



Sistemas de comunicaciones inalámbricas



Curso de posgrado

Fernando Gregorio

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



NEON
Network of Competence on Internet of Things



Contenido del curso

- Estructura de un transceiver inalámbrico elemental
 - Modulación / demodulación
 - Codificación de fuente
 - Codificación de canal
 - Ecualización de canal
 - Técnicas de acceso múltiple: sistemas multiportadora (OFDM) y espectro disperso.
- Sistemas de espectro disperso
 - Principios de las técnicas de espectro disperso
 - Sistema DSSS (Direct-sequence spread spectrum)
 - Códigos de spreading
 - Sistemas FHSS (frequency hopping)
 - Sistemas multiusuario: canales de subida y bajada, CDMA



Contenido del curso

- Sistemas de portadoras múltiples (OFDM)
 - Motivación
 - Representación dominio tiempo/frecuencia de un sistema OFDM ideal
 - Prefijo cíclico
 - Ventajas de OFDM sobre sistemas de portadora única
- Implementación “real” de sistemas OFDM
 - Implementación digital de OFDM
 - Sincronización
 - Estimación de canal
 - Codificación de canal
 - Constelaciones, mapeos y ecualización
 - Una introducción a MIMO-OFDM
 - Imperfecciones de RF y su efecto sobre el sistema.



Contenido del curso

- Detección multiusuario
 - Una introducción a las técnicas de detección multiusuario
 - Detector optimo
 - Detectores lineales
 - Detectores basado en decisiones (iterativos)
 - Implementación: Complejidad y desempeño
- OFDM en los sistemas estandarizados
 - Numerología: número de portadoras, ancho de banda, tiempo de símbolo
 - Aplicaciones de telefonía celular - LTE versión 13: Parámetros de implementación , Detalles de la capa física,
 - Aplicación de elevada movilidad: HST (escalabilidad, efecto doppler)
 - Aplicación de muy bajo consumo: nodos NB-iOT
 - Comunicación máquina- máquina M2M: sistemas LTE-M
 - OFDM en aplicaciones futuras: tendencias en 5G



Contenido del curso

- Sistemas MIMO MASIVO
 - Introducción
 - Diseño de precodificadores: complejidad vs desempeño
 - Sistemas de celda única /multicelda
 - Características del canal mimo masivo
 - Implementación: complejidad vs costo vs consumo
 - OFDM y MIMO MASIVO en 5G



Bibliografía

Referencias

- Andrea Goldsmith, Wireless Communications, Cambridge University Press, 2005.
- K. Fazel, S. Kaiser, Multi-carrier and spread spectrum systems: from OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX, 2nd ed., ISBN 978-0-470-99821-2, Wiley, 2008.
- Tao Jiang, Lingyang Song, and Yan Zhang, Orthogonal frequency division multiple access fundamentals and applications, ISBN 978-1-4200-8824-3, CRC Press, 2010.
- S. Verdu, Multiuser Detection, (first ed.), Cambridge University Press, UK, 1998.
- Andrea Molish, Wireless communications, 2da edition, Wiley, 2012.
- Harry Holma, LTE Small cell optimization, Wiley, 2016.
- Afif Osseiran, 5G mobile and wireless communication technology, Cambridge University Press, 2016.
- Marzetta, Larsson, Fundamentals of Massive MIMO, Cambridge University Press, 2016

Sistemas inalámbricos



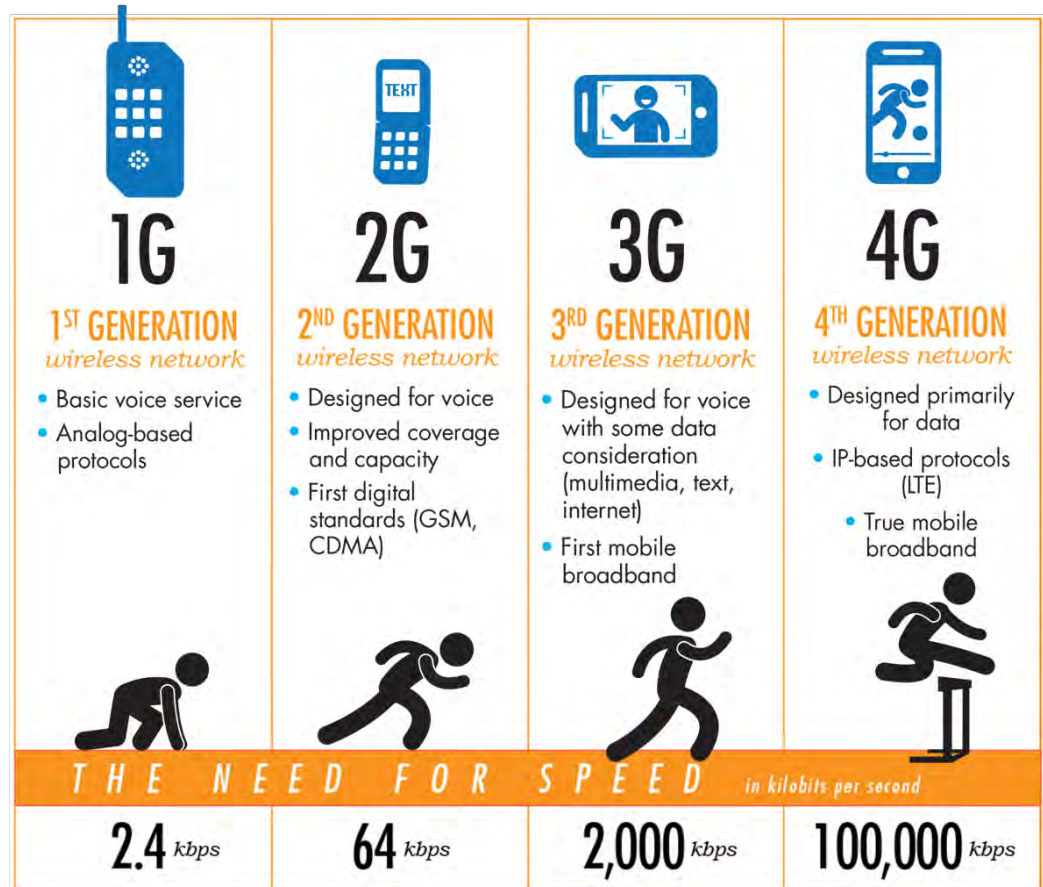
Los sistemas inalámbricos han cambiado nuestros hábitos de vida

- El dispositivo mas conocido es el teléfono celular
- Sin embargo convivimos diariamente con otros dispositivos inalámbricos.
 - Radio
 - TV
 - Acceso a Internet (WIFI)
 - Mouses y teclados inalámbricos
 - GPS
 - Redes de sensores, IoT



Requerimientos de las comunicaciones

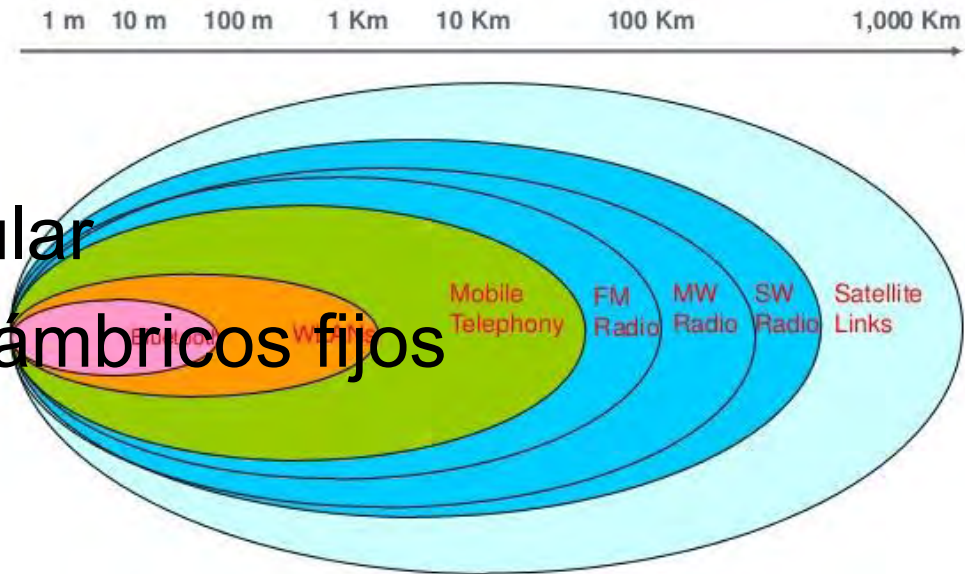
- Tasa de transferencia
- Dependiendo de las aplicaciones diferentes velocidades son requeridas
- Desde 64 Kb/s (voz) hasta cientos/miles de Mb/s (datos)



Requerimientos de las comunicaciones

○ Rango de cobertura y movilidad

- Body-area-networks
- WPAN
- WLAN
- Servicios celular
- Servicios inalámbricos fijos
- Satélites



UN EJEMPLO :

Cuidado de la salud



Application	Target data rate	No. of nodes	Topology	Setup time	P2P latency	BER	Duty cycle	Desired battery lifetime
Deep brain stimulation	1 Mb/s	2	P2P	< 3 s	< 250 ms	< 10^{-3}	< 50%	> 3 years
Hearing aid	200 kb/s	3	Star	< 3 s	< 250 ms	< 10^{-10}	< 10%	> 40 hours
Capsule endoscope	1 Mb/s	2	P2P	< 3 s	< 250 ms	< 10^{-10}	< 50%	> 24 hours
Drug dosage	< 1 kb/s	2	P2P	< 3 s	< 250 ms	< 10^{-10}	< 1%	> 24 hours
ECG	72 kb/s (500 Hz sample, 12-bit ADC, 12 channels)	< 6	Star	< 3 s	< 250 ms	< 10^{-10}	< 10%	> 1 week
EEG	86.4 kb/s (300 Hz sample, 12-bit ADC, 24 channels)	< 6	Star	< 3 s	< 250 ms	< 10^{-10}	< 10%	> 1 week
EMG	1.536 Mb/s (8 kHz sample, 16-bit ADC, 12 channels)	< 6	Star	< 3 s	< 250 ms	< 10^{-10}	< 10%	> 1 week
O ₂ /CO ₂ /BP/ temp/respiration/ glucose monitoring, accelerometer	< 10 kb/s	< 12	Star	< 3 s	< 250 ms	< 10^{-10}	< 1%	> 1 week
Audio	1 Mb/s	3	Star	< 3 s	< 100 ms	< 10^{-5}	< 50%	> 24 hours
Video/med imaging	< 10 Mb/s	2	P2P	< 3 s	< 100 ms	< 10^{-3}	< 50%	> 12 hours

UN EJEMPLO :

Cuidado de la salud



Body area network: Requerimientos

Characteristic	Requirement	Desired Range
Operating space	In, on or around the body	Typically 0–3 m and extendable up to 5 m
Network siz	Modest	< 64 Devices per BAN
Data rate	Scalable	From sub kb/s up to 10 Mb/s
Target Lifetime	Ultra-long for implants Long for wearable	Up to 5 year for implants Up to 1 week for wearable
Target frequency bands	Global Unlicensed and Medical bands	MedRadio, ISM, WMTS, UWB
Peak Power consumption	Scalable	e.g., Between 0.001–0.1mW in stand-by mode up to 30mW in fully active mode
MAC	Scalable, reliable, versatile, self-forming	Low power listening, wake up, turn-around and synchronization
Topology	Star, Mesh or Tree	Self-forming, distributed with multi-hop support
Device duty cycle	Adaptive, Scalable	From 0.001% up to 100%
Coexistence	Coexistence with legacy devices and self-coexistence	Simultaneous co-located operation of up to 10 independent BANs
QoS support and differentiation	Real-time waveform data, periodic parametric data, episodic data and emergency alarms	<ul style="list-style-type: none">• BER: from 10^{-10} to 10^{-3}• P2P latency: from 10ms – 250ms• Reservation and prioritization
Fault tolerance	No single point of failure	Ability to isolate and recover from failures. Self-healing capability
Dynamic Environment	Body shadowing (twisting, turning, running), attenuation	Seamless operation of multiple nodes moving in and out of range of each other
Security	Many levels, long term, short term, light weight	Authentication, Authorization, Privacy, Confidentiality, Encryption, Message integrity
Safety/Biocompatibility	No harmful effects of long term continuous use	Meet regulatory requirements. e.g., FDA, SAR and HIPPA
Setup time and procedure	Not to be perceived as a slow or tedious	Up to 3 sec
Ergonomic consideration	Size, shape, weight and form factor restricted by location and organ	Non-invasive, unobtrusive, small size, weight and form-factor
Reprogramming, Calibration, Customization	Personalized, integrated, configurable and context aware services	Ability to reprogram, recalibrate, tune and configure devices wirelessly



UN EJEMPLO : Cuidado de la salud

Bandas de frecuencias para una BAN

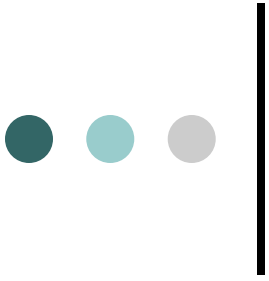
Frequency (MHz)	Acronym	Suitability to BAN applications	
		Merits	Demerits
401~406	MedRadio	Worldwide availability, good propagation characteristics, quiet channel, medical only	Secondary usage, body-worn applications not allowed in 402~405 MHz core band, large antenna size, limited bandwidth, stringent rules
433.05~434.79	General Telemetry	Good propagation characteristics	EU/AU/NZ/SA only, crowded spectrum, large antenna, limited bandwidth
608~614 1395~1400 1427~1432	WMTS	Good propagation characteristics, medical only	Licensed secondary use limited to healthcare providers inside healthcare facilities in US, limited spectrum, heavily used
868~870	General Telemetry	Good propagation characteristics	EU only, limited spectrum, heavily used
902~928	ISM	Good propagation characteristics	US/Canada only, crowded spectrum
2400~2483.5 (2400~2500)	ISM	Worldwide availability, small antenna, large bandwidth	Crowded spectrum, many standards and technologies
5725~5850	ISM	Worldwide availability, small antenna, large bandwidth	Existing standards and technologies, severe attenuation
4200~4800 7250~8500	UWB	Worldwide availability, short range, low power, huge bandwidth	Coexistence with high data rate multimedia applications, severe attenuation

UN EJEMPLO : Cuidado de la salud



Opciones para una BAN

Technology	Suitability for BAN	
	Merits	Demerits
Bluetooth classic	Established standard, widespread adoption in cell phones and laptops, health device profile defined, sufficient data rate, low cost	Higher power, limited scalability, limited QoS, coexistence with ISM band technologies, limited security, on-body only
Bluetooth Low Energy	Interoperable with Bluetooth, lower power than Bluetooth, leverage Bluetooth brand	Compatibility requirements limit design freedom, limited scalability, limited QoS, coexistence with ISM band technologies, on-body only
ZigBee	Emerging standard, healthcare profile defined, lower power than Bluetooth, scalable, smaller memory footprint	Low data rate, limited QoS, coexistence with ISM band technologies, on-body only
ANT	Simple protocol, low power, healthcare device profiles defined, smaller footprint	Proprietary, limited throughput, limited QoS, coexistence with ISM band technologies, general-purpose design, on-body only
Sensium	Ultra-low-power, custom designed for BANs	Proprietary, low data rate, limited QoS, coexistence with ISM band technologies
Zarlink ZL70101	Ultra-low power, MedRadio compliant, custom designed for implants	Proprietary, implants only



Telefonía celular

Su evolución

● ● ● | Evolución telefonía celular

○ 1G

- Modulación FM (analógica)
- Frecuencia: 800-900MHz
- Tamaños “gigantes”
- Elevado consumo
- Reducida eficiencia espectral
- A fines de los 80, el tamaño y el consumo comienzan a reducirse.



Evolución telefonía celular

○ 2G

- GSM
- TDMA
- Dual band 800-1800MHz”
- Modulación digital
- E-mails, SMS
- IS-95 adopta CDMA



Una introducción a los sistemas OFDM...

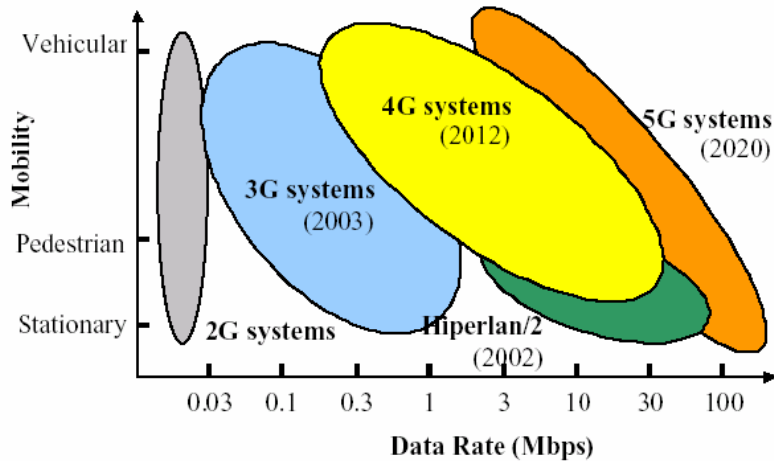
Evolución telefonía celular

○ 3G

- UMTS (Europa-japon)
- Combinación de FDMA/CDMA
- Audio, video, imágenes con tasas máximas de 384kb/s (usuarios móviles) y 2 Mb/s (usuarios estacionarios)



4G



4G: Un servicio universal

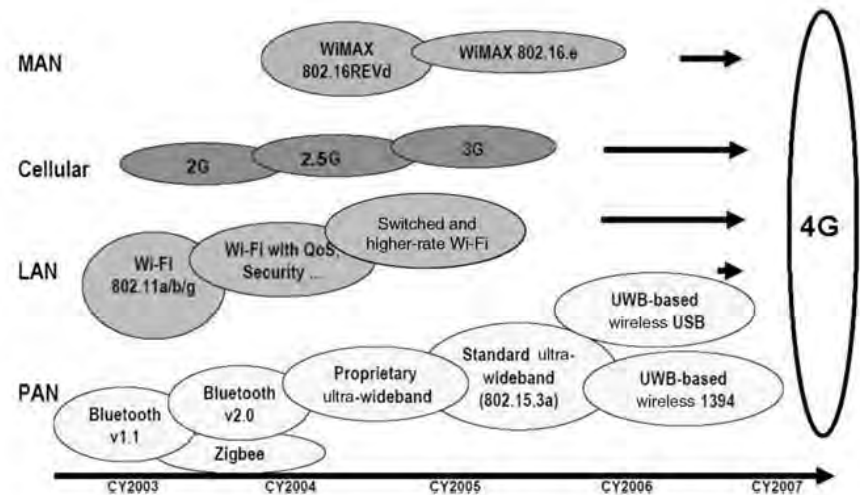


Figure 1.17 4G, just around the corner



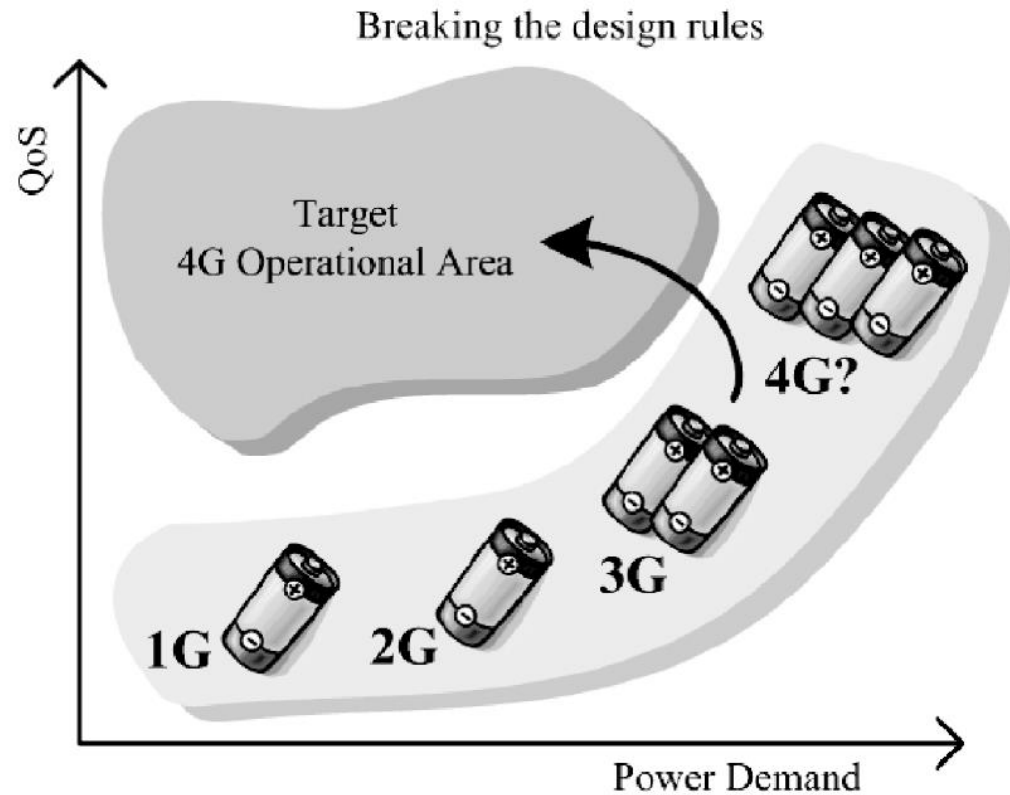
4G

Características principales

Data transfer capability	100 Mbps (wide coverage) 1 Gbps (local area)
Networking	Design targets representing overall cell throughput. All-IP network (access and core networks) Plug & Access network architecture An equal-opportunity network of networks
Connectivity	Ubiquitous Mobile Seamless Continuous
Network capacity	10-fold that of 3G.
Latency	Connection delay \downarrow 500 ms Transmission delay \downarrow 50 ms
Cost	Cost per bit: 1/10-1/100 that of 3G Infrastructure cost: 1/10 that of 3G
Connected entities	Person-to-person Person-to-machine Machine-to-machine
4G Keywords	Heterogeneity of networks, terminals and services Convergence of networks, terminals and services Harmonious wireless ecosystem Perceptible simplicity, hidden complexity Cooperation as one of its underlying principles.

4G

- ¿y el consumo?



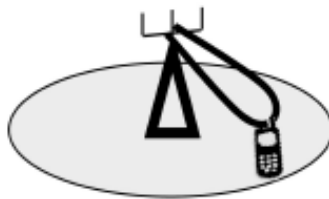
Multiples Antenas (MIMO)

- Se incorporan múltiples antenas



Diversidad espacial:

Mejora la robustez del sistema frente al canal



Ganancia de array: Concentra la energía en una dirección específica (beamforming)



Ganancia de multiplexado espacial: transmite múltiples señales ha un único usuario

Modulación

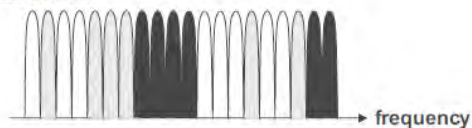
○ LTE:

- Uplink: single-carrier – FDMA
- Downlink: OFDMA

○ WiMAX:

- Uplink y downlink: OFDMA

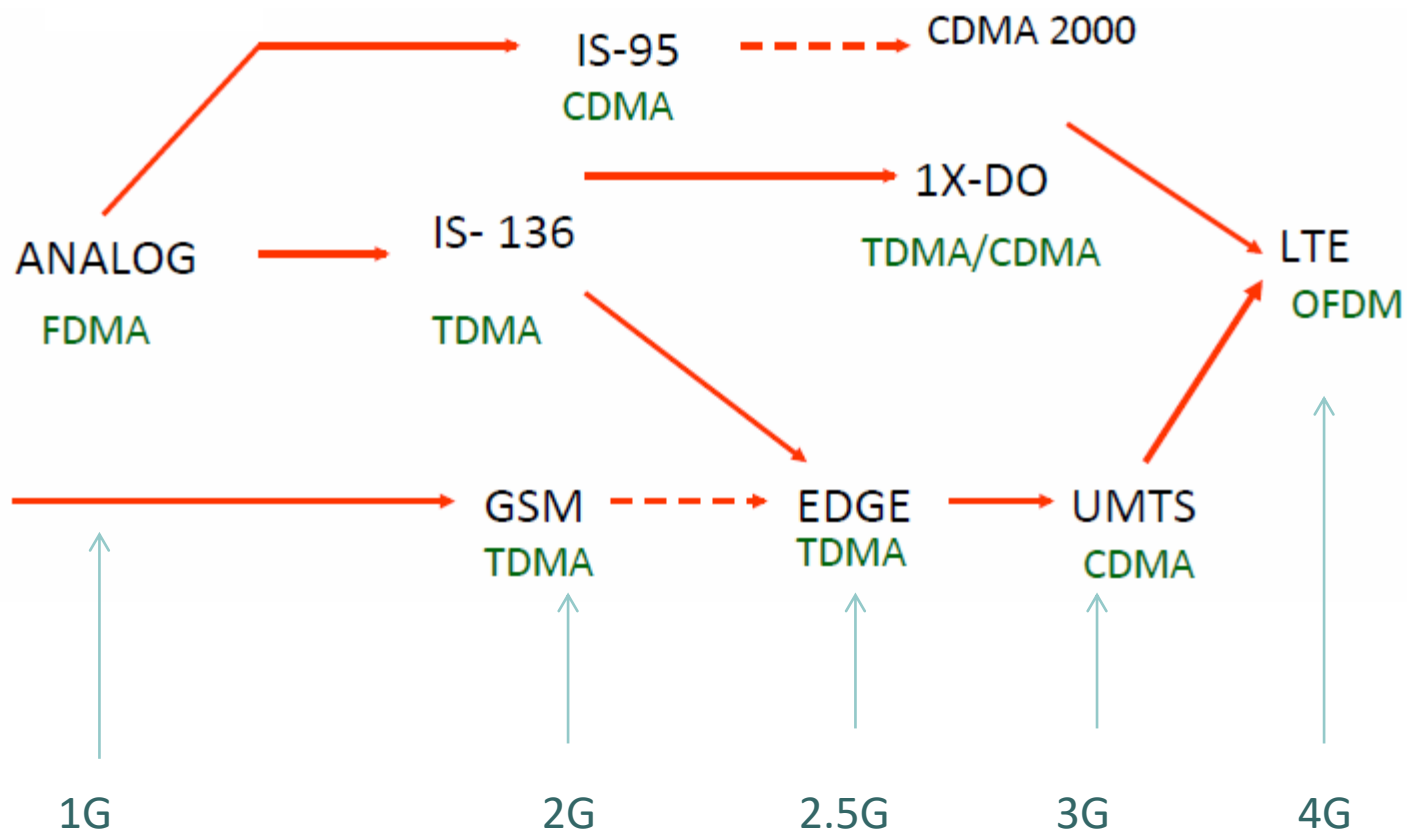
OFDMA Downlink



SC-FDMA Uplink



De 1G a 4G





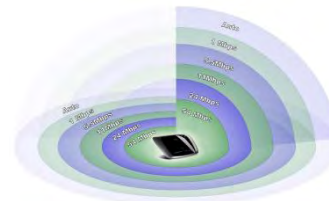
Nuevas demandas:IoT

¿Quién puede brindar una solución
integral a IoT?

Nuevas demandas: IoT



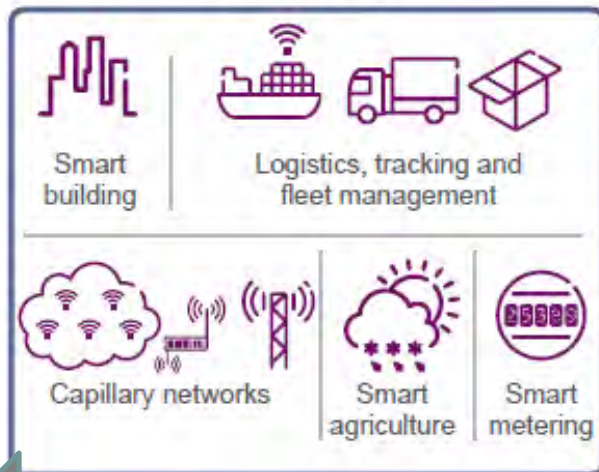
- IoT se trata de conectar miles de millones de dispositivos a Internet. Algunos ejemplos comunes son los dispositivos domésticos inteligentes.
- En aplicaciones industriales, iot puede brindar enormes beneficios mejorando la eficiencia operacional, reducir costos de implementación y reducir consumo de energía.
- El estudio de la información generado por los diversos dispositivos permitirá analizar el desempeño del sistema e implementar soluciones a medida.
- IoT impone requerimientos importantes:
 - **amplio rango de cobertura**
 - **Vida de la batería**
 - **bajo costo**
- Estos requerimientos NO son de fácil cumplimiento para la tecnología actual...



Diferentes escenarios para IoT

Diferentes tecnologías a considerar

Massive IoT



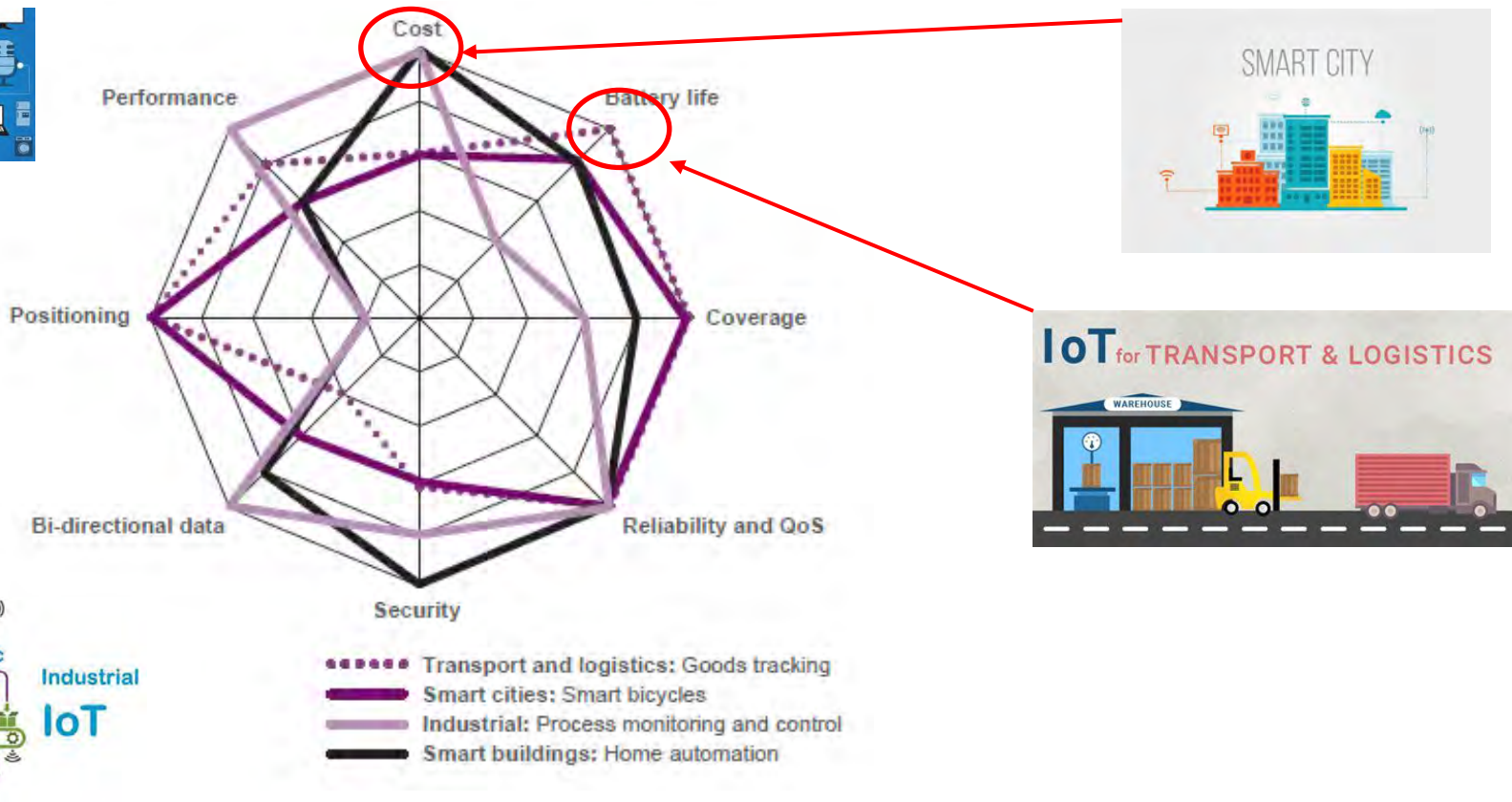
Critical IoT



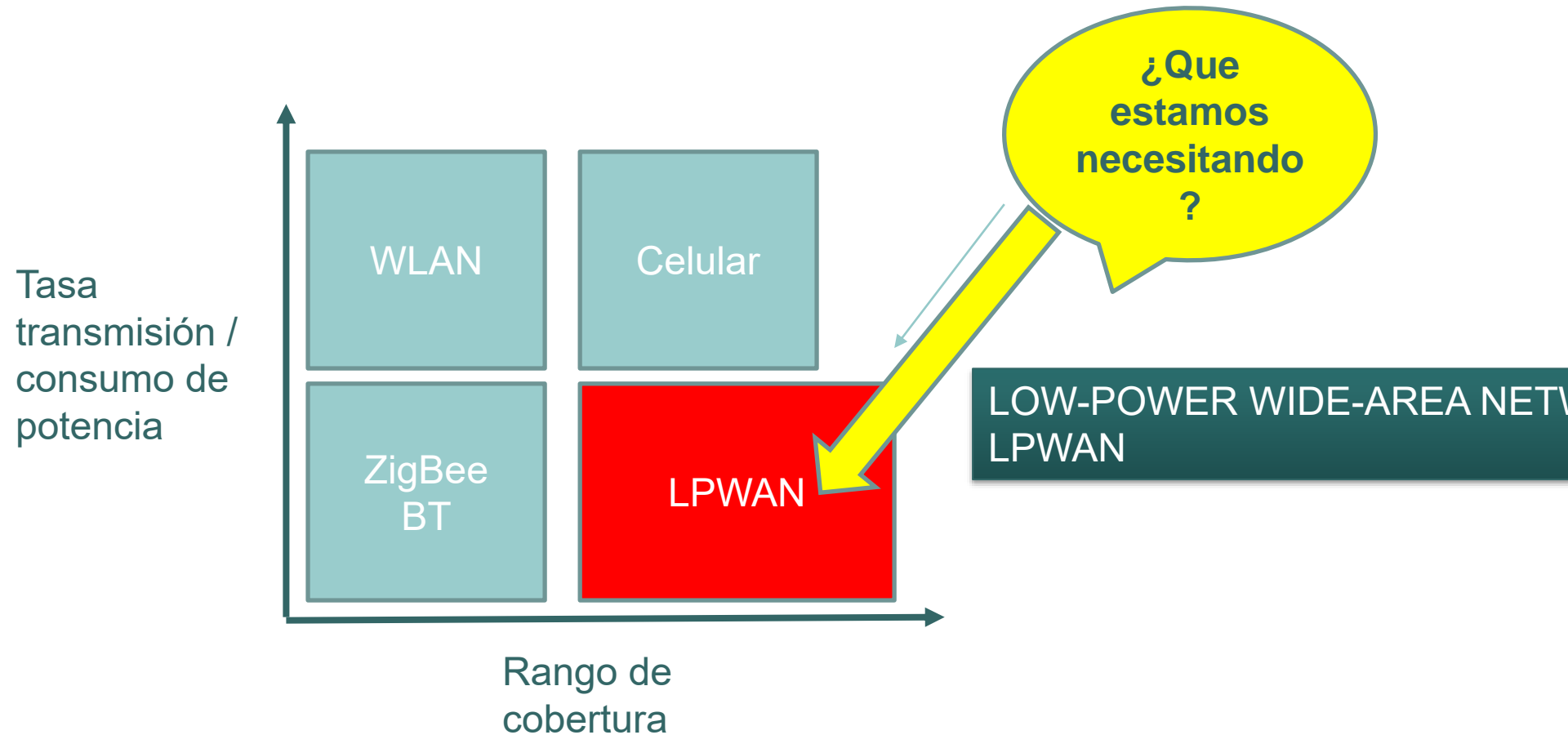
Bajo costo, bajo consumo, pequeños volúmenes de datos, masivo

Rápida respuesta, elevada disponibilidad, elevada confiabilidad

Demandas en función de la aplicación



Tasa de transmisión de datos, consumo, rango de cobertura





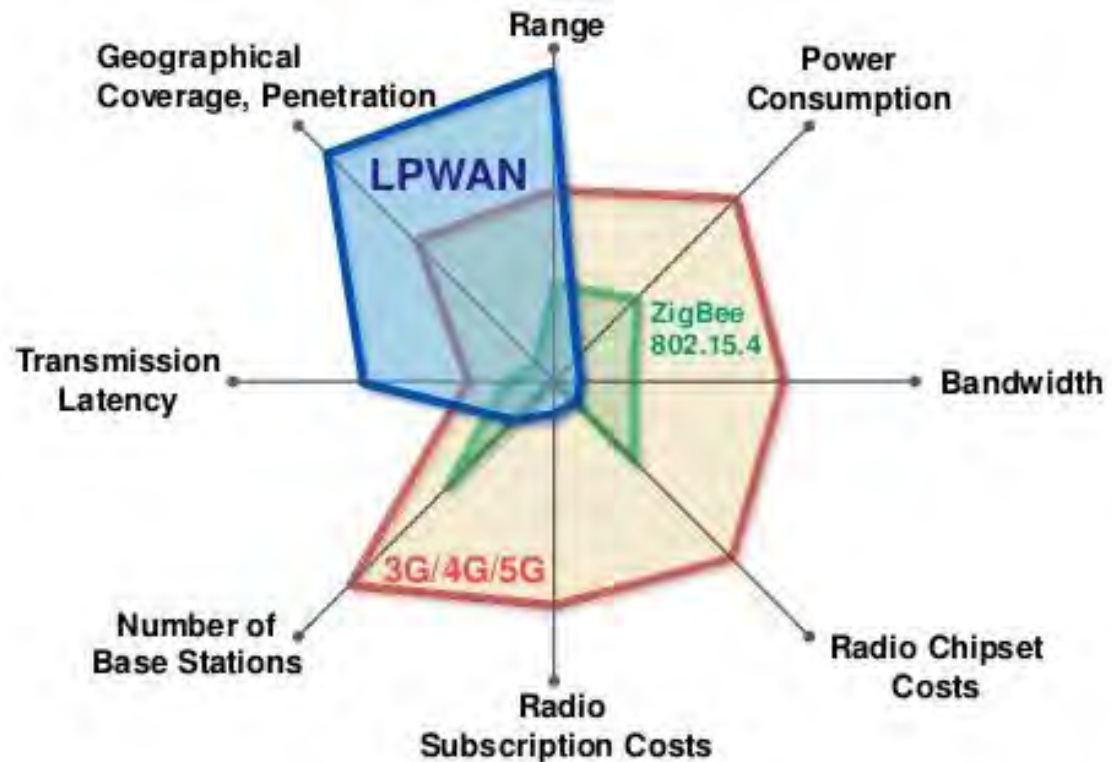
LPWAN

- LPWAN describe a una clase de protocolos de red diseñados para establecer conexiones entre dispositivos de baja energía con servidores de red.
- Esta diseñada para alcanzar:
 - Gran rango de cobertura (5-15km)
 - Muy bajo consumo de energía (duración de la batería > 10 años)
 - Pequeño tamaño de paquetes
 - Moderada/alta latencia

Una red de área amplia de baja potencia es un tipo de red telecomunicaciones inalámbricas diseñada para permitir comunicaciones de largo alcance a una tasa de bits baja entre otras cosas, como sensores operados en un batería. [WIKIPEDIA](#)[wikipedia](#)

LPWAN

LPWAN
vs
Celulares
vs
Zigbee



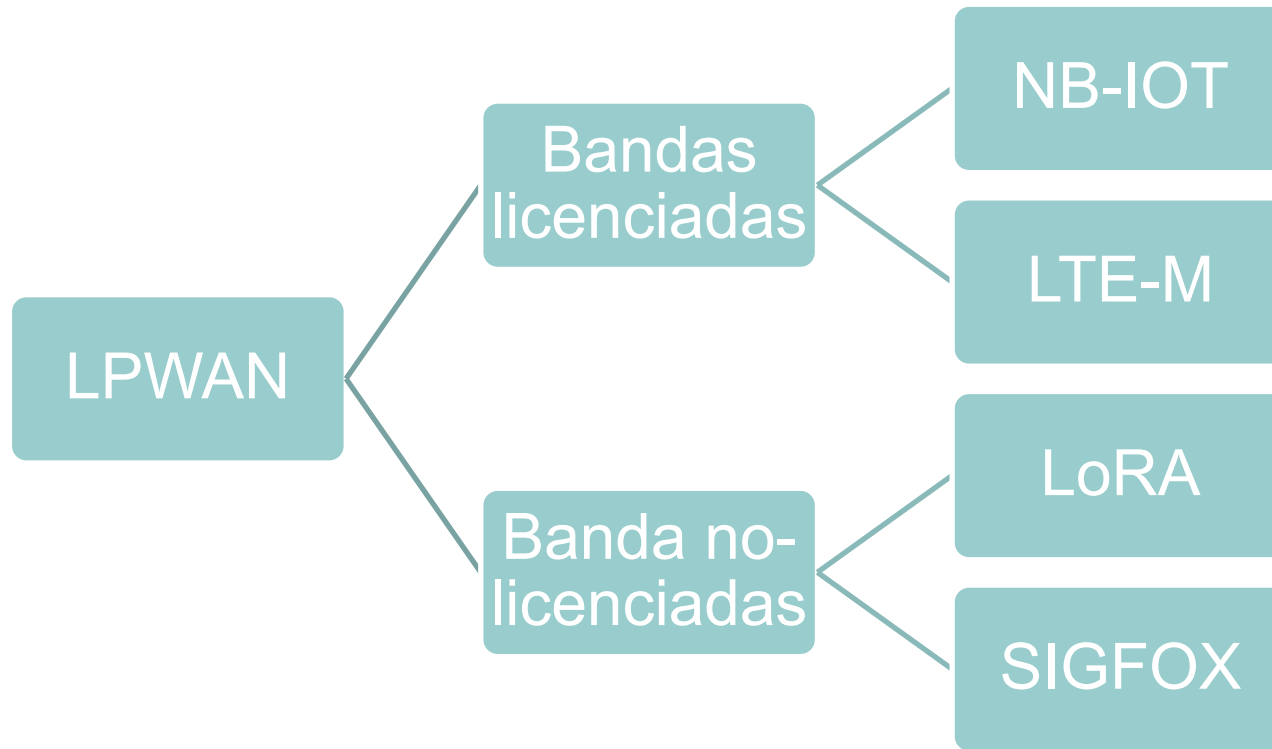


Consumo, cobertura, tasa de transmisión

- Existe una relación de compromiso entre tasa de transmisión, consumo energético y área de cobertura.
- WLAN y LTE pueden brindar corto y largo rango de cobertura respectivamente con muy elevadas tasas de transmisión.
ELEVADO CONSUMO DE ENERGÍA
- ZIGBEE, y Bluetooth pueden transmitir a una tasa moderado con bajo consumo de energía. BAJO RANGO DE COBERTURA
- LPWAN cumple los requerimientos de consumo y cobertura sacrificando velocidad de transmisión de datos.

Muchas de las aplicaciones de ciudades inteligentes como el alumbrado público inteligente, la medición inteligente y el estacionamiento inteligente requieren tasas de datos muy bajas, pero con áreas de cobertura extremadamente grandes → LPWAN.

¿Quiénes son los jugadores en este partido?





¿Quien es quien? – No-licenciadas

- Las tecnologías LPWAN con licencia y sin licencia comparten algunas características en común. Elevados niveles de cobertura y reducido consumo energético. Las diferencias clave están en términos de los ecosistemas que rodean estas tecnologías.

SIGFOX es un ecosistema multi-vendor y utiliza las bandas de frecuencia por debajo de GHz. Ofrece muy pequeño tamaño de paquetes (12 bytes) y dispositivos de muy bajo costo. SIGFOX fue uno de los primeros vendedores para LPWAN.

LoRa es una tecnología propietaria (Semtech).

LoRaWAN es un protocolo de red que usa la tecnología LoRa para comunicar y administrar dispositivos LoRa.

¿Quien es quien? – No-licenciadas - LORA

- LoRa desarrollada por Semtech presenta las siguientes características:
 - Alta tolerancia a las interferencias
 - Alta sensibilidad para recibir datos (-168dB)
 - Basado en modulación chirp
 - Bajo Consumo (hasta 10 años con una batería)
 - Largo alcance 10 a 20km
 - Baja transferencia de datos (hasta 255 bytes)
 - Conexión punto a punto
 - Frecuencias de trabajo: 915Mhz América, 868 Europa, 433 Asia

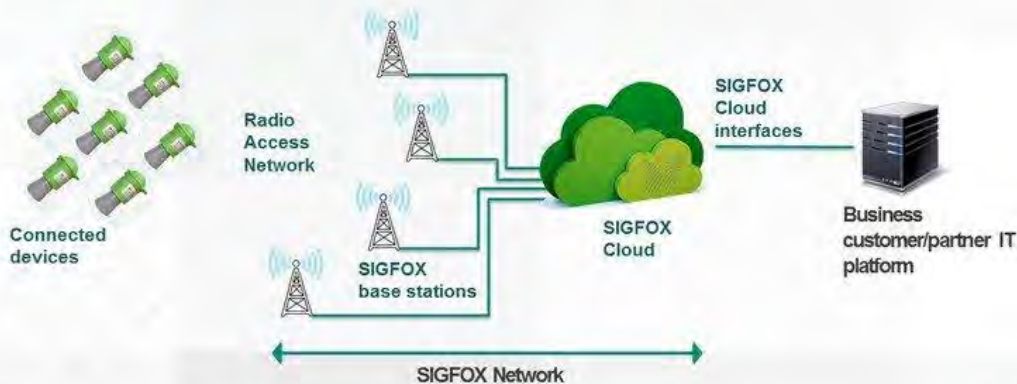


¿Quien es quien? – No-licenciadas - Sigfox



sigfox

SIGFOX Network has a **star topology**: each of the base stations communicates with the SIGFOX Cloud via a **point-to-point link**

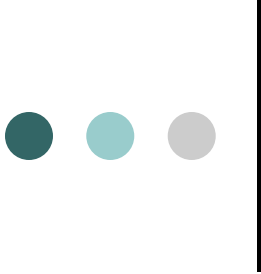


Sigfox pros:

- Backend network de soporte
- Elevado rango de cobertura (algunos Km en ciudades, hasta 40km en zonas rurales)
- Muy baja potencia

Sigfox cons:

- Servicio de subscripcion
- Muy baja tasa: 100 bytes/sec
- No esta disponible en todos lados (se debe revisar que exista servicio en la zona de desarrollo)
- 140 x 12 byte upload and 4 x 8 byte download mensajes por dia
- Frecuencia fija en funcion de la localizacion



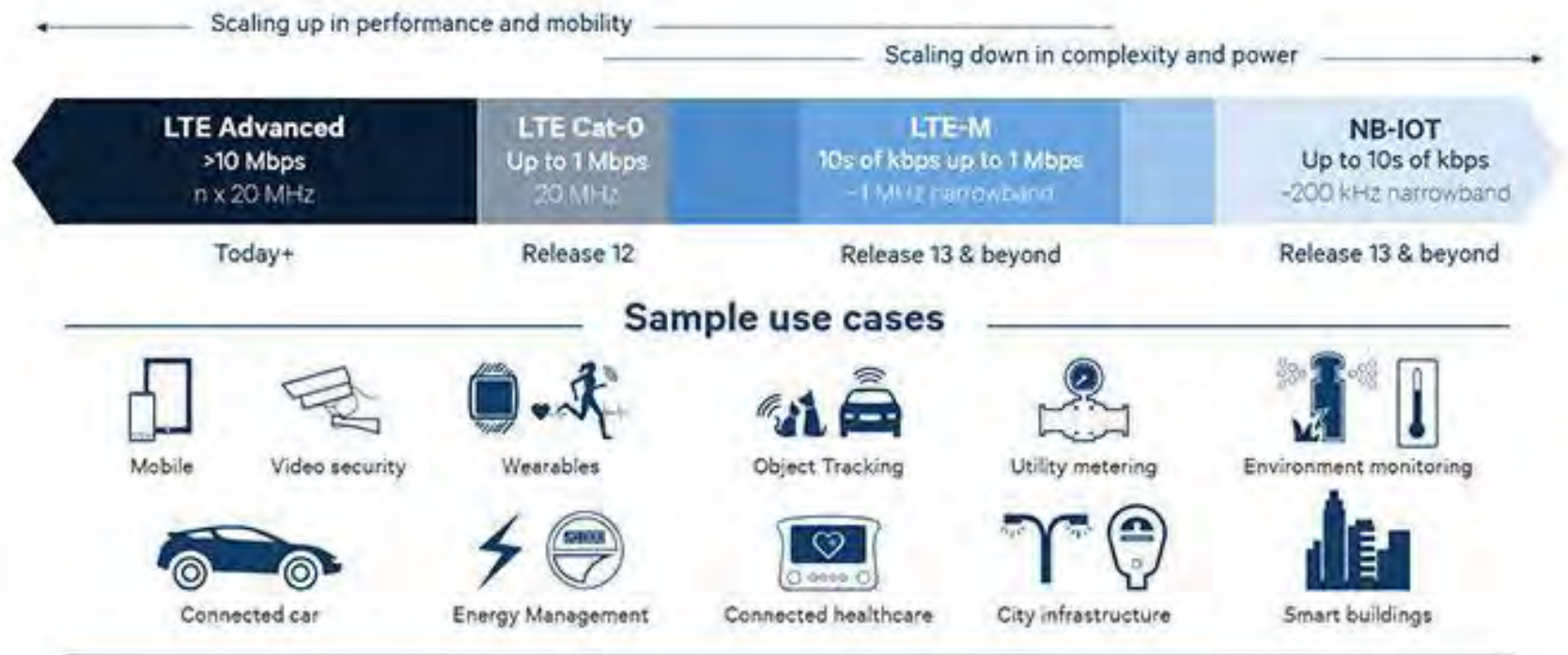
¿Quien es quien?- licenciadas

NB-IoT, LTE Cat-M1 y EC-GPRS son estándares celulares de IoT.
Son ecosistemas de varios proveedores

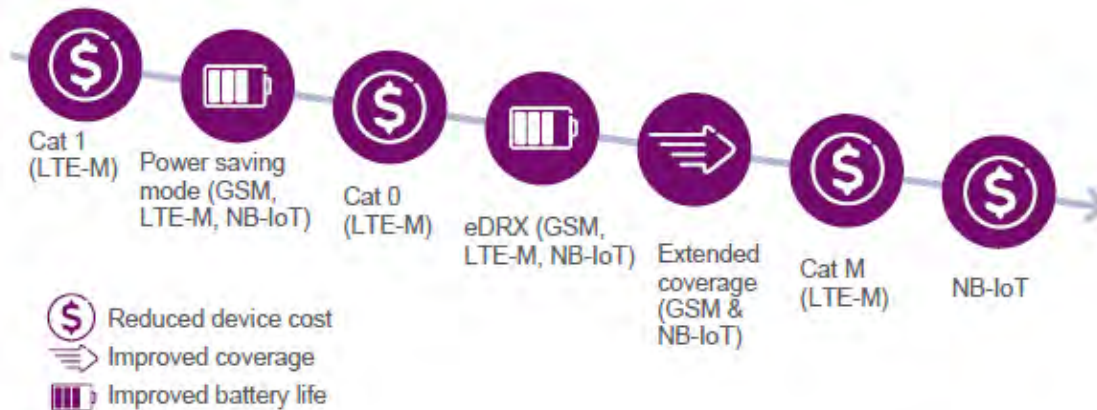
- ❑ **LTE Cat-M1** se modifica a partir de las tecnologías LTE existentes lanzadas por 3GPP. Es una versión simplificada de la tecnología existente y hace uso de conjuntos de chips más simples y menos costosos. Ofrece velocidades de datos más rápidas que otras tecnologías LPWAN. Se puede admitir con una actualización de software a la infraestructura LTE existente.
- ❑ **NB-IoT** es una tecnología específica lanzada por 3GPP. Se puede admitir con una actualización de software para LTE o infraestructura de RAN existente. Sus beneficios incluyen un costo de dispositivo relativamente bajo y muy buena calidad de enlace en comparación con otras tecnologías.
- ❑ **EC-GPRS** es la versión de cobertura extendida de GPRS. Se puede admitir con una actualización de software para la infraestructura GSM.

LTE: La herramienta de las TELCOS para IOT

En función de las aplicaciones, LTE puede ofrecer diferentes tipos de variantes



LTE: La herramienta de las TELCOS para IOT



En función de las aplicaciones, LTE puede ofrecer diferentes tipos de variantes

LTE: La herramienta de las TELCOS para IOT

EC-GSM

Global solution for cellular IoT



Supported on legacy GSM equipment

Thin layer GSM

Leverages existing module ecosystem



LTE-M

Broadest range of cellular IoT capabilities



Wide range of bit-rates enabling advanced applications



Efficient co-existence with MBB traffic



NB-IoT

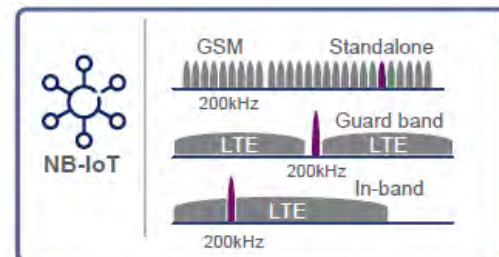
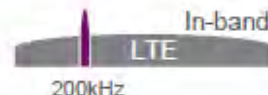
Scalable ultra-low-end cellular IoT solution



Ultra-low bit rates and extreme coverage



Native narrowband solution





LTE: LA HERRAMIENTA DE LAS TELCOS PARA IOT

	LTE Rel-8 Cat-1	LTE Rel-12 Cat-0	LTE Rel-13 Cat-M1	NB-IoT Rel-13	EC-GSM-IoT Rel-13
DL peak rate	10 Mbps	1 Mbps	1 Mbps	~0.2 Mbps	~0.5 Mbps
UL peak rate	5 Mbps	1 Mbps	1 Mbps	~0.2 Mbps	~0.5 Mbps
Duplex mode	Full	Half or full	Half or full	Half	Half
UE bandwidth	20 MHz	20 MHz	1.4 MHz	0.18 MHz	0.2 MHz
Maximum transmit power	23 dBm	23 dBm	20 or 23 dBm	23 dBm	23 or 33 dBm
Relative modem complexity	100%	50%	20-25%	10%	Not evaluated
Note: peak data rates refer to full duplex operation for Cat-0 and Cat-M1					

LORA vs NB-IOT VS Sigfox

El costo puede
definir la solución a
elegir!!!

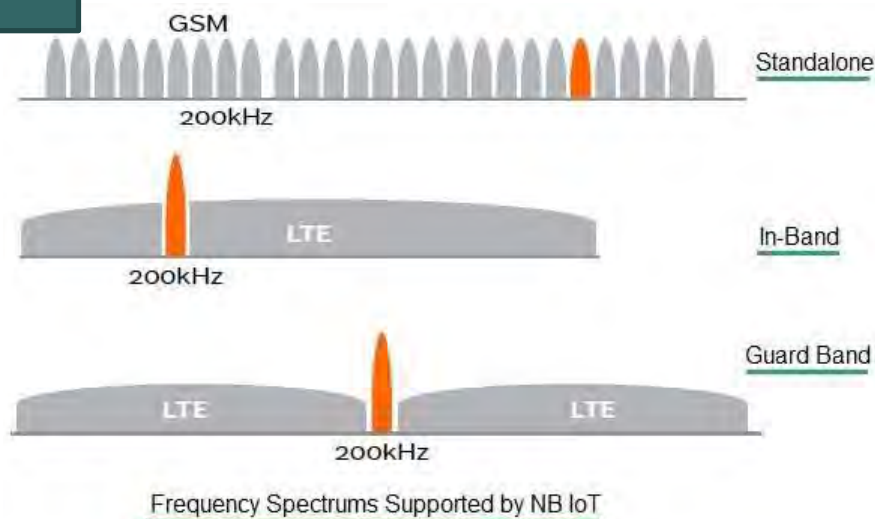


	Spectrum cost	Deployment cost	End-device cost
Sigfox	Free	>4000€/base station	<2€
LoRa	Free	>100€/gateway >1000€/base station	3–5€
NB-IoT	>500 M€ /MHz	>15 000€/base station	>20€

Valores año 2016

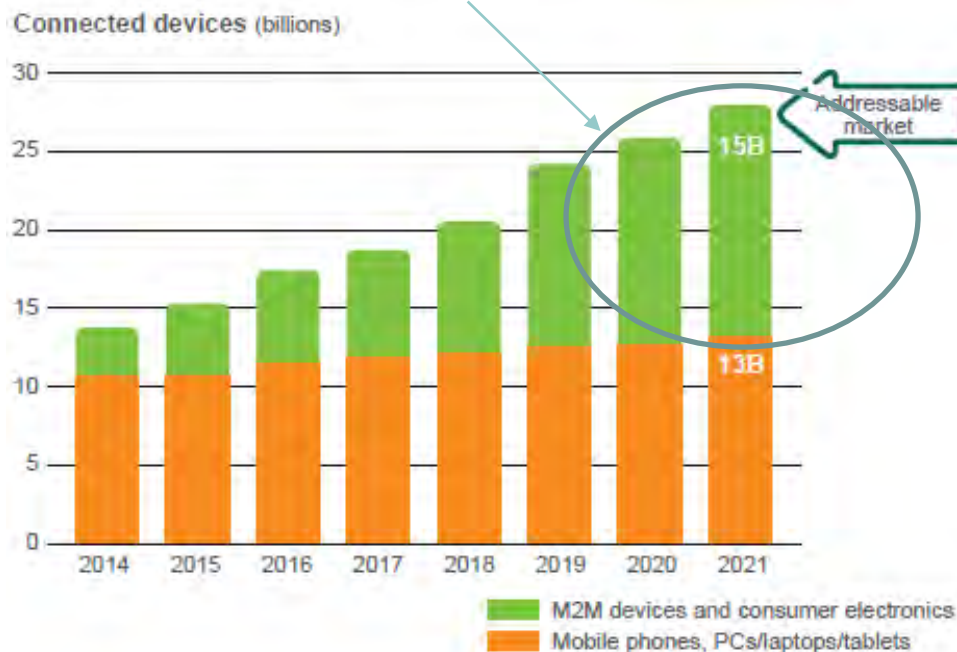
NB-IOT

3 modos de
operacion



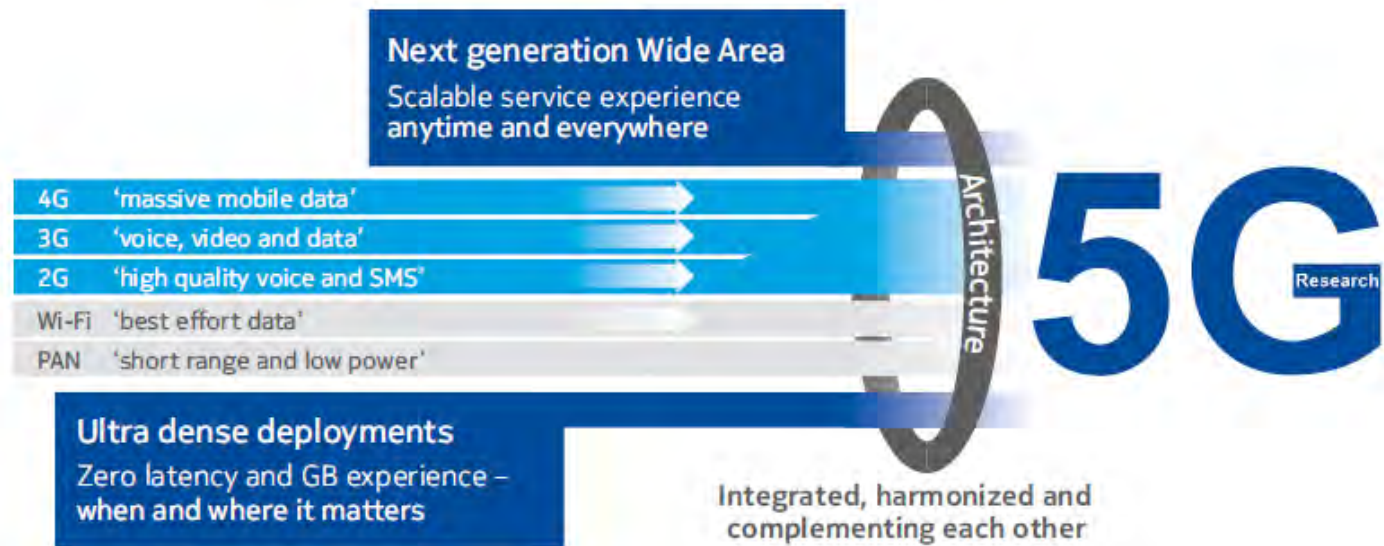
Dispositivos conectados: evolución

- Las empresas de telefonía celular (licenciadas) desean quedarse con una porción importante de ese mercado



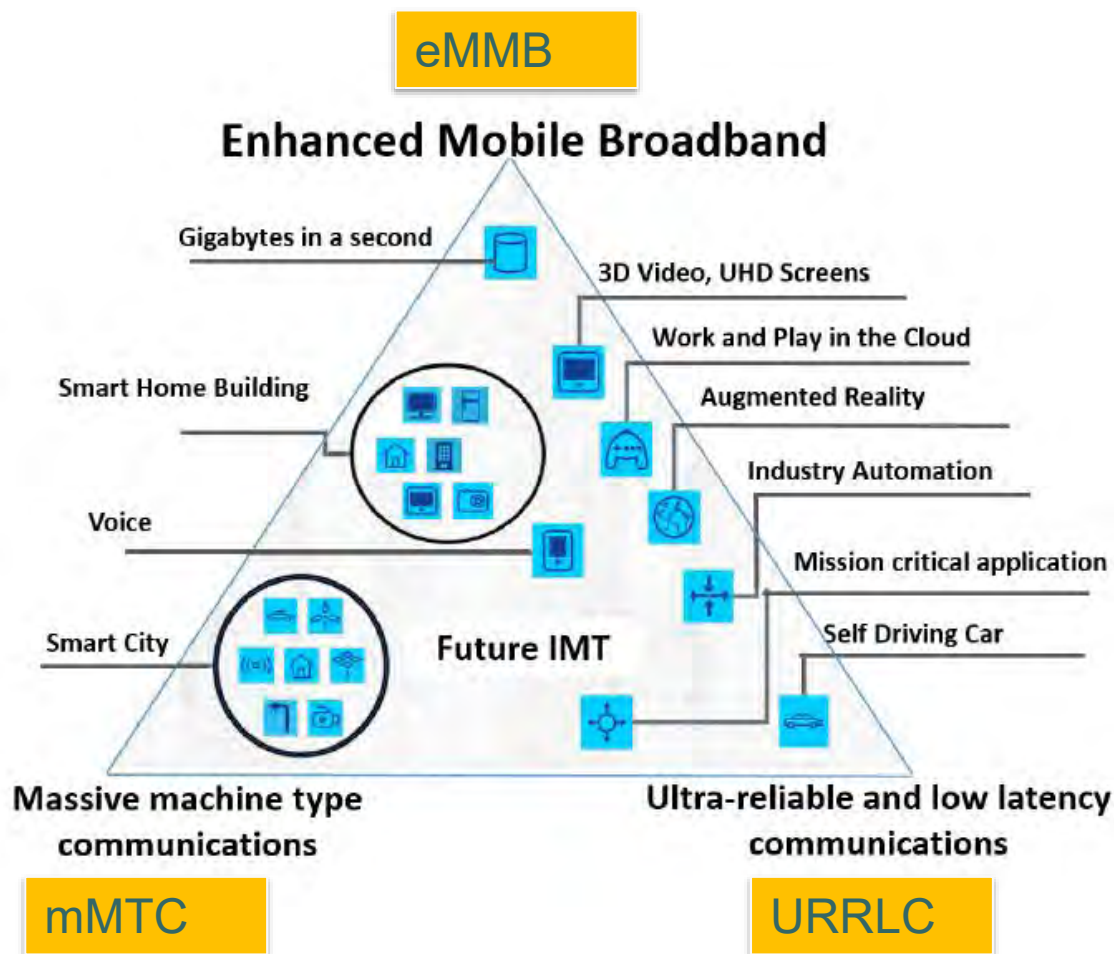
- Conexiones maquina a maquina M2M
- IoT

4G y la historia continua

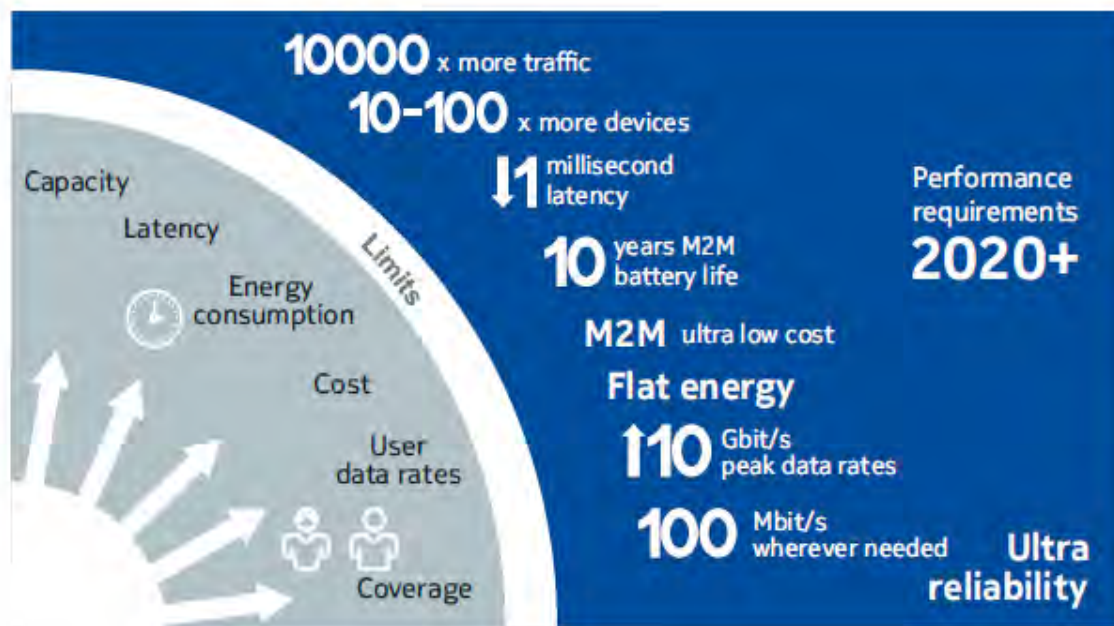


NOKIA

5G: servicio a medida

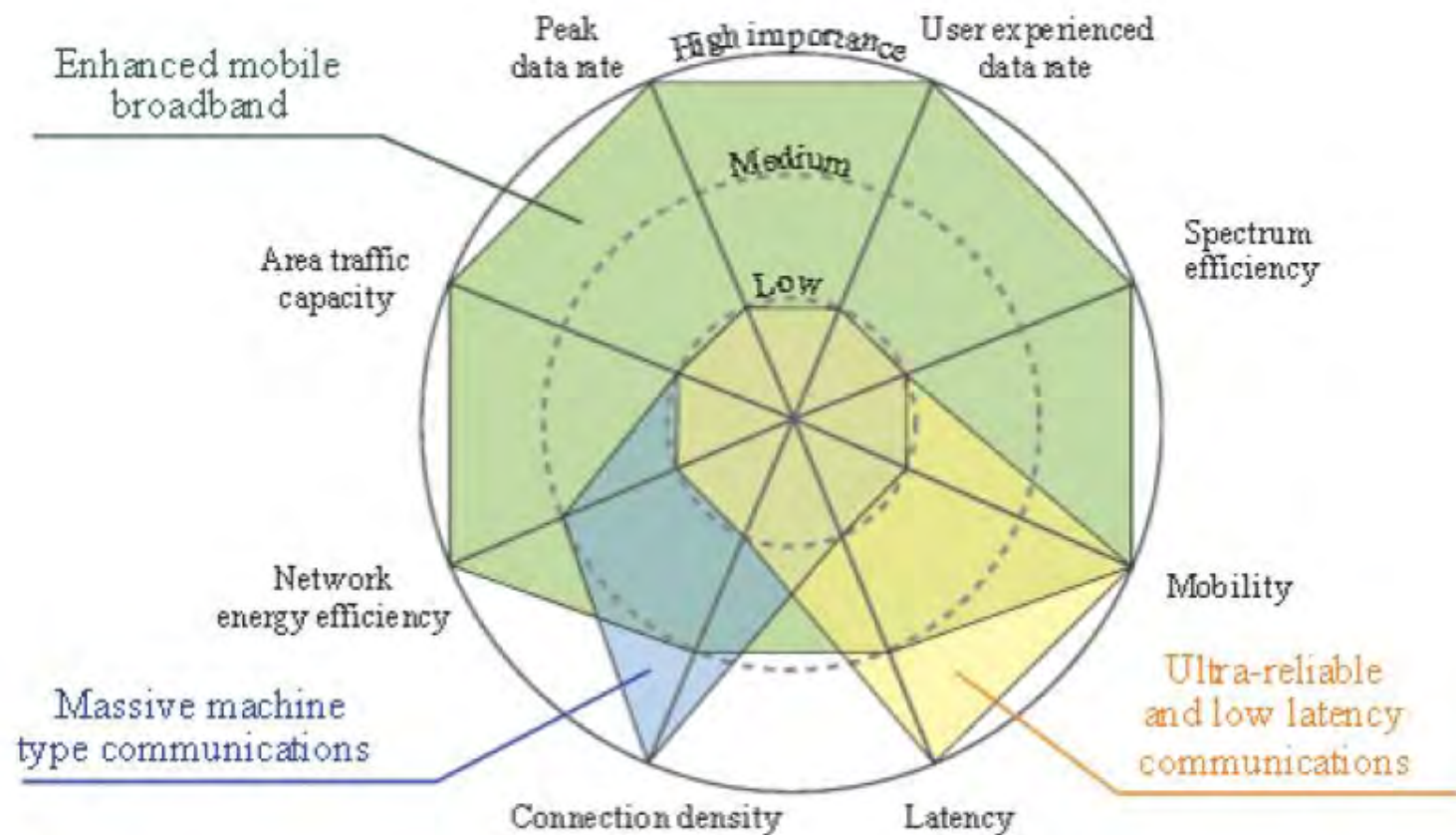


5G: servicio a medida

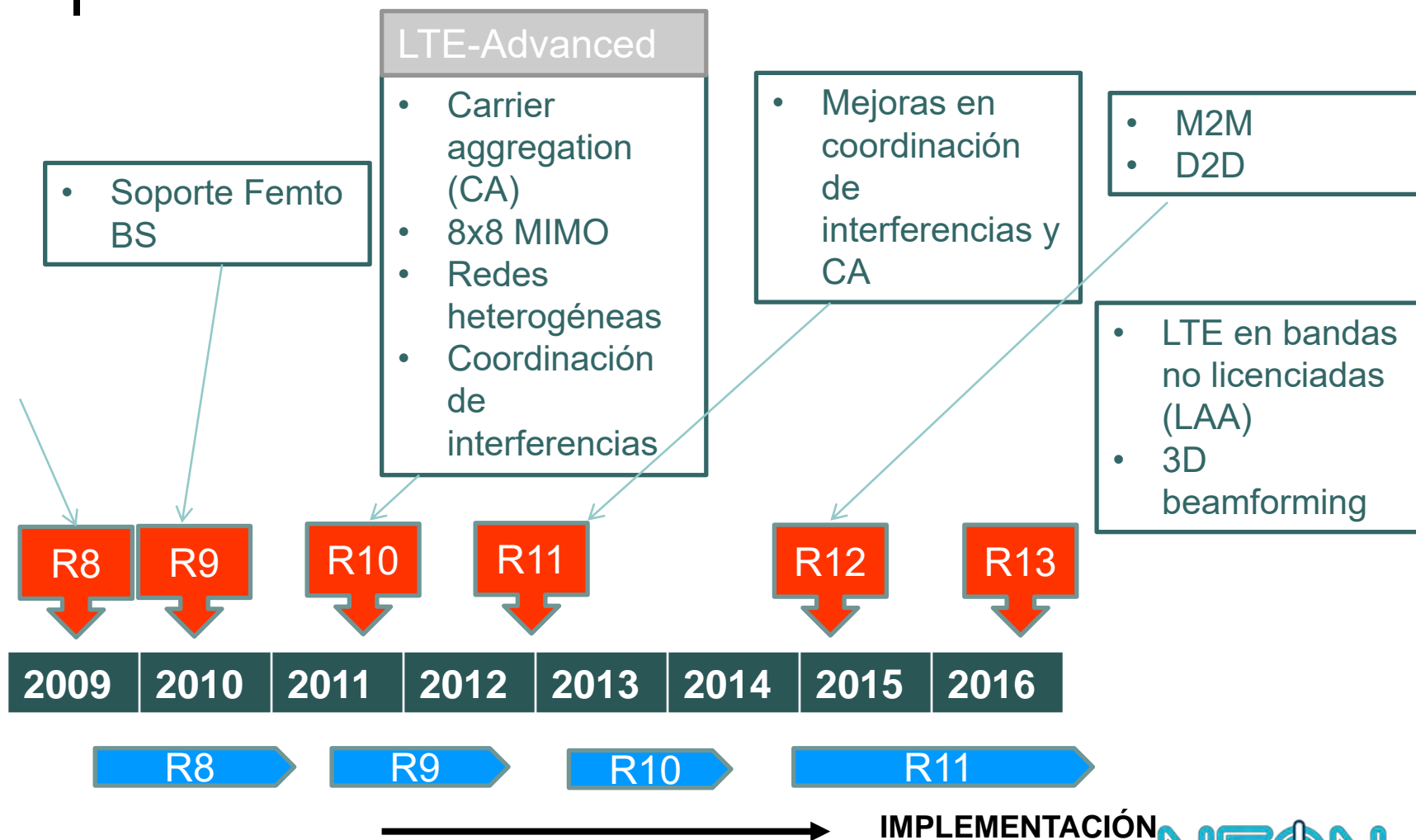


The exploration phase for a high performance 5G has started!

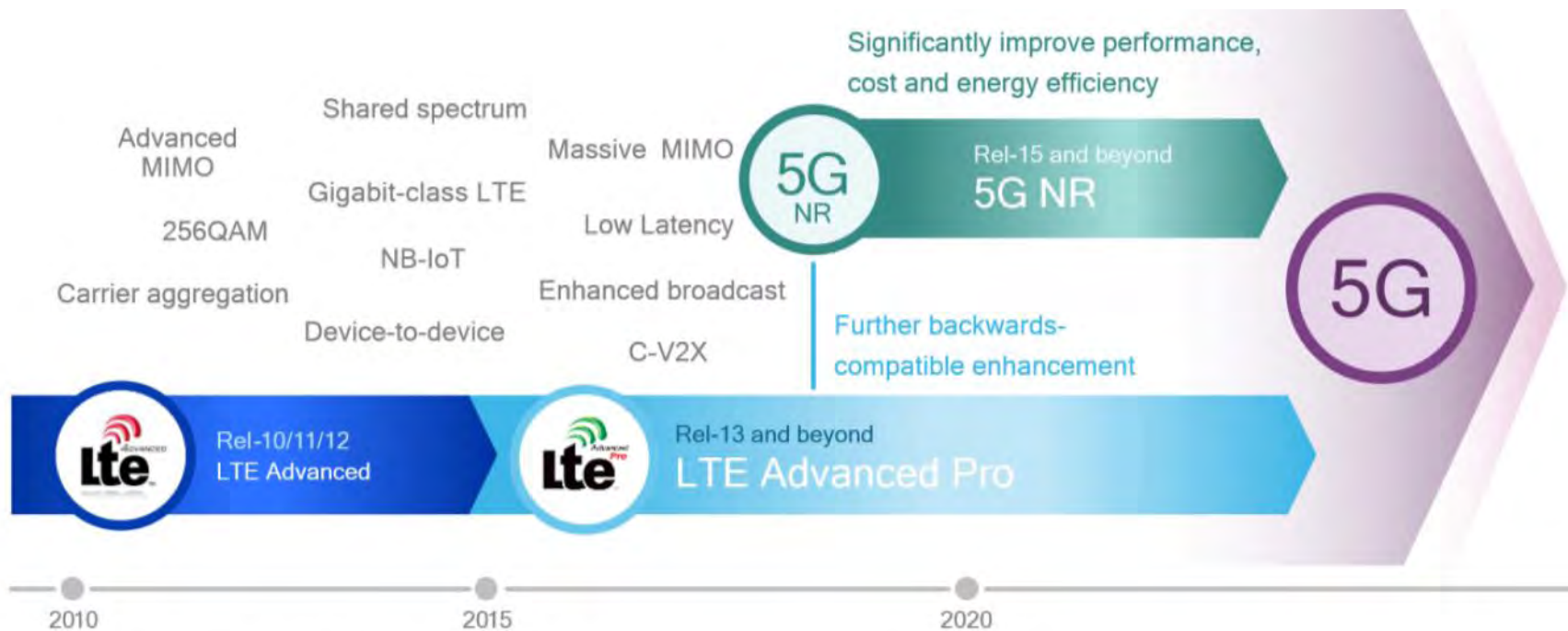
5G: diferentes escenarios/diferentes necesidades



LTE y su evolución



5G: en camino



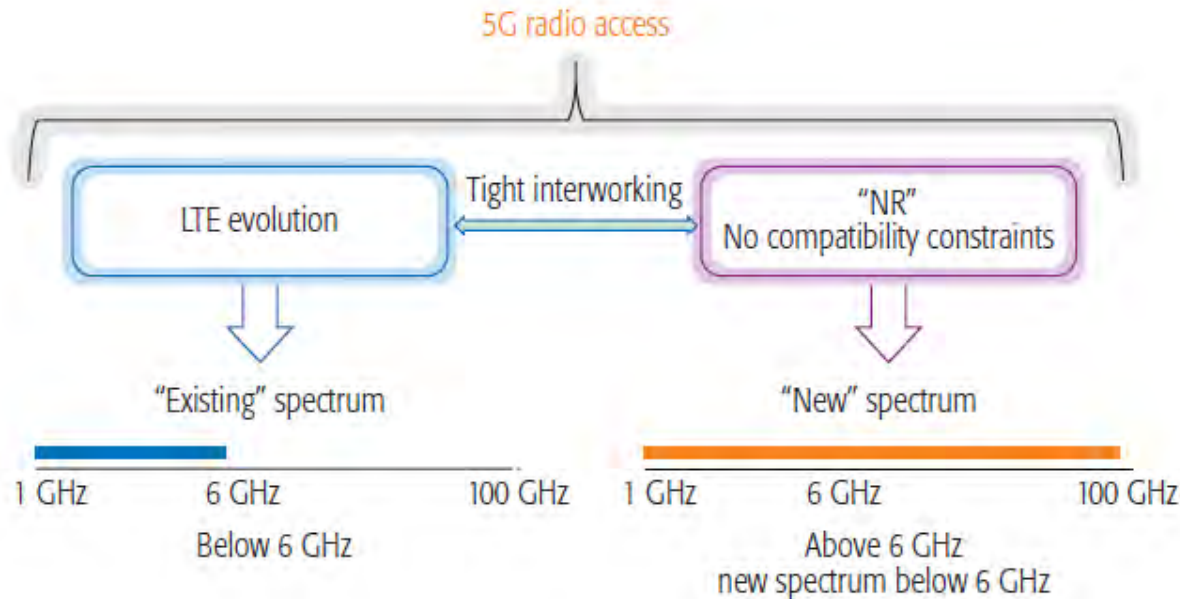
Note: Estimated commercial dates. Not all features commercialized at the same time

5G Espectro

RAT: Radio access technologies

↓
LTE

↓
NR: Novel Radio



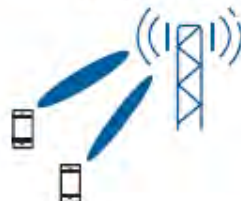
LTE evolution: LTE evolucionará para brindar soporte a los nuevos servicios de 5G (frecuencias inferiores a 6GHz)

NR: es un nuevo paradigma. **NO REQUIERE COMPATIBILIDAD backward CON LTE.**

5G



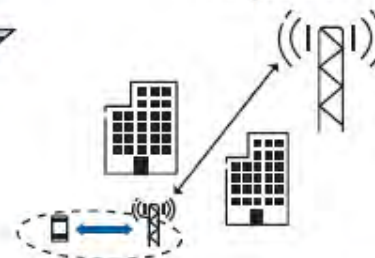
Massive multi-antenna transmission



Flexible PHY



Access/backhaul integration



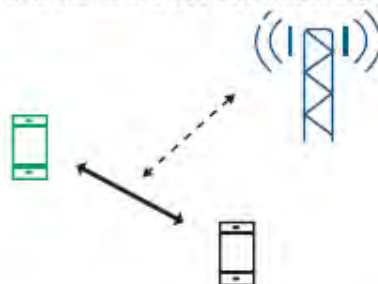
Extreme mobile broadband



Machine-type communication



Device-to-device communication



Vehicle-to-vehicle communication



NR puede soportar:

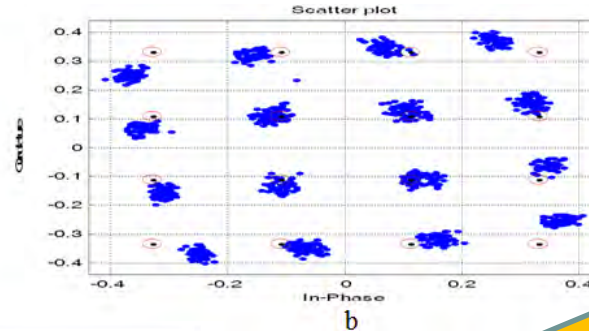
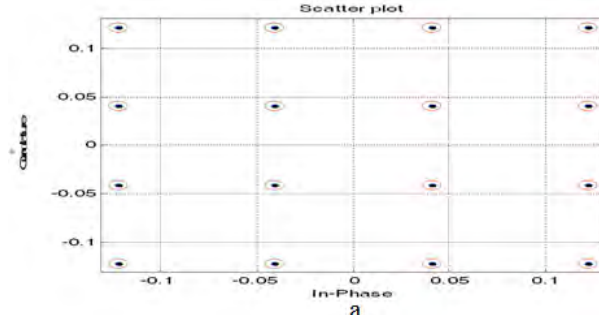
FRONT-END ANALOGICO

5G

Reducidos valores de EVM son requeridos !!

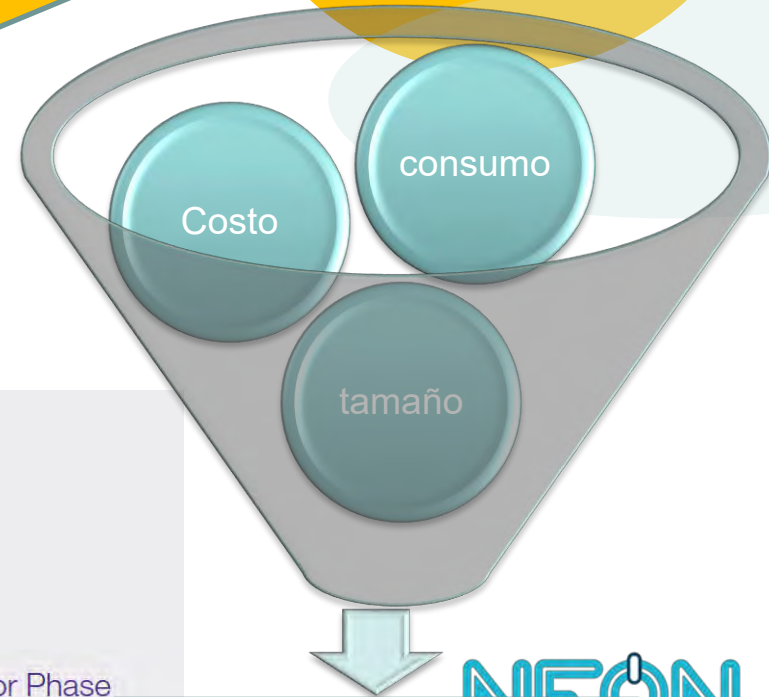
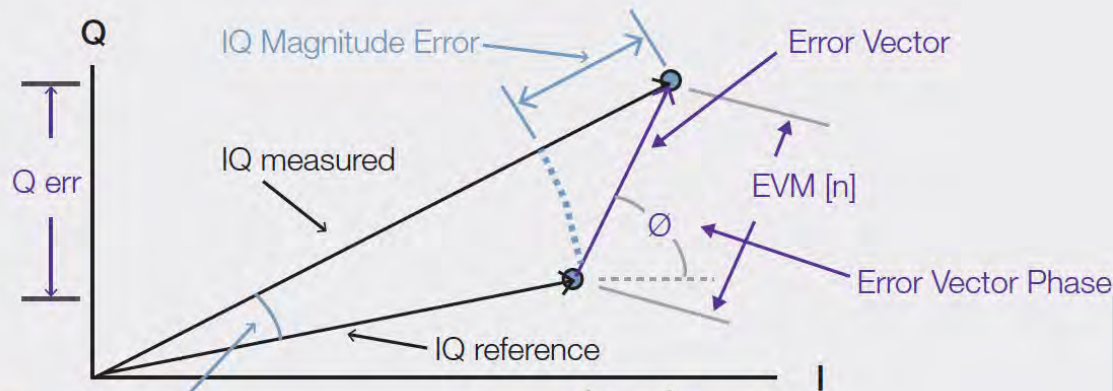
Imperfecciones de RF

- Ruido de fase oscilador
- Amplificador no lineal
- Mixer IQ desbalances
- ADC



Modulation scheme for PDSCH	Required EVM
QPSK	17.5 %
16QAM	12.5 %
64QAM	8 %
256QAM	3.5 %






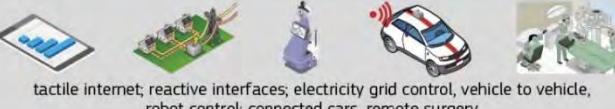







Figure 5: 3GPP TS 38.101-1 EVM requirements for different 5G modulation schemes



Diseño del front-end

WHAT IS 5G?

CONTRIBUTION OF EU RESEARCH

What 5G will bring to you?	What's new with 5G?	EU projects	5G applications	Why not today?
amazing volume amazingly fast	spectrum extension; millimetre waves; cell densification; increase spectrum efficiency; advanced antennas; 3D beam-forming techniques; new electronic components; backhaul optimization; D2D; moving networks (vehicle based cells)		 hologram TV, immersive presence, augmented reality, ultra large volume transfers	spectrum saturation; limited spectrum aggregation; current hardware not able to function at high frequencies; expensive deployment & maintenance of small cells
always best connected	combination of 4G, 3G, Wi-Fi, & new radio access to create an integrated & dynamic radio access network; connectivity management mechanisms		 staying connected everywhere including high-speed trains, planes, crowds	seamless handover (e.g. cellular to Wi-Fi) not supported
no perceived delay	ultra-low latency; software-defined networks; decoupling functional architecture from the underlying physical infrastructure; network intelligence closer to users; MEC (mobile edge computing), D2D		 tactile internet; reactive interfaces; electricity grid control, vehicle to vehicle, robot control; connected cars, remote surgery	4G latency ≥ 10 ms
massive amount of connected things & people	new waveform; cell densification; much less signalling traffic & no synchronisation; RAN architecture		 internet of things, smart cities, connected cars, e-health	current OFDM waveform limitations; interference prevents scaling up; 4G chipsets cost; energy consumption
energy efficiency	millimetre waves for front-haul & backhaul; new operation mechanisms for dense networks; pooling of base station processing; on-demand consumption; massive machine communications; power amplifiers; DSP (digital signal processing) – enabled optical transceivers; harvesting ambient energy; optimization of sleep mode switching		 80% energy saving; deployment in developing countries	Base stations idle time not optimised; unused functions activated; air interface/hardware not energy optimized
flexible programmable networks	software-defined networks; network function virtualisation; decoupling functional architecture from the underlying physical infrastructure; APIs		 new business models for innovative SMEs providing network functions; emergence of super MVNOs; pan European operators, faster innovation in network services	many various network management software; not interoperable; bundling of network functions in hardware boxes
secure networks	physical channel authentication; virtualised authentication		 networks for police & security professionals; privacy	Security as add-on not by design; fragmented approach

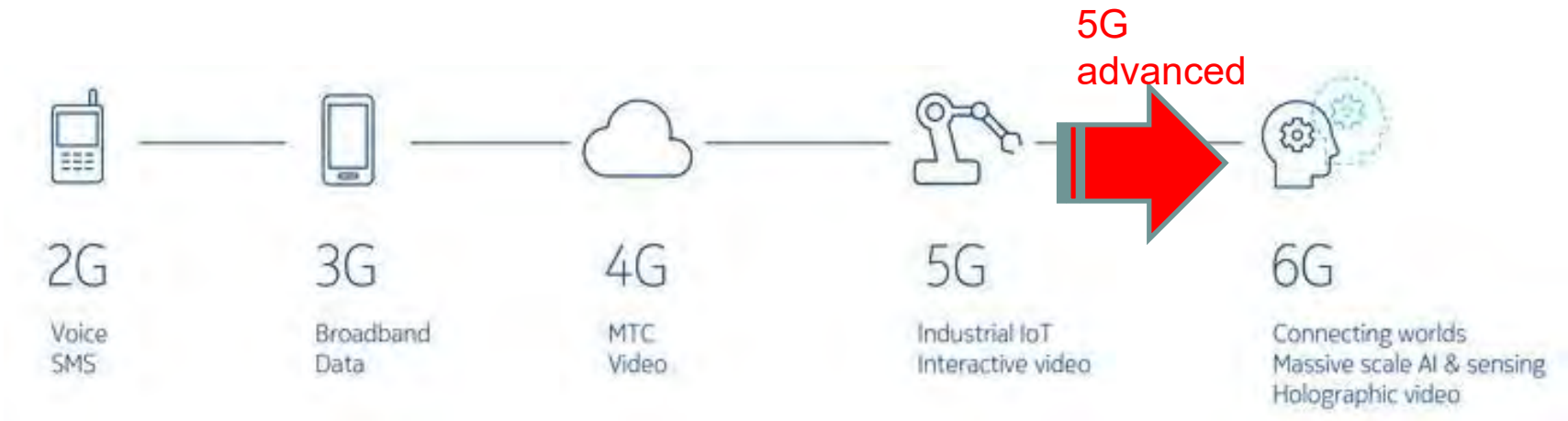
5G

Herramientas/técnicas para
responder a estos desafíos
estudiaremos en este curso



2G a 6G: la visión de Nokia

¿Qué mas puede ofrecer?



Even though there is still a lot of innovation in 5G with the 5G-Advanced release of new standards, Nokia Bell Labs has already begun the research work on 6G to make it commercially available by 2030.

5G avanzado

<https://www.nokia.com/about-us/newsroom/articles/5g-advanced-explained/>



6G: Tecnologías claves

<https://www.nokia.com/about-us/newsroom/articles/6g-explained/>



Mas detalles



Temas en discusión

- Propagación multi-camino
- Ancho de banda de transmisión limitado
- Movilidad
- Consumo de energía

Durante el desarrollo del curso estudiaremos estos problemas y herramientas/tecnologías para su solución