REDES DE QUINTA GENERACIÓN
Curso básico
Módulo 2

CePETel

Prof. José Luis Pellegrino

TEMARIO

MODULO 1
La evolución histórica de las redes móviles. 2G/3G/4G.
Rol de 3GPP en la standarización.
Redes 4: LTE y EPC.
Conceptos heredados de LTE. Conceptos específicos de 5G.

MODULO 2
Motivadores para el despliegue de una red 5G. Por dónde empezar.
Concepto de Dual Connectivity.
Los terminales: Bandas, road map, chipsets. Impacto en la estrategia de despliegue.
La red de Acceso: Bandas, aspectos de propagación, ancho de banda.
El Núcleo: arquitectura a alto nivel.

MODULO 3
Arquitectura NSA. Visión de alto nivel.
Opciones de interconexión.
Planificación de red 5G inicial. Casos de uso.
DSS.Conceptos, posibles aplicaciones.

MODULO 4
Arquitectura SA. Visión de alto nivel.
Principales Desafíos de SA..
Impacto de 5G en IMS y servicios de tiempo real.

LTE & EPC

LA EVOLUCIÓN MÓVIL- MOTIVADORES

Galaxy Sxx+

Galaxy S21 5G

¿Qué se podría agregar a la figura?

5G- MOTIVADORES

Mejores capacidades de la red

Mas dispositivos | Mas velocidad | Menor latencia

- Capacidades de la red de Radio y la interfaz de aire
- Nuevas técnicas de modulación
- Eficiencia espectral

Requerimientos
Tecnologías

- NR (New Radio)
- 5GC (5G Core)
- …..
- Convivencia con ePC /Dual Connectivity

Por dónde empezar?

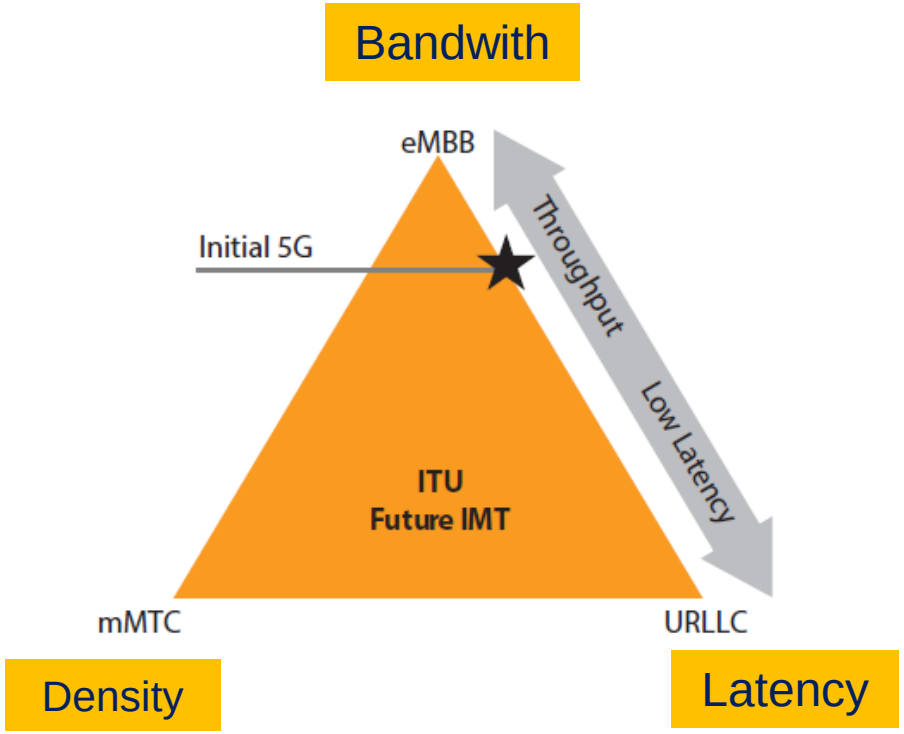
La evolución de LTE hacia 5G

- **3G corresponde a IMT-2000 para la ITU**
- **4G/LTE corresponde a IMT-Advanced para la ITU**
- **5G corresponde a IMT-2020 para la ITU**

- Especificación ITU IMT-2020
- Nueva interfaz de Radio → 5G NR (New Radio)
- No es una REVOLUCION, mas bien una EVOLUCION
- Primeras implementaciones del tipo Non Stand Alone (NSA)
  - ➢Posibilidad de funcionar como Stand Alone (SA) a futuro
- Mejoras en throughput principalmente gracias a mayores anchos de banda y mejoras en la eficiencia espectral (Massive MIMO | HOM | Beamforming)
- IoT → Evolucionará a partir de las redes LTE-M y NB-IoT actuales
  - ➢Por esto se considera a 5G como un conjunto de tecnologías

Discutir en clase si desde la perspectiva del acceso implica un cambio drástico respecto de LTE.

La evolución de LTE hacia 5G



eMBB (enhanced Mobile Broadband)

Evolución Terminales 4G | Aplicaciones FWA hogareño| Cloud Gaming 4K | AR / VR | …

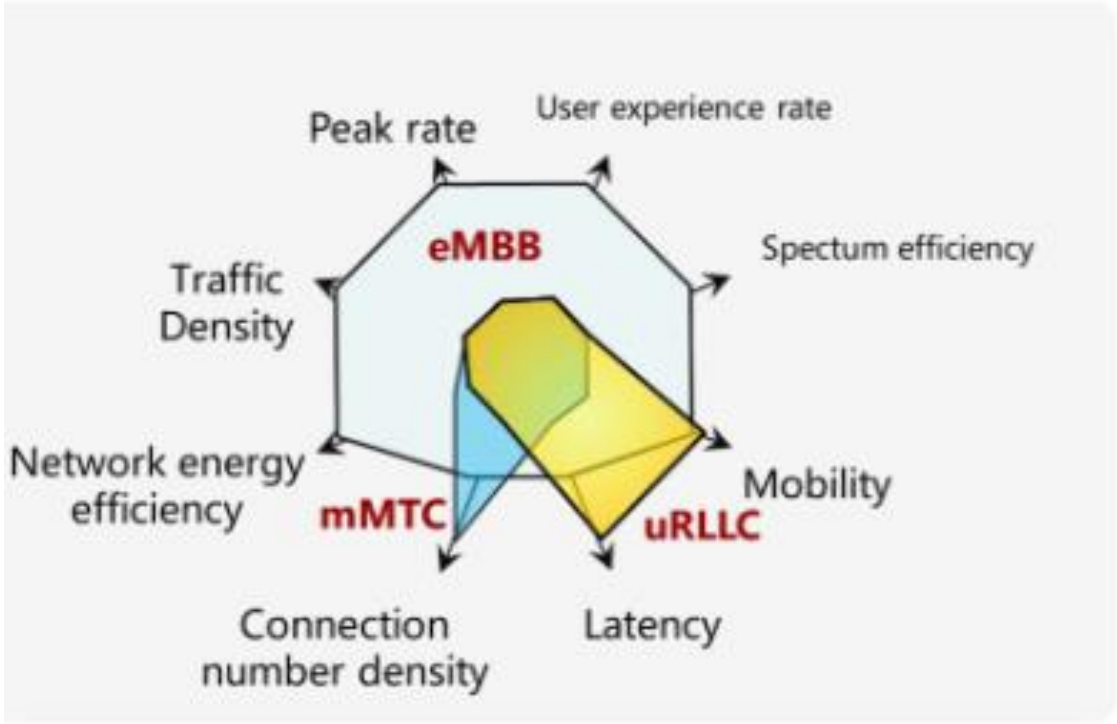
URLLC (Ultra Reliable Low Latency Communications)

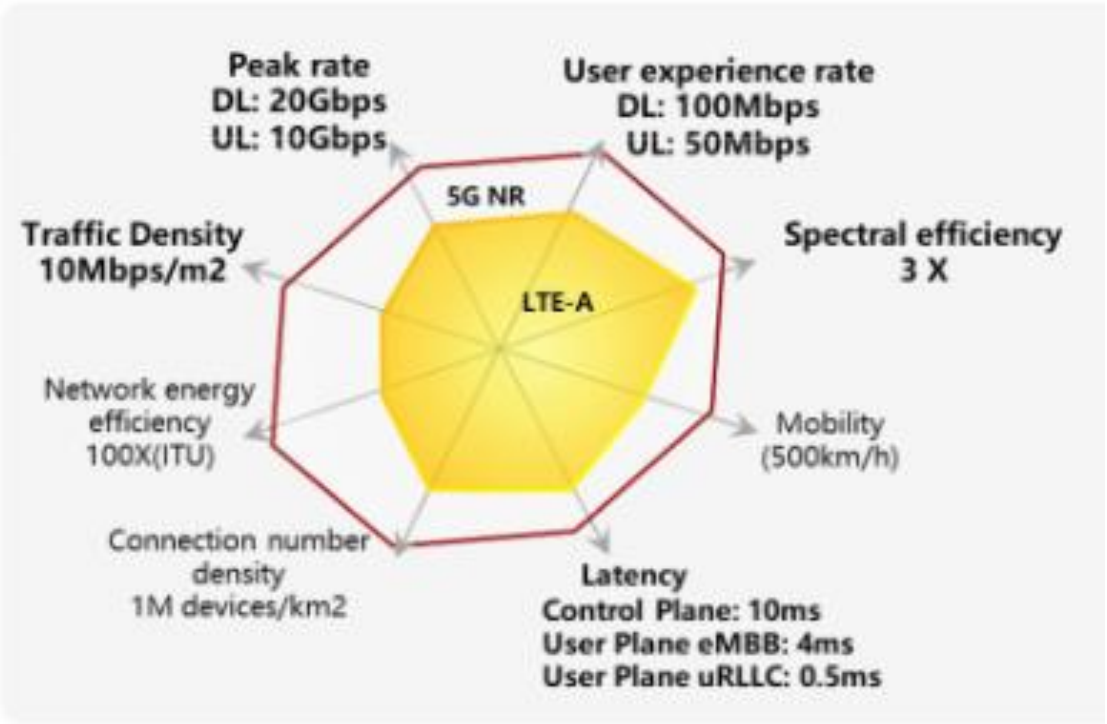
Coches Conectados | Aplicaciones Industriales & Misión Critica

mMTC (massive Machine Type Communications)

Masificacion de Dispositivos IoT (masificar lo que hoy conocemos deLTE-M & NB-IoT)

LAS OBJETIVOS DE PERFORMANCE DE 5 G

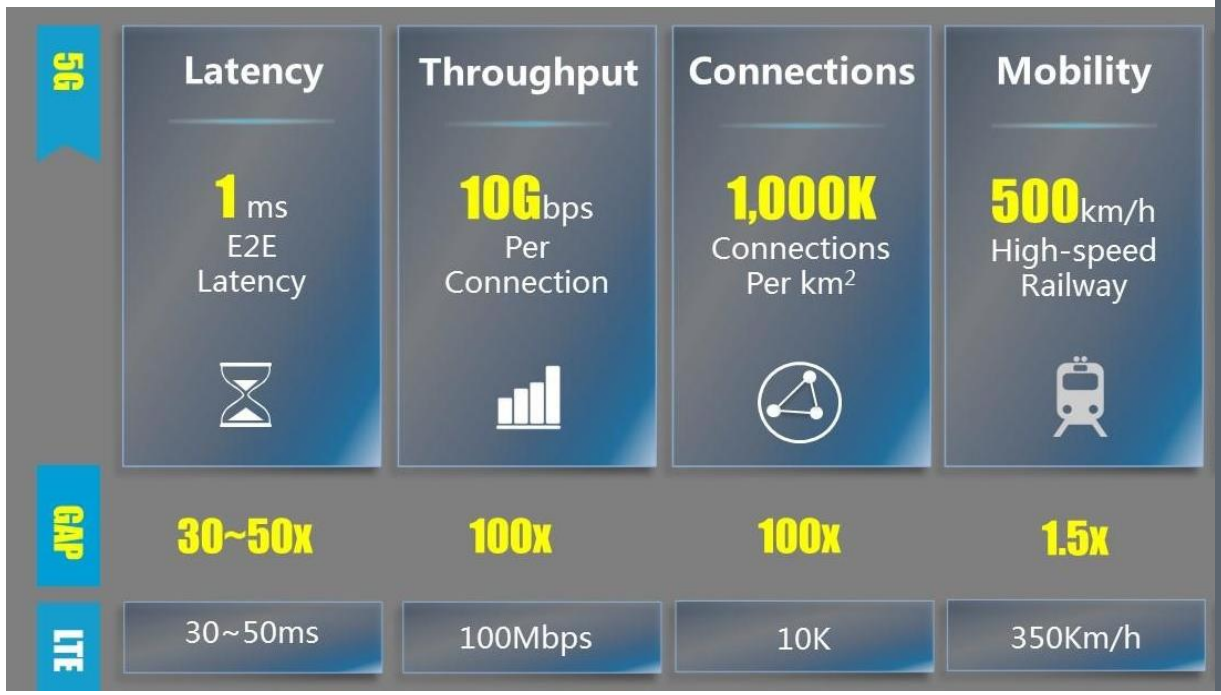


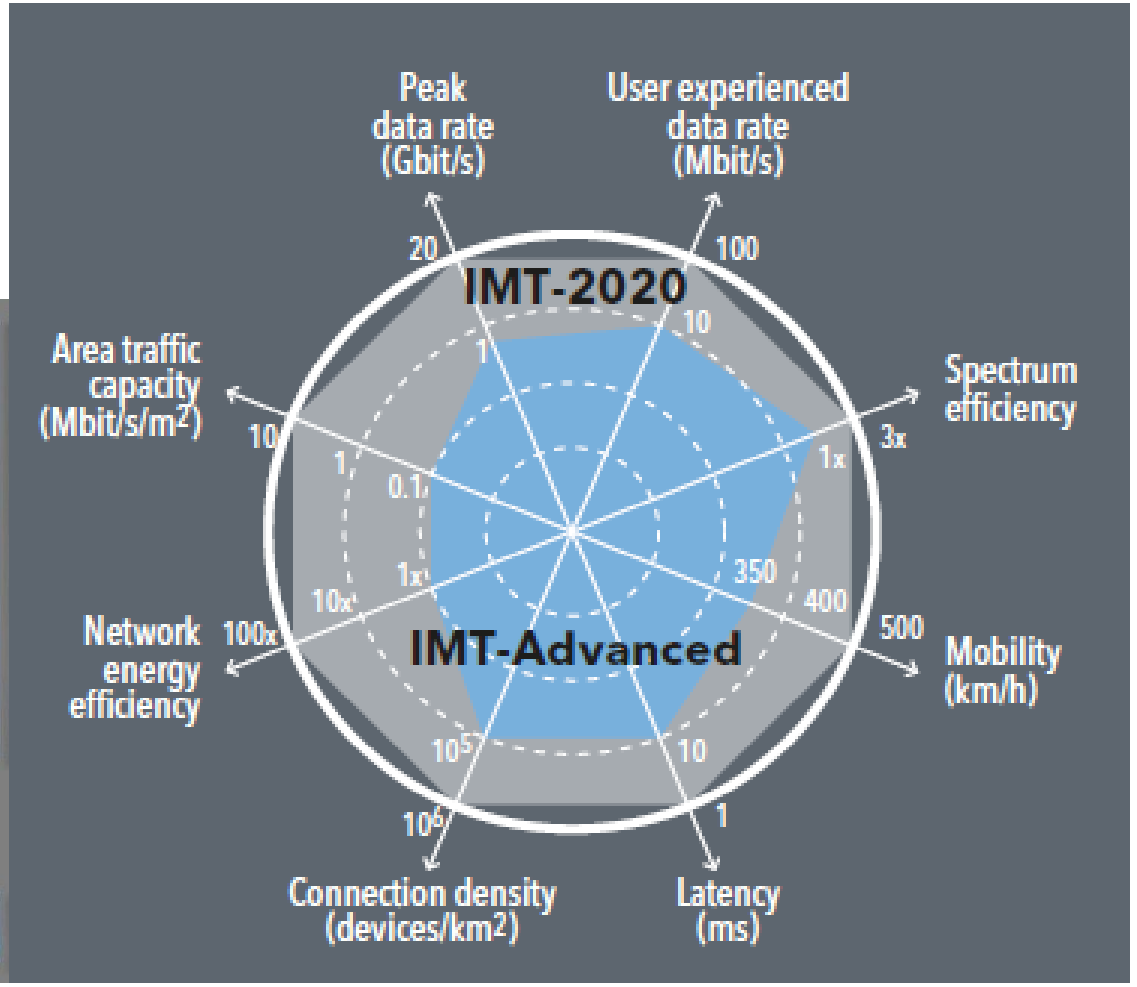


La red 5G proveerá:
Una capacidad de celda 30 veces superior a LTE
Un incremento en la experiencia del cliente 10 veces mayor
Latencias en la interfaz de aire del orden del mS dependiendo del tipo de servicio

La evolución de LTE hacia 5G

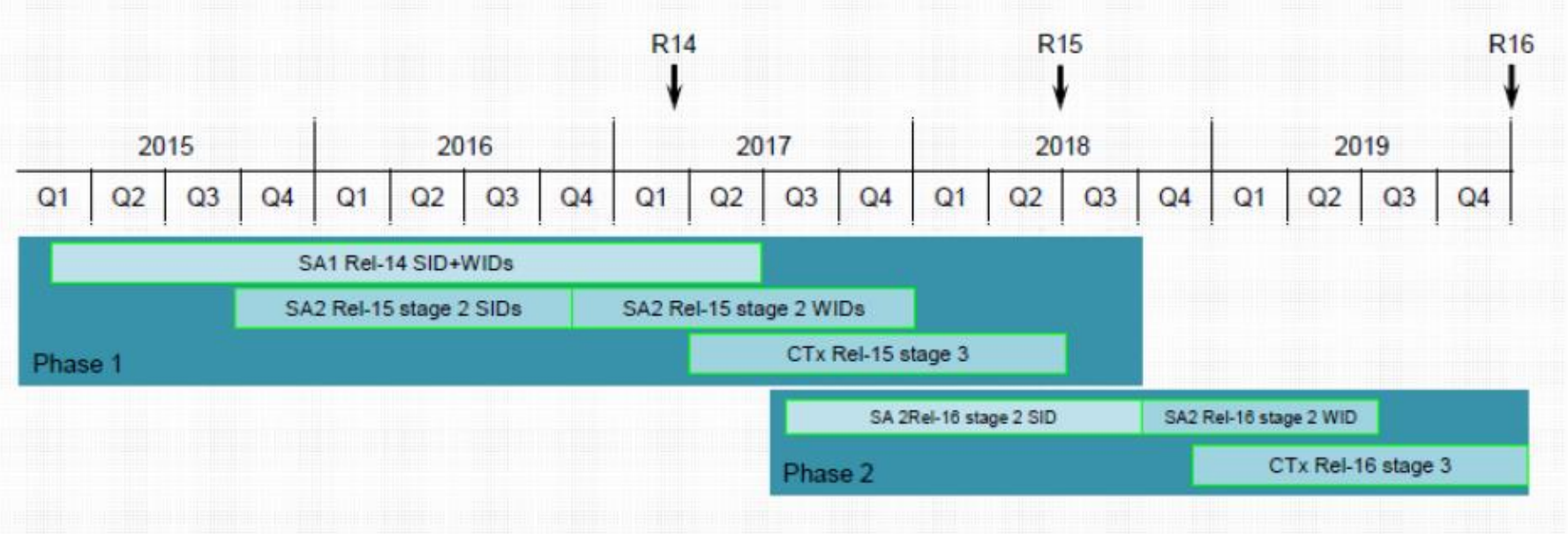
ITU IMT-2020





La evolución de LTE hacia 5G

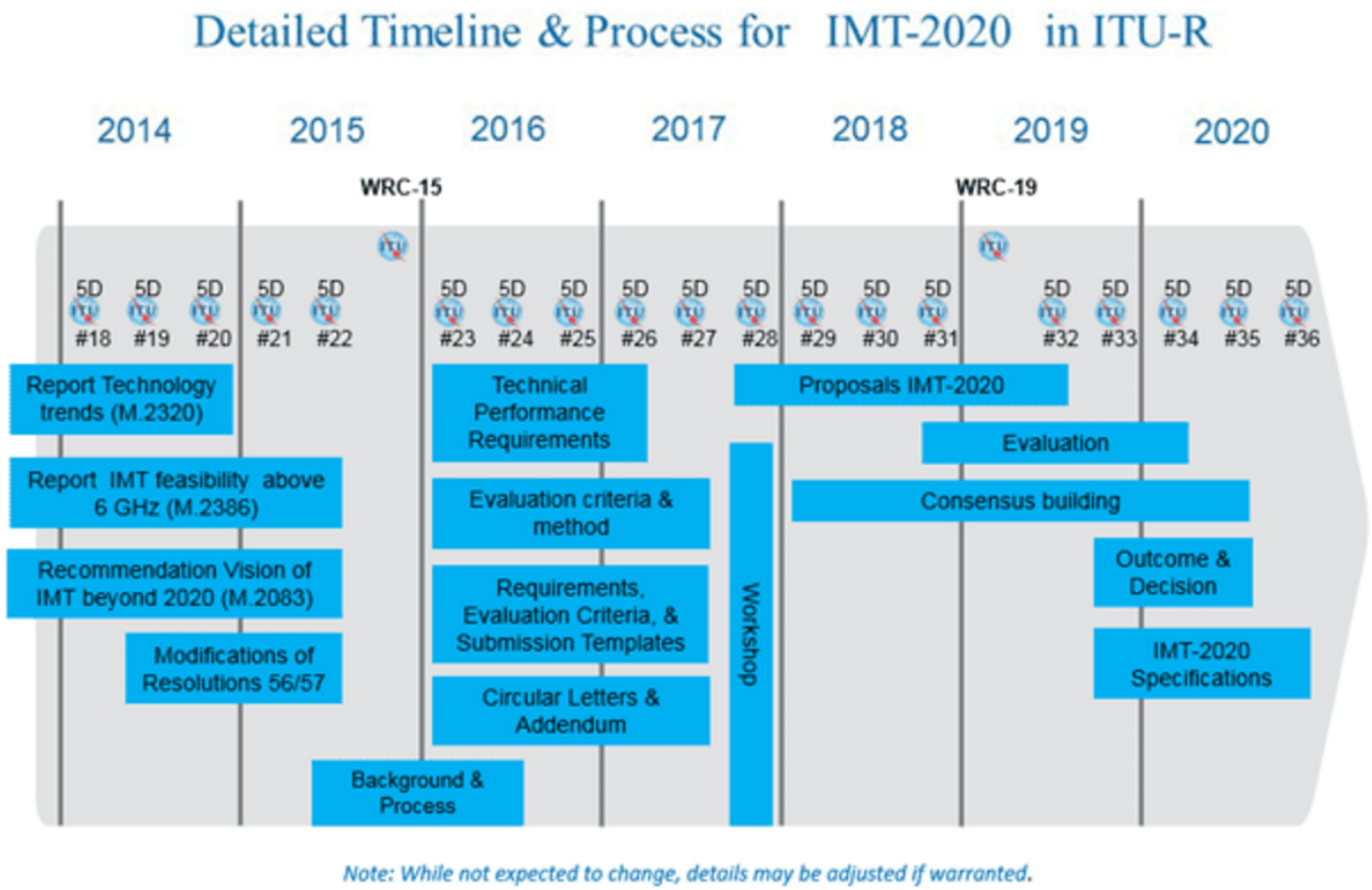
How to Start?
-Standard Time Line is a good frame to know what can/can't be done and when.
-Product Availability is second point to be aware of
-Different approachs decoupling Core Access and devices



Step 1. An enhancement of the current EPC to support both 4G and 5G access

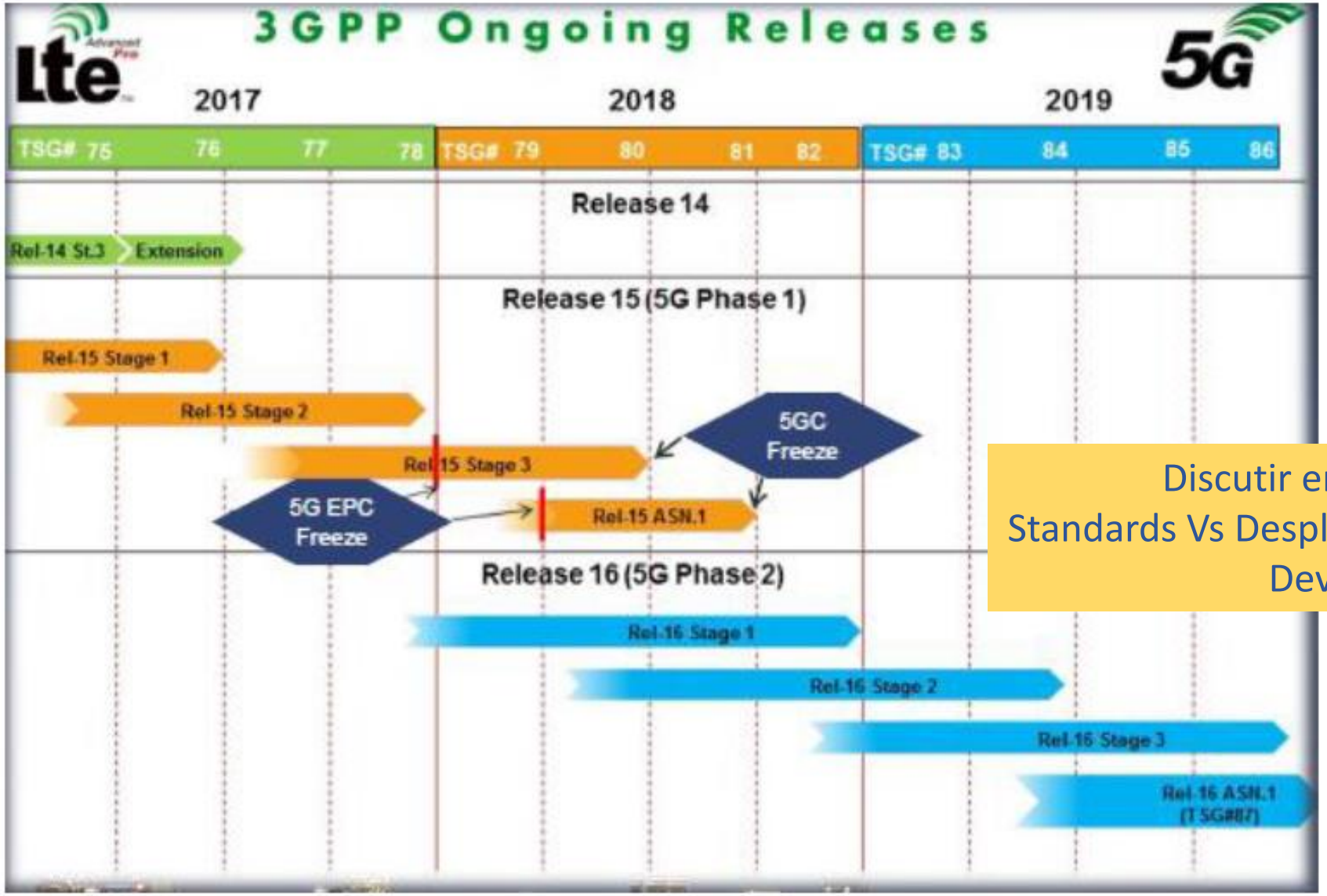
Step 2 the build of new 5G core architecture to support both LTE and 5G access known as SBA architecture

La evolución de LTE hacia 5G



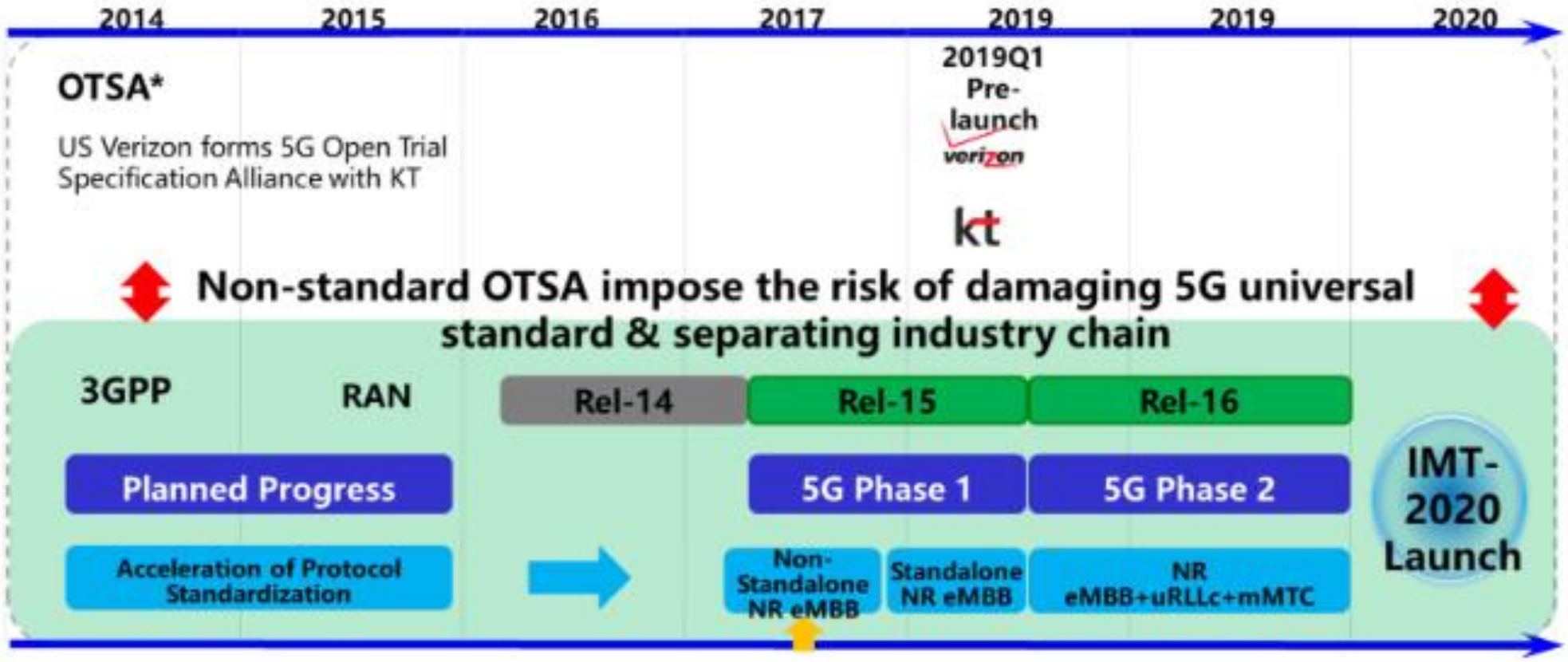
Step 1. An enhancement of the current EPC to support both 4G and 5G access
Step 2 the build of new 5G core architecture to support both LTE and 5G access known as SBA architecture

La evolución de LTE hacia 5G

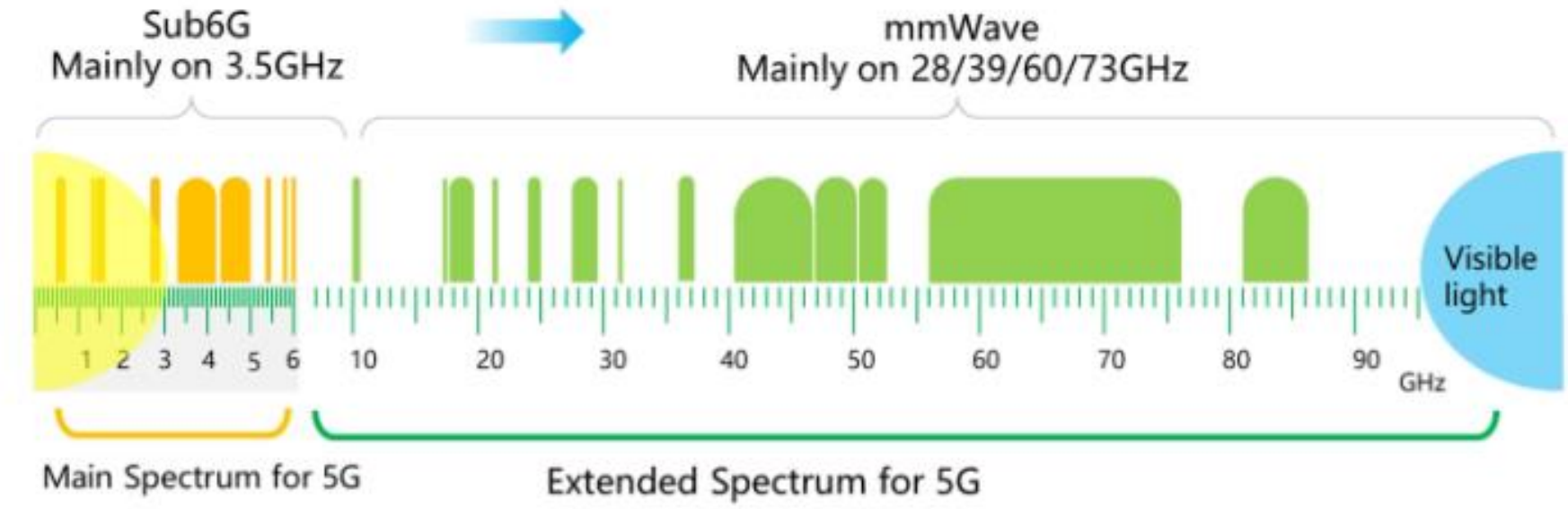


Discutir en clase
Standards Vs Despliegues
Devices: ?

LA EVOLUCIÓN DEL STANDARD 5G



EL ESPECTRO 5G, BANDAS SUB 6 Y MMWAVE



3GPP ha definido rangos de Frecuencias (FR)

FR1: Sub6G, que incluye la Banda C

FR2: mmw (ondas milimétricas) y corresponde a recursos de expectro extendido.

Banda C:
Frecuencias de entre 3,7 y 4,2 GHz y desde 5,9 hasta 6,4 GHz

BANDAS DE FRECUENCIA FR1

NR frequency band	Uplink	Downlink	Duplex
n1	1920-1980MHz	2110-2170MHz	FDD
n2	1850-1910MHz	1930-1990MHz	FDD
n3	1710-1785MHz	1805-1880MHz	FDD
n5	824-849MHz	869-894MHz	FDD
n7	2500-2570MHz	2620-2690MHz	FDD
n8	880-915MHz	925-960MHz	FDD
n20	832-862MHz	791-821MHz	FDD
n28	703-748MHz	758-803MHz	FDD
n38	2570-2620MHz	2570-2620MHz	TDD
n41	2496-2690MHz	2496-2690MHz	TDD
n50	1432-1517MHz	1432-1517MHz	TDD
n51	1427-1432MHz	1427-1432MHz	TDD
n66	1710-1780MHz	2110-2200MHz	FDD
n70	1695-1710MHz	1995-2020MHz	FDD
n71	663-698MHz	617-652MHz	FDD
n74	1427-1470MHz	1475-1518MHz	FDD

NR frequency band	Frequency range	Duplex
n75	1432-1517MHz	SDL
n76	1427-1432MHz	SDL
n77	**3.3-4.2GHz**	**TDD**
n78	**3.3-3.8GHz**	**TDD**
n79	**4.4-5.0GHz**	**TDD**
n80	1710-1785MHz	SUL
n81	880-915MHz	SUL
n82	832-862MHz	SUL
n83	703-748MHz	SUL
n84	1920-1980MHz	SUL

3GPP 38.104

SDL: supplementary downlink-only
SUL: uplink-only (SUL)

BANDAS DE FRECUENCIA FR1

5G NR (New Radio) has been developed to operate in two distinct bands; sub-6 GHz (3GPP 38.104-5.2.1 FR1), and mmWave (3GPP 38.104-5.2.2 FR2). Despite actually running into the 7 GHz band, FR1 continues to be commonly referred to as the "Sub-6 GHz" band.

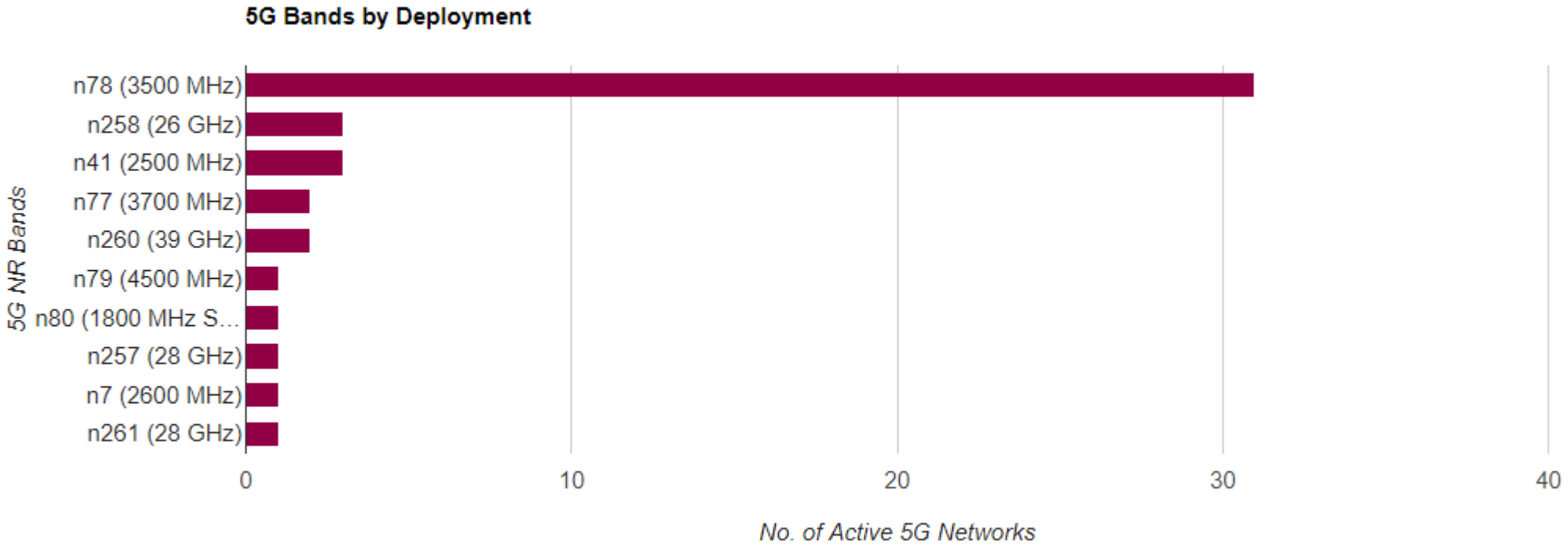
- FR1: 410 to 7125 MHz
- FR2: 24250 to 52600 MHz

Each band may operate in either FDD or TDD duplex mode. A band may be a supplementary downlink-only (SDL) or uplink-only (SUL) band used to provide additional capacity in the respective direction.
Bands are also classified as SA - Stand Alone, meaning they can operate totally independent on 4G LTE networks, or NSA - Non Stand Alone, which require the data call to be established over 4G LTE with the 5G carrier then added as a secondary layer.

Due to the range of frequencies in use 5G NR uses four different Subcarrier Spacing (SCS) modes; 15, 30, and 60 kHz for sub-6 GHz (FR1) bands; 60 and 120 kHz for mmWave (FR2) bands. Channel bandwidths vary based on SCS, with many only supporting a 5 MHz channel width with an SCS of 15 kHz.

Concepto de SCS, ligado a OFDM y F-OFDM

REDES 5G DESPLEGADAS POR BANDA



BANDAS DE FRECUENCIA FR2

NR frequenc y band	Frequency range	Duplex mode
n257	26500 MHz – 29500 MHz	**TDD**
n258	24250 MHz – 27500 MHz	**TDD**
n260	37000 MHz – 40000 MHz	**TDD**

3GPP define en el rel 15, solo tres bandas en mmWave, todas ellas TDD con un ancho de banda de 400 MHz

ANCHO DE BANDA EN 5G

Los anchos de banda por debajo de 20 MHz se han definido solamente para cumplir con requerimientos de evolución de espectro existente

RELACIÓN ENTRE SUBCARRIERS Y ANCHO DE BANDA DE CELDA

FR1

SCS (kHz)	5MHz	10MHz	15MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	40 MHz	50MHz	60 MHz	80 MHz	100 MHz
	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}
15	25	52	79	106	133	[TBD]	216	270	N/A	N/A	N/A
30	11	24	38	51	65	[TBD]	106	133	162	217	273
60	N/A	11	18	24	31	[TBD]	51	65	79	107	135

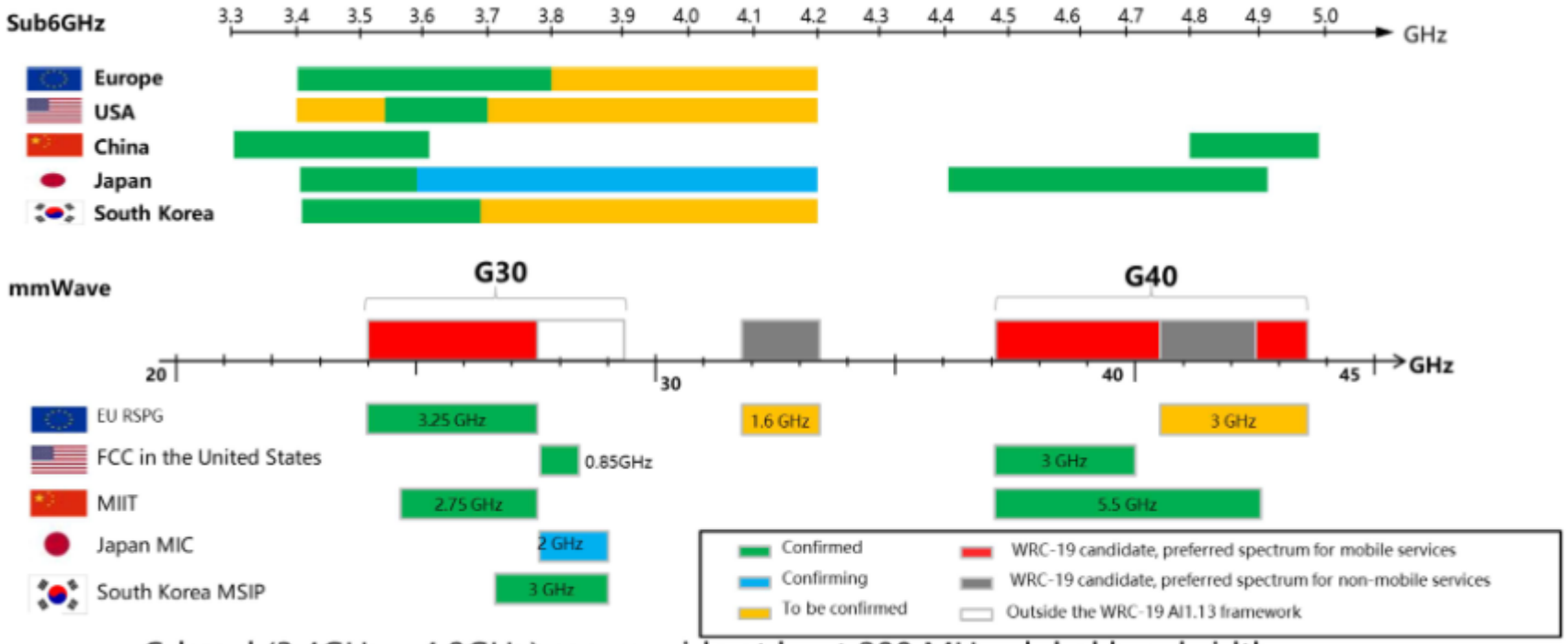
FR2

SCS (kHz)	50MHz	100MHz	200MHz	400 MHz
	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}
60	66	132	264	N/A
120	32	66	132	264

Debido a limitaciones de las especificaciones, los anchos de banda de 100 MHz, se ofrecen en los bloques de frecuencia de FR1, solo si el ancho de banda de las subportadoras es mayor a 15 KHz.
Las bandas frecuencia de 400 MHz requieren ancho de banda de las subportadoras mayores a 60KHz (ver numerología mas adelante)

SCS: Subcarrier Separation

ASIGNACIÓN DE ESPECTRO

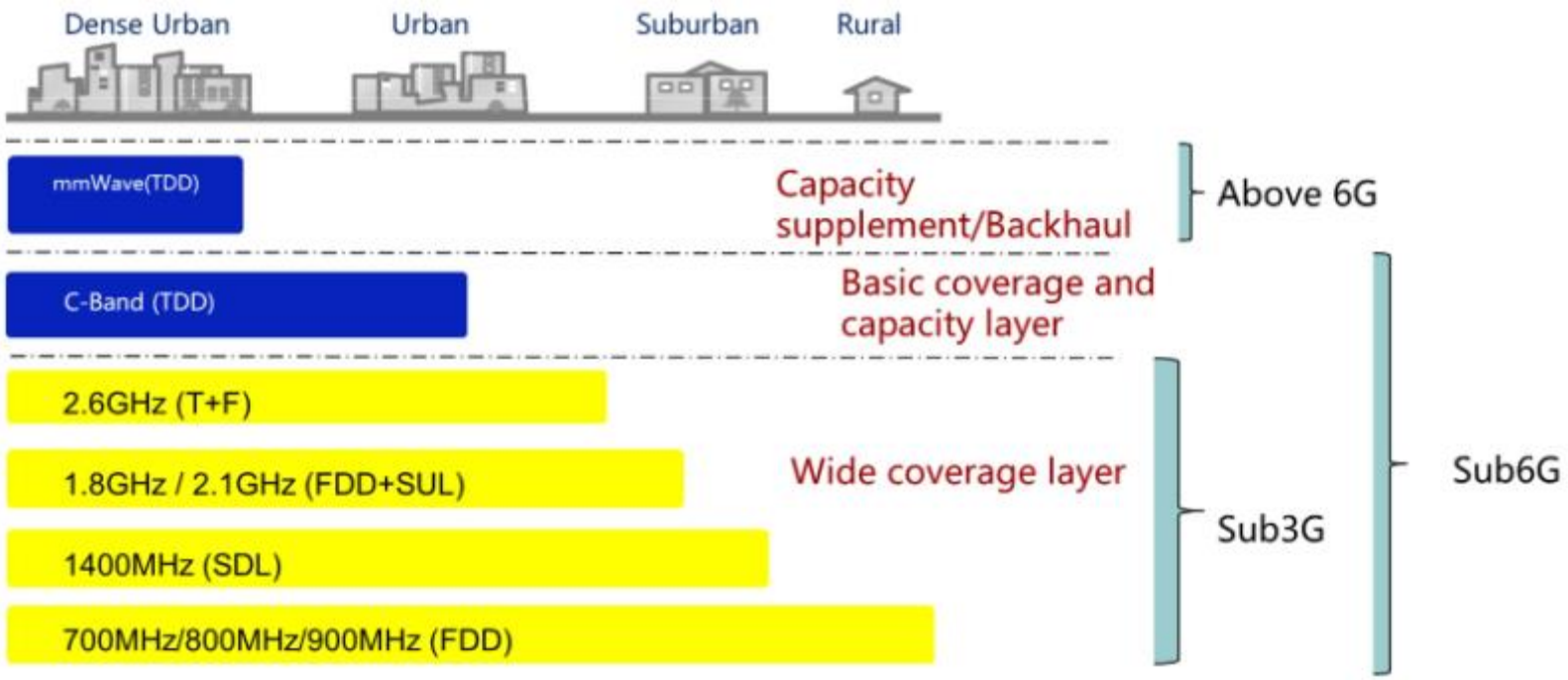


- C-band (3.4GHz – 4.9GHz) can provide at least 200 MHz global bandwidth

Nota: corresponde a fines de 2019

¿Cuál es el panorama actualmente en Latinoamérica?

USO DE LAS BANDAS



¿Qué ocurre con las bandas mmw?

PERFORMANCE EN DL

El throughput de una celda depende de varios factores, entre ellos el número de sectores, el número de antenas, y el número de bits por muestra

$$Th_{canal} = \mathrm{f}\left(\mathrm{N_S} * \mathrm{N_{ANT}} * 2. \mathrm{R_S} * \mathrm{N_{Res}}\right)$$

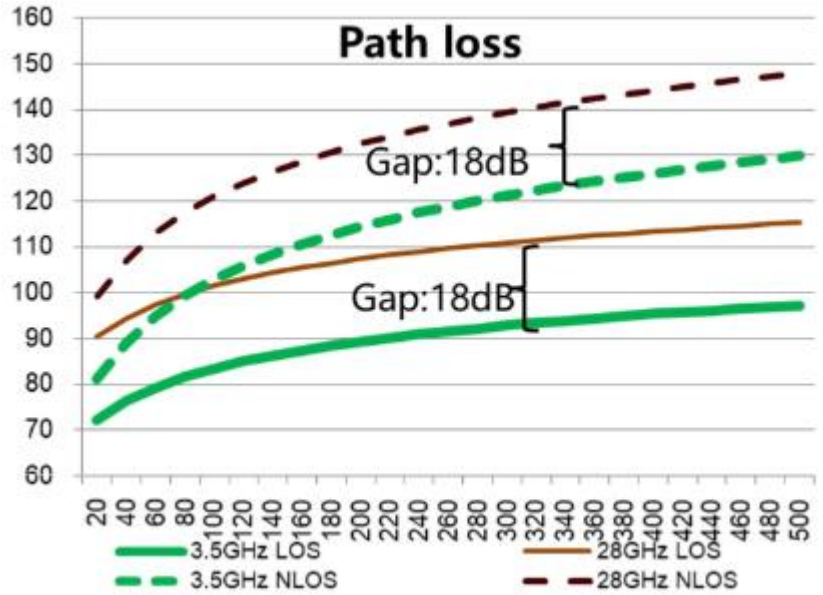
Ns: Numero de sectores
$\mathrm{N_{ANT}}$: Número de elementos MIMO por sector
$\mathrm{R_S}$: Tasa de muestreo. 15.36MHz para 10MHz
$\mathrm{N_{Res}}$: Número de bits por muestra (Tipicamente 15 bits por muestra para LTE para eficiencia de capacidad). El 2 es por tener 2 muestras que se procesan en paralelo (I&Q)

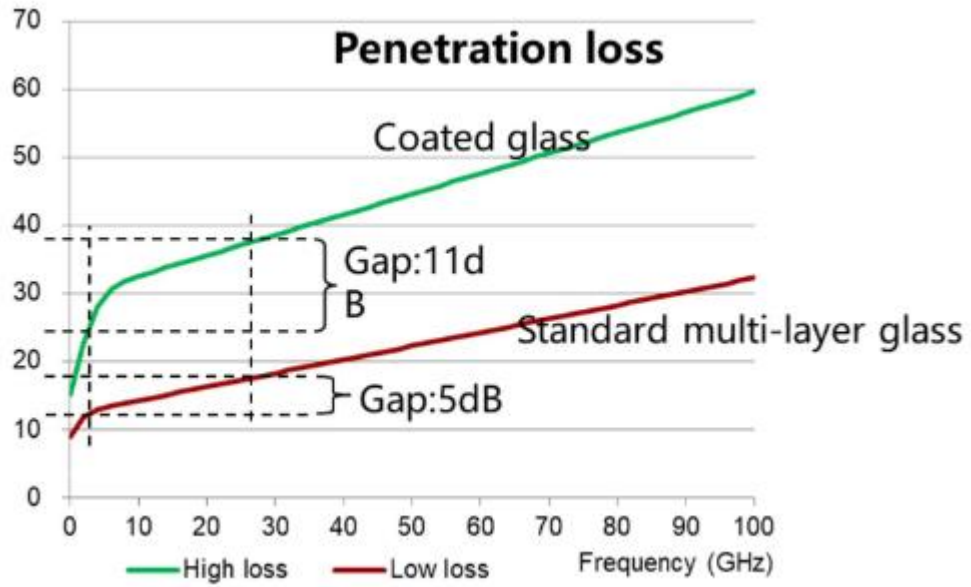
- Con grandes anchos de banda y massive MIMO, la banda C , p ejemplo puede incrementar la capacidad de la celda 25 veces pasando de unos **55 Mbps** para 20 MHz 2T2R a unos **1400 Mbps** con 100 MHz y 64T64R
- En Banda C, por ejemplo se observa un gran GAP entre DL y UP, del orden de 50 veces

Hacer una estimación teórica de throughput máximo. Comparar con el valor citado

Analizar atenuación y variación de la capacidad con la distancia

DESAFÍOS DE LAS ONDAS MILIMÉTRICAS





NLOS (Distancia)	Path loss 3.5 GHz (dB)	Path loss 3.5 GHz (dB)
100 m	103	121
300 m	121	139
500 m	130	148

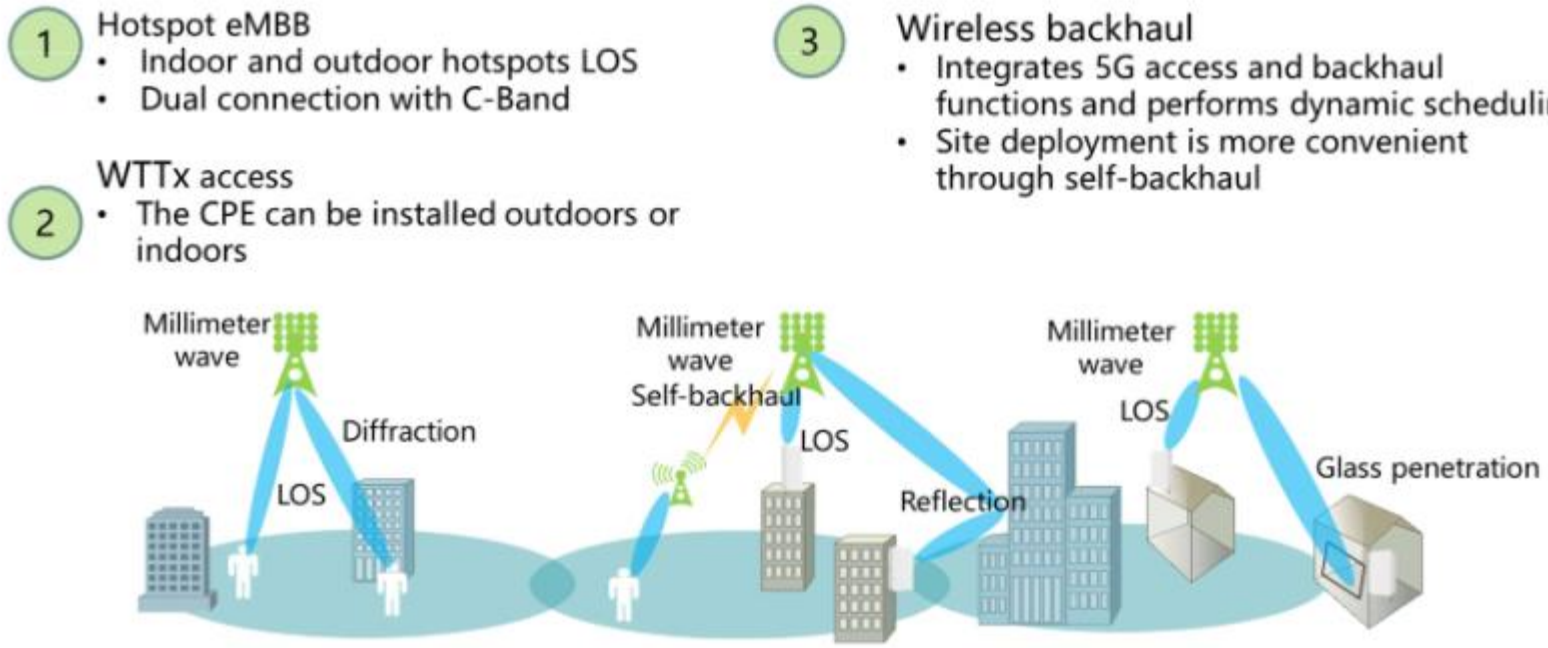
Penetraton loss	3.5 GHz	3.5 GHz
Standard glass	13	18
Coated glass	27	38

ESTRATEGIA DE DESPLIEGUE Y USO DE ESPECTRO

Rango de Frecuencia		Ventajas	Desventajas	Criterio de despliegue
FR1	Sub 3G	Baja frecuencia Buena cobertura	Recursos de frecuencia son muy limitados	Cobertura básica en 5G. Para refarming o con soluciones Cloudair
	Banda C	Recursos suficientes	Desbalance en la cobertura Uplink /Downlink	Podrían dedicarse hasta 100 MHz para 5G. Desbalance UL/DL podría ser resuelto desacoplando
FR2		Recursos suficientes	Pobre cobertura	No recomendable como principal opción de despliegue. Se recomienda como complemento, o como backhual inalámbrico

Aplicaciones de mmWave. HotSpot y backhaul

- Propagación
- Atenuación, problemática interior de edificios
- Distancias máximas
- Tipo de terminales
- Backaul



RESUMEN DE LTE

LA INTERFAZ DE AIRE

Tecnologías de NR: Interfaz de AIRE

Nuevas tecnologías de acceso múltiple
- F-OFDM
- Otras

Para mejorar la eficiencia espectral, basándose en la tecnología 4G, la interface de aire en 5G introduce nuevas tecnologías, como tecnologías de acceso múltiple, esquemas de modulación de mayor orden, esquemas de codificación y sistemas multiantenas o mMIMO

Recursos flexibles
- Numerología
- Slot flexibles

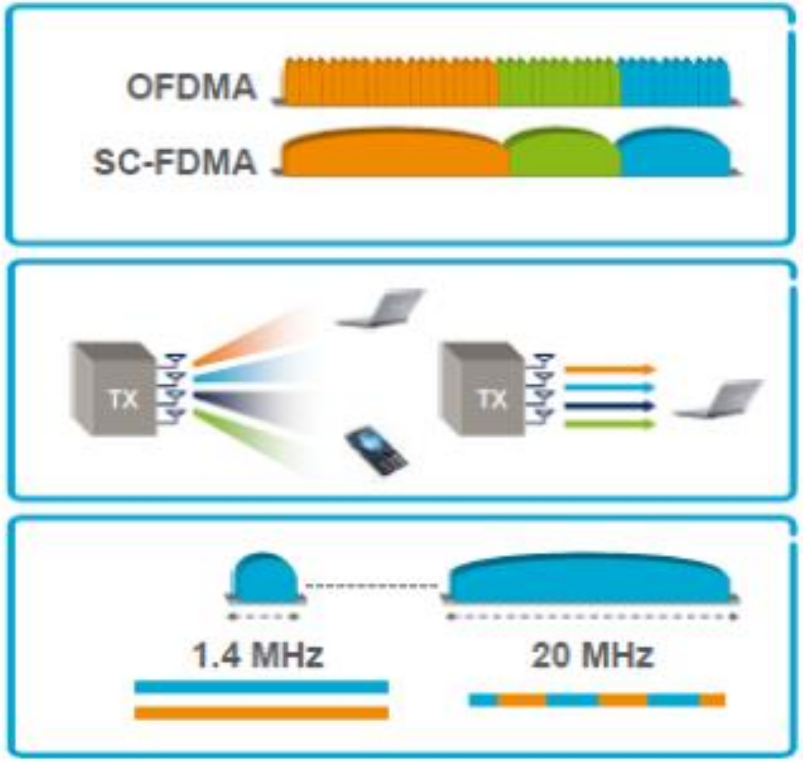
Mejora de la eficiencia espectral
- Nueva codificación del canal
- Modulación
- Massive MIMO nativo

LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

LTE radio access
Downlink: OFDM
Uplink: SC-FDMA

Advanced antenna solutions
Diversity
Beam-forming
Multi-layer transmission (MIMO)

Spectrum flexibility
Flexible bandwidth
New and existing bands
Duplex flexibility: FDD and TDD



OFDMA: Ortogonal Frecuency Division Multiplex Access
SC- FDMA: Single Carrier - Frecuency Frecuency Division Multiplex Access

LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

Método de transmisión y acceso múltiple: OFDMA / SCFDMA

Múltiples modulaciones: QPSK, 16 QAM, 64QAM, 256QAM,

Modulación y codificación Adaptativa (AMC y HARQ)

Técnicas de Múltiples Antenas:

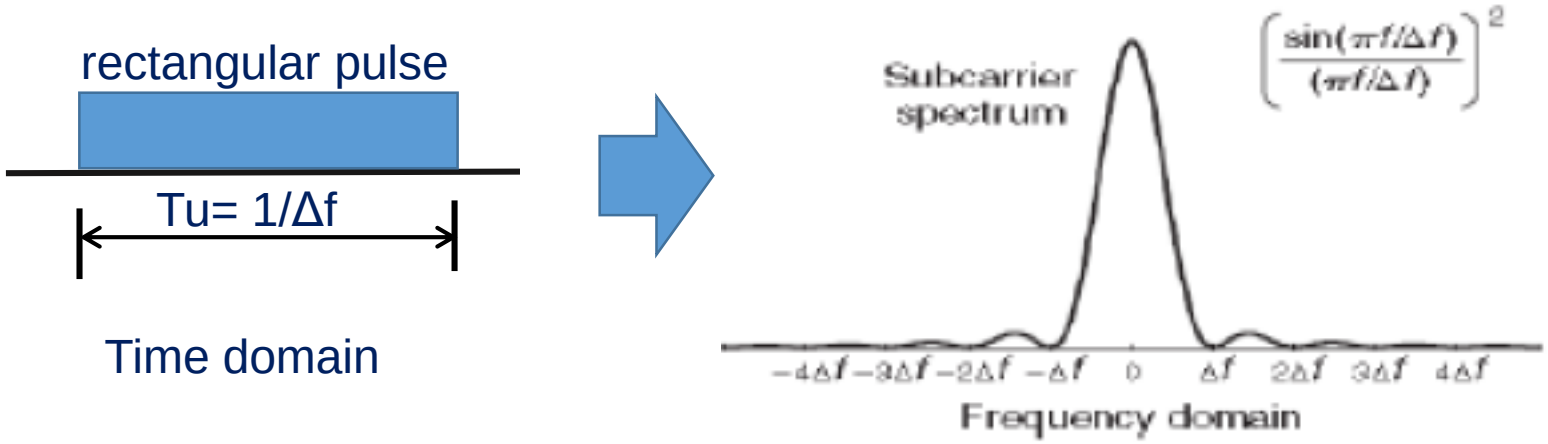
- **Diversidad de espacio en transmisión y recepción**
- **MIMO Single user**
- **MIMO Multiple user**
- **Beamsteering**
- **Beamforming**

Funcionalidades SON (Self Optimization Network)

LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

OFDMA es una transmisión multiportadora que tiene un extremadamente alto número de portadoras (hasta miles)

Los datos modulados son conformados en el dominio del tiempo mediante un simple pulso rectangular cuya duración es el período (Tu) de la portadora.



El pulso en el dominio del tiempo se corresponde con la función sin(x)/x en el dominio de la frecuencia.

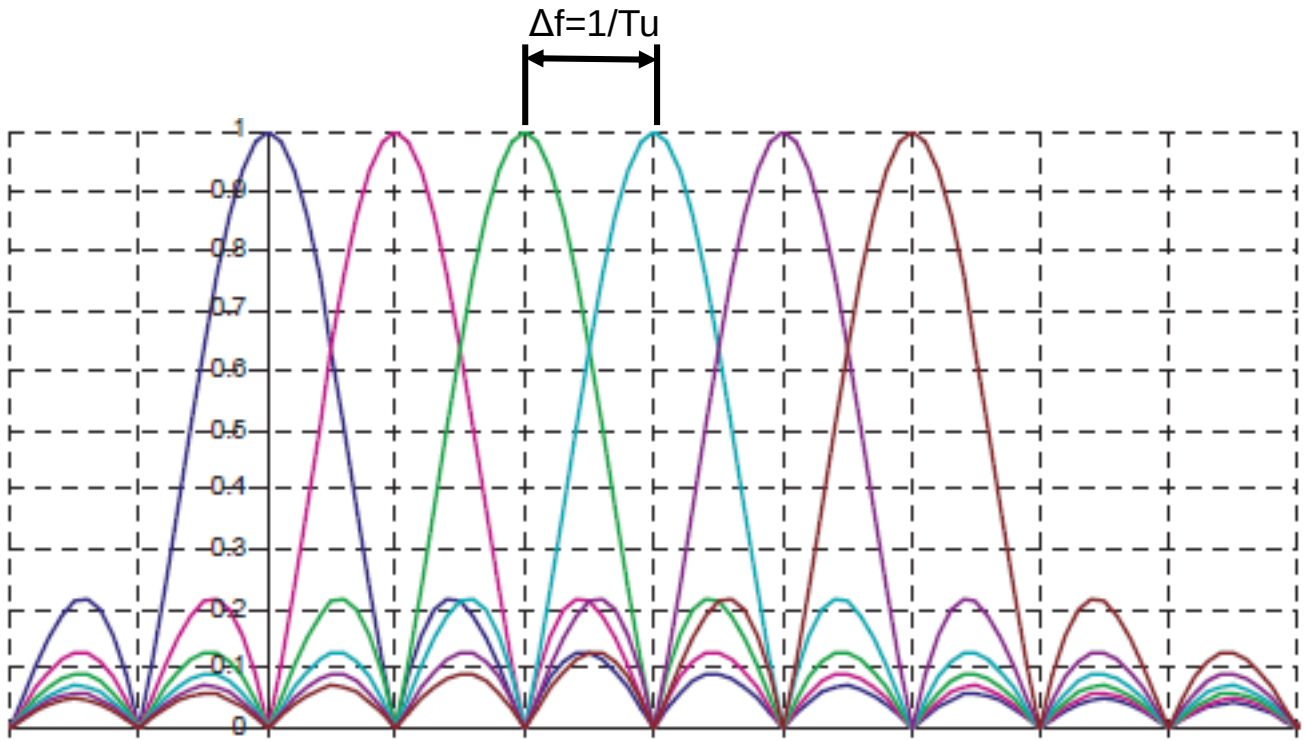
Para mayores detalles sobre la matemática implicada y la relación entre señales en el dominio del tiempo y su representación en el dominio de la frecuencia (recíproca del tiempo) , se recomienda consultar la teoría de la transformada de Fourier.

LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

La clave de OFDMA es la ortogonalidad entre múltiples subportadoras. Deben ser ortogonales para que sea posible aislarlas.

La ortogonalidad se logra haciendo que la separación entre cada subportadora sea igual a la recíproca del período del pulso: Δf=1/Tu= 15 KHz (Tu = 66,67 µS). La longitud de este símbolo hace de OFDM un sistema muy robusto en ambientes de propagación multicaminos.

Un simbolo LTE es 256 veces mayor (en duración) a uno de UMTS.

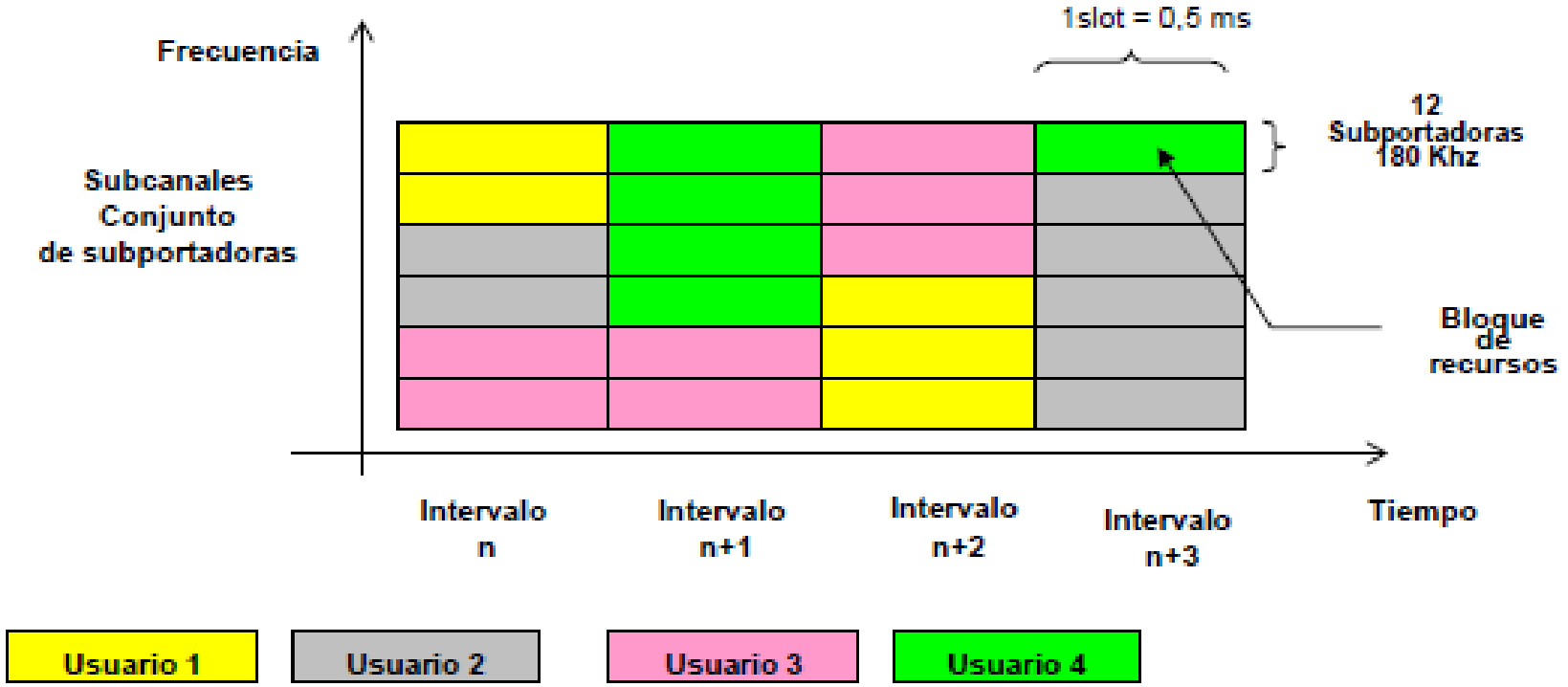


Partiendo de un punto donde una subportadora es máxima, desplazándose en una cantidad “Δf”, aparece otra subportadora (y solo una), que es máxima

LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

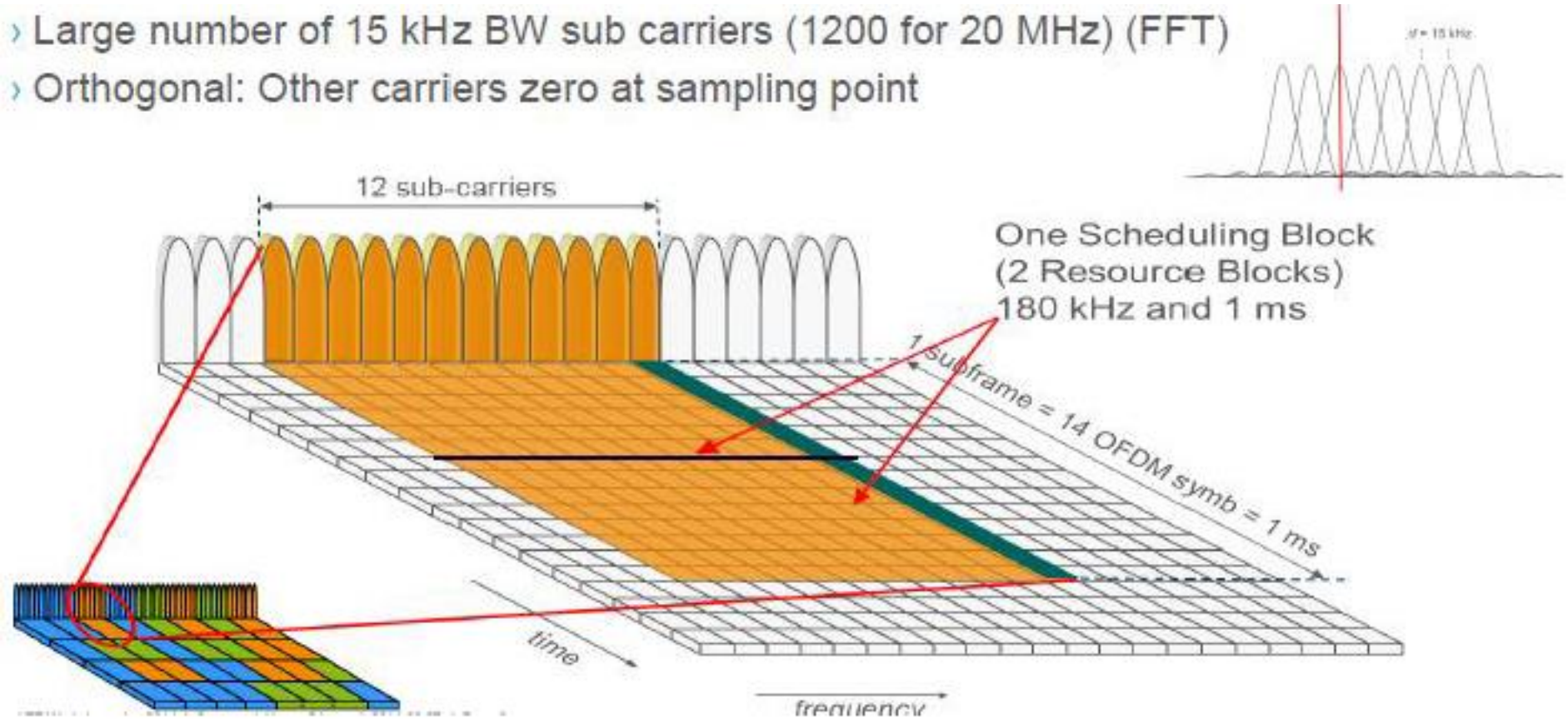
OFDMA es el nombre que recibe la técnica de acceso múltiple basada en OFDM. Las subportadoras se dividen en grupos y el tiempo en ranuras, Formando bloques de recursos que son asignados dinámicamente a los usuarios LTE.

En LTE, un bloque de recursos está formado por 12 subportadoras y un intervalo de 0,5 mS (7 símbolos con prefijo cíclico normal)

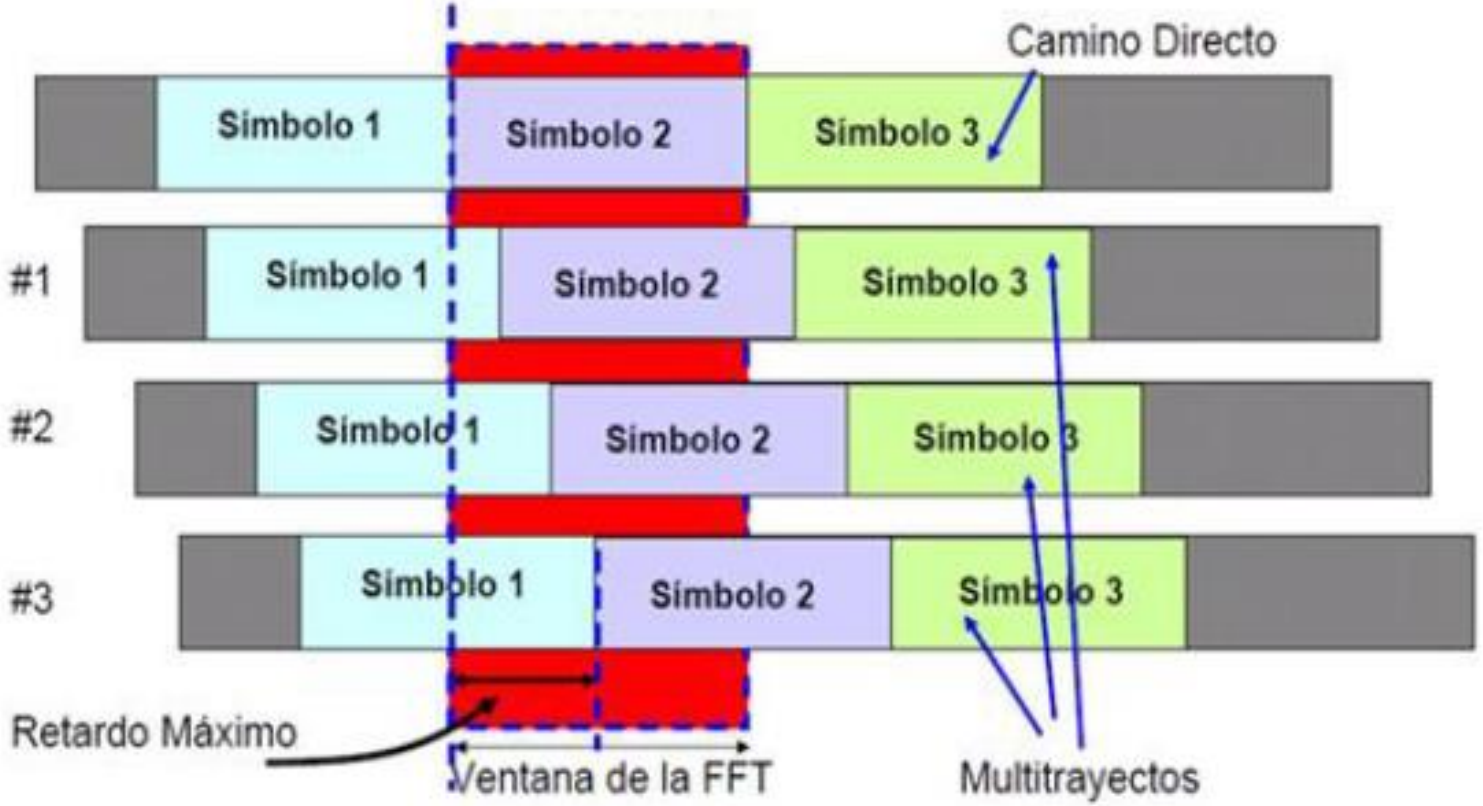


LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

Lo mínimo: 12 subportadoras: 180 Khz / 0,5 mS
Lo máximo: 1200 subportadoras: 20 MHhz
Dos bloques de recursos: un “scheduling Block”

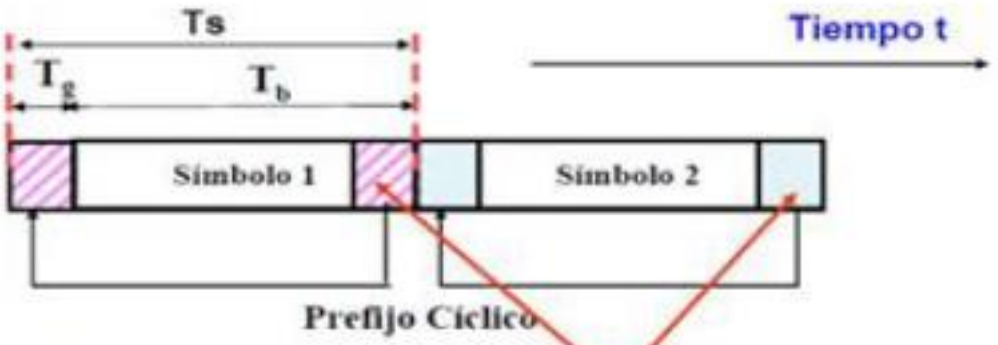


LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

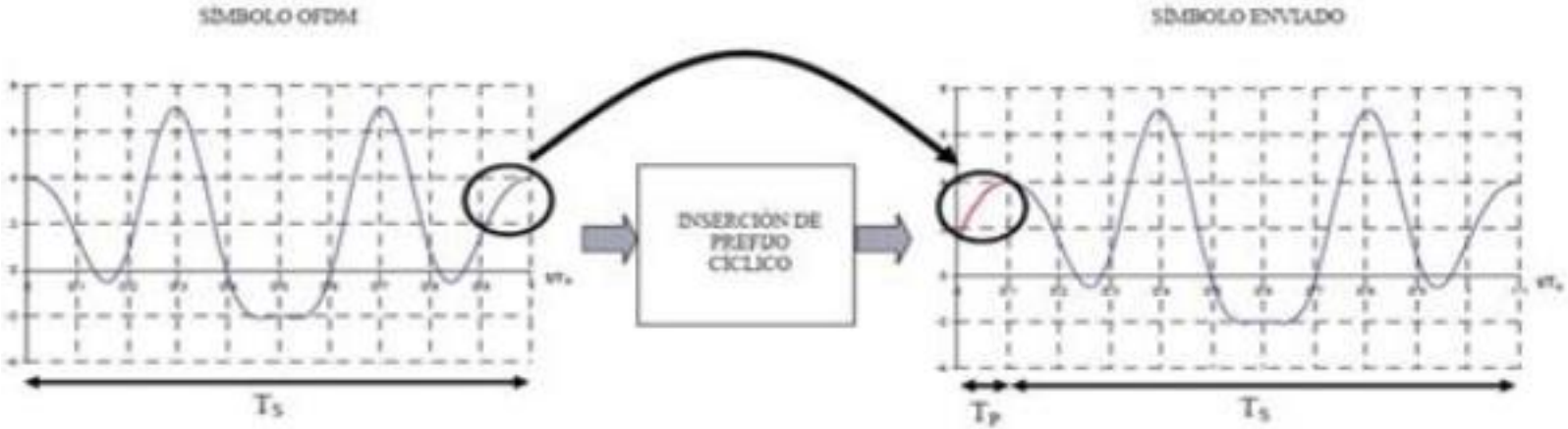


En un canal con multicaminos, hay retardos, se pierde ortogonalidad. Aparece interferencia Intersímbolo (ISI). En la ventana de integración existe información del símbolo 1, además del símbolo 2 .
Una solución es agrandar artificialmente el símbolo, de manera que siempre veamos sólo un símbolo en la ventana de la FFT.
La mayor ISI se produce con el multitrayecto #3 ya que tiene el mayor retardo.
Como se ve, hay una porción del símbolo que no aparece en la ventana de integración (ventana FFT) y corresponde a la última parte del símbolo 2.

LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE



T_g - Intervalo de Guarda
T_b - Tiempo de útil del símbolo OFDM
T_s - Tiempo de Símbolo

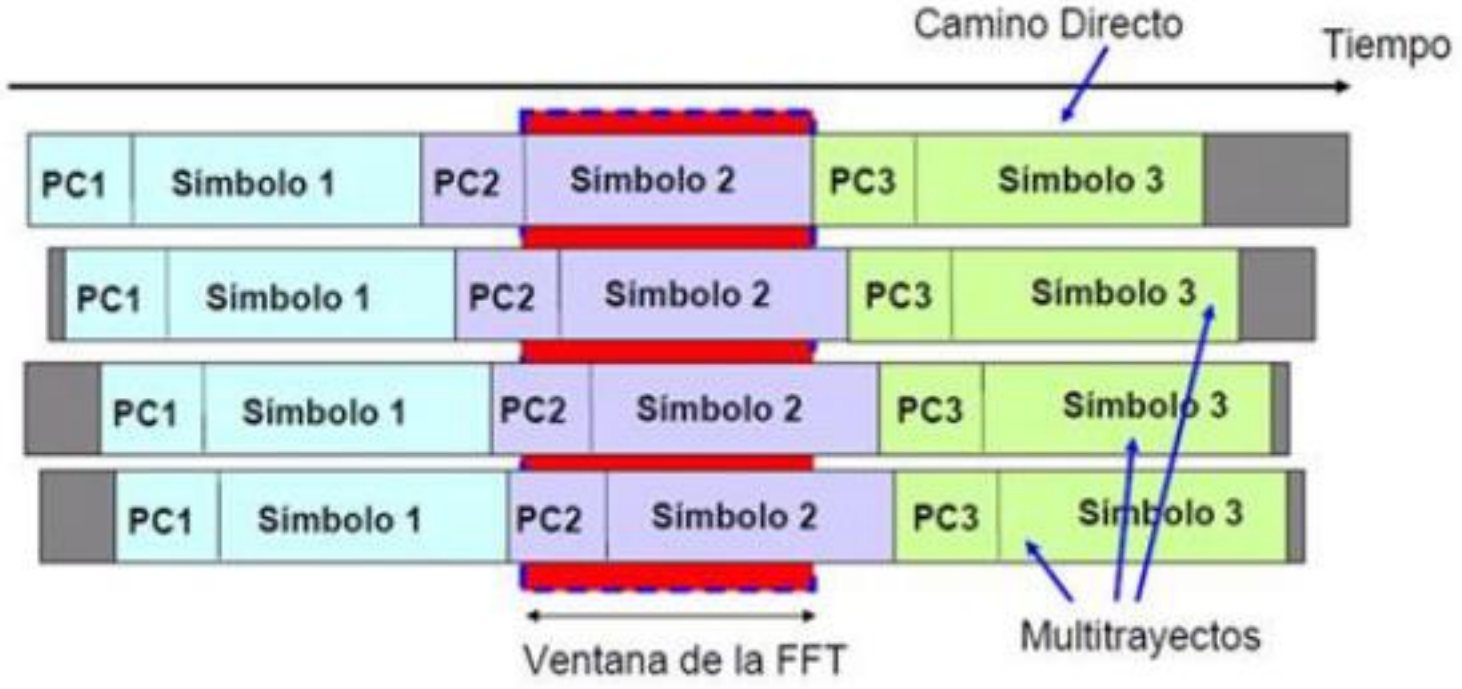


LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

El uso del prefijo cíclico, permite hacer frente a los múltitrayectos.

El principio de extender el símbolo permite eliminar la ISI (evita muestrear otros símbolos y que falte de la muestra una parte del símbolo deseado).

El precio a pagar es una reducción de la eficiencia ya que se envía información redundante (el símbolo se hace mas largo).

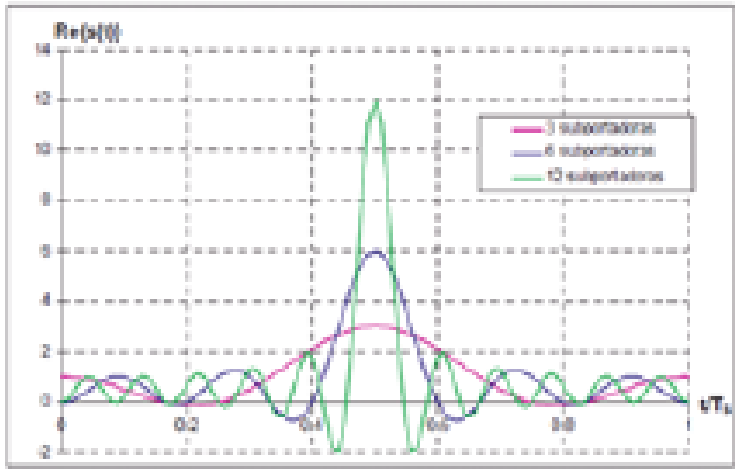


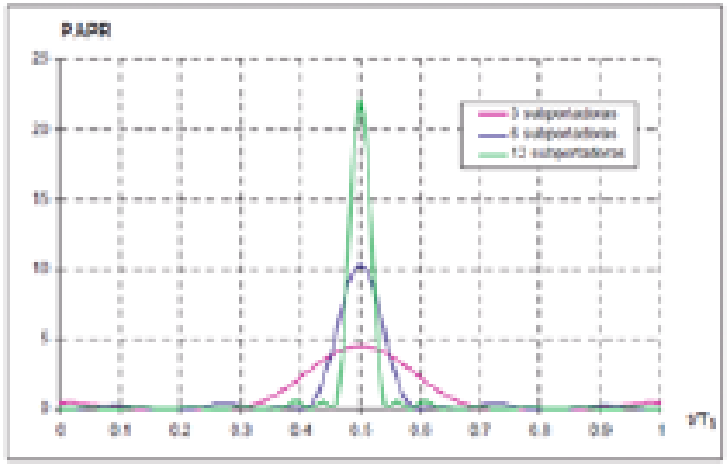
LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

SC-FDMA es utilizada para UP LINK en LTE.

El uso de OFDMA (considerar muchas subportadoras), plantearía un problema de linealidad en los transmisores debido a un alto PAPR (peak to average power ratio),lo cual no es problema para una estación pero si para un terminal en el cual tanto la potencia como el procesamiento, son recursos muy críticos

En la banda asignada, se utiliza solo UNA portadora



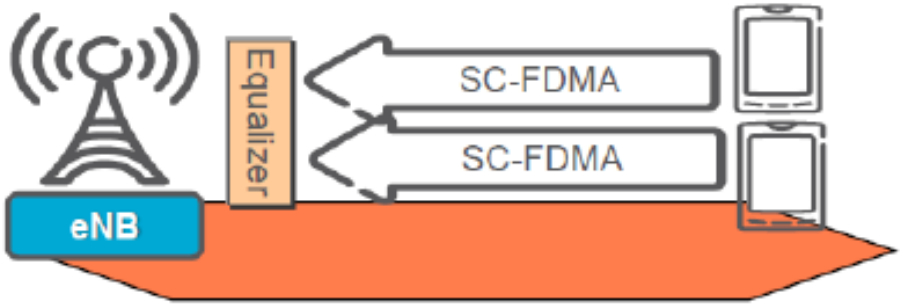


$$PAPR = \frac{|s(t)|^2}{E\left[|s(t)|^2\right]}$$

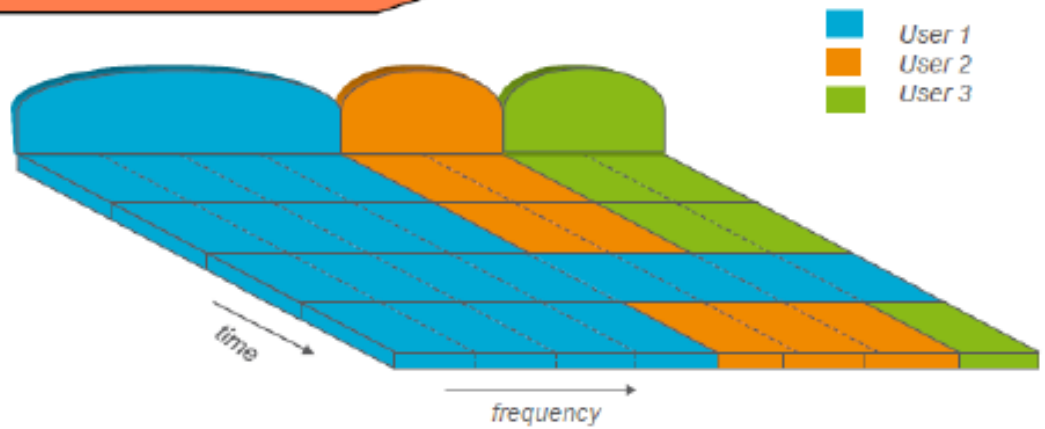
LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

SC-FDMA es utilizada para UP LINK en LTE.

En el UPLINK, el manejo de la potencia y una eventual ecualización en el caso de usar múltiples subportadoras significaría un grave problema de diseño en los terminales. Ello no es problema en un eNB donde la disponibilidad de energía no supone problema.
El uso de una única portadora simplifica el diseño de los terminales



- Low Peak-to-Average Power Ratio
- Similar to OFDMA
  - 15 kHz tones BUT consecutive
  - Same time-domain structure



LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

Separación de portadoras	15 khz (Excepto SFN 7,5Khz)
Duración útil del Símbolo	66,67µs
Duración Prefijo cíclico normal	4,69µs (1 símbolo de cada 7 dura 5,21 µs para redondear 0,5ms)
Duración Prefijo cíclico extendido	16,67 µs (SFN)

Duración trama FDD	10 ms
Duración Subtrama	1ms (14 símbolos)
Duración slot	0,5ms (7 símbolos)
Bloque de recursos	12 subportadoras x 1slot

Ancho de canal [Mhz]	Tamaño FFT/IFFT	Subportadoras Utilizadas	Cantidad de bloques de recursos
1,4	128	72	6
3	256	180	15
5	512	300	25
10	1024	600	50
15	1536	900	75
20	2048	1200	100

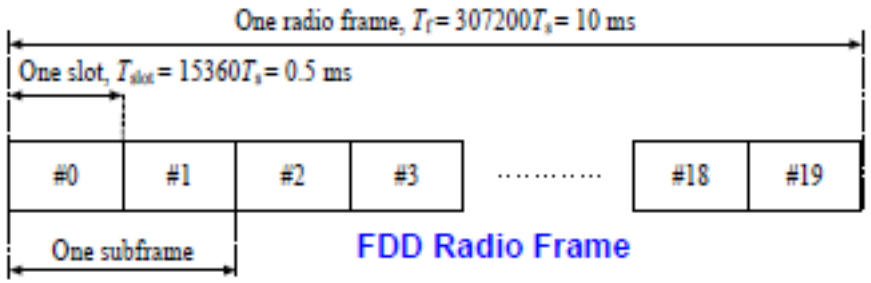
LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

En todo sistema de transmisión, se debe diseñar una trama en la cual se asignan los recursos a cada canal/cliente. La trama se repite ciclicamente.

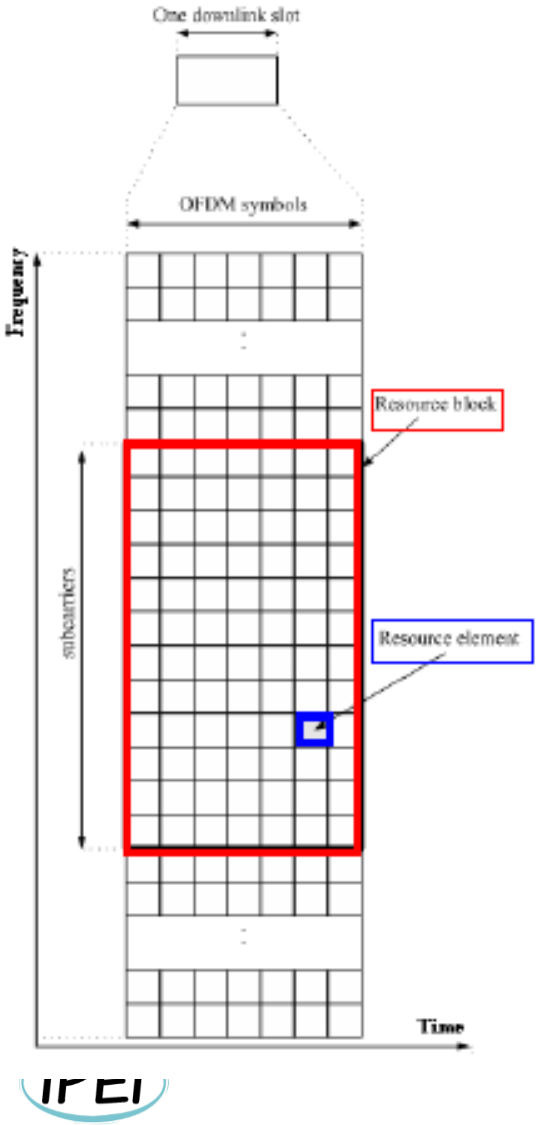
La trama de radio (FDD) dura 10 mS y está dividida en 20 slots de 0,5 mS. Cada slot contiene normalmente 7 símbolos OFDM

Dos slots constituyen un subtrama. Un bloque de recursos es un grupo de 12 portadoras consecutivas, dentro de un slot

Un bloque de recursos es la mínima cantidad de recursos que el sistema puede asignar a un usuario



FDD Radio Frame Structure

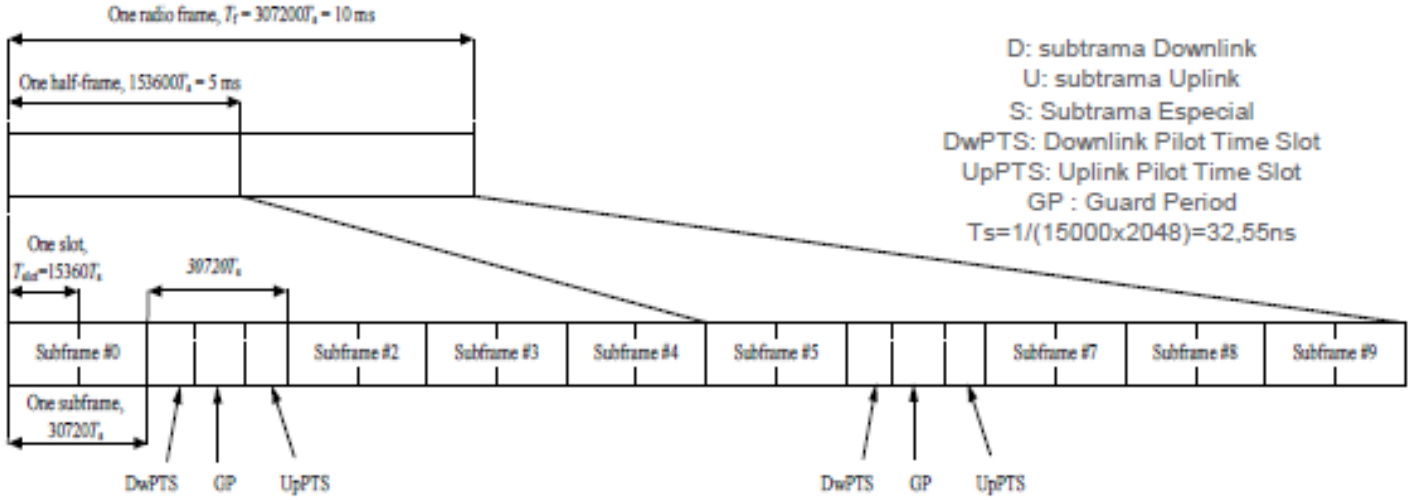


LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

En los sistemas TDD se debe configurar la relación UPLINK / DOWNLINK así como la duración de cada trama (5 o 10 mS), la cual no es fija como en FDD. En TDD hay 10 subtramas.

Configuraciones Downlink-Uplink

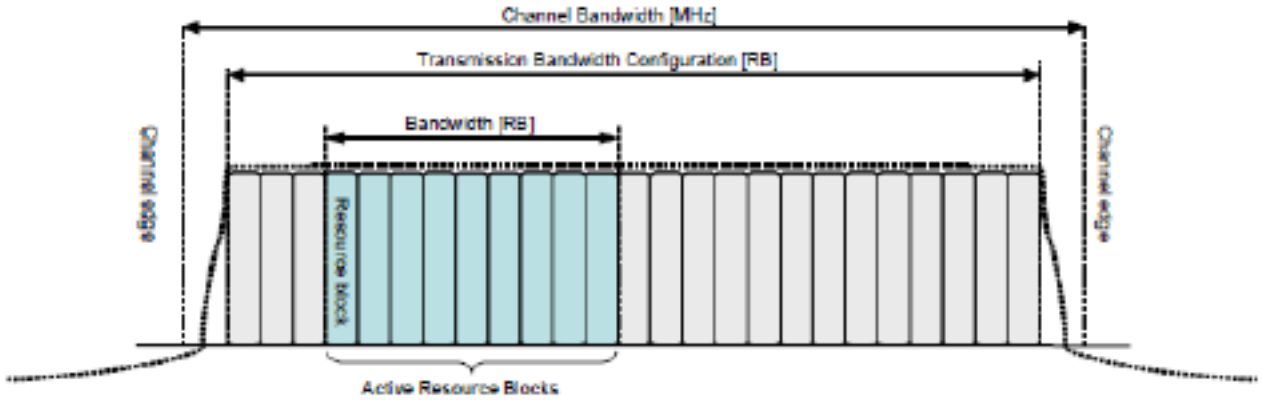
Configuración DL-UL	Periodo del cambio DL - UL	Número de Subtrama									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D



LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

LTE permite despliegues con diferentes anchos de banda

Channel Bandwidth $BW_{Channel}$ [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Number of Resource Blocks (n_{RB})	6	15	25	50	75	100



El menor ancho de banda para despliegues es 6 RB: 1,08 MHz mas guarda: 1,4 MHz
El mayor ancho de banda para despliegues es 100 RB: 18 MHz mas guarda: 20 MHz

DISPOSITIVOS EN LTE

La categoría de un terminal LTE determina las capacidades que tendrá en función de la red. P ej: un terminal Cat 5 soporta MIMO 4 x 4 lo cual permite mayores velocidades que un Cat 2, MIMO 2 x 2

LTE Ue Categories

Classification		LTE					LTE-Advanced		
Ue Category		1	2	3	4	5	6	7	8
Peak Rate Mbps	DL	10	50	100	150	300	300	300	3,000
	UL	5	25	50	50	75	50	100	1,500
RF Bandwidth		20MHz					40MHz		100MHz
DL MIMO		Optional	2x2	2x2	2x2	4x4	2x2 or 4x4	2x2 or 4x4	8x8
UL MIMO		No	No	No	No	No	No	2x2	4x4
64 QAM Support	DL	Yes					Yes		
(QPSK, 16QAM)	UL	No				Yes	No		Yes

DISPOSITIVOS EN 5G

Aspectos a revisar

- Capacidad de Upgrade de los terminales
- Disponibilidad de features en chipset para Premium Tier, High Tier, Middle Tier y Mid-Low Tier
- Disponibilidad de modos en los dispositivos: Solo NSA, con soporte de SA y SA desde el lanzamiento
- Análisis por vendor: Qualcomm, Mediatek, Samsung. Huawei
- Soporte de ***NR Carrier aggregation***, que incluya ambos tipos de bandas (TDD+FDD) tanto en SA como NSA.
- Soporte de ***DSS*** en FDD
- Soporte de ***DSS*** en TDD
- Tener claro si los OEMs habilitaran DSS para cada red individualmente.

Panorama

- All targeted (*) bands are supported by all **chipset** manufacturers in 2020. Support depends on OEMs.
  - n78, n28, n1 and n3 are supported by all OEMs.
  - n7 and n8 supported by most vendors in 2020, the rest will support them in 2021.
  - Push for supporting n20 and n40.
    - n20: Samsung and Huawei will not support it before 2021.
    - n40: Even if supported by major OEMs, some vendors still have no plans to support it. No DSS support.

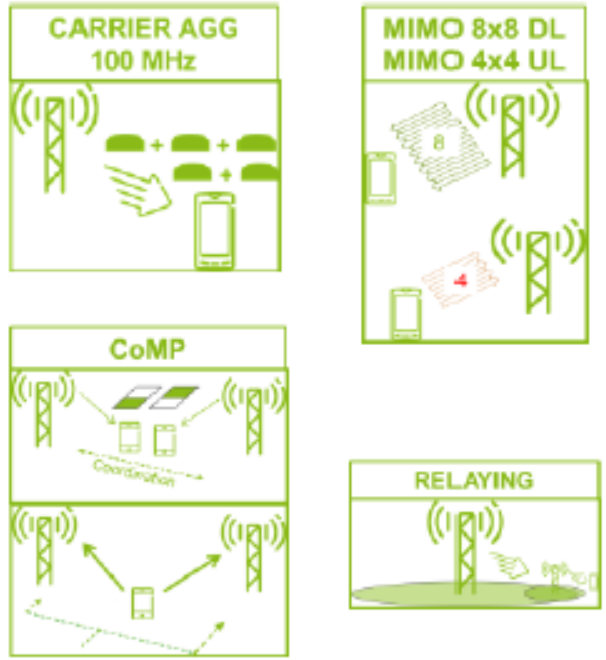
→ If a band is supported in NSA, it is supported in SA as well.

(*) It can vary from one Operator to Other depending on SA deployment date and other strategies

LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

Funcionalidades clave del R10:

Carrier Aggregation
Enhanced multi-antenna support
Improved support for heterogeneous deployments (FeICIC, CoMP)
Relaying
Up to 3 Gbps downlink peak data rate
Up to 1,5 Gbps uplink peak data rate



El foco en LTE Advanced está en la mayor capacidad.
Una de la mejoras de Rel 10 fue justamente proporcionar mayores velocidades a menor costo al mismo tiempo de cumplir los requerimientos de ITU para IMT Advanced

-Picos de datos de hasta 3 Gbps en DL, 1,5 Gbps en UL
- Mayor eficiencia espectral: de 16 bps/Hz en R8 a 30 bps/Hz en R10
-Incremento en el número de usuarios simultáneos activos
-Mejora en la performance en los bordes de celda, ie: para DL 2x2 MIMO, al menos 2,40 bps/Hz/cell

LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

Data Rate Pico Downlink [1]			
Configuración	SISO	MIMO 2x2	MIMO 4x4
Data rate pico [Mb/s]	86,4	172,8	326,4

[1] FDD-20Mhz-64QAM- R=1- Overhead 1 símbolo OFDM por c/RB

Data Rate Pico Uplink [2]			
modulación	QPSK	16QAM	64QAM
Data rate pico [Mb/s]	28,8	57,6	86,4

[2] FDD-20Mhz-UE con 1 solo TX- R=1- Overhead 2 RB

Fuente : 3GPP TR 25.912 tabla 13.1 y 13.1a

Categoría UE	DL Data rate pico [Mb/s]	N° Stream espaciales DL	UL Data rate pico [Mb/s]	N° Stream espaciales UL	Soporte 64QAM UL
1	10	1	5	1	NO
2	50	2	25	1	NO
3	100	2	50	1	NO
4	150	2	50	1	NO
5	300	4	75	1	SI
6 *	300	2 o 4	50	1|,2 o 4	NO
7*	300	2 o 4	100	1 ,2 o 4	NO
8*	3000	8	1500	1, 2 o 4	SI

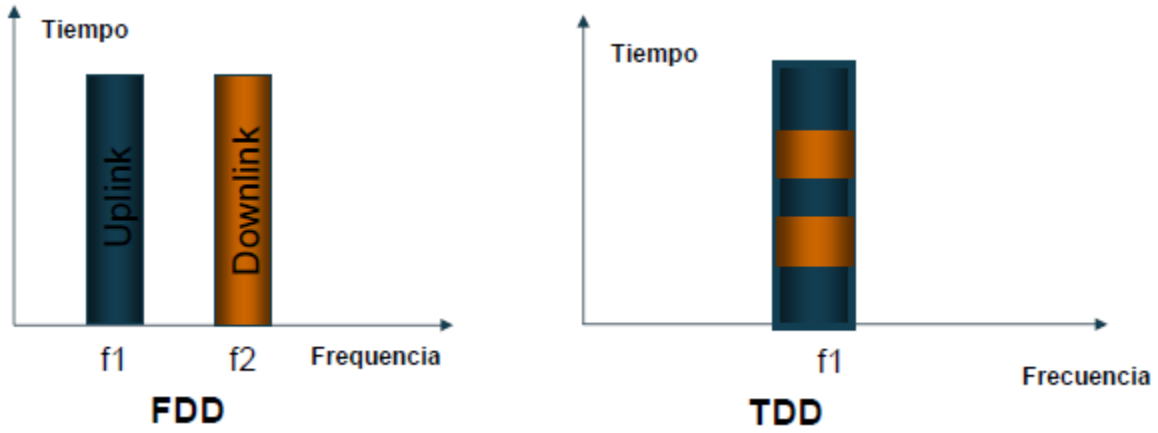
Fuente : 3GPP TR 36.306 tablas 4.1 y 4.2

* Agregadas en Release 10 LTE Advanced

LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

LTE puede desplegarse en distintos anchos de canal: 1,4 – 3 – 5 – 10 – 15 – 20 MHz.

Posibilidad de ambos métodos de dúplex: FDD (Frecuency Division Duplex) y TDD (Time división Duplex).



Las bandas asignadas (*) en Argentina para LTE móvil (4 y 28), son FDD, mientras que la banda 42 (3.5 GHz) es TDD para servicios LTE fijos

(*) Posteriormente se agregó la banda 7.

LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

LTE Band	Uplink (UL) Frec. Baja - Frec.Alta			Downlink (DL) Frec. Baja - Frec.Alta			Duplex
1	1920 MHz	–	1980 MHz	2110 MHz	–	2170 MHz	FDD
2	1850 MHz	–	1910 MHz	1930 MHz	–	1990 MHz	FDD
3	1710 MHz	–	1785 MHz	1805 MHz	–	1880 MHz	FDD
4	1710 MHz	–	1755 MHz	2110 MHz	–	2155 MHz	FDD
5	824 MHz	–	849 MHz	869 MHz	–	894MHz	FDD
6	830 MHz	–	840 MHz	875 MHz	–	885 MHz	FDD
7	2500 MHz	–	2570 MHz	2620 MHz	–	2690 MHz	FDD
8	880 MHz	–	915 MHz	925 MHz	–	960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz	–	1784.9 MHz	1844.9 MHz	–	1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz	–	1770 MHz	2110 MHz	–	2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz	–	1452.9 MHz	1475.9 MHz	–	1500.9 MHz	FDD
12	698 MHz	–	716 MHz	728 MHz	–	746 MHz	FDD
13	777 MHz	–	787 MHz	746 MHz	–	756 MHz	FDD
14	788 MHz	–	798 MHz	758 MHz	–	768 MHz	FDD
...	...			...			...
17	704 MHz	–	716 MHz	734 MHz	–	746 MHz	FDD

LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

LTE Band	Frec. Baja - Frec.Alta			Duplex
33	1900 MHz	–	1920 MHz	TDD
34	2010 MHz	–	2025 MHz	TDD
35	1850 MHz	–	1910 MHz	TDD
36	1930 MHz	–	1990 MHz	TDD
37	1910 MHz	–	1930 MHz	TDD
38	2570 MHz	–	2620 MHz	TDD
39	1880 MHz	–	1920 MHz	TDD
40	2300 MHz	–	2400 MHz	TDD
41	2496 Mhz	-	2690 Mhz	TDD
42	3400 Mhz	-	3600 Mhz	TDD
43	3600 Mhz	-	3800 Mhz	TDD
44	703	-	803	TDD

LTE Fijo

LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

Band number	Uplink		Downlink		Bandwidth	Duplex spacing	Gap	Duplex mode
	Low	High	Low	High				
26	814	849	859	894	35	45	10	FDD
27	807	824	852	869	17	45	28	FDD
28	703	748	758	803	45	55	10	FDD
44	703	803	703	803	100	0	0	TDD

LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

3G AMERICAS BAND (B10): 60+60 MHZ

10	3G Americas	UL: 1710 – 1770 / DL: 2110 – 2170

AWS BAND (B4): 45+45 MHZ

4	AWS	UL: 1710 - 1755 / DL: 2110 - 2155

APT 700 BAND (B28): 45+45 MHZ

28	APT 700 LTE	UL: 703 – 748 / DL: 758 – 803

ARGENTINA

- Auction scheduled for 31st October: new 180 MHz
- AWS Band 1.7/2.1 (B4): 45+45 MHz
- APT 700 Band (B28): 45+45 MHz

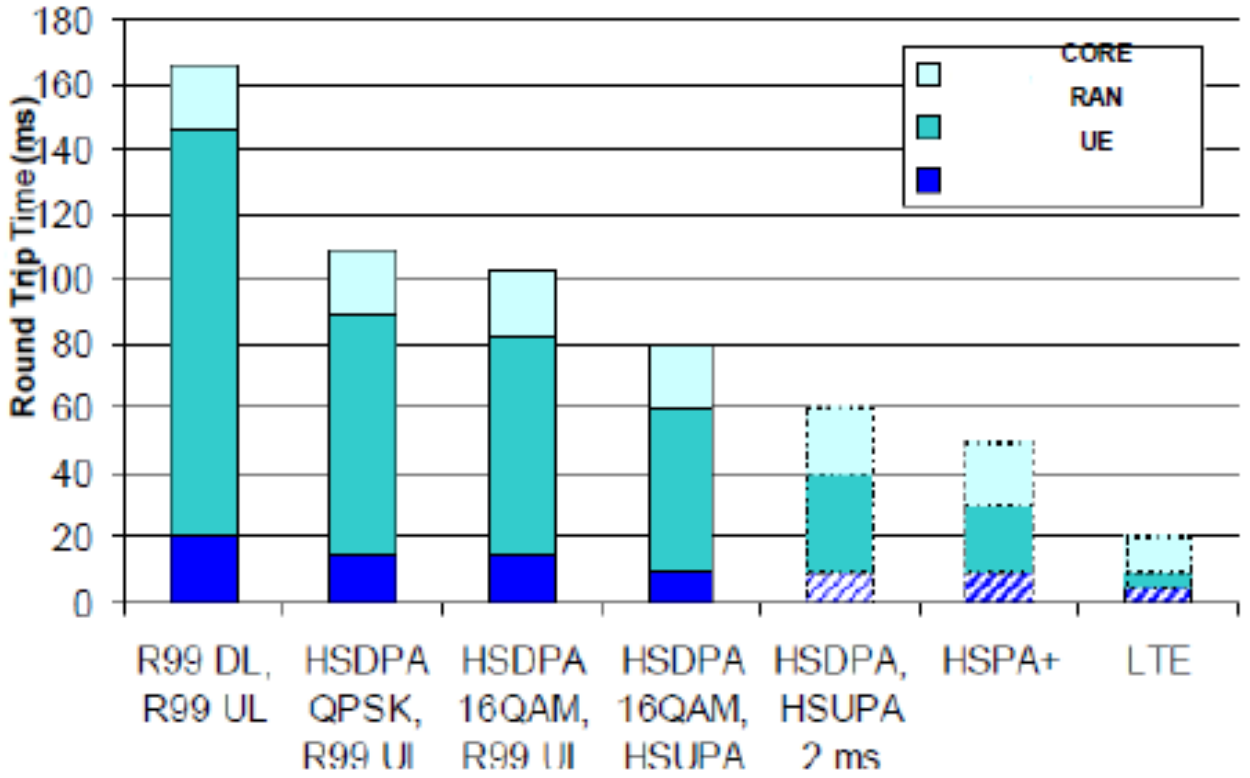
	AWS	APT700
Existing	15+15	10+10
Existing	10+10	15+15
Existing	10+10	10+10
New	10+10	10+10

Tres de las cuatros bandas fueron otorgadas a las Operadoras Movistar, Claro y Personal, mientras que la cuarta quedó en suspenso, siendo luego otorgada a Nextel.

Para el caso de 5G, no se ha anunciado aun subasta. ENACOM patrocinó una demo de 5G en marzo 2021.

LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

Además del throughtput, la latencia (retardo) contribuye de manera importante en la experiencia del usuario.
Las especificaciones de 3GPP para LTE indican latencia < 5 mS en el plano de usuario y < 100 mS en el plano de control .



Fuente: Latency in Broad-band Mobile Networks-Vodafone Group Networks Spain

LA INTERFAZ DE AIRE EN LTE

Downlink *

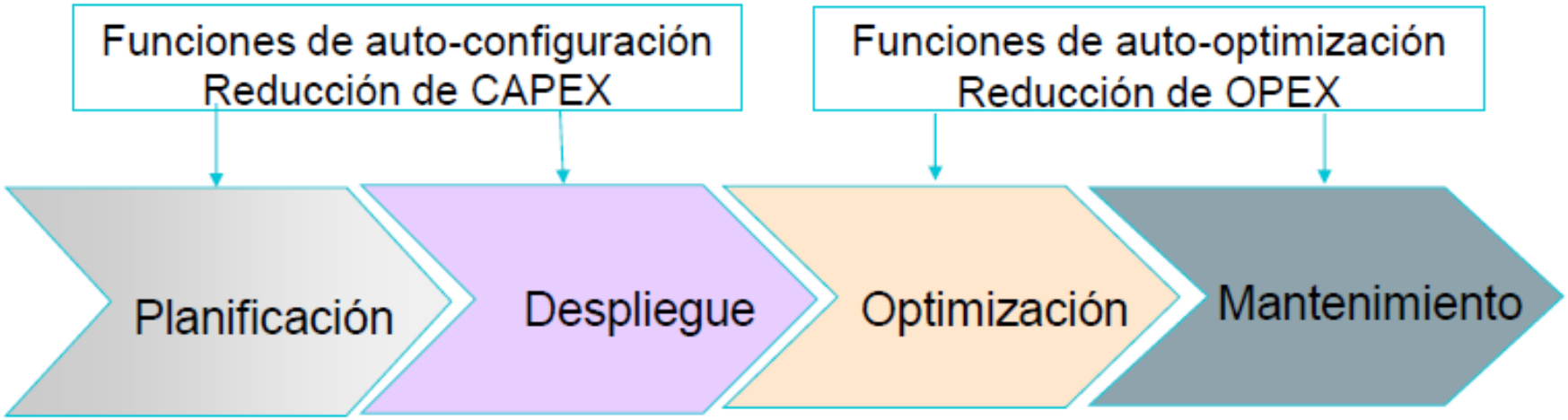
500m distancia entre sitios	Eficiencia espectral		Trouhgput medio por usuario		Trouhgput por usuario En borde de celda	
	[Bps/Hz/Cell]	xUTRA	[bps/Hz/User]	xUTRA	[bps/Hz/User]	xUTRA
UTRA Baseline 1x2	0,53	x1	0,05	x1	0,02	x1
E-UTRA 2x2 SU-MIMO	1,69	x3,2	0,17	x3,2	0,05	x2,7
E-UTRA 4x4 SU-MIMO	2,67	x5	0,19	x5	0,05	x4,4

Uplink *

500m distancia entre sitios	Eficiencia espectral		Trouhgput medio por usuario		Trouhgput por usuario En borde de celda	
	[Bps/Hz/Cell]	xUTRA	[bps/Hz/User]	xUTRA	[bps/Hz/User]	xUTRA
UTRA Baseline 1x2	0,332	x1	0,033	x1	0,009	x1
E-UTRA 1x2	0,735	x2,2	0,073	x2,2	0,024	x2,5
E-UTRA 2x2 SU-MIMO	0, 776	X2,3	0,76	X2,3	0,01	x1,1

SON

- SON significa Self Organizing Networks
- Es un conjunto de funcionalidades pensadas para reducir, a través de tareas automatizadas, los costos de planificación puesta en marcha y operación de una red



SON

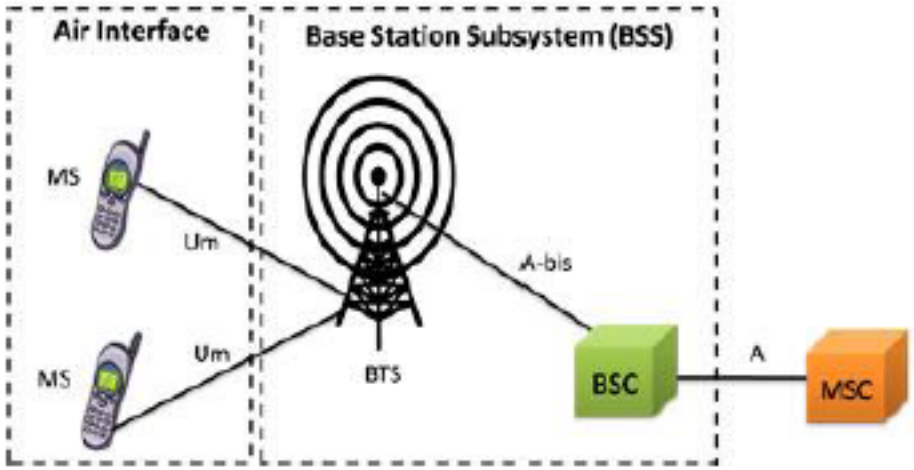
Funciones de auto-configuración

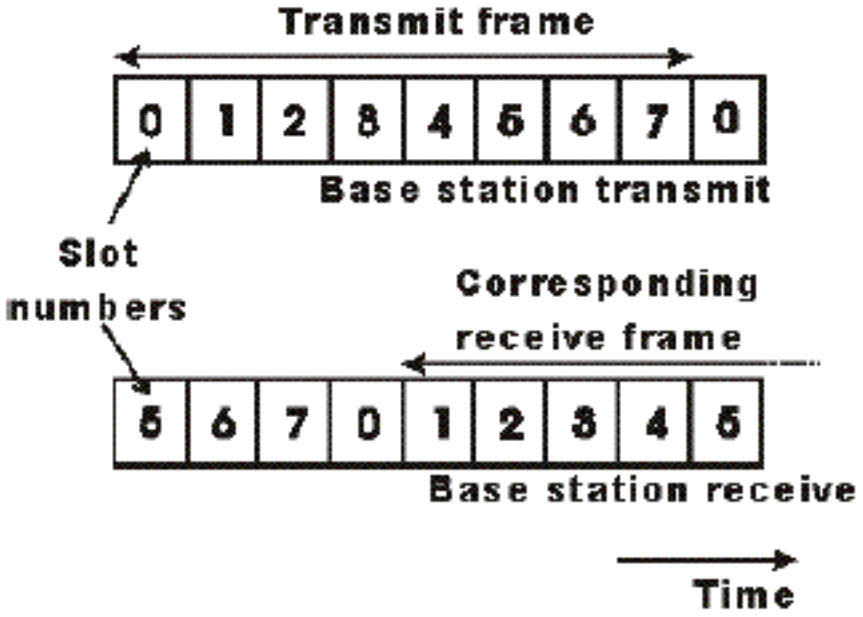
- Creación automática de asociaciones lógicas con la red y establecimiento de un canal seguro con servidores de red
- Download automático de archivo de configuración y última versión de SW
- Buscan reducir la intervención humana en la introducción de un nuevo elemento en la red
- Auto-test y puesta en actividad

Funciones de auto-optimización

- Buscan reducir la intervención humana en las tareas de optimización y mantenimiento de la red
- Actualización dinámica de nodos vecinos
- Optimización de handover
- Optimización cobertura y capacidad
- Control de interferencia entre celdas
- Ahorro de energía
- Detección autónoma de salida de servicio de un nodo y compensación de cobertura

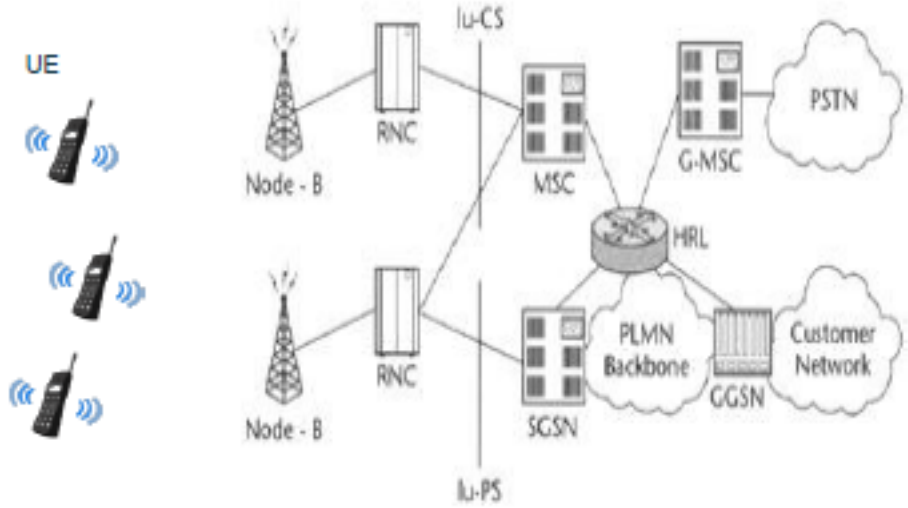
LTE- COMPARACIÓN CON TDMA-GSM

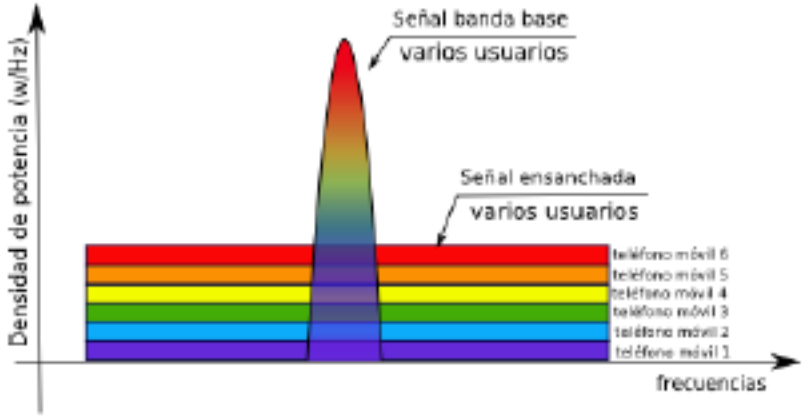




Ancho de banda por portadora	200 Khz
Duración de trama	4,615 ms
Bit rate total trama	271 Kb/s
Bit rate codec de voz por slot	13 Kb/s

LTE- COMPARACIÓN CON UMTS





Metodo de acceso múltiple	WCDMA (Wide band CDMA)
Ancho de banda por portadora	5 Mhz
chip rate	3,84Mb/s
Bit rate usuario (Rel 99)	384Kb/s
N° Scrambling Code	512

INTERFAZ DE AIRE NR

DE OFDM A F-OFDM (DE LTE A NR)

El concepto de OFDM, sigue siendo válido. Entonces, ¿Qué cambia?
Se trata de una mejora en curva de respuesta de los filtros, lo que permite reducir el ancho de banda de las guardas y con ello mejorar la eficiencia de uso del espectro

Espaciam Subcarrier	Grado de utilización de las frecuencias (FR1)					
	15 MHz	20 MHz	40 MHz	60 MHz	80 MHz	160 MHz
15 KHz	94,8 %	95,4 %				
30 KHz		91,8 %	95,4 %	97,2 %	97,65 %	98,28 %
60 KHz						97,2 %

La especificación 3GPP R15 admite una mayor utilización del espectro. La eficiencia espectral se define como la relación entre el ancho de banda de transmisión y el ancho de banda del canal. La función F-OFDM se utiliza para soportar la utilización máxima del espectro acordada por la especificación.

Cyclic Prefix OFDM
Direct Fourier Transform spread OFDM

MULTIPLES TECNOLOGÍAS DE ACCESO

Basadas en OFDMA

DL → Cyclic Prefix OFDM

UL → Cyclic Prefix OFDM
Direct Fourier Transform spread OFDM
DFT-S-OFDM (similar a SC FDMA, reducer PAPR)

Otras (no OFDMA) → NOMA, SCMA, PDMA, MUSA

MUSA: Multiuser shared access
SCMA: Sparse Code Multiple Access
NOMA: Non Orthogonal Multiple Access
PDMA: Pattern division multiple access

Para mMTC ,5G usará accesos multiples no ortogonales también , aumentando la cantidad de accesos de usuarios

Non Orthogonal Multiple Access (NOMA)
pattern division multiple access (PDMA)

SUBPORTAFDORAS EN 5G

Numerología - Espaciado de Subcarrier

En comparación con la numerología LTE (espaciado de subportadoras y longitud de símbolo), la mayor diferencia es que NR admite diferentes espaciados de subportadoras (en LTE solo hay un tipo de espaciado de subportadoras, 15 Khz).

Los tipos de numerología NR se resumen en TS 38.211.

Cada numerología suele etiquetarse con un índice “μ”.
μ = 0 representa 15 kHz, que es lo mismo que LTE. El espaciado entre subportadoras μ, se deriva del valor para μ = 0.

A medida que aumenta μ , la cantidad de slots por subtrama aumenta consiguientemente

μ	$\Delta f = 2^{\mu}.15$ ¨[KHz]	Prefijo Cíclico
0	15	Normal
1	30	Normal
2	60	Normal, Extended
3	120	Normal
4	240	Normal

INTERFAZ DE AIRE FELXIBLE-NUMEROLOGÍA

Con F-OFDM, la trama sigue siendo de 10 mS
Con F-OFDM, la subtrama sigue siendo de 1 mS

pero

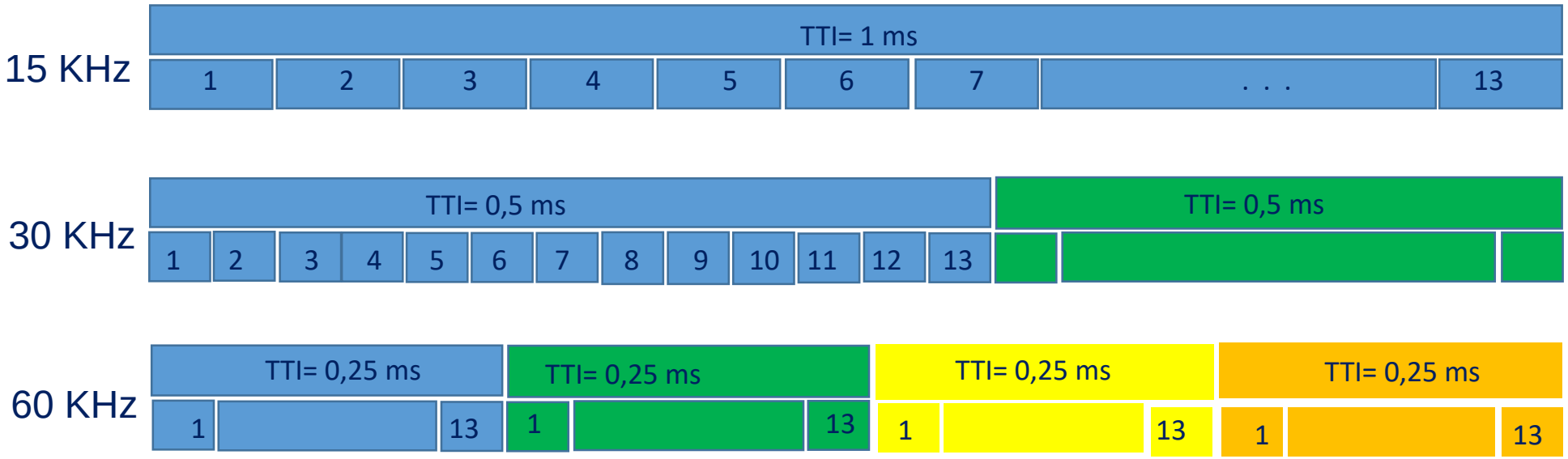
La cantidad de slots por trama y subtrama depende del índice “μ”

CANTIDAD DE SLOTS POR TRAMA VARIABLE
DURACIÓN DE SLOTS VARIBALE

La cantidad de símbolos por slots fija

CANTIDAD DE SÍMBOLO POR POR TRAMA VARIABLE
DURACIÓN DE SÍMBOLO VARIABLE

INTERFAZ DE AIRE FLEXIBLE-NUMEROLOGÍA



El slot es el ciclo de scheduling, osea TTI
La cantidad de slots (símbolos) por subtrama depende del índice índice “μ”

TTI: Transmission Time Interval

Analizar la longitud del símbolo, la relación con la energía, la distancia, y la numerología

ESTRUCTURA DEL SLOT

LTE - TERMINOLOGÍA

3GPP define la siguiente estructura

Tipo 1: Todos los símbolos son downlink

Tipo 2: Todos los símbolos son uplink

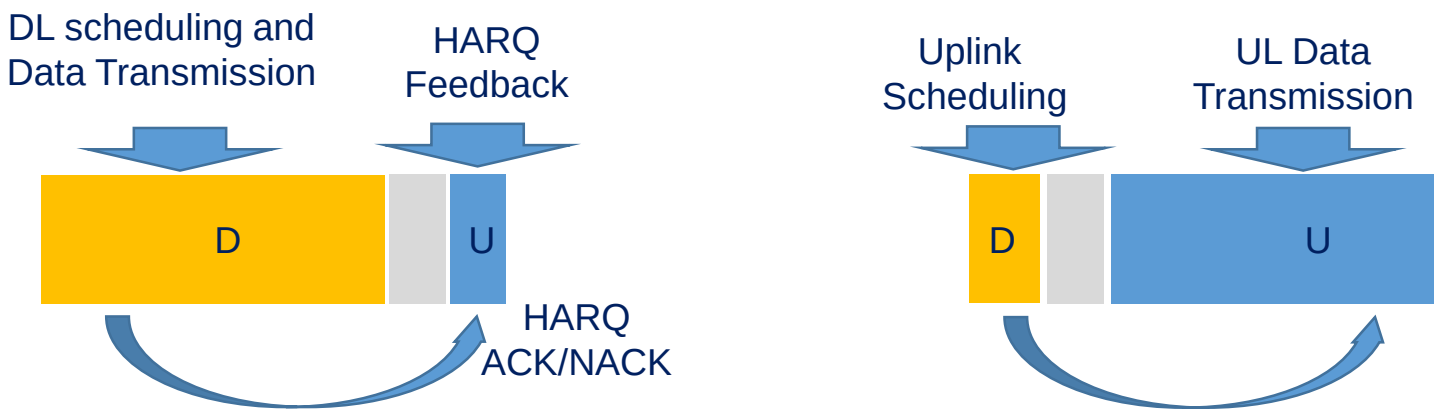
Tipo 3: Todos los símbolos son flexibles

Tipo 4: Slots mezclados, conteniendo al menos un símbolo DL y al menos uno UL, los demás pueden ser flexibles

- Asignación de recursos flexibles para cada símbolo
- Hay mayor variedad de posibles configuraciones
- El Scheduling TTI pasa a ser el slot!!!

Analizar que implicancia tiene el TTI sobre el througput
¿Qué ventaja práctica tiene reducir el TTI?

SELF-CONTAINED SLOT

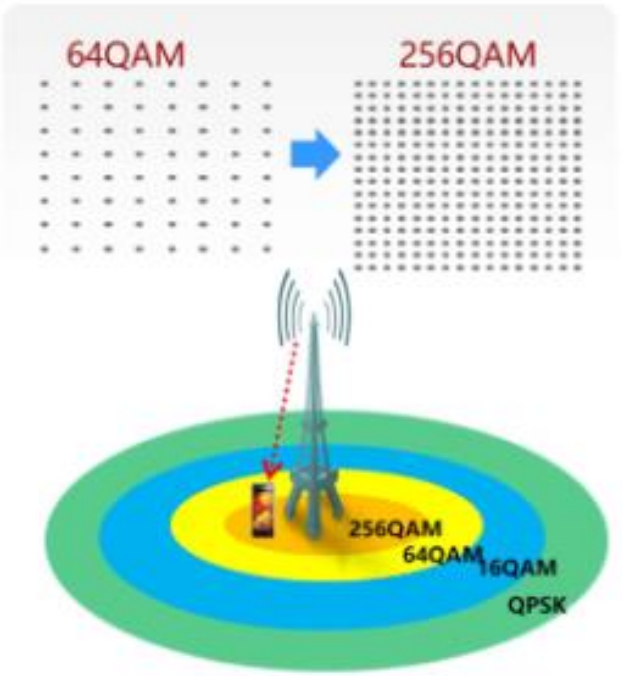


¿Por qué se necesita ese feedback? ¿Qué se busca con estos mecanismos?

Dos posibles casos de uso en los cuales se podría implementar el concepto de self-contained slot
GP entre Uplink y Downlink es muy breve.

¿Por qué estos mecanismos no se implementaban en LTE?

MAYOR EFICIENCIA ESPECTRAL



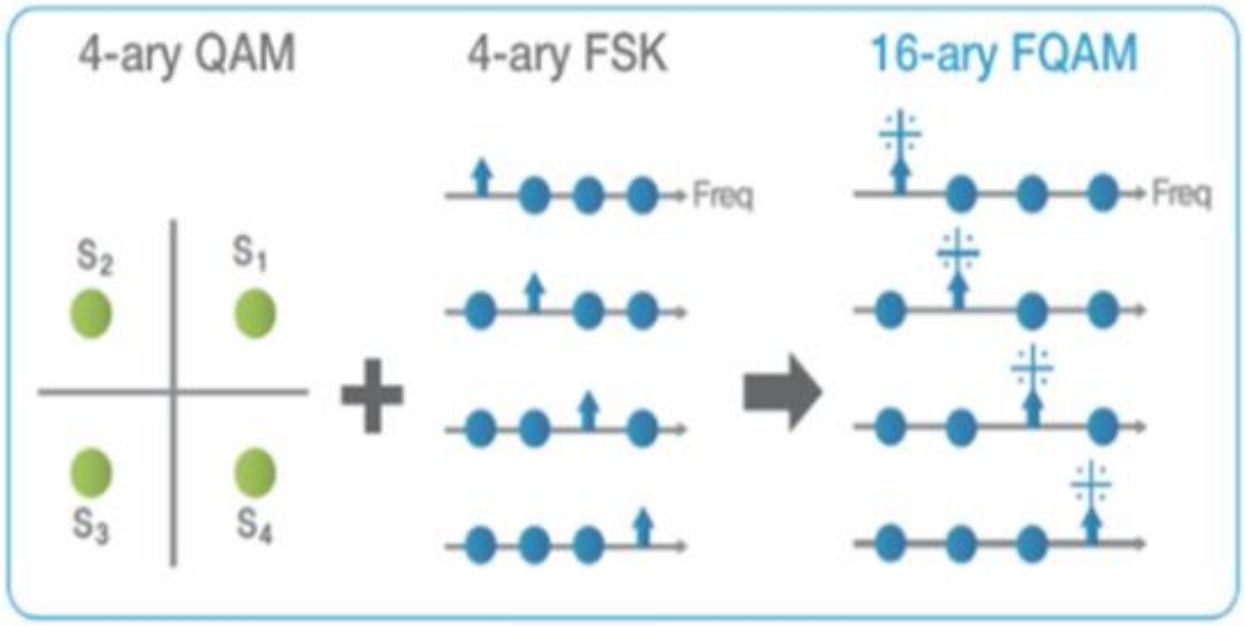
	LTE	5G
UPINK	QPSK 16QAM 64QAM	QPSK 16QAM 64QAM 256QAM
DOWN LINK	QPSK 16QAM 64QAM 256QAM	QPSK 16QAM 64QAM 256QAM 1024QAM

- Compatibilidad con la modulación de LTE
- Índices de modulación mayor
- 1024QAM se introduce posteriormente a R15

NUEVOS ESQUEMAS DE MODULACIÓN EN ANÁLISIS

QAM
(amplitud y fase)

FQAM
(frecuencia, amplitud y fase)



CODIFICACIÓN DEL CANAL-REDUNDANCIA Vs ERRORES

- eMBB implica velocidades sin precedentes. Como conciliar la robustez frente a errores con la velocidad?
- Conforme aumenta el índice “μ”, la longitud de bit se acorta: latencia Vs errores

Selección del método de codificación del canal

Performance: Capacidad de corrección de los errores, y tasa de codificación resultante

Eficiencia: complejidad, consumo de potencia (y cómputo!!!) FPGAs, etc

Flexibilidad: Longitud del codificador, soporte de IR-HARQ

- Turbo Code:
  Buena performance, pero baja eficiencia para alta velocidad

- LDPC (Low Density Parity Check Code) para canales de eMBB
  Baja complejidad, bueno para altas velocidades (procesamiento paralelo)

- Polar Code for Control Channel
  Buena performance para bloques de datos pequeños

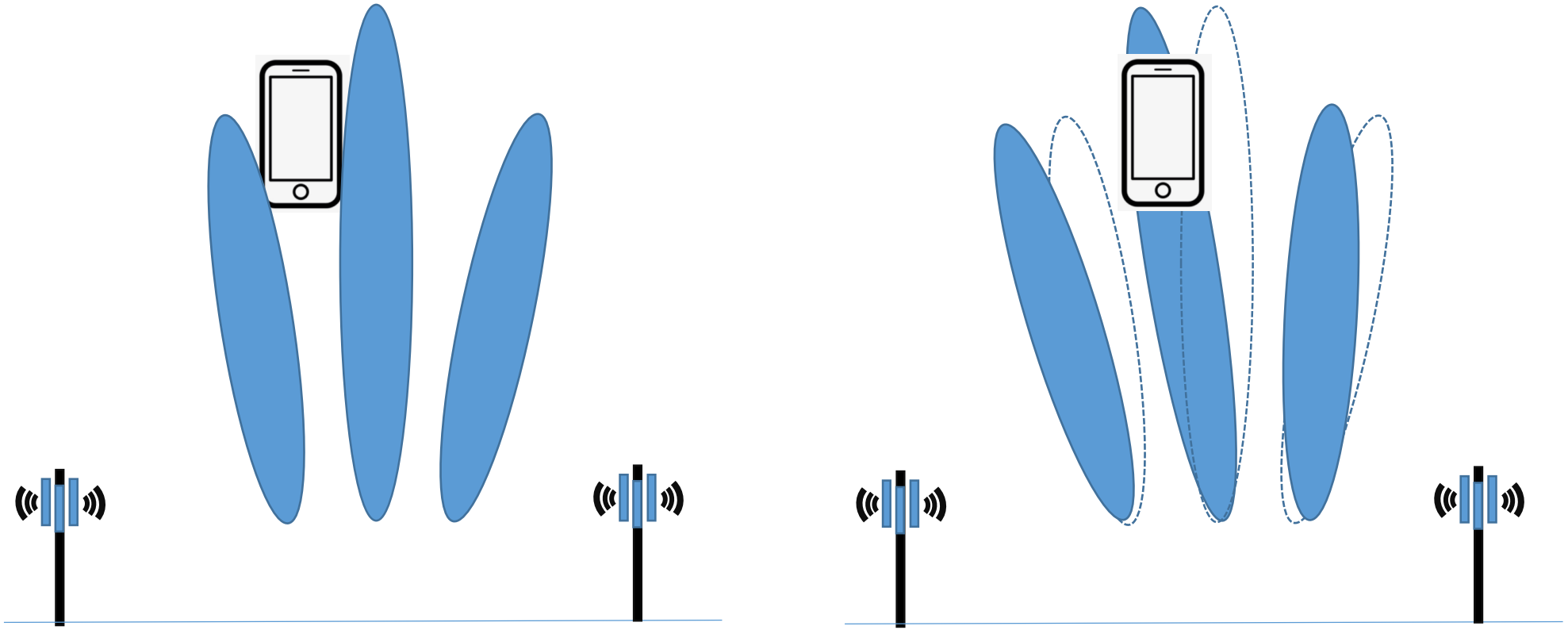
Para mMTC y uRLLC, Channel Coding no está listo aún

CODIFICACIÓN DEL CANAL-REDUNDANCIA Vs ERRORES

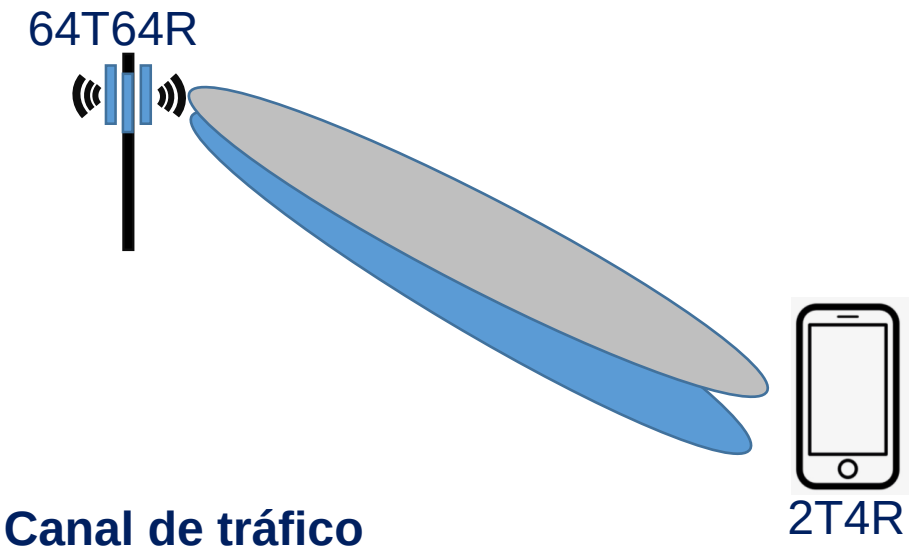
	TURBO	LDPC	POLAR
Low speed Performance	✗	✗	✓
Low speed Efficiency	✗	✗	✓
High speed Performance	✓	✓	✗
High speed Efficiency	✗ ✗	✓	✗

MASSIVE MIMO BEAMFORMING

Massive MIMO, con array de múltiples antenas permite mejorar la cobertura
Beam forming con lóbulos mas angostos y mayor concentración de energía, reemplazan los lóbulos tradicionales.
Se ajusta el peso, mayor ganancia



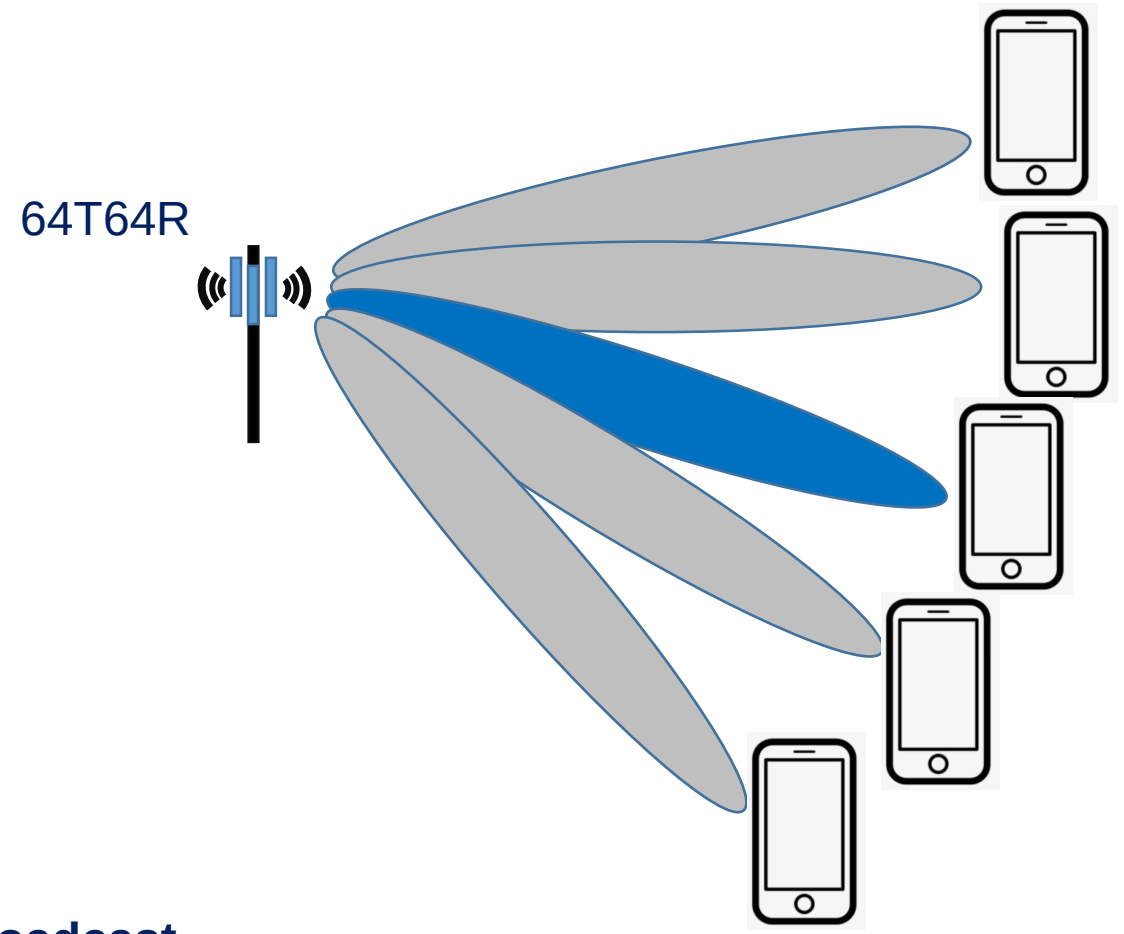
GANANCIA EN NR USANDO MMIMO



Canal de tráfico

Lóbulo angosto alta ganancia

Ajuste dinámico de la dirección del lóbulo



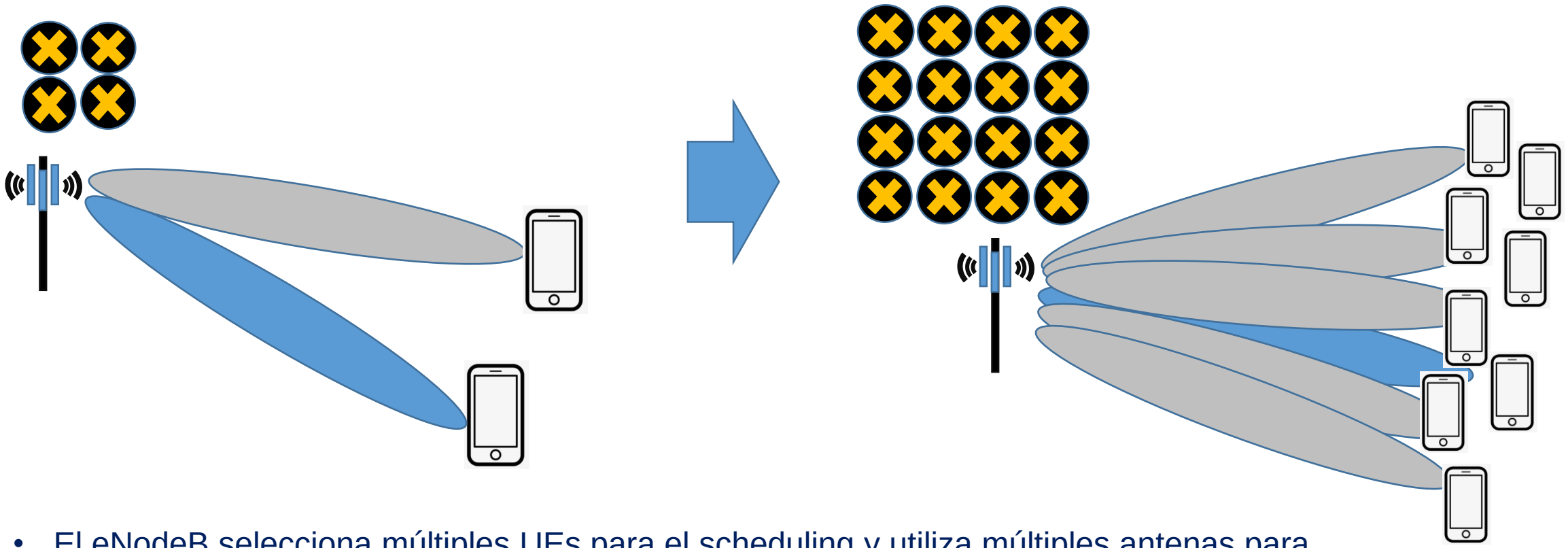
Canal de broadcast

Lóbulo angosto alta ganancia

Escaneo de lóbulo con direcciones prestablecidas

UE realiza scaneo de lóbulo para encontrar el de mayor ganancia

GANANCIA EN MMIMO- MULTIUSER MIMO

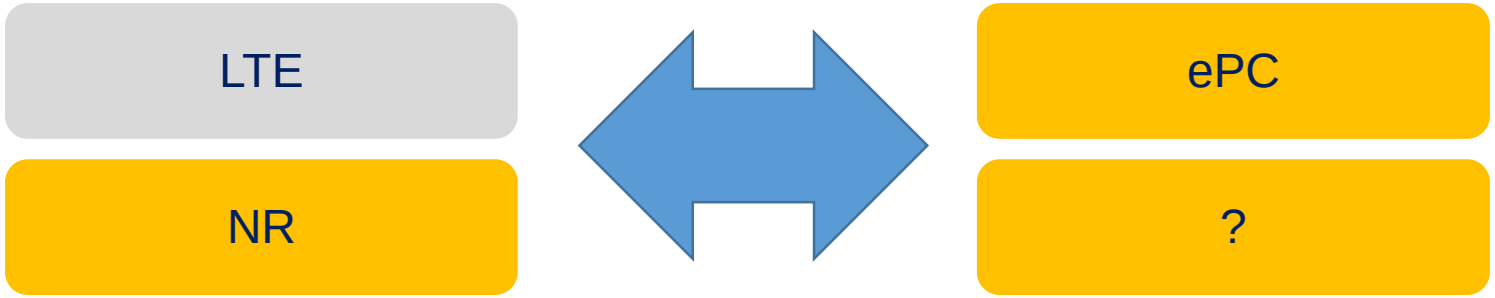


- El eNodeB selecciona múltiples UEs para el scheduling y utiliza múltiples antenas para transmitir / recibir datos multi-stream desde/hacia diferentes UEs
- Diferentes UEs reciben/ transmiten diferentes streams de datos para implementar transmisión de datos concurrentes

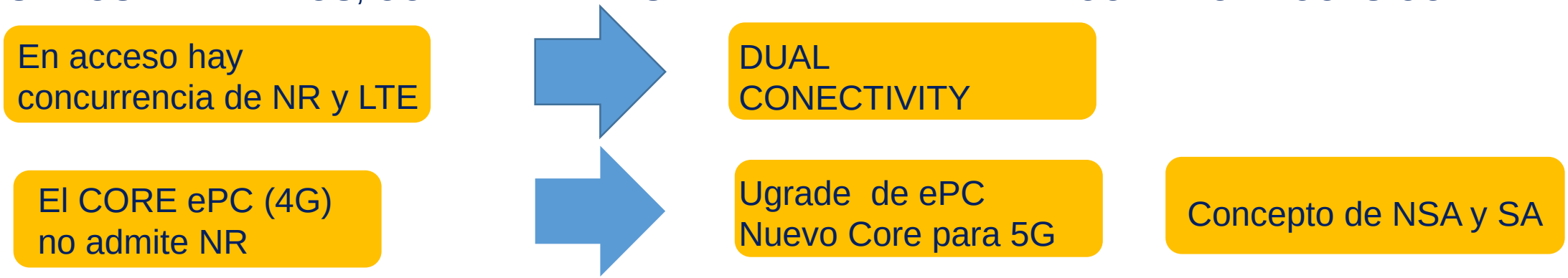
Discutir 3D beamforming

CePETel
Sindicato de los Profesionales de las Telecomunicaciones
SECRETARÍA TÉCNICA
IPEI
Prof. José Luis Pellegrino

CONSIDERACIONES DE ALTO NIVEL SOBRE LA CONEXIÓN AL CORE



DESAFÍOS INMEDIATOS, CONLLEVAN MAS FLEXIBILIDAD DE INTERCONEXIÓN ACCES-CORE



A diferencia de 4G, en las redes 5G, el acceso y el Core pueden evolucionar independientemente. Las estaciones 4G y 5G se conectan a cada Core respectivamente, sin embargo, con las adecuaciones necesarias, es posible utilizar “Dual Conectivity” para mejorar los tiempos de despliegue y utilizar infraestructura pre existente, permitiendo de ese modo una evolución mas suave.
En 5G aparecen además los conecptos de NSA y SA asociados a lo anterior

CONSIDERACIONES DE ALTO NIVEL SOBRE LA CONEXIÓN AL CORE

SA , podría considerarse como el modelo objetivo si no existiera LTE, sin embargo la convivencia con LTE implica retos

NSA, se apoya sobre el ePC pre-existente para lo cual, para poder interconectarse con NR se requieren adecuaciones (ePC+)

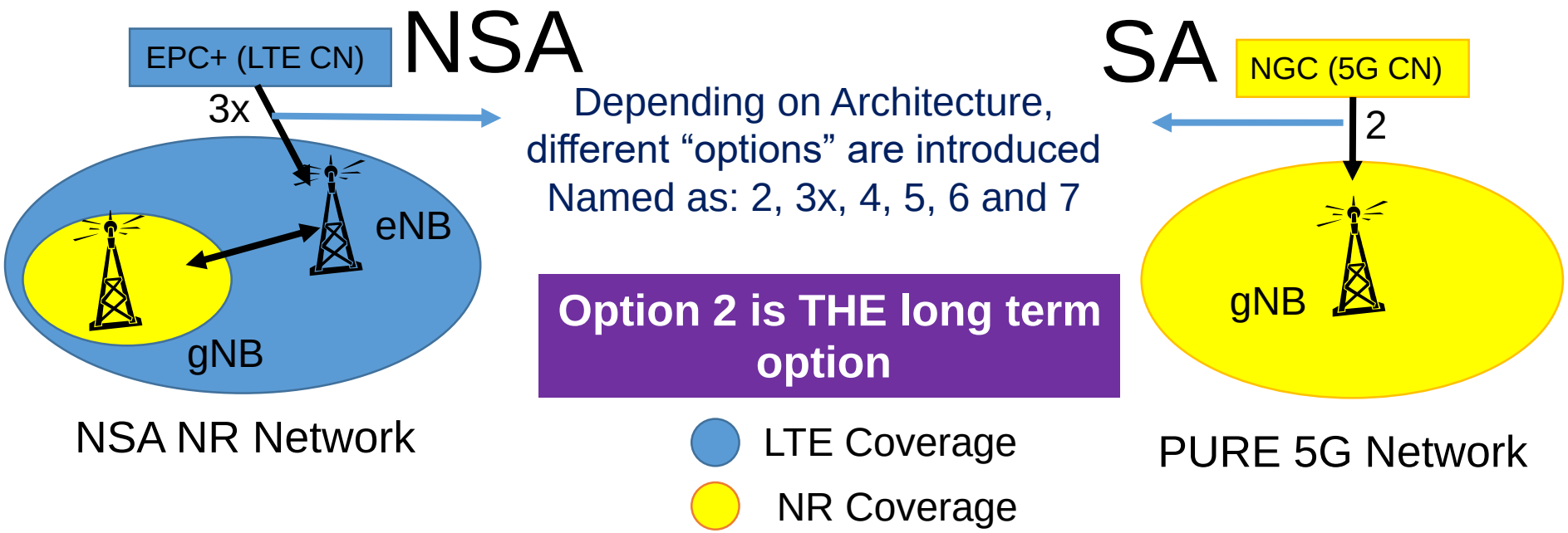
La interconexión entre NR y LTE con el ePC plantea alternativas (options).
No olvidar que existe un plano de usuario y otro de control

CONSIDERACIONES DE ALTO NIVEL SOBRE LA CONEXIÓN AL CORE

NR NSA: interim set of approved specifications end of December 2017 (ASN.1 due in March 2018). This first set defines 5G New Radio (NR) in Non- Standalone operation (NSA) enabling 5G NR deployments using existing 4G systems (LTE EUTRAN and EPC) as leverage.

NR SA: The specifications of 5G NR in Standalone operation are due for completion in June 2018 (ASN.1 due in September 2018), complemented by the complete set of specifications of the new 5G Core Network – hence the full 5G System.

CONSIDERACIONES DE ALTO NIVEL SOBRE LA CONEXIÓN AL CORE



NSA: 5G networks will be supported by existing 4G infrastructure.

The 5G Standalone (SA) network and device standard is still under review. The advantage of Standalone is simplification and improved efficiency, but availability date is its weakeness

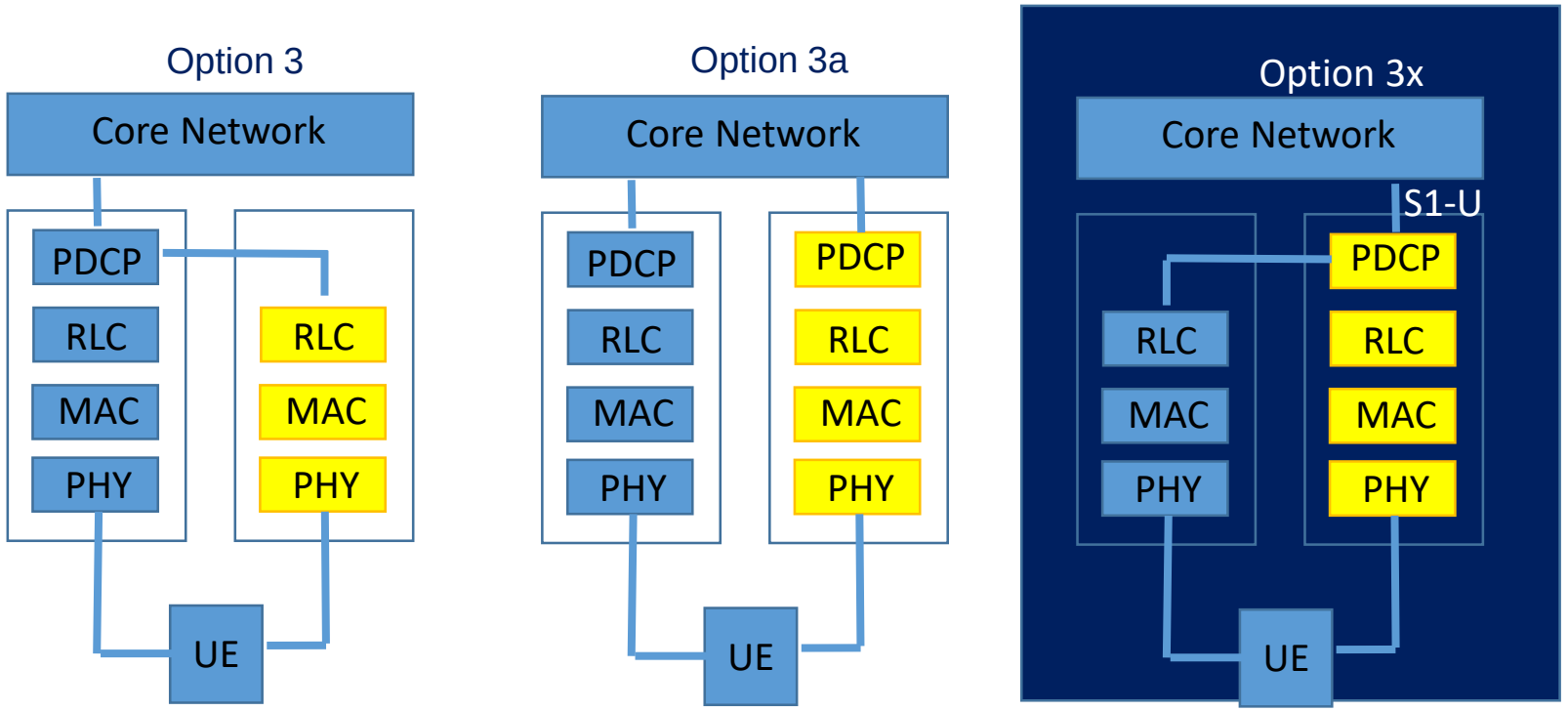
NR: Frequency Range 1 overlaps and extends 4G LTE frequencies, operating from 450 MHz to 6,000 MHz. Bands are numbered from 1 to 255 .

Millimeter wave (mmWave): Frequency Range 2 operates at a much higher 24,250 MHz (~24GHz) to 52,600 MHz (~52GHz). Bands are numbered from 257 to 511

CONSIDERACIONES DE ALTO NIVEL SOBRE LA CONEXIÓN AL CORE

NSA options 3/3a/3x

3GPP Release 15 NSA NR operation is based on 3GPP Network Option 3 family which is “LTE assisted EPC Connected”. NSA options 3/3a/3x are as follows.



CP:
Allways existing
EPS LTE S1-MME

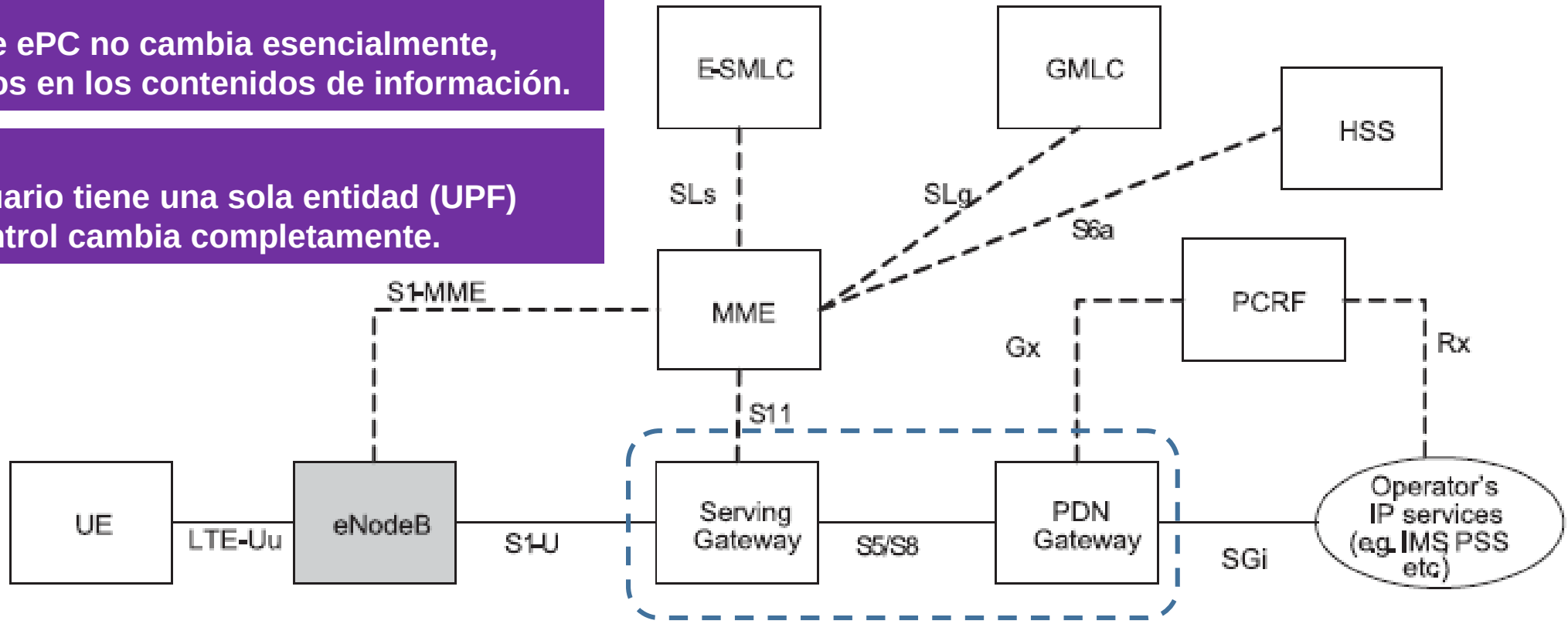
UP:
- Opt 3: LTE PDCP
- Opt 3a: separate LTE and NR PDCP.
- Opt 3x: NR PDCP

PDCP: Packet Data Convergence Protocol.

UNA APROXIMACIÓN AL CORE EN 5G

En 5G NSA:
La estructura de ePC no cambia esencialmente, solo hay cambios en los contenidos de información.

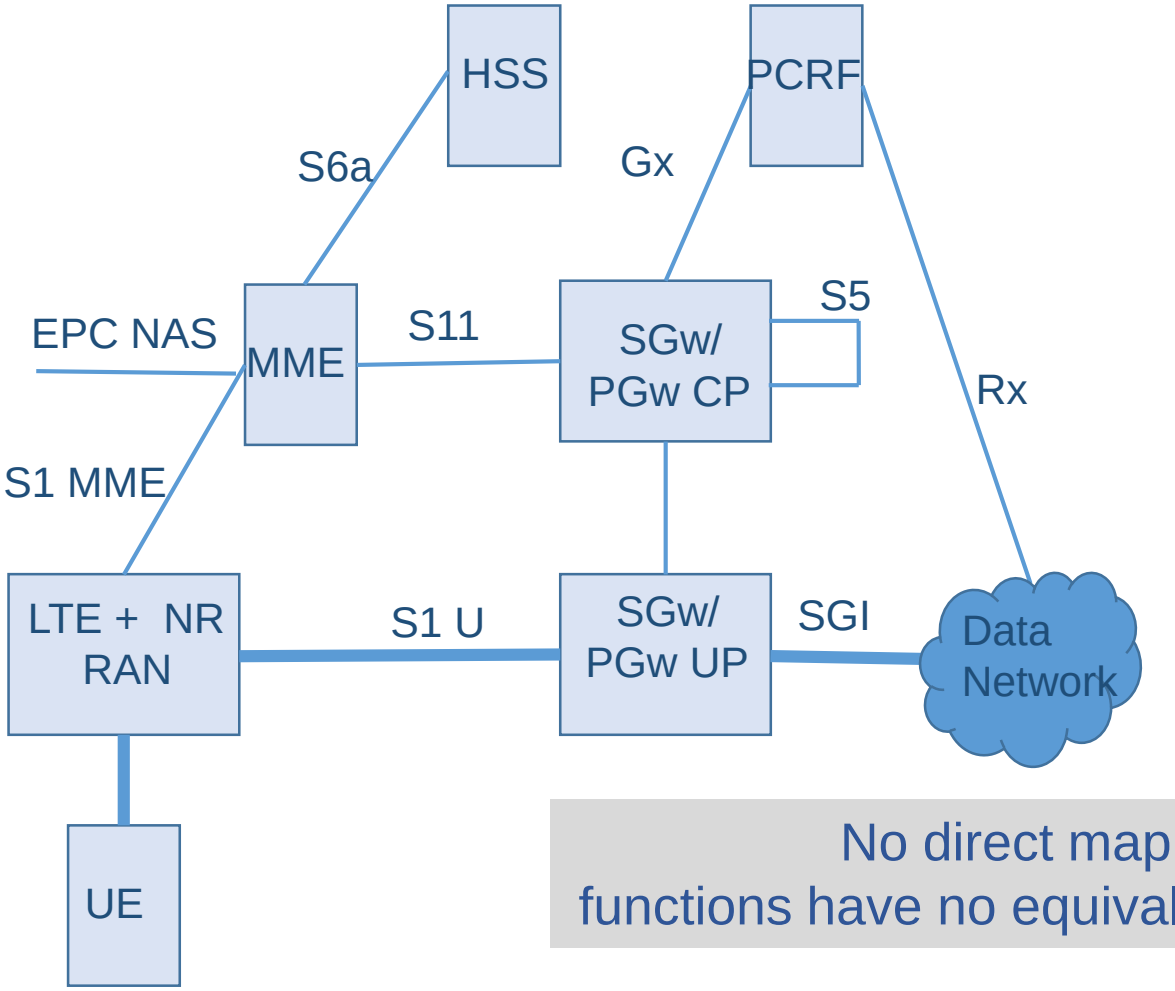
En 5G SA:
El plano de Usuario tiene una sola entidad (UPF)
El plano de Control cambia completamente.



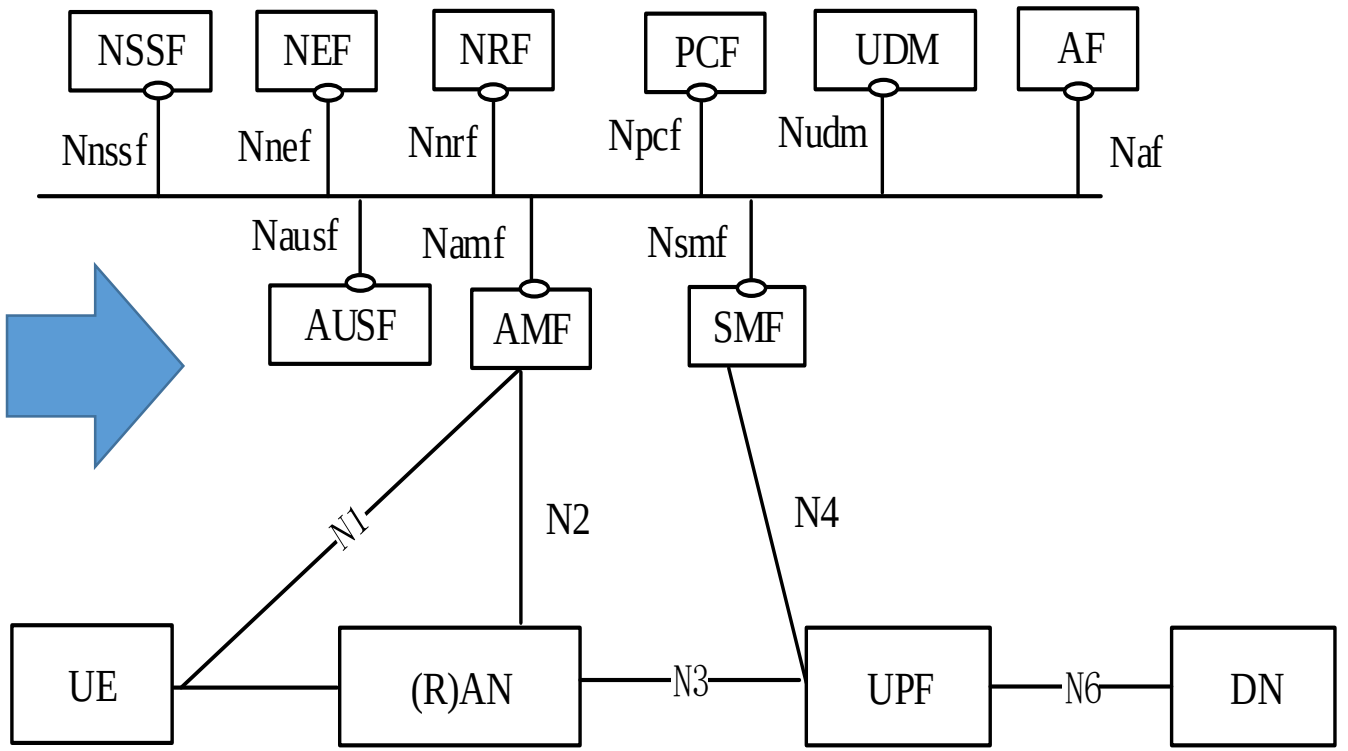
Terminal | Red de acceso | Núcleo o Core de Paquetes | Politicas | Aplicaciones

CePETel
Sindicato de los Profesionales de las Telecomunicaciones
SECRETARÍA TÉCNICA
IPEI
Prof. José Luis Pellegrino

UNA APROXIMACIÓN AL CORE EN 5G



Arquitectura SBA (Service Based Architecture)



No direct mapping as new functions have no equivalence in ePC

Split the CP and UP in PGw
Support of 5G data rate
Support of 5G RAT and suscription