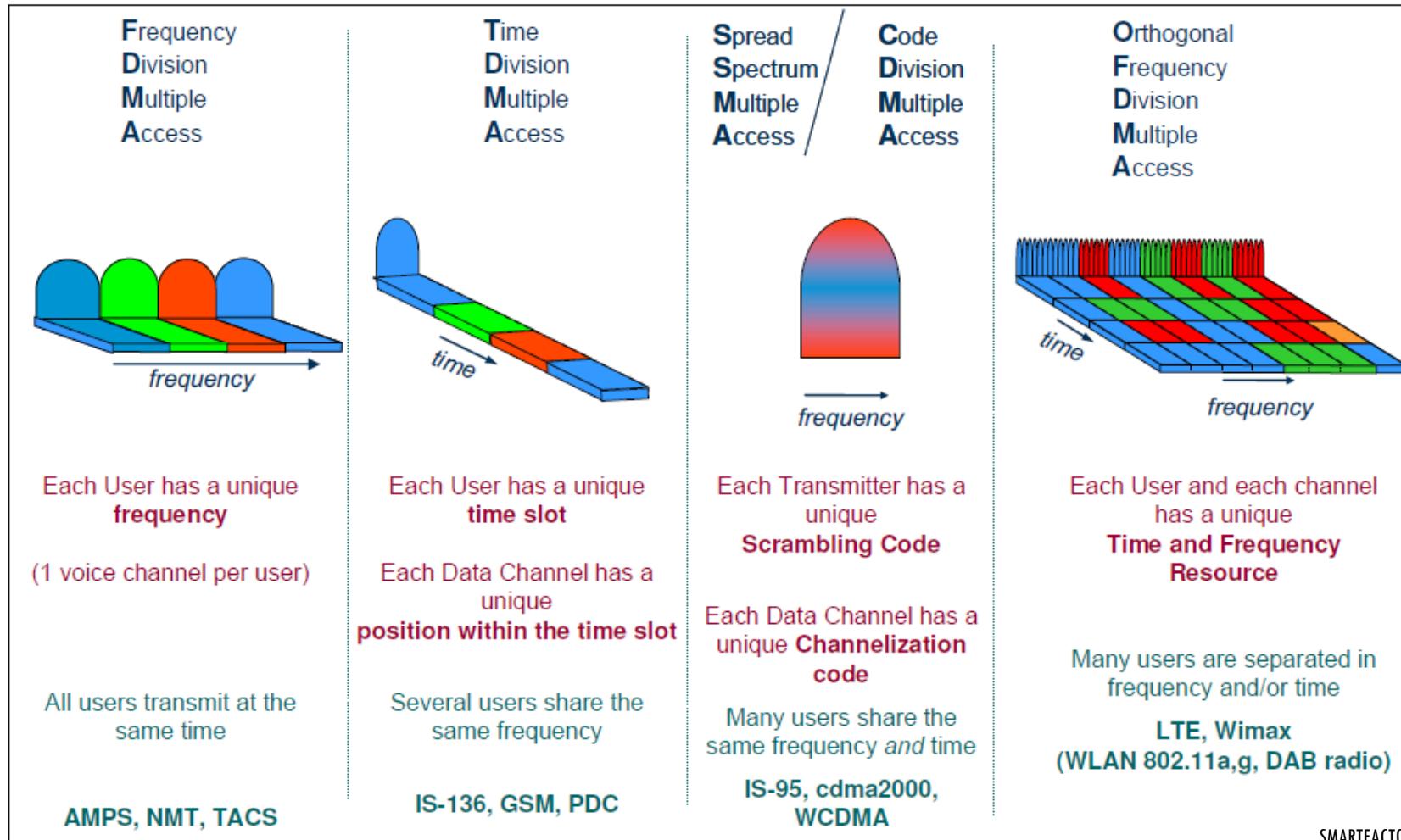
CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA FÍSICA

- Downlink con OFDMA: adaptación y planificación en dominio del tiempo y la frecuencia
- Uplink con SC-FDMA: mejora del PAPR y mejora de interferencia (ortogonalidad)
- Multi antena: múltiples antenas en TX y RX tanto en el UE como en el eNB. Mejora de tasas de transferencia y cobertura
- Ancho de banda flexible: Posibilidad de desplegar hasta 6 ancho de bandas diferentes



ENLACE DESCENDENTE

EVOLUCIÓN DEL ACCESO MÚLTIPLE (DL)



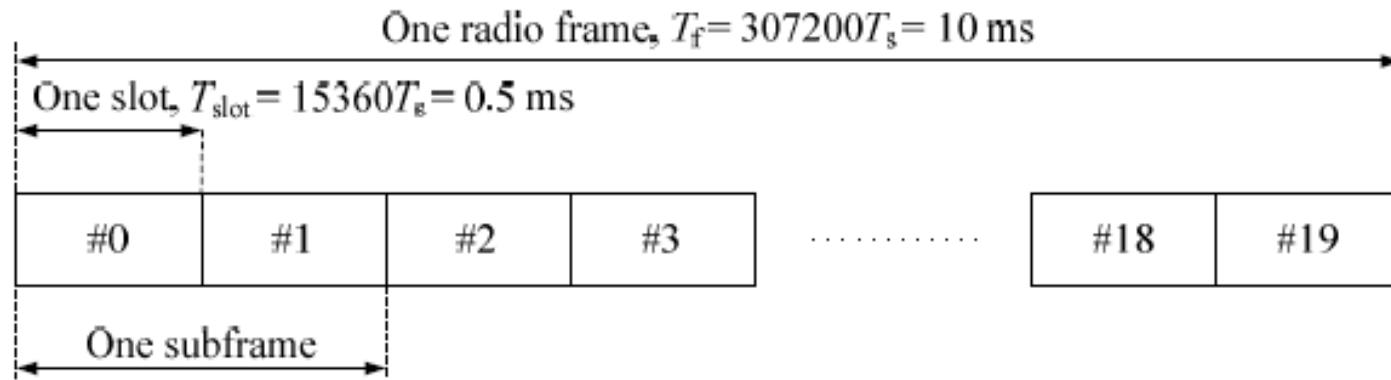
OFDMA

- OFDMA es un modo de acceso multiple al medio basado en una multiplexación en tiempo y frecuencia:
 - En la frecuencia: uso de multiples portadoras ortogonales (denominadas subportadoras)
 - En el tiempo: uso de ranuras temporales (slots) agrupadas en subtramas y tramas radio
- Usos principales: ADSL, LTE, WiMAX

SEÑAL LTE DL (FDD) – DOMINIO TEMPORAL

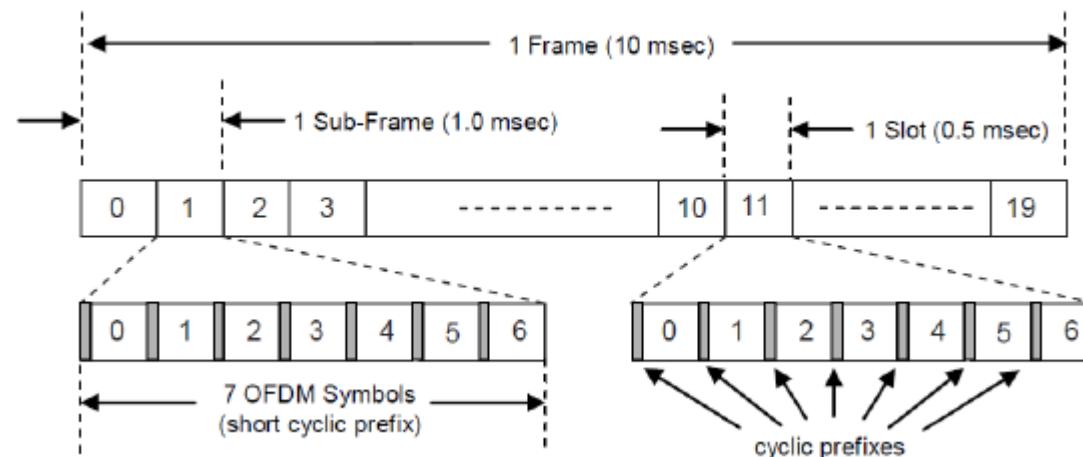
Trama FDD LTE en el dominio del tiempo

- i. Duración de una trama radio: 10 ms (100 tramas/segundo)
- ii. Número de muestras/trama 307200 (30,72 M muestras/s)
- iii. Número de subtramas dentro de cada trama radio: 10
- iv. Número de slots dentro de cada subtrama: 2 (20 slots por trama)



SEÑAL LTE DL (FDD) – DOMINIO TEMPORAL

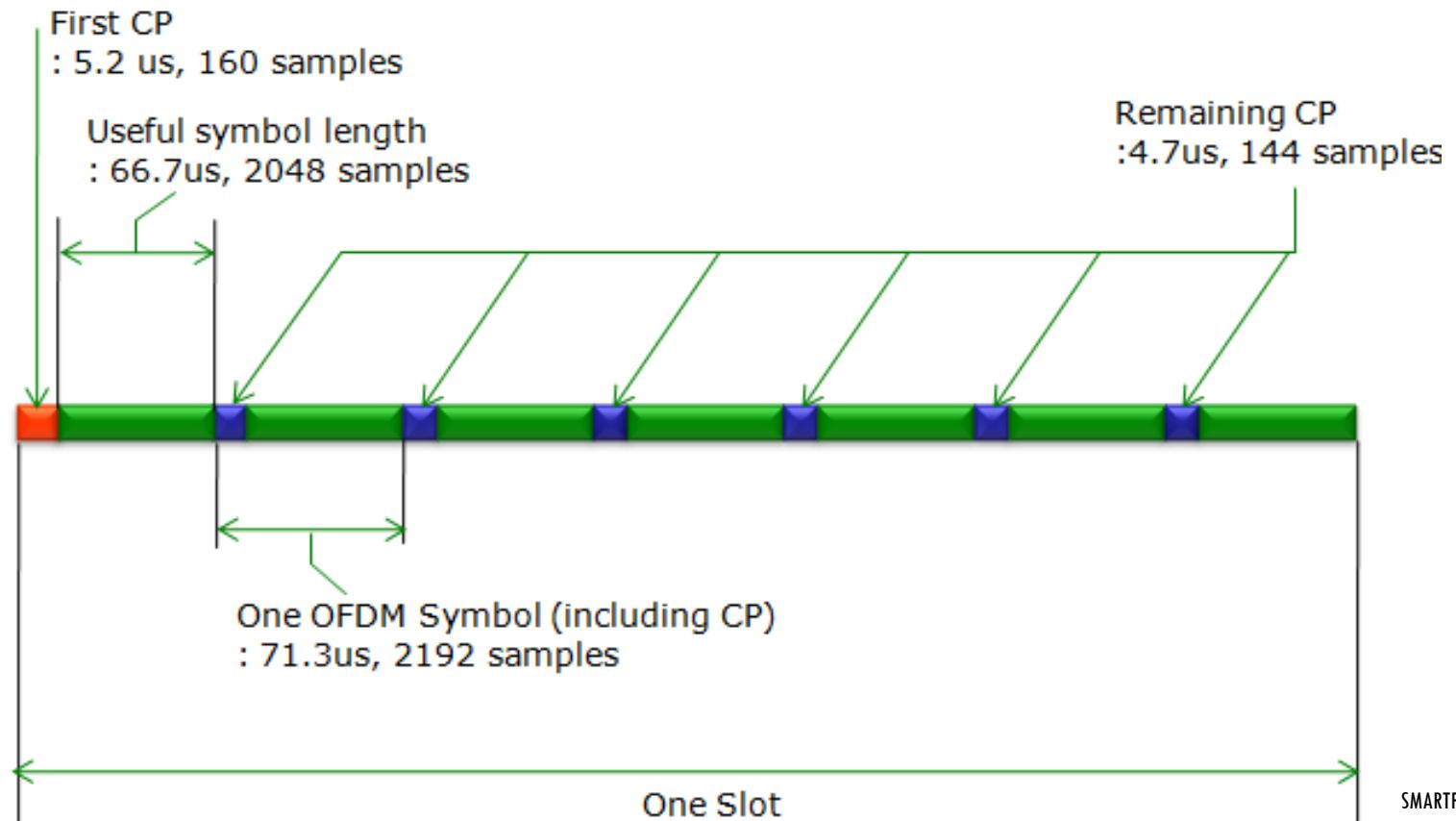
- Slot no es la unidad mínima temporal, está formado por 7 “símbolos”



- Antes de cada símbolo se envía el denominado Prefijo Cíclico. Hay dos tipos: Normal y Extendido (en cuyo caso el número de símbolos por slot decrece a 6)

SEÑAL LTE DL (FDD) – DOMINIO TEMPORAL

Duraciones de símbolos y prefijos (determinan la tasa física del slot)



SEÑAL LTE DL (FDD) – DOMINIO TEMPORAL

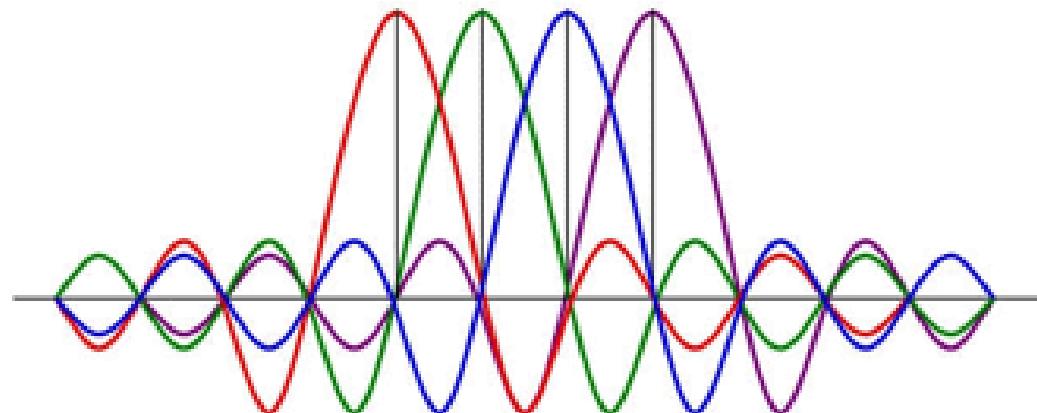
Resumen del eje temporal de OFDMA:

- Independiente del ancho de banda
- Unidad básica temporal: símbolo (66,7 us)
- Un slot se compone de 7 símbolos más sus prefijos cíclicos (0,5 ms)
- Una subtrama se compone de 2 slots (1 ms)
- Una trama se compone de 10 subtramas (10 ms)

SEÑAL LTE DL (FDD) – DOMINIO FRECUENCIA

La señal LTE está formada por la transmisión simultánea de multiples canales de banda estrecha llamados **supportadoras**

Esas portadoras son ortogonales: por tanto equiespaciadas a $f = 1 / 66,7\text{us} = 15 \text{ KHz}$

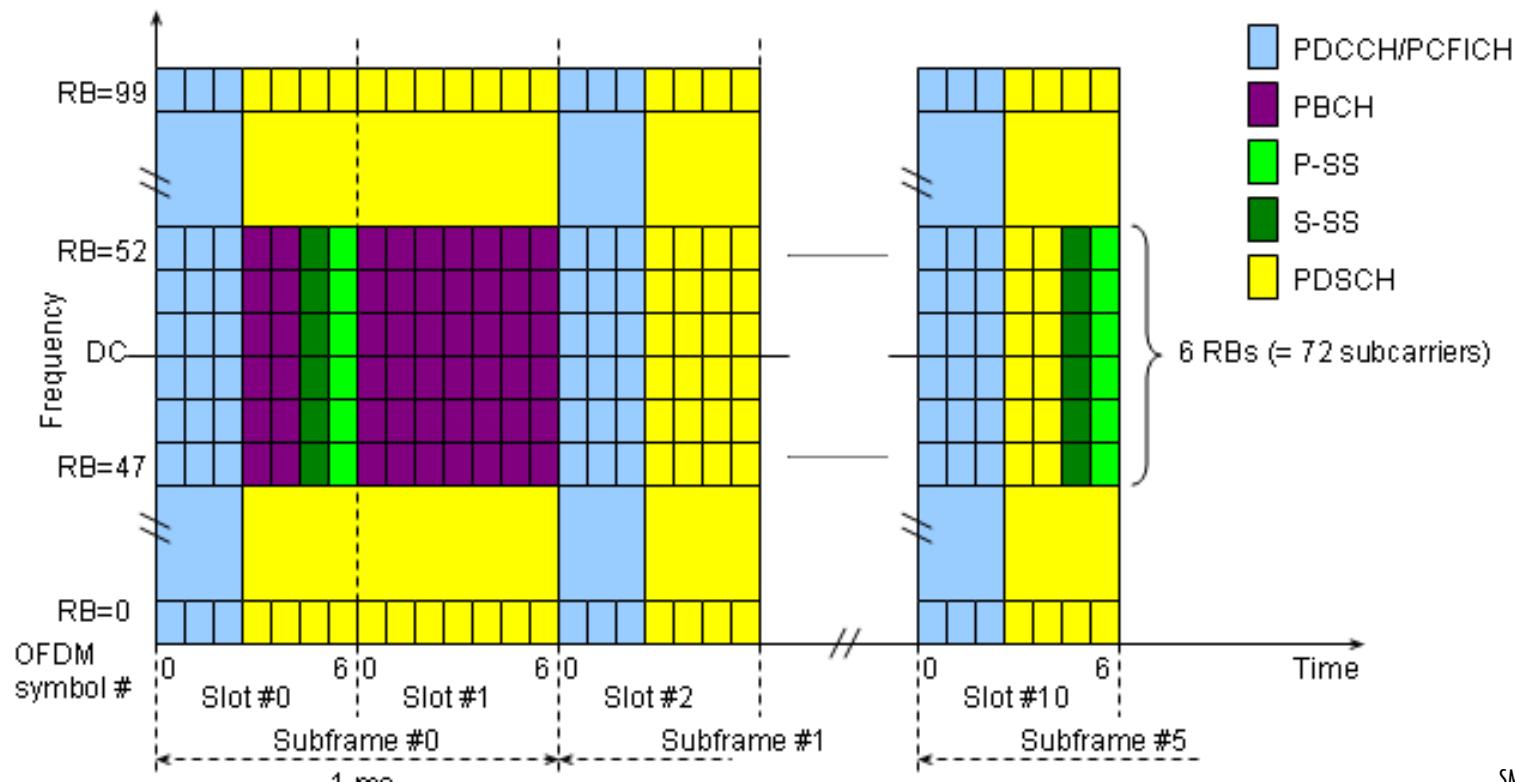


SEÑAL LTE DL (FDD) – DOMINIO FRECUENCIA

- La estructura temporal descrita representa la señal transmitida sobre una única una subportadora.
- Podemos representar una señal LTE como un mapa bidimensional: el eje horizontal representa el dominio del tiempo y el vertical la el dominio de la frecuencia.
 - Si el ancho de banda de la señal LTE varía, lo hace el número de subportadoras
 - No todas las subportadoras se modulan: el 10% de las subportadoras se usan como portadoras de guarda

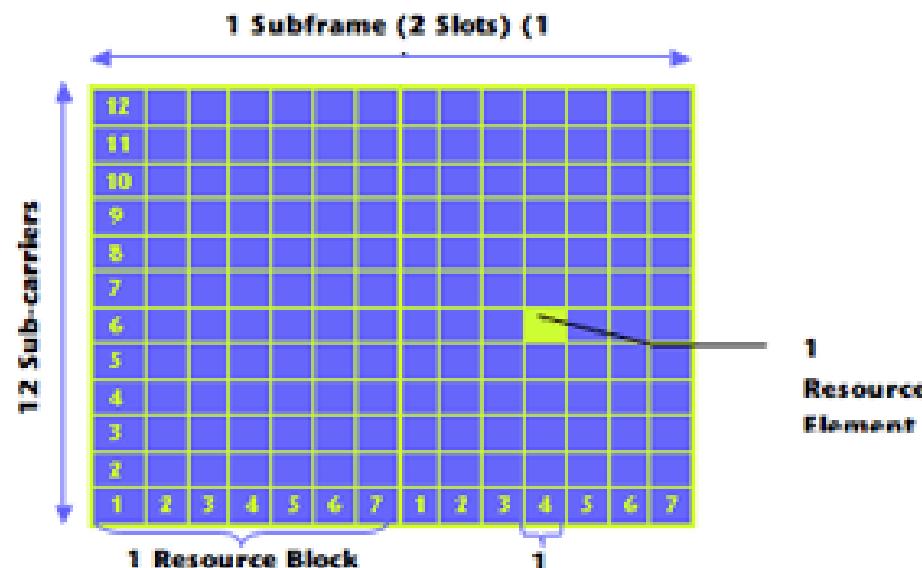
SEÑAL LTE DL (FDD) – DOMINIO FRECUENCIA

Expandiendo la estructura en el dominio de la frecuencia



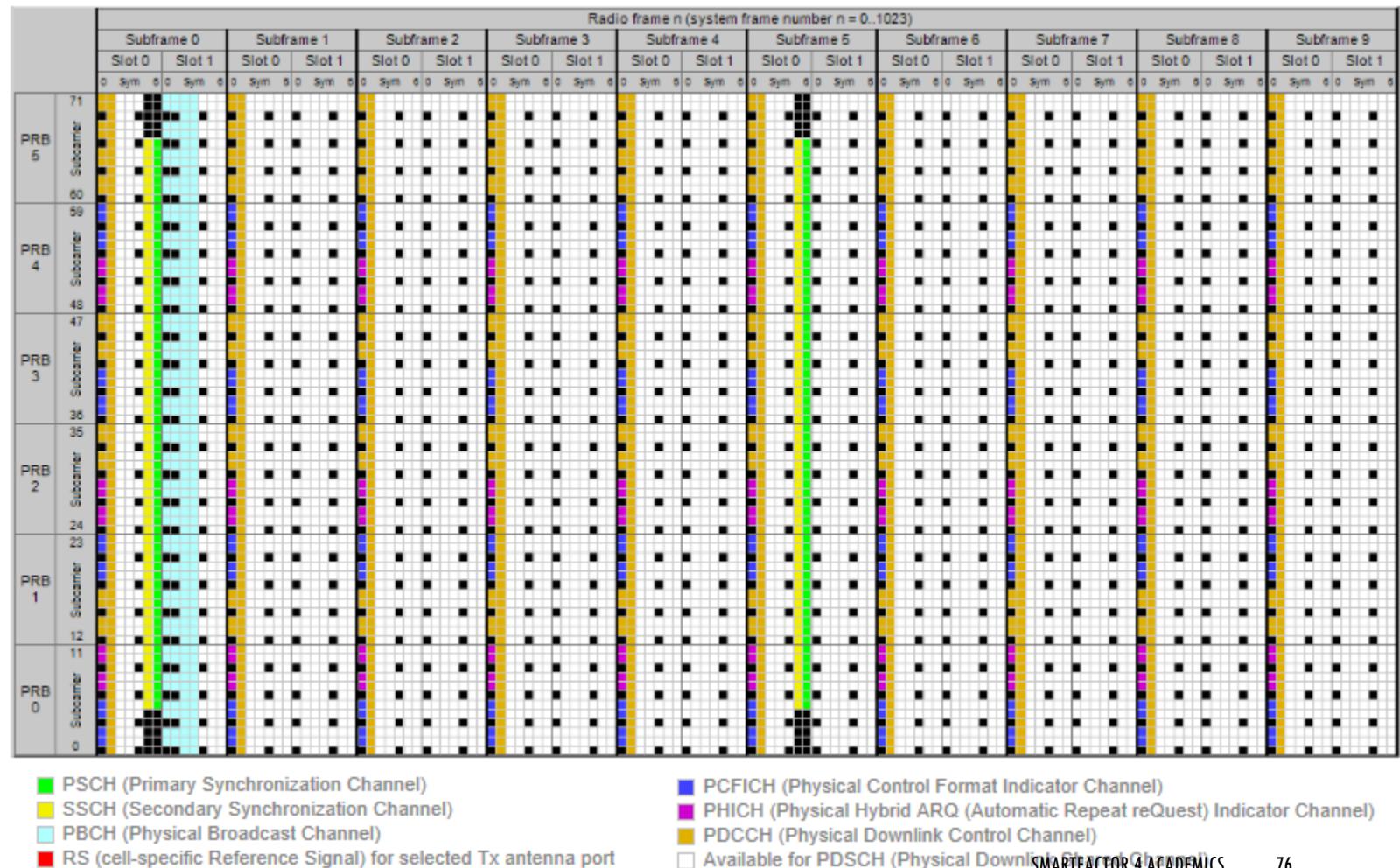
SEÑAL LTE DL (FDD)

- La unidad bidimensional mínima está formada por un símbolo y una subportadora se denomina “Resource Element”
- La agrupación de 2 símbolos (1 slot) y 12 subportadoras recibe el nombre de “Resource Block” (RB) y es la unidad principal y más importante de LTE



SEÑAL LTE DL (FDD)

Ejemplo de señal LTE DL para BW de 1,25 MHz (6 RB en el eje vertical)



ENTENDIENDO OFDMA

P> ¿Cuál es el espacio entre una subportadora y la siguiente?

R>

Q> ¿Cuál es el número de subportadoras útiles para una señal LTE de 20 MHz?

R>

Q> ¿Cuál es el número de subportadoras útiles para una señal LTE de 10 MHz?

R>

Q> ¿Cuál es el número de subportadoras útiles para una señal LTE de 5 MHz?

R>

ENTENDIENDO OFDMA

P> ¿Cuántos símbolos tiene un slot?

R>

Q> ¿Cuántos símbolos tiene una subtrama?

R>

Q> ¿Cuántos slots tiene una trama?

R>

ENTENDIENDO OFDMA

P> ¿Cuántos Resource Blocks hay en una señal LTE de 20 MHz?

R>

Q> ¿Cuántos Resource Blocks hay en una señal LTE de 10 MHz?

R>

Q> ¿Cuántos Resource Blocks hay en una señal LTE de 5 MHz?

R>

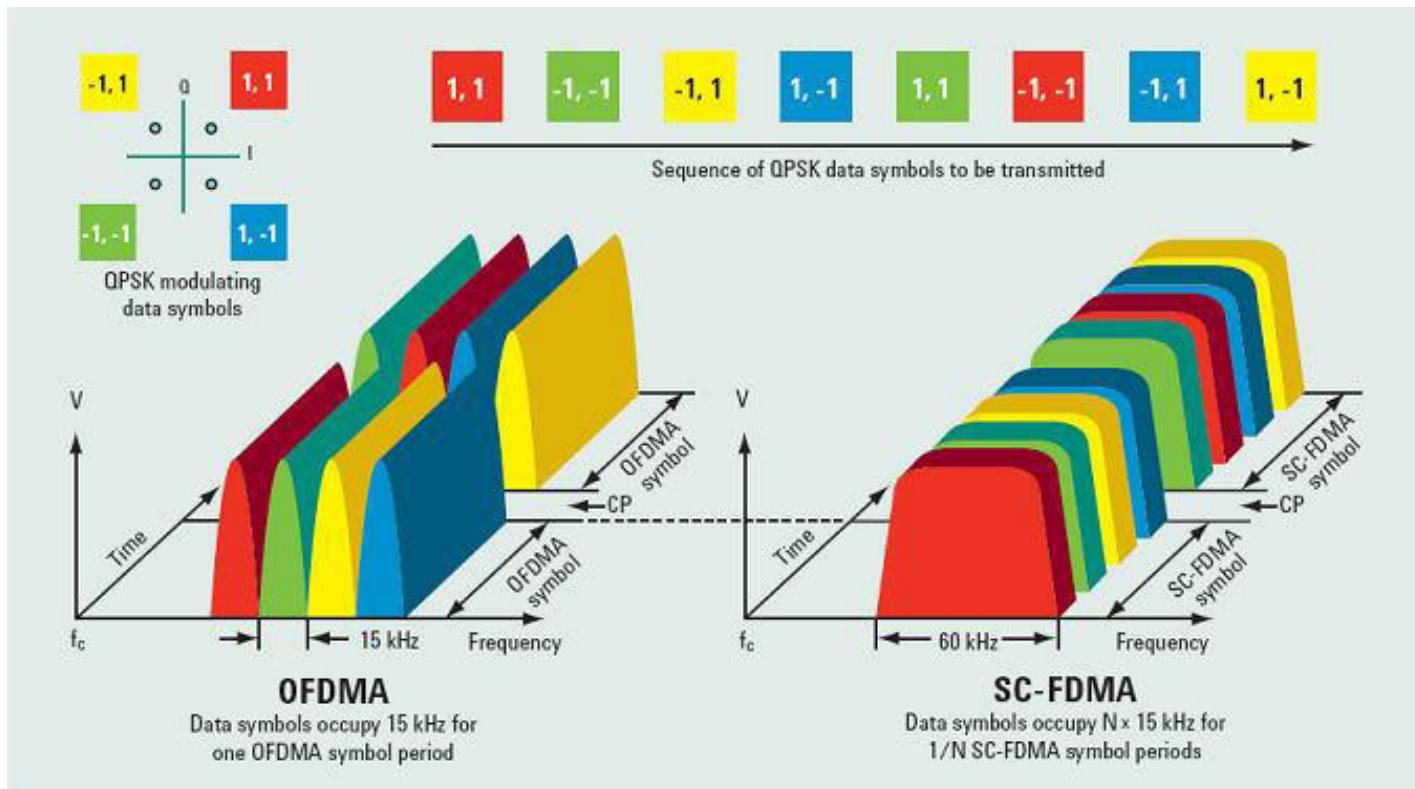
ENLACE ASCENDENTE

SC-FDMA

- La elevada relación de potencia pico a promedio (PAPR) de OFDMA lo hacen inviable como tecnología de enlace ascendente por consumo de potencia
- La solución es mantener las ventajas de OFDMA pero transmitir sobre el aire una señal modificada mediante una pre-codificación
- En OFDMA los símbolos se transmiten en paralelo mientras que en SC-FDMA se transmiten en series a N veces más velocidad (usando N veces más ancho de banda)

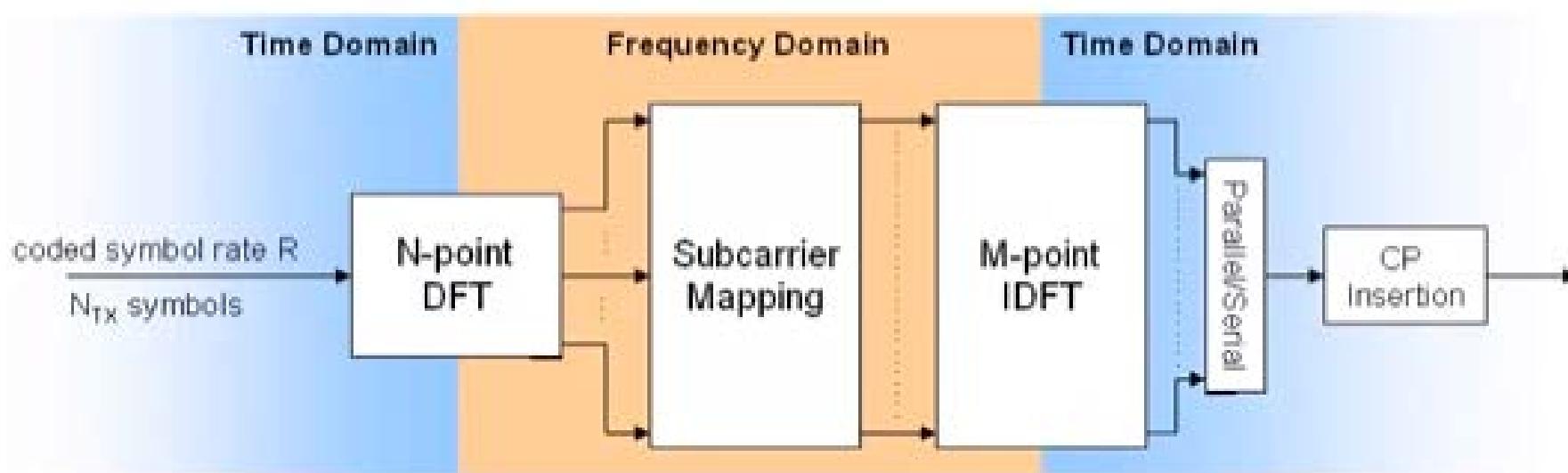
SC-FDMA

Cada símbolo emplea una portadora (“single carrier”)



CÓMO SE GENERA SC-FDMA

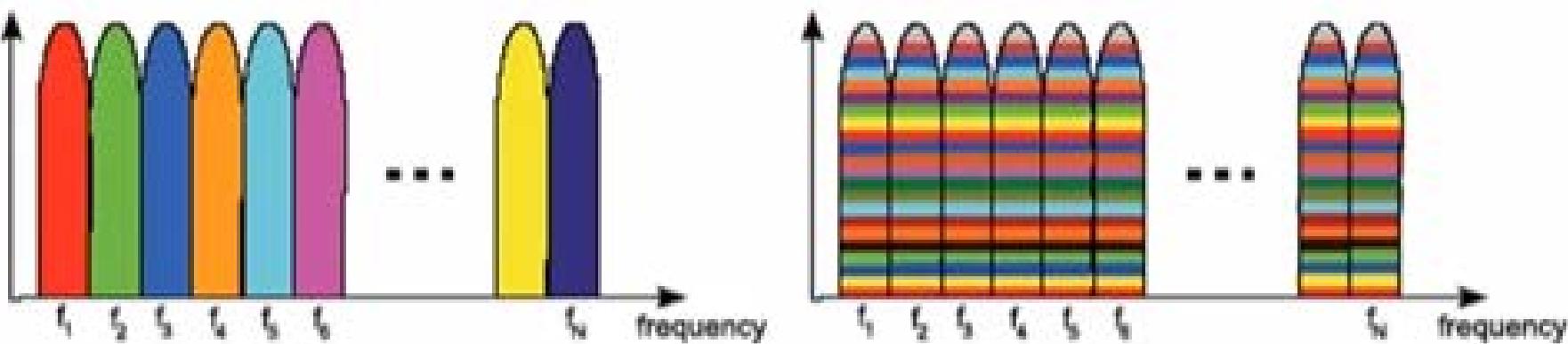
- Pre-codificación usando sistemas FFT
- Mapeo de subportadoras flexible sobre la trama



COMPARACIÓN CON OFDMA

La trama de símbolos se representa igual en SC-FDMA que en OFDMA: una matriz de slots y sub-portadoras de 15 KHz con unidad principal el “Resource Block”

En OFDMA cada subportadora transmite información de un símbolo y en SC-FDMA cada subportadora transmite información de todos los símbolos

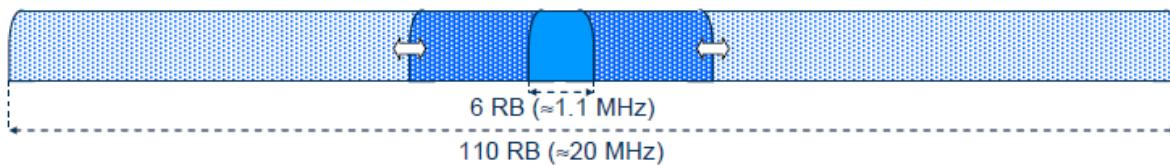


VENTAJAS DE OFDMA/SC-FDMA SOBRE WCDMA

- Mayor **eficiencia** espectral
- Mejor **gestión** en la asignación de recursos: PRB (vs potencia, código, interferencia, CE...)
- **Adaptación** a la calidad del enlace más sencilla que con cualquier otra técnica de acceso compartido
- **Robusto** frente a interferencias de banda estrecha, co-canal, interferencia inter-símbolo y fading
- Mejor gestión de **múltiples usuarios**: los usuarios dentro de la celda no se interfieren entre sí
- Eficiente y **barato** por implementación mediante FFT

ANCHO DE BANDA

Especificaciones LTE permiten un conjunto de ancho de banda entre 1 y 20 MHz



Si se usan varias bandas, cada una puede usar un BW distinto.

El máximo número de RB (caso de 20 MHz) es 100

| Channel Bandwidth (MHz) | 1.25 | 2.5 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|---|---|-------|-------|-------|--------|--------|
| Frame Duration (ms) | | | | 10 | | |
| Subframe Duration (ms) | | | | 1 | | |
| Sub-carrier Spacing (kHz) | | | | 15 | | |
| Sampling Frequency (MHz) | 1.92 | 3.84 | 7.68 | 15.36 | 23.04 | 30.72 |
| FFT Size | 128 | 256 | 512 | 1024 | 1536 | 2048 |
| Occupied Sub-carriers (inc. DC sub-carrier) | 76 | 151 | 301 | 601 | 901 | 1201 |
| Guard Sub-carriers | 52 | 105 | 211 | 423 | 635 | 847 |
| Number of Resource Blocks | 6 | 12 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| Occupied Channel Bandwidth (MHz) | 1.140 | 2.265 | 4.515 | 9.015 | 13.515 | 18.015 |
| DL Bandwidth Efficiency | 77.1% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% |
| OFDM Symbols/Subframe | 7/6 (short/long CP) | | | | | |
| CP Length (Short CP) (μs) | 5.2 (first symbol) / 4.69 (six following symbols) | | | | | |
| CP Length (Long CP) (μs) | 16.67 | | | | | |

MODULACIÓN

MODULACIONES

La señal LTE en downlink (OFDMA) y uplink (SC-FDMA) determina una capacidad en símbolos por segundo dependiente del ancho de banda.

La tasa física de transferencia medida en bits por segundo va a depender del número de bits modulados por cada símbolo OFDMA

ESQUEMAS DE MODULACIÓN

- La modulación de cada símbolo se determina por procesos de Radio Resource Management en función de la calidad del enlace y las tasas de error
- En LTE (Rel 8 y 9) las modulaciones soportadas son:
 - QPSK, 16 QAM y 64 QAM en el downlink
 - QPSK y 16 QAM en el uplink
- En LTE-A (Rel 10) se introduce la modulación 64QAM en uplink

SEÑALES FÍSICAS

SEÑALES FÍSICAS DL

Las señales físicas transportan información necesaria para la sincronización temporal, identificación de la célula servidora y estimación del canal. En el enlace descendente (DL) hay tres:

PSS (Primary Synchronization Signal): Obtención temporización del intervalo y parte de la identidad de la célula.

SSS (Secundary Synchronization Signal): Obtención temporización de la trama e identidad completa.

RS (Reference signal): Estimación función de transferencia del canal DL.

SEÑALES FÍSICAS UL

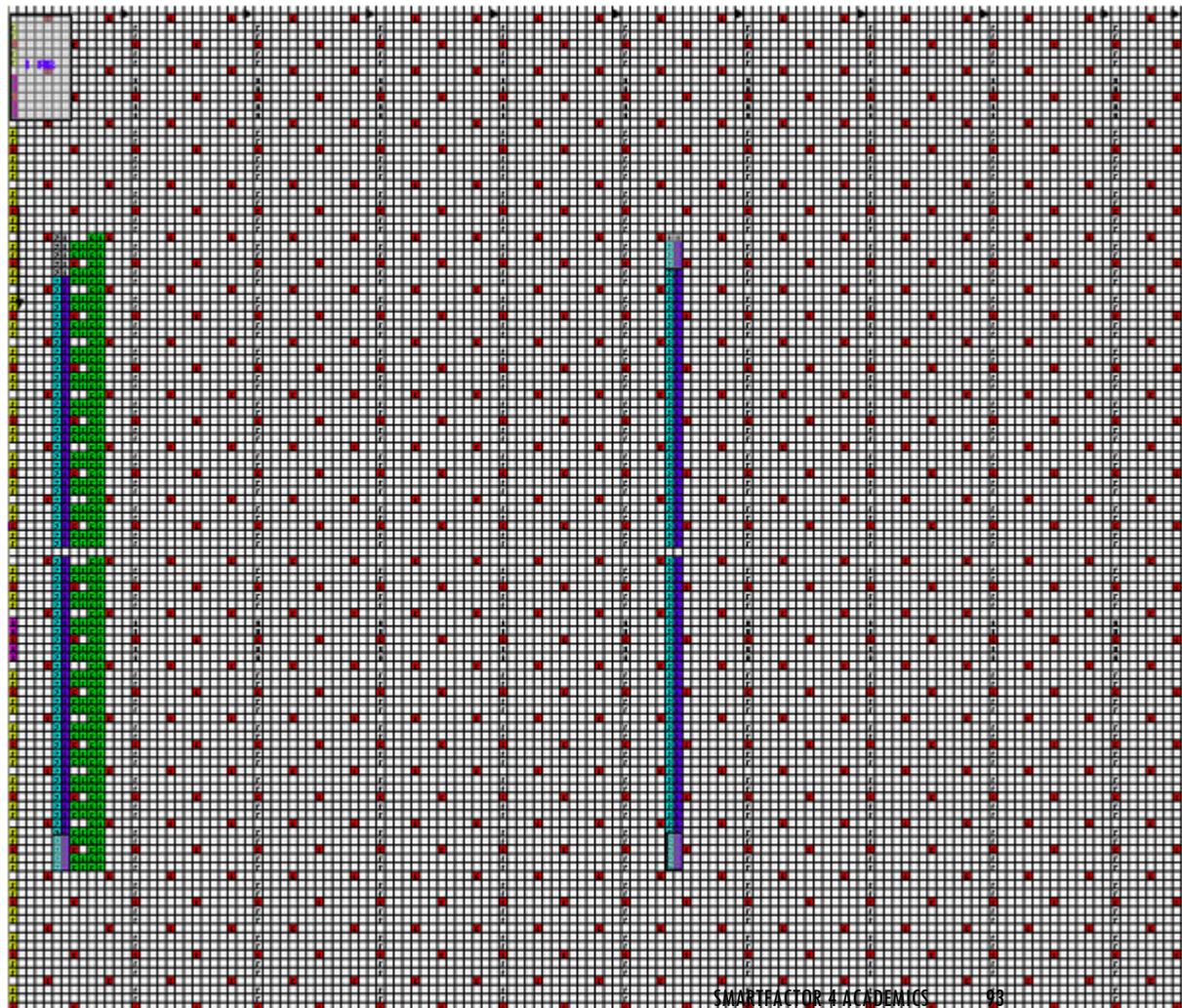
En el enlace ascendente (UL) hay dos:

DMRS: Demodulation Reference Signal. Sincronización y estimación del canal UL

SRS: Sounding Reference Signal. Estimación de canal para planificación de frecuencia en el UL.

RSRP (REFERENCE SIGNAL RECEIVE POWER)

- Media líneas de las potencias medias de los Resource Elements (RE) que portan la Reference Signals (RS) de la celda.
- Sólo se mide sobre los símbolos de RS
- Valores de -44 a -130 dBm
- Usada en protocolos de movilidad idle y conectado.



RSRP (REFERENCE SIGNAL RECEIVE POWER)

| Reported value | Measured quantity value | Unit |
|----------------|-------------------------|------|
| RSRP_00 | RSRP < -140 | dBm |
| RSRP_01 | -140 ≤ RSRP < -139 | dBm |
| RSRP_02 | -139 ≤ RSRP < -138 | dBm |
| ... | ... | ... |
| RSRP_95 | -46 ≤ RSRP < -45 | dBm |
| RSRP_96 | -45 ≤ RSRP < -44 | dBm |
| RSRP_97 | -44 ≤ RSRP | dBm |

Medida sólo de la potencia de referencia: permite estimar las pérdidas de trayecto entre el UE y la celda

No da información acerca de la calidad de la señal

RSSI (RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATOR)

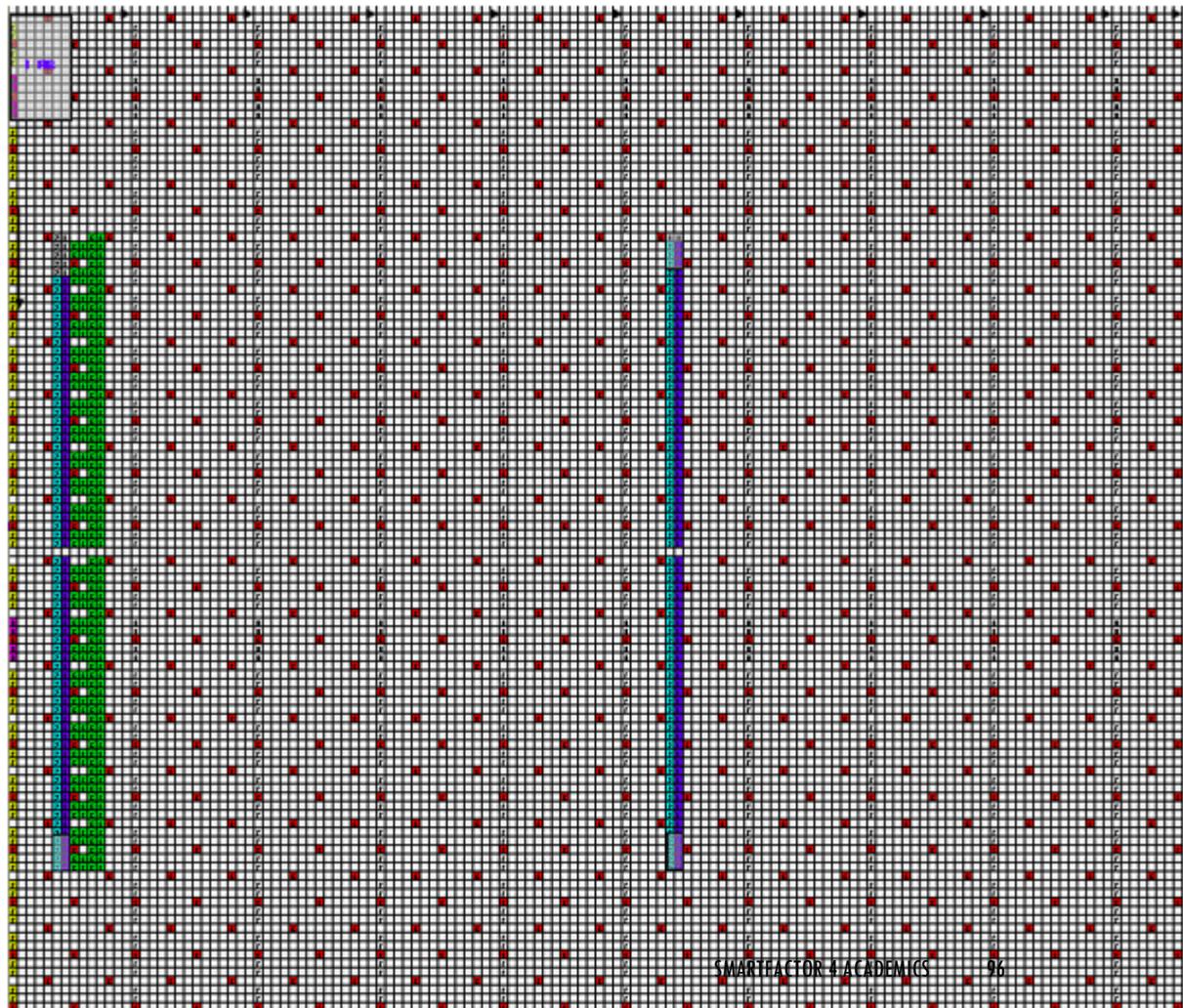
- Magnitud que proporciona información acerca de la potencia total recibida en banda ancha por el terminal (downlink) o la celda (uplink).
- Incluye por tanto toda la interferencia y el ruido térmico captado.
- En downlink el RSSI es toda la potencia que el UE capta, incluyendo: señal principal, señal co-canal no servidora, canal adyacente y ruido térmico dentro de la banda

RSSI (RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATOR)

Mismo ejemplo:

- La parte roja son los RE de las RS
- La parte azul son señales para sincronismo
- Las partes amarilla y verde representan canales de control
- La parte blanca son canales disponibles para tráfico de usuarios

RSSI es la potencia total recibida en los canales de todos los colores, incluyendo ruidos e interferencias



RSRQ (REFERENCE SIGNAL RECEIVE QUALITY)

- RSRQ se calcula a partir de las magnitudes previas: $(N \times \text{RSRP})/\text{RSSI}$, donde N es el número de RB según el ancho de banda total de la señal.
- No es una medida directa de la calidad, sino una estimación basada en que todos los RB se reciben con la misma potencia que la RS (RSRP)
- Especialmente importante en borde de celda, se utiliza sólo en conectado

| Reported value | Measured quantity value | Unit |
|----------------|-------------------------|------|
| RSRQ_00 | RSRQ < -19.5 | dB |
| RSRQ_01 | -19.5 ≤ RSRQ < -19 | dB |
| RSRQ_02 | -19 ≤ RSRQ < -18.5 | dB |
| ... | ... | ... |
| RSRQ_32 | -4 ≤ RSRQ < -3.5 | dB |
| RSRQ_33 | -3.5 ≤ RSRQ < -3 | dB |
| RSRQ_34 | -3 ≤ RSRQ | dB |

SINR (SIGNAL INTERFERENCE NOISE RATIO)

Medida de la calidad no definida en las especificaciones del 3GPP

No se reporta a la red, pero sirve para calcular el QCI (Channel Quality Indicator) que se envía y determina la configuración usada en el DL para ese UE (modulaciones, MIMO...)

Los distintos componentes de SINR pueden definirse como:

- S: Potencia de las señales usadas (Reference Signals, RB de datos de usuario...)
- I: Interferencia (otras celdas, adyacente...)
- N: Suelo de ruido, relacionado con el ancho de banda y las figuras de ruido de los receptores

MIMO

MULTIPLE INPUTS – MULTIPLE OUPUTS

Los sistemas de transmisión se pueden clasificar en función del número de transmisores y receptores que participan en la comunicación

El sistema más básico es el representado por un único transmisor y un único receptor (single input – single output o SISO)

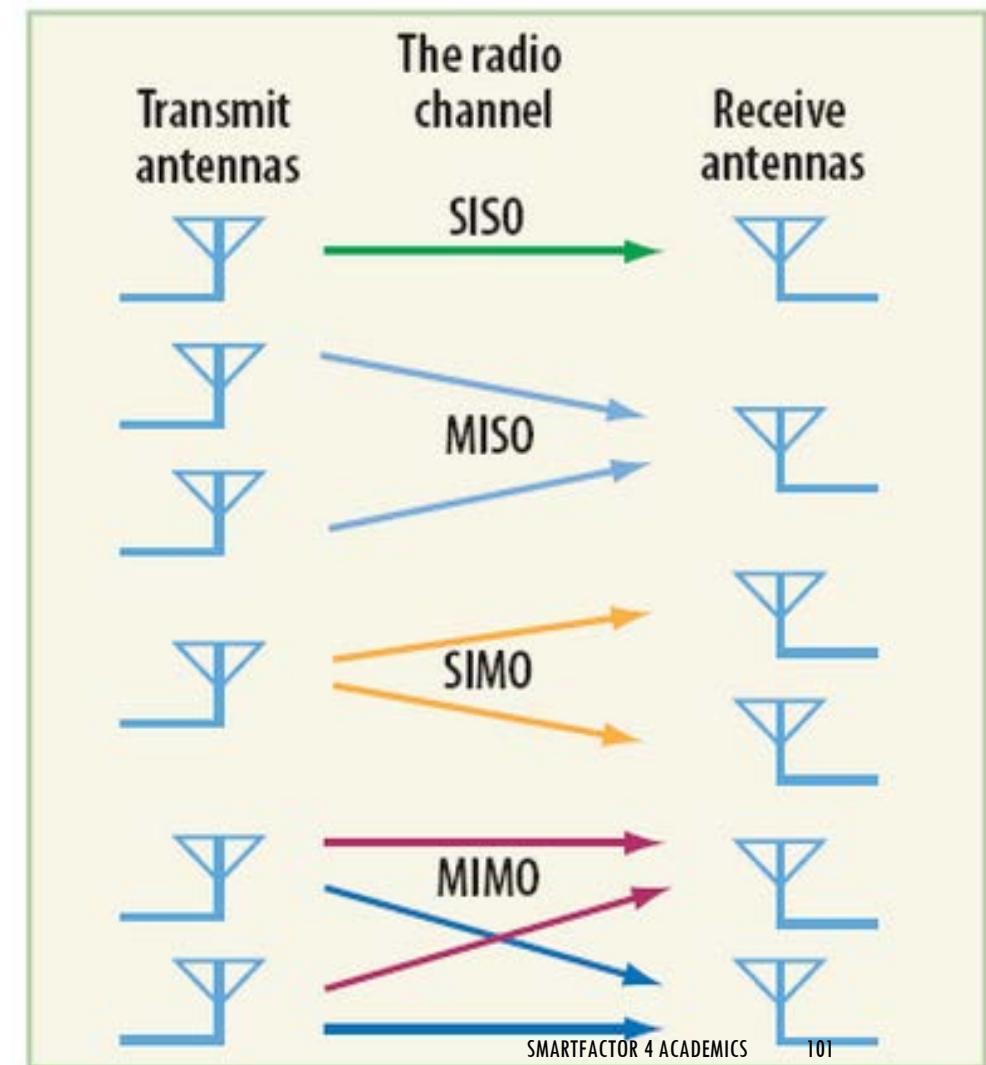


MULTIPLE INPUTS – MULTIPLE OUTPUTS

La configuración donde dos receptores transmiten a un único receptor se denominan Multiple Inputs – Single Output o MISO

La configuración donde un único transmisor es recibido por dos elementos se denomina SIMO.

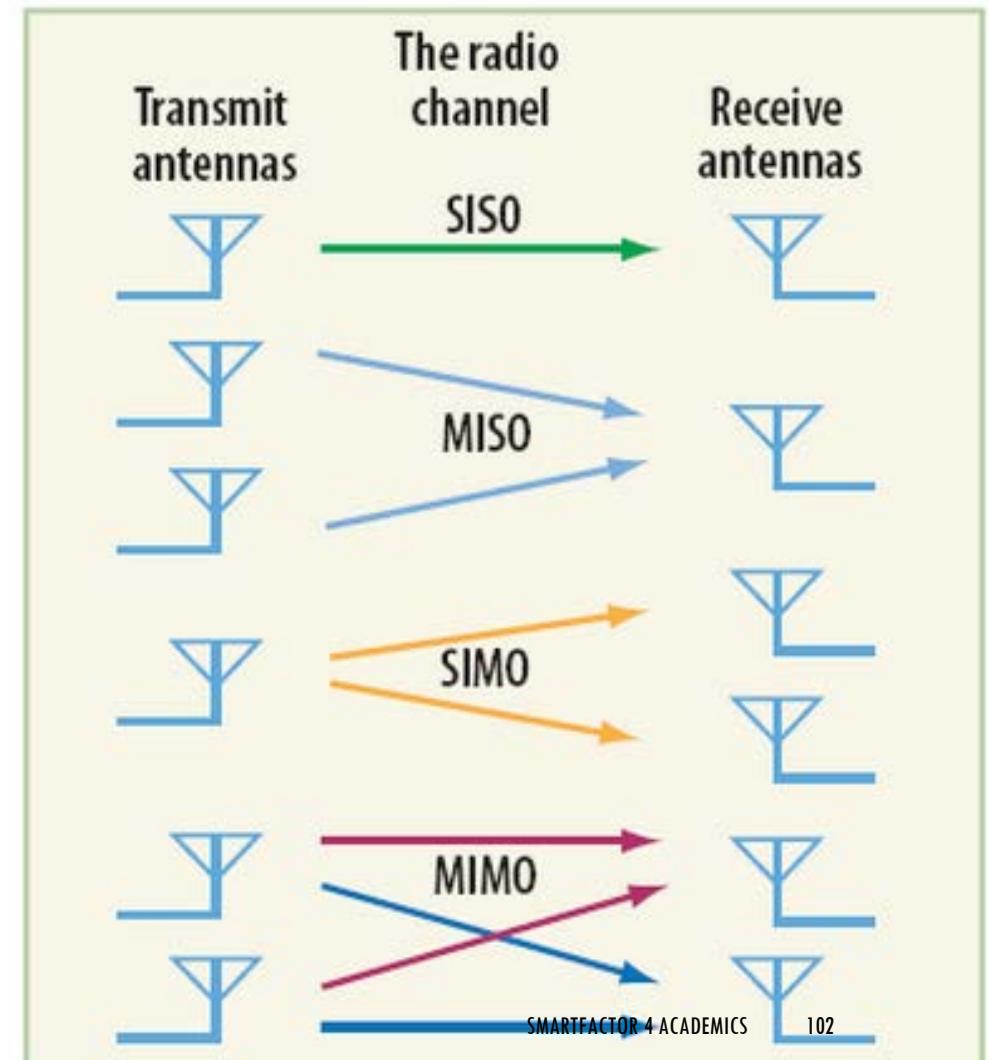
En general los sistemas SIMO se benefician de ganancia de diversidad frente a desvanecimientos multicamino o fading y en sus modelos 2xDiv o 4xDiv está presente en las tecnologías móviles desde hace años.



MULTIPLE INPUTS – MULTIPLE OUPUTS

MIMO incorpora la capacidad de transmitir por dos elementos al mismo tiempo.

Cada elemento transmisor es a su vez escuchado por varios receptores que, individualmente, se ven beneficiados por las ganancias de diversidad en recepción mencionadas



MULTIPLE INPUTS – MULTIPLE OUPUTS

- La transmisión multi-antena busca de manera simplificada dos posibles objetivos no simultáneos:
 - Mejorar la SINR de la conexión
 - Compartir la SINR de la conexión.
- Simplificadamente, la primera aproximación tiene como objetivo los escenarios de bajo SINR mientras que la segunda principalmente los escenarios de buen SINR

MEJORA DE LA SINR: DIVERSIDAD EN TX

- La diversidad en transmisión se obtiene mediante una pre-codificación tipo Alamouti (SFBC)

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ x_2^* & -x_1^* \end{bmatrix}$$

- La precodificación puede combinarse con una *cyclic delay diversity* (CDD):
 - La idea de CDD es incrementar el desplazamiento de fase para hacerlo coincidir con el del canal y mejorar la SINR

$\mathbf{Y} = \mathbf{D}(k)\mathbf{W}(i)\mathbf{x}$ where

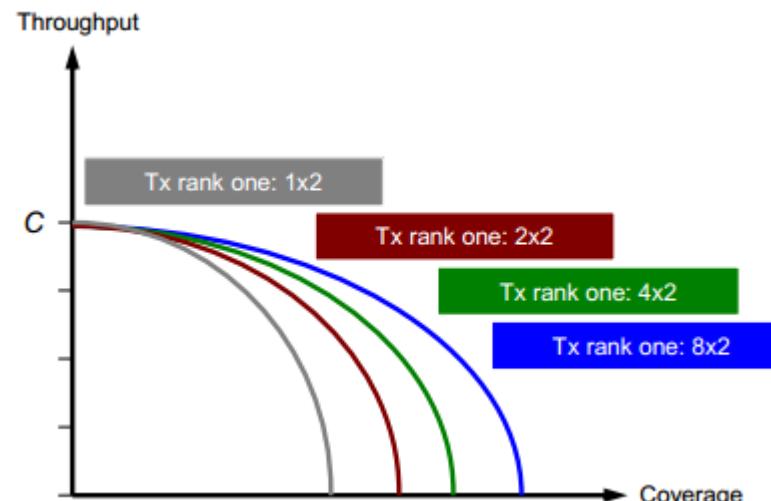
$$\mathbf{D}(k) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-j2\pi k\delta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{-j2\pi k2\delta} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{-j2\pi k3\delta} \end{pmatrix}$$

MEJORA DE LA SINR: BEAMFORMING

Un símbolo se pre-codifica y se transmite en diferentes puertos de antena

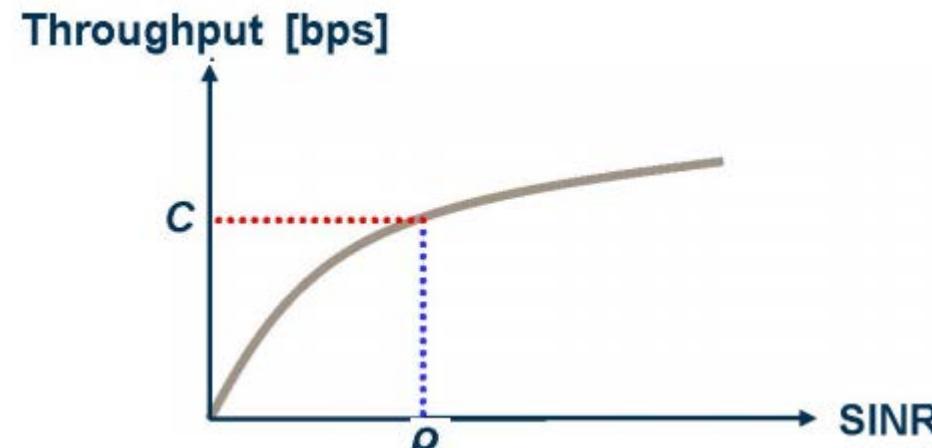
Los ajustes de fase se realizan para que lleguen constructivamente al receptor, mejorando la cobertura

La posible ganancia es proporcional al número de antenas transmisoras. Como se rentabiliza en términos de throughput depende de condiciones radio



COMPARTICIÓN DE LA SINR

- Una SINR mejorada puede utilizarse para transmitir con modulaciones y codificaciones más agresivas
- Hay un límite donde esa mejora deja de producir ganancia (saturación de la curva).
- Mayores SINR ya no se aprovechan en términos de capacidad

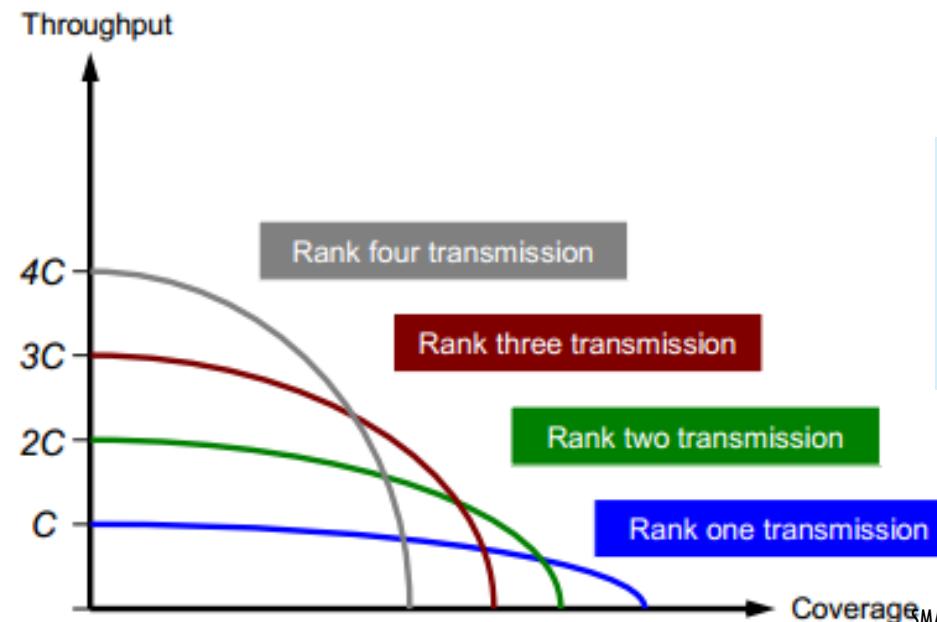


MULTIPLEXACIÓN ESPACIAL

En LTE la interferencia inter-celda es determinante para el rendimiento en tasas de transferencia.

Mejorar SINR vendrá mejor a usuarios al borde de la celda que operan en la zona líenal de la curva y compartir el SINR será adecuado para usuarios cerca del eNB que se encuentran en zona de saturación.

Las transmisiones Rank-1 incrementan la cobertura (medida en velocidad a borde de celda) y los rangos superiores mejoran los picos de throughput.



RANK representa el número de antenas usadas para transmitir

MEJORA DE INTERFERENCIA: MU-MIMO

- Beamforming aplicado con distintos pesos según la ubicación de cada UE
- El UE (o grupo de UEs) recibe haces estrechos orientados a su posición, minimizando la interferencia y multiplicando la capacidad
- Realmente es SDMA sobre OFDMA
- Sólo tiene sentido en celdas muy cargadas de usuarios

MIMO EN LTE

- 3GPPP utiliza el concepto de Puerto de Antena (PA), no confundir con antena física
- Un PA supone un flujo de transmission. Usar más PA incrementa la capacidad total de la celda

| Nº PA | Release | Nivel de aplicación | TECNICA DE TRANSMISIÓN |
|----------|---------|---------------------|--|
| De 1 a 4 | 8 | Cell | Diversidad en transmission y multiplexación espacial |
| 1 | 8 | UE | Beamforming sin MIMO |
| 1 a 4 | 9 | UE | Beamforming con MIMO (MU-MIMO) |

- En UPLINK Rel 8 y 9 sólo puede usarse una PA

MIMO EN LTE

- 3GPPP utiliza MODOS DE TRANSMISIÓN
- Los MODO DE TRANSMISIÓN pueden permitir usar varias TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN

| MODO | Release | Técnicas usadas |
|-------|---------|--|
| 1 | 8 | Sin MIMO, una única antena (DL y UL) |
| 2 y 6 | 8 | Diversidad en transmisión (DL y UL) |
| 3 y 4 | 8 | Diversidad en transmisión y multiplexación espacial (DL) |
| 5 | 8 | Diversidad en transmisión y MU-MIMO (DL) |
| 7 | 8 | Diversidad en transmisión y beamforming específico para UEs (DL) |
| 8 | 9 | Diversidad en transmisión y beamforming avanzado (DL) |
| 9 | 10 | Diversidad en transmisión y beamforming con MIMO 8x8 (DL) |

CATEGORÍAS DE UE

CONCEPTO

- En función de la capacidad de utilizar alguna o todas las características de la capa física descritas en este capítulo se determinan categorías donde agrupar los terminales
- Hay 5 categorías de terminales LTE, varían en los esquemas de modulación y la capacidad de MIMO
- Son estándar y deben ser comunicados a la red al comienzo de cada conexión

CARACTERÍSTICAS DE LAS CATEGORÍAS

| CATEGORÍA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------------------------|--------------------|---|---|--------------------|---|
| DL | QPSK, 16QAM, 64QAM | | | | |
| UL | QPSK, 16QAM | | | QPSK, 16QAM, 64QAM | |
| Esquemas de modulación soportados | | | | | |

| CATEGORÍA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------|--|-------------|-------------|---|---|
| 2xRX | Asumida en requisitos de rendimiento en todas las categorías | | | | |
| 2x2 MIMO | No disponible | Obligatorio | | | |
| 4x4 MIMO | No disponible | | Obligatorio | | |

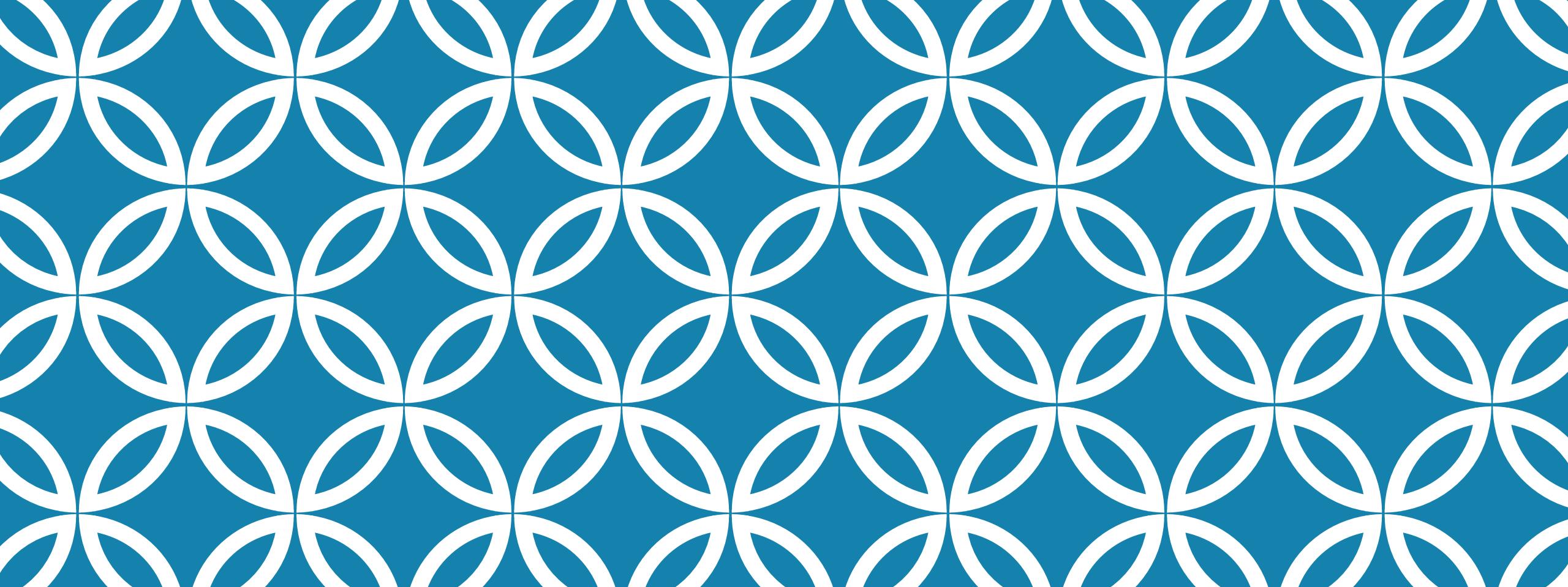
Configuración de antenas soportadas

| CATEGORÍA | DL 2xRX en terminal | DL 2x2 MIMO | DL 4x4 MIMO |
|-----------|------------------------|----------------|----------------|
| 1 | 10 | N/A | N/A |
| 2 | 50 | 50 | |
| 3 | 75 | 102 | |
| 4 | 75 | 150 | |
| 5 | 79 | 158 | 300 |

Velocidades (Mbps) DL según las antenas

| CATEGORÍA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------|----|----|-----|-----|-----|
| DL | 10 | 50 | 100 | 150 | 300 |
| UL | 5 | 25 | 50 | 50 | 75 |

Velocidades de transmisión alcanzables (Mbps)



CANALES LTE

Principios Básicos de LTE

TIPOS DE CANALES

Los flujos de información intercambiada entre los distintos protocolos se denominan canales.

LTE usa varios tipos de canales lógicos, de transporte y físicos que se distinguen por el tipo de información que portan:

Logical Channels: Define **whattype** of information is transmitted over the air

Transport Channels: Define **howis** something transmitted over the air

Physical Channels: Define **whereis** something transmitted over the air

CANALES LÓGICOS

Estos canales entre los protocolos RLC y MAC definen los servicios de transferencia de datos ofrecidos por la capa MAC.

Canales lógicos pueden dividirse en canales de control y tráfico.

Además pueden ser comunes o dedicados. Un canal común significa común a todos los usuarios en una celda (punto a multipunto) mientras que canales dedicados medios canales pueden ser utilizados solamente por un usuario (punto a punto).

| Channel Name | Acronym | Control channel | Traffic channel |
|---------------------------|---------|-----------------|-----------------|
| Broadcast Control Channel | BCCH | X | |
| Paging Control Channel | PCCH | X | |
| Common Control Channel | CCCH | X | |
| Dedicated Control Channel | DCCH | X | |
| Multicast Control Channel | MCCH | X | |
| Dedicated Traffic Channel | DTCH | | X |
| Multicast Traffic Channel | MTCH | | X |

CANALES DE TRANSPORTE

Canal entre capas MAC y física determinan como y con qué características se transfieren los datos por dicha capa

| Channel Name | Acronym | Downlink | Uplink |
|-------------------------|---------|----------|--------|
| Broadcast Channel | BCH | X | |
| Downlink Shared Channel | DL-SCH | X | |
| Paging Channel | PCH | X | |
| Multicast Channel | MCH | X | |
| Uplink Shared Channel | UL-SCH | | X |
| Random Access Channel | RACH | | X |

CANALES DE TRANSPORTE EN EL DL

- BCH: Broadcast Channel.
 - Formato fijo.
 - Debe difundirse en toda la célula.
- PCH: Paging Channel
 - Debe difundirse en toda la célula.
 - Soporta recepción discontinua (modo DRX).

CANALES DE TRANSPORTE EN EL DL

- DL-SCH: Down Link Shared Channel
 - Para datos y control; TTI = 1 ms.
 - Soporta HARQ, planificación (scheduling) en tiempo y frecuencia.
 - Multiplexación espacial (MIMO), Adaptación dinámica de tasa y configuración de haces de antena.
- MCH: Multicast Channel.
 - Debe difundirse en toda la célula.
 - Soporta asignación semiestática de recursos.

CANALES DE TRANSPORTE EN EL UL

- **UL-SCH:** Uplink Shared Channel
 - Para datos y control.
 - Soporta HARQ y adaptación dinámica del enlace.
 - Asignación semiestática de recursos.
 - Posibilidad de configuración de haces de antena.
- **RACH:** Random Access Channel
 - Para acceso inicial UE a la red.
 - Riesgo de colisión. Control de contienda.

CANALES FÍSICOS (DATOS)

Se distinguen por las maneras en las que se asignan a los símbolos y las subportadoras utilizados por multiplexación de división de frecuencia ortogonal (OFDMA)

En la tabla siguiente se enumeran los canales de datos físicos que son utilizados por LTE:

| Channel Name | Acronym | Downlink | Uplink |
|----------------------------------|---------|----------|--------|
| Physical downlink shared channel | PDSCH | X | |
| Physical broadcast channel | PBCH | X | |
| Physical multicast channel | PMCH | X | |
| Physical uplink shared channel | PUSCH | | X |
| Physical random access channel | PRACH | | X |

CANALES FÍSICOS (CONTROL)

Generados por la capa de transporte, no incorporan datos de capas superiores.

En la tabla siguiente se enumeran los canales de control físicos que son utilizados por LTE:

| Channel Name | Acronym | Downlink | Uplink |
|---|---------|----------|--------|
| Physical control format indicator channel | PCFICH | X | |
| Physical hybrid ARQ indicator channel | PHICH | X | |
| Physical downlink control channel | PDCCH | X | |
| Relay physical downlink control channel | R-PDCCH | X | |
| Physical uplink control channel | PUCCH | | X |

CANALES FÍSICOS EN EL DL

- PBCH: Physical Broadcast Channel
 - Transmite información específica de la célula (MIB)
 - Modulación: QPSK
- PDCCH: Physical Down Link Control Channel
 - Planificación de UE; Acuses de recibo (ACK/NACK); control de potencia; ajustes de modulación-codificación
 - Puede usar 1, 2 ó 3 símbolos
 - Formado por Control Channel Elements (36 subportadoras)
 - Modulación: QPSK

CANALES FÍSICOS EN EL DL

- PCFICH: Physical Control Format Indicator Channel.
 - Indica el número de símbolos de PDCCH por subtrama.
 - Modulación: QPSK.
- PHICH: Physical Hybrid ARQ Indicator Channel.
 - Lleva la información de HARQ: ACK/NACK.
 - Modulación: BPSK en ejes I,Q con códigos expansores Walsh
- PMCH: Physical Multicast Channel
 - Difunde información para el servicio eMBMS.
 - Modulaciones: QPSK, 16QAM, 64QAM.

CANALES FÍSICOS EN EL DL

- PDSCH: Physical Down Link Shared Channel.
 - Transporta los paquetes de datos de usuarios, con TTI = 1 ms
 - Transporta avisos
 - Transporta los SIB
 - Ocupa los RE no ocupados por RS, PSS, SSS, PBCH, PDCCH.
 - Modulaciones: QPSK, 16QAM, 64QAM.
- PHICH: Physical Hybrid ARQ Indicator Channel.
 - Lleva la información de HARQ: ACK/NACK.
 - Modulación: BPSK en ejes I,Q con códigos expansores Walsh.

CANALES FÍSICOS EN EL UL

- PRACH: Physical Random Access Channel.
 - Para establecimiento conexiones.
- PUSCH: Physical Uplink Shared Channel.
 - Envío datos de usuario
 - Envío de datos de control
 - Envío de la DMRS (demodulation reference signal)
 - El UE sabe qué PRBs utilizar a través del mensaje DCI del PDCCH
 - Modulaciones: QPSK, 16QAM, 64QAM

CANALES FÍSICOS EN EL UL

- PUCCH: Physical Uplink Control Channel.
 - CQI, PMI y/o RI para MIMO, Scheduling Request, ACK/NACK.
 - Modulaciones: BPSK, QPSK.
 - Utiliza los bloques en el extremo de la banda

SEÑALES FÍSICAS

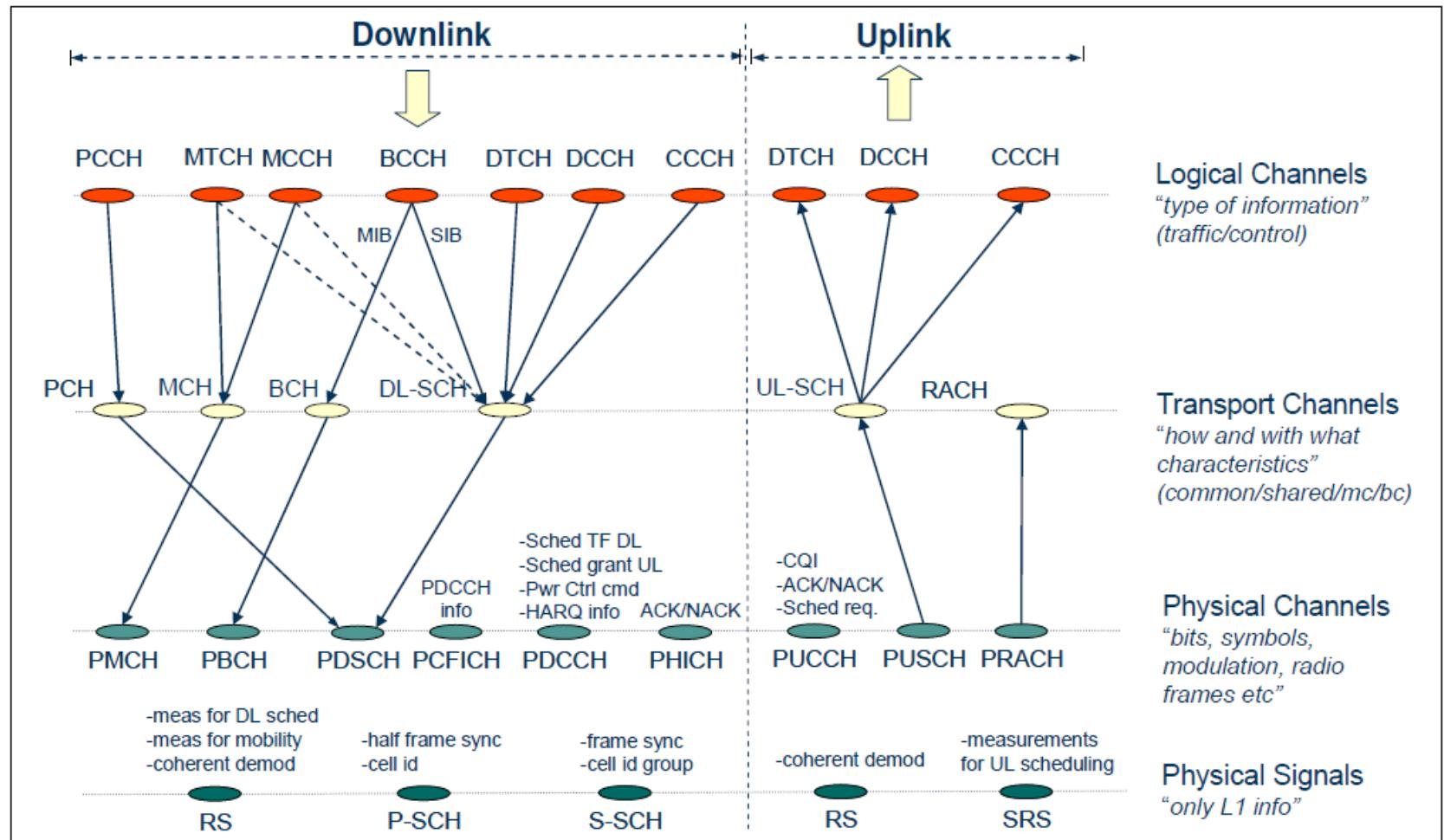
Las señales físicas transportan información necesaria para la sincronización temporal, identificación de la célula servidora y estimación del canal. En el enlace descendente (DL) hay tres:

PSS (Primary Synchronization Signal): Obtención temporización del intervalo y parte de la identidad de la célula.

SSS (Secundary Synchronization Signal): Obtención temporización de la trama e identidad completa.

RS (Reference signal): Estimación función de transferencia del canal DL.

CANALES



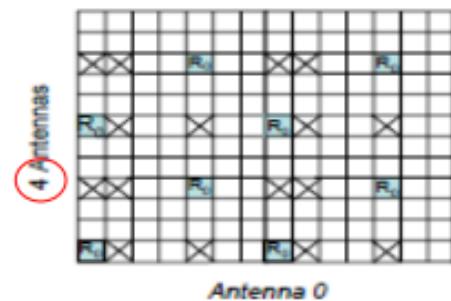
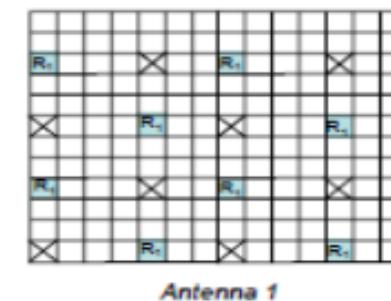
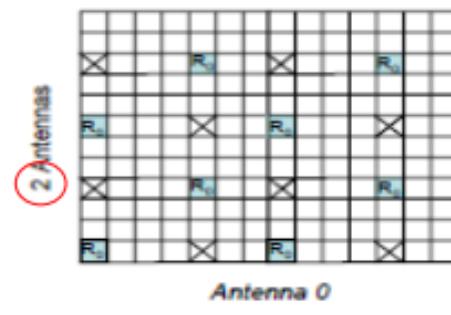
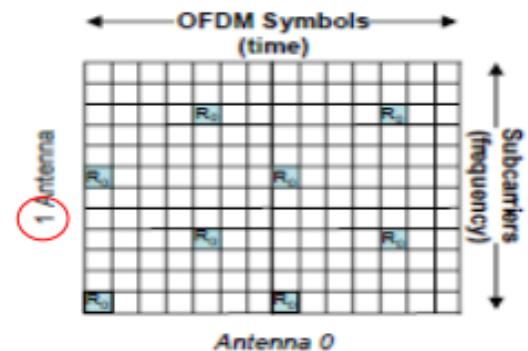
SEÑALES FÍSICAS II

En el enlace ascendente (UL) hay dos:

DMRS: Demodulation Reference Signal. Sincronización y estimación del canal UL

SRS: Sounding Reference Signal. Estimación de canal para planificación de frecuencia en el UL.

RS (PCI)



Las RS se generan mediante el producto de una secuencia ortogonal y otra pseudoaleatoria. Sólo existen 510, y se asigna una a cada célula, actuando como identificador de célula.

R_0 Reference Signal from Antenna 0

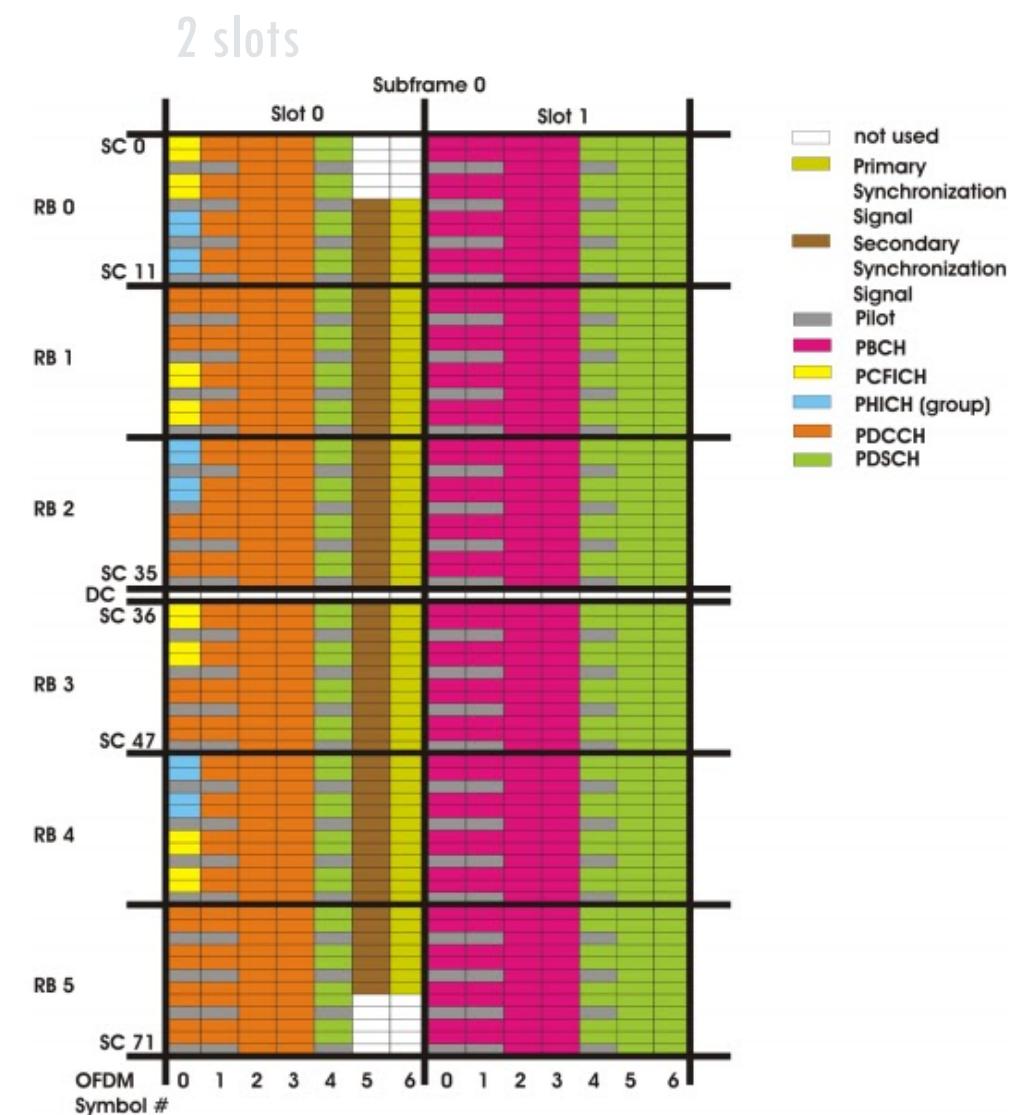
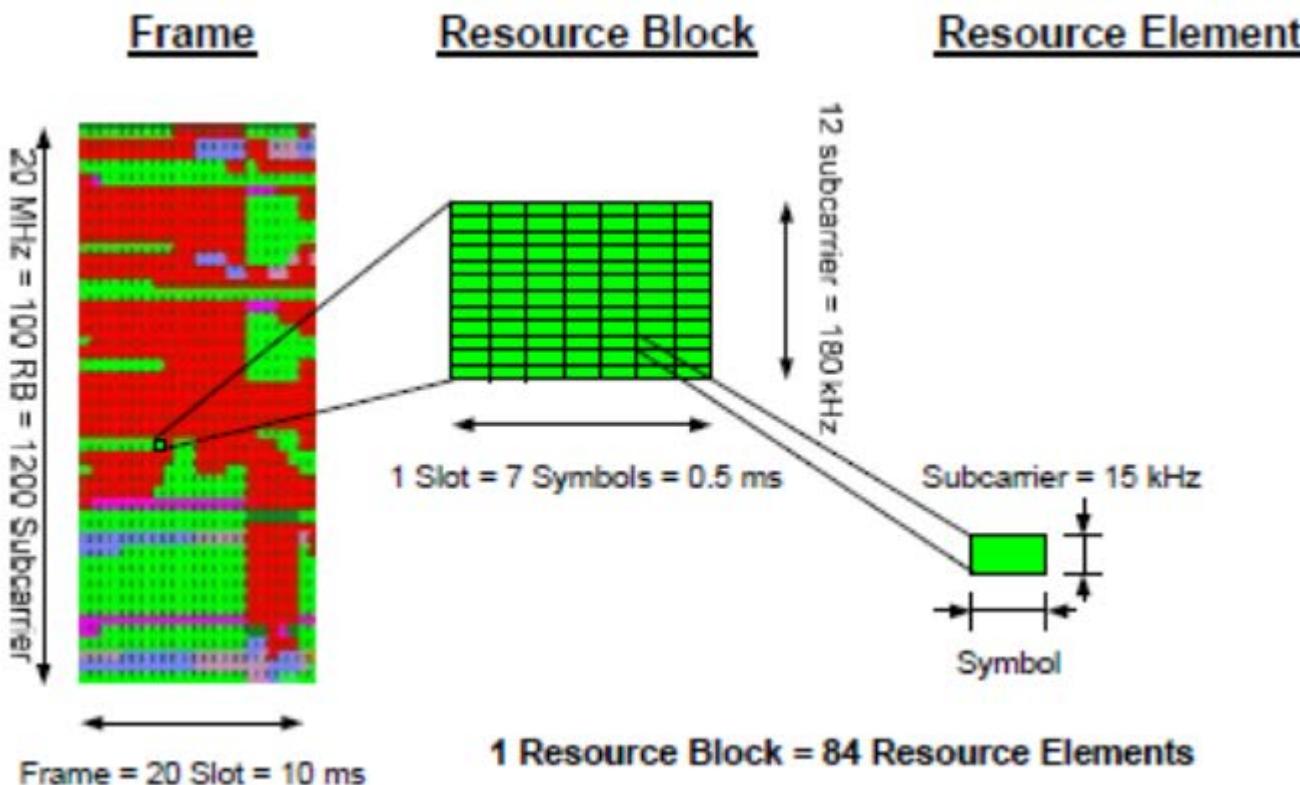
R_1 Reference Signal from Antenna 1

R_2 Reference Signal from Antenna 2

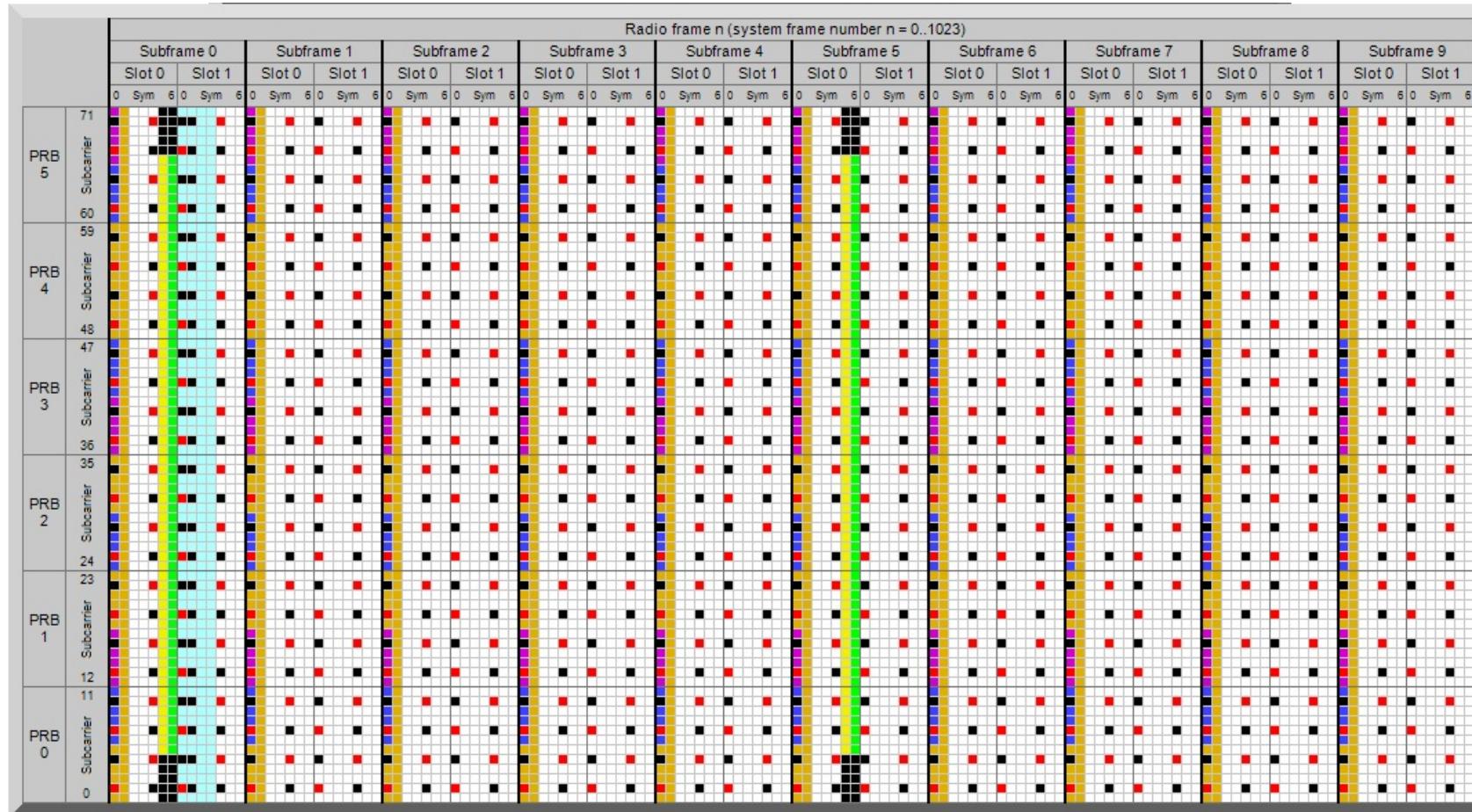
R_3 Reference Signal from Antenna 3

✗ Denotes Unused Resource Element

MAPEO DE CANALES FÍSICOS



SEÑAL LTE DL



Y-axis 10 sym/RB

10 Mhz - 50 PRB

15 Mhz - 75 PRB

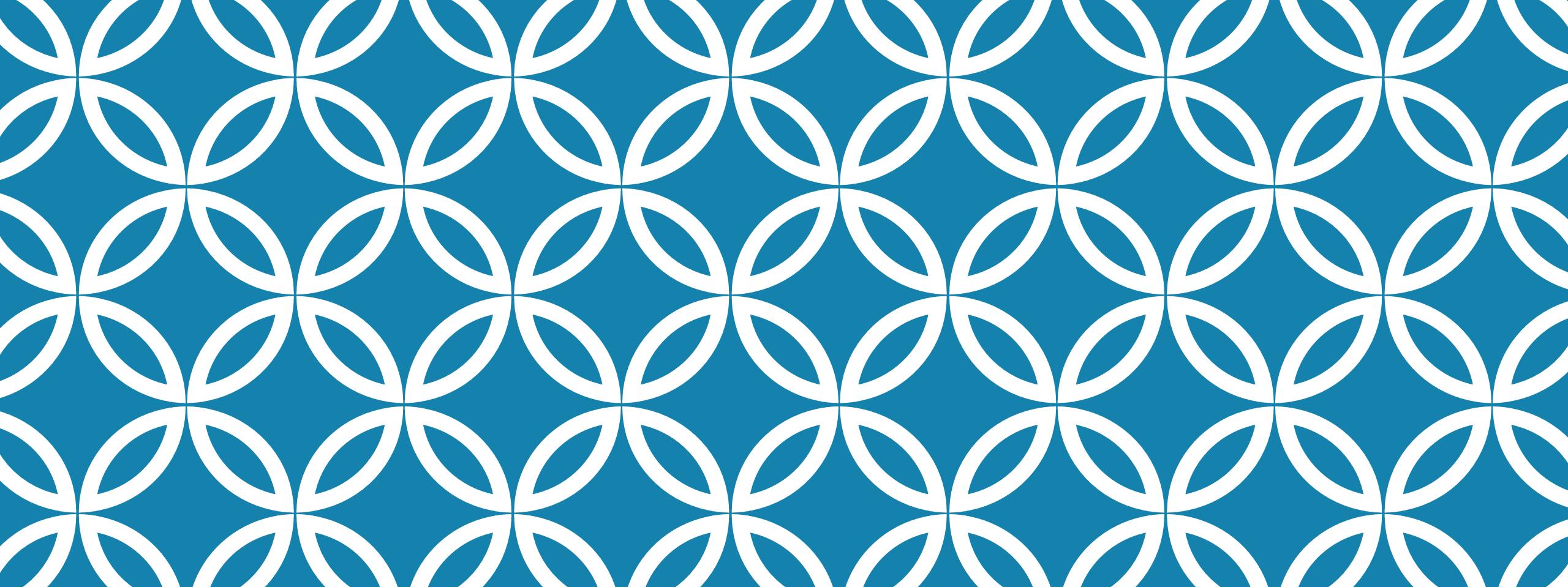
20 Mhz - 100 PRB

X-axis 7 sym/slot

1 subframe – 2 slots

1 frame – 10 subfr

1 frame – 10 ms



RADIO RESOURCE MANAGEMENT (RRM)

Principios Básicos de LTE

RADIO RESOURCE MANAGEMENT

- RRM engloba todas las funciones que están relacionadas con la gestión de la red de acceso radio
- El objetivo principal del RRM es controlar el uso de los recursos radio del sistema asegurando la Calidad de Servicio (QoS) de las portadoras radio individuales mientras se minimiza el uso global de los recursos de la red
- RRM engloba acciones que afectan a todos los protocolos de red
- La Red informa al UE de parámetros relativos al RRM en mensajes RRC y mediante los System Information Blocks (SIBs)

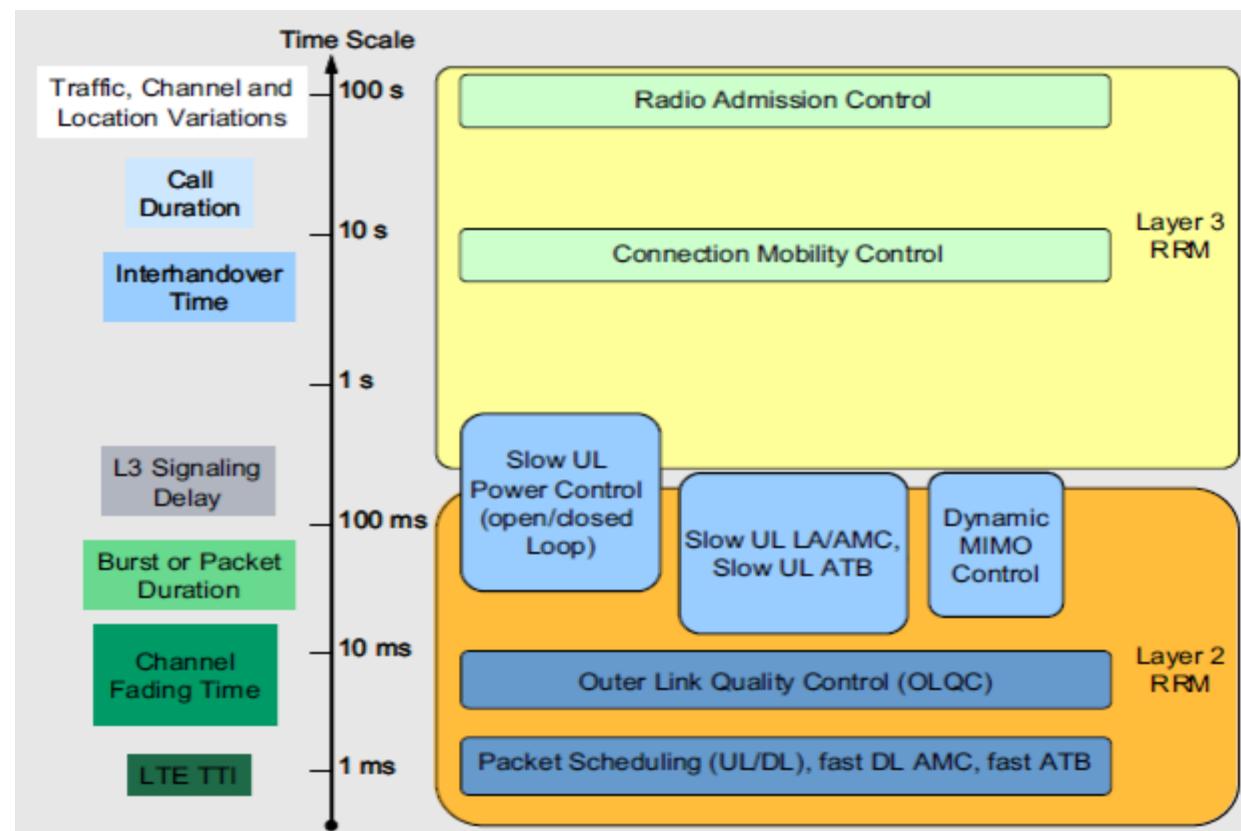
RADIO RESOURCE MANAGEMENT

Funcionalidades RRM en LTE:

1. Radio Bearer Control (RBC)
2. Radio Admission Control (RAC)
3. Connection Mobility Control
4. Dynamic Resource Allocation (DRA) & Packet Scheduling (PS)
5. Inter-cell Interference Coordination (ICIC)
6. Load Balancing (LB)
7. Inter-RAT Radio Resource Management
8. Subscriber Profile ID for RAT/Frequency Priority

ESCALA TEMPORAL DE FUNCIONES RRM

Las funciones RRM engloban acciones de periodicidad TTI hasta inalterables en el tiempo.

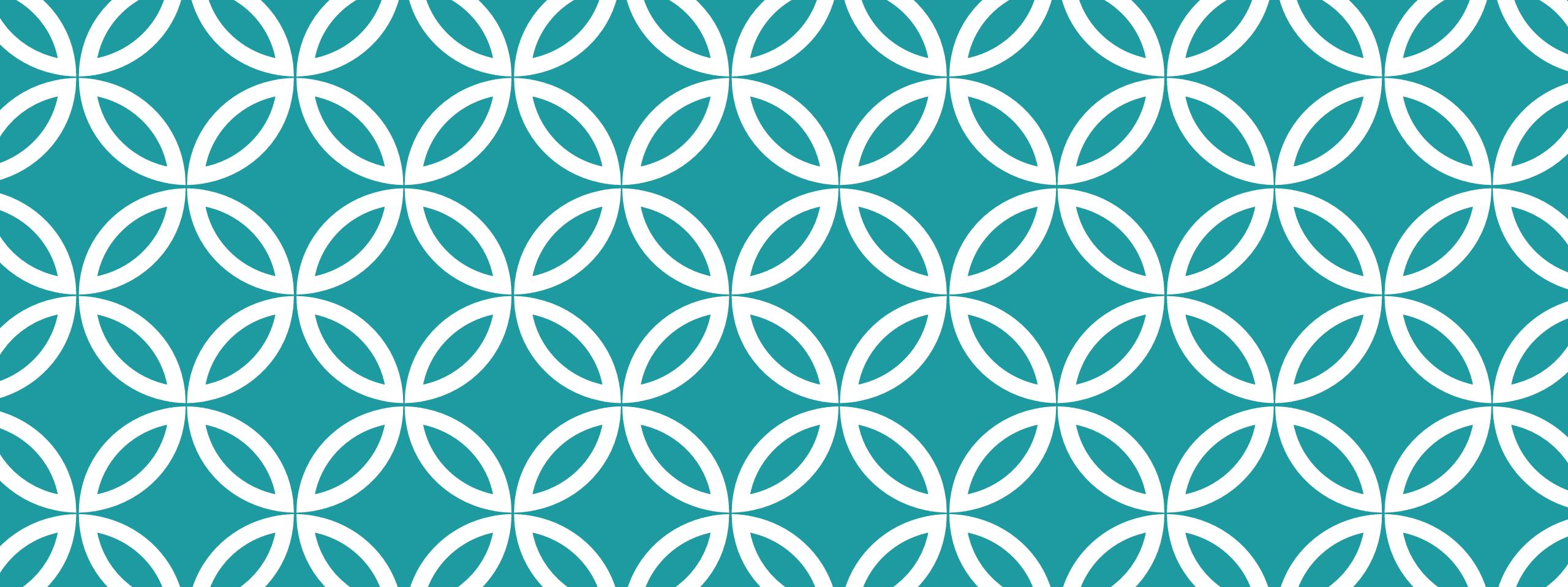


SYSTEM INFORMATION BLOCKS

- MIB defines the most essential physical layer information of the cell required to receive further system information
 - Cell bandwidth, SFN, etc
- SIB1 contains information relevant when evaluating if a UE is allowed to access a cell and defines the scheduling of other system information blocks
 - plmn-IdentityList, cellReservedForOperatorUse, trackingAreaCode, cellBarred, csg-Indication, si-Periodicity, sib-MappingInfo, si-WindowLength, etc
- SIB2 contains common and shared channel information
 - Lower layers (including RACH) configuration information: RACH parameters, preamble information, and UE timers
- SIB3 contains cell re-selection information, mainly related to the serving cell
- SIB4 contains information about the serving frequency and intra-frequency neighbouring cells relevant for cell re-selection (including cell re-selection parameters common for a frequency as well as cell specific re-selection parameters)
- SIB5 contains information about other E-UTRA frequencies and interfrequency neighbouring cells relevant for cell re-selection (including cell reselection parameters common for a frequency as well as cell specific reselection parameters)

SYSTEM INFORMATION BLOCKS

- SIB6 contains information about UTRA frequencies and UTRA neighbouring cells relevant for cell re-selection (including cell re-selection parameters common for a frequency as well as cell specific re-selection parameters)
- SIB7 contains information about GERAN frequencies relevant for cell reselection (including cell re-selection parameters for each frequency)
- SIB8 contains information about CDMA2000 frequencies and CDMA2000 neighbouring cells relevant for cell re-selection (including cell re-selection parameters common for a frequency as well as cell specific re-selection parameters)
- SIB9 contains a home eNB identifier (HNBID)
- SIB10 contains an ETWS primary notification
- SIB11 contains an ETWS secondary notification
- SIB12 contains an CMAS notification
- SIB13 contains MBMS related information



RADIO BEARER CONTROL (RBC)

RADIO ADMISSION CONTROL (RAC)

RADIO BEARER CONTROL (RBC)

El establecimiento, mantenimiento y liberación de portadoras radio implica la configuración de recursos de radio asociadas con ellos.

Cuando se configura una portadora radio para un servicio, Radio Bearer Control (RBC) toma en cuenta la situación general de recursos en E-UTRAN, los requisitos de QoS de sesiones en curso y los requisitos de QoS para el nuevo servicio.

RBC se refiere también al mantenimiento de portadoras radio de sesiones en curso y de la liberación de recursos de radio asociadas con la terminación de la sesión

RBC está situado en el eNB.

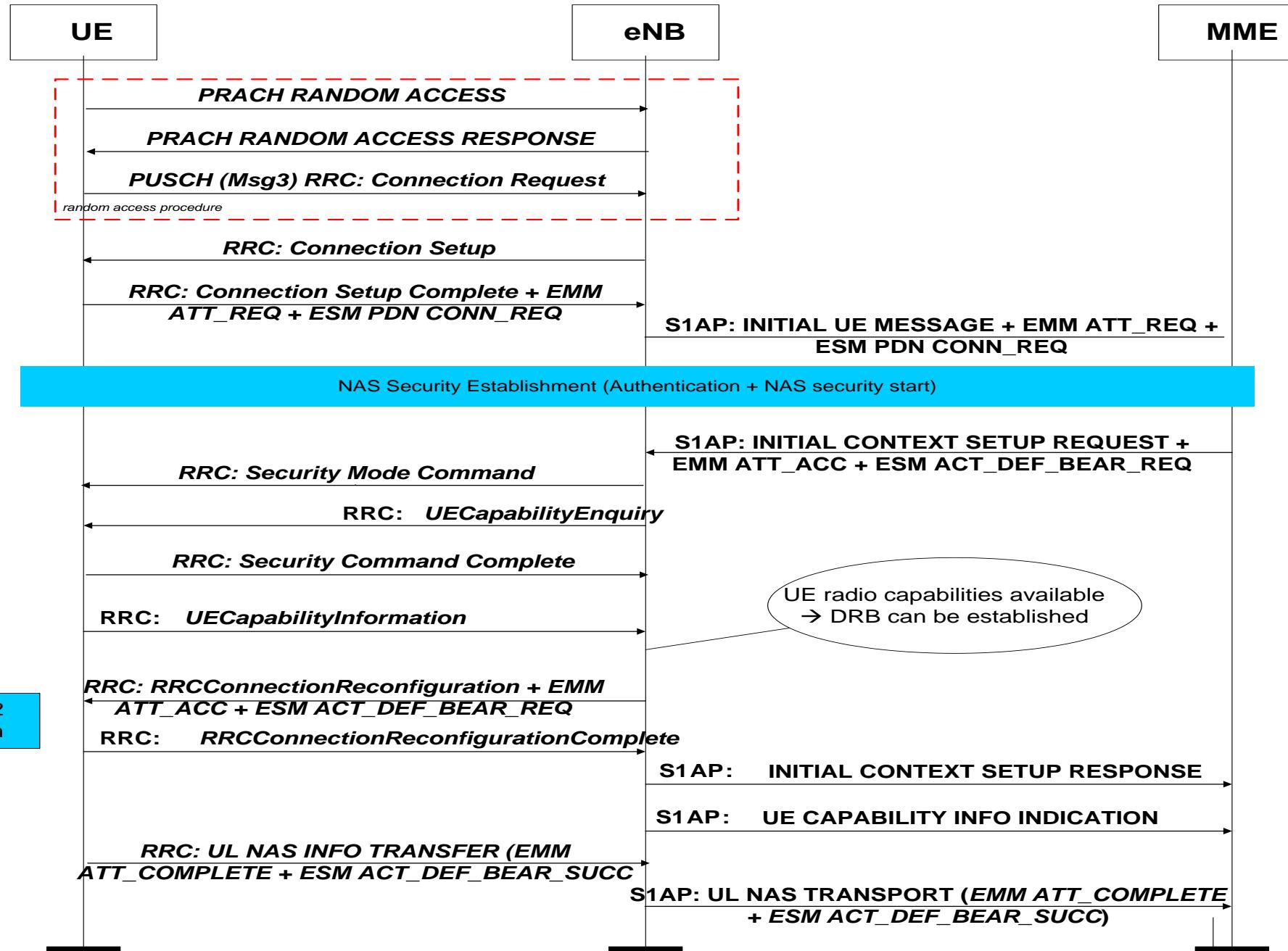
RADIO ADMISSION CONTROL (RAC)

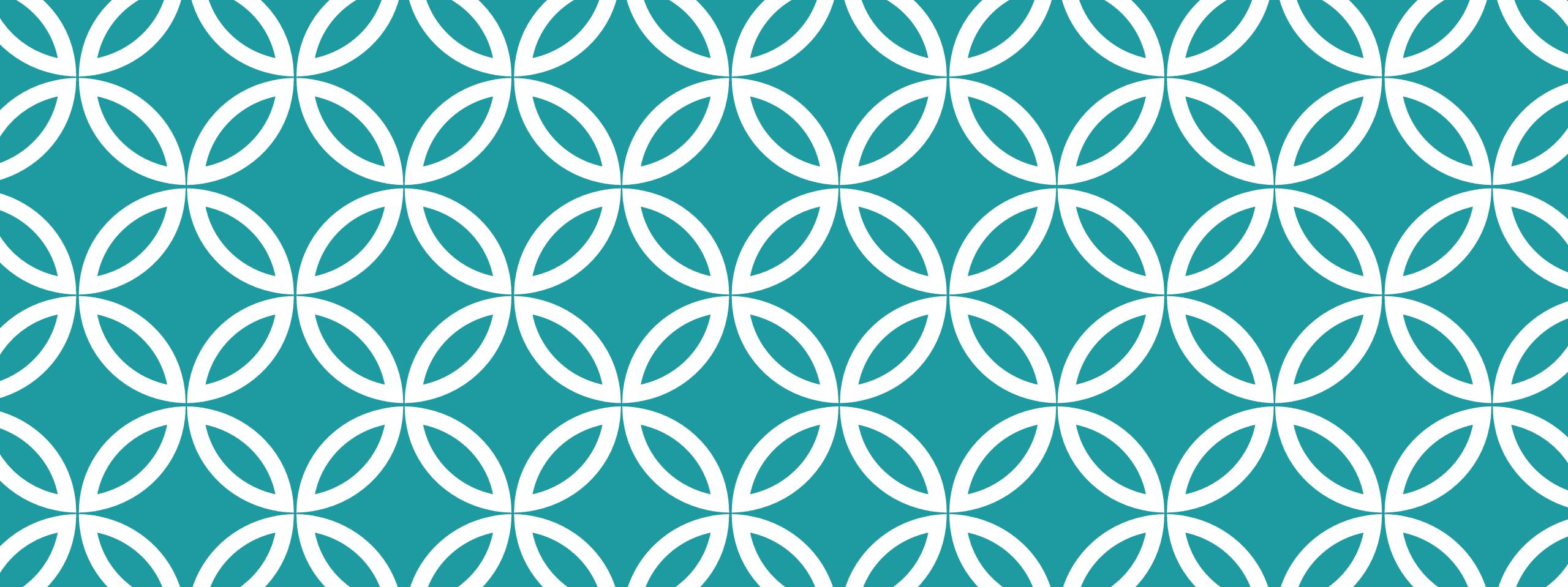
La tarea del Radio Admission Control (RAC) es admitir o rechazar las solicitudes de establecimiento de nuevas portadoras radio.

RAC toma en cuenta la situación general de recursos en E-UTRAN, los requisitos de QoS, los niveles de prioridad y la QoS provista de sesiones en curso y los requisitos de QoS de la nueva solicitud de portador de radio.

El objetivo del RAC es asegurar la utilización de recursos de radio alta (aceptando peticiones mientras haya recursos de radio) y al mismo tiempo garantizar la adecuada QoS de sesiones en curso (rechazando las peticiones de portadoras radio dicha QoS no pueda ser satisfecha).

RAC se encuentra en el eNB.





DYNAMIC RESOURCE ALLOCATION (DRA)

DYNAMIC RESOURCE ALLOCATION (DRA) - PACKET SCHEDULING (PS)

La tarea del Dynamic Resource Allocation (DRA) o Packet Scheduling (PS) es asignar y anular la asignación de recursos al usuario

DRA implica varias tareas secundarias, incluyendo la selección de portadoras radio cuyos paquetes se planifican y gestionar los recursos necesarios (por ejemplo los niveles de potencia o los PRBs específicos utilizados).

PS normalmente toma en cuenta los requisitos de QoS asociados con los portadoras radio, la información de calidad del canal, estado de los buffers, situación de interferencia, etc...

DRA puede tomar también en cuenta las restricciones o preferencias sobre algunos de los PRBs debido a consideraciones de coordinación entre células intercelulares.

DRA se encuentra en el eNB.

DYNAMIC RESOURCE ALLOCATION (DRA)

El eNB controla la asignación de recursos en los canales compartidos:

PUSCH (canal físico compartido UL) y **PDSCH** (canal físico compartido DL)

- Los planificadores DL y UL se encuentran en eNB.
- El programador asigna RBs al UE informándole a través del canal **PDCCH** que se radia en los primeros símbolos OFDMA de cada subtrama
- Procedimiento:
 - UE debe reconocer su identidad en el PDCCH => encontrar la información de control, descodificar e identificar los RBs DL (en PDSCH) y UL (PUSCH) que le han sido otorgados para recibir y enviar datos.

DYNAMIC RESOURCE ALLOCATION (DRA)

- A veces se aplica una planificación semipersistente (bajar la carga PDCCH)
 - Permite asignar recursos hacia adelante en el tiempo, normalmente de forma periódica.
 - Útil en servicios predecibles, por ejemplo, VoIP
- En DL, el planificador puede asignar libremente cualquier RBs para el UE pero en UL sólo se pueden asignar RB consecutivos para mantener las propiedades del SC-FDMA
- El planificador selecciona UEs y RBs basándose en: Calidad del canal de calidad, requisitos de QoS de las portadoras radio y tráfico de los buffers

CHANNEL QUALITY INFORMATION

- El eNB debe obtener los informes de calidad del canal de la UE para hacer la planificación
- En LTE se define el indicador de calidad de canal (CQI) para este propósito
- Tiene un rango de 0 a 15 e informa al otro extremo de la conexión de la tasa de código máxima estimada para mantener una tasa de error menor del 10%

| CQI index | Modulation | Approximate code rate | Efficiency (information bits per symbol) |
|-----------|----------------|-----------------------|---|
| 0 | 'Out-of-range' | — | — |
| 1 | QPSK | 0.076 | 0.1523 |
| 2 | QPSK | 0.12 | 0.2344 |
| 3 | QPSK | 0.19 | 0.3770 |
| 4 | QPSK | 0.3 | 0.6016 |
| 5 | QPSK | 0.44 | 0.8770 |
| 6 | QPSK | 0.59 | 1.1758 |
| 7 | 16QAM | 0.37 | 1.4766 |
| 8 | 16QAM | 0.48 | 1.9141 |
| 9 | 16QAM | 0.6 | 2.4063 |
| 10 | 64QAM | 0.45 | 2.7305 |
| 11 | 64QAM | 0.55 | 3.3223 |
| 12 | 64QAM | 0.65 | 3.9023 |
| 13 | 64QAM | 0.75 | 4.5234 |
| 14 | 64QAM | 0.85 | 5.1152 |
| 15 | 64QAM | 0.93 | 5.5547 |

CHANNEL QUALITY INFORMATION

- En DL:
 - El UE determina el CQI que debe enviar a la red en base a medidas de las “Reference Signals” (RS)
 - CQI se envía en el PUCCH o en el PUSCH (si UE tiene datos que transmitir)
- En UL:
 - RSs se envían similares a DL y el eNB realiza las mediciones
 - Para la medición de la calidad de la canal de todos los PRBs se utilizan las Sounding Reference Signals (SRS) desde el UE.
 - El eNB intruye al UE para que envíe esa señal durante un símbolo ocupando todo el BW disponible.

LINK ADAPTATION (LA)

- Una vez el planificador ha asignado los PRBs al UE se necesita determinar el número de bits por símbolo que se va a enviar
- Dentro del DRA, el proceso de **Link Adaptation** ajusta el MCS y la potencia usada en los PRB
- El MCS es una medida del esquema de codificación y la modulación empleados en la transmisión
- El MCS junto a los PRB determinan el tamaño del bloque de capa de transporte enviado en ese TTI, es decir, el throughput

LA - MCS

- Un MCS (de 0 a 28) mayor supone una mayor eficiencia espectral
- Las modulaciones pueden ser QPSK, 16QAM y 64QAM
- La selección del MCS del DL y el UL se realiza en el eNB
 - En DL, se basa en las medidas de CQI señalizadas por el UE
 - En UL se basa en las medidas propias del enlace UL y en los datos que tenga el UE pendientes de transmitir

| MCS Index I_{MCS} | Modulation Order Q_m | TBS Index I_{TBS} |
|------------------------|---------------------------|------------------------|
| 0 | 2 | 0 |
| 1 | 2 | 1 |
| 2 | 2 | 2 |
| 3 | 2 | 3 |
| 4 | 2 | 4 |
| 5 | 2 | 5 |
| 6 | 2 | 6 |
| 7 | 2 | 7 |
| 8 | 2 | 8 |
| 9 | 2 | 9 |
| 10 | 4 | 9 |
| 11 | 4 | 10 |
| 12 | 4 | 11 |
| 13 | 4 | 12 |
| 14 | 4 | 13 |
| 15 | 4 | 14 |
| 16 | 4 | 15 |
| 17 | 6 | 15 |
| 18 | 6 | 16 |
| 19 | 6 | 17 |
| 20 | 6 | 18 |
| 21 | 6 | 19 |
| 22 | 6 | 20 |
| 23 | 6 | 21 |
| 24 | 6 | 22 |
| 25 | 6 | 23 |
| 26 | 6 | 24 |
| 27 | 6 | 25 |
| 28 | 6 | 26 |
| 29 | 2 | |
| 30 | 4 | reserved |
| 31 | 6 | |

LA – CONTROL DE POTENCIA

La asignación de potencia depende del MCS seleccionado, el cual se basa en una SINR objetivo para alcanzar esa tasa de código

- El objetivo del control de potencia es transmitir al nivel que satisfaga esa SINR
- En el DL, el eNB tiene autonomía y básicamente no hay un estándar para el control de potencia. Cada suministrador lo implementa libremente
 - Forma más simple: El eNB distribuye la potencia uniformemente sobre los PRBs según el MCS
 - Forma más compleja: El eNB utiliza water-filling para la gestión de potencia. Mayor potencia se asigna a las subportadora con menos fading e interferencia

CONTROL DE POTENCIA UPLINK

- Control de potencia UL descrito en 3GPP TS 36.213.
- Funciones:
 - Se ajusta la potencia de UE para compensar el fading del canal
 - Reduce la interferencia inter-celda
 - Impide a los UE utilizar excesiva potencia
 - Maximiza la tasa binaria uplink
 - Extiende la vida de la batería
 - Actualización cada TTI (1 ms)

CONTROL DE POTENCIA OPEN-LOOP & CLOSE-LOOP

- LTE uplink power control es una combinación de un algoritmo denominado *open-loop* y otro *closed-loop*
- Open-loop: el UE transmite potencia en función de la estimación de las pérdidas de canal y la propia configuración del canal
- Closed-loop: Implica que la red puede, además, controlar en tiempo real de potencia del terminal mediante el envío de comandos explícitos de control de potencia en el downlink
- Open-loop power control se usa para los canales:
 - PRACH (Random Access).
 - PUSCH and PUCCH
- Close-loop power control se usa en los canales:
 - PUSCH and PUCCH

POTENCIA TRANSMITIDA EN EL PRACH

$$P_{PRACH} = \min\{ P_{CMAX}, \text{PREAMBLE_RECEIVED_TARGET_POWER} + PL + (\text{PREAMBLE_TRANSMISSION_COUNTER}-1) \times \text{powerRampingStep} \}$$

Max allowable UE Pwr

Path loss

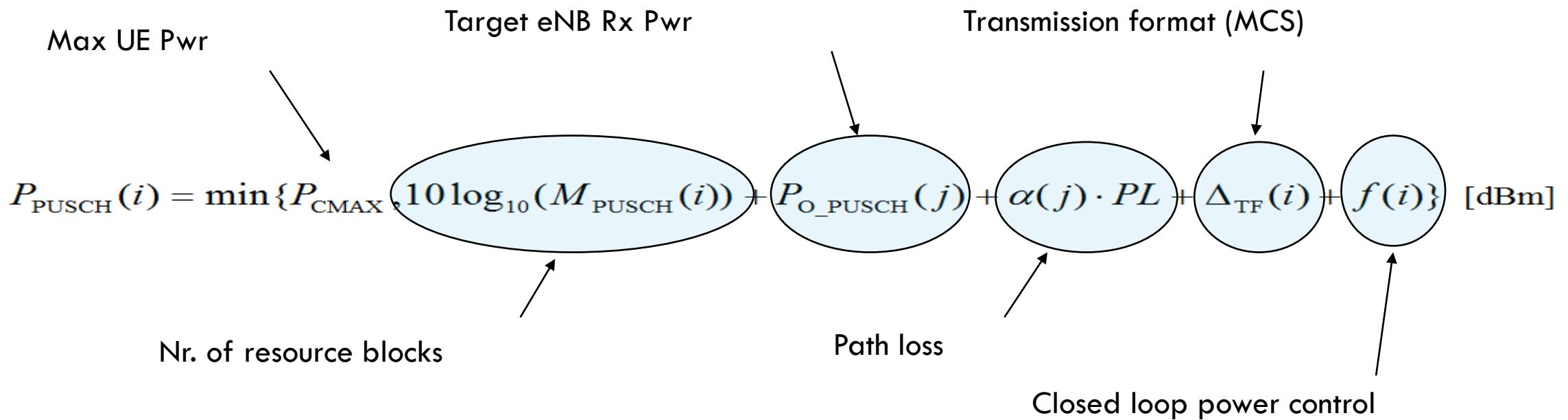
Target eNB Rx Pwr

Power UP each attempt by 2dB

The diagram illustrates the formula for calculating the transmitted power for a PRACH preamble. It shows three main components: 'Max allowable UE Pwr' (top left), 'Path loss' (top right), and 'Target eNB Rx Pwr' (bottom left). The 'Path loss' and 'Target eNB Rx Pwr' are combined and then increased by a 'Power UP each attempt by 2dB' (indicated by a bracket on the right) for each transmission attempt, starting from the 'PREAMBLE_TRANSMISSION_COUNTER-1'. The result is compared against the 'Max allowable UE Pwr' to ensure it does not exceed the maximum allowed power.

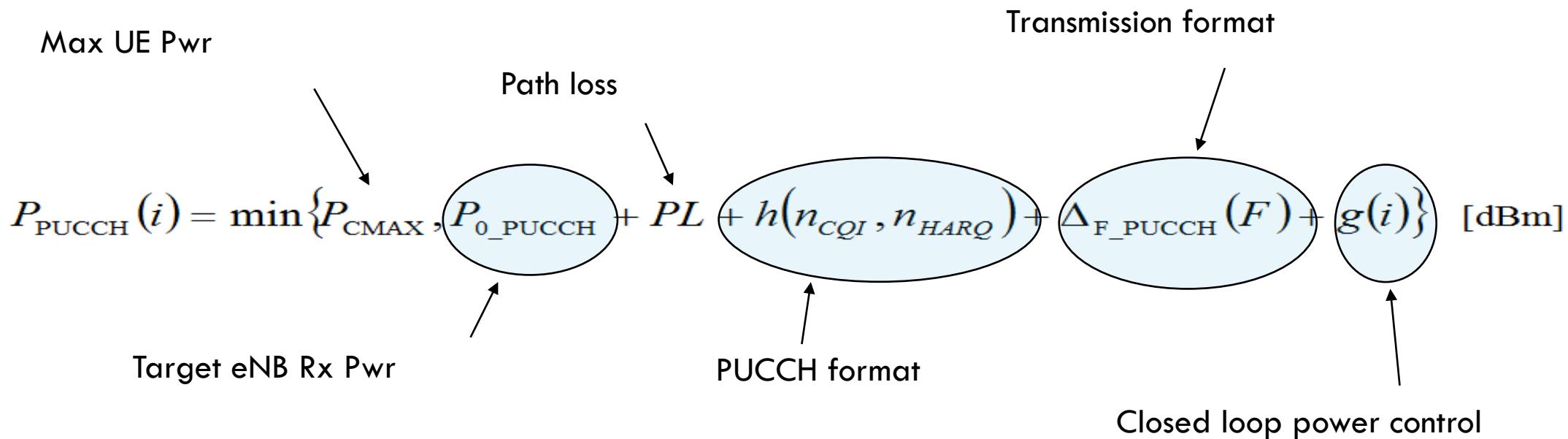
POTENCIA TRANSMITIDA EN EL PUSCH

La potencia transmitida por el UE en una subtrama i perteneciente al PUSCH se define por:



UE PUCCH TX POWER

La potencia transmitida por el UE en una subtrama i perteneciente al PUCCH se define por:

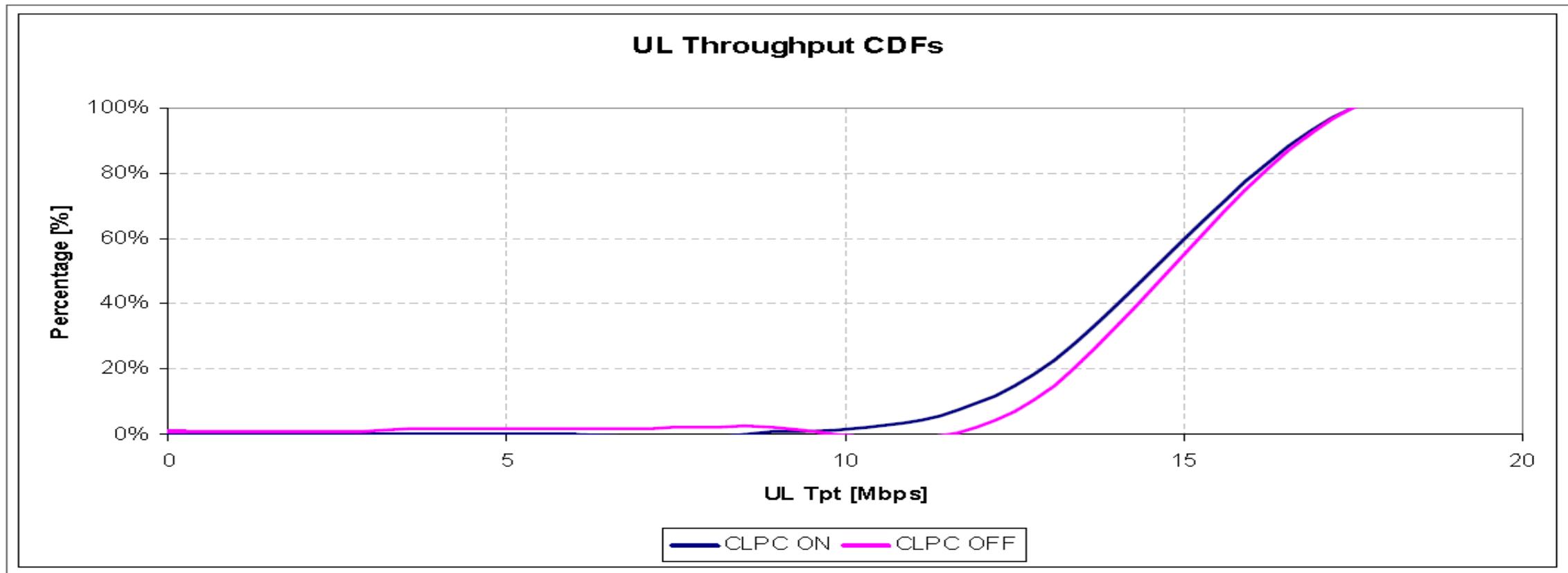


CLPC TESTING

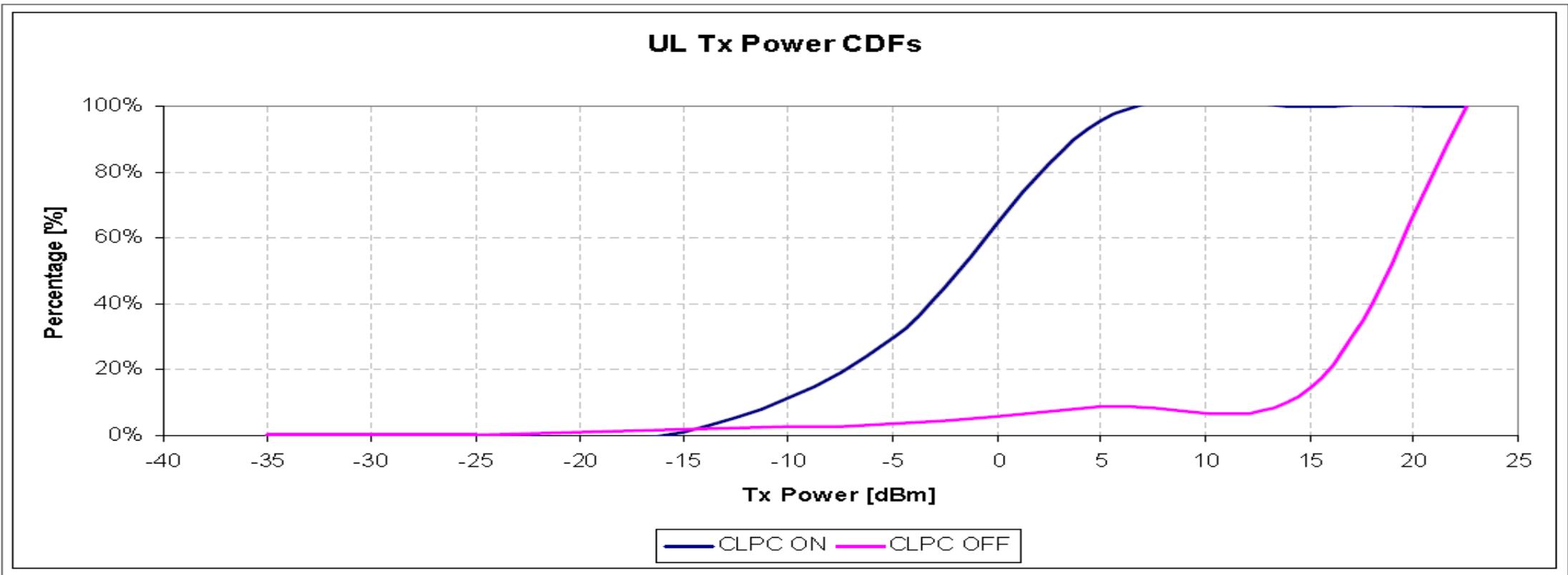
The test is done in downtown Bellevue loop with 20 Mbps UL UDP data.

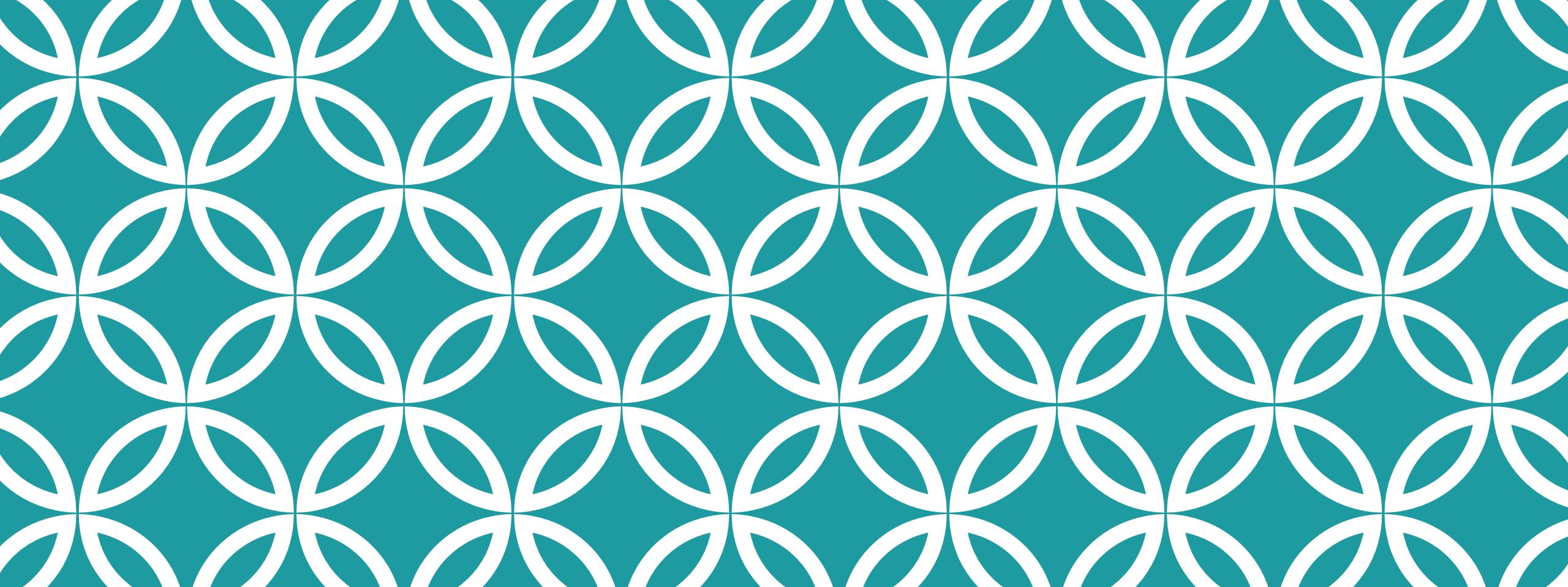
Following slides show comparative analysis between CLPC active and inactive in the same graph.

UL THROUGHPUT COMPARISON



UE TX POWER COMPARISON





MIMO CONFIGURATION CONTROL

MIMO

Recordando: Se pueden gestionar los recursos radio en LTE en tres dominios: tiempo, frecuencia y puerto de antena

- Existen básicamente tres formas conseguir ventajas del MIMO: **multiplexado espacial, esquemas de diversidad y Beamforming** (que se han abordado en el capítulo relativo a la capa física LTE)

TÉCNICAS MIMO EN LTE Y LTE-A

LTE System (Rel. 8-9)

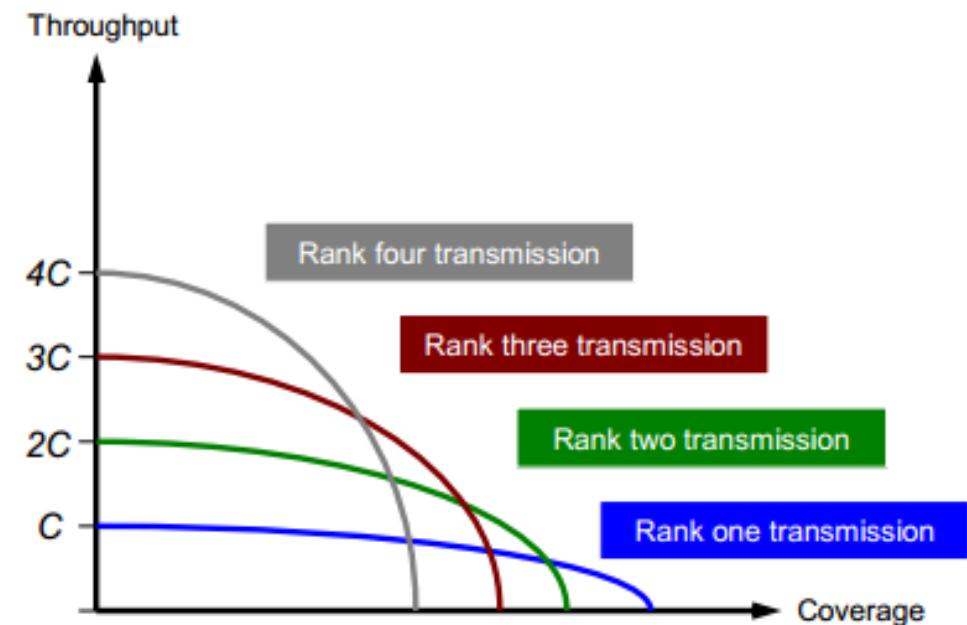
- Up to 4 streams in downlink and 1 stream in UL
- Closed-Loop SU-MIMO and transmit diversity
- Open-Loop SU-MIMO and transmit diversity
- Cyclic delay diversity (CDD)
- Adaptive Beamforming
- MU-MIMO (on uplink)
- LTE-Advanced (Rel. 10)
 - Backward compatible to LTE
 - High-dimensional SU-MIMO (up to 8×8)
 - Enhanced MU-MIMO
 - Coordinated Multipoint (CoMP)

MIMO

El eNB debe configurar la precodificación a aplicar a la señal LTE a la hora de mapearla en los distintos puertos de antena.

Depende el modo de funcionamiento de MIMO conmuta entre diferentes modos de transmisión

- Diversidad en transmisión en zonas de bajo SINR
- Multiplexación espacial en zonas de buena SINR



MIMO

En Rel 8, el esquema de MIMO se aplica exclusivamente sobre el canal compartido (PDSCH)

Soporta dos tipos de funcionamiento:

- Open-loop: cuando el eNB no recibe realimentación del **precoding matrix indicator (PMI)** por parte del UE
- Closed-loop: cuando el UE envía, además del CQI, datos del PMI y rank indicator (RI)

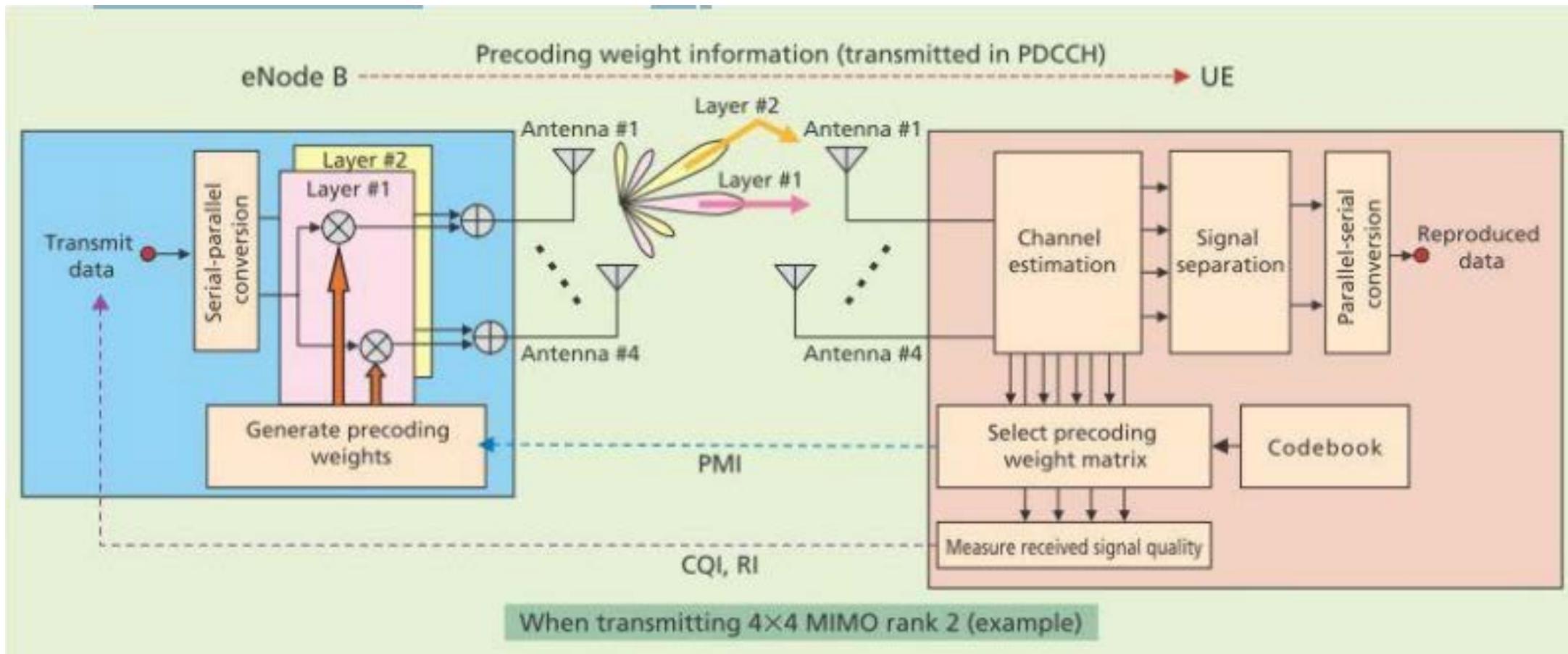
PMI AND RI

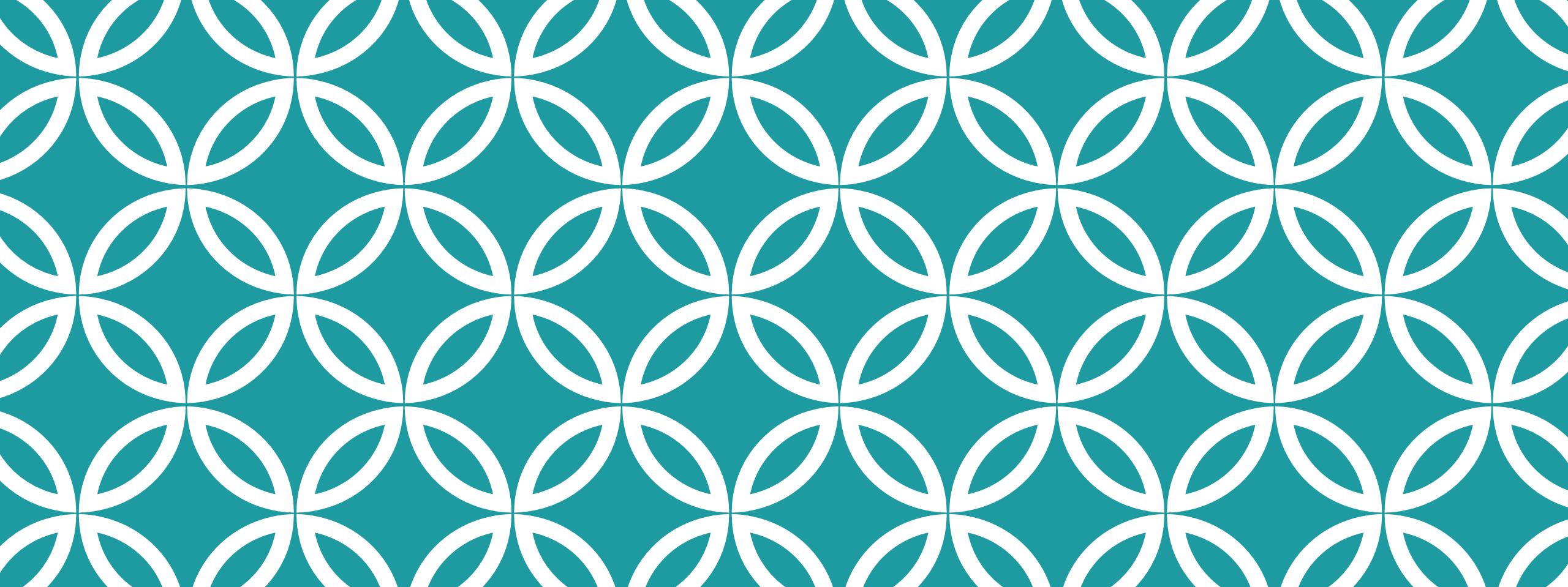
- Precoding Matrix Indicator (PMI): el UE indica al eNB el tipo de pre-codificación preferida. En ausencia de este dato (open-loop) el eNB estima la codificación en base al CQI

| Codebook index | Number of layers D | |
|----------------|--|---|
| | 1 | 2 |
| 0 | $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ | $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ |
| 1 | $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$ | $\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$ |
| 2 | $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix}$ | $\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix}$ |
| 3 | $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix}$ | - |

- Rank indicator (RI) : Indica el número de PUERTOS DE ANTENA soportados
 - Para diversidad en transmisión: $RI = 1$
 - For multiplexación especial: $RI > 1$

ESQUEMA DE SISTEMA MIMO





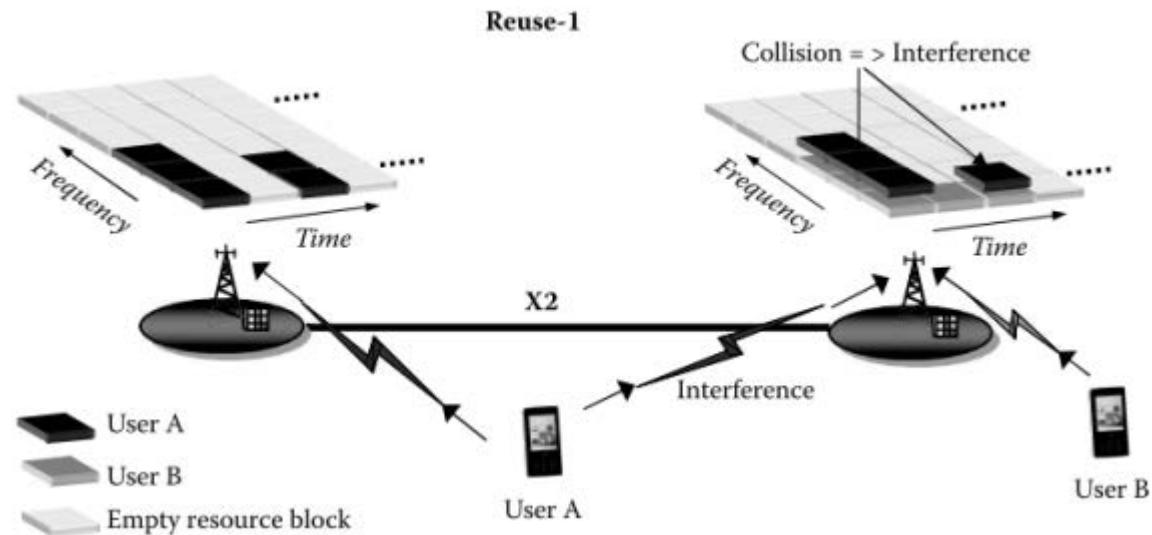
INTER-CELL INTERFERENCE COORDINATION (ICIC)

INTER-CELL INTERFERENCE COORDINATION (ICIC)

- Mantener la interferencia inter celular bajo control.
- Componente de dominio de frecuencia y tiempo
- Debe tomar en cuenta la información (por ejemplo el estado de uso de recursos y el tráfico de la carga situación) de varias celdas.
- El método preferido para ICIC puede ser diferente en el UL y DL
- El dominio de la frecuencia ICIC gestiona PRBs y en el tiempo subtramas vacías (ABS)

INTER-CELL INTERFERENCE COORDINATION (ICIC)

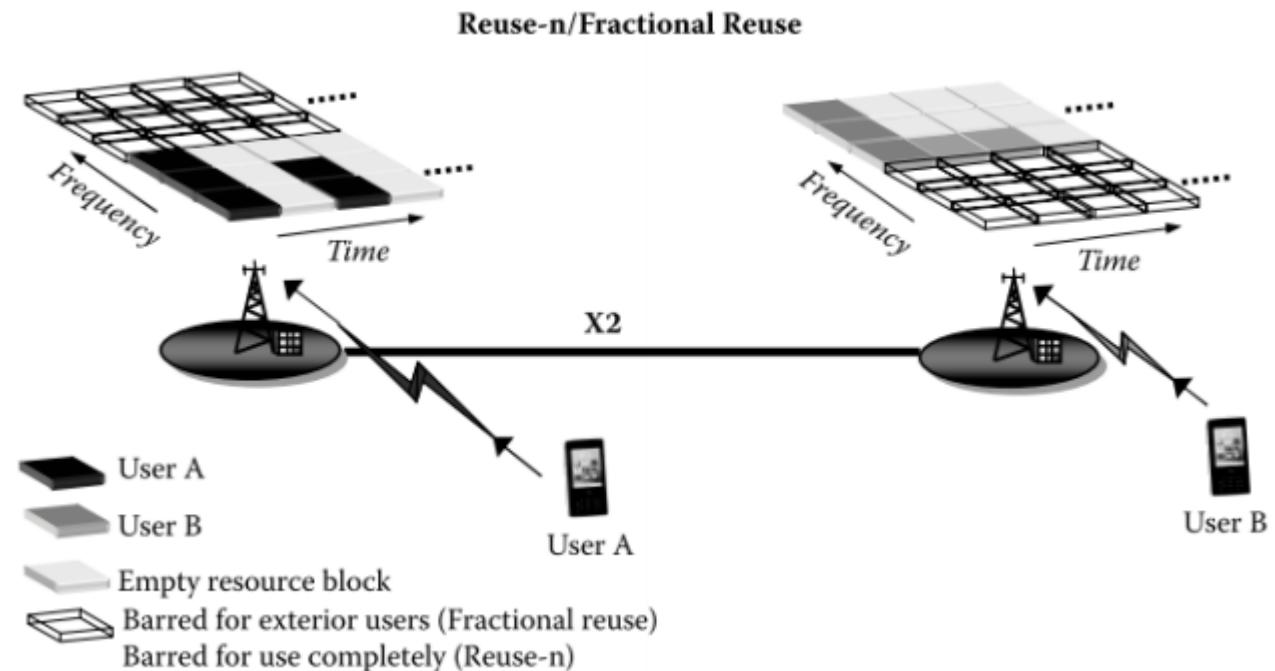
- En sistema de reutilización-1 podría ocurrir la colisión: UEs en la celda vecina (uplink) pueden causar interferencia al eNB o eNBs (downlink) puede causar interferencia a Ues en otras celdas



INTER-CELL INTERFERENCE COORDINATION (ICIC)

Para evitar las colisiones se puede evitar planificar los mismos RBs que las celdas vecinas (Reuso fraccional)

- LTE is un Sistema de reutilización-1 para no infrautilizar los recursos radio



INTER-CELL INTERFERENCE COORDINATION (ICIC)

LTE Rel 8: Sólo coordinación de PRBs en frecuencia (TTI de 1 ms es difícil de implementar sobre el interfaz X2)

- Métodos ICIC:
 - Esquema reactivo: utilizar las medidas de interferencia para ajustar potencia y planificar PRBs
 - Esquema proactivo: informando a los eNB vecinos de la planificación de sus usuarios en el futuro a través del interfaz X2
- En Rel 8, ICIC está limitado a mejorar el rendimiento de los canales compartidos (PDSCH & PUSCH). No hay medidas para el PDCCH o el PUCCH

INTER-CELL INTERFERENCE COORDINATION (ICIC)

En DL:

- El ICIC proactivo en DL se facilita mediante el estandarizado Relative Narrowband Transmit Power (RNTP)
- RNTP es un indicador por eNB señalizado a los eNB vecinos anticipando la máxima potencia DL a transmitir por RB.
- Las celdas vecinas pueden utilizar esa información para modificar sus esquemas de potencia y mejorar las condiciones de SINR de los UEs

INTER-CELL INTERFERENCE COORDINATION (ICIC)

In UL:

- ICIC Proactivo basado en High Interference Indicator (HII)
 - El eNB informa a sus vecinos de los PRBs donde va a asignar UEs con alta interferencia. Los eNB vecinos pueden planificar en esos eNB usuarios con baja interferencia, para evitar que coincidan usuarios en el borde entre ambas celdas.

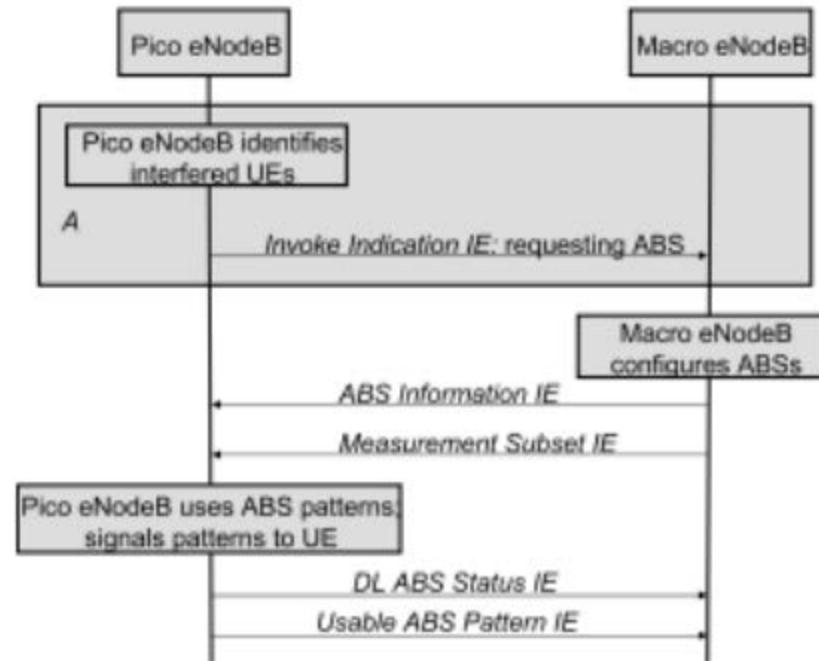
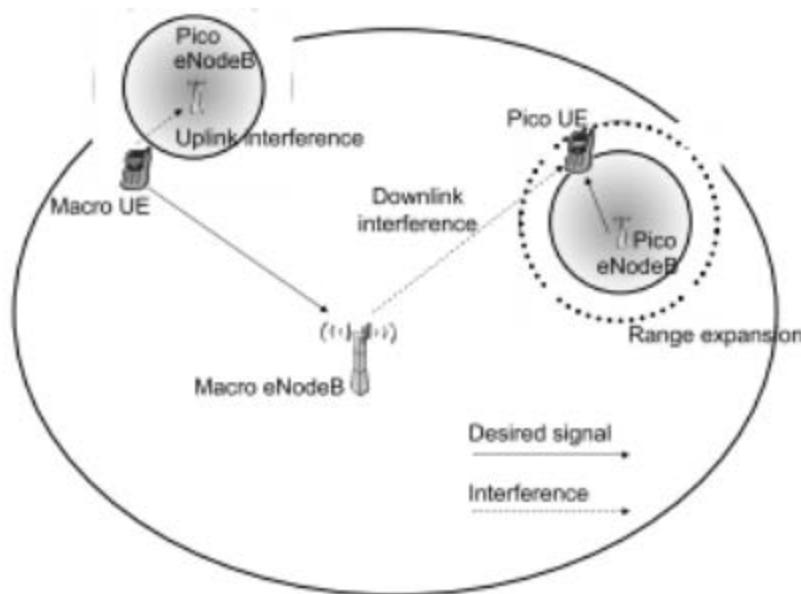
EICIC IN LTE-ADVANCED

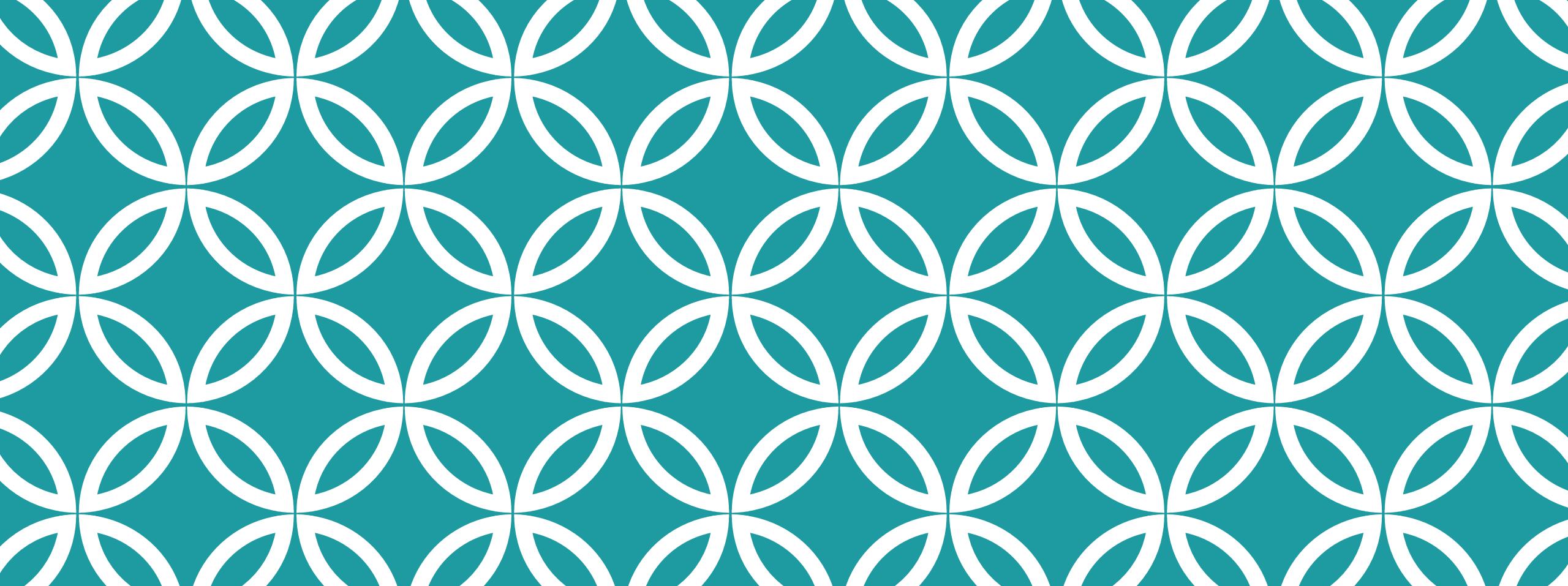
ICIC techniques in LTE system (Rel 8 & 9) can be summarized as frequency-domain scheduling, power setting, increasing robustness (e.g., by beamforming or interference cancellation for DATA channels)

- The main motivation for Enhanced-ICIC (eICIC) is to mitigate the interference in CONTROL channels:
 - It's essentially time-domain-based ICIC in Release 10 of 3GPP specifications-> LTE-A
 - The overall objective is to mute certain subframes of one layer of cells so that the interference becomes less in the other layer
 - These muted subframes are called Almost Blank Subframes (ABS):
- Subframes with reduced downlink transmission power and/or activity.
- It is ALMOST blank because it must contain Reference Signals, Synchronization Signals, Paging Channels and Broadcast channels due to backward compatibility issues for Realease 8/9 (LTE) UEs. Although these are transmitted but with much less energy than normal subframes, to reduce the interference.

EICIC IN LTE-ADVANCED

Essentially in heterogeneous network where co-channel deployments can be categorized into two scenarios as macro-pico and macro-femto.





CONNECTION MOBILITY CONTROL (CMC)

CONNECTION MOBILITY CONTROL (CMC)

- Connection Mobility Control (CMC) se encarga de la gestión de los recursos radio durante los procesos de movilidad en idle o conectado.
- En idle se radian parámetros (thresholds e hysteresis) que definen la mejor servidora y determinan cuando un UE debe seleccionar una nueva celda.
- En conectado se radian los parámetros que determinan los umbrales de los distintos eventos y permiten los traspasos entre celdas basados en medidas del UE
- Por último, otros criterios como servicio, carga o políticas del operador pueden incluirse en las decisiones de movilidad del CMC

GLOSARIO

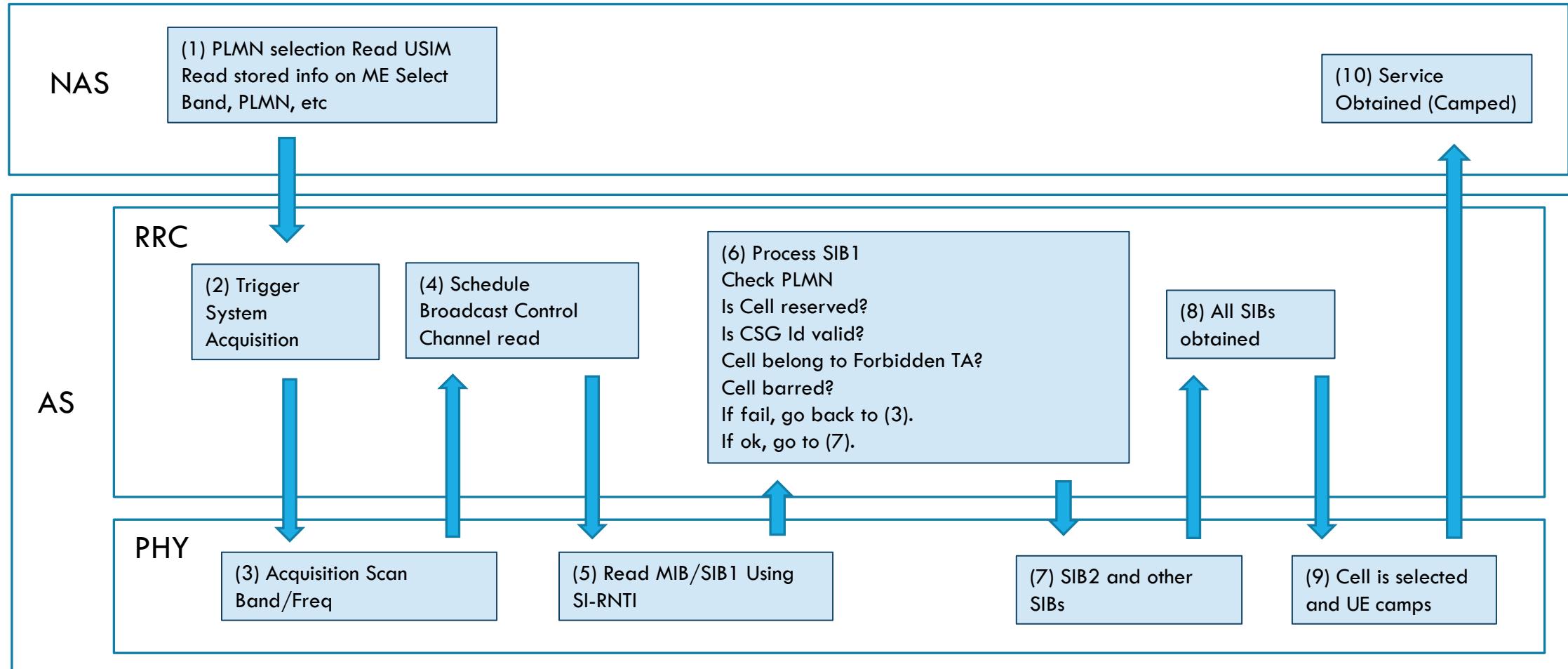
Inter-RAT: Cualquier movilidad hacia redes UMTS o GSM. No hay handovers activos Inter-RAT

Intra-freq: Cualquier movilidad dentro de la portadora LTE de la celda origen

Inter-freq: Cualquier movilidad hacia una portadora LTE distinta a la de la celda

MOVILIDAD EN IDLE

PROCEDIMIENTO DE CAMPING



SELECCIÓN DE CELDA INICIAL

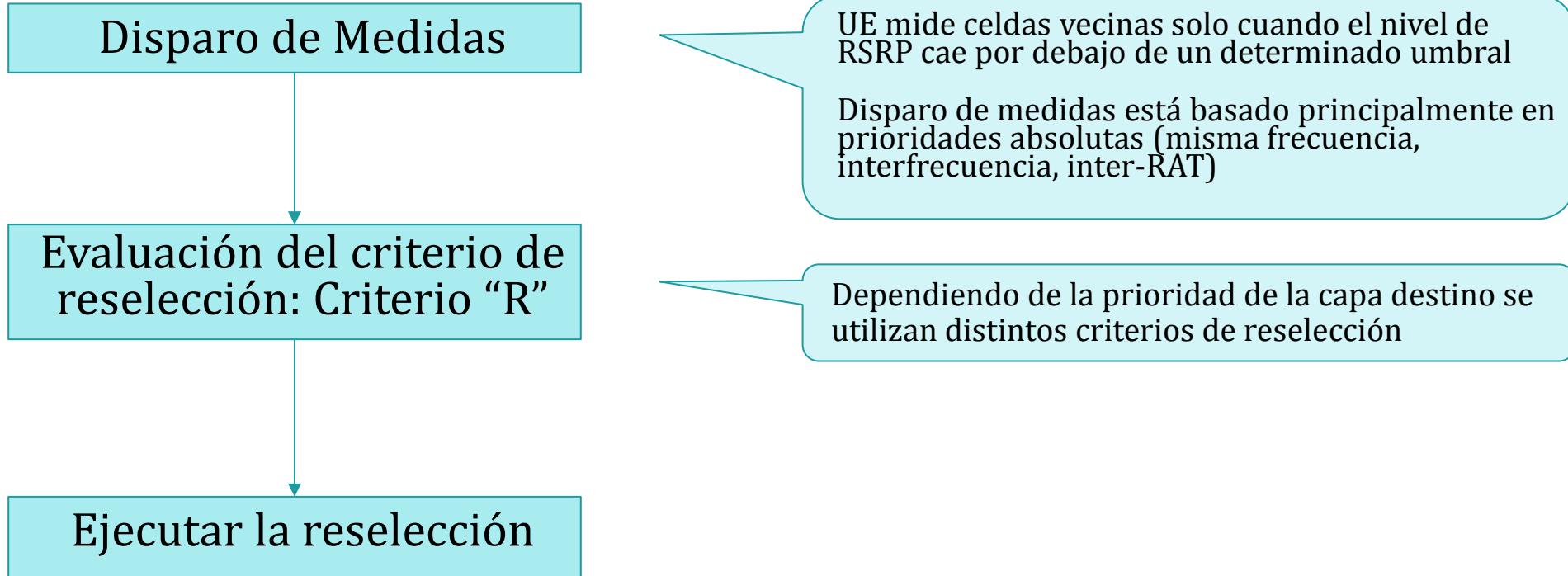
Srxlev > 0 AND Squal > 0

where: $Srxlev = Q_{rxlevmeas} - (Q_{rxlevmin} + Q_{rxlevminoffset}) - P_{compensation}$

$Squal = Q_{qualmeas} - (Q_{qualmin} + Q_{qualminoffset})$

| | |
|-----------------|--|
| Srxlev | Cell selection RX level value (dB) |
| Squal | Cell selection quality value (dB) |
| Qrxlevmeas | Measured cell RX level value (RSRP) |
| Qqualmeas | Measured cell quality value (RSRQ) |
| Qrxlevmin | Minimum required RX level in the cell (dBm), obtained in SIB1 |
| Qqualmin | Minimum required quality level in the cell (dB), obtained in SIB1 |
| Qrxlevminoffset | Offset to the signalled Qrxlevmin taken into account in the Srxlev evaluation as a result of a periodic search for a higher priority PLMN while camped normally in a VPLMN, obtained in SIB1 |
| Qqualminoffset | Offset to the signalled Qqualmin taken into account in the Squal evaluation as a result of a periodic search for a higher priority PLMN while camped normally in a VPLMN, obtained in SIB1 |
| Pcompensation | $\max(PEMAX_H - PPowerClass, 0)$ (dB) |
| PEMAX_H | Maximum TX power level an UE may use when transmitting on the uplink in the cell (dBm) defined as PEMAX_H in [TS 36.101], obtained in SIB1 |
| PPowerClass | Maximum RF output power of the UE (dBm) according to the UE power class as defined in [TS 36.101] |

RESELECCIÓN



RESELECCIÓN

Un UE siempre mide capas (otras frecuencias o tecnologías) con prioridad mayor que la servidora

Un UE mide vecinas de su propia capa según el parámetro **sIntrasearch**:

-Si **Srxlev > sIntraSearch** : El UE no mide celdas vecinas

-If **Srxlev <= sIntraSearch** : El UE mide celdas de la misma frecuencia

Un UE mide vecinas de capas de igual o inferior prioridad según el parámetro **snonintrasearch**:

RESELECCIÓN – MISMA PRIORIDAD

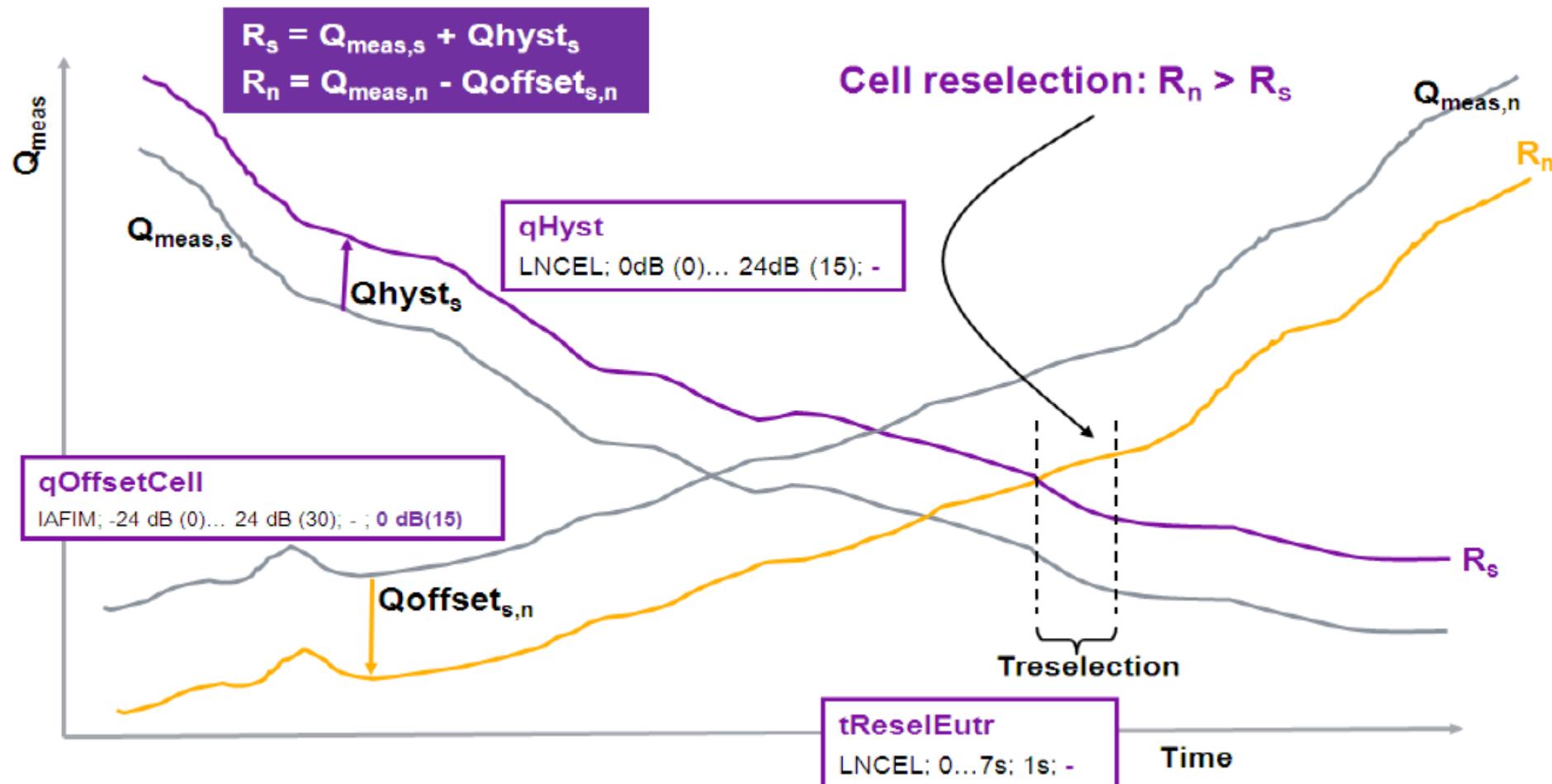
Una vez que la medida de las celdas vecina ha comenzado el UE ordena las celdas medidas acorde al denominado criterio R

- $\text{Rank}_{\text{serving cell}} = \text{Measured RSRP}_{\text{serving cell}} + q_{\text{Hyst}}$
- $\text{Rank}_{\text{neighbour cell}} = \text{Measured RSRP}_{\text{neighbour cell}} - q_{\text{OffsetCell}}$

La reselección ocurre si:

- $\text{Rank}_{\text{neighbour cell}} > \text{Rank}_{\text{serving cell}}$ durante treSelection (segundos)
- El UE lleva más de 1 segundo acampado en la celda servidora

RESELECCIÓN POR CRITERIO “R”



MOVILIDAD EN CONECTADO

HANDOVER

DEFINICIÓN: Traspaso de una llamada/sesión de datos de una celda a otra sin interrupción de la transmission

Los handovers LTE son:

- Controlados por la Red
- Asistidos por el UE
- Hard Handovers

Hint: Grandes similitudes a procesos HHO en UMTS

REDIRECCIÓN

DEFINICIÓN: Cambio de celda similar al handover que requiere una liberación de la conexión previa al traspaso de celda

La redirección puede producirse por:

- Cobertura (igual que los handovers, controlado por la red y asistido por el UE)
- Servicio: CS Fallback máximo exponente: Redirección Inter-RAT de una llamada de voz durante el establecimiento

INCISO: CS Fallback

CS Fallback implica que el UE se mueva a otra tecnología con un core de red CS durante el establecimiento de la conexión. Las principales características son

- Permite el reuso de una red legacy
- Es simple de implementar pero necesita soporte de ambas redes y el UE.
- La transición a otra tecnología puede afectar al retraso de establecimiento de conexión
- El UE se registra tanto en el core de LTE PS como en el core de la red CS
- Ayuda a mantener el flujo de los ingresos de los servicios de voz CS
- Es una solución a corto – medio plazo

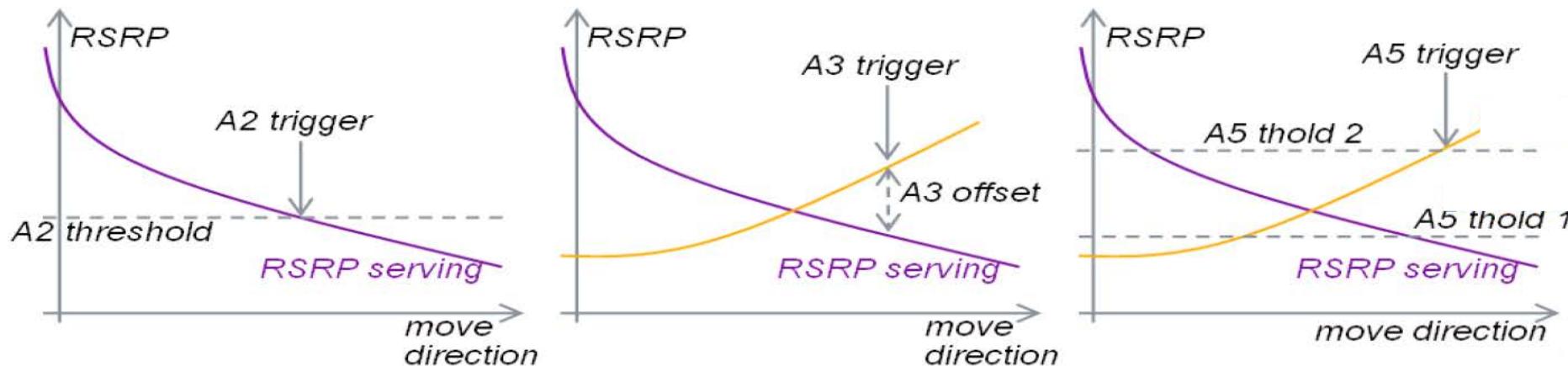
EVENTOS

Evento: Condición que dispara una acción de movilidad. Pertenecen al estándar y suponen la asistencia del UE al proceso de traspaso

| | |
|-----------|--|
| Evento A1 | RSRP de la celda servidora supera un umbral absoluto |
| Evento A2 | RSRP de la celda servidora cae por debajo de un umbral absoluto |
| Evento A3 | RSRP de celda vecina mejora a la servidora |
| Evento A4 | RSRP de celda vecina supera un umbral absoluto |
| Evento A5 | RSRP de la celda servidora cae por debajo de un umbral y RSRP de celda vecina supera un umbral |
| Evento 1B | Nivel de celda vecina Inter RAT supera un umbral |
| Evento 2B | Nivel de celda servidora cae por debajo de un umbral y celda vecina Inter RAT supera un umbral |

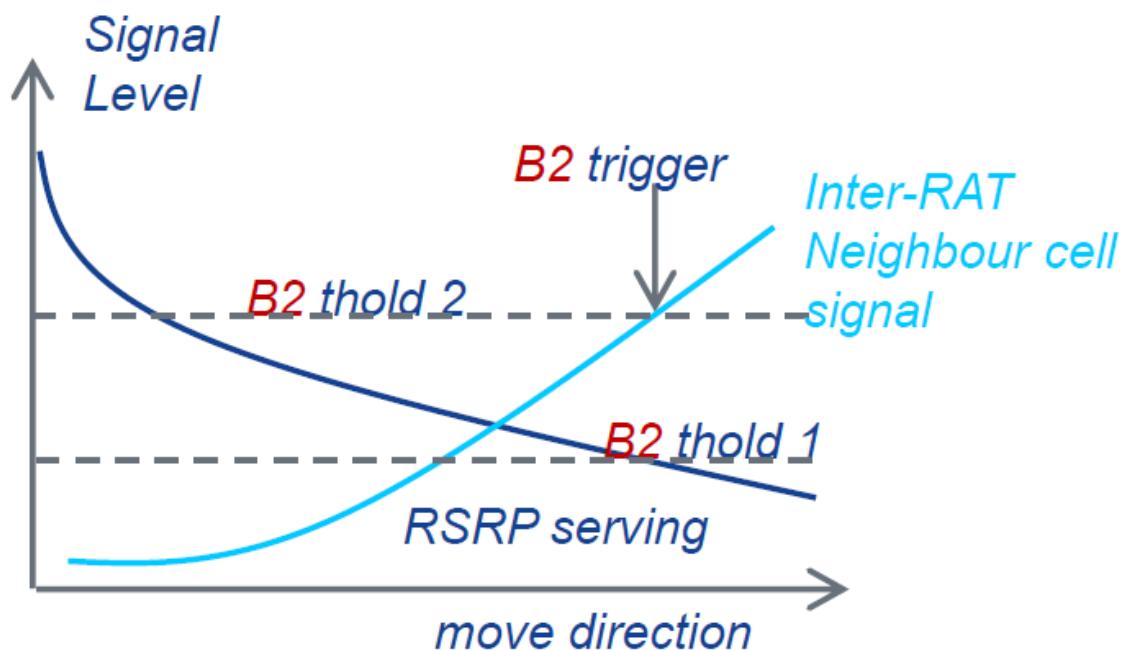
DESCRIPCIÓN DE EVENTOS

- **Event A2/A1:** basados en niveles RSRP de la propia celda. Se usan para disparar medidas
- **Event A3 (better cell HO):** comparación entre RSRP de celda vecina y servidora. Se usa en handovers intra e inter frecuencia
- **Event A5 (coverage HO):** basado en niveles absolutos de celda servidora y vecina. Se usa en handovers intra e inter frecuencia



DESCRIPCIÓN DE EVENTOS

Event B2: Relaciona niveles de RSRP de la celda servidora con niveles o calidad de celdas inter-RAT (RSCP o EcNo, por ejemplo). Se usa en handovers inter-RAT

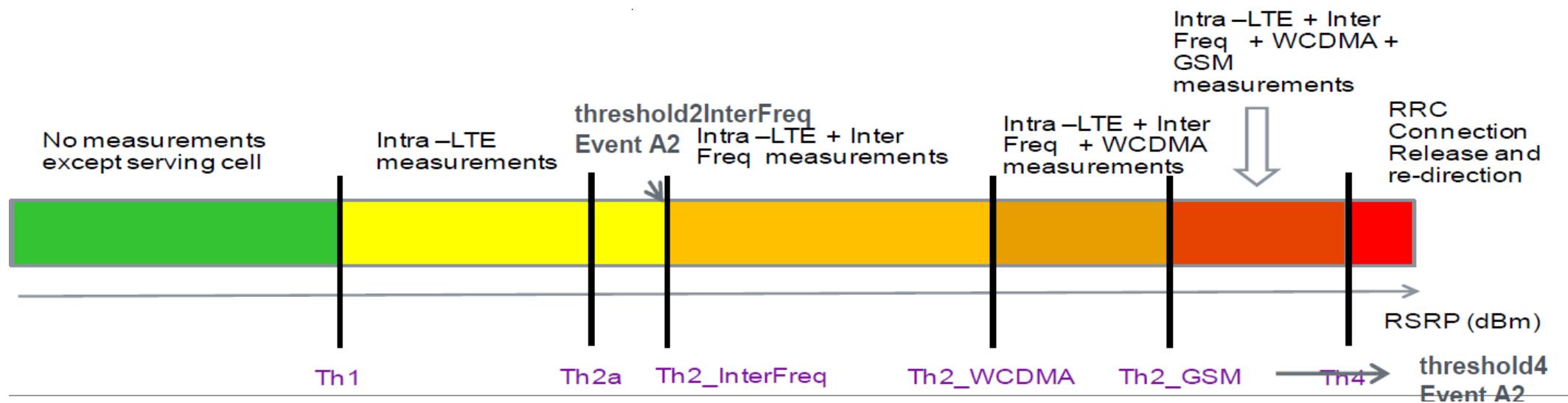


UMBRALES DE DISPARO DE MEDIDAS

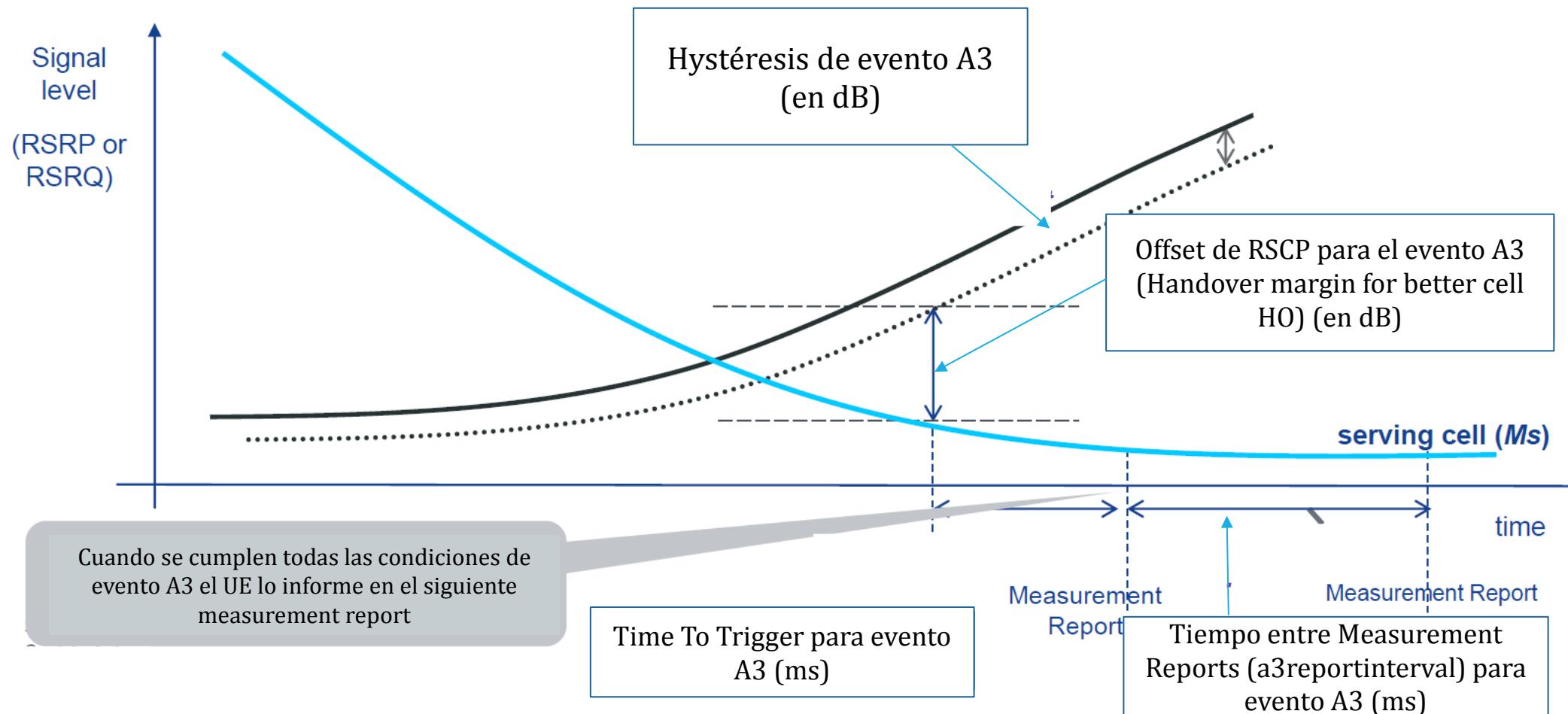
- **Threshold 1 (Th1):** El UE no realiza medidas de celdas vecinas cuando RSRP está por encima de este umbral (Th1)
- **Thresholds 2 (Th2_interfreq/Th2_WCDMA/Th2_GSM):** El UE comienza a realizar medidas cuando se van cumpliendo los umbrales de Th2 reportados por el eNB para según qué tipo de medidas. **Event A2**
- **Threshold2a (Th2a):** Las medidas iniciadas se cancelan si se supera este umbral. **Event A1**
- **Threshold 4 (Th4):** Umbral de fin de cobertura, la conexión sufre una redirección forzosa con destino configurable por el operador (mayormente UMTS). **Event A2**

UMBRALES DE DISPARO DE MEDIDAS

Esquema resultante



EJEMPLO DE HANDOVER POR EVENTO A3



HANDOVER ENTRE ENB

Un e-NodeB puede estar formado por varias celdas. Cuando el traspaso se produce entre celdas de dos eNB distintos es necesario que interactúen ante la ausencia de un controlador central (RNC en UMTS)

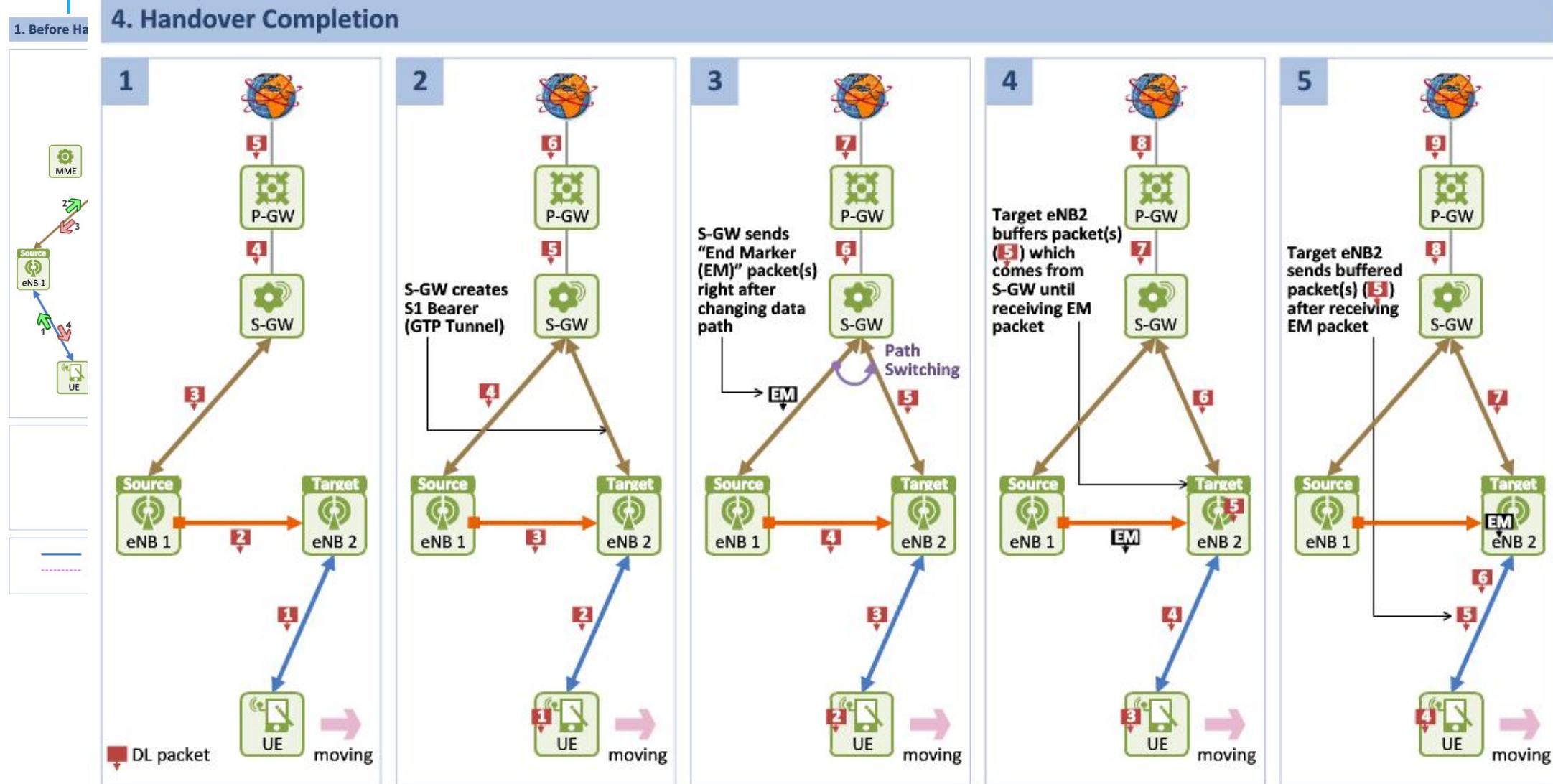
Recordatorio:

X2: Interfaz virtual establecido entre dos eNB. Precisa que los eNB puedan localizarse entre sí dentro de la VLAN (puedan alcanzar sus respectivas IP). Los handovers sobre X2 son más simples.

MME: Mobility Management Entity

S1: Interfaz entre eNB y el MME. Los handovers que no pueden realizarse por X2 (eNB no alcanzables entre sí) se realizan a través del MME

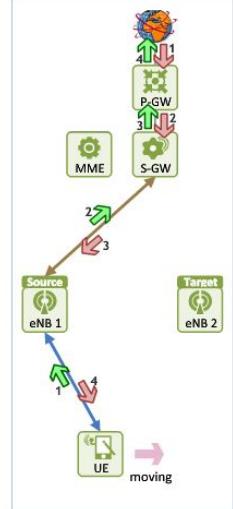
X2 HO PROCEDURE



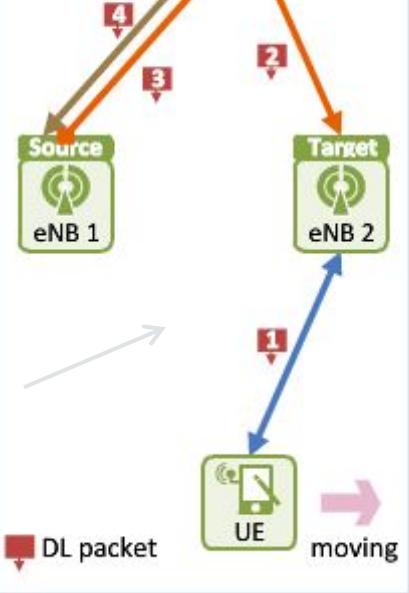
S1 HO PROCEDURE

1. Before Handover

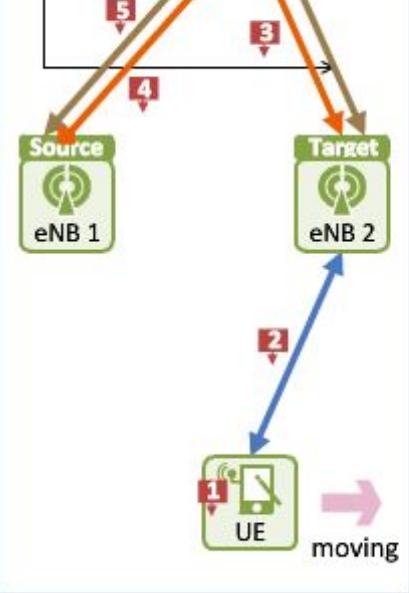
4. Handover Completion



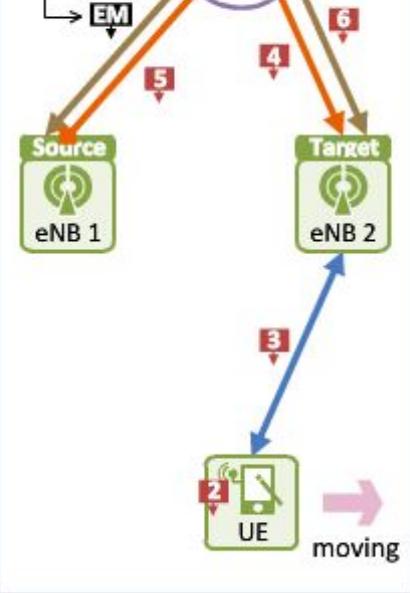
1



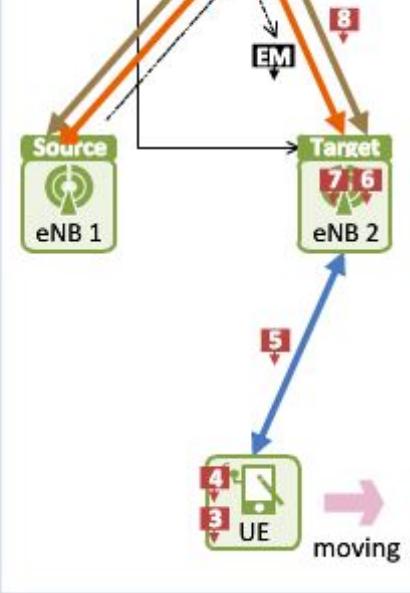
2



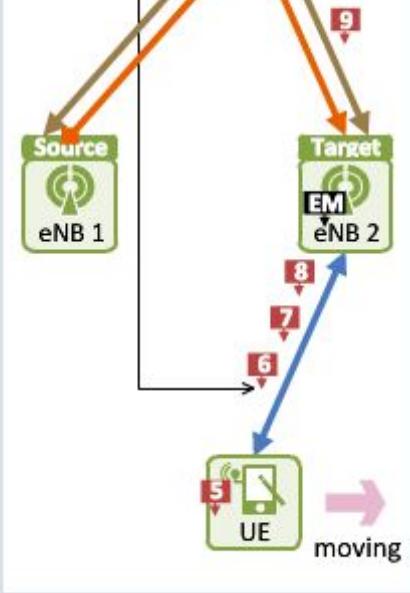
3



4



5



DRB (Data Radic
Signaling in Radi

DL packet



GRACIAS

smartfactor