

La nueva interfaz radio 5G

Jornada “Redes 5G: la revolución de las comunicaciones”
Cátedra Telefónica en la U. Carlos III de Madrid

La evolución de los sistemas móviles

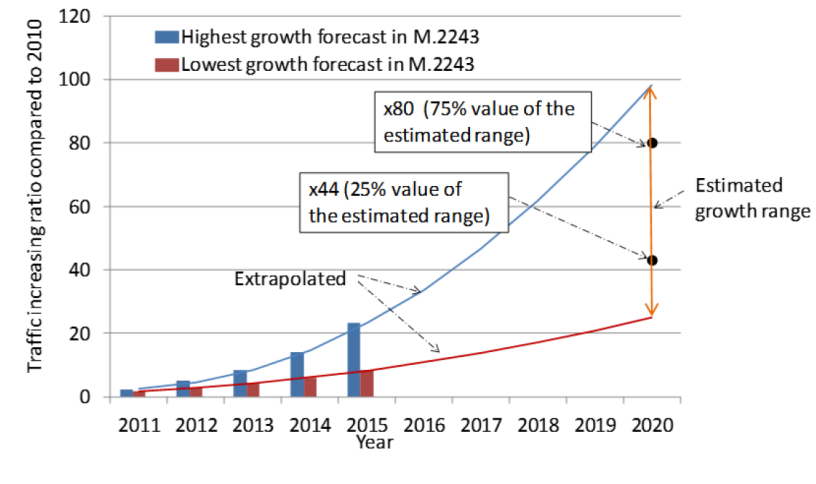
- La evolución de las distintas generaciones de comunicaciones móviles siempre ha tenido como motor un cambio tecnológico que afectaba a la interfaz radio de los sistemas
 - De 1G a 2G fue el **paso de la tecnología analógica a la digital**, con acceso múltiple por división en el tiempo TDMA
 - De 2G a 3G fue la adopción del **acceso múltiple basado en espectro ensanchado CDMA**
 - De 3G a 4G fue la incorporación de la **modulación OFDM**, que permite utilizar anchos de banda más grandes
- Otra característica que aceleró el desarrollo de las sucesivas generaciones fue el **miedo a la aparición de una tecnología alternativa** que pudiera desplazar a los estándares de 3GPP
 - En la evolución de 2G a 3G fue la aparición del sistema **cdmaOne** desarrollado por Qualcomm
 - Y en el de 3G a 4G, el desarrollo de **WiMAX**, con el apoyo destacado de Intel, aceleró el de LTE
- En el caso de 5G no se dan, de momento, ninguno de estos dos factores
 - No hay una **línea de evolución tecnológica** clara
 - No hay una tecnología que pueda suponer una **amenaza** para los estándares (aunque, por supuesto, no faltan los que prometen soluciones casi milagrosas)
- Por otro lado, la **evolución intra-generación** ha conseguido mejorar algunas prestaciones más que algunos saltos generacionales (p.e., la introducción de HSPA en 3G)
- En este sentido, para lo bueno y para lo malo, existe una **mayor libertad** a la hora de definir como queremos que sean los sistemas 5G

5G - una lista de deseos

- De momento, **5G** es, sobre todo, una **lista de deseos y de objetivos** extraordinariamente **ambiciosos**
 - Incremento de la capacidad agregada del sistema medida en bits por segundo y unidad de área **1000 veces** respecto de 4G
 - Tasa binarias de pico de **1 Gbit/s**
 - Reducción de la latencia a valores en torno a **1 milisegundo**
 - Reducción del consumo de energía en Julio/bit **x100 veces**
 - Mejoras en la fiabilidad y en la cobertura
 - ...
- Pero estos objetivos y deseos **no son siempre compatibles** los unos con los otros
 - Dependiendo de la **aplicación o caso de uso**, unos tienen más peso que los otros
- Por eso se espera que 5G sea un sistema en el que **arquitectura e interfaz radio se adapten al tipo de aplicación**
 - No será la misma la interfaz radio para aplicaciones tipo *Internet of Things* que para *Tactile Internet*
- Cada vez que se ha definido una nueva generación, ha existido la voluntad de simplificar los sistemas; en 5G, sin embargo, partimos con la idea de **complicar el sistema**

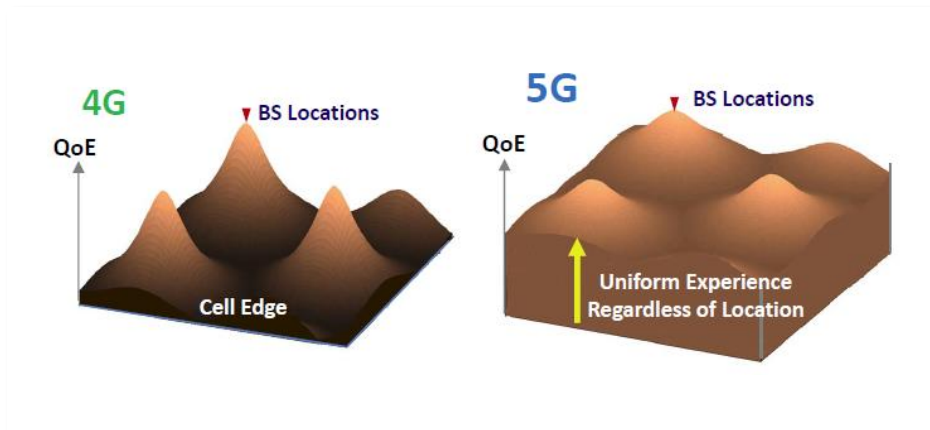
La ruta hacia una mayor capacidad

- El problema básico que 5G debe resolver (desde el punto de vista de los operadores) es el de proporcionar una **mayor capacidad con un menor coste**
- Los medios para conseguirla son conocidos:
 - Incrementar la **eficiencia espectral** de la interfaz radio
 - **Cooperar con otras tecnologías** (generaciones móviles anteriores, Wi-Fi, sistemas de retransmisión,...)
 - Incrementar el **espectro electromagnético** sobre el que opera el sistema
 - **Densificar la red**
- Para 5G se están considerando todas las opciones, pero, curiosamente, son las **dos últimas** las que están recibiendo más atención
- Para incrementar la disponibilidad de espectro se están considerando dos estrategias:
 - **Compartir el espectro** con otros usos
 - **Utilizar frecuencias más altas**
- Múltiples opciones a la hora de soportar la densificación de la red: redes “sin células” ultradensas, comunicaciones dispositivo a dispositivo (D2D), estaciones base móviles, conectividad dual/múltiple, virtualización y Cloud RAN,...



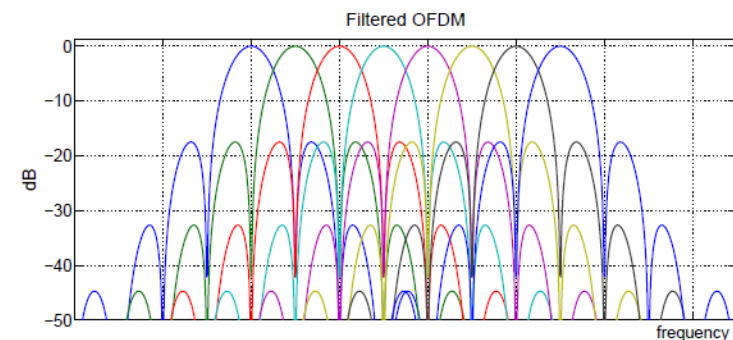
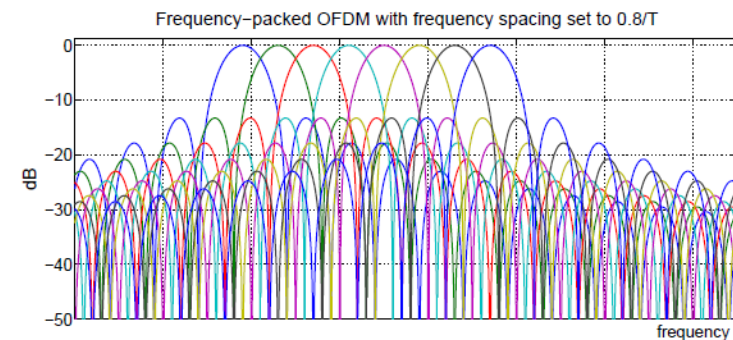
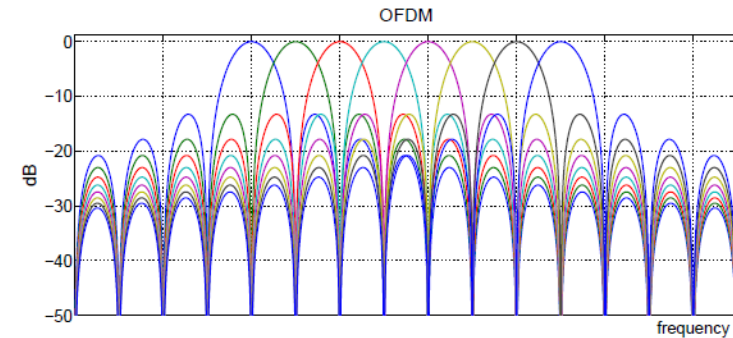
5G - innovaciones tecnológicas que lo harán posible

- Estas son, en nuestra opinión, las innovaciones tecnológicas más prometedoras de cara al 5G son:
 - Nuevas formas de onda (p.e., esquemas de modulación no ortogonales)
 - Utilización de técnicas de **MIMO** masivo
 - Soporte del acceso móvil en **altas frecuencias** (> 10 GHz)
 - Sistemas de transmisión “**full dúplex**”
- En general, se trata de no solo incrementar la eficiencia espectral “clásica” (bit/s/Hz) sino también la eficiencia espectral por unidad de área (bit/s/Hz/m²) o incluso espacial (bit/s/Hz/m³) – lo que se ha denominado también **utilización espectral**
 - La percepción es que el **margen de mejora** que tenemos de la eficiencia espectral clásica es **limitado** respecto de los objetivos de capacidad (sobre todo a un **coste razonable**)
- Y también se trata de reducir las **diferencias de prestaciones** entre usuarios dependiendo de su **localización** (reducir la penalización de los que se encuentren en el **borde de la célula**)
- La reducción de la latencia también obligará a modificaciones en la interfaz radio, con TTIs más cortos

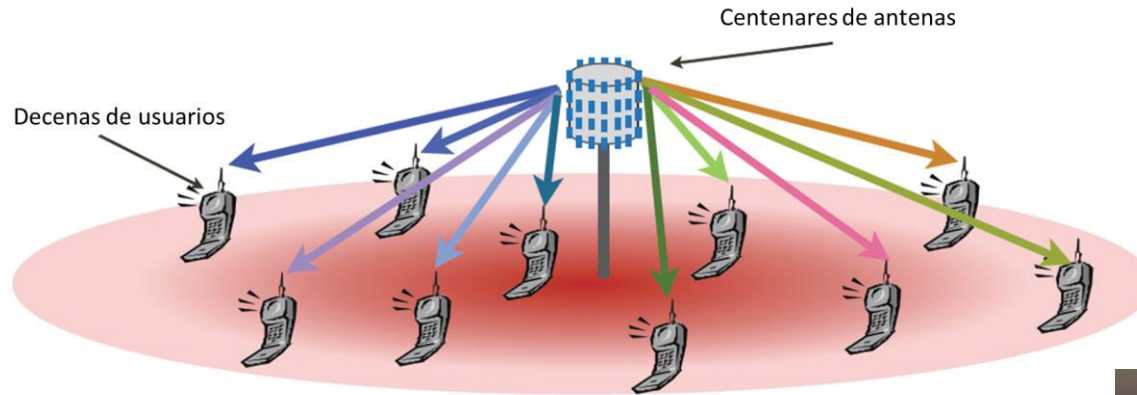


Nuevas formas de onda

- Para 5G se están proponiendo y analizando distintas alternativas a OFDM
 - Su eficiencia espectral se puede incrementar si se relajan los requisitos de sincronización temporal y se reduce el tamaño (o se elimina) del prefijo cíclico
- Esto implica una **pérdida de ortogonalidad** que debe ser compensada y puede suponer una **mayor complejidad del receptor**
- Distintas propuestas:
 - **NOMA** (Non Orthogonal Multiple Access) utiliza el dominio de la potencia para separar a los usuarios
 - **FBMC** (Filter Bank Multi Carrier) emplea bancos de filtros para reducir las interferencias en canales adyacentes
 - **Zero-tail DFT-S-OFDM** sustituye el prefijo cíclico por ceros
 - **SCMA** (Sparse Code Multiple Access), **UF-OFDM** (Universal Filtered OFDM), ...
- No creemos que vaya a haber ganancias dramáticas en eficiencia espectral en **condiciones realistas de operación** con ninguna de estas opciones



MIMO masivo



- Se basa en la utilización de un **número muy elevado de antenas en las estaciones base**, muy superior al de las disponibles en los terminales
 - Decenas o centenares de antenas en la estación base
- De esta forma, una estación puede **servir a varios usuarios simultáneamente utilizando los mismos recursos radio**
- Con esta tecnología se espera conseguir **mayor capacidad, mayor fiabilidad y menor consumo de potencia**
- Actualmente ya hay disponibles prototipos que operan en bajas frecuencias (< 6 GHz)



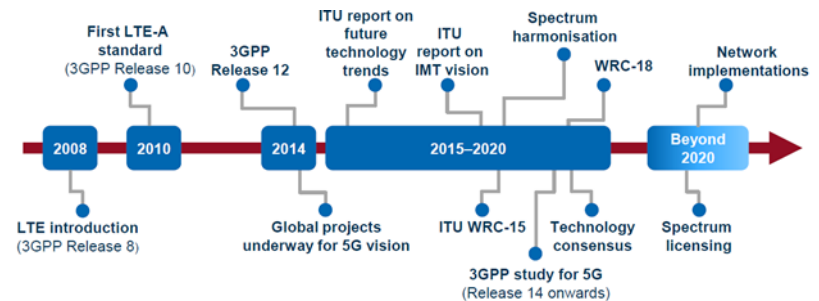
MIMO masivo

- Hay algunos condicionantes que hay que tener en cuenta:
 - Para que resulte eficaz se necesita un **número significativo de antenas**
 - Debido a que para generar adecuadamente la señal se necesita que el transmisor tenga conocimiento del estado del canal radio, es más fácil que se aplique en **sistemas TDD**
 - Se necesita además **calibrar con precisión** los equipos para poder aplicar la reciprocidad del canal
 - Se precisan **nuevos diseños de las antenas y de los amplificadores de potencia** (debido al rango dinámico que deberán soportar)
 - Se necesita resolver la cuestión de la posible **contaminación de pilotos**, lo que requerirá la cooperación entre células o la centralización del procesamiento
 - Y lo mismo ocurre con el **“envejecimiento” de la estimación de canal**
 - Aunque el **consumo de potencia** asociado a la transmisión disminuye, aumenta el **asociado al procesamiento de la señal**
- Muy probablemente, el MIMO masivo se tendrá que combinar con el uso de otras soluciones tecnológicas para resolver algunos de estos problemas (por ejemplo, el uso de **técnicas cooperativas**)
- Por otro lado, existen otros aspectos que deben tenerse en cuenta:
 - El **tamaño de las antenas**, si se opera a bajas frecuencias, puede ser excesivo
 - No está claro que **MIMO masivo y centralización del procesamiento** de la interfaz radio (p.e., Cloud RAN) sean **compatibles**, por las necesidades de capacidad de transporte que implicaría



Uso de altas frecuencias

- Para poder disponer de más ancho de banda es necesario moverse hacia **frecuencias más altas**
- Hasta hace poco esto **no se consideraba viable** su empleo para comunicaciones móviles debido a las mayores pérdidas de difracción y penetración, efecto Doppler, coste de los componentes, etc.
- Pero el uso de **antenas directivas mediante tecnologías de conformación de haces** puede ayudar a resolver algunos de estos problemas
- Buena parte de los esfuerzos de investigación en 5G se están dedicando a determinar si, y como, son viables las comunicaciones móviles en **frecuencias superiores a 6 GHz**
 - Sería deseable tener una respuestas antes del WRC 18
- El uso de frecuencias altas representa, posiblemente, la **mayor oportunidad para incrementar la capacidad en los sistemas 5G**
- Además, la disponibilidad de canales de gran ancho de banda permite soportar **tasas binarias muy elevadas**



Uso de altas frecuencias y MIMO masivo pueden ser complementarios

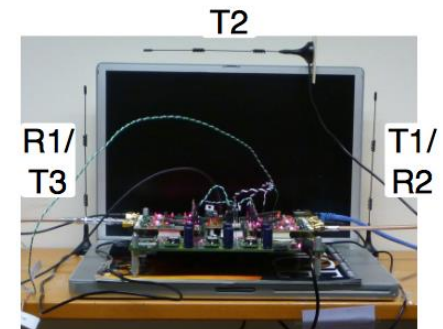
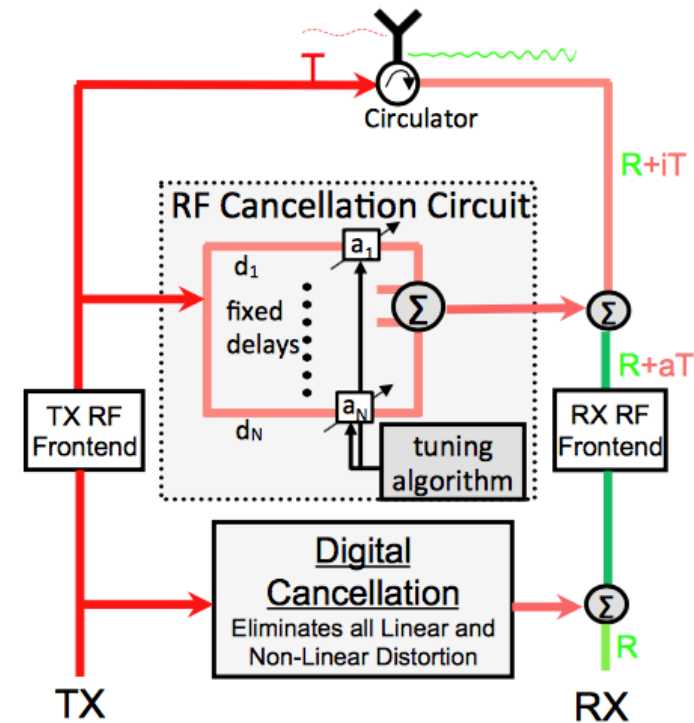
- Cuanto más alta es la frecuencia de operación
 - Para una misma directividad, el tamaño de las antenas debe ser menor
 - Para un mismo tamaño de antena, la directividad es mayor
- P.e., para una antena de 33 cm de diámetro, el ancho de haz a 2.4 GHz es de 117° y a 60 GHz de 4.7°
- El uso de altas frecuencias permitiría que los equipos que soportan MIMO masivo tengan un **tamaño razonable**
 - El tamaño de las antenas es proporcional a la longitud de onda, que a 30 GHz es de 10 mm y a 60 GHz de solo 5 mm, mientras que a 2 GHz es de 15 cm y a 800 MHz es de 37,5 cm
 - La separación entre elementos de antena es entre 1/2 y 1 longitud de onda
- Al mismo tiempo que el uso de **conformación de haces** minimizaría los problemas de interferencia, multitrayecto, etc., en las altas frecuencias
 - Estas técnicas ya se están utilizando para altas frecuencias (p.e., en el estándar Wi-Fi a 60 GHz 802.11ad)
- Pero hay otros factores a tener en cuenta
 - Al operar en canales de gran ancho de banda el **nivel de ruido térmico es más elevado**
 - Los conversores analógicos digitales a altas frecuencias requieren un **consumo de potencia muy elevado**
 - La conformación de haces se debe realizar en el **dominio analógico** (que enfoca la ganancia en una única dirección) o con **esquemas híbridos**
 - Debe distinguirse entre la operación cuando hay visión directa entre transmisor y receptor (**LoS**) y cuando no la hay (**NLoS**)
 - La **adaptación de los haces** debe realizarse en **tiempo real** para terminales en movimiento o con bloqueo

¿En qué puede diferenciarse la interfaz radio para milimétricas?

- El uso del modo de **duplexación TDD** parece obligatorio en frecuencias superiores a 10 GHz
- Las características de la propagación en altas frecuencias hacen que su **fiabilidad sea mucho menor**
 - La pérdida de visión directa y el bloqueo por obstáculos tienen un impacto más alto que a frecuencias más bajas
 - Una posibilidad es implementar un **sistema con conectividad múltiple**, en el que cada usuario esté conectado simultáneamente a varias estaciones base
- Parece razonable considerar que habrá una **separación del plano de usuario del plano de control**
 - La información de red que se retransmite, así como la señalización asociada al establecimiento de la conexión, la movilidad, etc., serán gestionadas en frecuencias más bajas
- La **estrategia de despliegue** que se debe seguir no está todavía clara
 - Los resultados de algunas simulaciones indican que una densidad muy alta de estaciones base con visión directa entre ellas puede resultar en prestaciones más pobres debido a la **contaminación de pilotos**
 - Otros resultados, sin embargo, apuntan a mejoras espectaculares en las prestaciones de redes ultradensas, con **ganancias de densificación muy superiores a 1**
- La utilización de técnicas de **conformación de haces en los terminales** resulta en **ganancias significativas** en las prestaciones

Comunicaciones full-duplex

- En los sistemas convencionales las dos direcciones de un enlace se separan en **frecuencia** o en **tiempo**
- La razón por la que no se emplea simultáneamente la misma frecuencia es que la señal transmitida genera un **nivel de interferencia muy elevado** a la señal recibida
- Se requiere implementar un sistema de **cancelación de interferencia** que, normalmente, incorpora una etapa analógica y otra digital
- La **viabilidad** de los sistemas full duplex se ha comprobado en varios **sistemas experimentales** y estamos próximos a la disponibilidad de sistemas comerciales
 - Sistemas repetidores que reutilizan las mismas frecuencias que en el acceso
- Pero quedan todavía problemas por resolver: operación en canales móviles, soporte a MIMO,...
- La tecnología puede tener **otras aplicaciones**, como permitir la reducción de la separación en frecuencia entre transmisión y recepción en sistemas FDD



Conclusiones

- Tenemos a nuestra disposición un arsenal de **soluciones tecnológicas** que puede servir para alcanzar muchos de los objetivos propuestos
- Lo complicado va a ser ensamblarlas en un **sistema que sea coherente y consistente**
- En este proceso, lo más difícil va a ser **saber renunciar a algunos de los objetivos y/o de las soluciones tecnológicas** de las que actualmente se barajan
- Como vemos nosotros la nueva interfaz radio 5G:
 - ➔ Para frecuencias < 6 GHz ➔ **Evolución de LTE Advanced**
 - ➔ Para frecuencias > 6 GHz ➔ **Nueva interfaz radio**, con nuevas numerología y forma de onda, que facilite el uso de **MIMO masivo** y que utilice las frecuencias bajas para el plano de control. Posiblemente se distinga entre frecuencias por encima y por debajo de 30 GHz, que utilizarían modulación multiportadora o de portadora única, respectivamente
 - ➔ Una **interfaz radio específica para MTC/IoT/M2M**, que resuelva no solo las cuestiones de cobertura y capacidad asociadas a su uso masivo, sino también los problemas de señalización. Este modo se incorporaría a los dispositivos convencionales para soportar comunicaciones de emergencia o bajo consumo de energía
- Somos más escépticos respecto de otras soluciones tecnológicas: técnicas cooperativas avanzadas (p.e., alineación de interferencias), comunicaciones entre dispositivos D2D, redes malladas, cancelación de interferencia asistida por la red,...

Telefonica

BE MORE_