

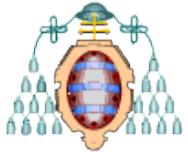
INGENIERÍA DE REDES

Grado en Ingeniería Informática

Tema 4:

Acceso móvil de banda ancha

Roberto García Fernández
Área de Ingeniería Telemática
Universidad de Oviedo

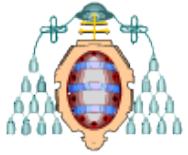


Índice

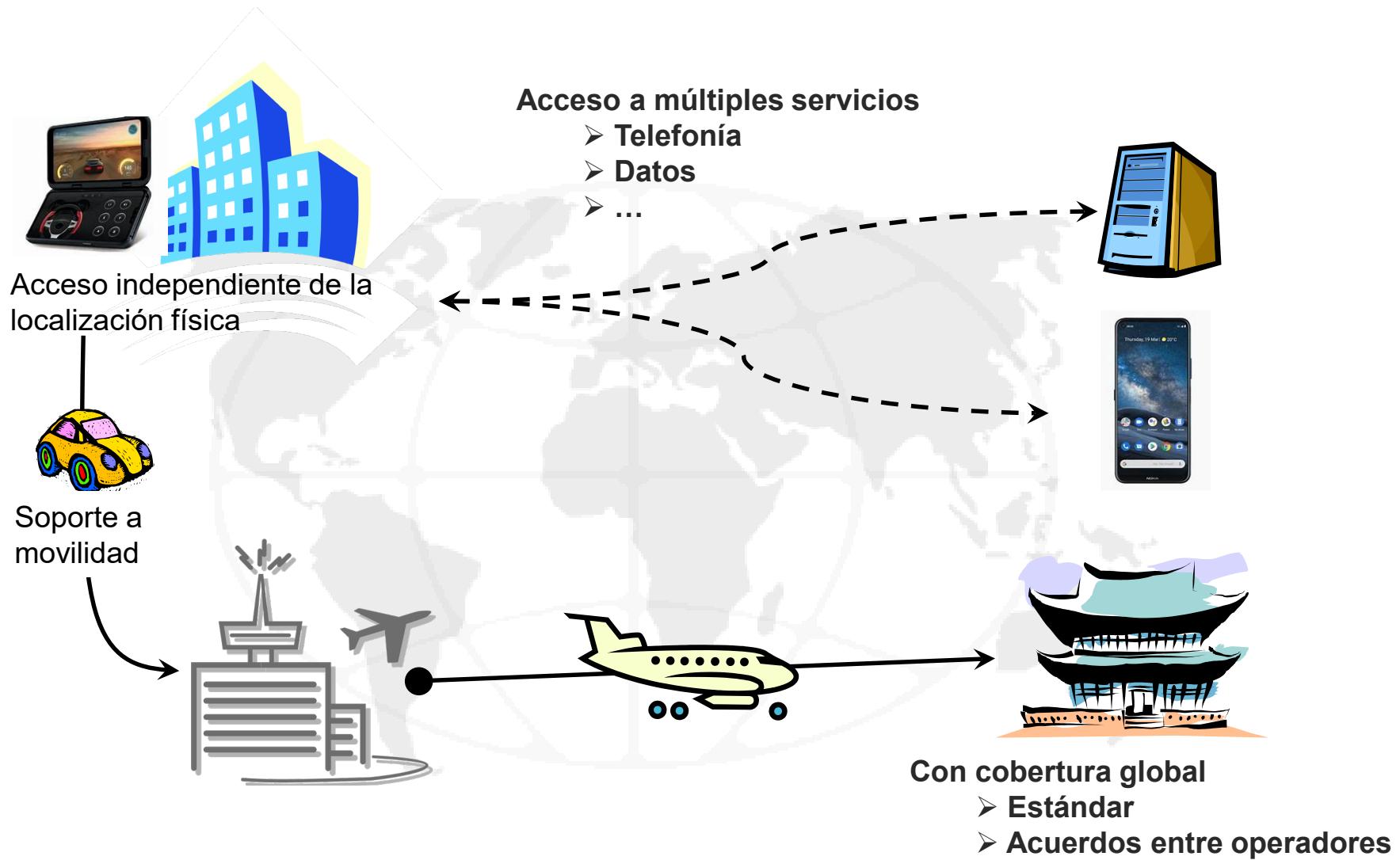
Ingeniería
Telemática

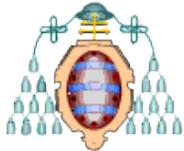
- Motivación original y evolución
- Redes 1G: Transmisión analógica
- Redes 2G: GSM/GPRS/EDGE
- Redes 3G: UMTS/HSPA
- Redes 4G: LTE
- Redes 5G





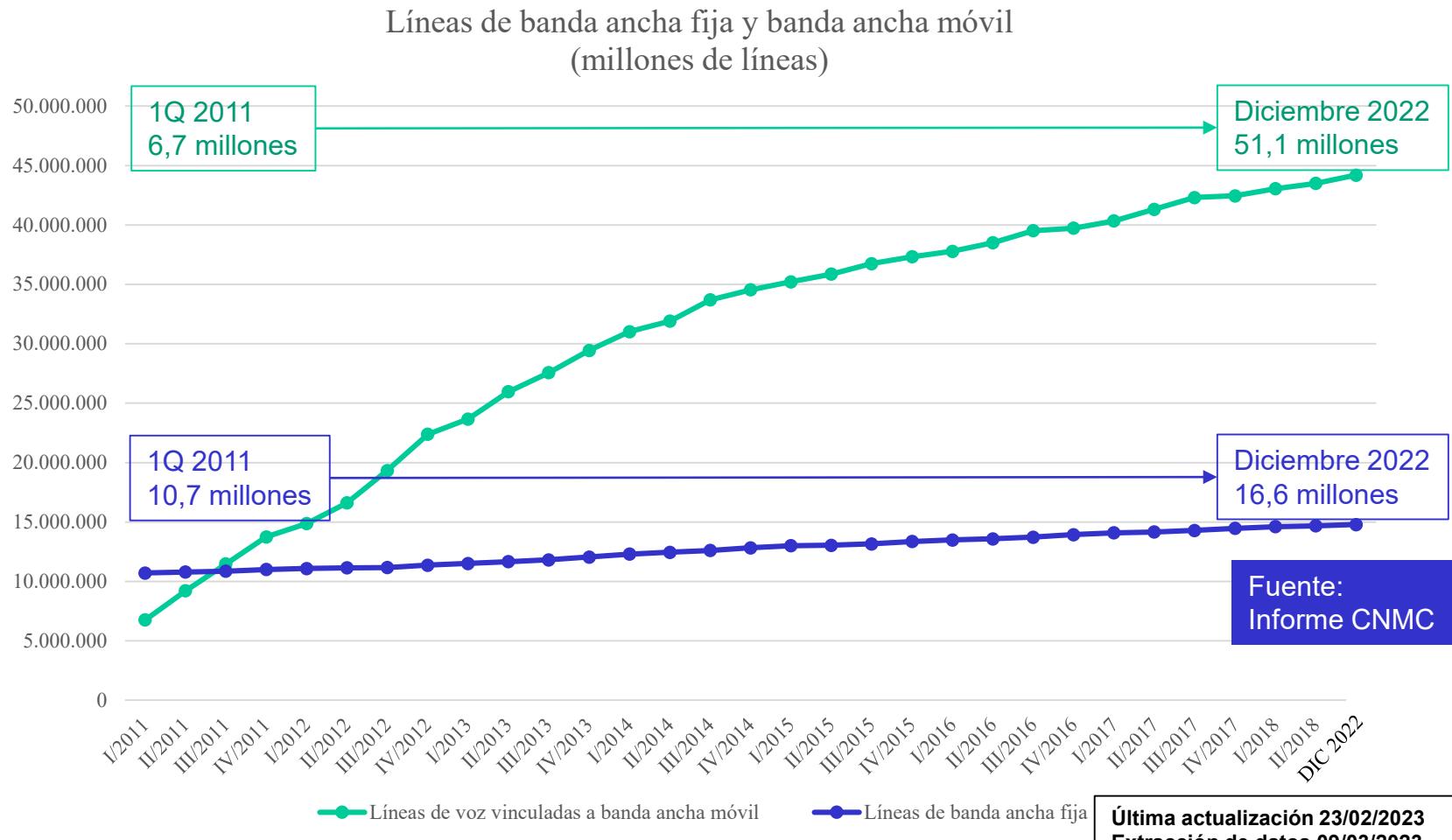
Objetivos de una red móvil celular

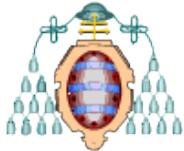




Situación de los mercados

Ingeniería
Telemática





Situación de los mercados

Ingeniería
Telemática

3. BANDA ANCHA MÓVIL - b) Datos por operador

13. Líneas de voz vinculadas a banda ancha móvil por operador (número de líneas)

	Dic-2021	Ene-2022	Dic-2022
Movistar	13.823.870	13.829.337	13.900.000
Orange	10.992.047	11.009.732	11.050.595
Vodafone	11.942.709	11.972.993	11.900.000
Grupo MASMOVIL	8.911.521	8.926.515	9.245.654
OMV	2.968.917	3.015.480	3.910.468
Total	48.639.064	48.754.057	51.140.504

Los datos de Vodafone incluyen los de Ono desde julio 2014 y los de Orange incluyen los de Jazztel desde agosto 2015. Grupo MASMOVIL incluye los datos de Mas Móvil, Yoigo y Pepephone desde octubre 2016, los de LlamaYA desde febrero 2017, los de Lebara desde diciembre 2018, los de Hits Mobile desde julio 2019, los de Lycamobile desde junio 2020 y los de Euskaltel desde agosto de 2021. Los datos de los operadores móviles de red incluyen los de los OMV y los de las marcas comerciales que son de su propiedad (Orange incluye República Móvil a partir de diciembre de 2019).

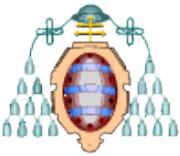
Última actualización 23/02/2023

Extracción de datos 09/03/2023

Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia

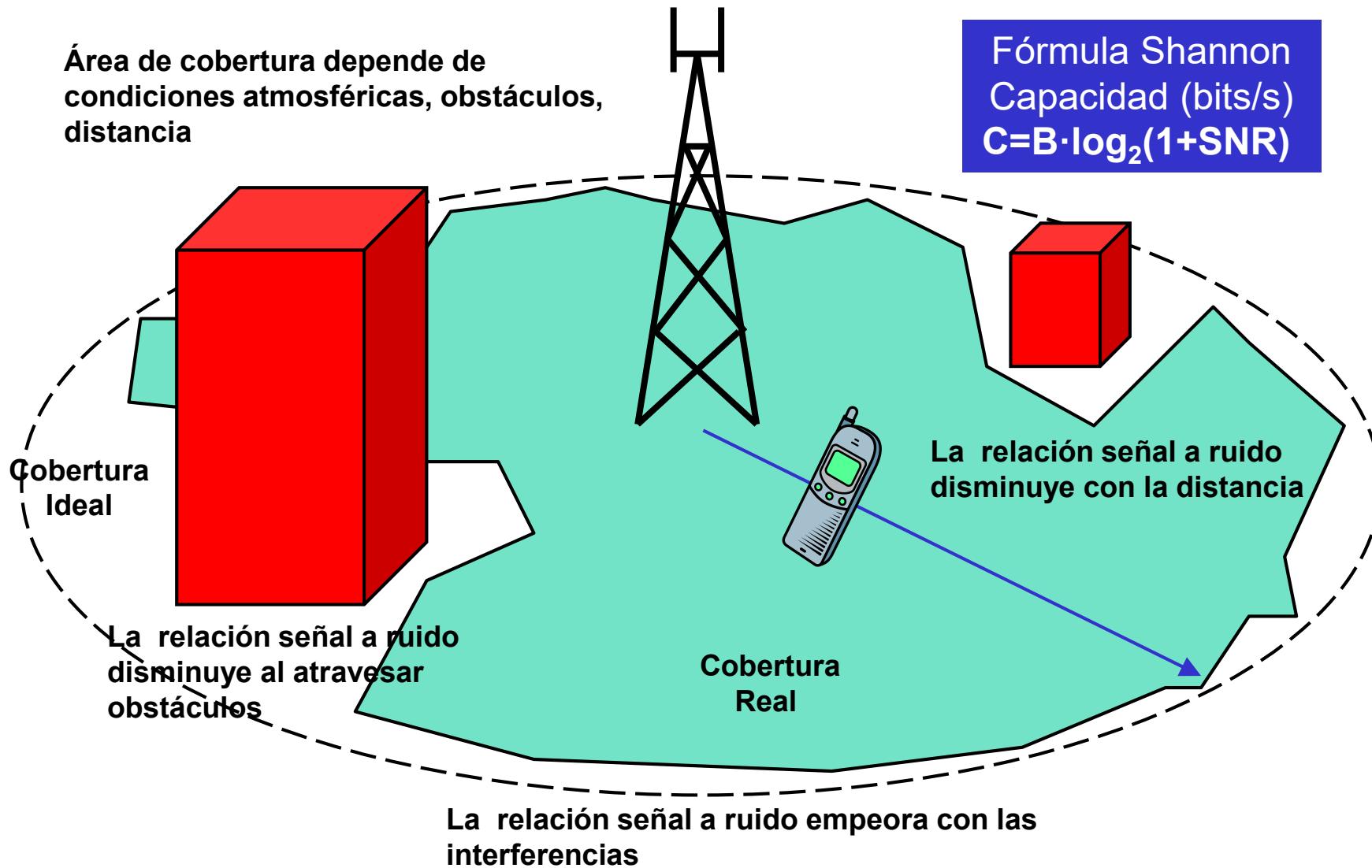
Fuente:
Informe CNMC

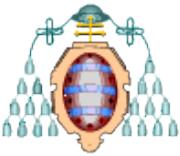
http://data.cnmc.es/datagraph/jsp/inf_men.jsp



Arquitectura típica

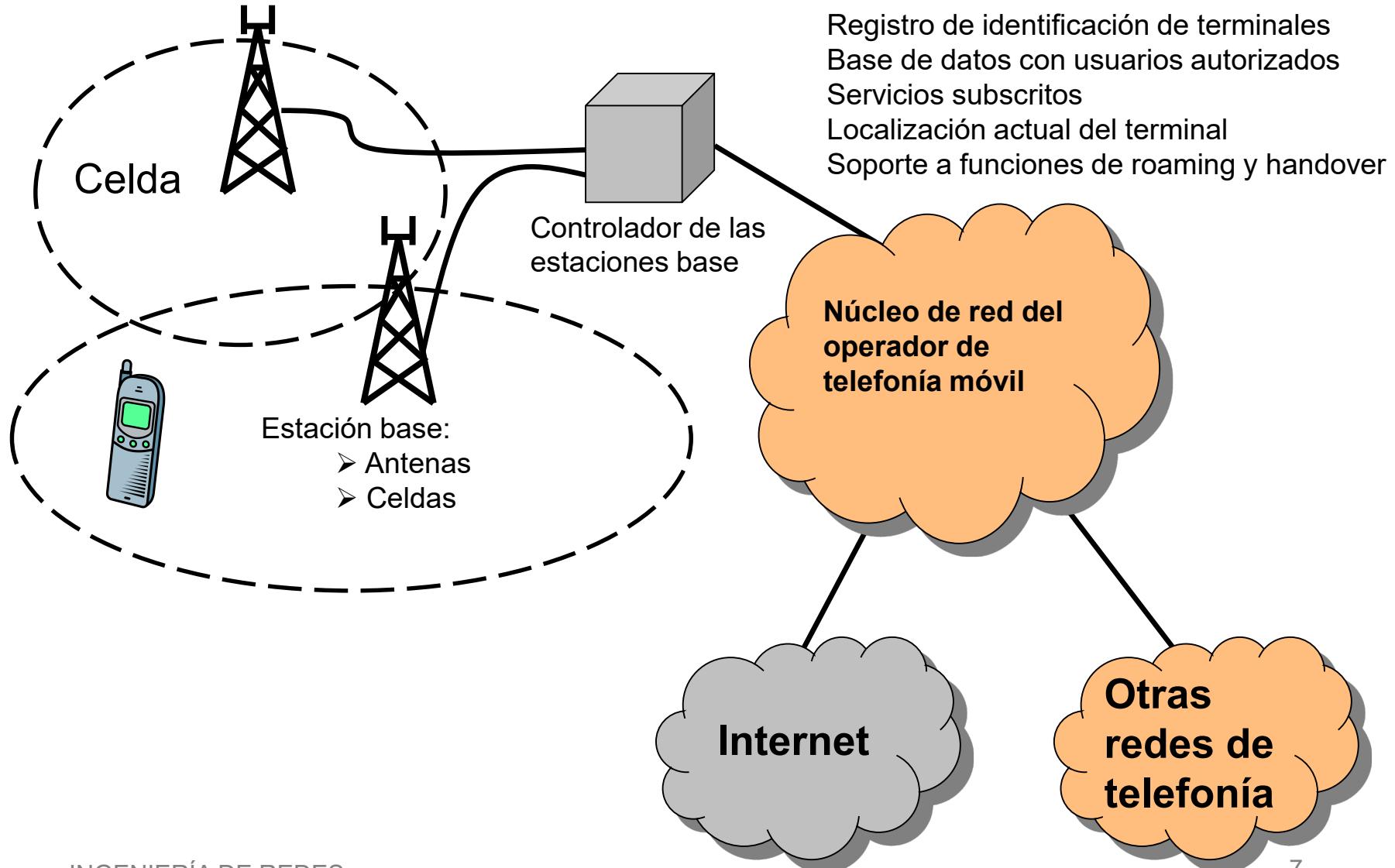
Ingeniería
Telemática

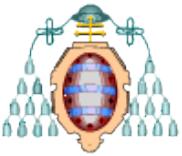




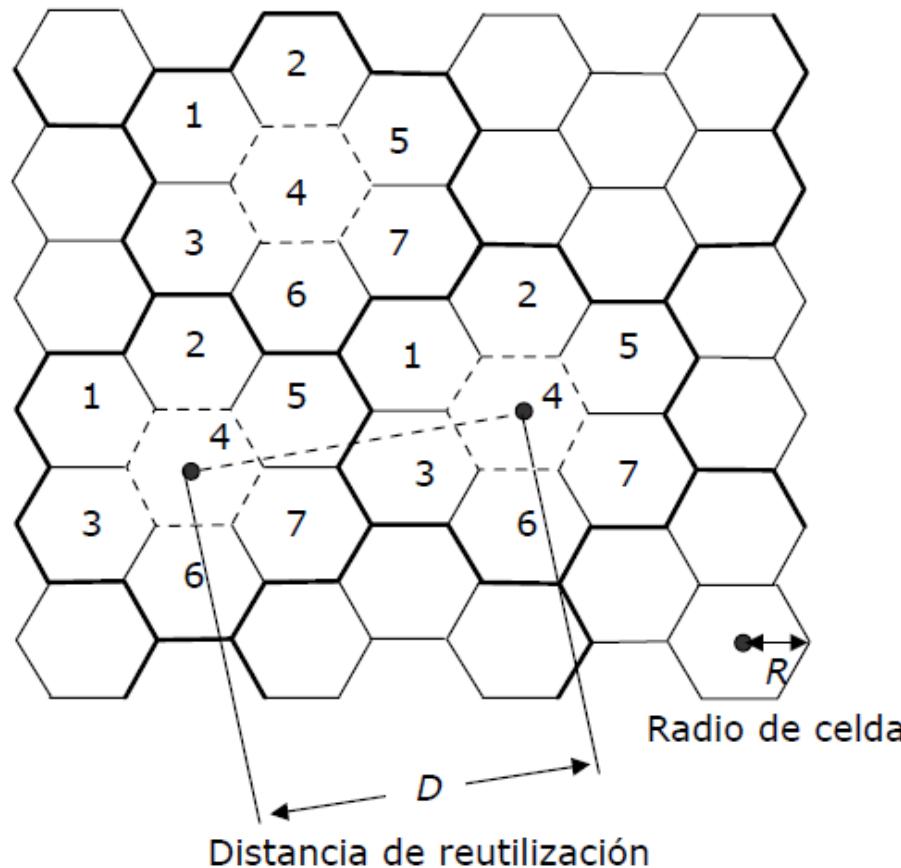
Arquitectura típica

Ingeniería
Telemática

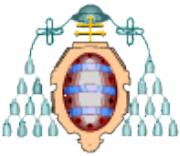




Estructura celular

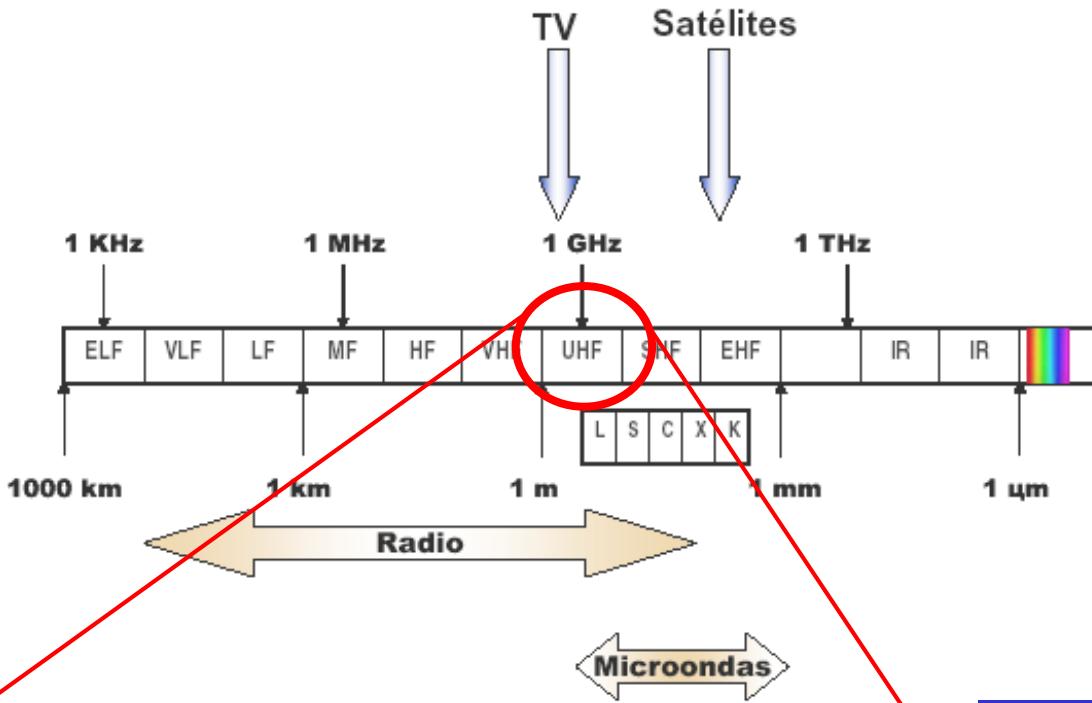


En GSM, a cada celda se le asignan entre 1 y 16 frecuencias (radiocanales)



Espectro electromagnético

Ingeniería
Telemática



Telefonía móvil:

GSM, GPRS: 900MHz, 1800MHz

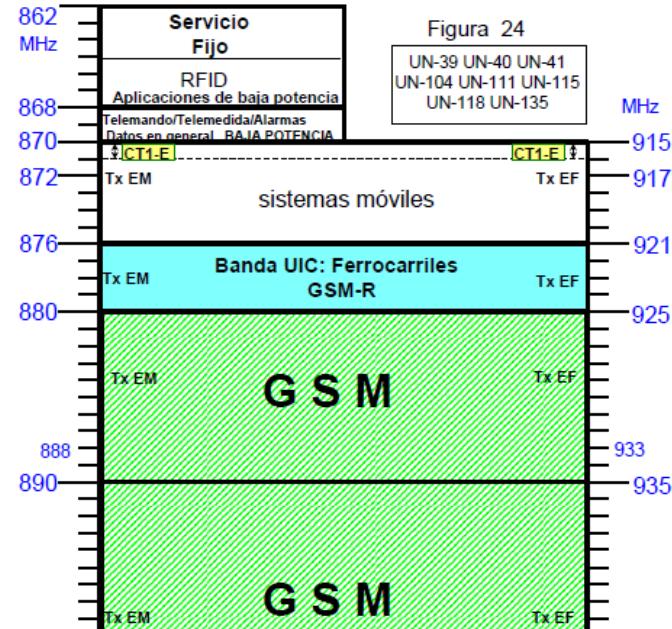
UMTS: 2100MHz

LTE: 800MHz, 1800MHz, 2600MHz

Dividendo digital: banda de 800 MHz (CH 61-69)

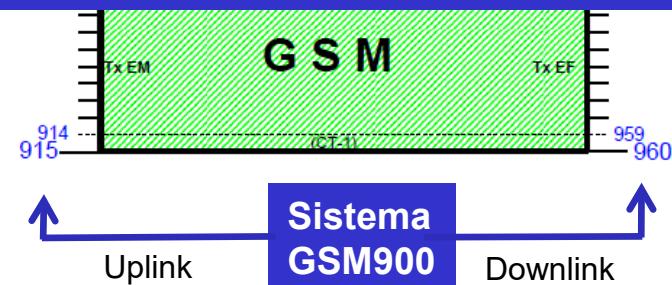
(790-862 MHz) Servicios de banda ancha **4G**

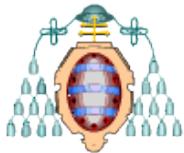
Segundo dividendo digital: banda de 700 MHz (CH 49-60)
(694-790 MHz) Servicios de banda ancha **5G**



Fuente:

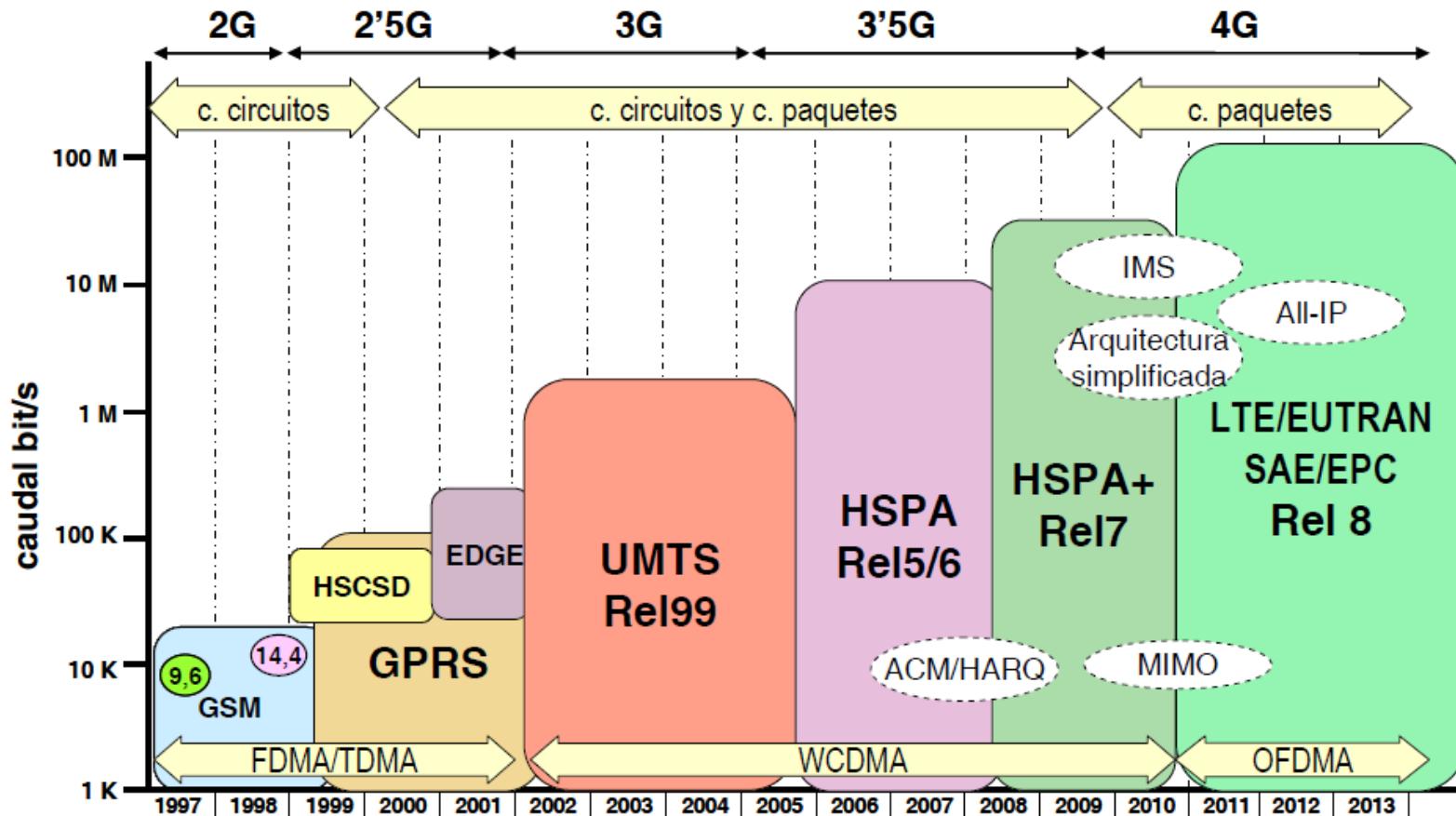
Cuadro nacional de atribución de frecuencias (CNAF)
Ministerio de Industria, Energía y Turismo

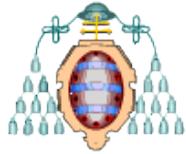




Evolución de los sistemas móviles

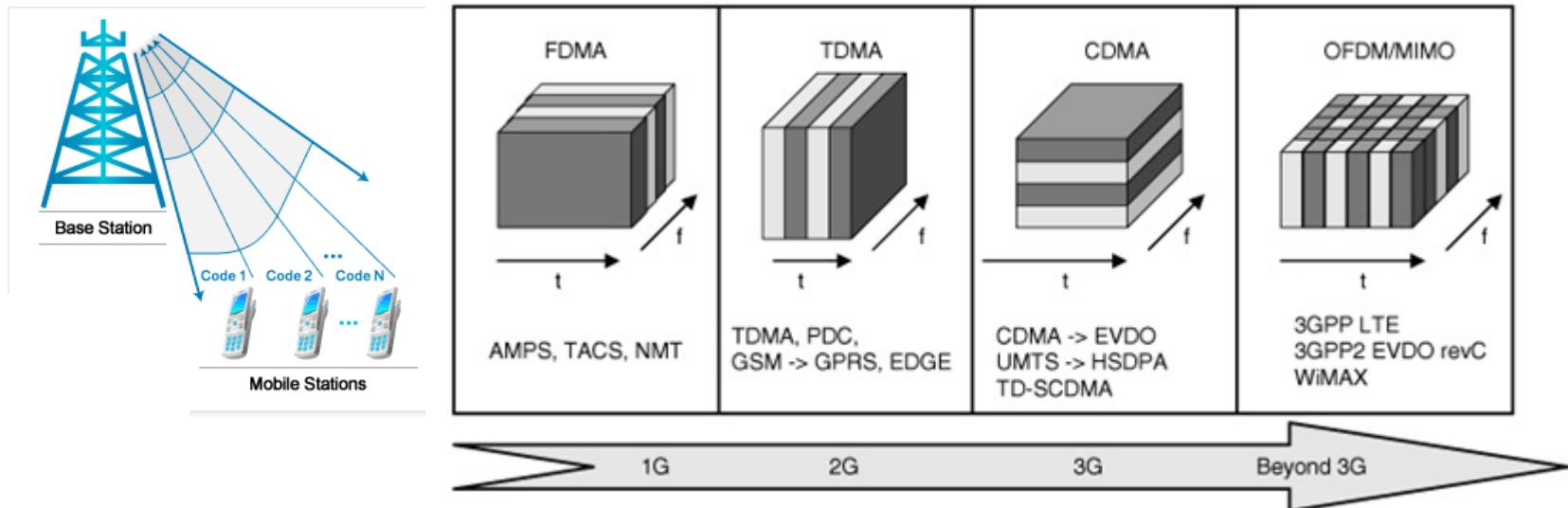
Ingeniería
Telemática

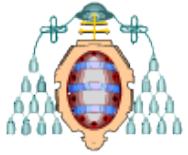




Acceso Múltiple

- FDMA: Acceso Múltiple por División en Frecuencia
- TDMA: Acceso Múltiple por División en Tiempo
- CDMA: Acceso Múltiple por División en Código
- OFDMA: Acceso Múltiple por División en Frecuencia Ortogonal

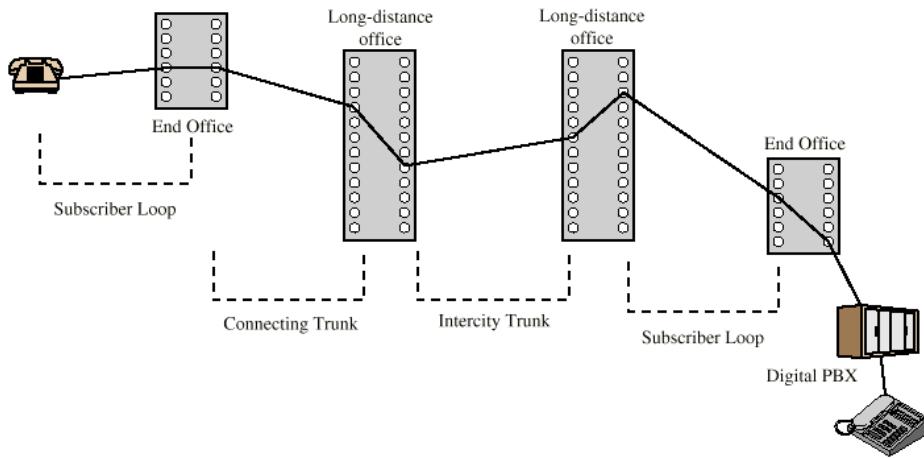




Evolución redes GSM-GPRS

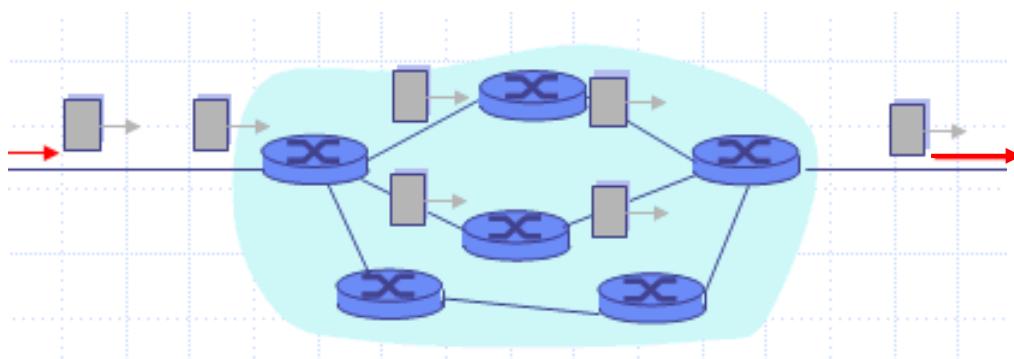
Ingeniería
Telemática

GSM: Comutación de circuitos

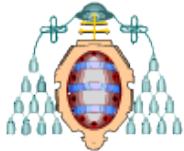


- Establecimiento de un circuito
- Uso exclusivo durante todo el tiempo de comunicación
- Tarificación por tiempo de uso de los recursos de la red

Comutación de paquetes



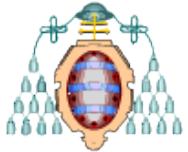
- No existe el concepto de conexión
- Los circuitos sólo se ocupan cuando se envían paquetes
- Tarificación por cantidad de información



Redes 1G

- Redes de primera generación
- Principios de los años 80
- Basadas en la transmisión analógica
- Redes que ofrecían servicios básicos de voz
- Utilizan FDMA (Frequency Division Multiple Access)
- **Sistemas 1G**
 - Estados Unidos: Advanced Mobile Phone Service (**AMPS**) 1970
 - Europa: Nordic Mobile Telephony (**NMT**), Total Access Communications Systems (**TACS**),... (hasta 9 diferentes) 1980
- Problemas:
 - No soportan movilidad
 - No hay proceso de traspaso de celda
 - Uso poco eficiente del espectro
 - Importantes limitaciones en cuanto al número máximo de usuarios por celda
 - 1000 frecuencias por celda

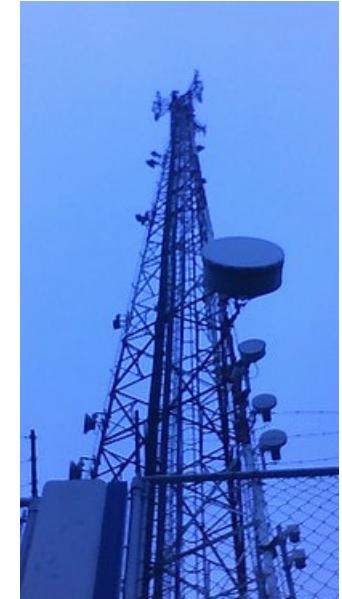


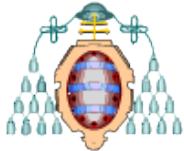


Evolución histórica a redes 2G

Ingeniería
Telemática

- Necesidades
 - Crecimiento imparable en el número de clientes
 - Sistemas diferentes desplegados al mismo tiempo:
 - Incompatibilidad entre ellos
 - Imposibilidad de ofrecer servicios de *roaming*
 - Imposibilidad de ofrecer servicios avanzados
- Evolución 1G a 2G
 - Se impone:
 - paso a digital
 - mejor utilización de las frecuencias
 - Esfuerzo estandarizador
 - GSM (*Global System for Mobile Communications*)
 - Inicialmente adoptado como estándar por 26 compañías de telefonía nacionales europeas
 - Utiliza TDMA (*Time Division Multiple Access*)
 - Cada frecuencia se divide en slots de tiempo



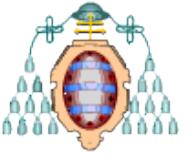


Creación del grupo GSM

Ingeniería
Telemática

- 1982: **Groupe Spécial Mobile (GSM)**: normas europeas para la radiocomunicación con los móviles
 - Banda 890-915MHz para emisión *Uplink*
 - Banda 935-960MHz para emisión *Downlink*
- Objetivos para las normas GSM
 - Soportar gran número de abonados
 - Compatibilidad a escala internacional
 - Utilización eficaz del espectro electromagnético
 - Gran disponibilidad
 - Coste de utilización atractivo para los usuarios
 - Posibilidad de acceso desde terminales móviles o portátiles
 - Servicio telefónico ordinario y servicios especiales, como la gestión de flotas
- 1989: **Global System for Mobile communications**



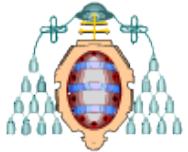


Evolución histórica a redes 2G

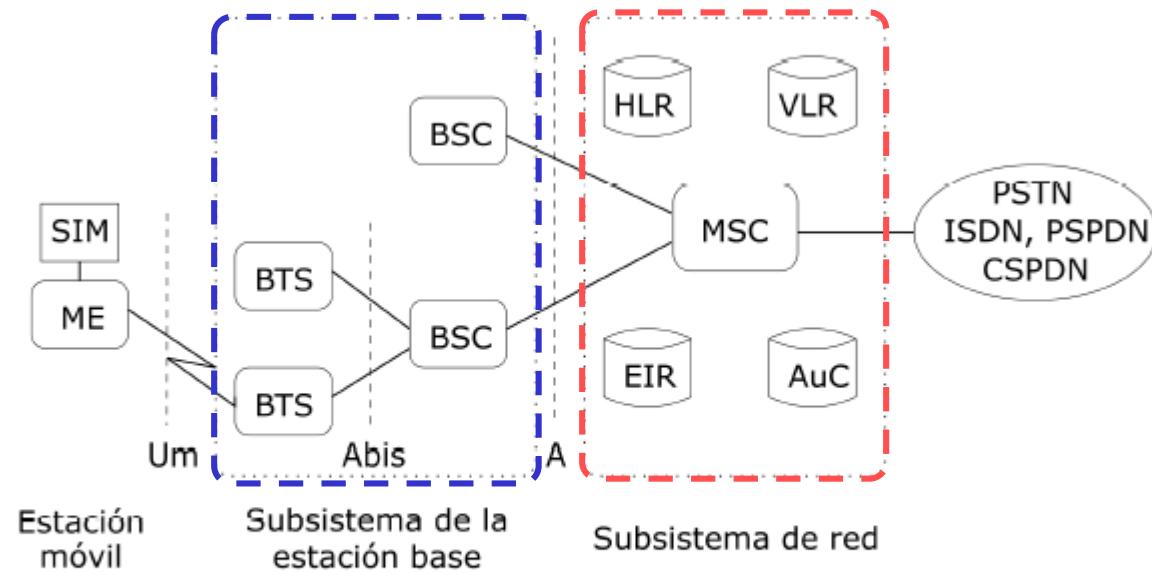
Ingeniería
Telemática

- GSM
 - Estándar dominante en Europa y Asia
 - Servicios avanzados:
 - SMS de 160 caracteres
 - Handover, soporte a movilidad
 - Roaming entre operadores
 - Servicio de datos
- Problemas:
 - Servicio de datos de la misma forma que una llamada:
 - desperdicio de capacidad de un circuito
 - pagas por el tiempo de conexión no por los datos intercambiados
 - Reducida capacidad de transmisión 9.6Kbps





Arquitectura de la red GSM



SIM Subscriber Identity Module

ME Mobile Equipment

BTS Base Transceiver Station

BSC Base Station Controller

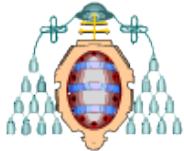
MSC Mobile services Switching Center

VLR Visitor Location Register

HLR Home Location Register

EIR Equipment Identity Register

AuC Authentication Center

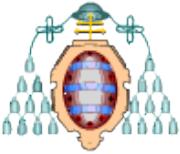


Arquitectura de la red GSM

Ingeniería
Telemática

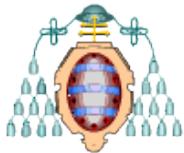
- BTS (Estación base)
 - Se encarga de las comunicaciones radio con el terminal móvil
- BSC (Controlador de la BTS)
 - Funciones de control de la estación base
 - Permite simplificar las BTS
- BTS + BSC
 - Forman el BSS, subsistema de la estación base
- MSC:
 - Gestión de las llamadas
 - Conexión a otras redes (GMSC)





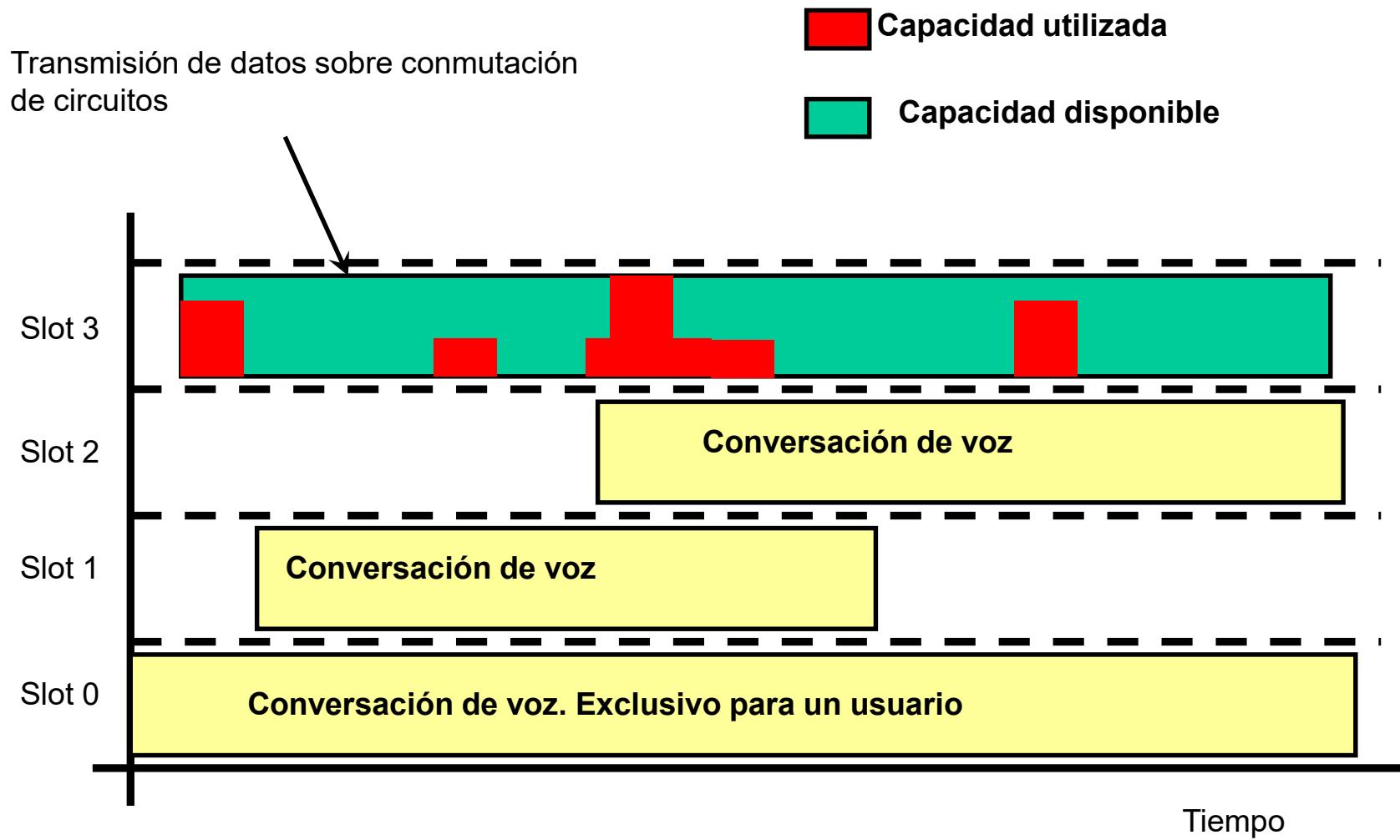
Arquitectura de la red GSM

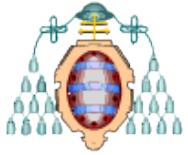
- Registros de localización **HLR** y **VLR**:
 - Almacenan información relativa a los abonados residentes (HLR) y visitantes (VLR)
 - HLR: Registro doméstico del abonado:
 - Tipo de abono, código de identificación, número, información de localización, servicios
 - VLR: Registro de visitantes o transeuntes:
 - Información de abonado dentro de la zona de un MSC
- **EIR**: Registro de identidad de equipos:
 - Contiene listas blancas, grises y negras
- **AuC**: Centro de autenticación. Almacena, para la verificación de las llamadas, información relativa a:
 - Identidad del abonado móvil
 - Equipos



Redes 2G

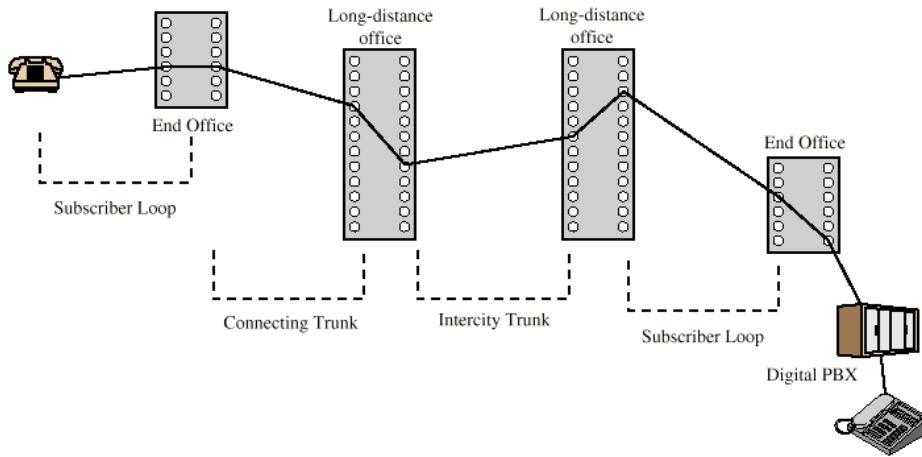
Transmisión de datos sobre conmutación de circuitos





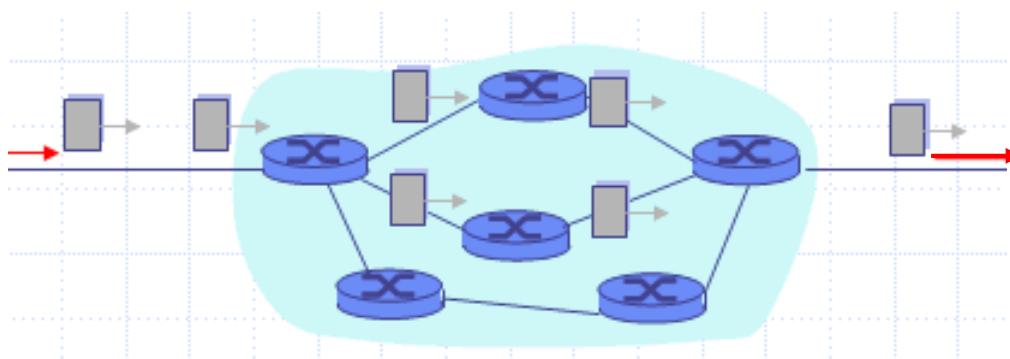
Evolución redes GSM-GPRS

GSM: Comutación de circuitos

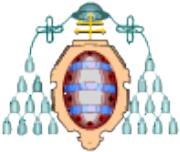


- Establecimiento de un circuito
- Uso exclusivo durante todo el tiempo de comunicación
- Tarificación por tiempo de uso de los recursos de la red

GPRS: Comutación de paquetes



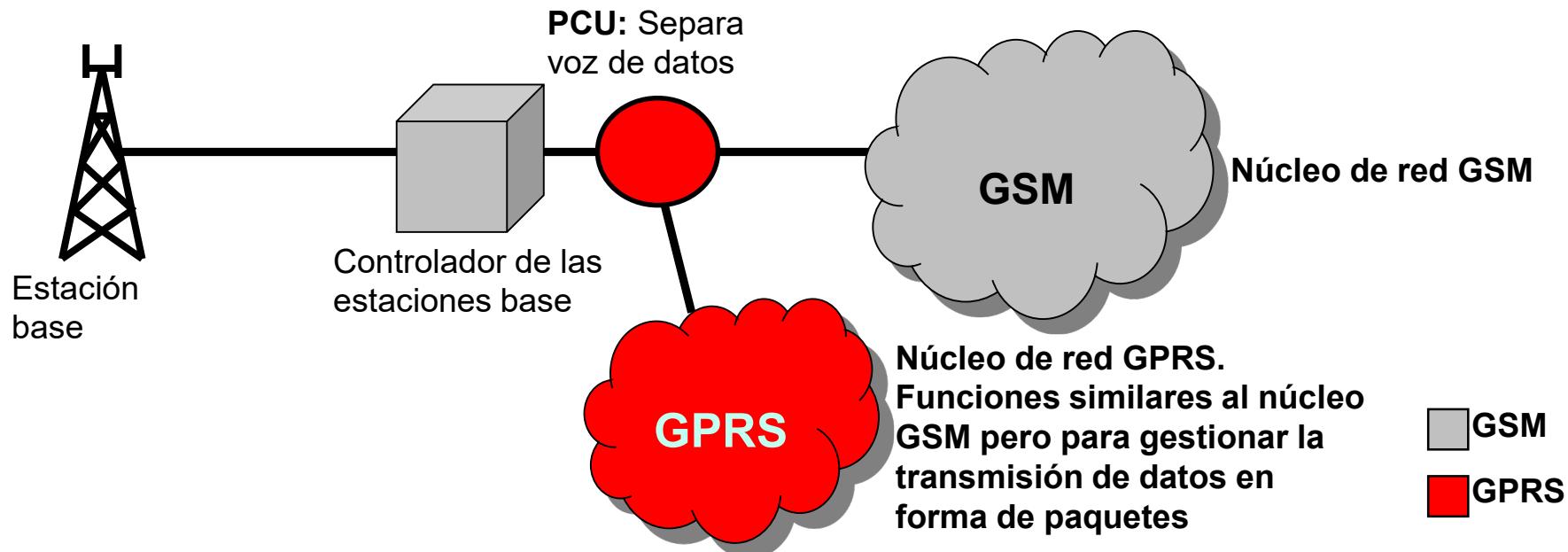
- No existe el concepto de conexión
- Los circuitos sólo se ocupan cuando se envían paquetes
- Tarificación por cantidad de información

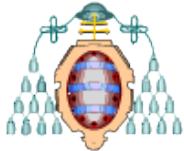


Transición GSM-GPRS

- **Redes 2.5 G (General Packet Radio System)**

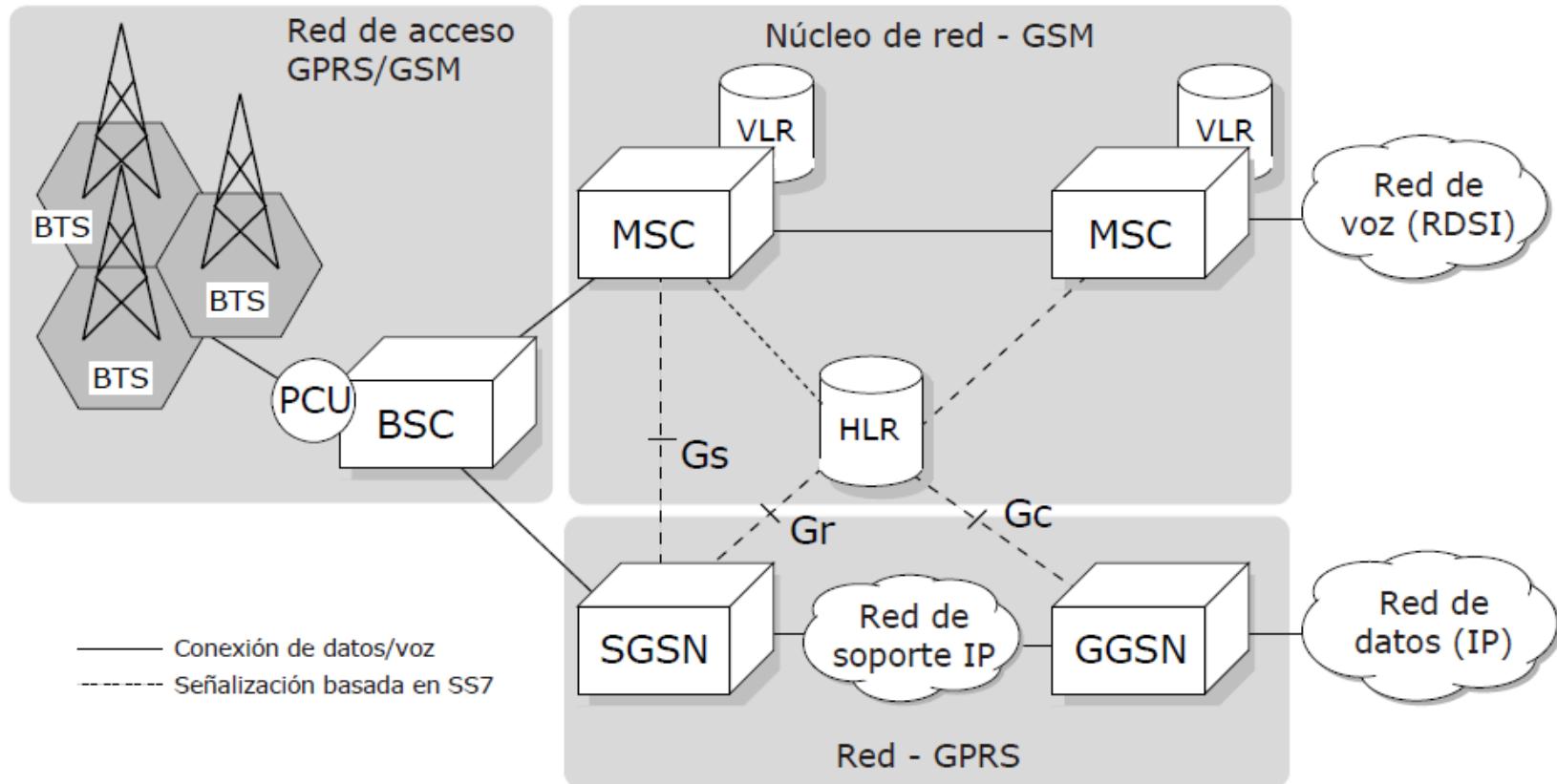
- Necesidad de incrementar la capacidad de transmisión de datos de las redes GSM
- No tener que renovar todo el despliegue GSM realizado hasta estos momentos
- GPRS es una ampliación de las redes GSM
 - varios slots para la transmisión de datos de todos los usuarios
 - los slots se asignan bajo demanda a cada tipo de transmisión
 - voz o datos



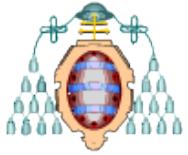


Arquitectura de la red GPRS

Ingeniería
Telemática

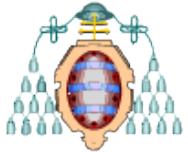


Arquitectura de red GSM/GPRS



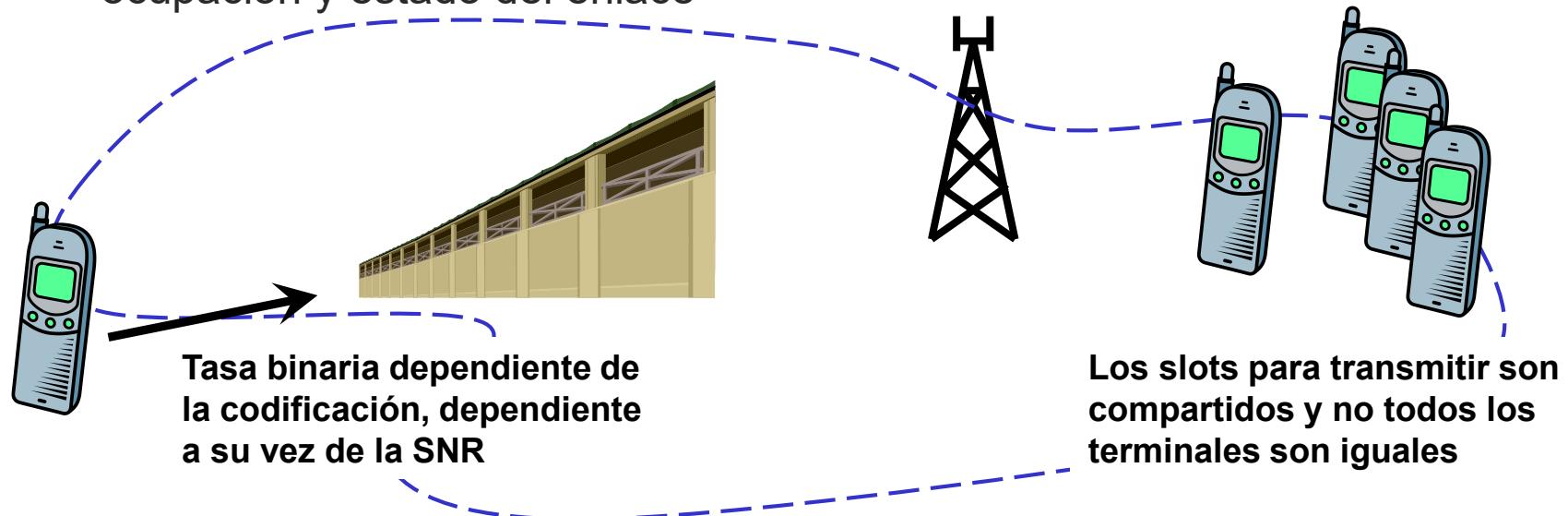
Arquitectura de la red GPRS

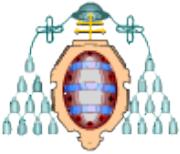
- **PCU** (Packet Control Unit). Esta unidad se encarga de distinguir entre los datos destinados a la red GSM estándar (conmutación de circuitos) y los datos destinados a la red GPRS (conmutación de paquetes)
- **SGSN** (Serving GPRS Support Node). Se encarga del encaminamiento, los traspasos, la asignación de direcciones IP y las funciones de autenticación y tarificación
- **GGSN** (Gateway GPRS Support Node). Es una pasarela, encaminador y cortafuegos, todo en uno. Convierte los paquetes GPRS que provienen del SGSN al formato del protocolo de datos de paquetes (PDP). Suele confirmar los detalles del usuario con un servidor RADIUS por motivos de seguridad



Capacidad de redes GPRS

- Tasa máxima teórica: 170Kbps
 - Limitada por:
 - número de usuarios de la celda
 - capacidad del terminal
 - limitaciones de consumo de potencia
 - condiciones del enlace
- Tasa máxima real < 30-40Kbps
 - Varía durante la transmisión en función de la ocupación y estado del enlace

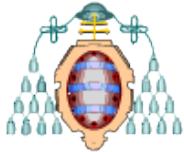




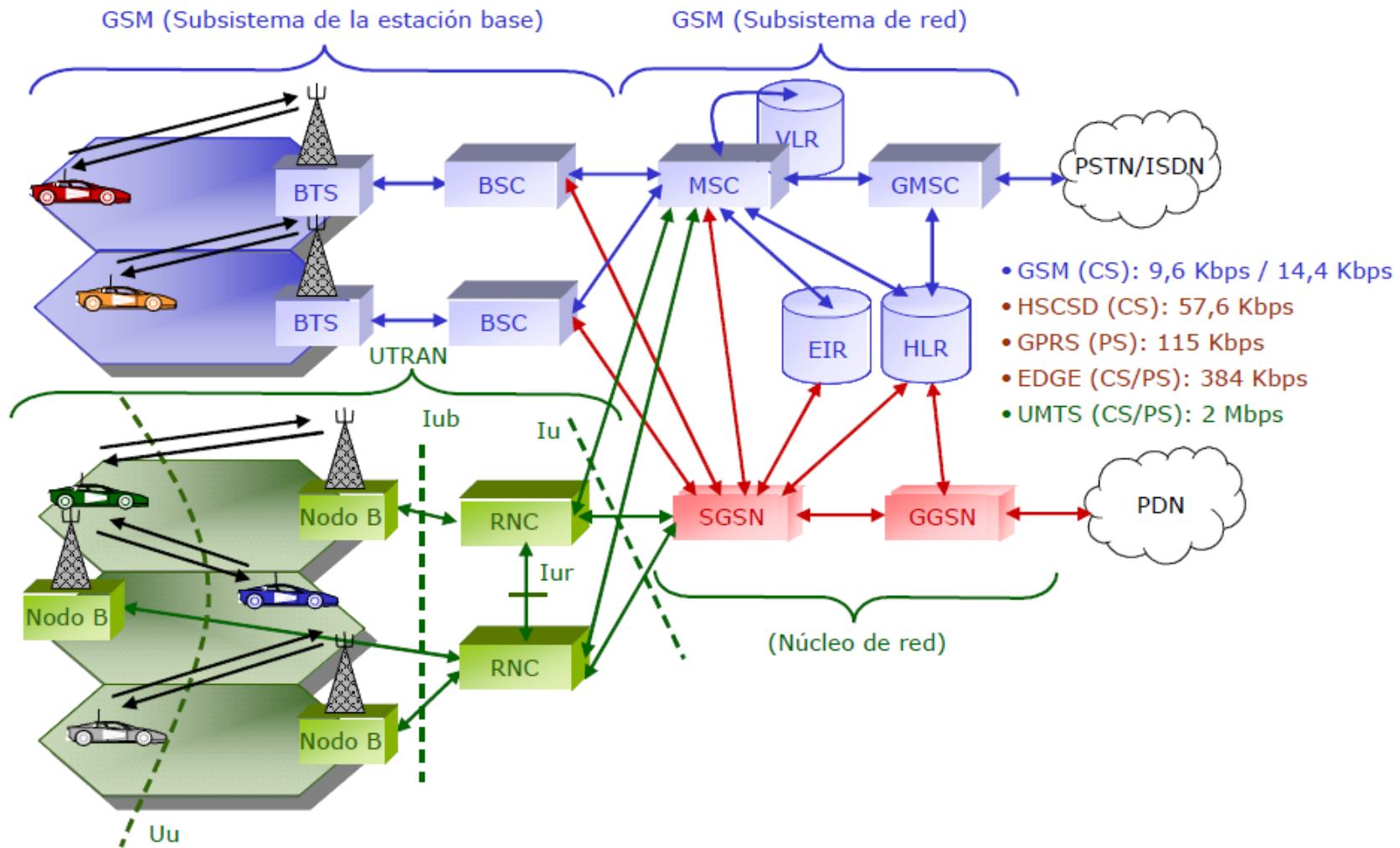
Redes 3G

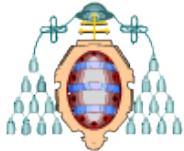
- Redes de tercera generación
- Requisitos
 - Dar soporte a QoS
 - Soportar servicios 2G y 2.5G
 - Al menos en las primeras fases de implantación
 - Estándar universal
- UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*)
 - WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)
 - Capacidad máxima agregada 2Mbps
 - Capacidad por usuario depende de:
 - usuarios activos
 - distancia a estación base
 - velocidad de movilidad del usuarios
 - tipo de célula
 - Soporte a diferentes calidades de servicio:
 - *Streaming*, conversacional, interactivo y diferido





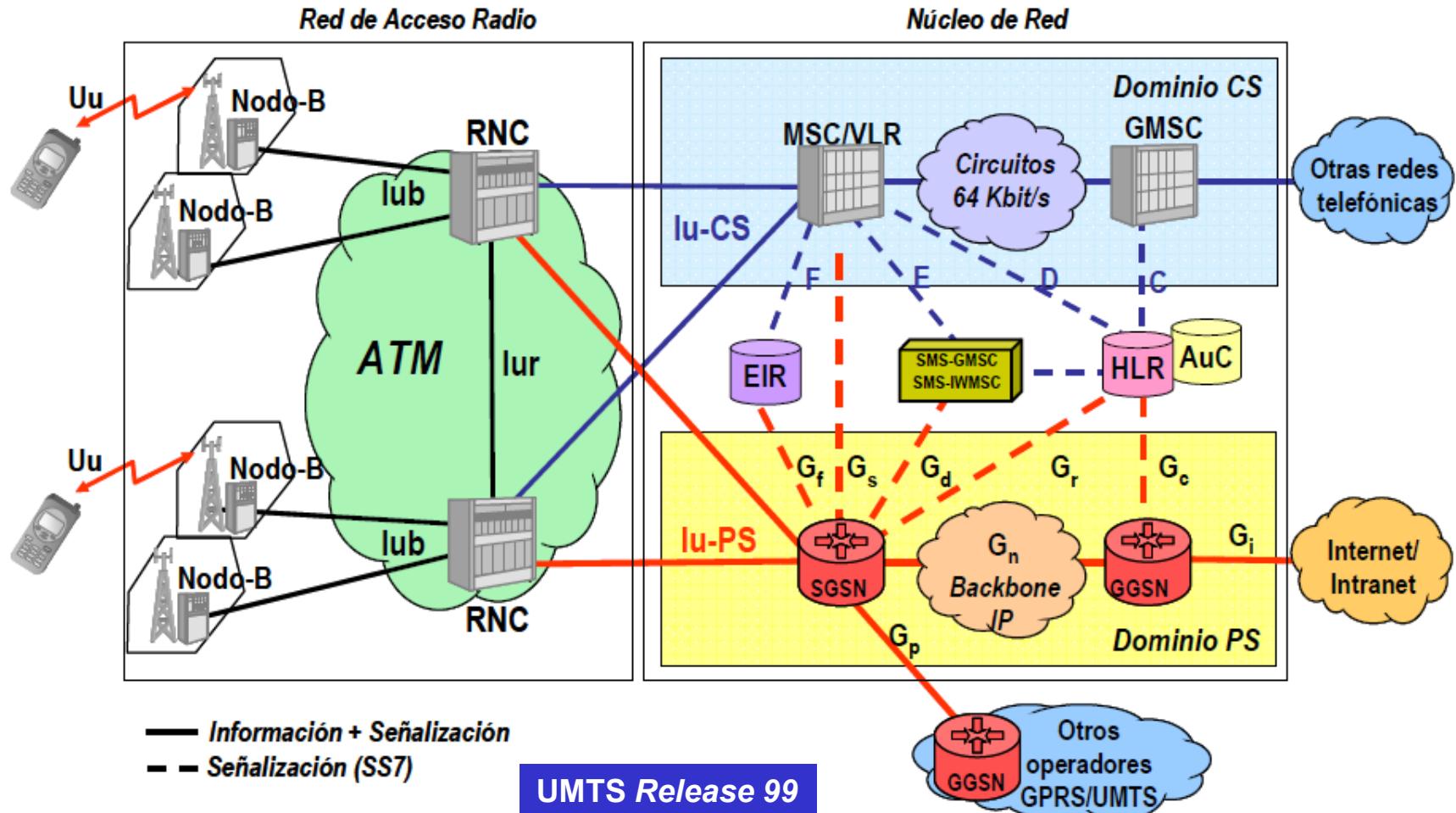
Arquitectura de la red UMTS

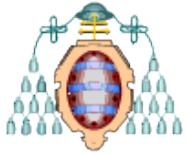




Arquitectura de la red UMTS

Ingeniería
Telemática

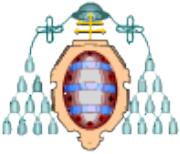




Arquitectura de la red UMTS

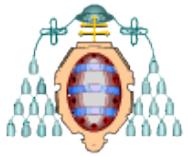
Ingeniería
Telemática

- Red UTRAN
 - Red de acceso a radio
 - Toda la funcionalidad relacionada con la radio
 - **Nodo B**
 - Similar a la estación base en redes GSM
 - Gestión de recursos radio (codificación, canales, potencia, ...)
 - **RNC (Radio Network Controller)**
 - Controla los recursos radio
- Núcleo de red (CN Core Network)
 - Comutación y enrutado de llamadas y conexiones de datos hacia redes externas
 - **SGSN–GGSN**
 - Nodos de comutación para el soporte de servicios de paquetes
 - Conmutadores de paquetes con gestión de movilidad
 - GGSN actúa de pasarela hacia las redes externas (Internet, ...)



WCDMA

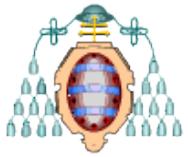
- Wideband *Code Division Multiple Access*
- Técnica que maximiza la utilización del espectro
 - Múltiples transmisiones sobre la misma banda de frecuencia simultáneamente cada una codificada con un código distinto
- Utilización simultánea del espectro por parte de múltiples usuarios
 - Similar a un ambiente en el que existan 2 conversaciones simultáneas entre grupos de personas de diferentes idiomas
 - Dentro de cada uno de los grupos se reconstruye la conversación pese al “ruido”



WCDMA

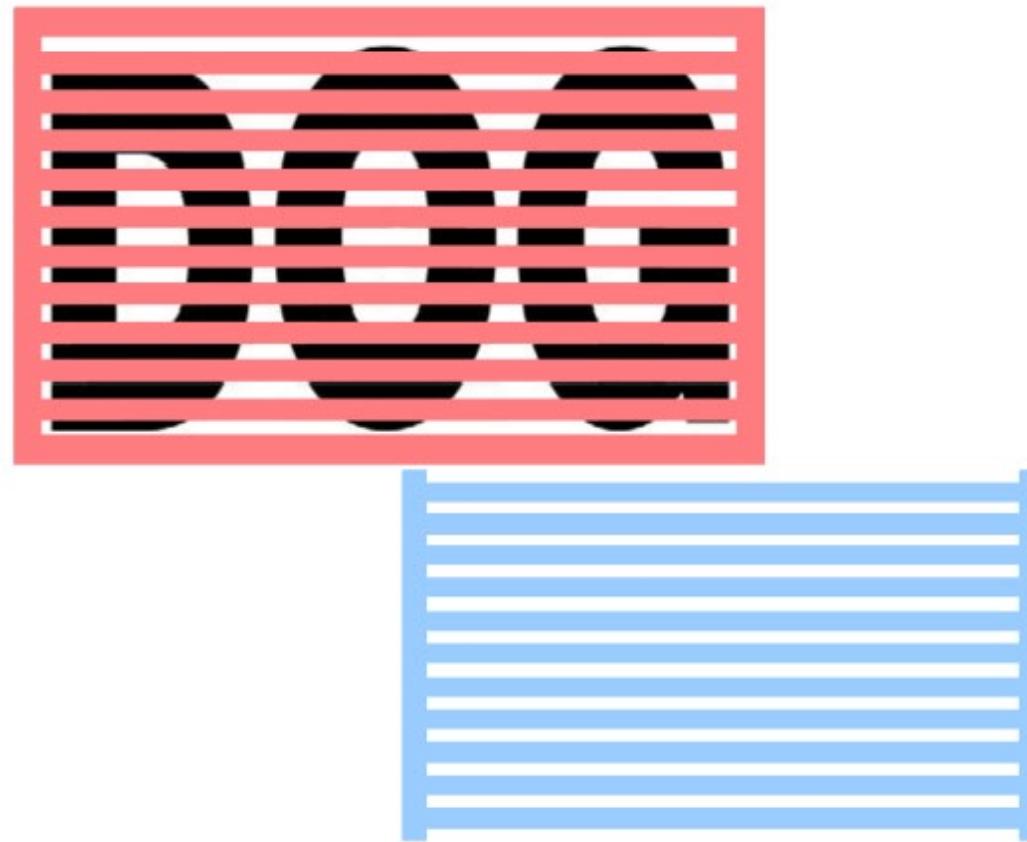
*Ingeniería
Telemática*

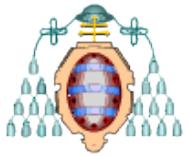




WCDMA

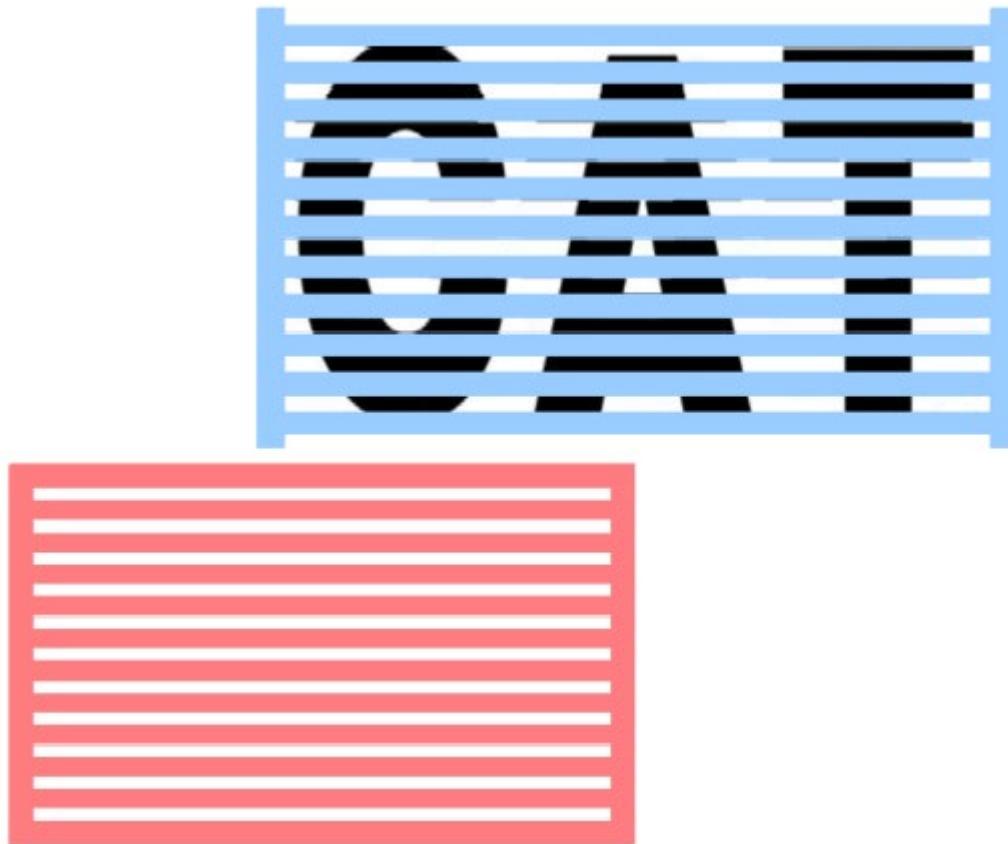
*Ingeniería
Telemática*

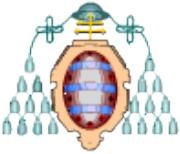




WCDMA

*Ingeniería
Telemática*





Normalización y evolución de sistemas UMTS

Ingeniería
Telemática

- La especificación del sistema UMTS se lleva a cabo en el proyecto 3GPP (*Third Generation Partnership Project*)

Rel 99
(mar 00)

- Red de acceso radio basada en WCDMA y ATM
- Núcleo de red basado en GSM/GPRS

Rel 4
(mar 01)

- Dominio CS independiente de transporte (IP, ATM, ...)
- Mejoras en interfaz radio, QoS en UTRAN, TDD 1,28 Mchip/s
- Operación sin tandem (TFO)

Rel 5
(mar 02)

- Subsistema IP multimedia (IMS)
- QoS extremo a extremo en dominio PS
- Red de acceso IP
- High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)

Rel 6
(dic 04)

- IMS Fase 2 (mensajería instantánea, presencia, push to talk ...)
- Servicios multimedia multicast/ broadcast (MBMS)
- Interfuncionamiento con WLANs
- Enhanced Uplink (HSUPA)

Rel 7
(dic 07)

- HSPA Evolution (HSPA+)
- LTE (Long Term Evolution)
- SAE (System Access Evolution)

Rel 8
(dic 08)

- Enhanced UTRAN (E-UTRAN)
- Evolved Packet Core (EPC)

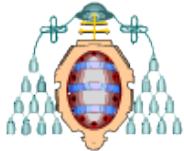


UMTS Release 99
Bajada 2048Kbit/s Subida 384Kbit/s

HSDPA
High Speed Downlink Packet Access
Bajada 14.4 Mbit/s Subida 384Kbit/s

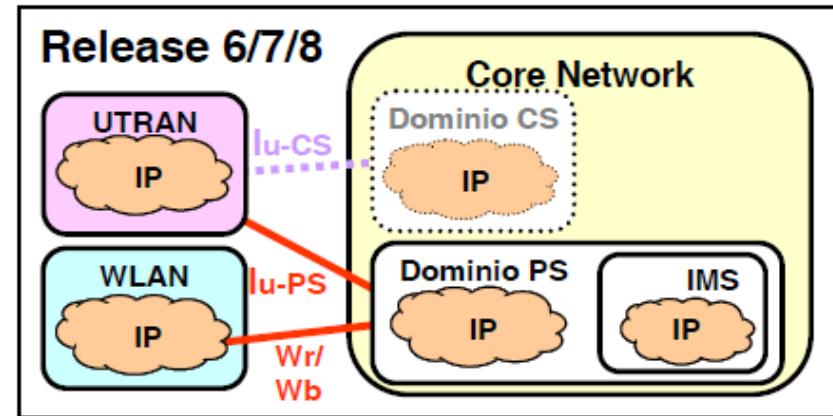
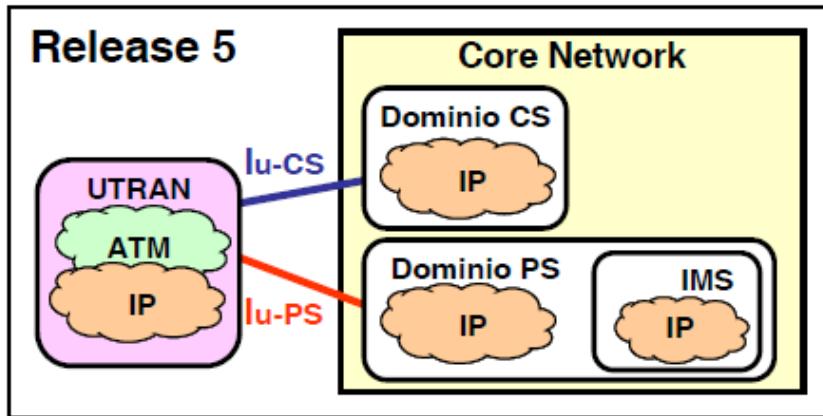
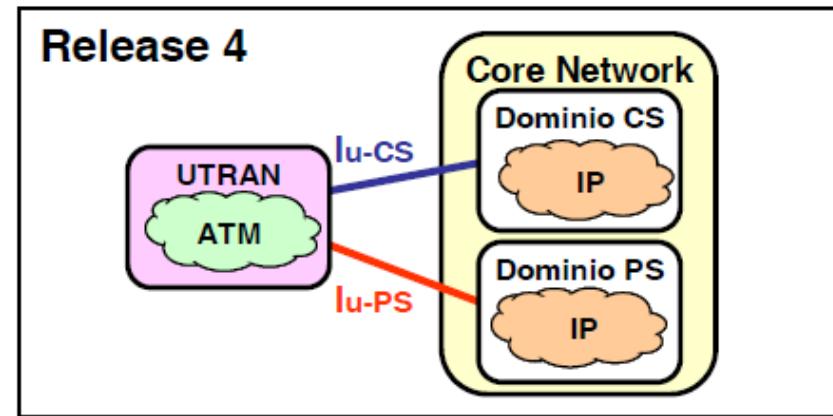
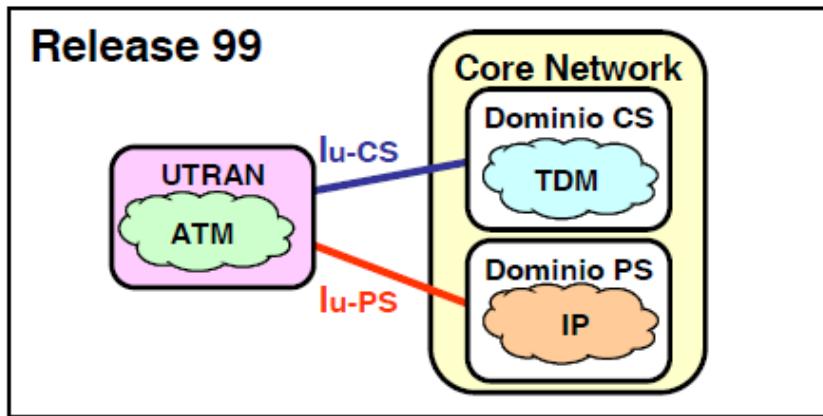
HSUPA
High Speed Uplink Packet Access
Bajada 14.4Mbit/s Subida 5.7Mbit/s

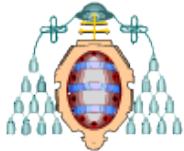
HSPA+ / LTE
Evolución hacia “Todo IP”
Bajada 100Mbit/s Subida 50Mbit/s



Evolución hacia arquitectura “Todo-IP”

Ingeniería
Telemática



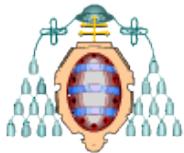


LTE (*Long Term Evolution*)

Ingeniería
Telemática

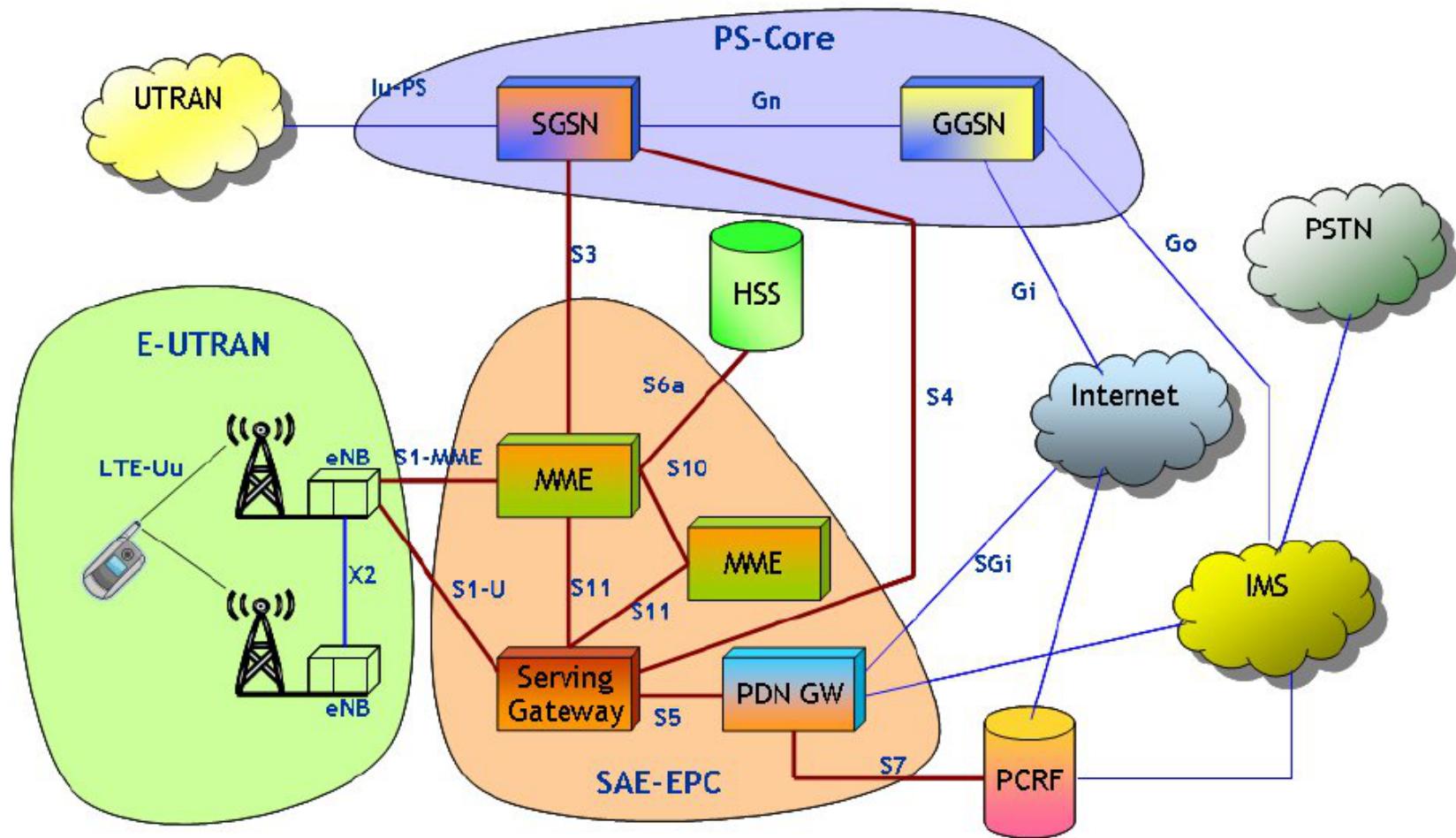
- Sólo servicios en modo paquete
 - Ejemplo: VoIP
- Velocidades de transmisión muy superiores
 - Más de 100 Mbps
- Retardo/Latencia sensiblemente inferiores
 - Menos de 10 ms
- Mejora de la eficiencia espectral
- Coste menor de la red de acceso radio
- Migración fácil desde versiones anteriores
- Flexibilidad espectral
 - Puede operar en todas las bandas celulares actuales, e incluso en otras
 - Funcionamiento eficiente con asignaciones de espectro de distintos tamaños:
 - Hasta 20 MHz para conseguir altas velocidades
 - Menos de 5 MHz (hasta 1,4 MHz) para permitir una transición fácil desde, p.ej. el espectro 2G

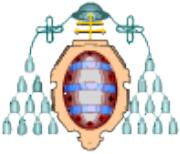




Arquitectura de la red LTE

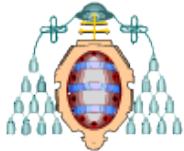
Ingeniería
Telemática





Elementos de la red LTE

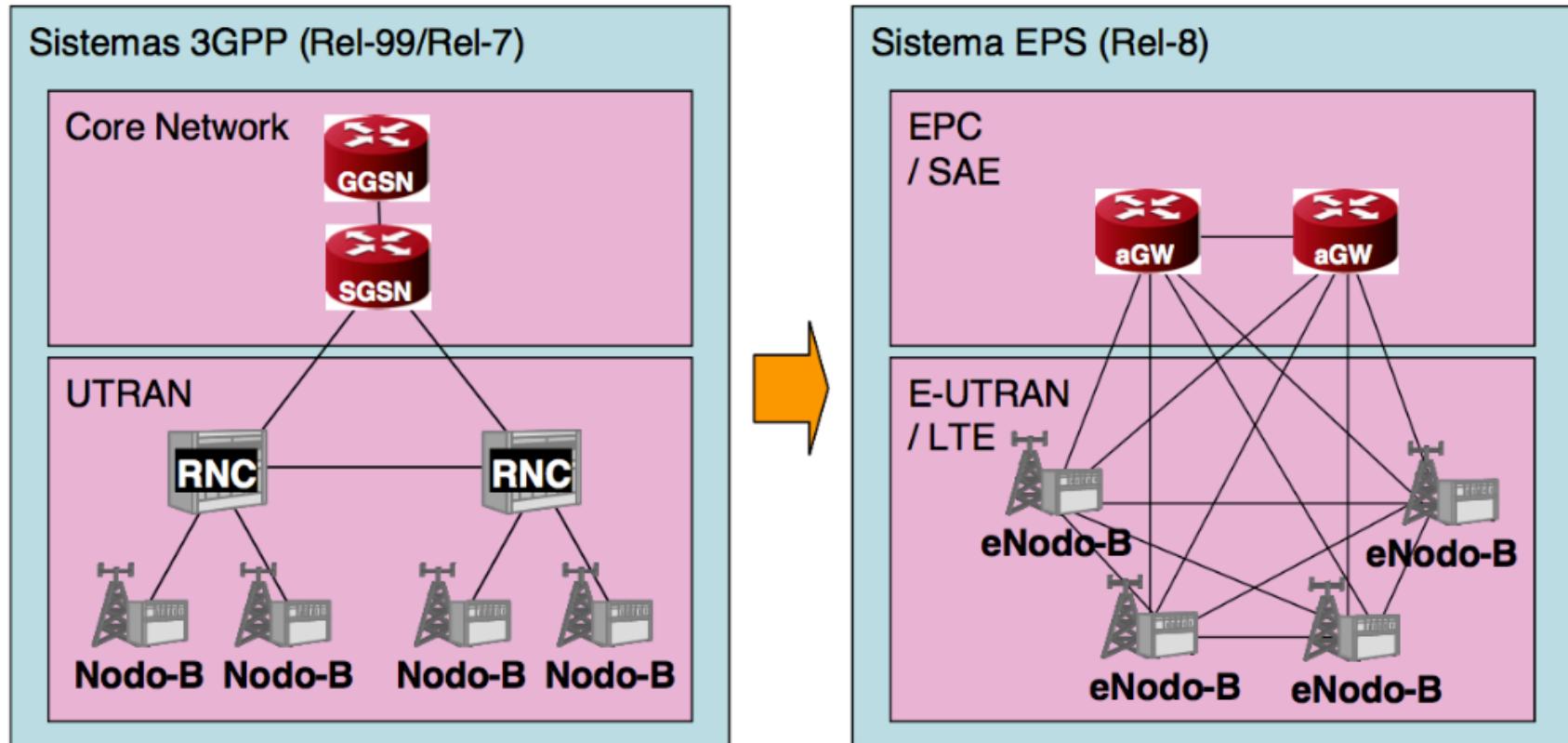
- **EUTRAN:**
 - **eNB:** Único nodo obligatorio en la red de acceso radio. Se ocupa de las comunicaciones de radio en la célula, gestiona los recursos de radio y toma las decisiones de traspaso. En LTE no es necesario un control centralizado de la red de radio
- **EPC (Evolved Packet Core):**
 - **MME (Mobility Management Entity):** Se ocupa de todas las operaciones del plano de control: selección de PGW/SGW y selección de MME durante los traspasos. También es responsable de la selección de SGSN en los traspasos de LTE a 2G/3G
 - **SGW (Serving Gateway):** Encamina y reenvía los paquetes del usuario. Actúa como ancla de movilidad para el plano de usuario durante los traspasos inter-eNB y como ancla para la movilidad entre LTE y otras tecnologías 3GPP
 - **PGW (PDN Gateway):** Proporciona conectividad con las redes de datos externas en modo paquete. Realiza la asignación de direcciones IP. Equivalente al GGSN

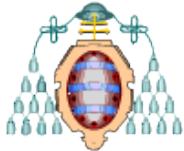


E-UTRAN (LTE): Release 8 3GPP

Ingeniería
Telemática

- Simplificación de la arquitectura
 - Desaparición RNC → eNodo-B (*enhanced Nodo-B*)
 - SGSN+GGSN → aGW (Access Gateway)





Madurez de la tecnología y del mercado

Ingeniería
Telemática

- Niveles de implantación muy significativos
- Informes CNMC 2022

Fuente:
Informe CNMC

3. BANDA ANCHA MÓVIL - b) Datos por operador

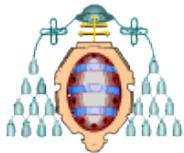
13. Líneas de voz vinculadas a banda ancha móvil por operador (número de líneas)

	Ene-2021	Dic-2021	Ene-2022
Movistar	14.134.336	13.823.870	13.829.337
Orange	11.003.751	10.992.047	11.009.732
Vodafone	11.342.471	11.942.709	11.972.993
Grupo MASMOVIL	7.129.821	8.911.521	8.926.515
Yoigo	0	0	0
OMV	3.628.157	2.968.917	3.015.480
Total	47.238.536	48.639.064	48.754.057

Los datos de Vodafone incluyen los de Ono desde julio 2014 y los de Orange incluyen los de Jazztel desde agosto 2015. Grupo MASMOVIL incluye los datos de Mas Móvil, Yoigo y Pepephone desde octubre 2016, los de LlamaYA desde febrero 2017, los de Lebara desde diciembre 2018, los de Hits Mobile desde julio 2019, los de Lycamobile desde junio 2020 y los de Euskaltel desde agosto de 2021. Los datos de los operadores móviles de red incluyen los de los OMV y los de las marcas comerciales que son de su propiedad (Orange incluye República Móvil a partir de diciembre de 2019).

Última actualización 23/02/2022

Extracción de datos 14/03/2022



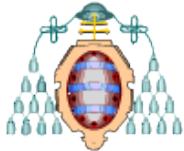
Prestaciones

	Caudales teóricos		Caudales prácticos	
	Bajada	Subida	Bajada	Subida
GSM	9600 kbit/s	9600 kbit/s	9600 kbit/s	9600 kbit/s
GPRS	171 kbit/s	171 kbit/s	50 kbit/s	10 kbit/s
UMTS Rel. 99	2048 kbit/s	384 kbit/s	384 kbit/s	64 kbit/s
HSDPA	14,4 Mbit/s	384 kbit/s	2-3 Mbit/s	64-384 kbit/s
HSDPA+ HSUPA	14,4 Mbit/s	5,7 Mbit/s	2-3 Mbit/s	1-2 Mbit/s
HSPA+	28 Mbit/s	5,76 Mbit/s	10 Mbit/s *	7 Mbit/s *
LTE	100 Mbit/s	50 Mbit/s	30 Mbit/s *	15 Mbit/s *

* Estimado

5G: velocidades en movilidad superiores a 100 Mbit/s con picos de 1 Gbit/s. Latencia 1 milisegundo (ms) frente a 20-30 ms propios de las redes 4G

Fuente: Tecnologías de banda ancha y convergencia de redes



Plan Nacional 5G 2018-2020

Ingeniería
Telemática

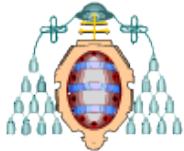
- Tecnología 5G nuevo paradigma de las comunicaciones inalámbricas
 - Componente tecnológico esencial en la transformación digital de la sociedad y de la economía
- Internet de las cosas, big data, la robótica, la realidad virtual o la ultra alta definición, se soportarán sobre la 5G
- Necesaria evolución de las infraestructuras y las redes de telecomunicaciones
- Necesario un ecosistema de plataformas, servicios y contenidos 5G
- El desarrollo masivo de esta tecnología se prevé en el horizonte del año 2020 y sucesivos

Fuente: Plan Nacional 5G 2018-2020

http://www.minetad.gob.es/telecomunicaciones/es-ES/Novedades/Documents/plan_nacional_5g.pdf



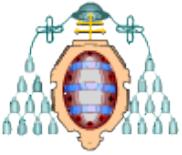
MINISTERIO
DE ENERGÍA, TURISMO Y
AGENDA DIGITAL



Aplicaciones de la tecnología 5G

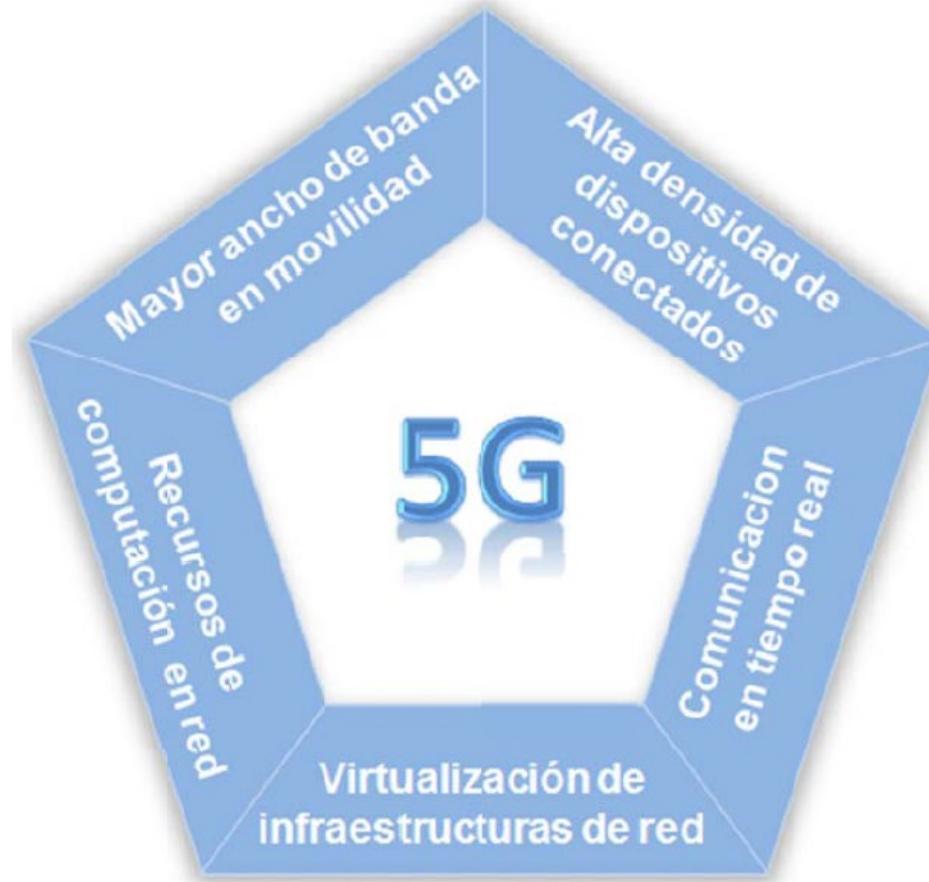
Ingeniería
Telemática

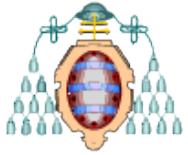
- **Banda ancha móvil de muy alta velocidad y capacidad**
 - velocidades en movilidad superiores a 100 Mbit/s con picos de 1 Gbit/s,
 - permitirá ofrecer contenidos en ultra alta definición o experiencias de realidad virtual.
- **Comunicaciones ultra fiables y de baja latencia**
 - en torno a 1 milisegundo (ms) frente a 20-30 ms propios de las redes 4G
 - apropiadas para aplicaciones como el vehículo conectado o el vehículo autónomo, servicios de telemedicina, sistemas de seguridad y control en tiempo real, la fabricación inteligente
- **Comunicaciones masivas tipo máquina a máquina (M2M)**
 - se incrementará la capacidad para gestionar gran cantidad de conexiones simultáneas
 - permitirá entre otras cosas, el despliegue masivo de sensores, el Internet de las cosas (Internet of Things, IoT) y el crecimiento de los servicios de big data
- Reducir tiempos de descarga del orden de 100 veces
 - Una película en HD pasará a descargarse en 4,8 segundos en las redes 5G



Nuevas capacidades de la tecnología 5G

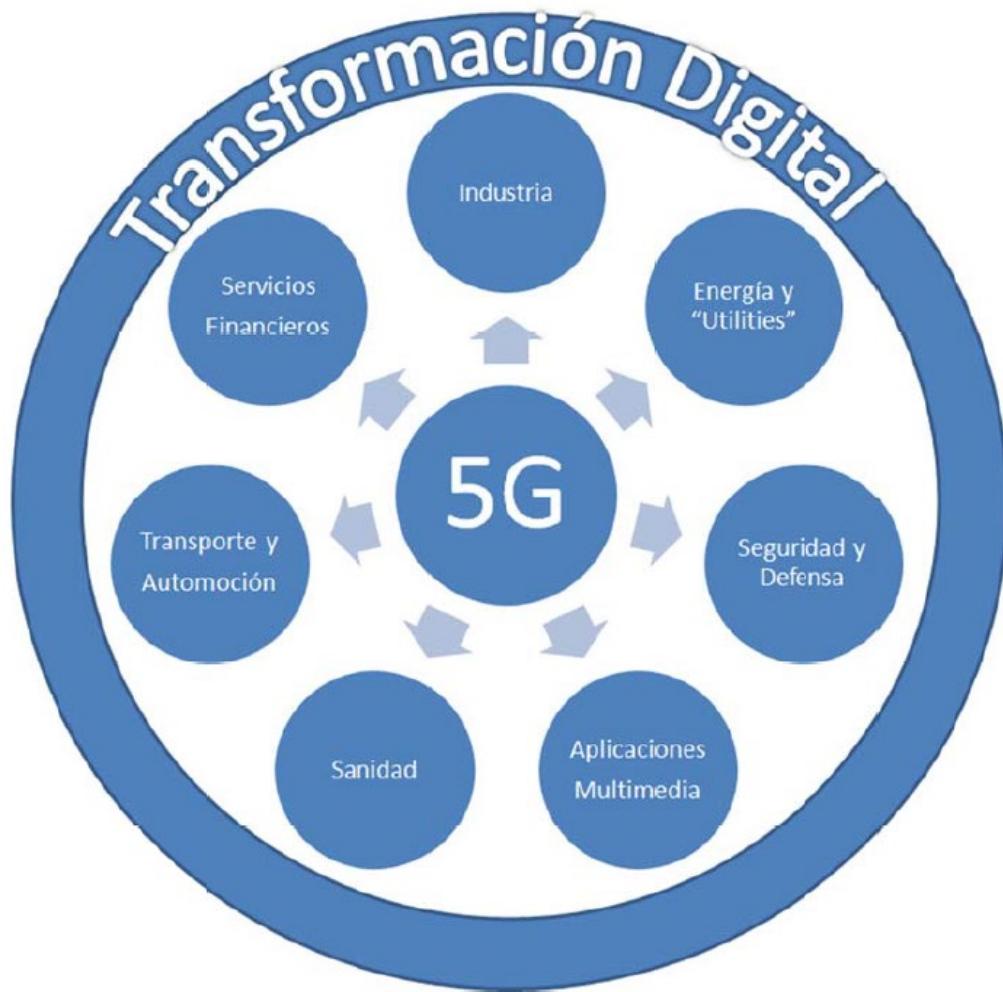
Ingeniería
Telemática

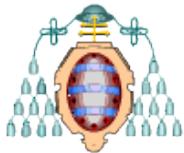




La tecnología 5G y la transformación digital

Ingeniería
Telemática

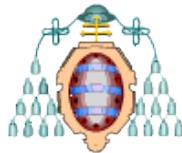




Ejes del plan nacional 5G

Ingeniería
Telemática





Bandas de frecuencia 5G en Europa

Ingeniería
Telemática

Altas frecuencias $> 6\text{GHz}$

- Alta capacidad de transmisión de datos para casos específicos
- eMBB, comunicaciones ultrafiables

Apoyo de la industria móvil a la banda de 26GHz
24.24GHz-27.5GHz

Frecuencias medias $3,4\text{-}3,8\text{ GHz}$

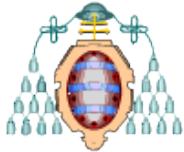
- Mejor compromiso entre cobertura y capacidad
- eMBB, comunicaciones ultrafiables, M2M (menos cobertura)

Banda principal de nuevos servicios 5G
3.4GHz-3.8GHz

Bajas Frecuencias 700 MHz

- Extensión de cobertura y uso en interior de edificios
- eMBB, comunicaciones ultrafiables, M2M masiva

Antes banda TV TDT
Segundo dividendo digital



Bibliografía

Ingeniería
Telemática

- Tecnologías de banda ancha y convergencia de redes
 - M. Alvarez-Campana et al.
 - Ministerio de Industria, Turismo y Comercio
- Apuntes de “Redes y servicios telemáticos de radio”
 - Arquitectura y servicios para redes WAN
 - José Ángel Vallejo Pinto

