

Universidad del Cauca  
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Telemática

# Sistemas de Conmutación

## Telefonía Móvil Celular

Ing. Fernando Mendioroz, MSc. (c.)  
Dr. Ing. Álvaro Rendón Gallón  
Popayán, 2014



# Temario

- Fundamentos de Telefonía Móvil Celular
  - Telefonía Móvil Celular Digital de 2° Generación: GSM
  - Telefonía Móvil Celular Digital de 3° Generación: UMTS
  - **Telefonía Móvil Celular Digital de 4° Generación: LTE/LTE-Advanced**
    - ❖ Evolución 3GPP/LTE y principales características.
    - ❖ Arquitectura de Red LTE: Nodos de Red de Acceso E-UTRAN y del Core Network LTE: EPC.
      - ❖ Características principales de LTE-Advanced.

# 3GPP LTE

## Evolución

2G	Phase 1 (1992) a Release 96 (1997): GSM
2.5G	Rel. 97 (1998): GPRS Rel. 98 (1998): EDGE
3G	Rel. 99 (2000): UMTS/WCDMA
3.5G	Rel. 5 (2002): HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) Rel. 6 (2005): HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access), IMS (IP Multimedia Subsystem) Rel. 7 (2007): MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)
3.9G	Rel. 8 (2008): LTE (Long Term Evolution) Rel. 9 (2009): Interoperabilidad LTE/WiMAX
4G	Rel. 10 (2011): LTE Avanzada

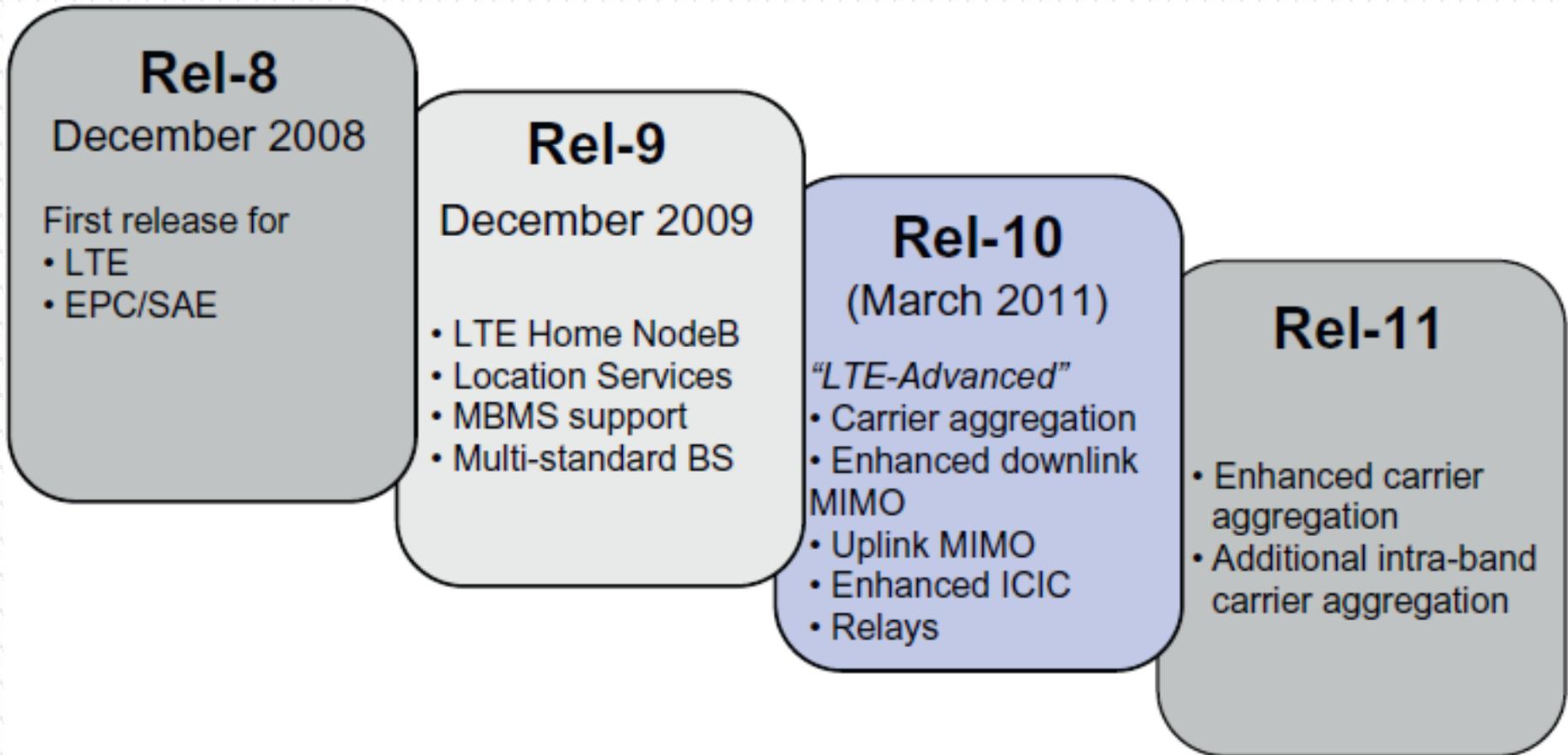
# LTE

## Introducción

- Es la evolución de 3G (UMTS) hacia 4G.
- El 3GPP empezó a trabajar en LTE en 2004.
- Fue estandarizada a partir del Release 8 (2008).
- Aunque se promociona como 4G, no cumple los requerimientos establecidos por la ITU-R (IMT Avanzada):
  - Velocidad pico de datos de hasta 1 Gbps;
  - Funcionalidad y roaming a nivel mundial (y entre redes de distinto tipo);
  - Compatibilidad de servicios;
  - Internetworking con otros sistemas de acceso por radio (e.g. WiMAX).

# LTE

## Introducción



Principales características de LTE de acuerdo la evolución de los estándares 3GPP por Release.

MIMO: Multiple Input Multiple Output  
ICIC: Inter-Cell Interference Coordination.  
MBMS: Multimedia Broadcast/Multicast Service.

# LTE

## Características principales

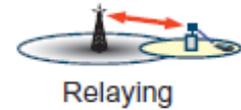
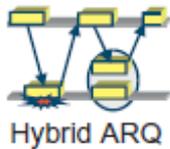
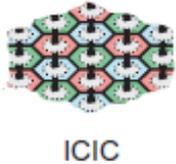
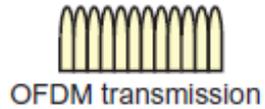
- Ancho de banda variable por operador (1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz), para optimizar costos y permitir el uso de bandas asignadas. Soporte de hasta 200 usuarios activos por celda LTE de 5 MHz.
- Arquitectura con soporte nativo para MIMO y muy altas velocidades. Velocidad pico de datos:
  - 100/75 Mbps Downlink/Uplink (ancho de banda de 20 MHz).
  - Eficiencia espectral de hasta 15/7,5 bps/Hz en Downlink/Uplink.
- Arquitectura Evolved-UTRAN (E-UTRAN):
  - Basada en IP/MPLS;
  - Reutiliza conceptos de canales lógicos, de transporte y físicos y capas de procedimiento MAC, RLC, RRM, etc.
  - Funciones de Nodos B y RNC integrados en una única entidad eNodeB.
  - Celdas de hasta 100 km.
- Capacidad de servicios VoIP sobre el Dominio IMS, con QoS.

# LTE

## Características principales

- Desarrollo del servicio de Voz sobre LTE: VoLTE, con IMS y su modelo de QoS.
- Codificación FEC Turbo, adaptativa junto con la modulación QPSK, 16QAM y 64QAM (CMS), según la calidad del enlace en el downlink y el uplink.
- Control de potencia adaptable al enlace.
- Alta eficiencia en la conexión del LTE-UE y en el traspaso (óptimo hasta 15 km/h, soportado hasta 350 km/h) y mejor performance del plano de control, con latencias menores a 10 y 50 mseg en los planos de usuario y control, respectivamente.
- Nuevos terminales móviles (LTE-UE), optimizados para servicios IP.
- Interoperabilidad con GERAN y UMTS y migración de éstas hacia LTE, y compromiso de la prestación del servicio SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity) o CSFB (Circuit Switched Fall-Back) durante roaming entre redes.

# Evolución 3GPP LTE/LTE-Advanced



Rel-8

Rel-9

Rel-10

Basic LTE functionality

Enhancements & extensions

Further enhancements & extensions IMT-Advanced compliant

ARQ: Automatic Repeat-reQuest.  
 ICIC: Inter-Cell Interference Coordination.  
 FDD: Frequency Division Duplex.  
 TDD: Time Division Duplex.  
 MBMS: Multimedia Broadcast/Multicast Service.

# LTE

## Características principales

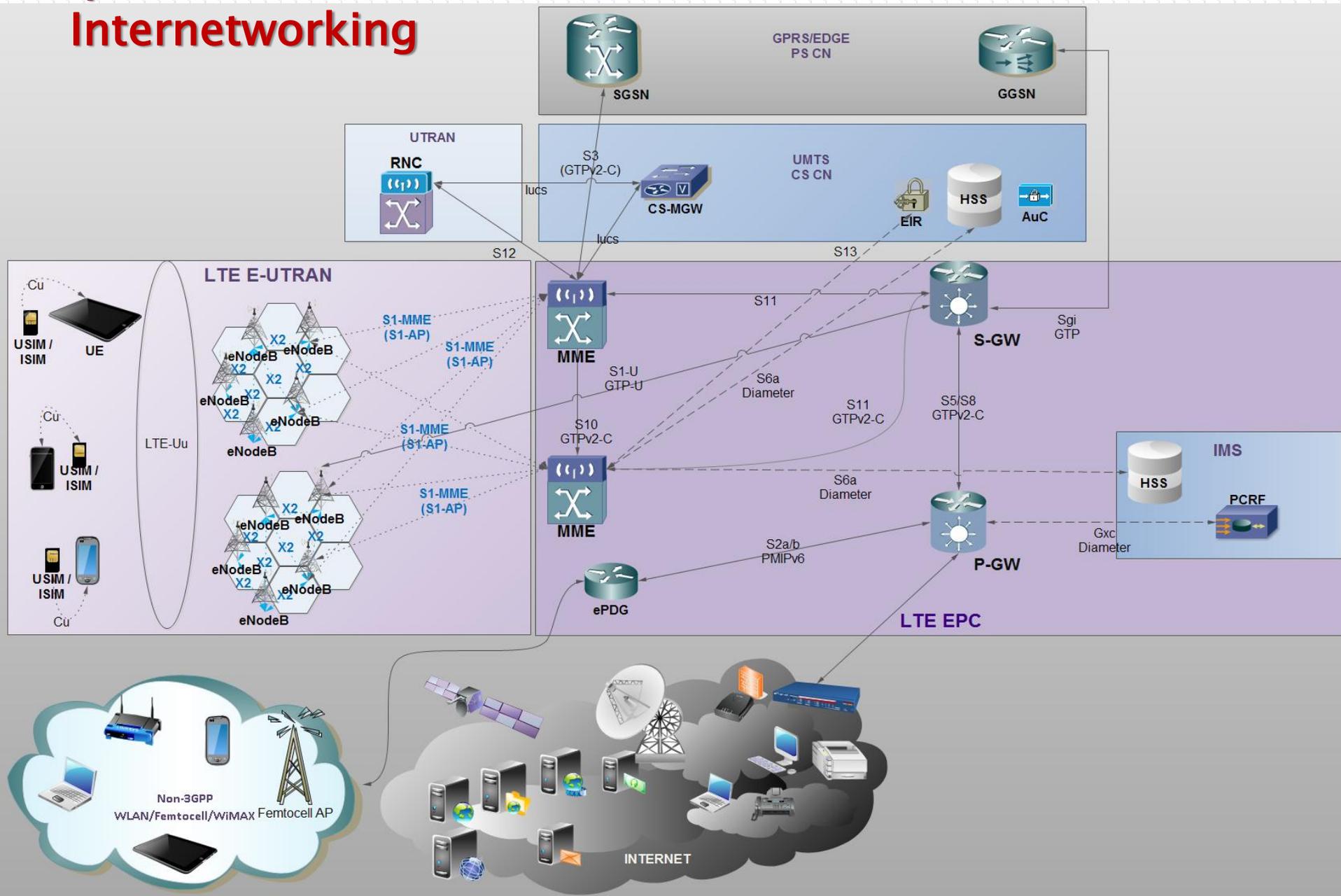
<b>Rango de Frecuencias</b>	Bandas UMTS FDD y UMTS TDD					
<b>BW de Canal 1 bloque de recurso (RB) = 180 KHz</b>	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
	6 RB	15 RB	25 RB	50 RB	75 RB	100 RB
<b>Esquema de Modulación</b>	Downlink	QPSK, 16QAM, 64QAM				
	Uplink	QPSK, 16QAM, 64QAM (opcional para el UE)				
<b>Tecnología de Acceso Múltiple</b>	Downlink	OFDMA ( <i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i> )				
	Uplink	SC-FDMA ( <i>Single Carrier Frequency Division Multiple Access</i> )				
<b>Tecnología MIMO (<i>Multiple Input - Multiple Output</i>)</b>	Downlink	Amplia gama de opciones de configuración MIMO para diversidad de opción de transmisión, multiplex espacial y diversidad de retraso cíclico (máximo de 4 antenas en radiobase y equipo de usuario).				
	Uplink	MIMO multi-usuario colaborativo				
<b>Tasa de Datos Pico</b>	Downlink	150 Mbps (UE categoría 4, 2x2 MIMO, 20 MHz) 300 Mbps (UE categoría 5, 4x4 MIMO, 20 MHz)				
	Uplink	75 Mbps (20 MHz)				

# Temario

- Fundamentos de Telefonía Móvil Celular
  - Telefonía Móvil Celular Digital de 2° Generación: GSM
  - Telefonía Móvil Celular Digital de 3° Generación: UMTS
  - **Telefonía Móvil Celular Digital de 4° Generación: LTE/LTE-Advanced**
    - ❖ Evolución 3GPP/LTE y principales características.
    - ❖ Arquitectura de Red LTE: Nodos de Red de Acceso E-UTRAN y del Core Network LTE: EPC.
      - ❖ Características principales de LTE-Advanced.

# LTE

## Arquitectura de Red: Internetworking



# LTE

## Arquitectura de Red

La evolución de UMTS se da en dos secciones:

- **En el Núcleo de la Red.** Responde al avance mundial hacia las aplicaciones de paquetes de datos (Internet). EPC soporta la convergencia de servicios basados en paquetes de tiempo real (VoIP) y no real.
- **En la Red de Acceso.** Responde a las necesidades de mayor ancho de banda inalámbrico. E-UTRAN ofrece alta velocidad, baja latencia y un acceso de radio optimizado para paquetes

### Vocabulario de 3GPP para LTE:

E-UTRAN es referido como LTE (Long Term Evolution)

EPC es referido como SAE (System Architecture Evolution)

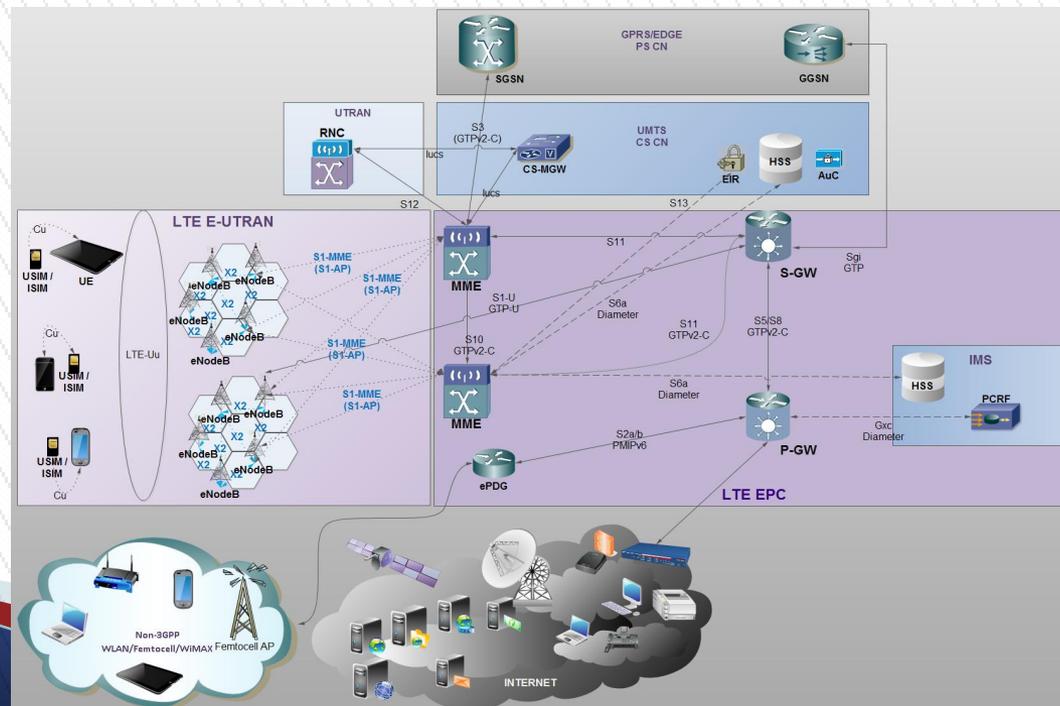
La evolución de UMTS es referida como EPS (Evolved Packet System)

# LTE

## Arquitectura de Red

LTE comprende una arquitectura únicamente diseñada para servicios sobre redes de conmutación de paquetes.

Apunta a proveer conectividad IP transparente entre el equipamiento de usuario (UE) y redes de paquetes de datos (PDN), sin interrupción alguna de las aplicaciones de los usuarios finales en estado de movilidad.



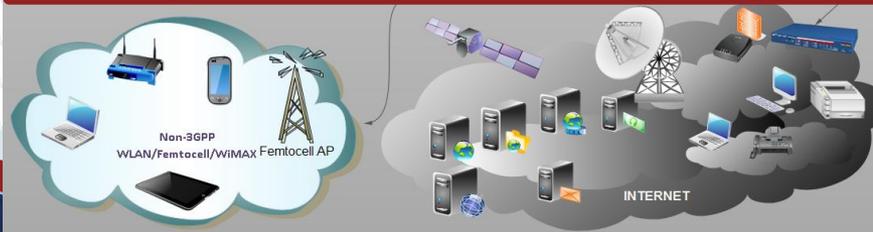
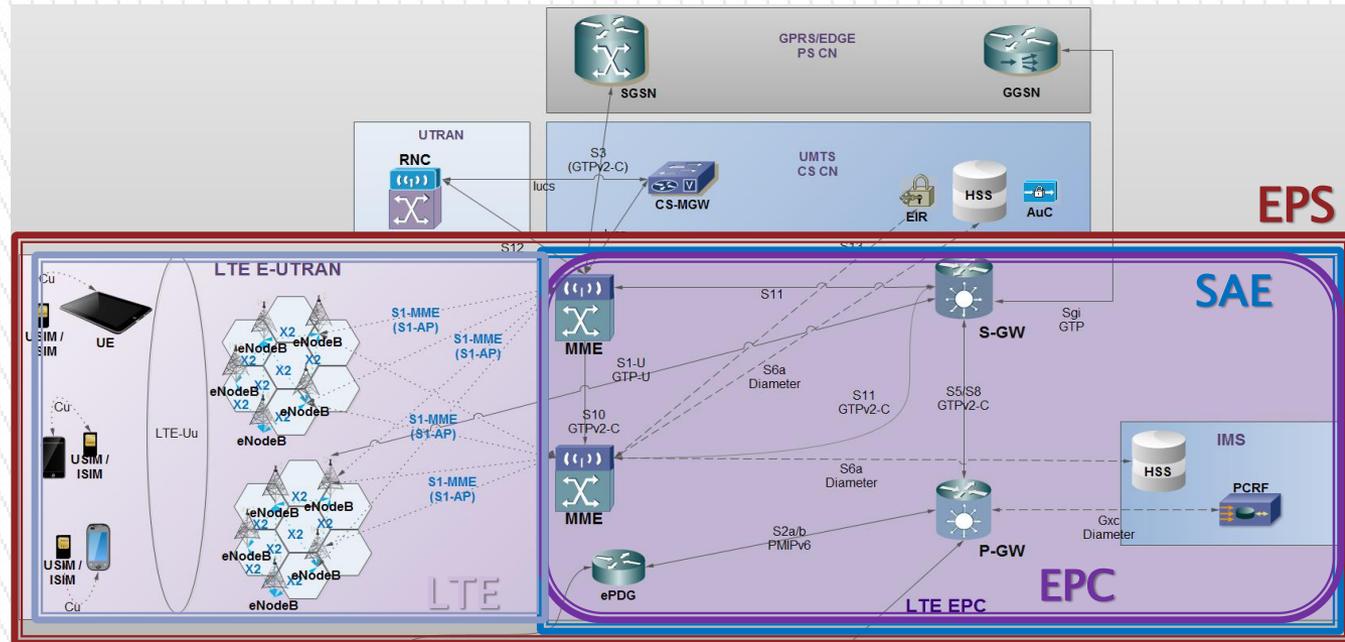
# LTE

## Arquitectura de Red

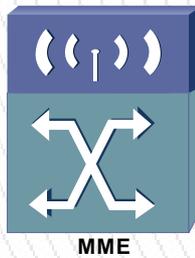
En tanto el término LTE aplica a la evolución del acceso de radio UMTS vía la **E-UTRAN (Evolved UTRAN)**, ...

... también se acompaña de una evolución de aspectos adicionales al acceso de radio bajo el término **SAE (System Architecture Evolution)**, la cual incluye el núcleo de red evolucionado de paquetes o **EPC (Evolved Packet Core)**.

Conjuntamente, LTE y SAE comprenden el sistema evolucionado de paquetes o **EPS (Evolved Packet System)**.



## Arquitectura de Red: Nodos del EPC



### ■ MME (Mobility Management Entity)

Nodo del **plano de control** del EPC que procesa la señalización entre el UE y la CN. Los protocolos se denominan **NAS** (Non Access Stratum), de modo que la funcionalidad entre la EPC y UE es **separada** del estrato de acceso (AS) –la cual gestiona funcionalidades entre el UE y la red de acceso de radio–.

Lleva adelante funciones que pueden separarse en:

- Funciones relacionadas a **gestión de portadores** (capa de gestión de sesión del protocolo NAS):
  - ✓ Establecimiento, mantenimiento y liberación de portadores.
- Funciones relacionadas a **gestión de conexión** (capas de gestión de conexión y movilidad del protocolo NAS):
  - ✓ Procedimientos de seguridad (autenticación y cifrado);
  - ✓ Transiciones IDLE–ACTIVE de sesiones Terminal–Red (establecimiento de conexiones y QoS);
  - ✓ Movilidad (localización –paging– del terminal).

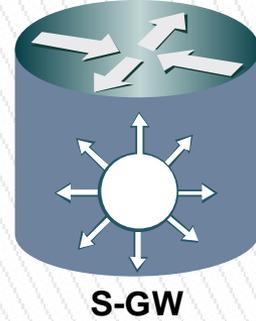
# LTE

## Arquitectura de Red: Nodos del EPC

### MME (Mobility Management Entity)

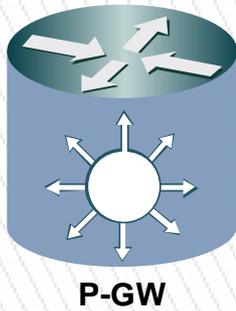


Ericsson  
MME



### ■ S-GW (Serving Gateway)

- Nodo del **plano de usuario** que conecta la EPC con la E-UTRAN. Ancla el plano de usuario para movilidad entre diferentes radiobases (eNodeB) del acceso LTE, así como para otros accesos 3GPP (GERAN o UTRAN -HSPA-).
- Retiene información sobre los portadores cuando el UE está en estado ocioso y temporalmente almacena datos del enlace downlink mientras el MME inicia procedimientos de localización (paging) del UE para reactivarlos.
- Adicionalmente, realiza funciones administrativas, a saber:
  - ✓ Recolección de información estadística de tráfico/volumen de datos con fines contables;
  - ✓ Intercepción legal (lawful interception).



### ■ P-GW (Packet Data Network Gateway)

- **Conecta** a la EPC hacia **otras redes de paquetes de datos** o PDN (ejemplo: Internet).
- Asigna una dirección IP a un UE.
- Asigna la **QoS** y **facturación** basada en volumen de datos de acuerdo a las **políticas** establecidas por el nodo **PCRF**. Fuerza la QoS para portadores de tasa de bit garantizados, así como filtrar paquetes IP en diferentes portadores EPS de acuerdo a las políticas de QoS.
- Ancla el plano de usuario para **movilidad** entre los accesos de sistemas **3GPP y no 3GPP** (cdma2000, WiMAX, etc.).

# LTE

## Arquitectura de Red: Nodos del EPC



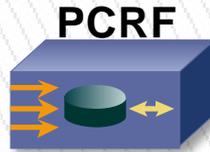
Motorola WBC 700 S-GW



Motorola WBC 700 P-GW



Huawei Enterprise Core  
Network System 600  
eCNS600



## ■ PCRF (Policy and Charging Rules Function)

- Dado que es ambigüamente considerado tanto como nodo del IMS como del EPC de LTE, comparte las características ya mencionadas anteriormente en la sección del IMS de UMTS, IMS de UMTS, más las adicionales de acuerdo a la EPS.
- Gestiona las reglas para determinar el acceso y uso de recursos por el usuario, así como la facturación de los mismos de acuerdo a la función PCEF (Policy Control Enforcement Function), residente en el P-GW.
- Provee autorización de QoS (identificación de clase de QoS y tasas de datos) la cual decide cómo un determinado flujo de datos será tratado en la PCEF, asegurando coherencia con el perfil de suscripción del usuario.



### ■ HSS (Home Subscriber Server)

- Dado que es ambiguamente considerado tanto como nodo del IMS como del EPC de LTE, comparte las características ya mencionadas anteriormente en la sección del IMS de UMTS, más las adicionales de acuerdo a la EPS.
- Guarda información de suscripción a la SAE tales como el perfil de QoS de suscripción EPS, así como restricciones de acceso para roaming, etc. También guarda la información de las PDN a las cuales puede conectarse en función de una APN (Access Point Name, etiqueta que sigue las convenciones DNS) o dirección de PDN (direcciones IP suscriptas).
- Integra el nodo de autenticación AuC, el cual genera los vectores de autenticación y llaves de seguridad.

# LTE

## Arquitectura de Red: Nodos de EPC



Blueslice Networks  
HSS3000



Alcatel Lucent  
PCRF 5780





## ■ ePDG (Evolved Packet Data Gateway)

- Su función principal es asegurar la transmisión de datos con un UE en un EPC sobre un acceso no confiable de tipo no-3GPP.
- ePDG actúa como una subcapa de terminación de un túnel de seguridad IPsec establecido hasta el UE y el borde de la red.



NewGrid SMEC ePDG

# LTE

## Flujo de datos con QoS de LTE: EPS Bearers

- EPS utiliza el concepto de portadores EPS («EPS Bearers») para enrutar tráfico desde un Gateway de una PDN hacia el UE. Un portador EPS constituye un flujo de paquetes IP con una calidad de servicio (QoS) definida entre el Gateway y el UE.
- La E-UTRAN y la EPC en conjunto establecen y liberan portadores EPS a demanda de las aplicaciones.
- Múltiples portadores EPS pueden establecerse a un usuario de modo de proveer diferentes QoS o conectividades a distintas PDN (por ejemplo, un usuario podría estar unido a una llamada de voz -VoLTE- y simultáneamente, descargando una página web vía HTTP o transfiriendo archivos vía FTP).
- El EPS debe proveer seguridad/privacidad para protección del usuario y la red contra uso fraudulento.

# LTE

## Arquitectura de Red de Acceso: E-UTRAN

Está compuesta por radiobases o nodos base evolucionados respecto a las de UMTS, los denominados **eNodeB**, los cuales implementan todas las funciones relacionadas con el acceso de radio, a saber:

- **Gestión de recursos de radio (RRM)** – Cubre todas las funciones relativas a las portadoras de radio, tales como control y admisión de portadora, movilidad, agendamiento y asignación dinámica de recursos a los UE en ambos sentidos (Downlink/Uplink);
- **Compresión de encabezado** – Auxilia en el aseguramiento de uso eficiente de la interfaz de radio al comprimir el overhead, especialmente de paquetes cortos como los de VoIP.
- **Seguridad** – Toda la información enviada sobre la interfaz de radio es encriptada.
- **Conectividad hacia la EPC** – Consiste de la señalización hacia el MME y el trayecto de portadora hacia el S-GW.

# LTE

## Arquitectura de Red de Acceso: E-UTRAN

Los eNodeB son capaces de manejar múltiples celdas.

A diferencia de las redes de acceso antecesoras (GSM BSS, GERAN, UTRAN), no existe nodo controlador (BSC o RNC) en E-UTRAN, sino que sus funciones están integradas en los eNodeB. Consecuentemente:

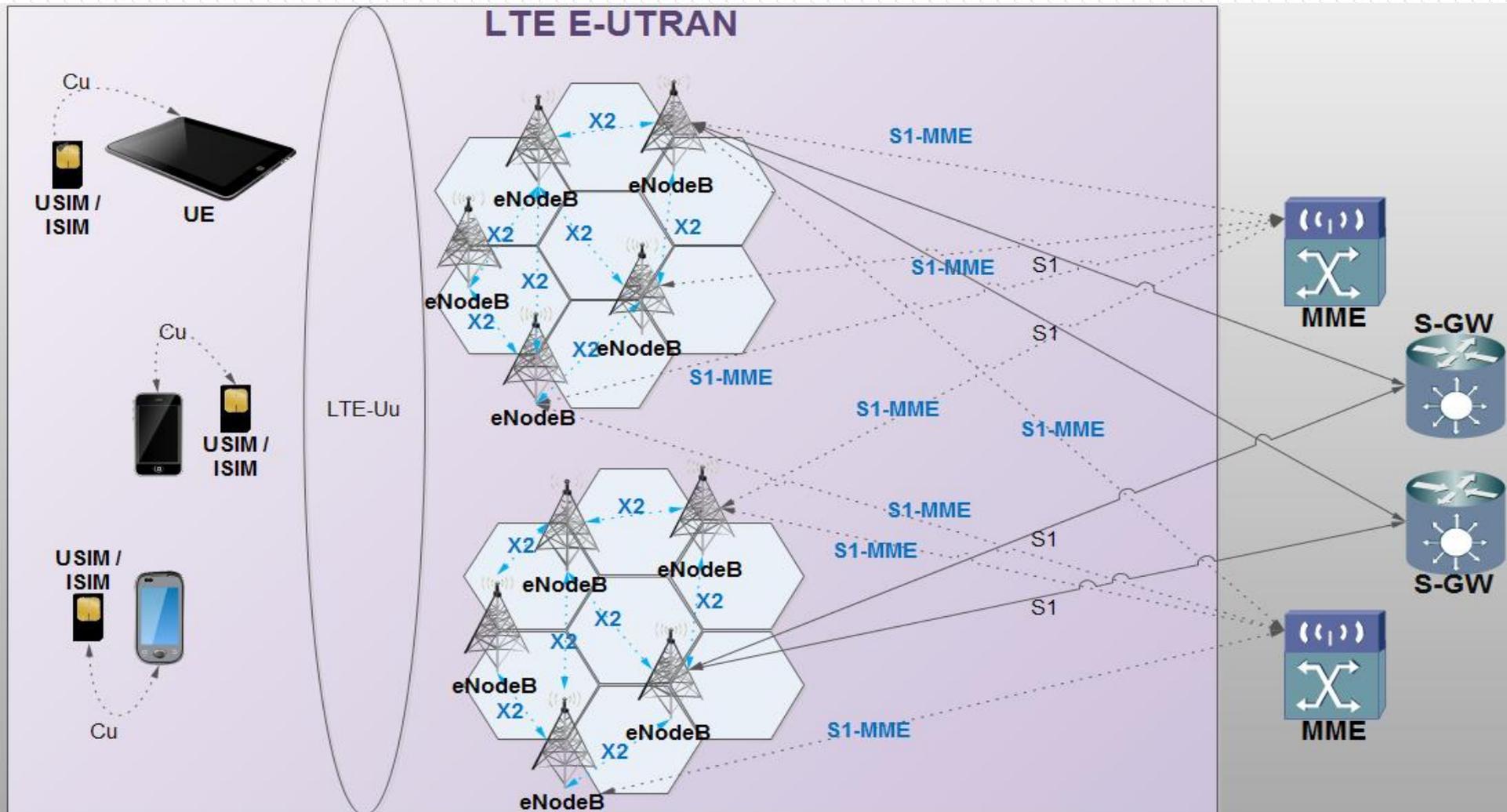
- ✓ se reduce latencia  $\Rightarrow$  aumenta la eficiencia;
- ✓ se reducen costos y puntos de falla.
- ✓ A medida que el UE se desplaza  $\Rightarrow$  transferencia desde un eNodeB al otro de toda la información o contexto del UE (conjuntamente con otros datos eventualmente almacenados)  $\Rightarrow$  Implementación de mecanismos para evitar pérdida de datos durante los traspasos o «handoffs».

Los protocolos transportados en la interfaz LTE-U<sub>u</sub> (entre los eNodeB y los terminales de usuario o UE) son conocidos como protocolos de acceso de estrato o AS (Access Stratum).

# LTE

## Arquitectura de Red de Acceso: E-UTRAN

Los eNodeB están interconectados mediante una interfaz conocida como **X2**, en tanto se conectan hacia el EPC mediante las interfaces **S1-MME** y **S1** (también denominada **S1-U**) hacia el MME y S-GW respectivamente.



# LTE

## Arquitectura de Red de Acceso: E-UTRAN

«S1-flex»: concepto por el cual múltiples MME/S-GW pueden servir un área geográfica común, estando conectados por una red en malla al set de eNodeB del área en cuestión.

Un eNodeB entonces debe servirse de múltiples MME/S-GW (ver diagrama de la diapositiva anterior). El set de MME/S-GW que sirven un área común («pool area») es denominado «MME/S-GW pool».

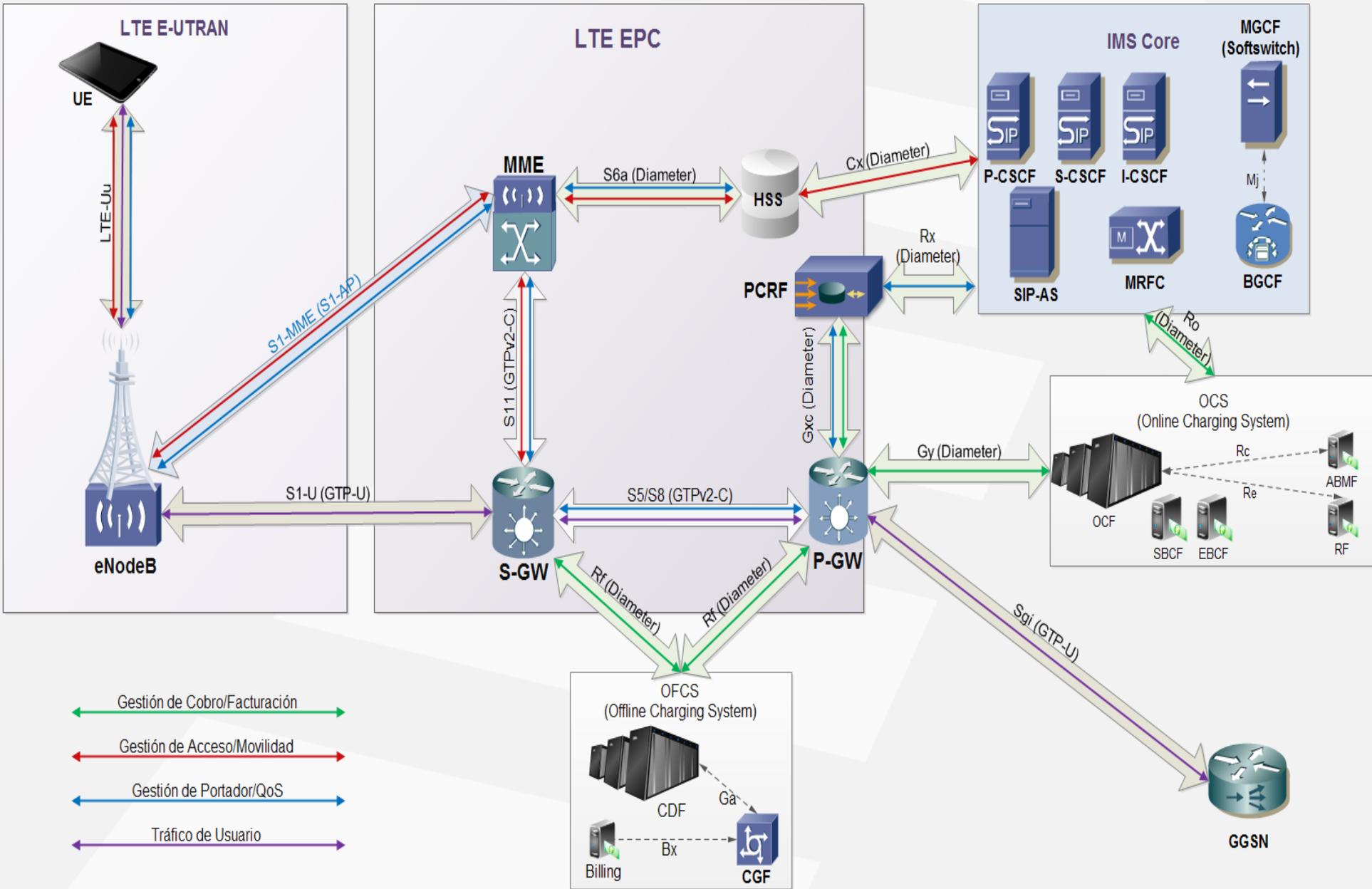
Este concepto conlleva:

- ✓ reparto de carga de procesamiento;
- ✓ mayor robustez por eliminación de puntos de falla singulares.

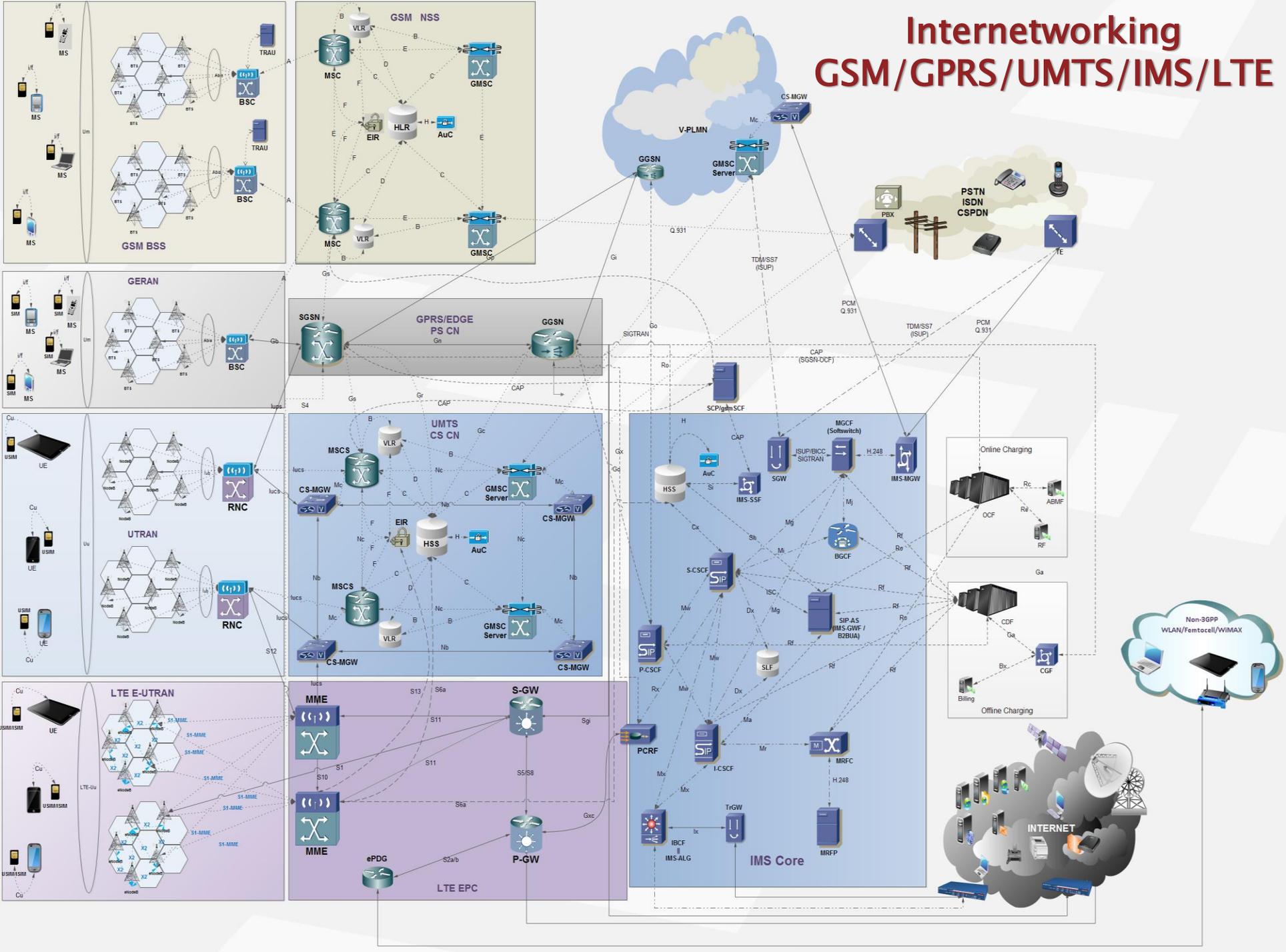
Normalmente el UE permanece con el mismo MME mientras es localizado en el «pool area».

# LTE

## Arquitectura de Red: Interfaces y Roles



# Internetworking GSM/GPRS/UMTS/IMS/LTE



# LTE

## Canales Lógicos del Downlink LTE

Canal Lógico	Downlink	PCCH	Paging Control Channel	Transfiere información de paging y notificaciones de cambios en el sistema. Es utilizado para paging cuando la red no conoce la locación del UE, y se transmite en varias celdas.
		BCCH	Broadcast Control Channel	Canal para broadcast de información del sistema a los UE del eNB, para la inicialización de un móvil previo a su acceso a la red.
		DCCH	Dedicated Control Channel	Canal de información de control para el acceso aleatorio de terminales
		CCCH	Common Control Channel	Canal de tráfico bidireccional asignado a un único UE, para todos los datos de usuario excepto MBMS
		DTCH	Dedicated Traffic Channel	Canal bidireccional punto a punto que transmite información dedicada entre el UE y la red, si existe una conexión RRC.
		MCCH	Multicast Control Channel	Canal punto-multipunto dedicado a la transmisión de información de control de MBMS (Multicast Broadcast Multimedia Services)
		MTCH	Multicast Traffic Channel	Canal punto-multipunto dedicado a la transmisión de información de datos de MBMS

# LTE

## Canales de Transporte del Downlink LTE

Canal de Transporte	Downlink	PCH	Paging Channel	Soporta recepción discontinua en el UE (DRX), para permitir ahorro de energía. Es difundido en toda el área de cobertura de la celda. Se mapea a recursos físicos que pueden ser utilizados dinámicamente para tráfico ó para otros canales de control.
		BCH	Broadcast Channel	Canal fijo con un formato de transporte predefinido, el cual es difundido en toda el área de cobertura de la celda.
		MCH	Multicast Channel (3GPP Release 9)	Difundido en toda el área de cobertura de la celda. Soporta combinaciones MBSFN de transmisiones MBMS en múltiples celdas. Soporta asignación semi-estática de recursos, como con un intervalo de trama de prefijo cíclico largo.
		DL-SCH	Downlink Shared Channel	Soporta HARQ, adaptación dinámica del enlace variando modulación, codificación y potencia de transmisión. Opcionalmente soporta difusión en toda la celda ó sectorización (beam forming). Soporta asignación dinámica y semiestática de recursos, recepción discontinua (DRX) para ahorro de energía y soporta transmisiones MBMS.

# LTE

## Canales Físicos del Downlink LTE

Canal Físico	Downlink	PDSCH	Physical Downlink Shared Channel	Acarrea los canales lógicos DL-SCH y PCH. Emplea modulación QPSK, 16QAM y 64QAM
		PDCCH	Physical Downlink Control Channel	Informa al UE sobre la alocaión de recursos de los canales PCH y DL-SCH. Acarrea el agendamiento de autorización del uplink. Emplea modulación QPSK.
		PHICH	Physical Hybrid ARQ Indicator Channel	Acarrea los ACK y NAK de HARQ en respuesta a transmisiones en el uplink. Emplea modulación QPSK.
		PBCH	Physical Broadcast Channel	Emplea modulación QPSK. Los bloques BCH de transporte se mapean en cuatro subtramas dentro de un intervalo de 40 msec. La temporización de 40 msec es detectada sin señalización explícita indicando su duración. Cada subtrama es autodecodificable, tal que el BCH puede decodificarse en una recepción simple, asumiendo buenas condiciones del enlace de radio.
		PFICH	Physical Control Format Indicator Channel	Informa al UE la cantidad de símbolos OFDM empleados en cada PDCCH, con el CFI (Control Format Indicator). Se transmite en cada subtrama.
		PMCH	Physical Multicast Channel	Acarrea el canal de transporte MCH. Emplea modulación QPSK, 16QAM ó 64QAM.

# LTE

## Canales Lógicos y de Transporte del Uplink LTE

Canal Lógico	Uplink	CCCH	Common Control Channel	Utilizado para transmitir información de control entre el UE y la red, cuando no existe una conexión en el nivel RRC.
		DCCH	Dedicated Control Channel	Canal bidireccional punto a punto que transmite información dedicada entre el UE y la red. Es empleado por los UE que si tienen una conexión en el nivel RRC.
		DTCH	Dedicated Traffic Channel	Canal punto a punto, dedicado a un UE, para la transferencia de información de usuario. El canal DTCH existe tanto en el uplink como en el downlink.

Canal de Transporte	Uplink	RACH	Random Access Channel	Acarrea información de solicitud de acceso a la red por parte de un UE. Es muy breve, opera por contienda con otros y puede sufrir colisiones y pérdida del mensaje.
		UL-SCH	Uplink Shared Channel	Soporta información adicional para la formación de haces (beam forming). Soporta adaptación dinámica variando la potencia transmitida, la modulación y la codificación. Soporta HARQ y asignación dinámica y semi-estática de recursos.

# LTE

## Canales Físicos del Uplink LTE

Canal Físico	Uplink	PRACH	Physical Radio Access Channel	Acarrea el preámbulo del acceso aleatorio. El mismo es generado desde secuencias Zadoff-Chu con zonas de correlación nula, creadas desde una ó varias raíces de secuencias Zadoff-Chu.
		PUSCH	Physical Uplink Shared Channel	Acarrea el canal lógico UL-SCH. Emplea modulación QPSK, 16QAM ó 64QAM.
		PUCCH	Packet Uplink Control Channel	Acarrea las respuestas ACK ó NAK del HARQ para las transmisiones del downlink. Acarrea solicitudes de agendamiento (SR) y reportes CQI de calidad del enlace. Emplea modulación BPSK y QPSK.

# LTE

## Pila de protocolos del plano de usuario

Un paquete IP («Internetworking Protocol») para UE es encapsulado en un protocolo EPC–específico y conducido en un túnel entre el P–GW y el eNodeB para transmisión al UE.

Se utilizan diferentes protocolos de túnel a través de diferentes interfaces. Las interfaces S1 y S5/S8 utilizan el protocolo GTP.

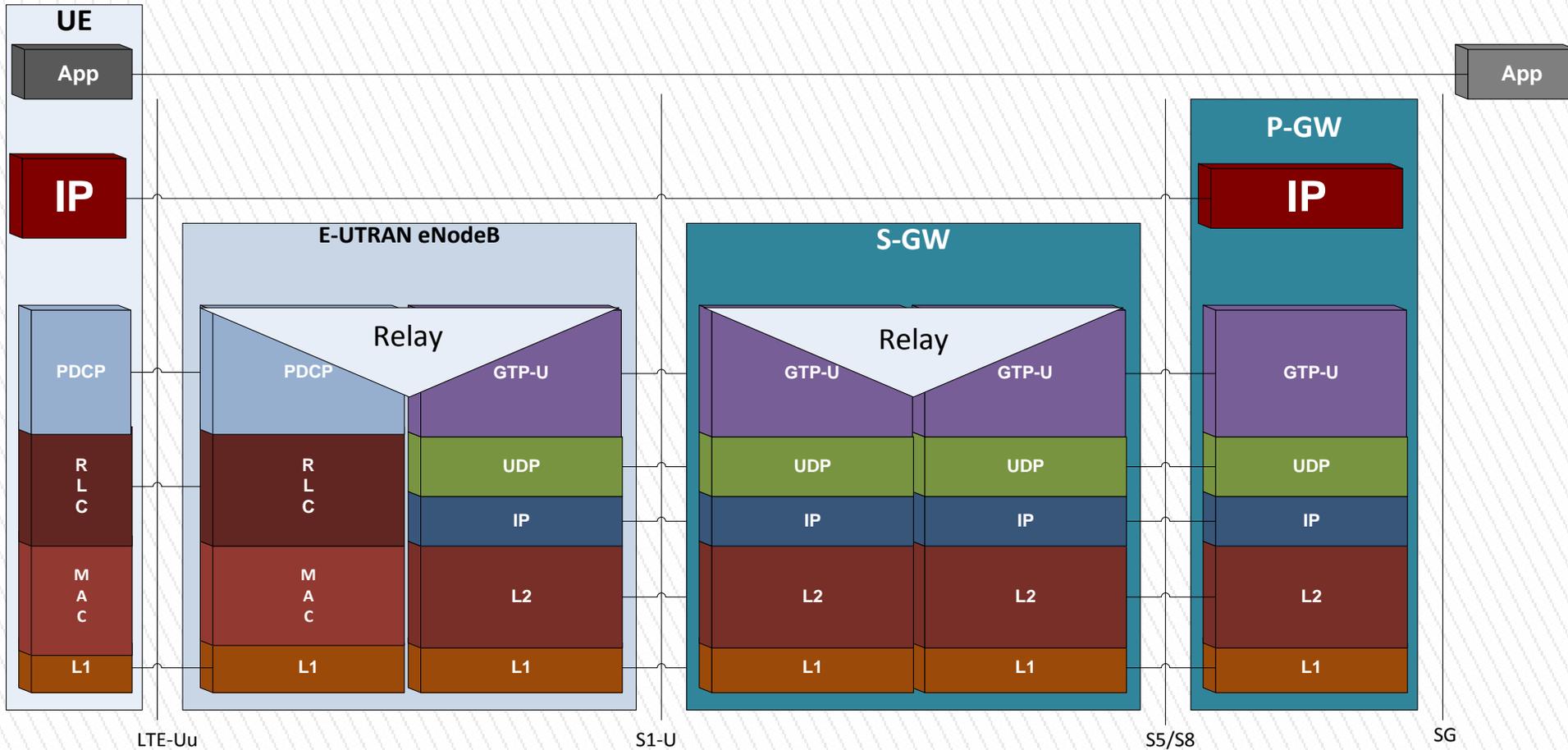
La pila de protocolos de plano de usuario de E–UTRAN consiste de los protocolos «Packet Data Convergence Protocol» (**PDCP**), «Radio Link Control» (**RLC**) y las subcapas «Medium Access Control» (**MAC**) que son terminadas en el eNodeB del lado de la red.



Departamento de  
Telemática

# LTE

## Pila de protocolos del plano de usuario



# LTE

## Pila de protocolos del plano de usuario

### IP (Internetworking Protocol):

Reside en el UE de LTE, para dar servicios a las aplicaciones a las que se acceden con el terminal móvil de diferentes PDN. IP es típicamente encapsulado en TCP y/o UDP (e incluso SCTP en ocasiones).

### PDCP (Packet Data Convergence Protocol):

Funciones:

- Compresión de encabezados en los paquetes IP de usuario vía ROHC (Robust Header Compression).
- Encriptado en los planos de usuario y de control. Resulta un encriptado doble pues los mensajes NAS se encriptan en el eNB y el MME.
- Equiparar las PDU de diferentes protocolos, antes de su segmentación y pasaje por las portadoras hacia RLC.

## Pila de protocolos del plano de usuario

### RLC (Radio Link Control):

Es una subcapa de procedimientos similar a la de UMTS/HSPA para transmisión de flujos interactivos en tiempo real, como VoIP o videoconferencias (dada su mínima latencia), carga o descarga de archivos, información de difusión. Estos procedimientos se llevan adelante según tres diferentes modos: AM (Acknowledged), UM (Unacknowledged), y TM (Transparent).

Emplea mecanismos de retransmisión para la entrega en secuencia de SDU (Service Data Units) de niveles superiores.

Segmenta los SDU en forma adaptativa, según la calidad del enlace de radio.

La subcapa RLC se interconecta con la subcapa MAC mediante canales lógicos, que son controlados por el nivel RRC en modo NAS.

# LTE

## Pila de protocolos del plano de usuario

### MAC (Medium Access Control):

Simplificada en LTE, pues evita la proliferación de entidades MAC, acumuladas en la evolución de WCDMA.

Contiene la función **HARQ** (Hybrid Automatic Repeat reQuest), que opera con múltiples procesos concurrentes en el UE, para aumentar el caudal.

En el downlink del eNB, HARQ opera con retransmisiones sincrónicas, que ocurren en instancias temporales predefinidas dentro del flujo de tramas, sin requerir la señalización explícita hacia el receptor. En el uplink, se emplean retransmisiones asincrónicas, que permiten el agendamiento de las mismas según las condiciones de la interfaz de aire. En la interfaz LTE-Uu, la subcapa MAC mapea los canales lógicos (RLC-MAC) en canales de transporte (MAC-PHY), y tiene a su cargo el agendamiento del tráfico en estos canales según las prioridades en cada UE, así como la selección del formato de transporte más adecuado. El agendamiento MAC reside en el eNB y opera en ambos sentidos de transmisión (D/U).

# LTE

## Pila de protocolos del plano de usuario

### ➤ PHY o L1:

La interfaz de aire LTE–Uu contiene los procesos siguientes:

- Procesos de codificación FEC (Forward Error Correction) Turbo y CRC;
- Mapeado de canales de transporte a canales físicos;
- Entrelazados de octetos y de bits;
- Ajuste de velocidades en la adaptación a canales físicos;
- Módems OFDMA y SC–TDMA.

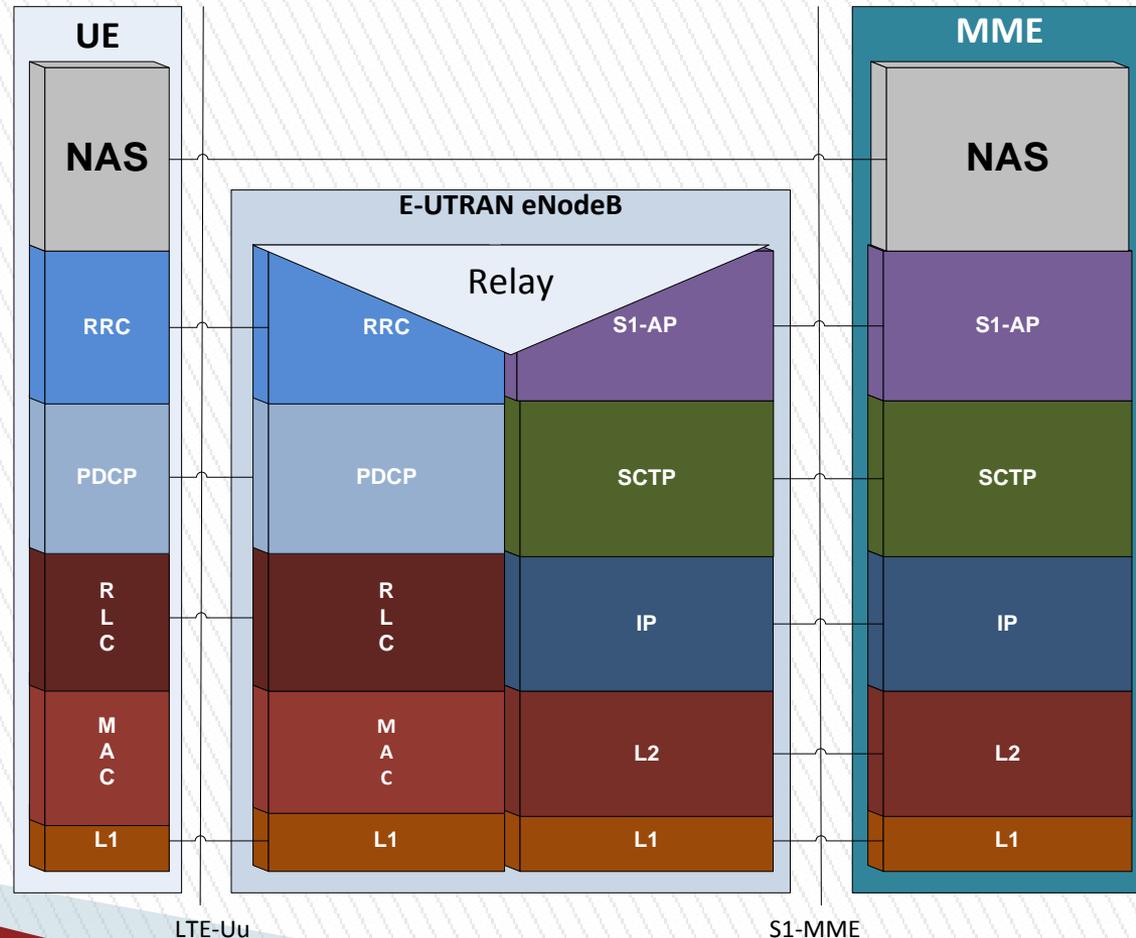
En otras interfaces como S1–U, S5/S8a y SGi, puede contener drivers de banda base para el transporte sobre un Nivel de Enlace 802.3 (Ethernet) a velocidades de 100 Mbps o 1 Gbps.

# LTE

## Pila de protocolos del plano de control

La pila de protocolos del plano de control entre el UE y el MME se muestra en el diagrama a continuación. Se observa el protocolo **NAS**, en tanto los AS son los protocolos de más bajo nivel en la interfaz LTE-Uu. Las capas inferiores realizan las mismas funciones del plano de usuario con la excepción de que no existe compresión de encabezado para el plano de control.

El protocolo RRC («Radio Resource Control») se conoce como «capa 3» en la pila de protocolos AS. Es la principal función de control del AS, siendo responsable del establecimiento de portadoras de radio y la configuración de las capas inferiores utilizando señalización RRC entre eNodeB y el UE.



## Pila de protocolos del plano de control

### NAS (Non Access Stratum):

- NAS permite el diálogo con el MME en el Núcleo EPC;
- Funciones de gestión de movilidad y de administración de sesión, incluyendo:
  - ✓ control de llamadas;
  - ✓ gestión de la seguridad y autenticación;
  - ✓ manejo de comandos AT (TE↔TA de UE, 3GPP TS 27.007).

### RRC (Radio Resource Control):

- Nivel de Red.
- Provee:
  - ✓ Difusión de información del sistema
  - ✓ Configuración de las subcapas PDCP, RLC y MAC
  - ✓ Administra los recursos de radio para gestión de movilidad;
  - ✓ QoS de los servicios de transporte (bearer services);
  - ✓ Gestión de paging;
  - ✓ Gestión de mediciones y reportes al eNB;
  - ✓ Gestión de información del sistema,
  - ✓ Gestión de selección de celdas y traspaso;
    - ✓ Aspectos de seguridad y autenticación de datos del nivel RRC.

# LTE

## Pila de protocolos del plano de control

### S1-AP (S1 Application Part):

- Es el servicio de señalización entre eNB y MME, a través de la interfaz S1-MME.
- Provee funciones de interfaz como:
  - ✓ Portadora de funciones de gestión de SAE;
  - ✓ Funciones para la movilidad;
  - ✓ Paging;
  - ✓ Transporte de NAS;
  - ✓ Reporte de errores;
  - ✓ Transferencia de estado;
  - ✓ Servicios funcionales de reset;
  - ✓ Desacople de «UE context», etc.



# LTE

## Procedimientos NAS

Los procedimientos NAS («**Non Access Stratum**») son análogos conceptualmente a los de UMTS (especialmente los de gestión de conexión). El principal cambio es que la EPS permite concatenación de procedimientos, de modo de permitir establecimiento más ágil y veloz de conexión y portadoras.

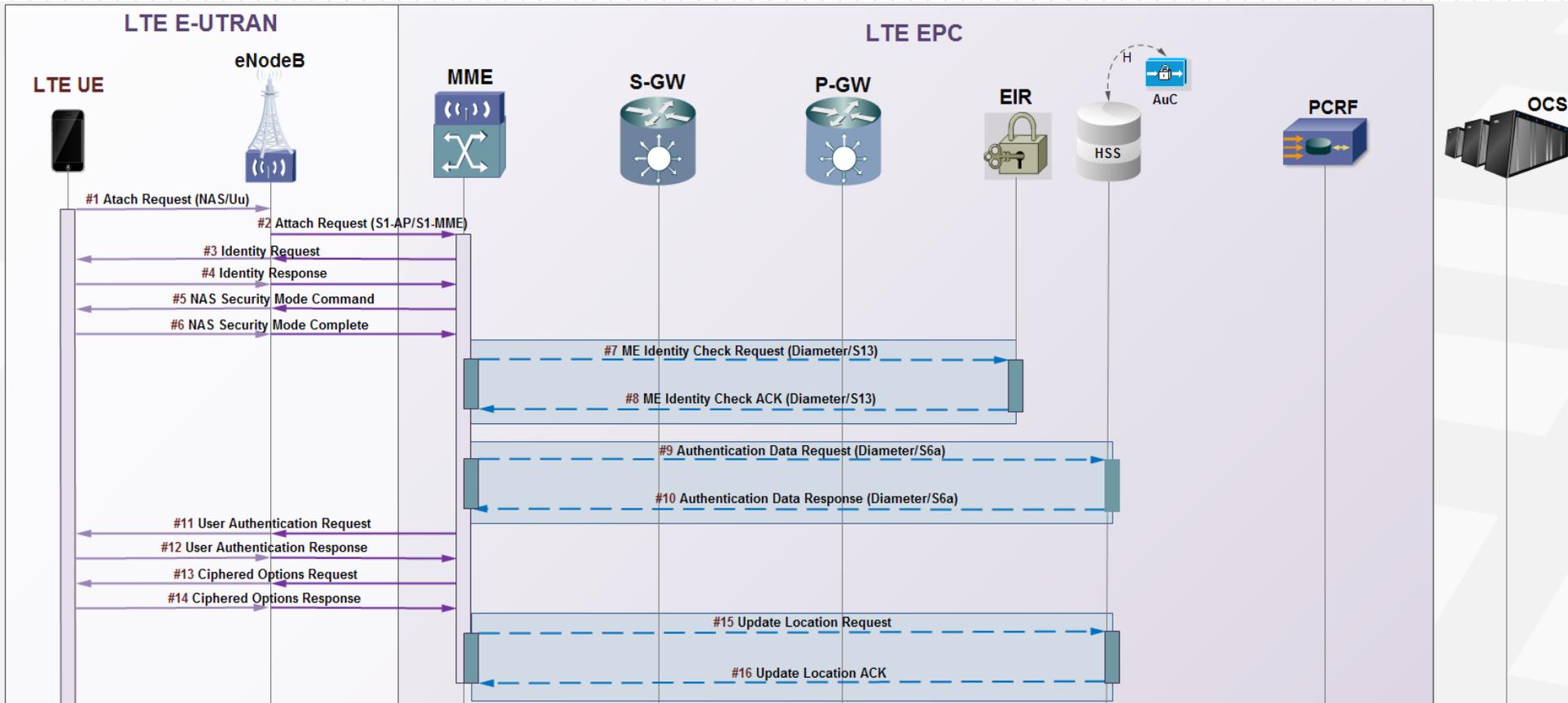
De estos procedimientos surge por ejemplo el «**Initial Attach Procedure**»: el MME crea este contexto cuando un UE es encendido o se acopla a la red. Asigna al UE una identidad temporal única denominada S-TMSI (SAE – Temporary Mobile Subscriber Identity) que identifica el contexto UE en el MME. El «**UE context**» mantiene información de suscripción del usuario descargada del HSS.

La información del «UE context» es retenida en el MME durante períodos ociosos (donde son liberados todos los recursos).



# LTE

## Procedimiento Inicial de Acoplamiento: «Initial Attach Procedure»



1) UE inicia el procedimiento de registro con la red.

MME asume responsabilidad con asistencia de HSS/AuC y EIR.

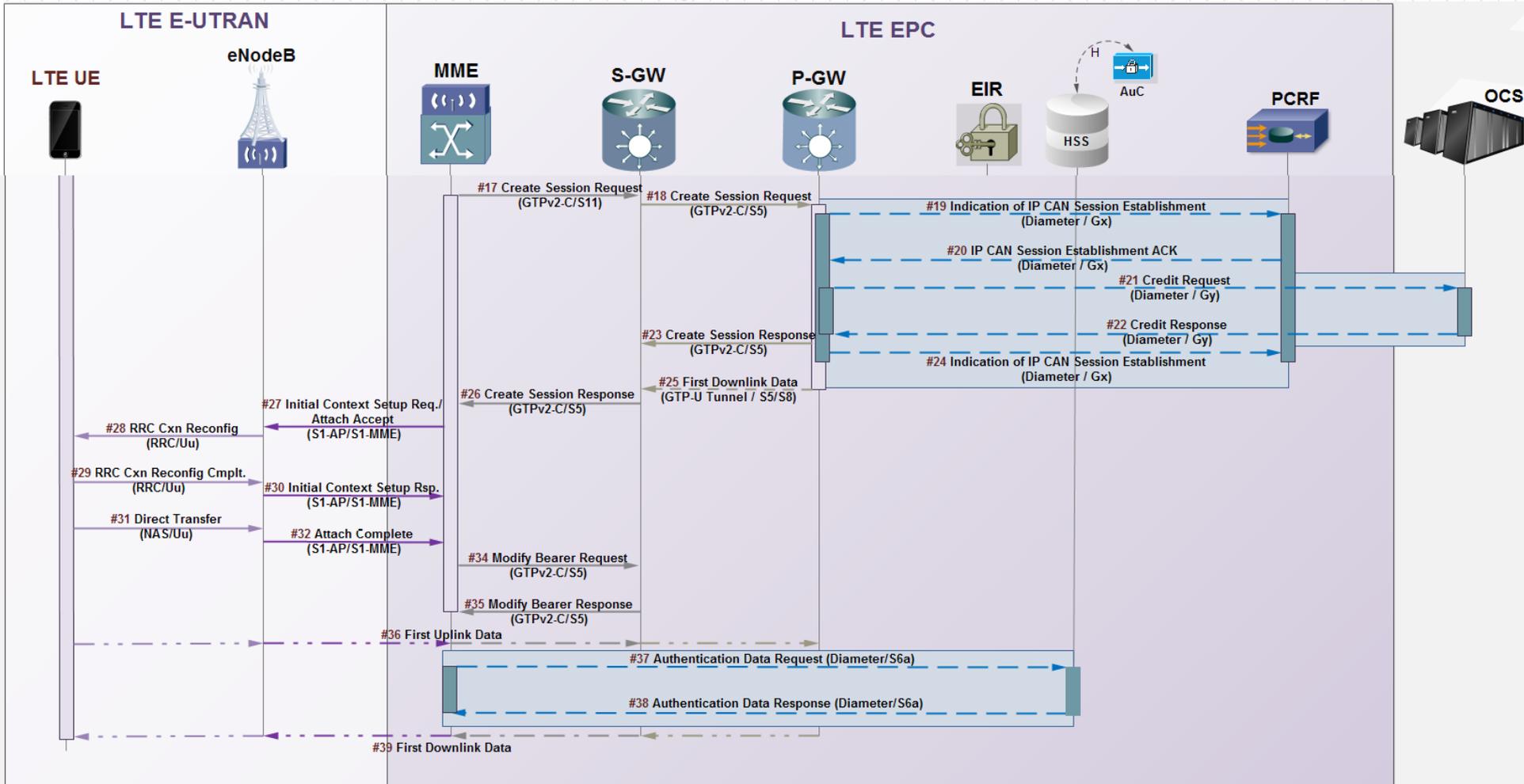
2) Suscriptor autenticado

3) Equipo validado

4) Localización actualizada en HSS («UE context»)

# LTE

## Procedimiento Inicial de Acoplamiento: «Initial Attach Procedure»



Activación de portador por defecto («Default Bearer»)

- 5) MME inicia
- 6) P-GW solicita políticas y reglas de cobro del PCRF
- 7) crédito disponible del OCS
- 8) MME finaliza activación y fluyen primeros datos

# LTE

## Procedimientos NAS

«**Tracking Area Update**»: Para permitir a la red contactar un UE en estado ocioso o «ECM-IDLE», el UE actualiza a la red toda vez que se desplaza del área de seguimiento o TA («Tracking Area»).

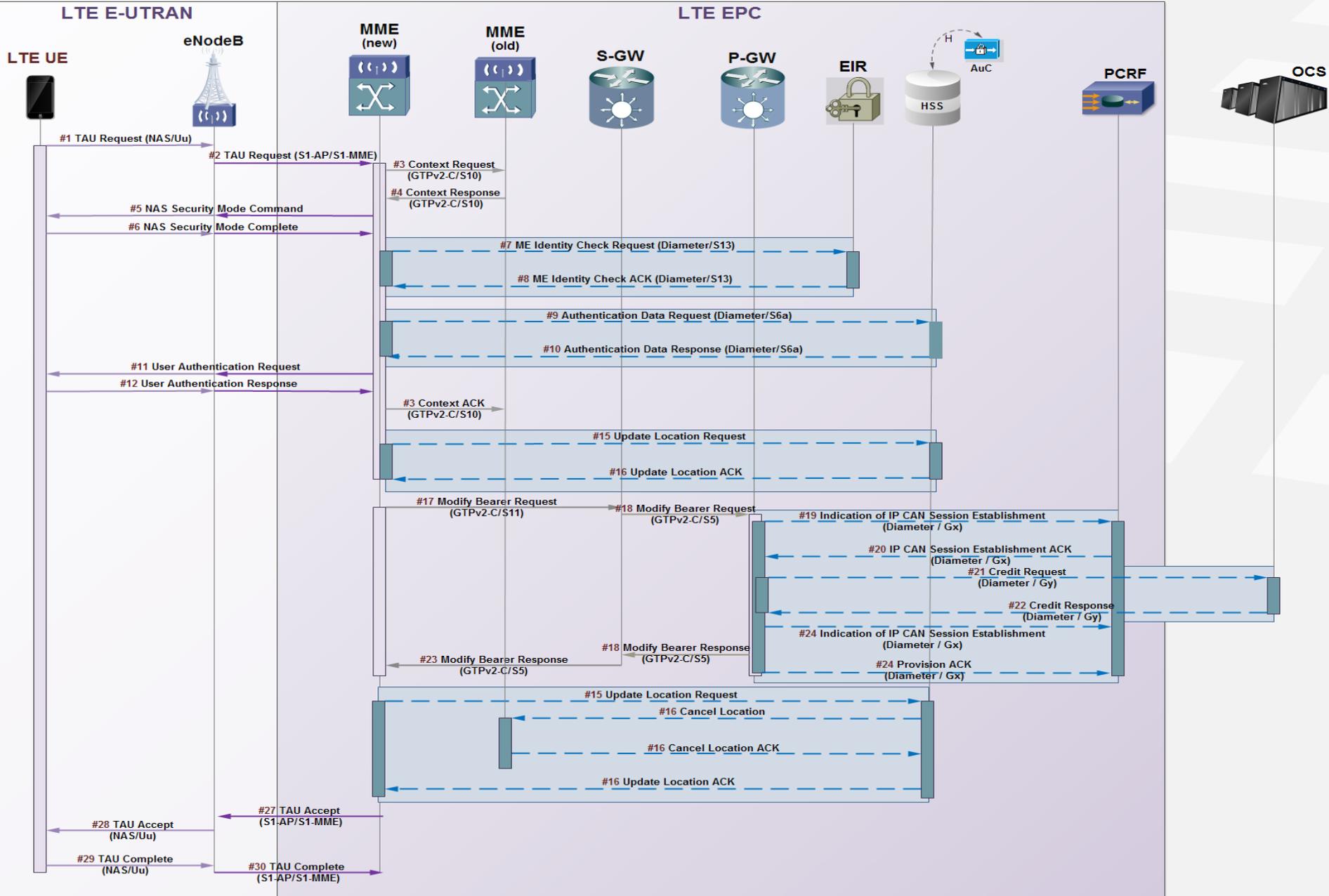
El MME es responsable por hacer el seguimiento de la localización del usuario durante el período ocioso (mediante mensajes de «paging» a todos los eNodeB en la TA sobre la interfaz de radio), así como del restablecimiento del «UE context» y portadoras de radio durante las transiciones a estado activo o «ECM-CONNECTED» (por ejemplo, cuando es necesario entregar información a un UE en estado ocioso).

Las funciones de seguridad son responsabilidad del MME tanto para el plano de control como el de usuario. Cuando un UE se liga a la red, una autenticación mutua ocurre entre el UE y los MME/HSS (la cual establece las llaves de seguridad usadas para encriptación de los portadores).



# LTE

## Actualización de área de seguimiento: «Tracking Area Update»



# LTE

## Protocolos del plano de control de alto nivel

### EMM (EPS Mobility Management):

EMM provee soporte a la movilidad del UE en la red E-UTRAN, así como control de la seguridad, utilizando diferentes tipos de procedimientos:

- **Procedimientos Comunes EMM:** en todo momento mientras exista una conexión NAS, proveen autenticación, identificación, control del modo de seguridad, reubicación del GUTI (Globally Unique Temporary ID).
- **Procedimientos Específicos de EMM:** se aplican sólo a un UE por vez, y comprenden los procesos de acople y desacople del UE, y actualización de área en forma combinada y periódica.
- **Procedimientos de Conexión de EMM:** gestionan la conexión del UE con la EPC y proveen soporte para solicitudes de servicio iniciadas por los UE, los procedimientos de paging hacia los UE, el transporte bidireccional de mensajes NAS genéricos o que contienen mensajes SMS.

# LTE

## Protocolos del plano de control de alto nivel

### ESM (EPS Session Management):

ESM se utiliza para **establecer sesiones** con los UE y soportar los contextos de portadoras EPS. Provee control de las portadoras del plano de usuario para sesiones permanentes, junto con el control del estrato de acceso (AS).

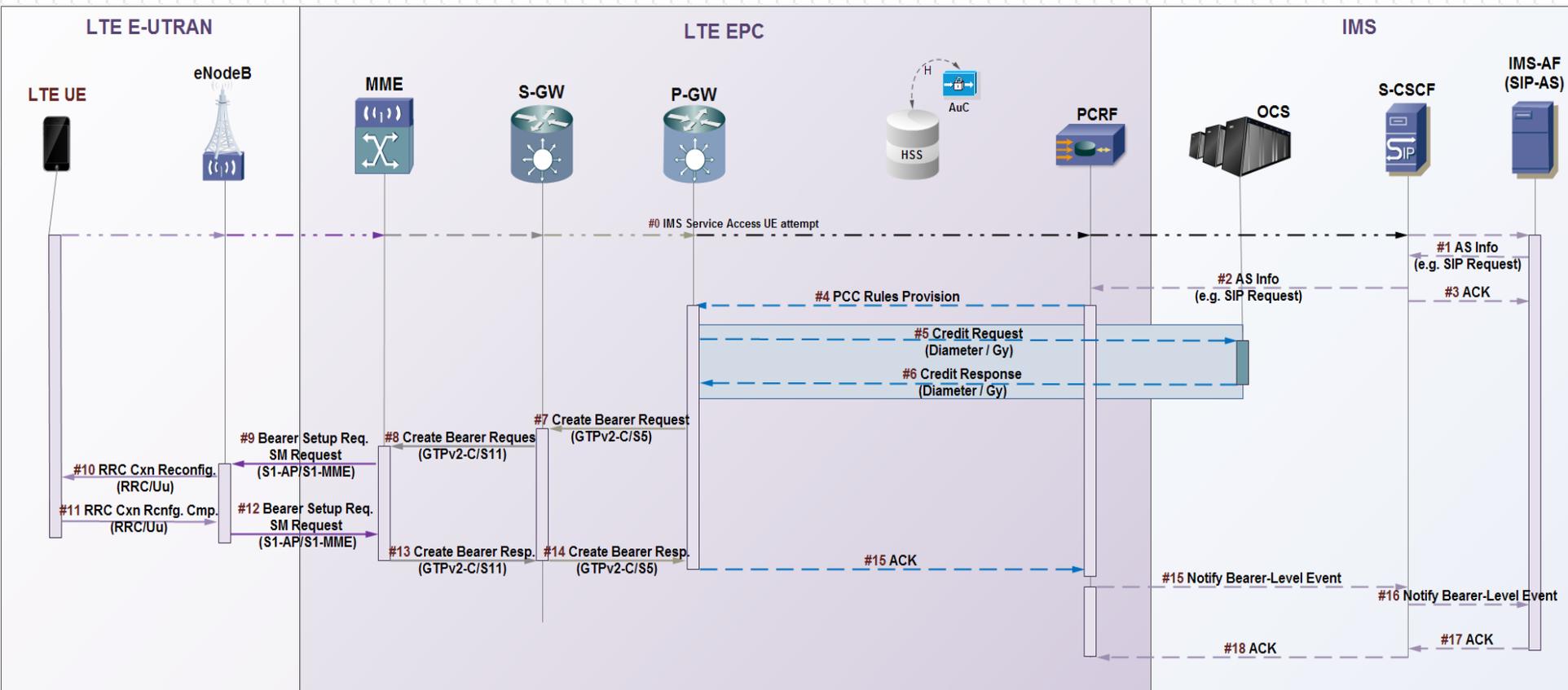
ESM genera mensajes transaccionales para su operación, excepto en el proceso de acople o durante transacciones EMM.

Los procedimientos ESM son posibles si existe un contexto EMM con el terminal móvil en el MME, ya ocurrida la fase de autenticación del UE bajo mensajes NAS seguros (iniciada por el MME mediante transacciones EMM).

ESM soporta la gestión de contextos de portadoras EPS (**activación y desactivación del contexto EPS por defecto**, de contextos de portadora EPS dedicados y de procesos para la modificación de contextos EPS establecidos). También soporta procesos transaccionales asociados, iniciados por solicitud del UE, sea para establecer o liberar sesiones con redes PDN o gestionar, modificar o liberar recursos de portadores dedicados.

# LTE

## Procedimiento de activación de portador dedicado: «Dedicated Bearer Activation Procedure»

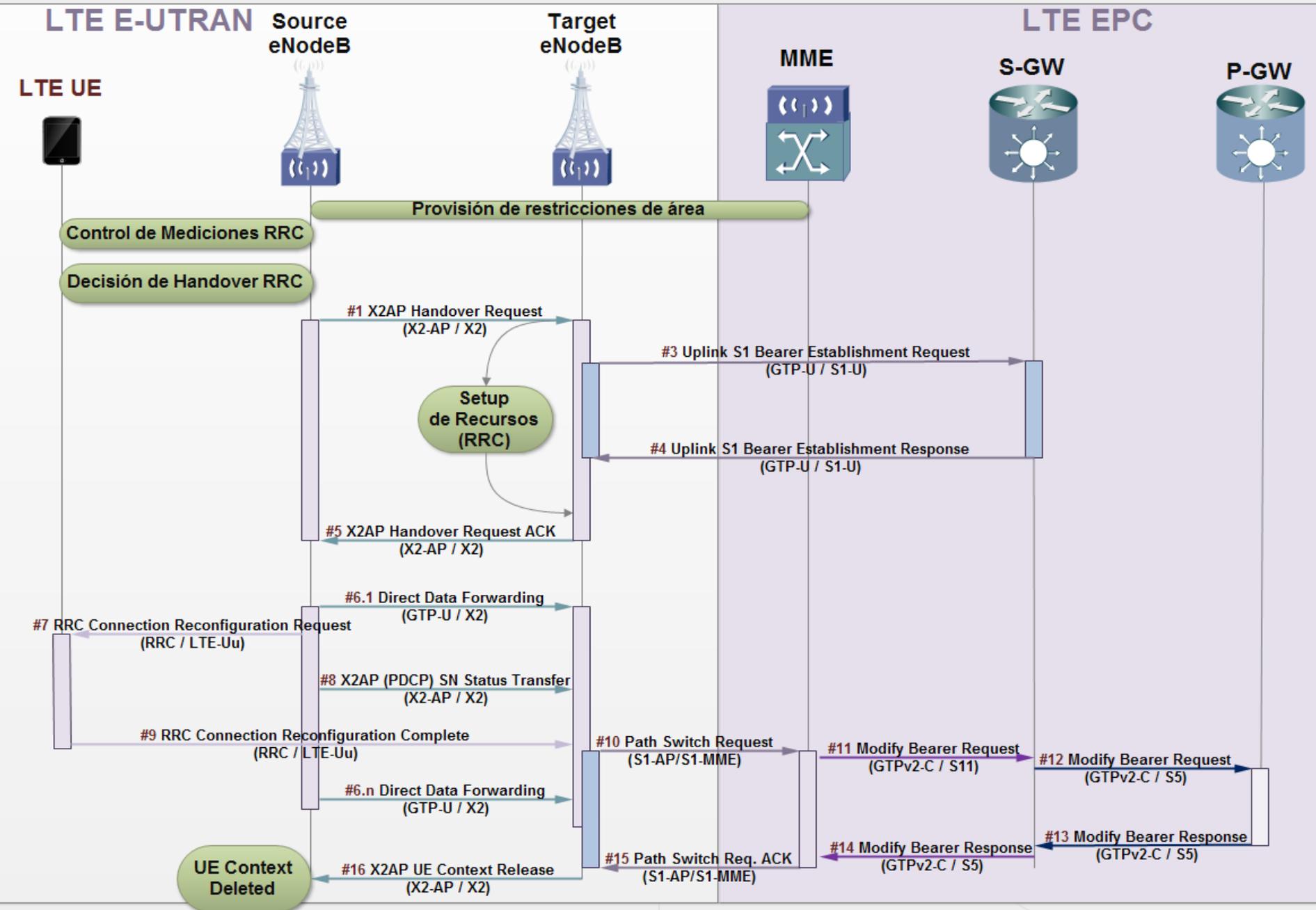


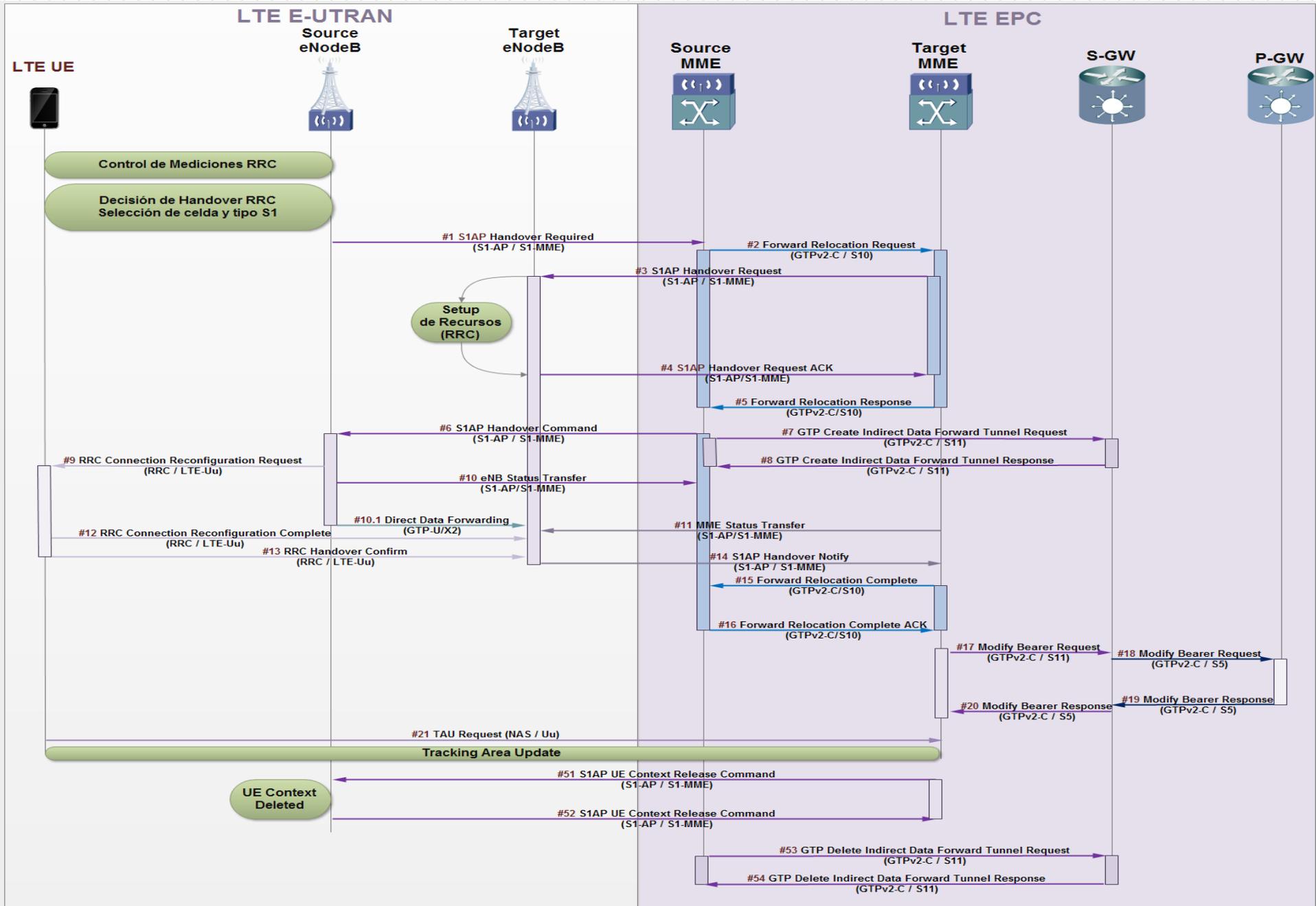
1) UE intenta acceder a un servicio IMS

2) AF notifica al PCRF

3) PCRF envía decisión de QoS al P-GW

4) P-GW inicia activación de portador dedicado hacia el eNodeB (previa consulta a OCS por servicio prepago)





# LTE

## Servicios

Servicios clásicos de telefonía móvil como el de voz, mensajería, localización, etc. son alcanzados a largo plazo, sobre los protocolos de señalización vistos en Telefonía IP, esto es:

### ➤ SIP:

- Voz sobre LTE (VoLTE) –utilizando los nodos del IMS–;
- Mensajería instantánea o IM (SMS, USSD);

### ➤ Diameter:

- Extensiones para aplicaciones AAA;
- QoS;
- Extensiones para múltiples servicios (e.g.: servicios basados en localización o LCS).

# LTE

## VoLTE: CSFB/SVRCC

**CSFB** (Circuit-Switched FallBack): el acceso móvil es desplazado a una tecnología de radio de redes legadas (BSS de GSM, GPRS, UTRAN, etc.) para la provisión de servicio de VOZ.

La desventaja principal de este abordaje es la imposibilidad de acceso simultáneo de servicios de voz y datos vía LTE.

**SRVCC** (Single Radio Voice Call Continuity) es el término utilizado cuando el móvil pierde el acceso a LTE y debe realizar un CSFB de modo de no caerse una llamada en curso. Ergo, SRVCC asegura el roaming en otras redes no-LTE (también se usa en otros métodos VoLTE)

# LTE

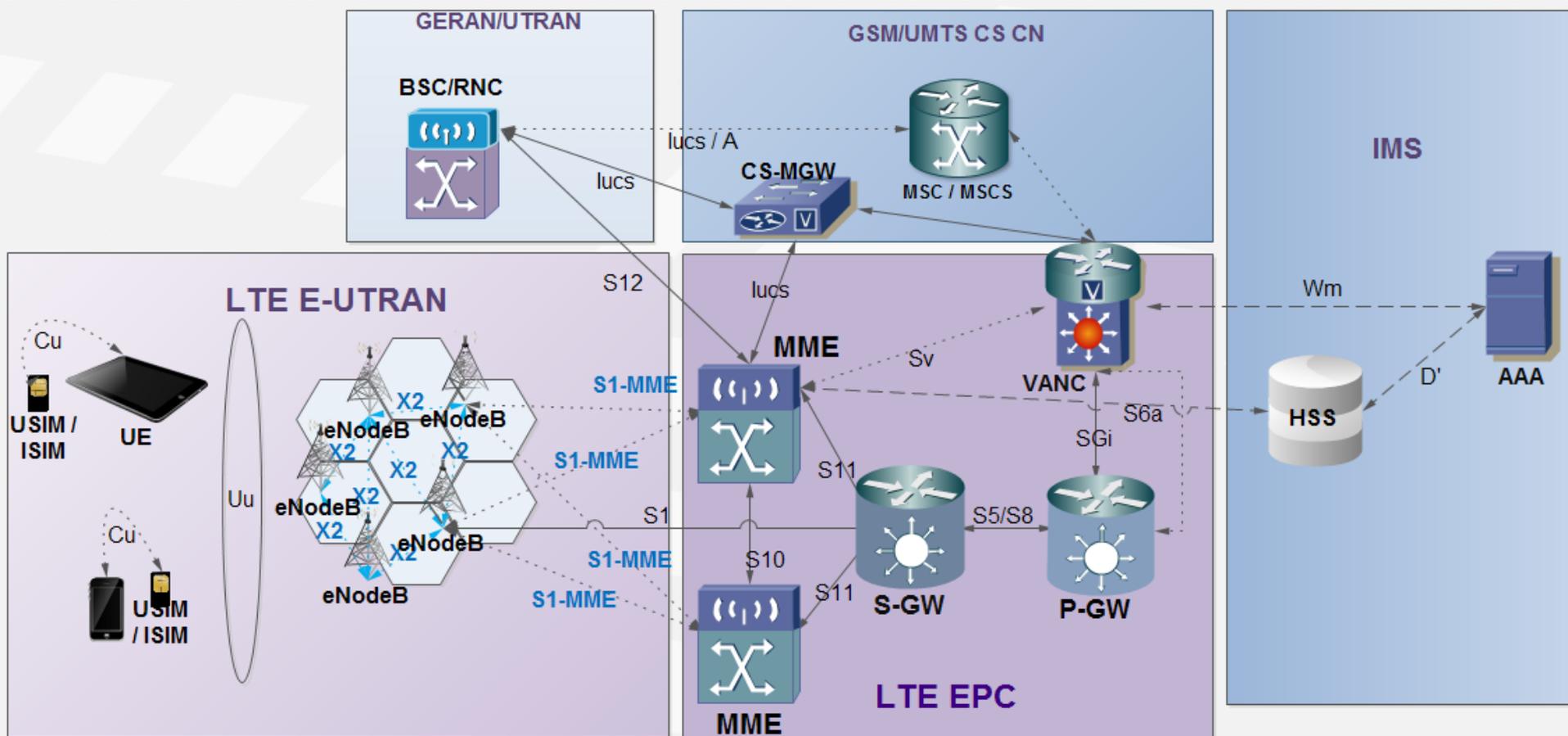
## VoLTE: VoLGA

**VoLGA** (Voice over LTE Generic Access): habilita a dispositivos móviles acceder a servicios de redes legadas sin perder acceso a LTE utilizando un principio de emulación, mediante la cual la red LTE aparece como una BSC/RNC desde la perspectiva de un MSC/MSCS, y con éste, surge como una aplicación móvil desde la perspectiva del móvil LTE. Los mensajes legados de control de llamada son encapsulados en un túnel hacia y desde el dispositivo móvil LTE.

VoLGA, según 3GPP TS 23.879, utiliza una función IWF (Interworking Function), también denominada **VANC** (VoLGA Access Network Controller), insertado entre la EPS y el MSC(S), la cual provee un túnel de relevo de acceso a LTE desde el terminal a la MSC(S). La señalización para redes legadas de circuitos conmutados como las utilizadas en redes 2G/3G, es transportada en forma transparente desde LTE a la VANC, donde se efectúa el desplazamiento hacia las interfaces A/Uu para transporte hacia el MSC(S).

# LTE

## VoLTE: VoLGA



# LTE

## VoLTE: VoIMS

**VoLGA** no tiene el soporte necesario de la industria para voz sobre LTE, fundamentalmente de 3GPP que no continúa los estándares para VoLGA (los cuales progresan en el VoLGA Forum únicamente), dado que se comprende menos apropiado a largo término.

**VoIMS** (Voice over IMS) es el método seguido por 3GPP/LTE para VoLTE. Utiliza únicamente los nodos de la arquitectura EPS y el IMS.

Lógicamente, VoIMS utiliza los protocolos de control de llamada y AAA de LTE y el IMS, esto es, SIP y Diameter.

# LTE

## VoLTE: VoIMS

### 1) Autenticación de UE.

Procedimiento llevado a cabo entre el por el MME en conjunto con el HSS y el servidor AAA. Una vez autenticado el UE, pueden establecerse EPS Bearers.

LTE-Uu

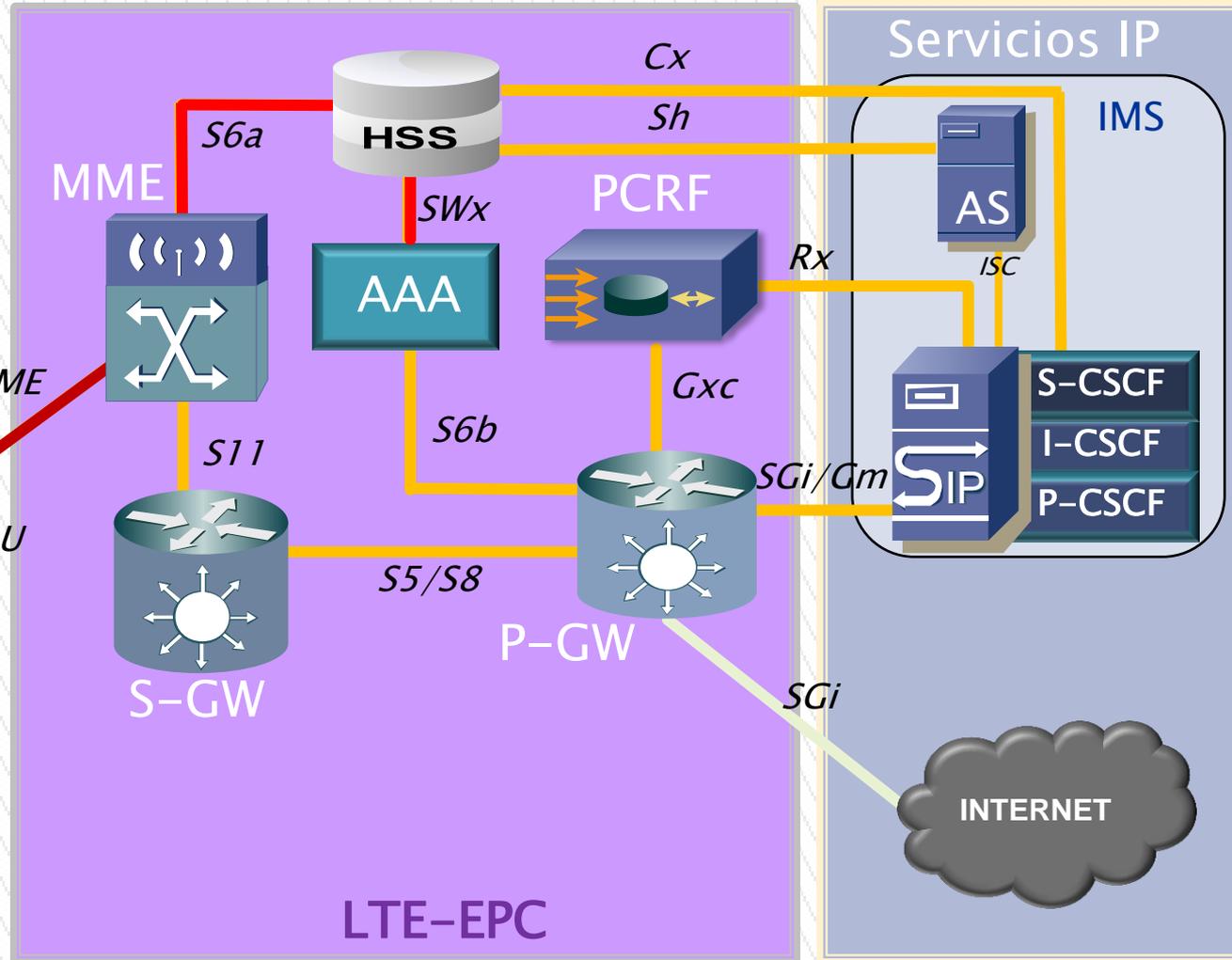


eNodeB



S1-MME

S1-U



# LTE

## VoLTE: VoIMS

### 2) Señalización para creación de PDN Default Bearer.

El MME establece el trayecto entre el eNodeB y la red de paquetes o Internet. Para ello, selecciona los nodos S-GW y P-GW del EPC de modo de acceder a los servicios de ambos ambientes.

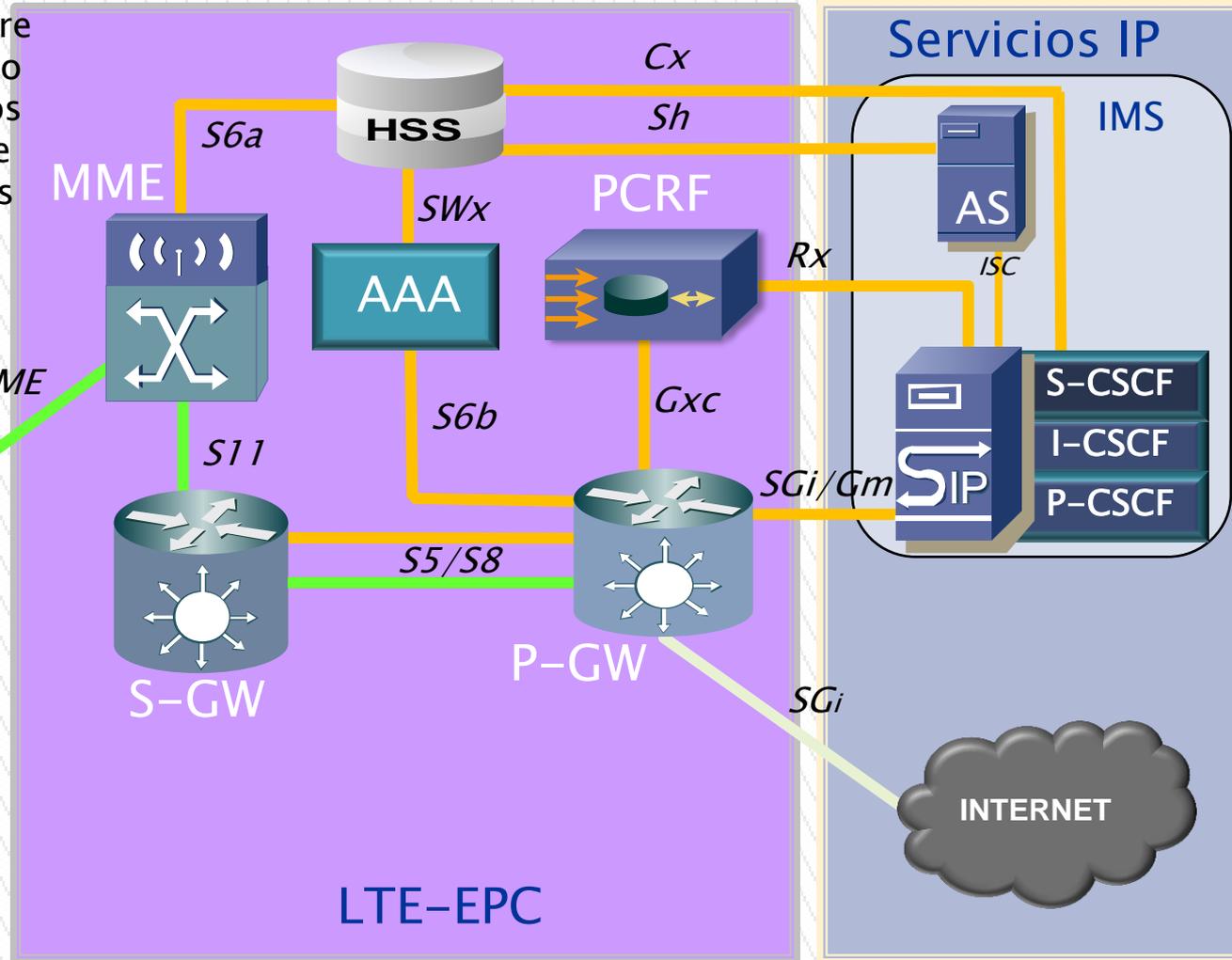
LTE-Uu



eNodeB



S1-MME



# LTE

## VoLTE: VoIMS

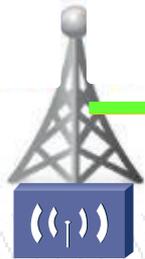
### 3) Default Internet Bearer.

El diagrama muestra el trayecto seguido por el portador o Bearer por defecto para conexión a Internet.

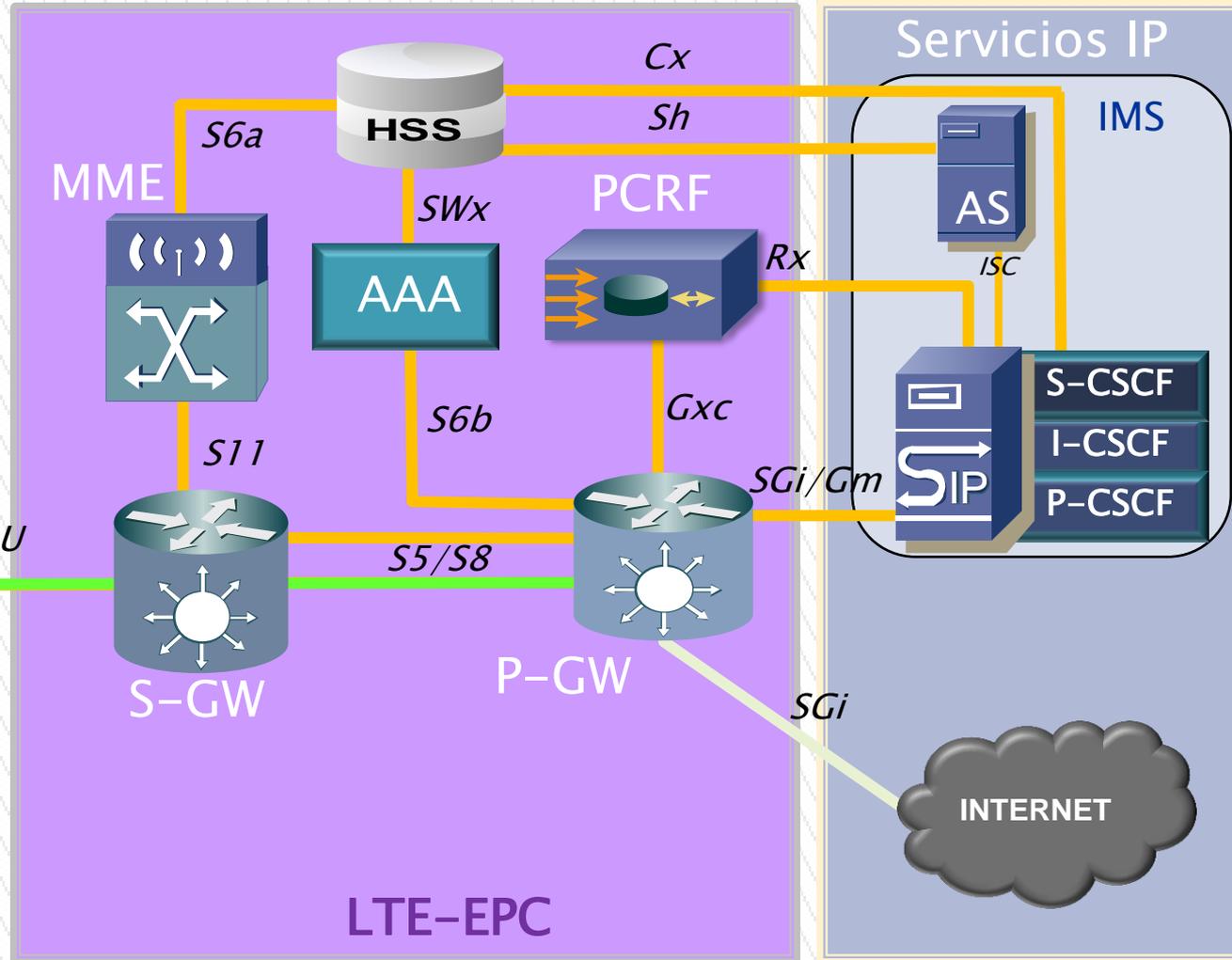
LTE-Uu



eNodeB



S1-U



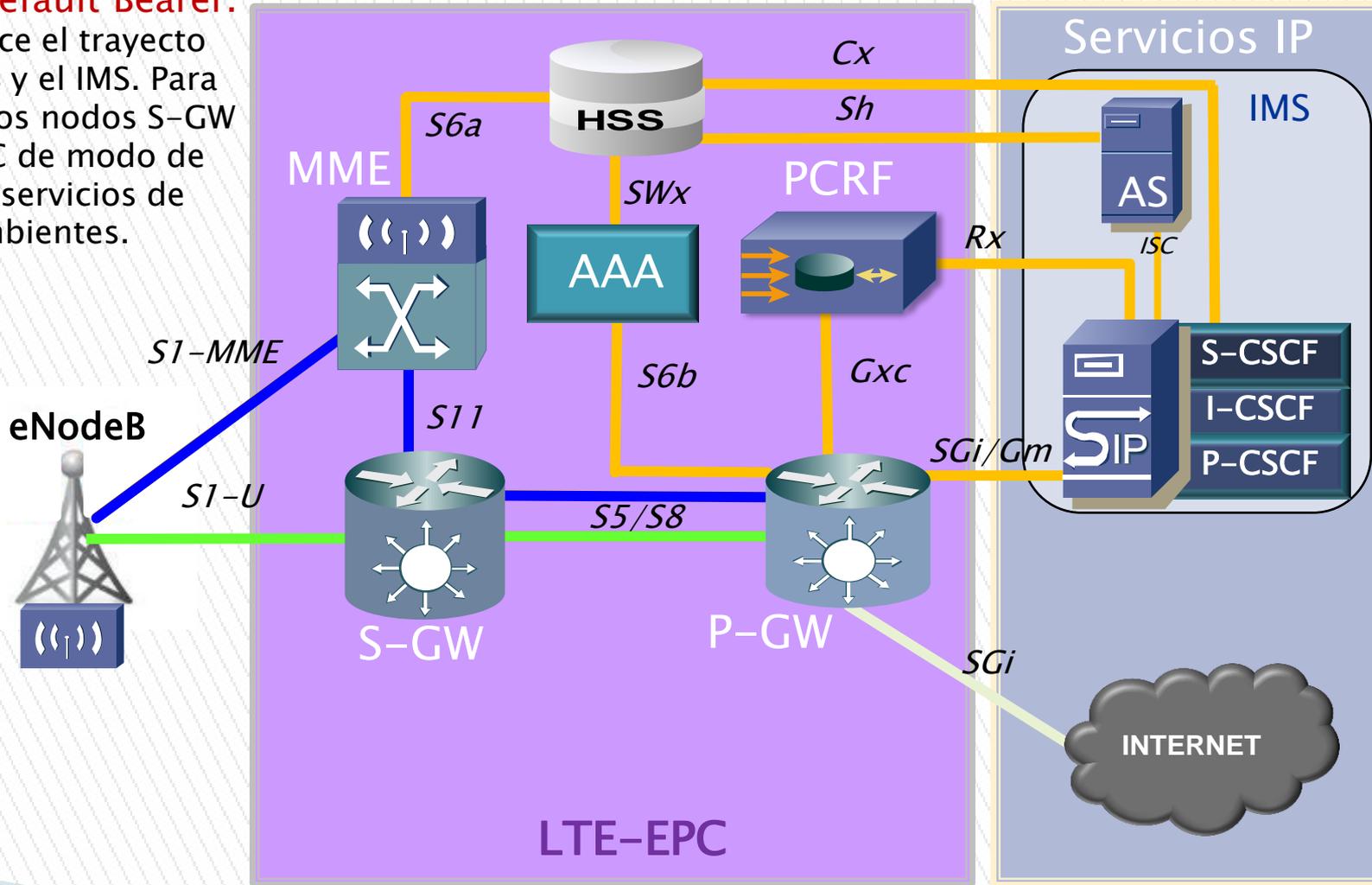
# LTE

## VoLTE: VoIMS

### 4) Señalización para creación IMS Default Bearer.

El MME establece el trayecto entre el eNodeB y el IMS. Para ello, selecciona los nodos S-GW y P-GW del EPC de modo de acceder a los servicios de ambos ambientes.

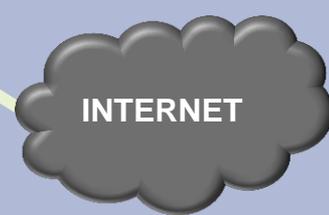
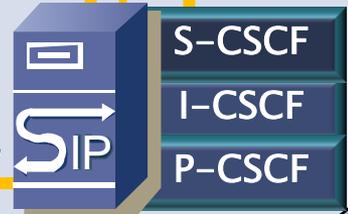
LTE-Uu



LTE-EPC

Servicios IP

IMS



# LTE

## VoLTE: VoIMS

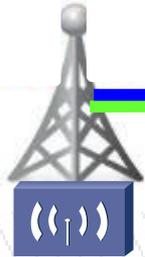
### 5) Default IMS Bearer

El diagrama muestra el trayecto seguido por el portador por defecto o **IMS Default Bearer** para conexión al IMS.

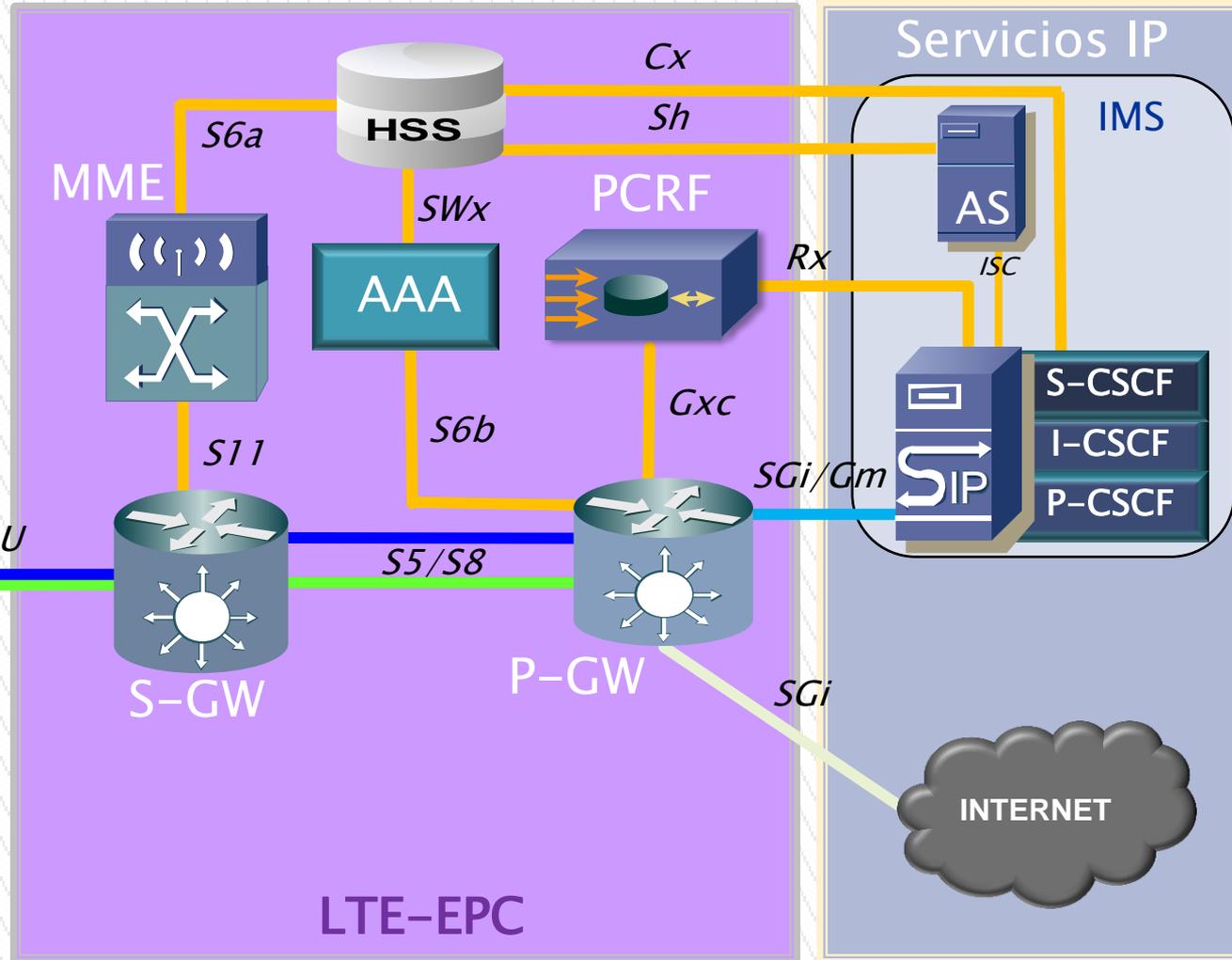
LTE-Uu



eNodeB



S1-U

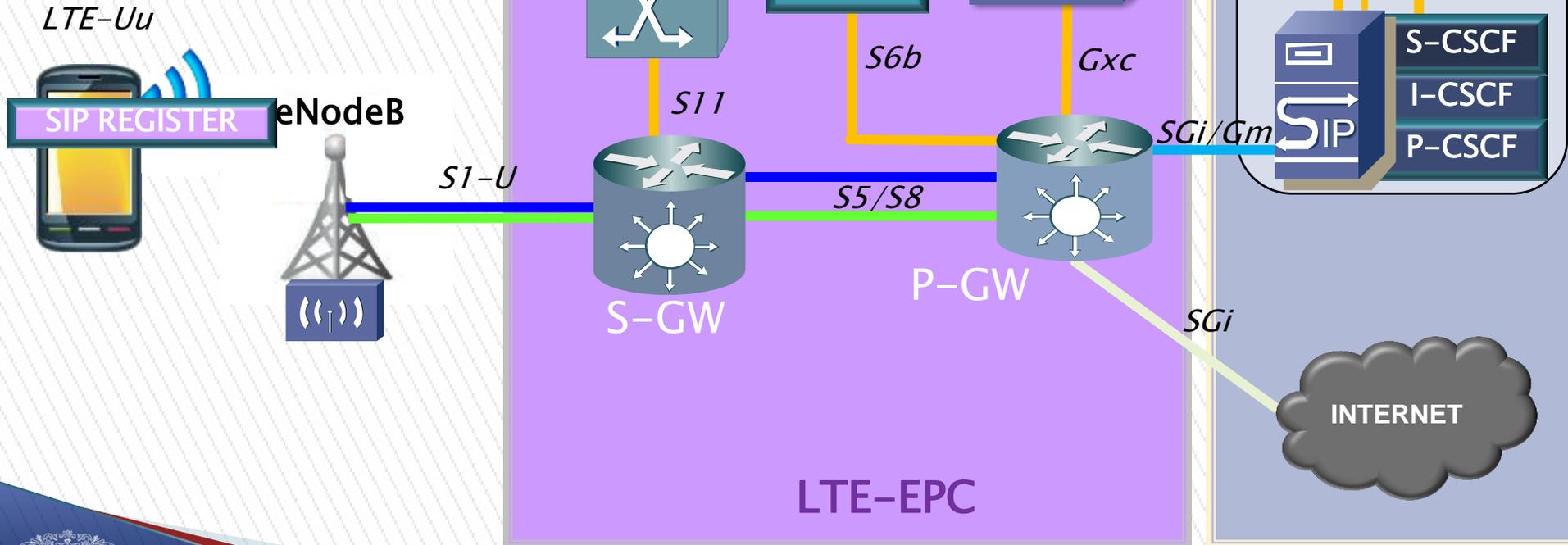


# LTE

## VoLTE: VoIMS

### 6) Registro IMS vía SIP REGISTER.

El UE se registra en el IMS vía un mensaje de solicitud **SIP REGISTER** desde el UE al IMS a través del **IMS Default Bearer**.



# LTE

## VoLTE: VoIMS

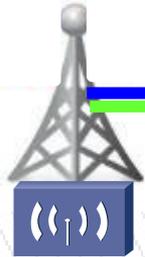
### 7) Consulta de Registro.

Tras el registro SIP, el CSCF debe consultar vía Diameter al HSS y al servidor AAA, de modo de asegurar la identificación, estado y servicios autorizados.

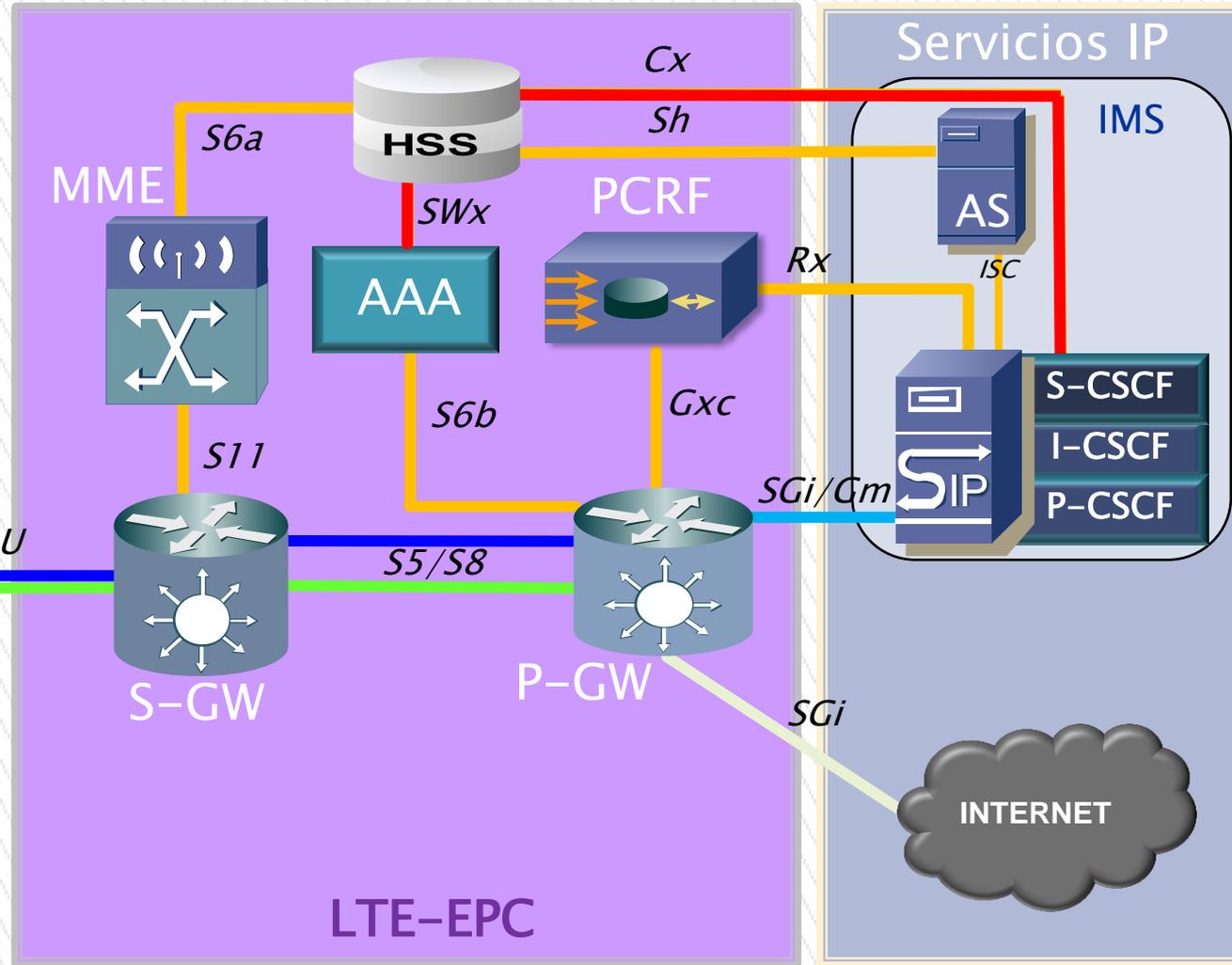
LTE-Uu



eNodeB



S1-U



LTE-EPC

INTERNET



Departamento de Telemática

# LTE

## VoLTE: VoIMS

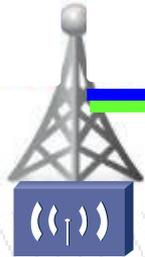
### 8) Suscripción a Servicios

Vía un mensaje de solicitud **SIP SUBSCRIBE**, desde el UE al IMS a través del **IMS Default Bearer**, el UE puede suscribirse a servicio de presencia, de modo de advertir la conectividad de otros usuarios y la propia.

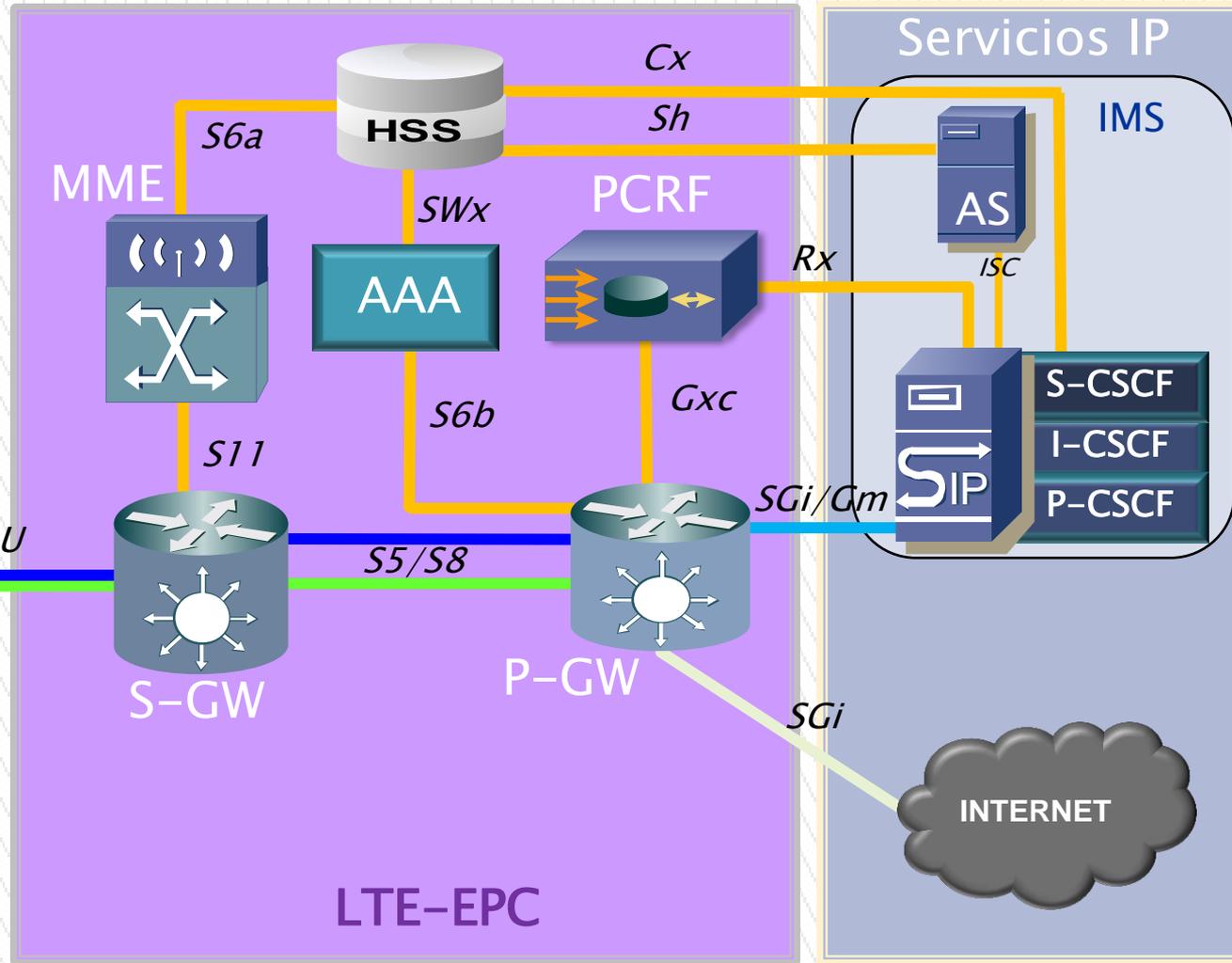
LTE-Uu



eNodeB



S1-U



LTE-EPC

INTERNET

# LTE

## VoLTE: VoIMS

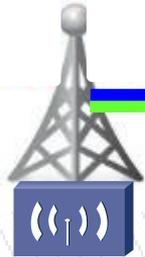
### 9) Advertencia de cambio de estado/presencia.

Vía un mensaje de solicitud **SIP NOTIFY**, desde el IMS al UE a través del **IMS Default Bearer**, el usuario puede advertir la conexión de un usuario a quien destinarle una llamada.

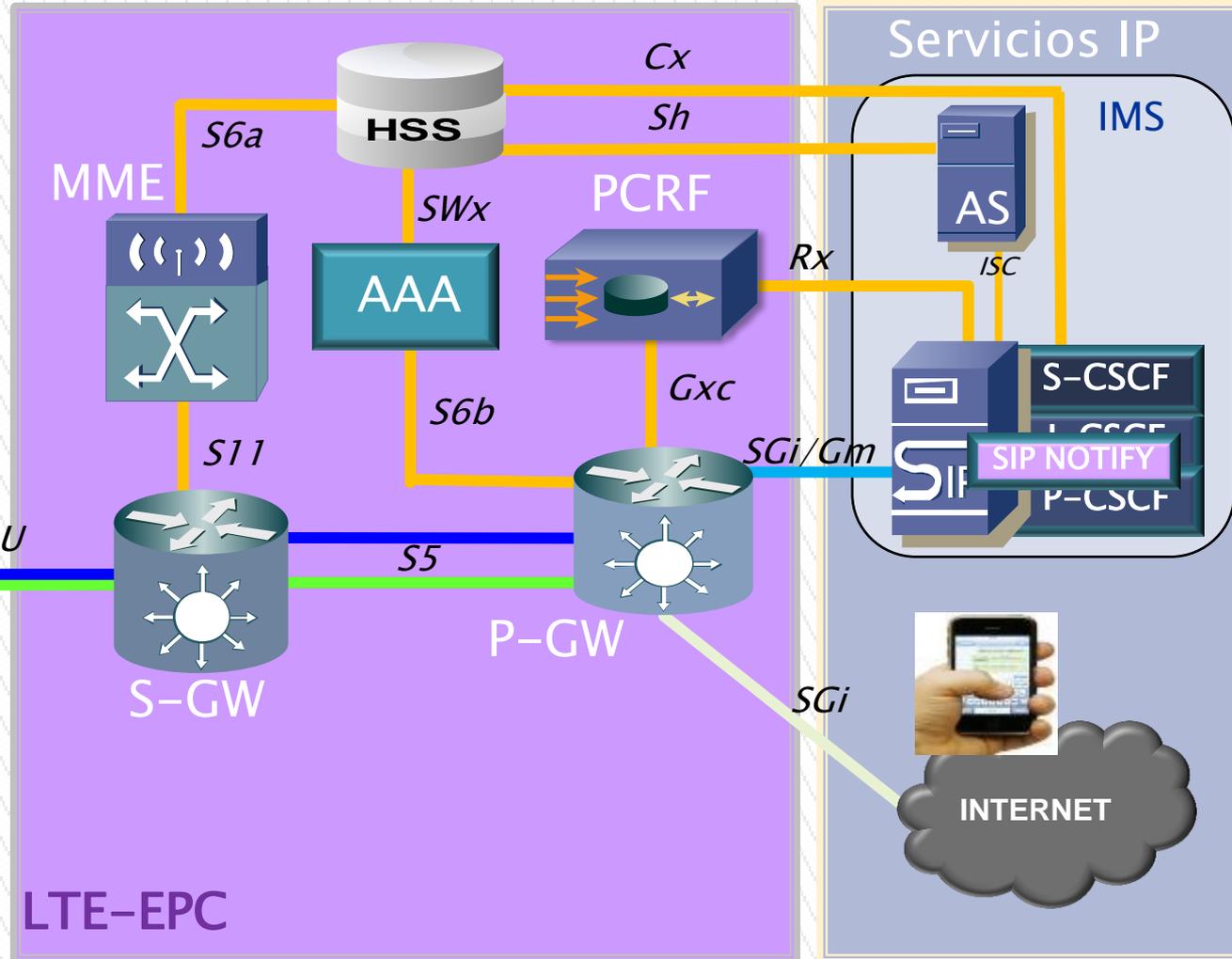
LTE-Uu



eNodeB



S1-U



LTE-EPC

INTERNET

# LTE

## VoLTE: VoIMS

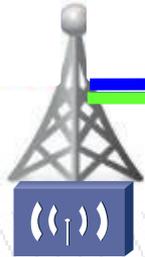
### 10) Acceso a Internet.

Mediante el **Internet Default Bearer**, el usuario puede acceder a portales/servicios web, por ejemplo, Facebook.

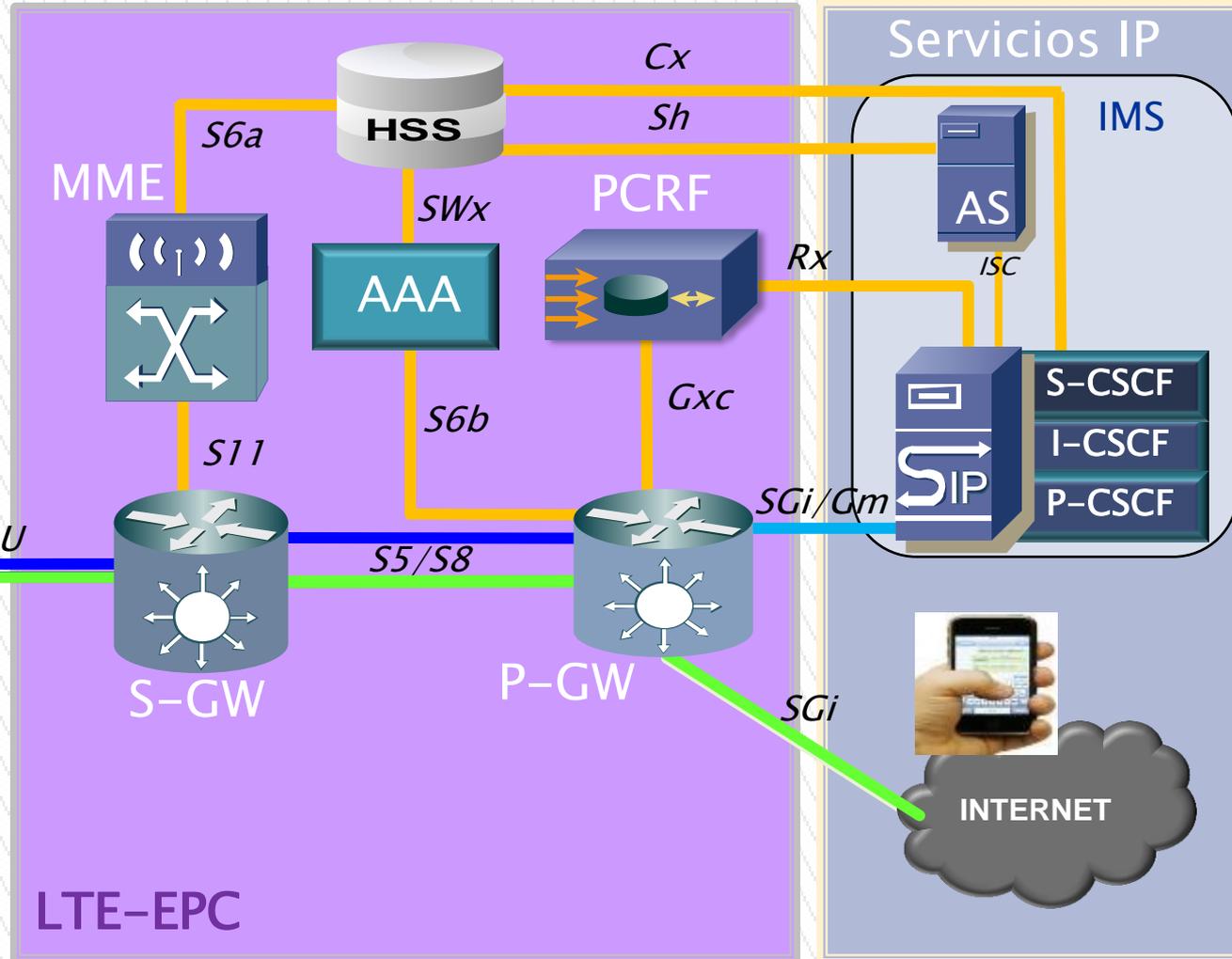
LTE-Uu



eNodeB



S1-U



# LTE

## VoLTE: VoIMS

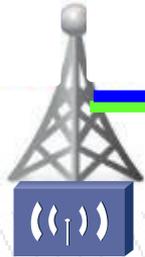
### 11) Establecimiento de llamada VoLTE.

Vía un mensaje de solicitud **SIP INVITE**, desde el UE al IMS a través del **IMS Default Bearer**, el UE puede iniciar una llamada o sesión multimedia vía el IMS, esto es, uso del servicio VoLTE.

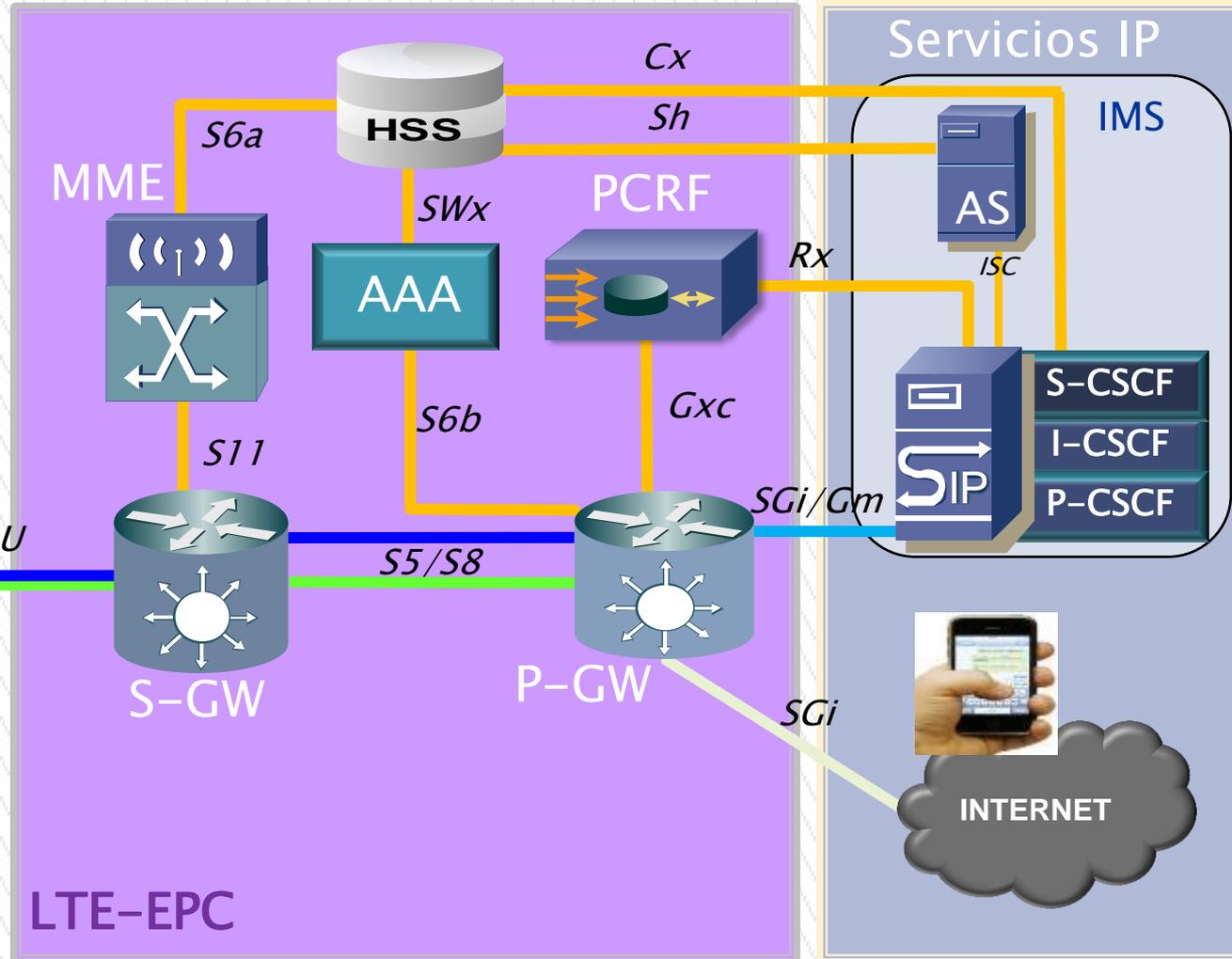
LTE-Uu



eNodeB



S1-U



# LTE

## VoLTE: VoIMS

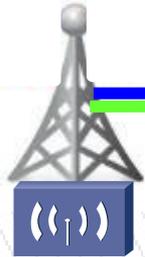
### 12) Portador de señalización para la llamada VoLTE.

El PCRF y el MME establecen en el plano de control (señalización) Bearer adicional a través de la red para la llamada VoLTE.

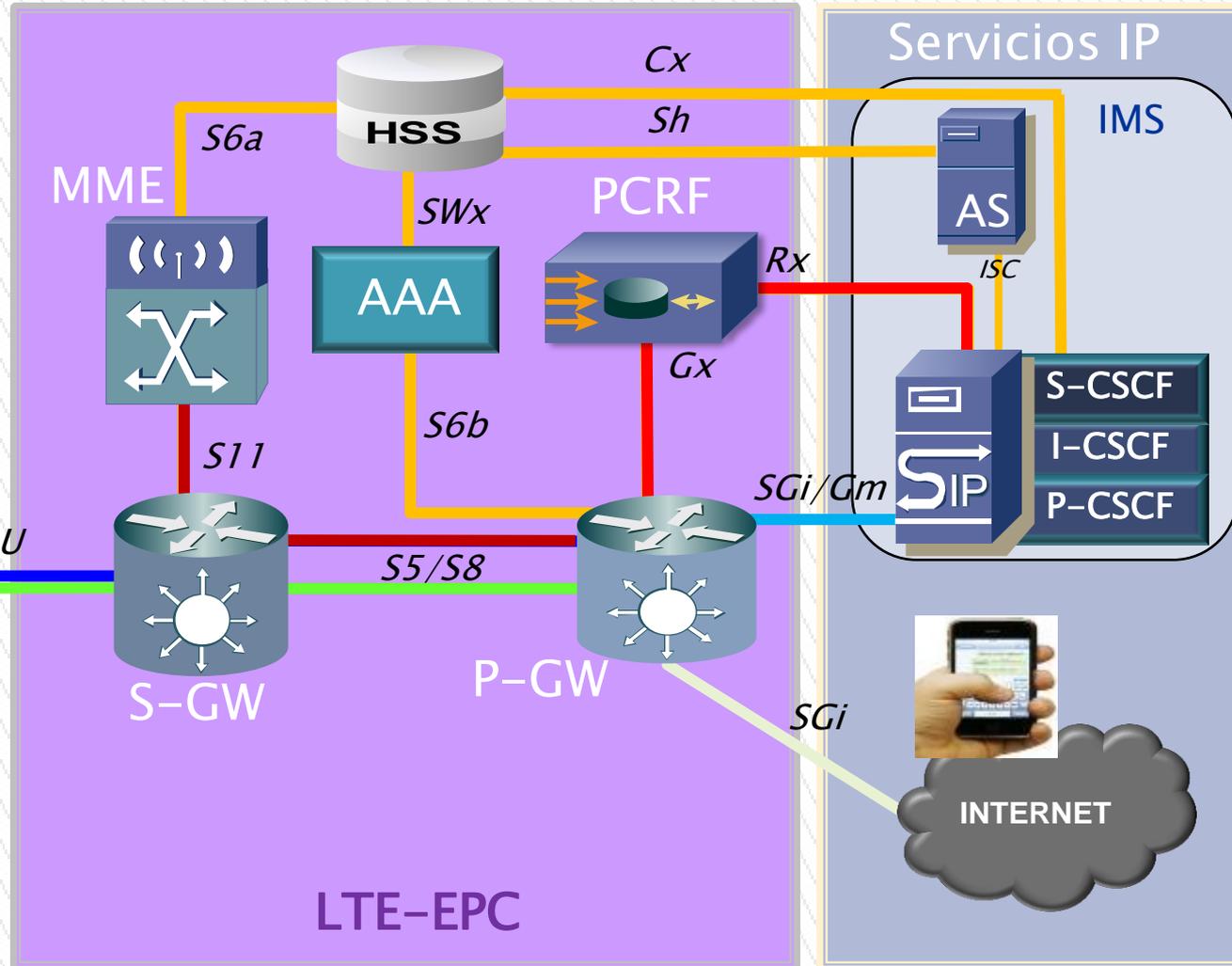
LTE-Uu



eNodeB



S1-U



PCRF dispara los portadores dedicados

# LTE

## VoLTE: VoIMS

### 13) Configuración de calidad de llamada VoLTE (RTP/RTCP en plano de usuario).

Tras la recepción del SIP INVITE, vía Diameter se dialoga con el PCRF para establecer la QoS adecuada a la llamada (e.g., índice de control de llamada o QCI seteado en 1 para latencia máxima de 100 ms).

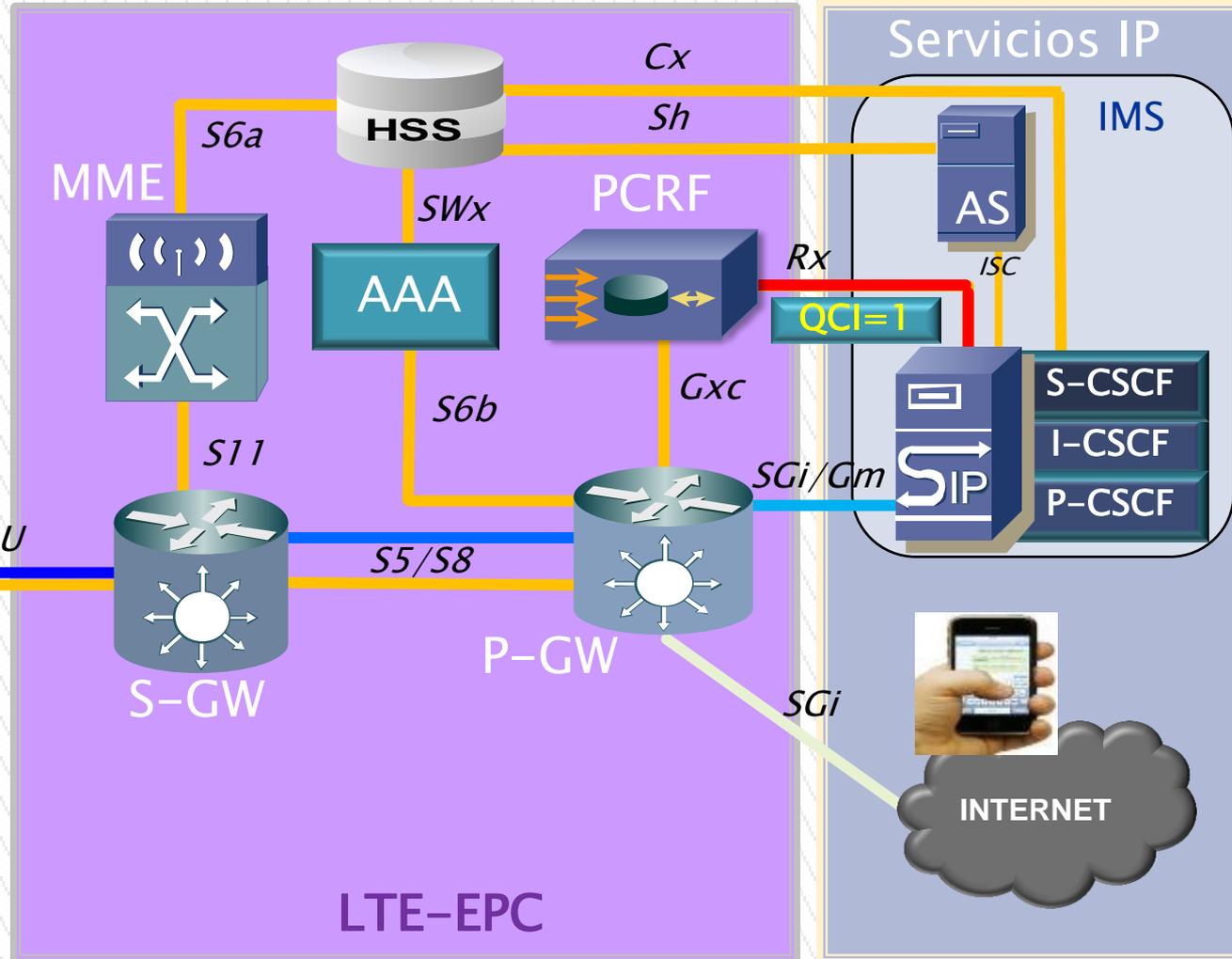
LTE-Uu



eNodeB



S1-U



Solicitar Dedicated Bearer QCI=1 para voz RTP

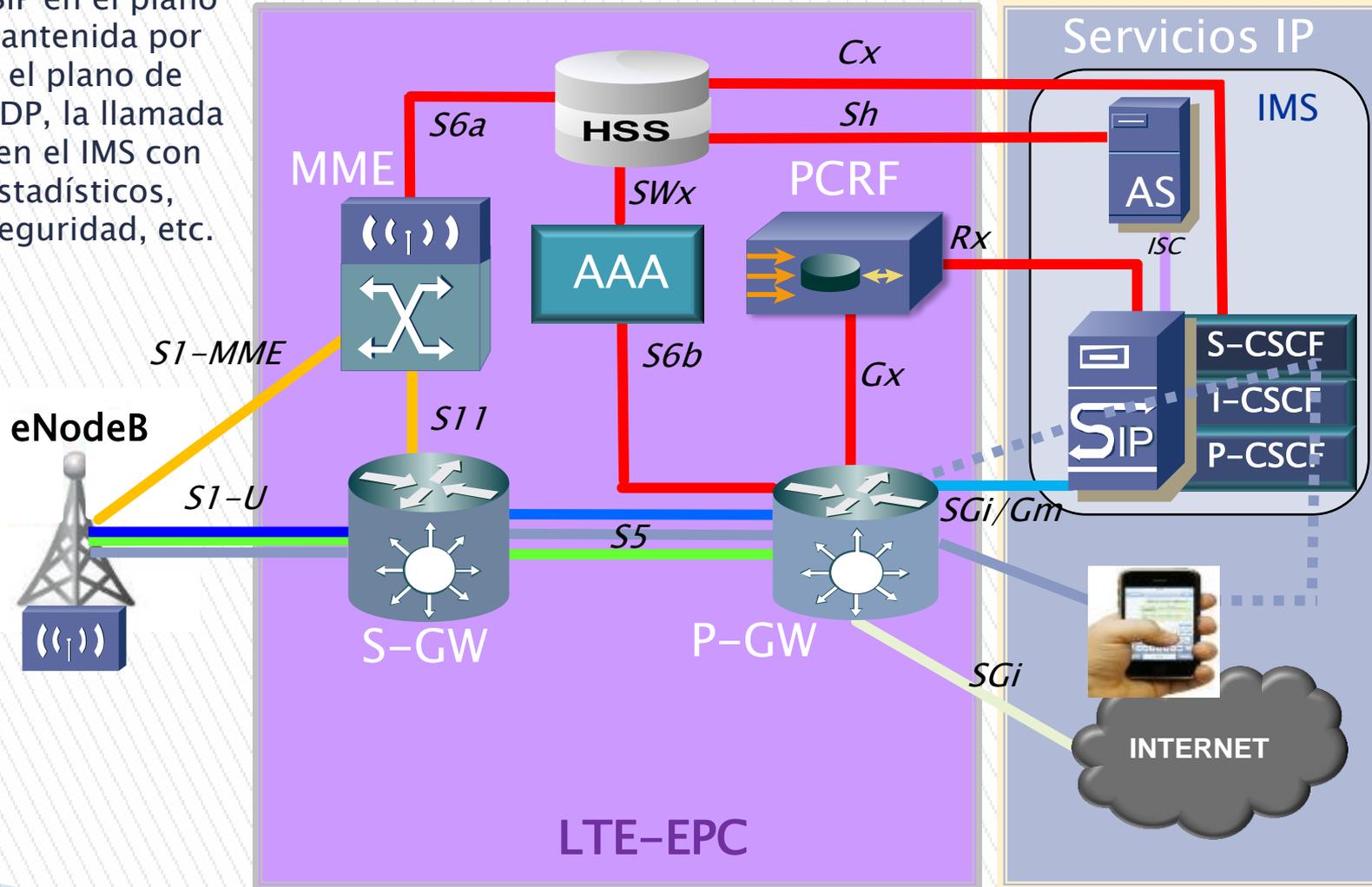
# LTE

## VoLTE: VoIMS

### 14) Llamada VoLTE establecida entre usuarios.

Señalada vía SIP en el plano de control y mantenida por RTP/RTCP en el plano de usuario sobre UDP, la llamada es mantenida en el IMS con propósitos estadísticos, contables, de seguridad, etc.

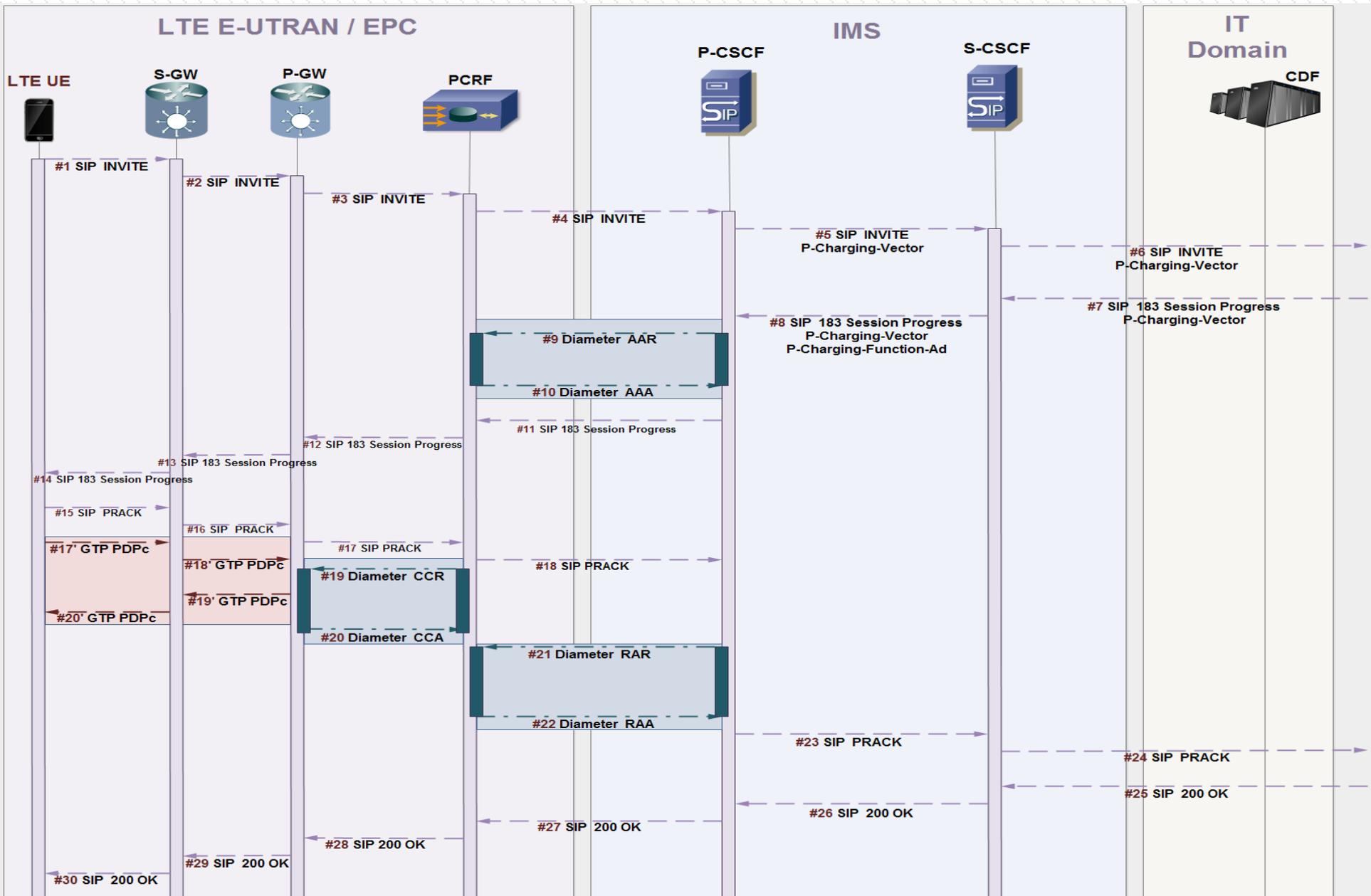
LTE-Uu



Voz RTP no traspasa los CSCF

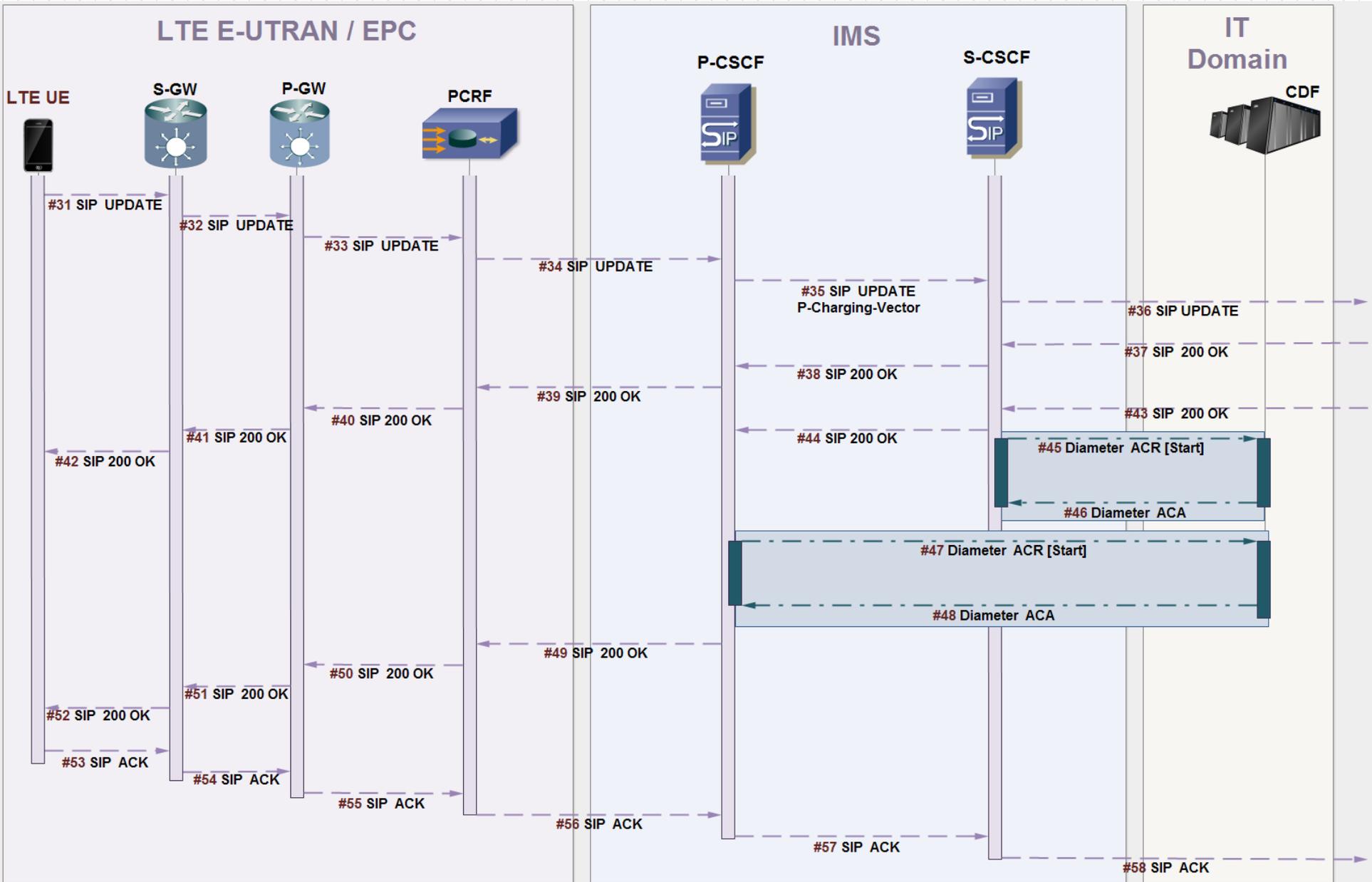
# VoLTE: flujo de llamada VoIMS con cobro (Offline)

## 1. Fase de Establecimiento (SIP) y AAA (Diameter)



# VoLTE: flujo de llamada VoIMS con cobro (Offline)

## 2. Fase de actualización (SIP) y reporte contable en línea (Diameter)



# Temario

- **Fundamentos de Telefonía Móvil Celular**
  - **Telefonía Móvil Celular Digital de 2° Generación: GSM**
  - **Telefonía Móvil Celular Digital de 3° Generación: UMTS**
  - **Telefonía Móvil Celular Digital de 4° Generación: LTE/LTE-Advanced**
    - ❖ Evolución 3GPP/LTE y principales características.
    - ❖ Arquitectura de Red LTE: Nodos de Red de Acceso E-UTRAN y del Core Network LTE: EPC.
      - ❖ Características principales de LTE-Advanced.

# LTE-Advanced

Los objetivos de LTE-Advanced están planteados por 3GPP para ser cumplidos en sucesivos Releases a partir del Release 10 (publicado en 2011) y subsiguientes hasta alcanzar o superar los parámetros de las especificaciones de IMT-Advanced (4G).

Otros organismos normalizadores como el IEEE y el WiMAX Forum han estado desarrollando las especificaciones para IMT-Advanced alrededor del estándar IEEE 802.16e (WiMAX móvil). Estos grupos y afines están desarrollando especificaciones para la interoperabilidad de los sistemas IMT-Advanced como son LTE-Advanced y WiMAX 2 (IEEE 802.16m).

Ambas tecnologías hacen uso extensivo de OFDMA, MIMO, codificación Turbo, agendamiento inteligente, enlaces adaptativos a la calidad del canal y redes de acceso cooperativas (relaying).



Departamento de  
Telemática

# LTE-Advanced

El foco actual de 3GPP en LTE-Advanced está centrado en obtener mayor capacidad y performance, como ser:

- ✓ **Duplicar la eficiencia espectral** de LTE Release 8.
- ✓ Compatibilidad con LTE Release 8 al utilizar nuevas prestaciones como **Agregado de Portadoras** (CA), que permite utilizar hasta cinco componentes de frecuencia LTE R8 de 1.4, 3, 5, 10, 15 ó 20 MHz, con lo que se llegan a anchos de banda de 100 MHz por operador y velocidades de 3 Gbps en el downlink, mientras que cada componente de frecuencia es compatible con LTE Release 8.
- ✓ **Soporte a movilidad** de los terminales dentro de la red hasta **350 o 500 Km/h**, según la frecuencia.

# LTE-Advanced

- ✓ Un **aumento** significativo en el **número de suscriptores simultáneos por celda**, igual o mayor al **500%**.
- ✓ Mejora en la performance sobre los bordes de las celdas, utilizando **tecnologías MIMO** para obtener una **calidad** equivalente de servicios LTE en **toda el área de cobertura** de la red. Un ejemplo es proveer 2.4 bps/Hz/celda utilizando tecnologías 2x2 MIMO.
- ✓ Optimización dinámica de todos los recursos de la red de acceso, a través de los servicios de nodos de relevo (**Relay Nodes**), que puedan soportar conmutaciones y rutas en la propia RAN, para una mayor eficiencia en la conectividad de los terminales LTE al núcleo de la red en el caso de movilidad.

# Evolución 3GPP LTE/LTE-Advanced

## Agregado de Portadoras (CA – Carrier Aggregation)

- El mecanismo de agregado de portadoras (CA, Carrier Aggregation) permite mantener la compatibilidad de LTE-Advanced con LTE y además, aumentar hasta un 500% el espectro de RF asignable a un operador móvil, lo cual se traduce en mayor throughput tanto en el downlink como en el uplink.
- LTE-Advanced utiliza hasta cinco agregados de portadoras, denominados componentes de portadora. LTE-Advanced emplea este mecanismo tanto en modos FDD como en TDD y además, permite que los anchos de banda totales en cada sentido sean diferentes según la cantidad y tipo de componente incorporado. Esto flexibiliza el throughput en downlink o el uplink, según se necesite para una red en particular.



# Evolución 3GPP LTE/LTE-Advanced

## Tecnologías MIMO en Downlink y Uplink

- LTE-Advanced extiende las capacidades MIMO de LTE R8 y R9 para soportar ocho antenas en el downlink y cuatro antenas en el uplink. LTE-Advanced aumenta la eficiencia espectral al soportar esquemas MIMO 8x8 en el downlink, para obtener un valor pico de 30 bps/Hz y esquemas MIMO 4x4 en el uplink, que brindan una eficiencia de 15 bps/Hz
- El R10 introduce señales de referencia DM-RS (Demodulation Reference Signal), que se agregan a cada flujo antes de su pre-codificación, lo que permite que el receptor distinga el pre-codificador utilizado sin información previa, en la modalidad de pre-codificación sin empleo de Codebooks. En el caso de dos flujos, un par de flujos 1,2 es procesado con las señales DM-RS1 y DM-RS2, antes de pre-codificar.

# Evolución 3GPP LTE/LTE-Advanced

## Nodos Relevo (RN – Relay Nodes)

- LTE-Advanced introduce los Nodos Relevo (RN, Relay Nodes), estaciones radiobase de baja potencia con el fin de:
  - ✓ mejorar la cobertura en los bordes de celdas con tráfico mediano o alto proveyendo enlaces de alta calidad;
  - ✓ cubrir áreas remotas utilizando un esquema de backhauling inalámbrico basado en LTE, sin la necesidad de utilizar enlaces dedicados de microondas ó fibra óptica.
- El nodo remoto RN utiliza una nueva interfaz de aire, **Un**, mediante la cual se conecta con un nodo eNB, el cual cumple el rol de eNB donante. La interfaz Un es una interfaz E-UTRAN de aire LTE-Uu modificada para soportar, en forma dedicada, el tráfico de usuario y de señalización entre el eNB y el RN. Los recursos de radio de la celda del eNB donante son compartidos entre los UE servidos por el eNB Donante (DeNB) y el nodo RN.

# Especificaciones Técnicas

- **IETF RFC 3261** (E. Schooler, G. Camarillo, M. Handley, J. Peterson, J. Rosenberg, A. Johnston, H. Schulzrinne, and R. Sparks), “**SIP: Session Initiation Protocol**”, Junio 2002.
- **IETF RFC 3550**, “**RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications**”, 2003.
- **IETF RFC 4566**, “**Session Description Protocol (SDP)**”, 2006.
- **IETF RFC 2805**, “**Media Gateway Control Protocol**”, 2000.
- **3GPP TS 23.228** ,3rd Generation Partnership Project: “**Technical Specification Group Services and System Aspects; IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2 (Release 12)**”, 3GPP TS 23.228 V12.2.0 (2013-09), 2013.
- **3GPP TS 24.229** ,3rd Generation Partnership Project: “**IP multimedia call control protocol based on Session Initiation Protocol (SIP) and Session Description Protocol (SDP); Stage 3**”, 2012.
- Recommendation **ITU-T H.248.1**, “**Gateway control protocol: Version 3**”, 2013.
- **IETF RFC 3525 / 5125**, “**Gateway Control Protocol Version 1**”, 2003.
- **IETF RFC 6733** (V. Fajardo, J. Arkko, G. Zorn, J. Loughney), “**Diameter Base Protocol**”, 2012



# Bibliografía

- **William C.Y. Lee**, “**Mobile Cellular Telecommunications**”, Mc Graw Hill, **1989**.
- **Theodore S. Rapaport**, “**Wireless Communication. Principles & Practice**”, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ., **1996**.
- **Gunnar Heine**, “**GSM Networks: Protocols, Terminology, and Implementation**”, Artech House, **1999**.
- **V. K. Garg, J. E. Wilkes**, “**Principles and Applications of GSM**”, Prentice Hall, **1999**.
- **Henry Bertoni**, “**Radio Propagation for Modern Wireless Systems**”, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ., **2000**.
- **Vijay K. Garg**, “**Wireless Network Evolution, 2G to 3G**”, Prentice Hall, **2002**.
- **Fernando Mendioroz**, “**Fundamentos de Telefonía Celular**”, Diapositivas del curso «Radiocomunicaciones», Universidad ORT Uruguay, **2002**.



# Bibliografía

- **B. Walke, R. Seidenberg and M. P. Althoff**, “**UMTS: The Fundamentals**”, John Wiley & Sons, Chichester, U. K., **2003**.
- **Z. Aziz, S. Hussain, K. Kumar** , “**3G And Beyond**”, Regional Telecom Training Centre Rajpura (RTTC), Rajpura, India, **2006**.
- **Heiki Kaaranen, Ari Ahtiainen, Lauri Laitinen, Siamäk Naghian, Valteri Niemi**, “**UMTS Networks Architecture, Mobility and Services**”, John Wiley & Sons Ltd, **2005**.
- **Minoru Etoh**, “**Next Generation Mobile Systems 3G and Beyond**”, John Wiley & Sons Ltd, **2005**.
- **Rogier Noldus**, “**CAMEL: Intelligent Networks for the GSM, GPRS and UMTS Network**”, John Wiley & Sons, **2006**.
- **R. Herradón**, “**Comunicaciones Móviles. GSM**”, OpenCourseWare de la Universidad Politécnica de Madrid, En línea, disponible en: <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/comunicaciones-moviles-digitales> , **2007**.

# Bibliografía

- **A. Kavak**, “**Mobility Management, Call Routing & Security**”, GSM Systems, Lecture 5, Kocaeli University, Izmit, Turkey, 2008.
- **P. Lescuyer , T. Lucidarme** , “**Evolved Packet System (EPS): The LTE and SAE Evolution on 3G UMTS**”, John Wiley & Sons, 2008.
- **Gonzalo Camarillo, Miguel A. García-Martín**, “**The 3G IP Multimedia Subsystem (IMS) Merging the Internet and the Cellular Worlds**”, John Wiley & Sons, 2008.
- **H. G. Myung** , “**Technical Overview of 3GPP LTE**”, Online, Available: <http://www.scribd.com/doc/5539254/3gpp-LTE-Overview>, 2008.
- **J. Eberspächer, H.-J. Vögel, C. Bettstetter, C. Hartmann**, “**GSM: architecture, protocols and services**”, John Wiley & Sons, Chichester, U. K., 2009.
- **Arnaud Henry-Labordere**, “**Virtual Roaming Systems for GSM, GPRS and UMTS: Open Connectivity in Practice**”, John Wiley & Sons, 2009.

# Bibliografía

- **Cornelia Kappler**, “**UMTS Networks and Beyond**”, John Wiley & Sons, 2009.
- **GSMA**, “**GSM World Coverage**”, GSM Association & Europa Technologies Ltd., Online, Available: [http://www.gsmworld.com/newsroom/market-data/market\\_data\\_summary.htm](http://www.gsmworld.com/newsroom/market-data/market_data_summary.htm) , 2010.
- **Rohde & Schwarz LTE Basics Webinar**, “**LTE Basics Webinar**”, Rohde & Schwarz, Online, Available: <http://lteworld.org/webinar/rohde-schwarz-lte-basics-webinar>, 2010.
- **Rogier Noldus, Ulf Olsson, Catherine Mulligan, Ioannis Fikouras, Anders Ryde, Mats Stille**, “**IMS Application Developer's Handbook: Creating and Deploying Innovative IMS Applications**”, Academic Press, 2011.
- **Stefania Sesia, IssamToufik, Matthew Baker**, “**LTE – The UMTS Long Term Evolution**”, John Wiley & Sons, 2011.
- **Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld**, “**4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband**”, Academic Press, 2011.

# Bibliografía

- **Spirent**, “Voice over LTE (VoLTE)”, [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=EOmCjhr9mk4>, 2012.
- **Timetoast**, “The Evolution of the Cell Phone”, Online, Available: <http://www.timetoast.com/timelines/the-evolution-of-the-cell-phone-010ccb6e-962b-4052-b5e7-0f25114f0834>.
- **Alcatel Lucent**, “The LTE Network Architecture | Strategic 2 White Paper”, 2012.
- **Fernando Mendioroz**, “SOA & Telco – Integración de Procesos Empresariales a través de Internet, Maestría en Ingeniería Telemática”, Universidad del Cauca, Colombia, 2013.
- **Oscar R. Pons**. “Introducción a las Telecomunicaciones fijas y móviles”, Tapias Encuadernaciones. Argentina. 2014.
- **Fernando Mendioroz**, “Manual de Telecomunicaciones Móviles, Protocolos y Servicios”, 2014.