

Bloque III – Sistemas de comunicaciones móviles

Tema 1. Introducción

Tema 2. Sistemas 2G-4G

Tema 3. MIMO masivo en 5G

Tema 1. Introducción

Contenido

- Generalidades
- Evolución
- Bandas de frecuencia
- Estado del arte
- Reguladores
- 5G: acceso radio
- Bibliografía

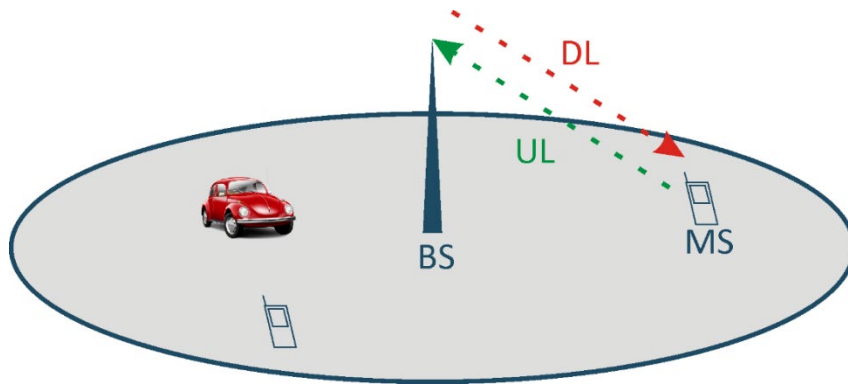
Generalidades (I)

■ Servicio móvil

Servicio de radiocomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones fijas o entre estaciones móviles únicamente

- Entorno (terrestre, marítimo o aeronáutico) y prestación (terrenal / satélite)

■ Sistemas móviles terrestres

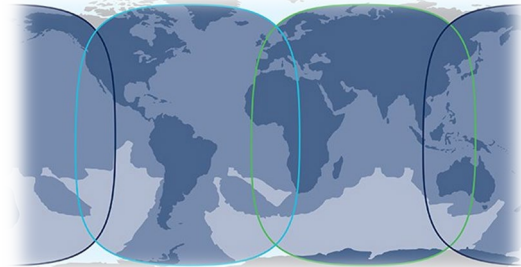
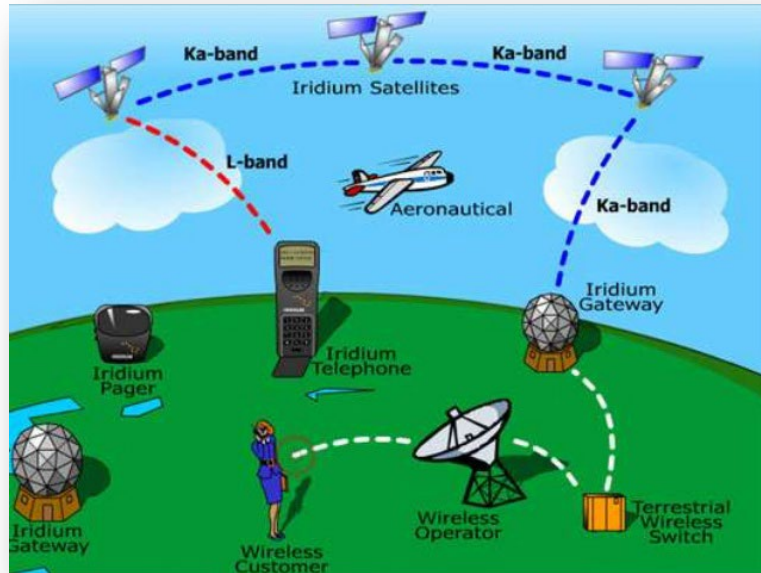


- BS, *Base Station*
- MS, *Mobile Station*
- UL, *UpLink*
- DL, *DownLink*

- Tendencia evolutiva: GSM, GPRS, EDGE, WCDMA, HSPA, LTE, LTE-Advanced, LTE-A Pro, 5G-NR

Generalidades (II)

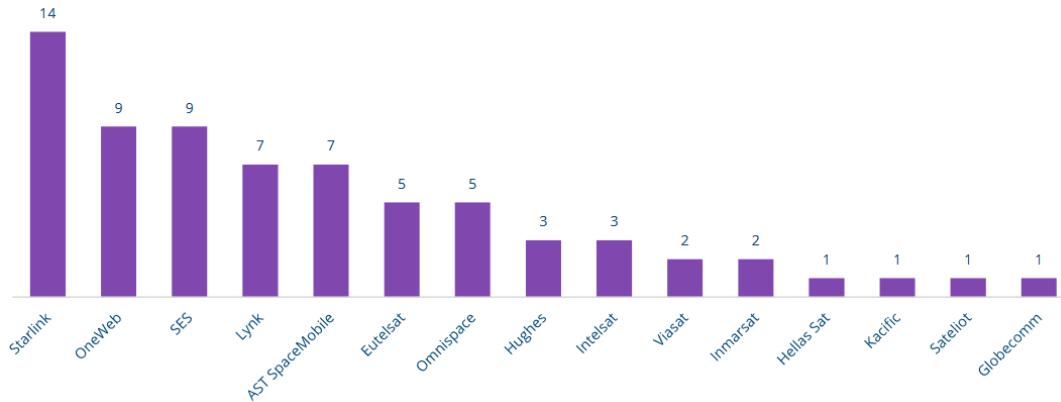
■ Sistemas móviles por satélite



- Telefonía móvil: LEO y MEO principalmente
- Servicios de voz y datos en zonas de difícil cobertura
- Atribuciones en bandas L, 1.5-1,7GHz, S, Ku y Ka
- Sistemas: Thuraya, Inmarsat-5 (Global Xpress), Iridium, Globalstar, Starlink

Generalidades (III)

- Sistemas móviles por satélite: complemento futuro a las redes terrestres
 - Acuerdos operadores / redes de satélites



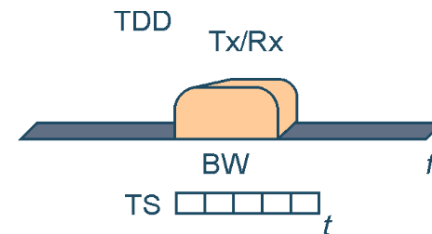
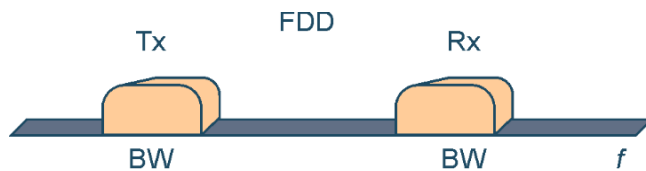
- Banda ancha, satélite a teléfono celular, M2M, IoT
 - Redes por satélite utilizan tecnología propietaria, no basada en 3GPP

Releases	Approach	End of release	Initial deployment
Release 15	Introduction of the subject	June 2018	2020
Release 16	Assessment of issues	March 2019	2022
Release 17	Definition of market-enabling features	March 2022	2023 and 2024
Release 18	Definition of first set of enhancements	September 2023	2025
Release 19	Definition of second set of enhancements	2025	2027
Release 20	Contribution to initial 6G network	2027	2029

Generalidades (IV)

■ Sistemas dúplex

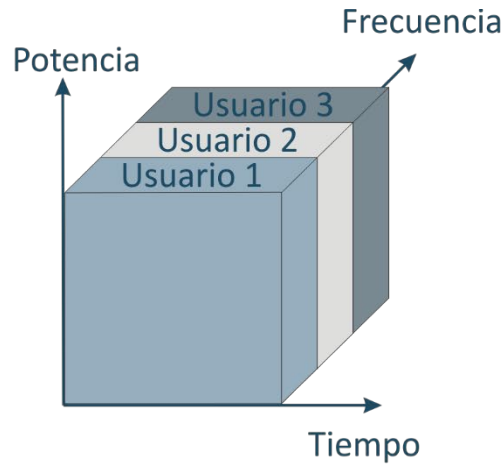
- FDD, bandas de frecuencia separadas en UL y DL
- TDD, dúplex sobre portadora con intervalos de tiempo separados en UL y DL



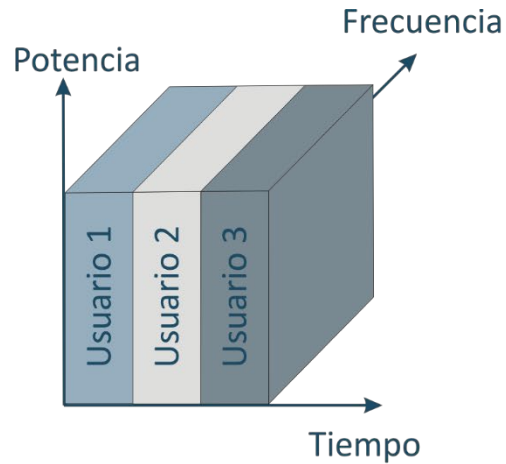
GSA, <http://www.gsacom.com>

Generalidades (V)

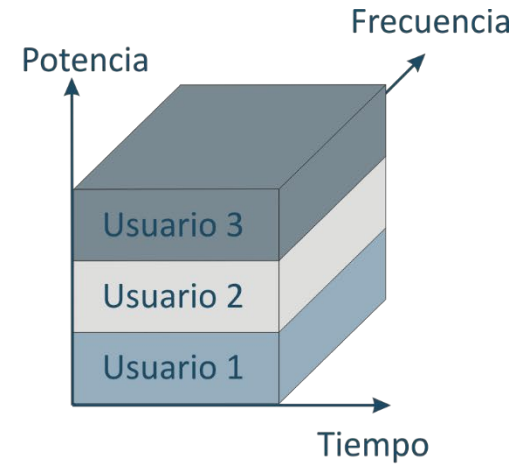
■ Acceso múltiple



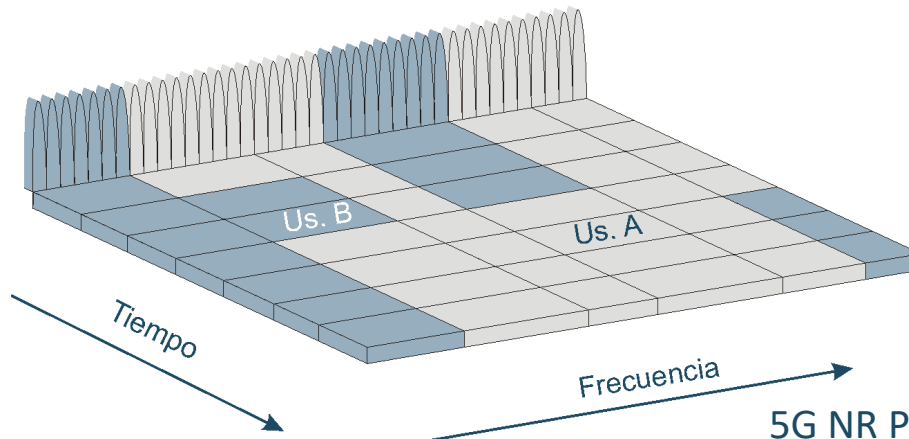
FDMA



TDMA



CDMA



OFDMA

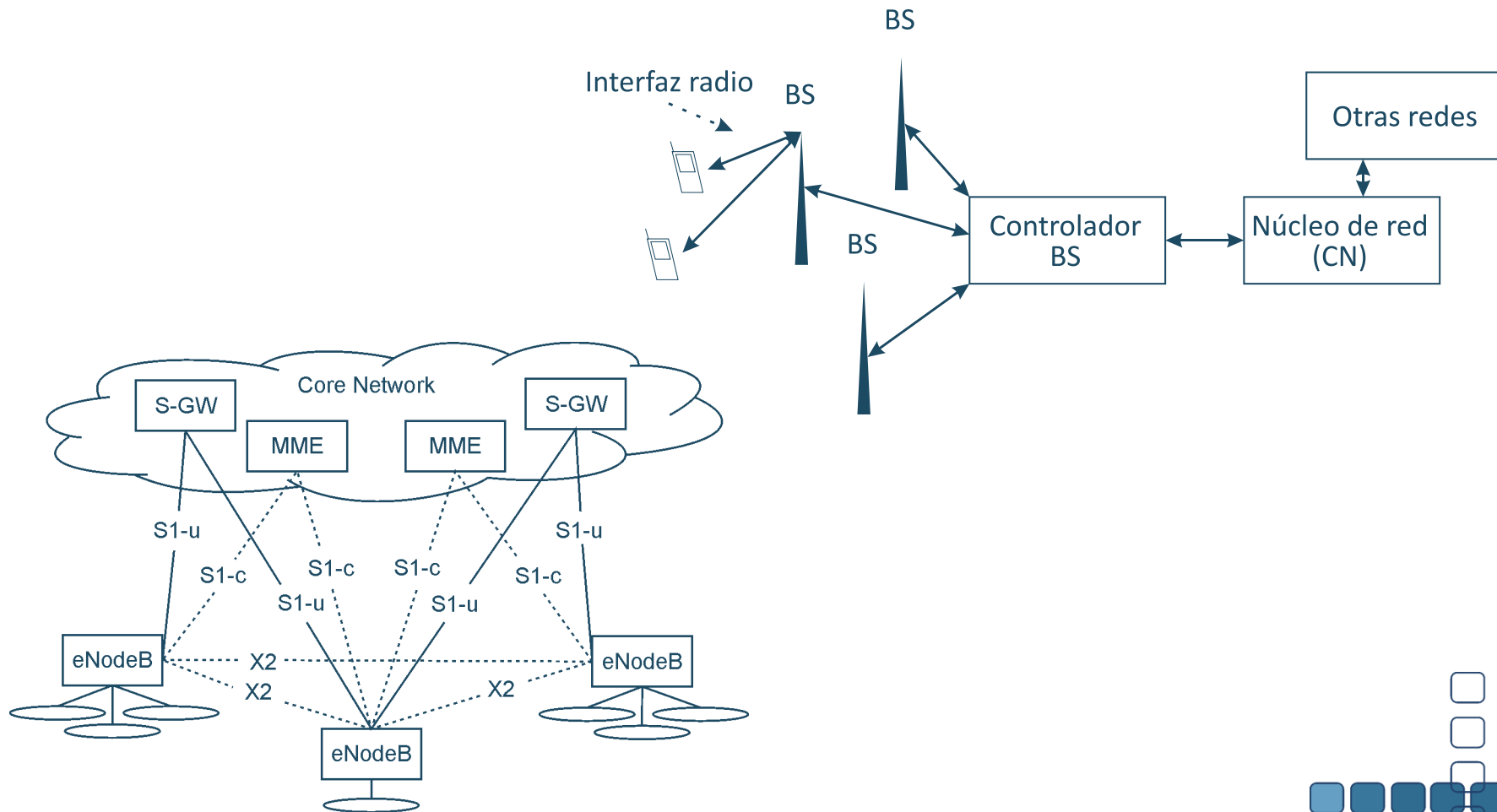
5G NR Phase I

Δf (15,30,60,120, 240 kHz)

Generalidades (VI)

■ Aproximación a la arquitectura

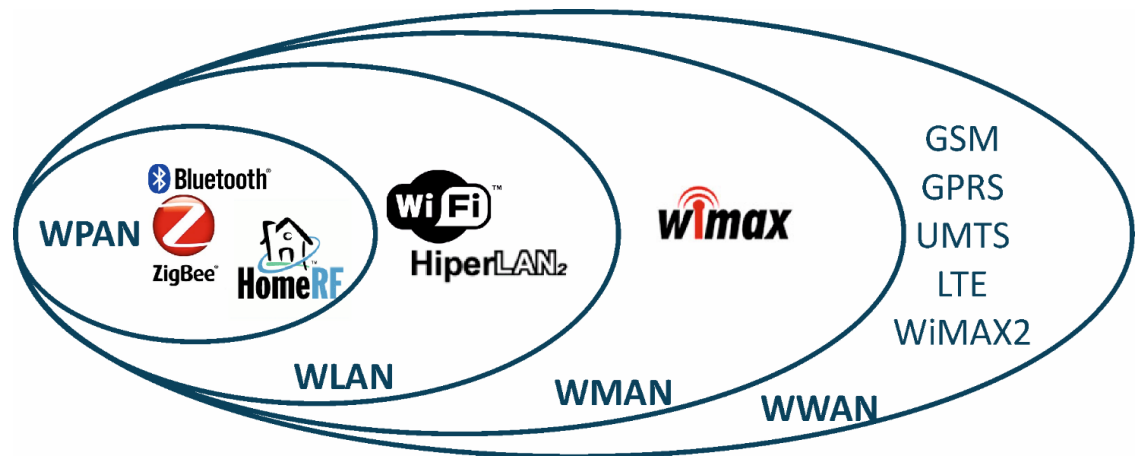
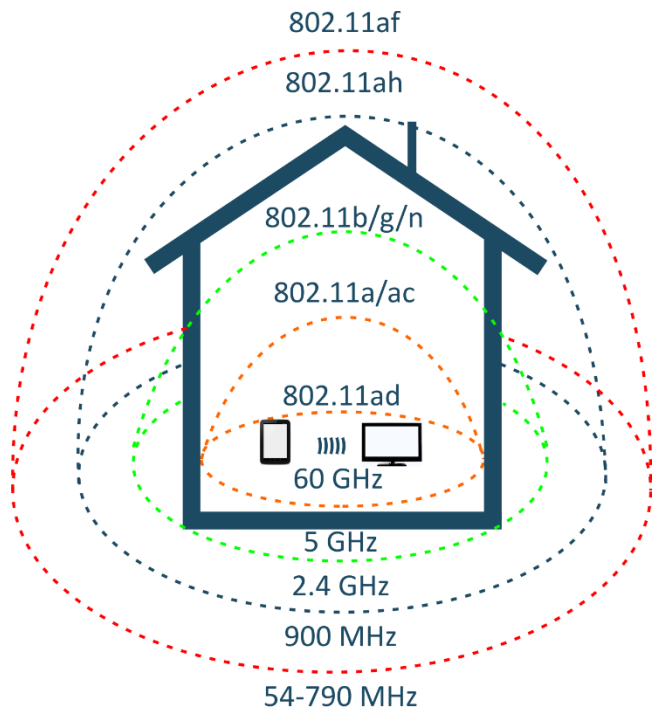
- Estaciones móviles, estaciones base con transceptores y sistemas radiantes, nodos lógicos, equipos de control y gestión de red y usuarios



Evolución (I)

■ Sistemas

- Radiotelefonía móvil privada: dPMR, DMR y TETRA
- Telefonía móvil terrestre: GSM, UMTS, LTE, LTE-Advanced, LTE-A Pro
- Telefonía sin hilos: DECT
- Servicios móviles vía satélite: Thuraya, Inmarsat-5, Orbcomm, ...
- Comunicaciones inalámbricas: Bluetooth, ZigBee, WLAN, WiMAX



Evolución (II)

■ Multiacceso, canalización y modulaciones

Sistema	Multiacceso	Dúplex	Canalización	Modulación	Datos
GSM	FDMA/TDMA	FDD	200 kHz	GMSK	9,6 kbit/s
GPRS					160 kbit/s
EDGE				8-PSK	384 kbit/s
UMTS	WCDMA/ FDMA/TDMA	FDD TDD	5 MHz	QPSK	2 Mbit/s
CDMA2000	FDMA/CDMA	FDD	1,25 – 3,75 MHz (UL) (3x1,25 o 5 MHz, DL)	QPSK ...	144 kbit/s – 2,4 Mbit/s
LTE LTE-A Pro	OFDMA (DL) SC-FDMA (UL)	FDD TDD	1,4, 3, 5, ... 20 MHz (100 MHz LTE-A)	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM	100 Mbit/s 1 Gbit/s (LTE-A)

Bandas de frecuencia (I)

■ 700 MHz (banda 28 LTE)

- Segundo dividendo digital: 694-790 MHz (TDT 470-694 MHz)
- Decisiones UE 2016/687 y UE 2017/899
 - Uso previsto 5G – IoT (Com. electrónicas de banda ancha inalámbrica)
 - Desarrollo de nuevos servicios digitales en áreas urbanas y rurales
 - Sistemas móviles terrenales
 - Modo FDD: UL (703-733 MHz) y DL (758-788 MHz)
 - Bloques a asignar múltiplo de 5 MHz
 - Resto de la banda: sistemas móviles, PPDR, PMSE, M2M
- Aspectos básicos en UN-153, UN-36
- ETD/1141/2021 (8 octubre): resolución de subasta (Telefónica, Orange, Vodafone)
- ETD/100/2022 (10 de febrero): Medidas para no afectar servicios de TV

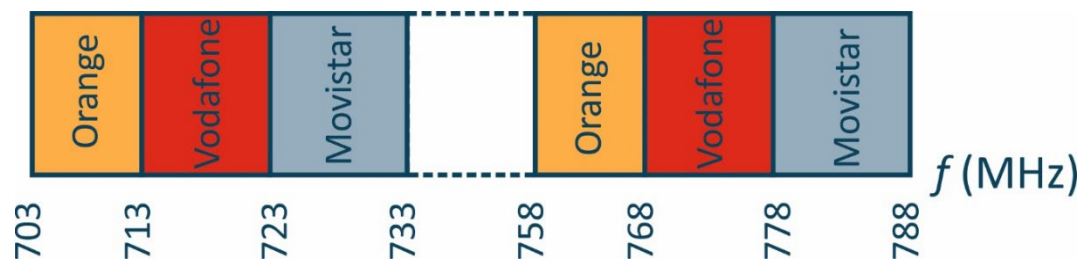
Bandas de frecuencia (II)

■ 700 MHz (banda 28 LTE y n28 5G-NR)

– Concesiones hasta 1/12/2041

Resultados de la ronda final de la subasta de espectro en la banda de 700 MHz

Banda de frecuencias	Número de la concesión	Rango de frecuencias	Ancho de banda por concesión	Cobertura geográfica	Precio de adjudicación (€)	Licitador con la MPV
Banda pareada 703-733 y 758-788 MHz.	1	Bloque abstracto.	2 × 10 MHz	Estatal.	310.089.000	TME.
	2	Bloque abstracto.	2 × 10 MHz	Estatal.	350.000.000	Vodafone.
	3	Bloque abstracto.	2 × 5 MHz	Estatal.	175.000.000	Orange.
	4	Bloque abstracto.	2 × 5 MHz	Estatal.	175.000.000	Orange.
Banda 738-753 MHz.	5	Bloque abstracto.	5 MHz (solo descendente)	Estatal.	Desierta	
	6	Bloque abstracto.	5 MHz (solo descendente)	Estatal.	Desierta	
	7	Bloque abstracto.	5 MHz (solo descendente)	Estatal.	Desierta	
Total.					1.010.089.000	



Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital

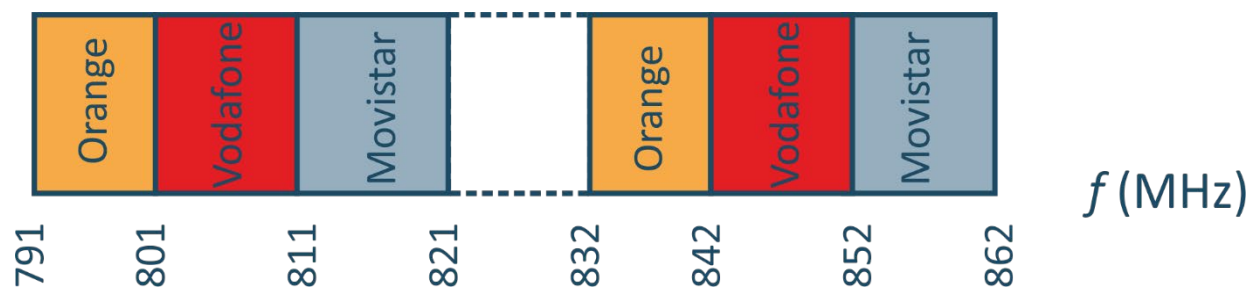
Secretaría de Estado de Telecomunicaciones e Infraestructuras Digitales

<https://avancedigital.mineco.gob.es/espectro/Paginas/registro-publico-concesiones.aspx>

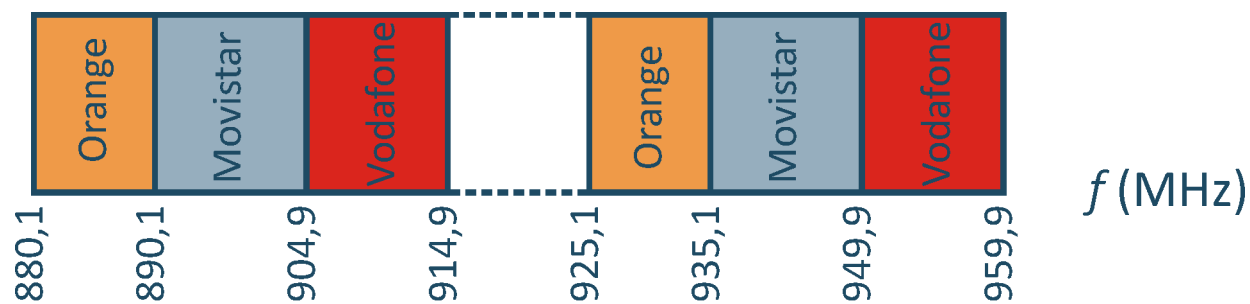
Bandas de frecuencia (III)

■ 800 MHz (UN-153): banda 20 LTE

- TDT hasta 31/03/2015. Telefonía móvil terrestre 4G
- 2 bloques pareados de 5 MHz en todo el territorio (25/04/2031)

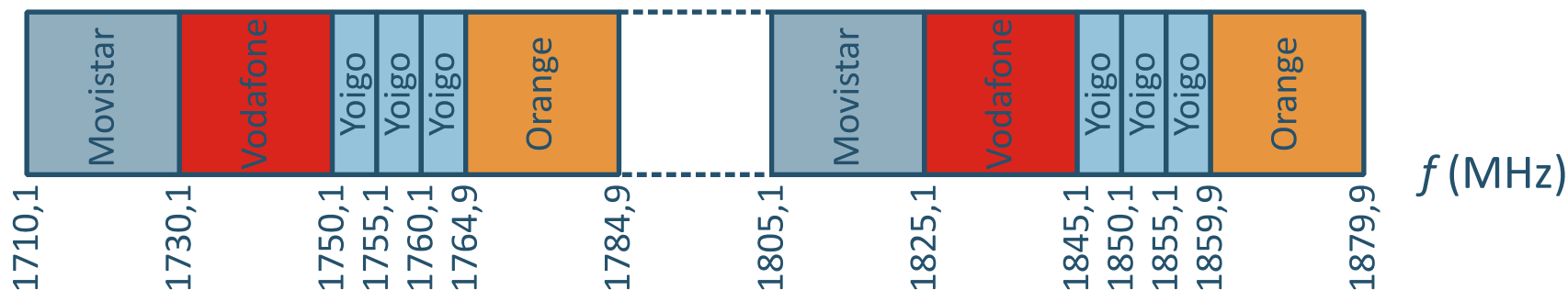


■ 900 MHz (UN-41): GSM y UMTS desde 9/2011 (*re-farming*) (banda 8 LTE)

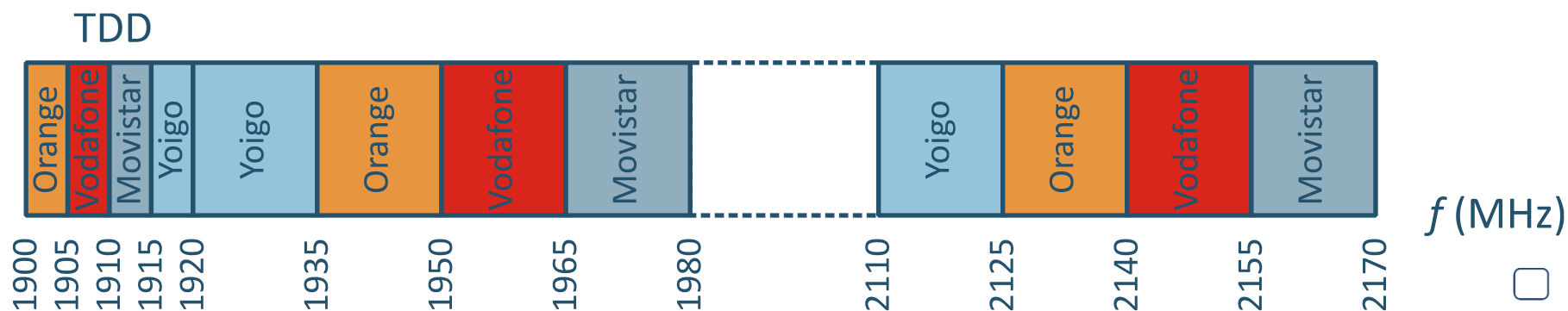


Bandas de frecuencia (IV)

- **1800 MHz (UN-140):** GSM y LTE desde 07/2103 (banda 3 de LTE)
 - On Air Switzerland: 1710-1785 / 1805-1880 MHz (31/12/2023)



- **2100 MHz (UN-48):** UMTS (bandas 1 y 33 de LTE)



Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital

Secretaría de Estado de Telecomunicaciones e Infraestructuras Digitales

<https://avancedigital.mineco.gob.es/espectro/Paginas/registro-publico-concesiones.aspx>

Bandas de frecuencia (V)

- **2600 MHz (UN-52):** tecnología móvil 4G, LTE (bandas 7 y 38 de LTE)



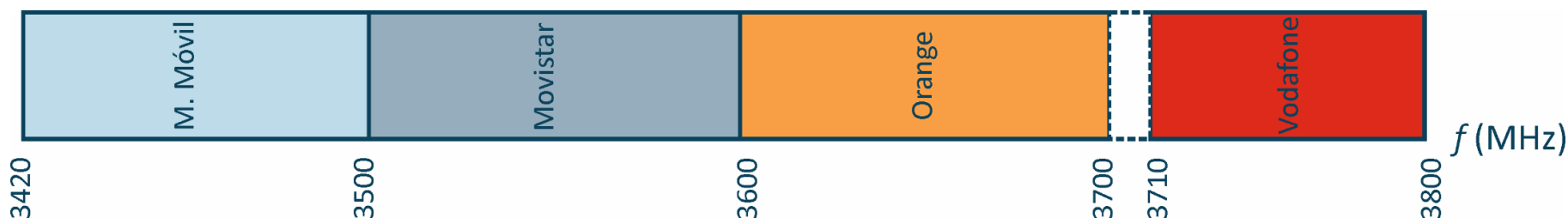
A: bloque autonómico (todas las autonomías)

Varios/A: concesiones autonómicas a varios operadores

- Licencias autonómicas FDD y/o TDD: Orange, Ceuta Telecom, Atrium Telecom, Aire Networks del Mediterráneo, Euskaltel, Red Digital Telec. Islas Baleares, Neo-Sky 2002, COTA (TDD en banda 38), UTE Aire-Alvi-TV Horadada, R Cable y Telecable Telecomunicaciones, Telecom Castilla La Mancha
- Neo-Sky (WiMAX) lanzó en 2013 servicios LTE TDD en 3,5 GHz (banda 42)

Bandas de frecuencia (VI)

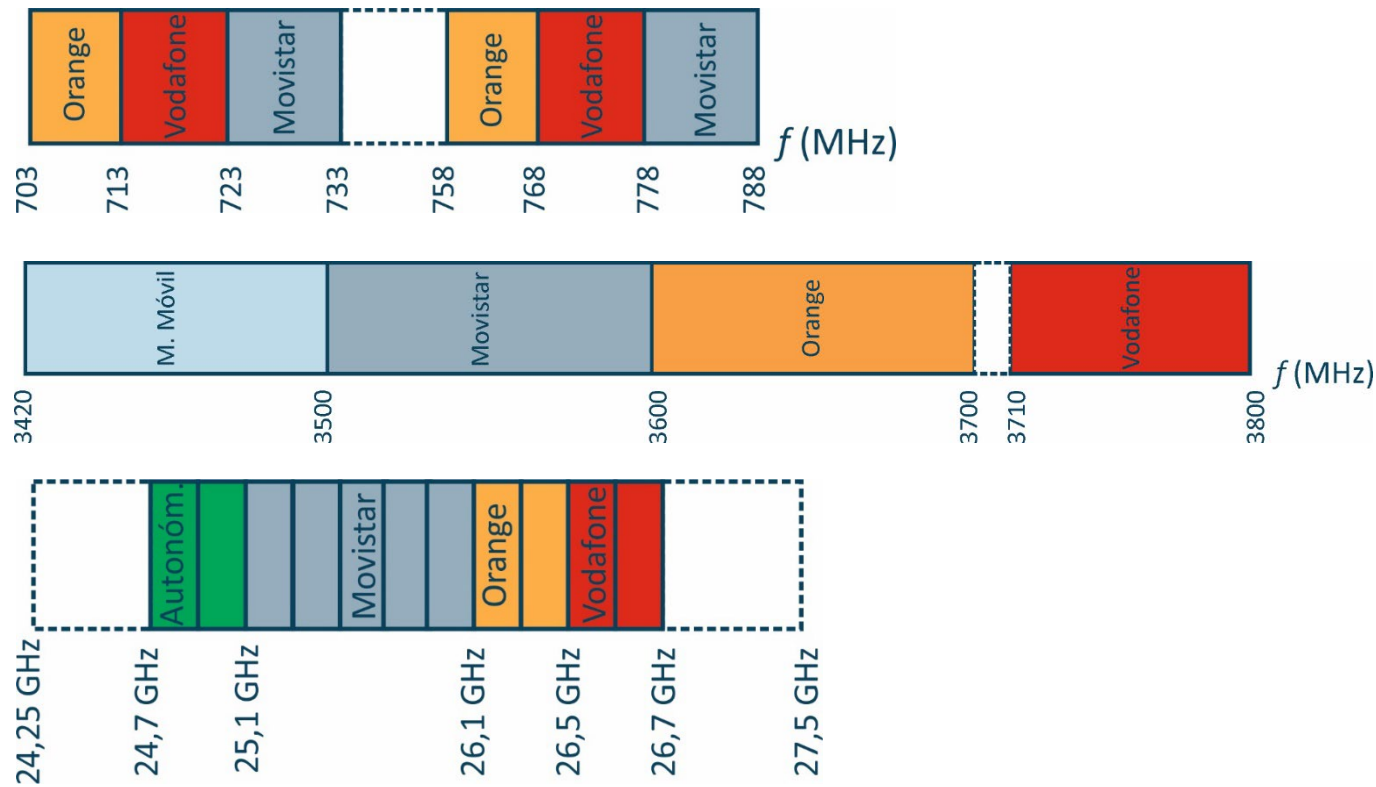
- **3400-3800 MHz** (UN-107, banda n78)
 - Decisiones 2008/411/CE y 2014/276/UE
 - Sistemas terrenales para comunicaciones electrónicas (WiMAX → 5G)
 - Modo TDD principalmente
 - Bloque Ministerio de Defensa (radiolocalización) y bandas de guarda
 - 22/02/2021: 10 MHz a Telefónica y Orange, últimos 20 MHz
 - Concesiones hasta 31/12/2038



Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital
Secretaría de Estado de Telecomunicaciones e Infraestructuras Digitales
<https://avancedigital.mineco.gob.es/espectro/Paginas/registro-publico-concesiones.aspx>

Bandas de frecuencia (VII)

- Espectro 5G-NR en España (n28, n78 y n258)



Bandas de frecuencia (VIII)

■ Bandas E-UTRA: 3GPP TS 36.101 (Release 19.1.0, 03/2025)

Banda	UL (MHz)	DL (MHz)	Modo dúplex
1	1920-1980	2110-2170	FDD
2	1850-1910	1930-1990	FDD
3	1710-1785	1805-1880	FDD
4	1710-1755	2110-2155	FDD
5	824-849	869-894	FDD
6	830-840	875-885	FDD
7	2500-2570	2620-2690	FDD
8	880-915	925-960	FDD
9	1749,9-1784,9	1844,9-1879,9	FDD
10	1710-1770	2110-2170	FDD
11	1427,9-1447,9	1475,9-1495,9	FDD
12	699-716	729-746	FDD
13	777-787	746-756	FDD
14	788-798	758-768	FDD
15,16	Reservadas	Reservadas	FDD
17	704-716	734-746	FDD
18	815-830	860-875	FDD
19	830-845	875-890	FDD
20	832-862	791-821	FDD
21	1447,9-1462,9	1495,9-1510,9	FDD
22	3410-3490	3510-3590	FDD
23	2000-2020	2180-2200	FDD
24	1626,5-1660,5	1525-1559	FDD
25	1850-1915	1930-1995	FDD
26	814-849	859-894	FDD
27	807-824	852-869	FDD
28	703-748	758-803	FDD

Banda	UL (MHz)	DL (MHz)	Modo dúplex
29	N/A	717-728	FDD
30	2305-2315	2350-2360	FDD
31	452,5-457,5	462,5-467,5	FDD
32	N/A	1452-1496	FDD
33	1900-1920		TDD
34	2010-2025		TDD
35	1850-1910		TDD
36	1930-1990		TDD
37	1910-1930		TDD
38	2570-2620		TDD
39	1880-1920		TDD
40	2300-2400		TDD
41	2496-2690		TDD
42	3400-3600		TDD
43	3600-3800		TDD
44	703-803		TDD
45	1447-1467		TDD
46	5150-5925		TDD
47	5855-5925		TDD
48	3550-3700		TDD
49	3550-3700		TDD
50	1432-1517		TDD
51	1427-1432		TDD
52	3300-3400		TDD
53	2483,5-2495		TDD
...	...		...
103	787-788	757-758	FDD (NB-IoT)
106	896-901	935-940	FDD



Bandas de frecuencia (IX)

■ Bandas CA (*Carrier Aggregation*): 3GPP TS 36.101 (Rel. 19.1.0, 03/2025)

CA intra-banda (componentes contiguas)

Banda CA	Banda
CA_1	1
CA_2	2
CA_3	3
CA_5	5
CA_7	7
CA_8	8
CA_12	12
CA_23	23
CA_27	27
CA_28	28
CA_38	38
CA_39	39
CA_40	40
CA_41	41
CA_42	42
CA_43	43
CA_48	48
CA_66	66
CA_70	70

CA intra-banda (componentes no contiguas)

Banda CA	Banda
CA_1-1	1
CA_2-2	2
CA_3-3	3
CA_4-4	4
CA_5-5	5
CA_7-7	7
CA_12-12	12
CA_23-23	23
CA_25-25	25
CA_40-40	40
CA_41-41	41
CA_42-42	42
CA_43-43	43
CA_48-48	48
CA_66-66	66

CA intra-banda (no contiguas, 3sub-bloques)

Banda CA	Banda
CA_25-25-25	25
CA_41-41-41	41
CA_48-48-48	48
CA_66-66-66	66

CA intra-banda (no contiguas, 4sub-bloques)

Banda CA	Banda
CA_48-48-48-48	48

CA intra-banda, componentes contiguas



CA intra-banda, componentes no contiguas



Bandas de frecuencia (X)

■ Bandas CA: 3GPP TS 36.101 (Rel. 19.1.0, 03/2025)

CA entre bandas (2 bandas) **>290**

Banda CA	Bandas
CA_1-3	1, 3
...	
CA_70-71	70, 71

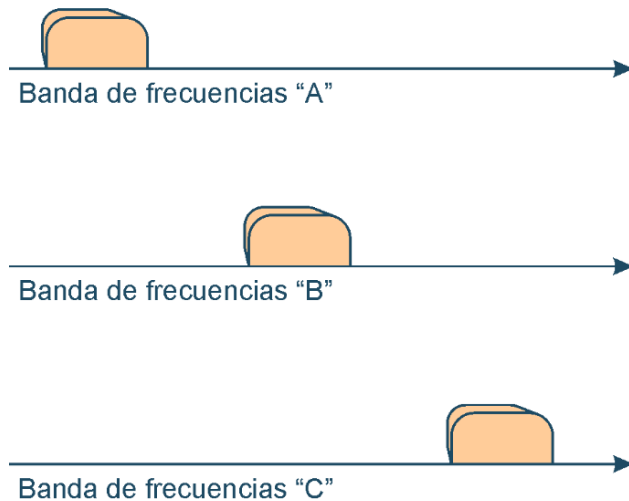
CA entre bandas (3 bandas) **>250**

Banda CA	Bandas
CA_1-3-5	1, 3, 5
...	
CA_66-70-71	66, 70, 71

CA entre bandas (4 bandas) **>150**

Banda CA	Bandas
1-3-5-7	1, 3, 5, 7
...	
8-20-32-38	8, 20, 32, 38

CA entre bandas



CA entre bandas (5 bandas) **>30**

Banda CA	Bandas
CA_1-3-5-7-28	1, 3, 5, 7, 28
CA_1-3-7-8-20	1, 3, 7, 8, 20
CA_1-3-7-20-28	1, 3, 7, 20, 28
CA_1-3-7-20-32	1, 3, 7, 20, 32
CA_1-3-7-20-42	1, 3, 7, 20, 42
CA_1-3-8-11-28	1, 3, 8, 11, 28
CA_1-3-20-32-42	1, 3, 20, 32, 42
CA_1-3-20-32-43	1, 3, 20, 32, 43
...	
CA_7-8-20-32-38	7, 8, 20, 32, 38

CA entre bandas (6 bandas) **3**

Banda CA	Bandas
CA_1-3-7-8-20-28	1, 3, 7, 8, 20, 28
CA_1-3-7-20-28-38	1, 3, 7, 20, 28, 38
CA_1-7-8-20-28-32	1, 7, 8, 20, 28, 32

Bandas de frecuencia (XI)

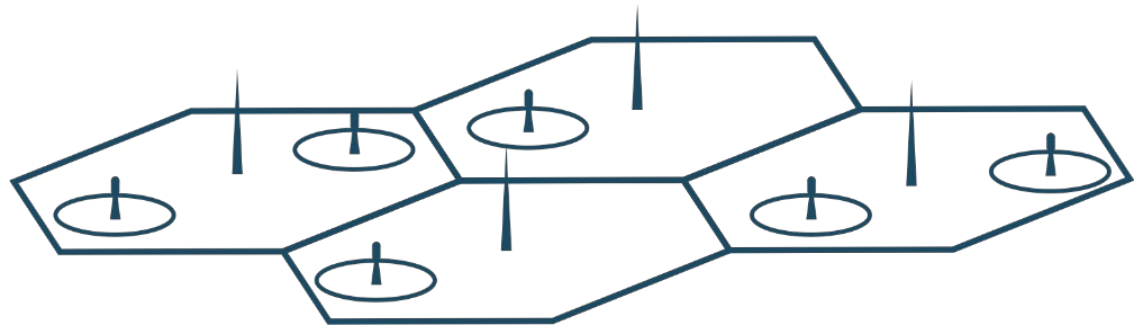
- Bandas conectividad dual: 3GPP TS 36.101 (Rel. 19.1.0, 03/2025)

DC entre bandas (2 bandas) **80**

Banda DC	Bandas
DC_1-3	1, 3
DC_1-5	1, 5
DC_1-7	1, 7
DC_1-8	1, 8
DC_1-11	1,11
...	
DC_40-42	40, 42
DC_41-42	41, 42

DC entre bandas (3 bandas) **2**

Banda DC	Bandas
DC_1-3-19	1, 3, 19
DC_1-19-21	1, 19, 21



Bandas de frecuencia (XII)

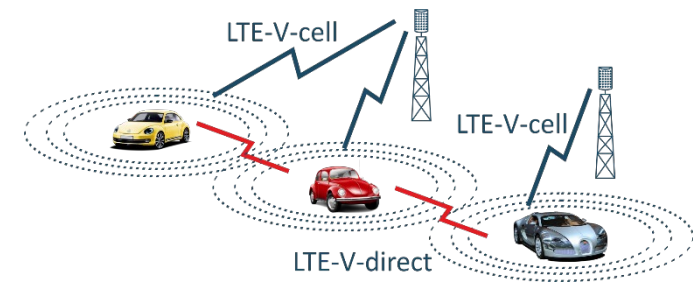
■ Otras bandas: 3GPP TS 36.101 (Rel. 19.1.0, 03/2025)

– LTE (IoT)

- UE Cat-0: 2, 3, 4, 5, 8, 13, 20, 25, 26, 28 (FDD) y 39, 40, 41 (TDD)
- UE Cat-M1, M2: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, ..., 88
- UE Cat-1bis: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 12, ..., 72 (FDD) y 34, 39, 40, 41 (TDD)
- Cat. NB1 y NB2: 1, 2, 3, 4, 5, 8, 11, 12, ..., 103 y bandas NR n1, n2, n3,..., n90

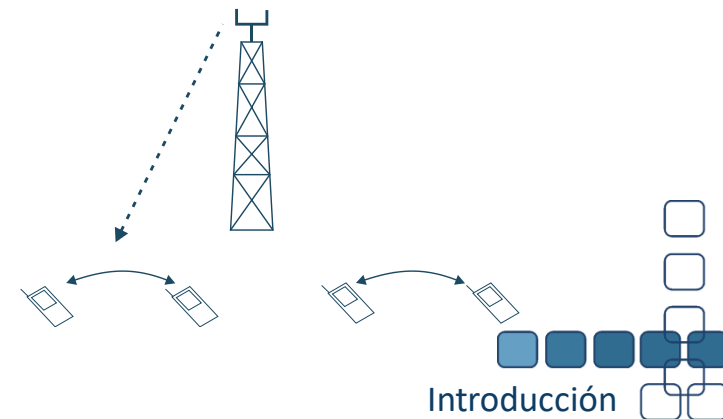
– V2X Communications

Banda	V2X UE Tx (MHz)		V2X UE Rx (MHz)		Dúplex
	F _{UL, low}	F _{UL, high}	F _{DL, low}	F _{DL, high}	
47	5855	5925	5855	5925	HD



– E-UTRA ProSe (*Proximity Services, D2D*) (12)

Banda	ProSe UE Tx (MHz)		ProSe UE Rx (MHz)		Dúplex
	F _{UL, low}	F _{UL, high}	F _{DL, low}	F _{DL, high}	
2	1850	1910	1850	1910	HD
3	1710	1785	1710	1785	HD
4	1710	1755	1710	1755	HD
7	2500	2570	2500	2570	HD
14	788	798	788	798	HD
...					
72	451	456	451	456	HD



Bandas de frecuencia (XIII)

■ Bandas 5G-NR (FR1): 3GPP TS 38.104 (Release 19.0.0, 03/2025)

Banda	UL (MHz)	DL (MHz)	Modo dúplex
n1	1920 – 1980	2110 – 2170	FDD
n2	1850 – 1910	1930 – 1990	FDD
n3	1710 – 1785	1805 – 1880	FDD
n5	824 – 849	869 – 894	FDD
n7	2500 – 2570	2620 – 2690	FDD
n8	880 – 915	925 – 960	FDD
n12	699 – 716	729 – 746	FDD
n13	777 – 787	746 – 756	FDD
n14	788 – 798	758 – 768	FDD
n18	815 – 830	860 – 875	FDD
n20	832 – 862	791 – 821	FDD
n24 ⁷	1626.5 – 1660.5	1525 – 1559	FDD
n25	1850 – 1915	1930 – 1995	FDD
n26	814 – 849	859 – 894	FDD
n28	703 – 748	758 – 803	FDD
n29	N/A	717 – 728	SDL
n30	2305 – 2315	2350 – 2360	FDD
n34	2010 – 2025	2010 – 2025	TDD
n38	2570 – 2620	2570 – 2620	TDD
n39	1880 – 1920	1880 – 1920	TDD
n40	2300 – 2400	2300 – 2400	TDD
n41	2496 – 2690	2496 – 2690	TDD
n46	5150 – 5925	5150 – 5925	TDD
n48	3550 – 3700	3550 – 3700	TDD
n50	1432 – 1517	1432 – 1517	TDD
n51	1427 – 1432	1427 – 1432	TDD
n53	2483.5 – 2495	2483.5 – 2495	TDD
n54	1670 – 1675	1670 – 1675	TDD

Banda	UL (MHz)	DL (MHz)	Modo dúplex
n65	1920 – 2010	2110 – 2200	FDD
n66	1710 – 1780	2110 – 2200	FDD
n67	N/A	738 – 758	SDL
n70	1695 – 1710	1995 – 2020	FDD
n71	663 – 698	617 – 652	FDD
n74	1427 – 1470	1475 – 1518	FDD
n75	N/A	1432 – 1517	SDL
n76	N/A	1427 – 1432	SDL
n77	3300 – 4200	3300 – 4200	TDD
n78	3300 – 3800	3300 – 3800	TDD
n79	4400 – 5000	4400 – 5000	TDD
n80	1710 – 1785	N/A	SUL
n81	880 – 915	N/A	SUL
n82	832 – 862	N/A	SUL
n83	703 – 748	N/A	SUL
n84	1920 – 1980	N/A	SUL
n85	698 – 716	728 – 746	FDD
n86	1710 – 1780	N/A	SUL
n89	824 – 849	N/A	SUL
n90	2496 – 2690	2496 – 2690	TDD
n91	832 – 862	1427 – 1432	FDD
n92	832 – 862	1432 – 1517	FDD
n93	880 – 915	1427 – 1432	FDD
n94	880 – 915	1432 – 1517	FDD
n95	2010 – 2025	N/A	SUL
...			
n110	1390-1395	1432 – 1435	FDD

– FR1 (410 MHz - 7.125 MHz)

Bandas de frecuencia (XIV)

- Bandas 5G-NR (FR2): 3GPP TS 38.104 (Release 19.0.0, 03/2025)

Banda	UL y DL (MHz)	Duplex mode
n257	26500 – 29500	TDD
n258	24250 – 27500	TDD
n259	39500 – 43500	TDD
n260	37000 – 40000	TDD
n261	27500 – 28350	TDD
n262	47200 – 48200	TDD
n263	57000 – 71000	TDD

FR2-1 (24250 MHz – 52600 MHz)

FR2-2 (52600 MHz – 71000 MHz)

- Espectro NR en España

Denominación	Banda	Uso
n28	700 MHz	Banda utilizada para mejorar coberturas en interiores y en grandes áreas (rural)
n3	1800 MHz	Bandas de frecuencia utilizadas originalmente para sistemas 2G y 3G. La técnica DSS (Dynamic Spectrum Sharing) permite emplearlas en 5G
n1	2100 MHz	
n78	3600 MHz	Es la banda pensada para los primeros despliegues de red 5G. Puede proporcionar velocidades elevadas, con gran capacidad mediante el uso de técnicas como MIMO masivo
n258	26000 MHz	Se precisan avances en el desarrollo de terminales y red para elevar su importancia. Se estima su uso habitual en los próximos años. Será útil para proporcionar grandes anchos de banda a corta distancias (pérdidas de propagación elevadas) , en espacios con mucha concentración de usuarios, como por ejemplo estadios, aeropuertos, etc.



Bandas de frecuencia (XV)

■ Espectro WRC-23 y agenda 5G/6G

6425-7125 MHz (Agenda Item 1.2)

WRC-23 outcome	6425-7025 MHz	7025-7125 MHz
Region 1	5.6A12: IMT identification in Region 1	
Region 2	5.6C12: IMT identification in Brazil and Mexico	
Region 3	5.6B12: IMT identification in Cambodia, Laos and the Maldives	5.6A12: IMT identification in Region 3

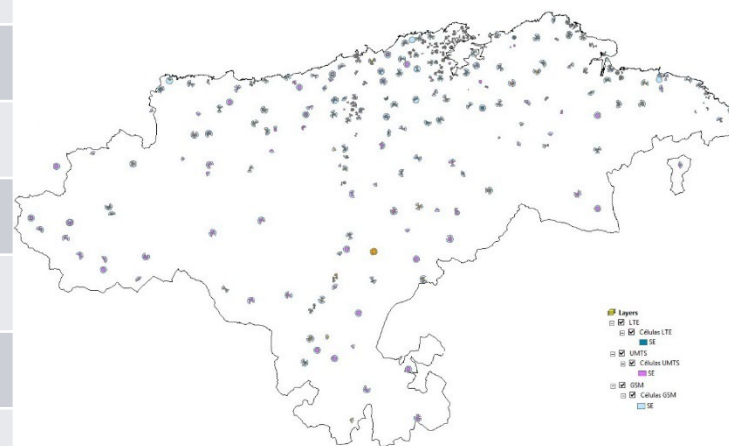
Harmonized technical conditions — limits on the expected equivalent isotropically radiated power (e.i.r.p.) spectral density of IMT base-stations across all Regions for protecting Earth-to-space fixed satellite services (FSS):

WRC-27 Agenda		
Region 1 ⬇	Region 2 ⬇	Region 3 ⬇
4 400-4 800 MHz		4 400-4 800 MHz
7 125-7 250 MHz 7 750-8 400 MHz	7 125-8 400 MHz	7 125-8 400 MHz
14.8-15.35 GHz	14.8-15.35 GHz	14.8-15.35 GHz

Infraestructuras (I)

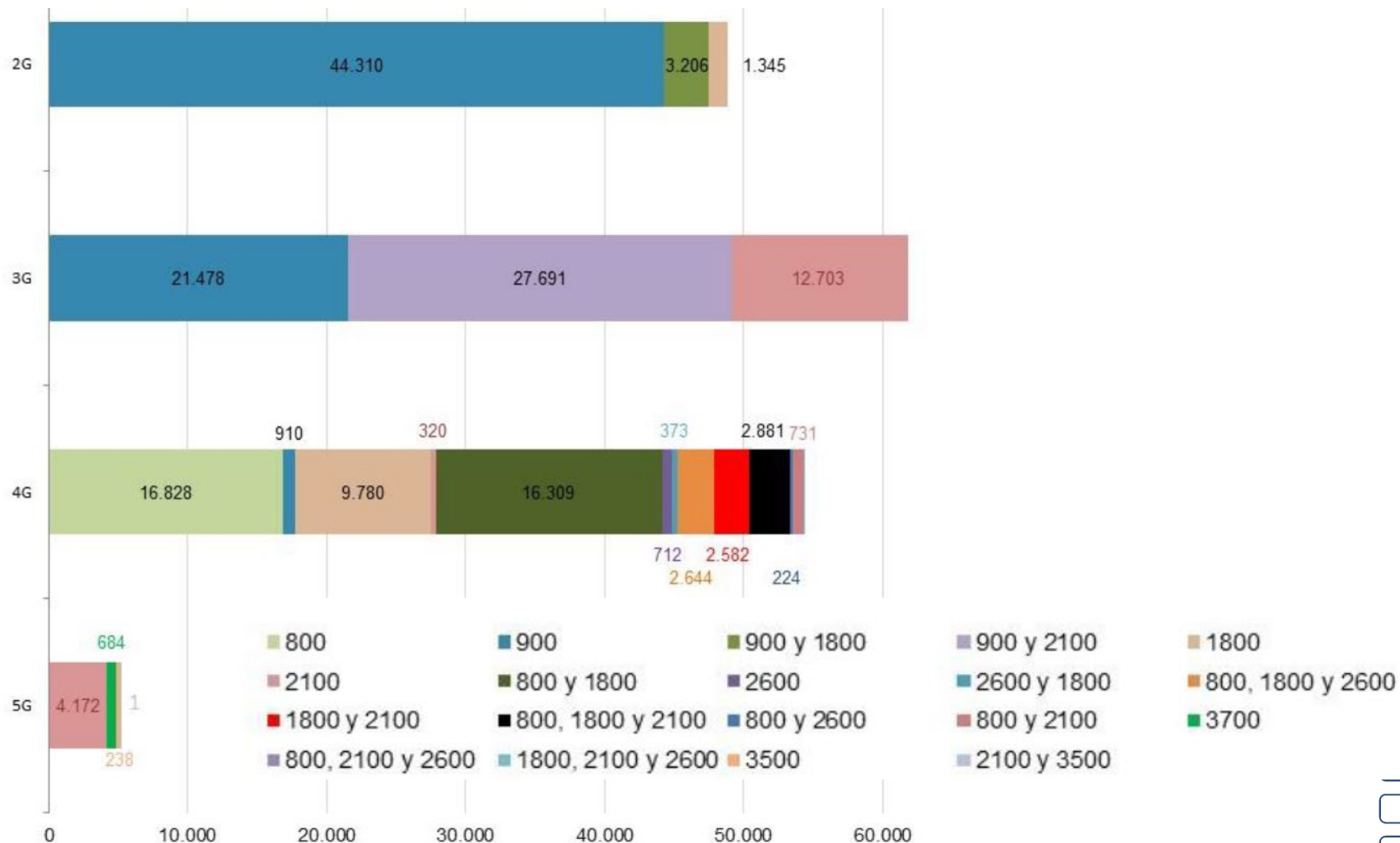
■ Cantabria

Sistema		2015	2017	2019	2022
2G GSM	900	275	275	278	270
	1800	228	2	2	4
3G UMTS	900	208	274	289	301
	2100	132	224	226	214
4G LTE –A	700				11
	800		112	232	284
	900				30
	1800	6	67	154	221
	2100				93
	2600		1	9	53
5G	DSS700				7
	DSS2100				72
	NR700				11
	NR3500			1	2



Infraestructuras (II)

■ España: estaciones base por tecnología y banda de frecuencia



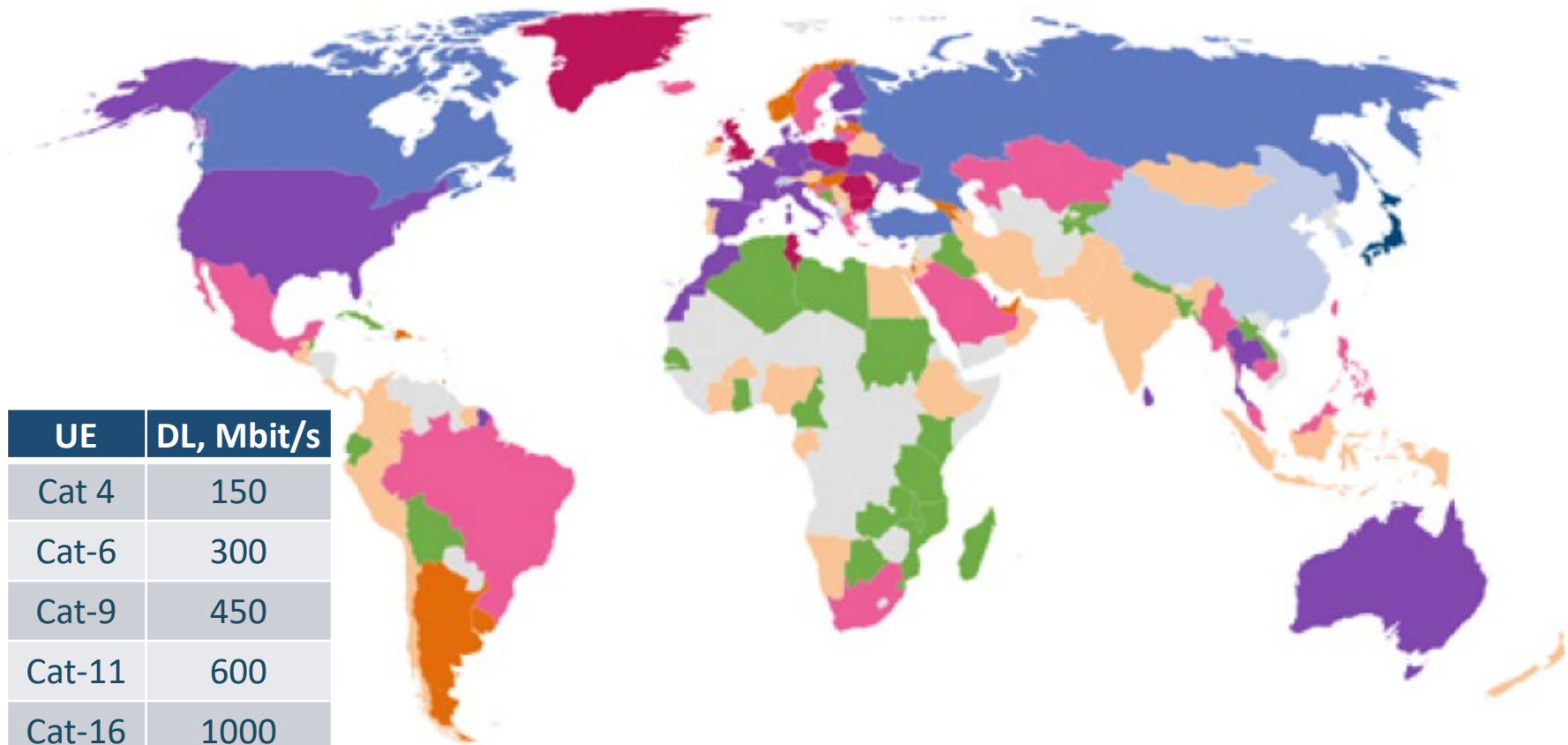
ESTAD/CNMC/002/21 (julio 2021)

Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, <http://www.cnmc.es>

Infraestructuras (III)

■ Velocidad máxima DL de redes comerciales LTE-A (04/2022)

•Cat-20 •Cat-19 •Cat-18 •Cat-16 •Cat-15 •Cat-11 •Cat-9 •Cat-6 •Cat-4

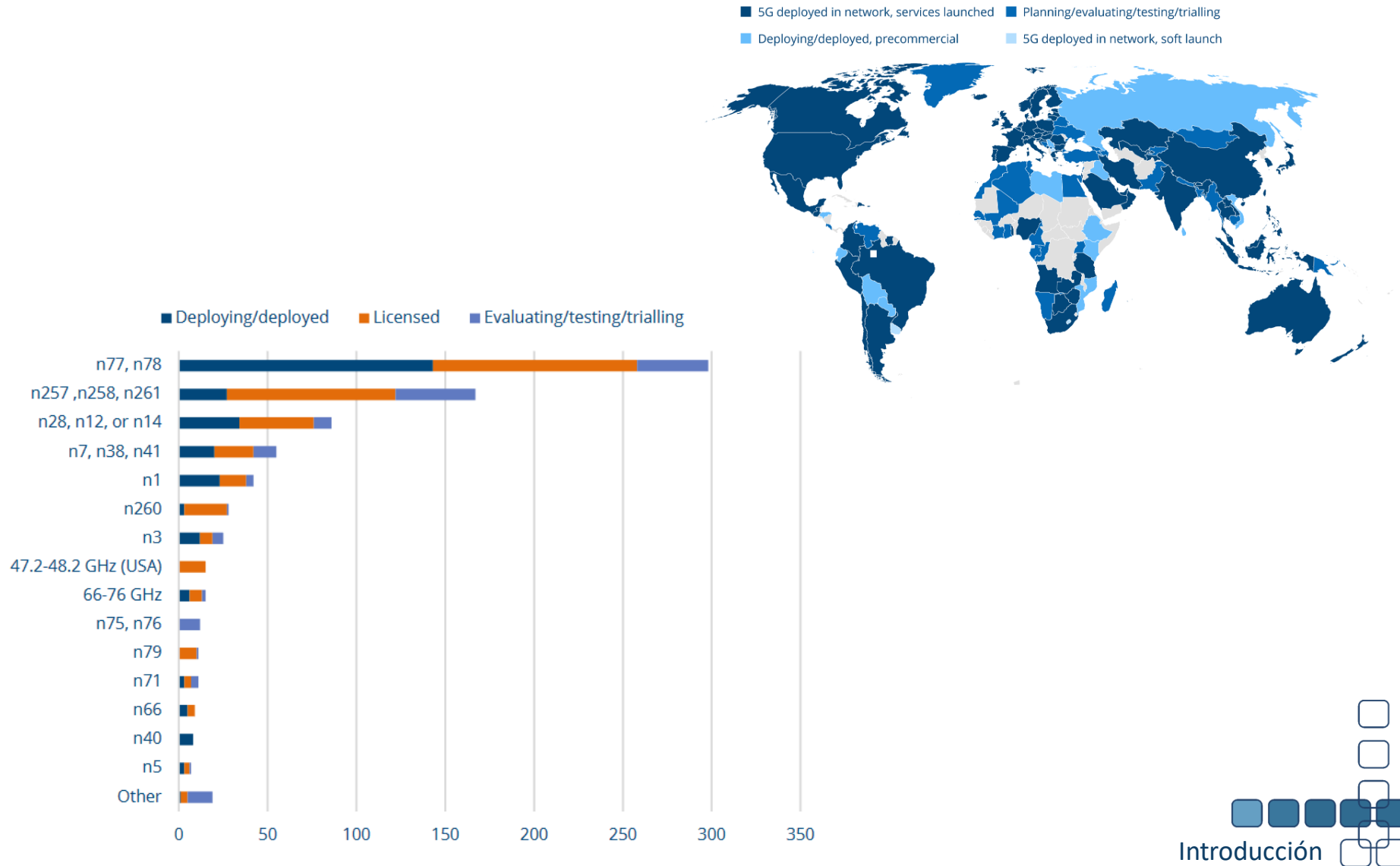


UE	DL, Mbit/s
Cat 4	150
Cat-6	300
Cat-9	450
Cat-11	600
Cat-16	1000
Cat-18	1200
Cat-20	2000

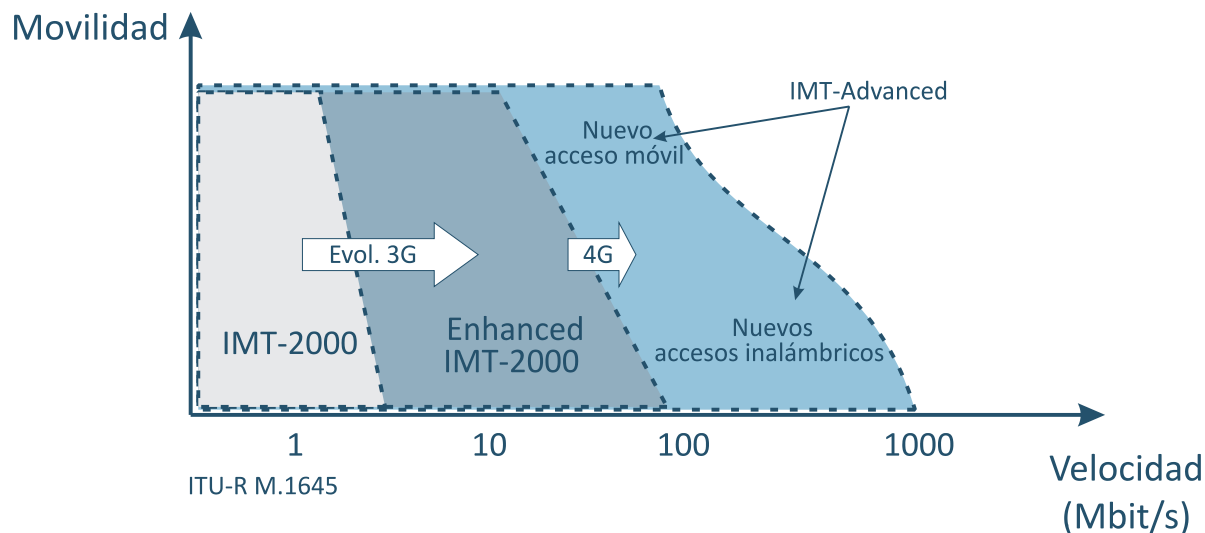
GSA, <http://www.gsacom.com>
Evolution from LTE to 5G – April 2022

Infraestructuras (IV)

■ Actuaciones en redes 5G y bandas de los despliegues

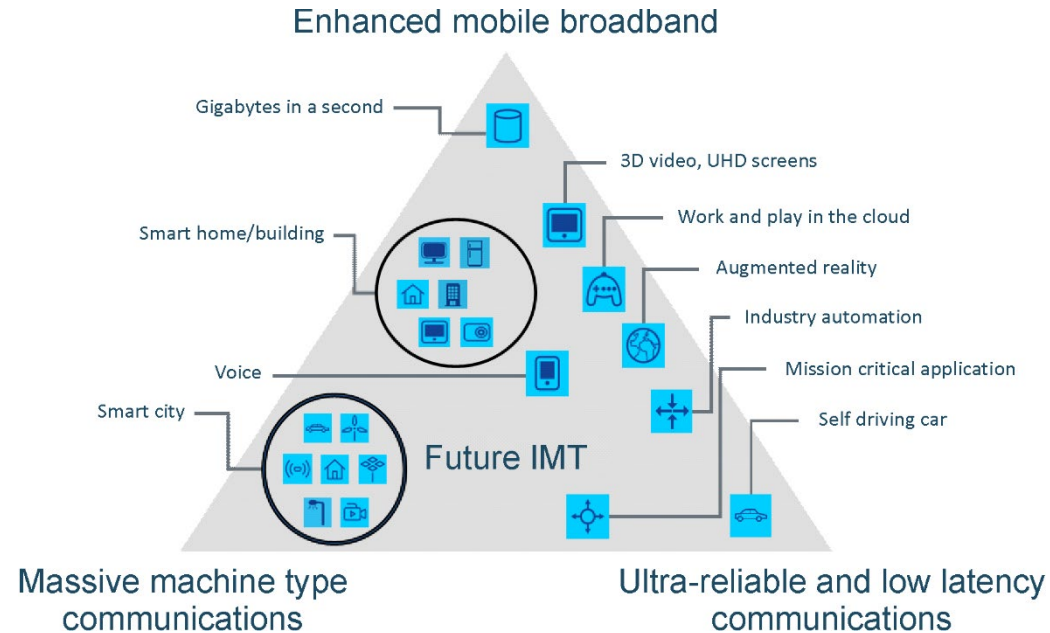
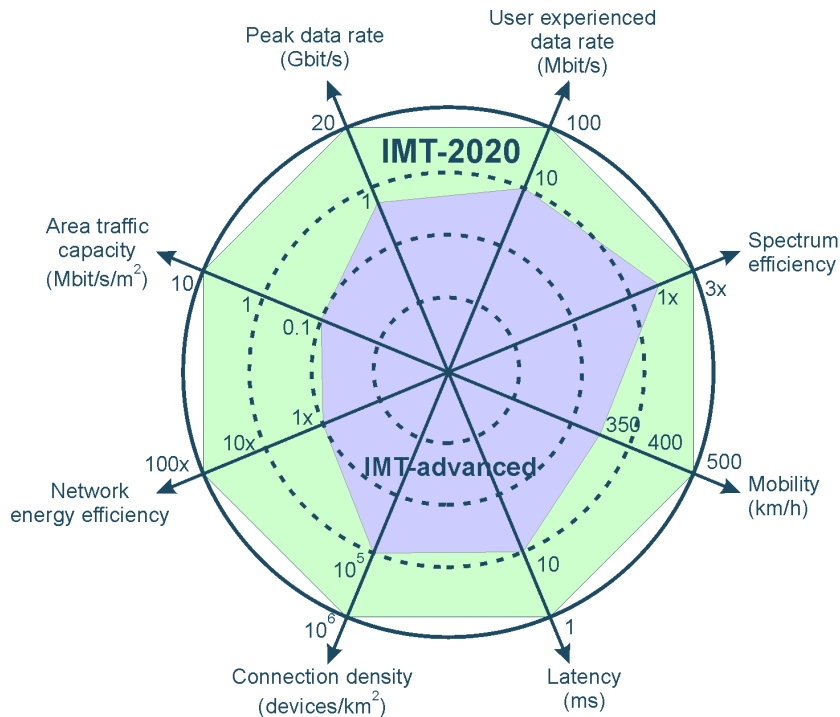


- UIT
 - ITU-R WP5D tiene las responsabilidades sobre sistemas IMT
 - IMT-2000 (3G)
 - IMT-Advanced (4G)
 - IMT-2020 (desarrollo de nuevas tecnologías IMT)
 - Definición de recomendaciones sobre IMT en cooperación con organismos de estandarización, pero no desarrolla especificaciones técnicas
 - Identificación del espectro para los sistemas: WARC (1992, 00, 07, 12, 15, 19, **23**)



Reguladores (II)

- UIT: IMT-2020, escenarios de uso y capacidad de los sistemas 5G

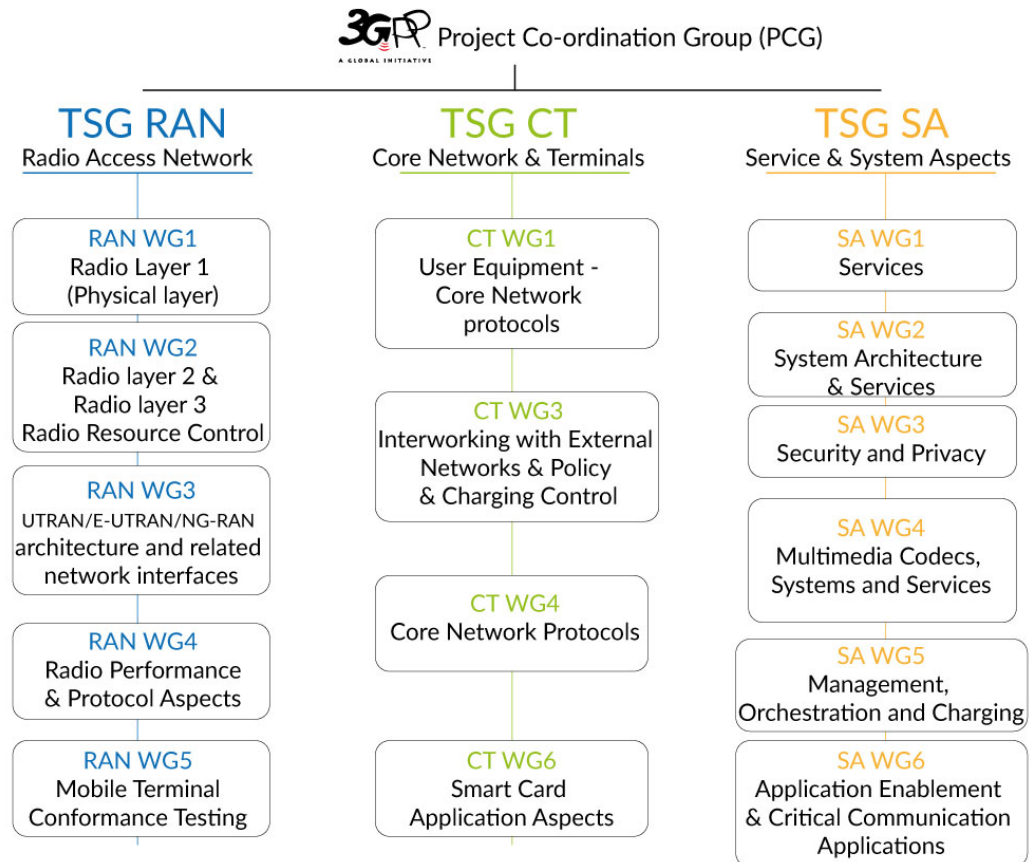


ITU-R M.2083-0

Reguladores (III)

■ 3GPP (1998)

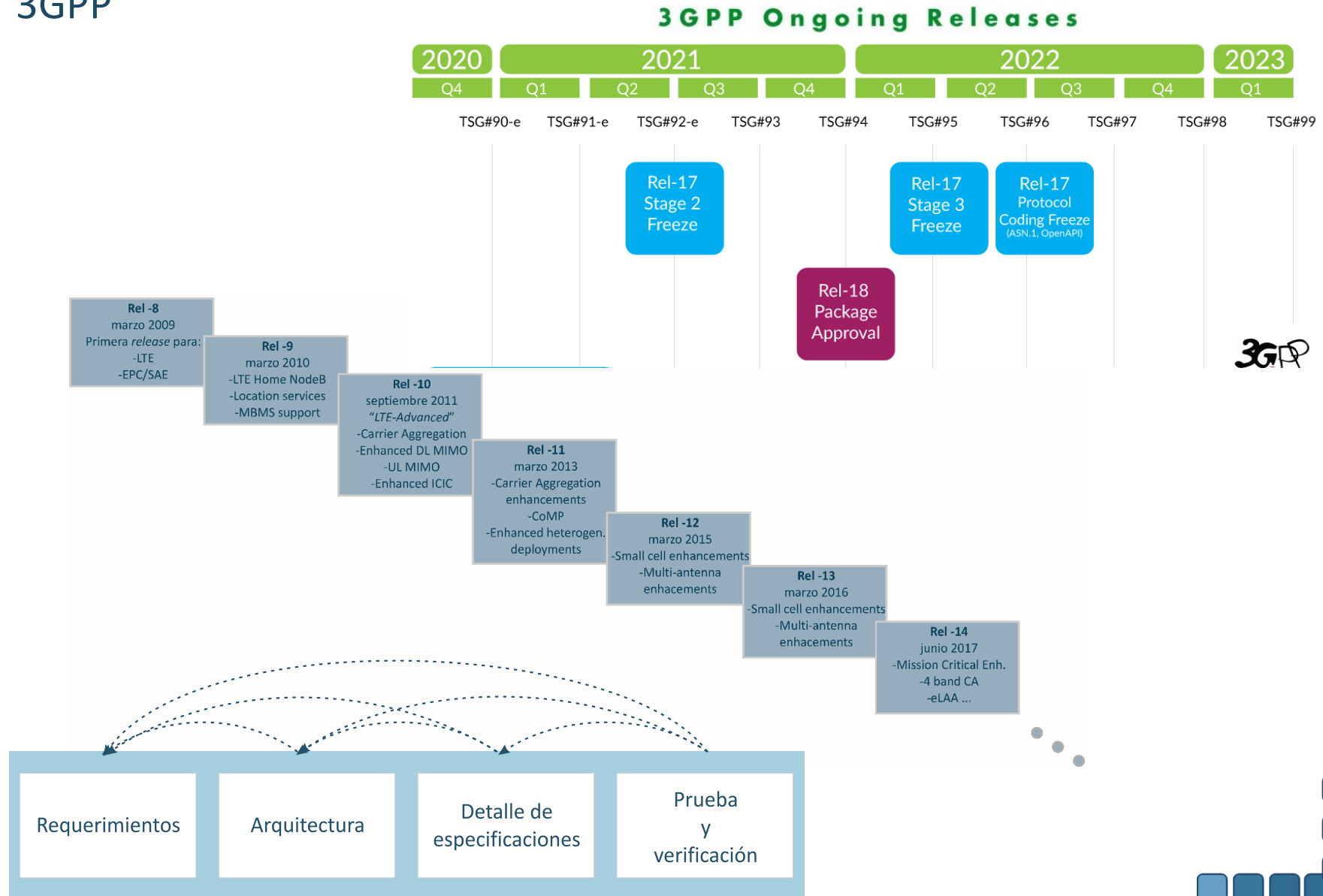
- Abarca las tecnologías de redes de telecomunicaciones celulares (acceso radio, red de transporte, servicios, interacción con redes Wi-Fi)
- Produce especificaciones técnicas que los organismos de estandarización (*Organizational Partners*) materializan en forma de estándares



<http://www.3gpp.org>

Reguladores (IV)

■ 3GPP



5G: acceso radio (I)

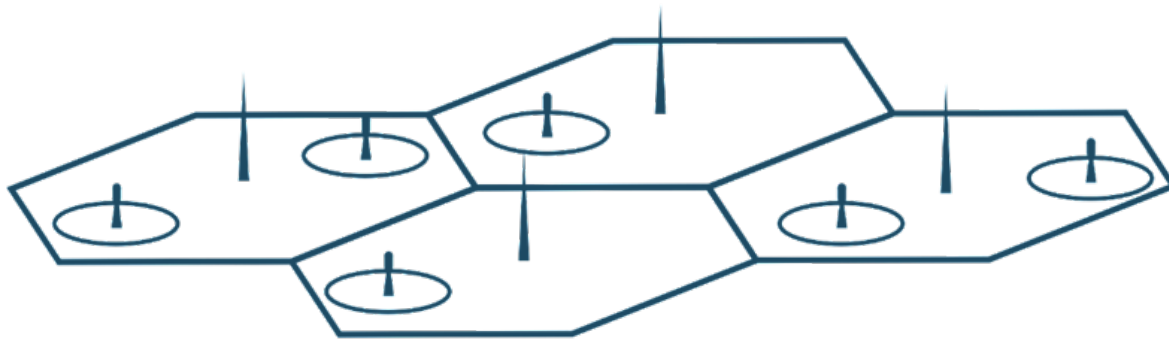
- Aumento de dispositivos conectados (100.000 mill.), del tráfico (x1000), de la velocidad (10 Gbit/s)
- 3GPP Release 13, 14, 15 (5G NR), ...: mejoras en el acceso radio de LTE
 - Redes heterogéneas
 - Bandas de frecuencia separadas entre capas (nodos “macro” y “pico”)
 - Combinar modos FDD y TDD entre capas
 - Conectividad dual entre capas
 - Interacción WLAN-LTE en escenarios de conectividad dual
 - Mejoras multi-antena
 - Mejoras en la comunicación entre máquinas: GSM → LTE y 5G
 - Comunicación directa entre dispositivos (D2D, *Device to Device*)



5G: acceso radio (II)

■ Redes heterogéneas

- Combinar capas macro, micro y picoceldas con solapamientos de cobertura
- Aumento de nodos: mayor tráfico por m^2 y menor distancia BS-MS (mejor balance de enlace, aumento de tasas de datos alcanzables)
- Hay que manejar interferencia entre capas



Despliegues heterogéneos

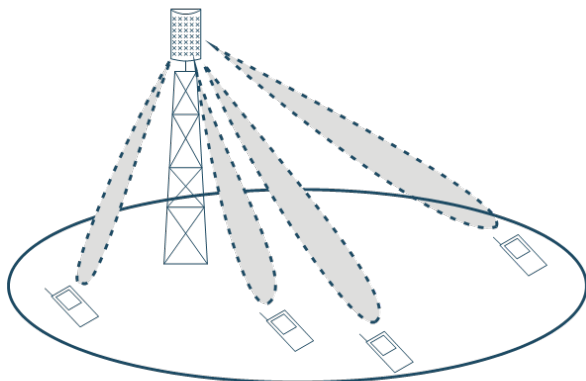
5G: acceso radio (III)

- Redes heterogéneas: gestión de interferencias (inter-layer)
 - Bandas de frecuencia separadas entre capas
 - Utilizar banda de frecuencias alta para picoceldas y bandas bajas para áreas cobertura amplia (macroceldas)
 - Combinar modos FDD y TDD entre capas
 - Modo de explotación FDD para celdas de mayor cobertura (macro y microceldas) y TDD para la capa de área local (picoceldas)
 - TDD dinámico, la red puede adaptarse al uso de recursos en UL y DL. Mejora de rendimiento
 - Conectividad dual
 - Un terminal podría comunicarse simultáneamente con diferentes nodos en UL y DL
 - Optimizar enlace para el UL (pérdidas menores), en DL conexión del MS a nodos con mayores pérdidas de propagación
 - Interacción WLAN-LTE en conectividad dual
 - Desde hace años 802.11 utilizada por operadores para descargar tráfico
 - Combinar ambas tecnologías (base y complementaria)

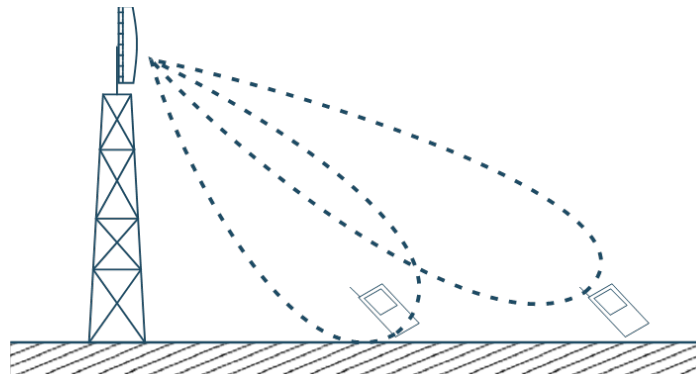
5G: acceso radio (IV)

■ Mejoras multi-antena

- Sistemas con agrupaciones de antenas activas: cada vez más común
- RRH (Remote Radio Heads): RF con amplificadores y transceptores junto a la antena o bajo el mismo radomo
- Conformación de haces 3D (azimuth y elevación)
- MIMO masivo: gran cantidad de elementos para conformar haces muy estrechos
- Aumento de antenas Tx/Rx, aumento de velocidades a costa de más cabeceras de RF, consumo y procesamiento de señal



MIMO masivo



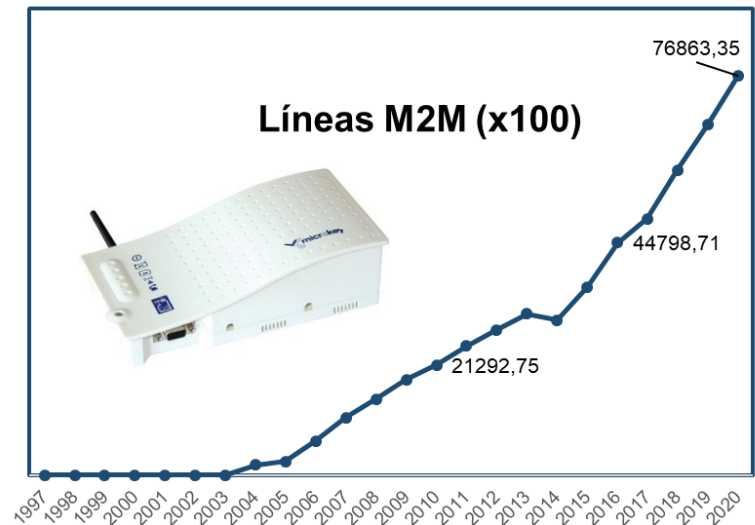
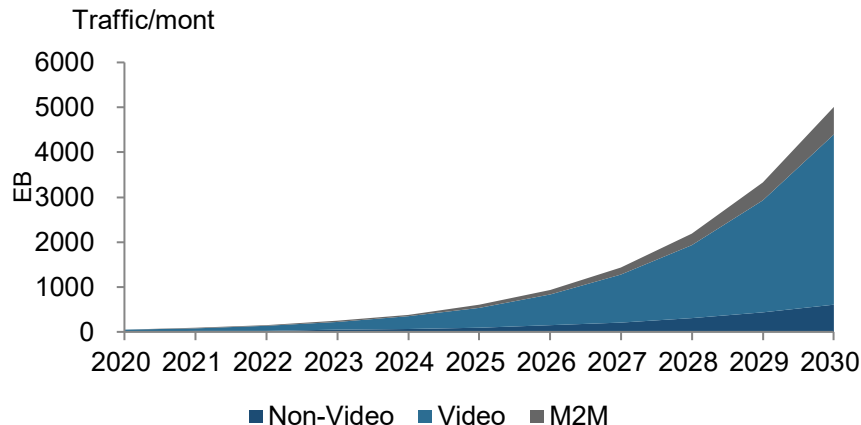
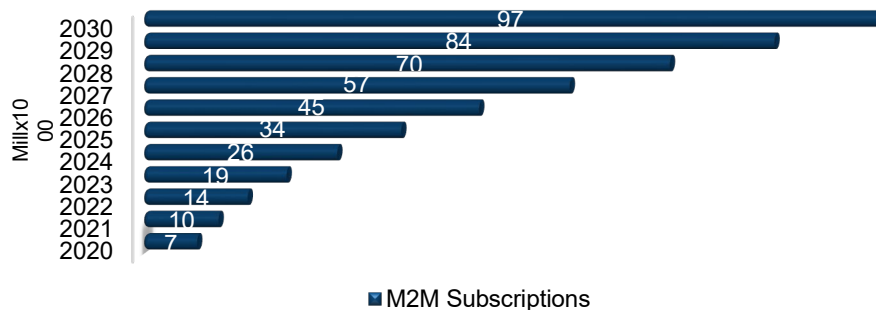
Configuración de haces 3D



5G: acceso radio (V)

■ Mejoras M2M (Machine to Machine)

- Smartcities, e-salud, seguridad, gestión de flotas, gestión de activos, agricultura,...
- Migrar módulos a tecnología 4G y 5G. Dispositivos de bajo coste y complejidad, bajo consumo y para sportar un elevado número de dispositivos por célula



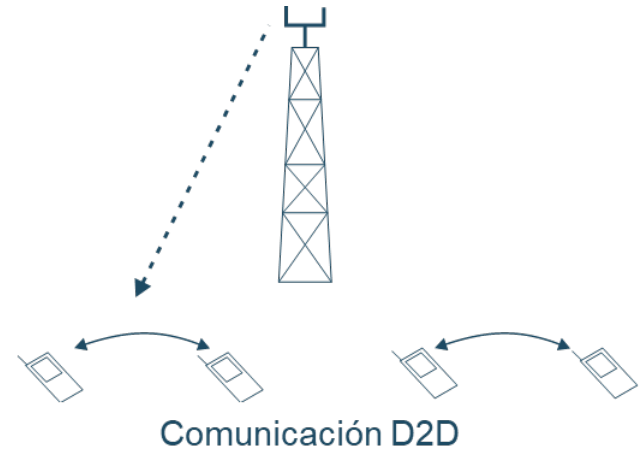
ESTAD/CNMC/002/21 (julio 2021)

Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia,
<http://www.cnmc.es>

5G: acceso radio (VI)

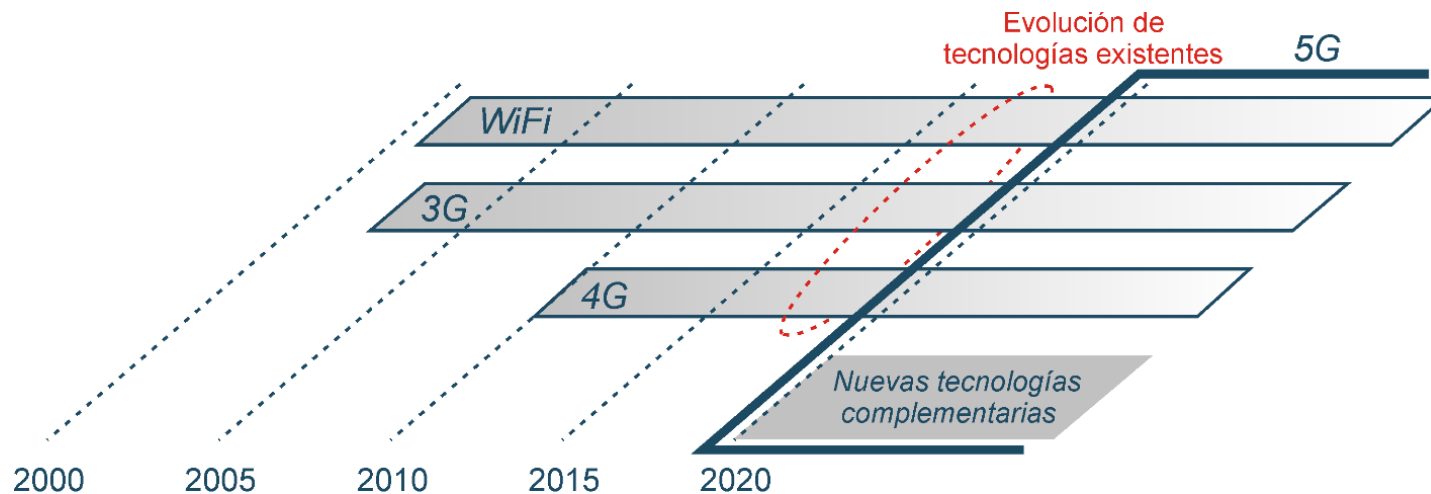
■ Comunicaciones D2D

- D2D o direct mode communications: comunicación directa entre dispositivos móviles (símil a Bluetooth o Wifi Direct)
- Se evita en sistemas celulares transmisión a través de nodo
- Aumento de complejidad al implementar directivas de autenticación, sincronización, autorización y MS de diferentes operadores
- Mejoras:
 - SE
 - Velocidad de usuario
 - Capacidad
 - Eficiencia energética
 - Cobertura extendida
 - Latencia
 - “Ganancia de proximidad”, con un único enlace



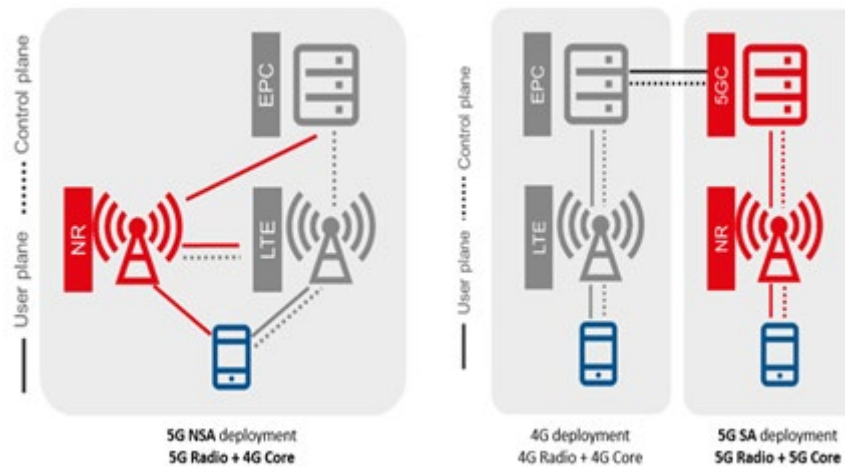
5G: acceso radio (VII)

- Evolución de la red en distintos ámbitos
 - Se requiere más espectro 5G NR (WRC-2023)
 - FR1 (410 MHz - 7.125 MHz)
 - FR2: FR2-1 (24250 MHz – 52600 MHz), FR2-2 (52600 MHz – 71000 MHz)
 - Despliegues celulares ultra densos
 - Asignación del espectro y acceso compartido (LSA, Licensed Shared Access)



5G: acceso radio (VIII)

- 4G y 5G convivirán y se complementarán
 - Desarrollo de redes 5G: Non-Stand Alone (NSA) y Stand Alone (SA)
 - 5G NSA: 5G NR con núcleo de red de 4G. 1ª etapa.
 - 5G SA: nuevo Core de red 5G, independiente de 4G. Tendencia para los escenarios de uso más avanzados.

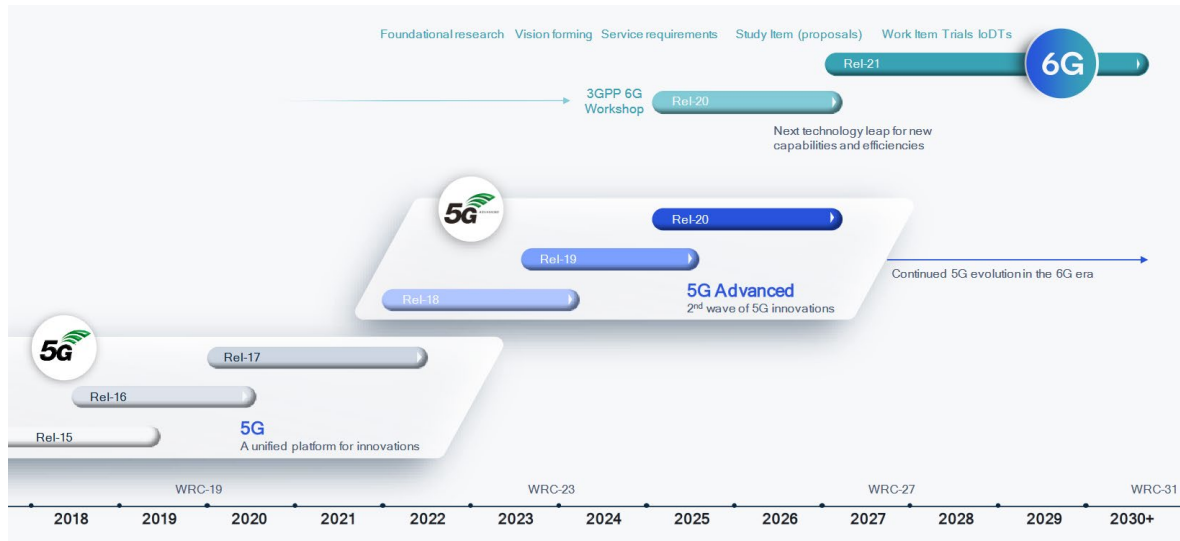


GSMA (01/2023)

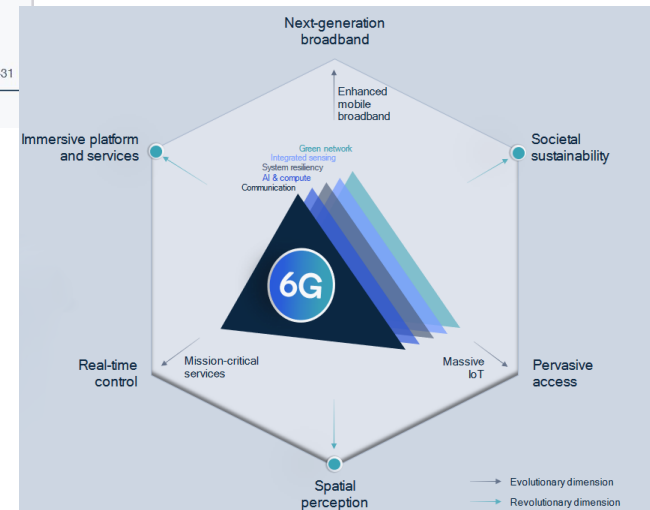
<https://www.gsma.com/latinamerica/es/5g-non-stand-alone-vs-5g-stand-alone-esta-es-la-diferencia/>

5G: acceso radio (IX)

■ Evolución de la red en distintos ámbitos



GSA, <http://www.gsacom.com> "Why and what you need to know about 6G in 2022", Qualcomm, November 2022



■ 5G-NSA, 5G-SA, 5G-NR ...

- [1] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, <http://www.minetur.gob.es>
- [2] Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, <http://www.cnmc.es>
- [3] GSA – The Global Mobile Suppliers Association, <http://www.gsma.com>
- [4] The 3rd Generation Partnership Project, <http://www.3gpp.org>
- [5] IEEE Standards Association, <http://standards.ieee.org>
- [6] UIT – Unión Internacional de Telecomunicaciones, <http://www.itu.int>
- [1] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Sköld, *LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband*, Academic Press, 2nd Ed., 2014