



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



**Máster Universitario**  
en Tecnologías, Sistemas y  
Redes de Comunicaciones

# Planificación y Optimización de un Piloto 5G Broadcast

***Autor:*** Jaime Sánchez Roldán

***Tuto:*** David Gómez Barquero

***Cotutor:*** Álvaro Ibáñez Latorre

***Lugar de trabajo:*** Grupo de Comunicaciones Móviles del  
instituto de telecomunicaciones y aplicaciones multimedia  
(iTEAM).

**Objetivos** – El objetivo principal del presente trabajo es comparar los dos principales estándares de radiodifusión, el actual DVB-T2 y el recientemente desarrollado 5G Broadcast. A través del análisis de prestaciones de cada uno de ellos se obtendrán los datos de nivel de señal necesaria para transmitir datos en escenarios de recepción fija y móvil y en función de la capacidad necesaria. Con todos estos datos podrá definirse con rigor las necesidades para poder desplegar un piloto 5G Broadcast para la transmisión de contenido multimedia con una cierta tasa de datos y robustez.

**Metodología** – Todo el estudio y trabajo elaborado se ha realizado mediante un simulador a nivel de enlace desarrollado en Matlab, el cual implementa todas las características especificadas a nivel de capa física [1] [2] [3] bajo el estándar de LTE-Based 5G Broadcast. El propósito del simulador es proporcionar la robustez y rendimiento de 5G Broadcast simulando diferentes modelos de propagación y escenarios de recepción, fija y móvil. Una vez obtenidos esos valores, mediante la herramienta online *Xirio Online*, se han elaborado los mapas de potencia recibida en función de la geografía del terreno en una localización situada en la población de Chinchilla de Monte-Aragón, en el lugar donde se encuentra un transmisión de radiodifusión, lo que junto con los valores de campo mínimo, conforman los mapas de cobertura de radiodifusión en función de la capacidad y robustez que se deseen en la planificación del piloto.

**Desarrollo de prototipos y trabajo de laboratorio** – Para este trabajo no se ha realizado ningún prototipo físico, todo ha sido elaborado mediante simulaciones software, por lo que no han sido probadas en equipos ni pruebas de campo reales.

**Resultados** – Las características evaluadas en el trabajo proporcionan un conocimiento sobre el rendimiento y los límites que tiene el estándar 5G Broadcast. Se han obtenidos valores de eficiencia espectral frente a nivel de señal a ruido, valores máximo de desplazamiento en frecuencia para las distintas configuraciones posibles del estándar, mejora en la tasa de error de trama en cuanto a nivel de señal necesario y todo ello para las distintas técnicas de mejora en la recepción estudiadas. De todas ellas la que presenta el mejor rendimiento en cuanto a capacidad y robustez es el uso de dos antenas en recepción junto con el entrelazado en frecuencia de la información transmitida. De esta manera 5G Broadcast consigue igualar el rendimiento de DVB-T2, el cual está diseñado para recepción fija con visión directa lo que permite una alta eficiencia espectral y robustez.

**Líneas futuras** – El estándar de radiodifusión del 3GPP a pesar de incluirse dentro de la quinta generación de comunicaciones móviles se basa en la tecnología de cuarta generación, LTE. La continuidad del trabajo pasa por estudiar cómo afectaría a las prestaciones el uso de la tecnología implementada en la especificación *unicast* 5G y como mejorar y adaptar las necesidades de la radiodifusión para su evolución en la siguiente generación de comunicaciones móviles conocida como 6G. Además, todos los resultados obtenidos del trabajo realizado son útiles en el estudio de la inclusión de nuevas características al estándar, por lo que son potencialmente objeto de estudio por parte del 3GPP para la

discusión y elaboración de las siguientes versiones del estándar. Como líneas futuras de este trabajo, se prevee la implementación de todas las características estudiadas mediante equipos de radio definida por software las características estudiadas, y realizar pruebas de rendimiento en entornos reales haciendo uso de redes de radiodifusión comerciales, las cuales se están llevando a cabo en los dos proyecto donde se enmarca el presente trabajo, el proyecto internacional H2020 5G-Tours y el piloto nacional de 5G Broadcast, para el que se ha elaborado este estudio.

**Publicaciones** – Durante el desarrollo de las tareas de investigación elaboradas a lo largo del presente documento se realizó un *paper* enviado para su publicación en el simposio nacional de la unión científica de radio (URSI 2021).

**Abstract** – The final master work is focused on planning and optimizing a 5G Broadcast pilot for the 5G technology pilot project of Red.Es in Castilla-La Mancha. The 5G Broadcast technology is part of the 5G standard, aimed at the transmission of broadcast content such as radio and television via 5G technology, providing millions of mobile devices with the ability to receive open air content. The work will focus on evaluating the performance of 5G Broadcast technology through physical layer simulations and optimizing its transmission modes, such as OFDM numerologies and error correcting mechanisms. In addition, coverage studies will be carried out with a professional radio planning tool (Xirio Online), where the coverage of the Red.Es 5G Broadcast pilot in the city of Toledo will be evaluated, and the coverage provided by the current Digital Terrestrial Television (DTT) network will be compared with the DVB-T standard, and with the second generation European DTT standard DVB-T2.

Autor: Jaime Sánchez Roldán, [email: jaisanro@iteam.upv.es](mailto:jaisanro@iteam.upv.es)  
Tutor: David Gómez Barquero, [email: dagobar@iteam.upv.es](mailto:dagobar@iteam.upv.es)  
Cotutor: Alvaro Ibáñez Latorre, [email: alibla@iteam.upv.es](mailto:alibla@iteam.upv.es)  
Fecha de entrega: 12 de septiembre de 2021.

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
1.1. Motivación . . . . .	4
1.2. Objetivos y alcance . . . . .	4
<b>2. Estado del arte</b>	<b>5</b>
2.1. DVB . . . . .	5
2.2. 3GPP . . . . .	6
2.2.1. Malla de recursos y estructura de trama. . . . .	7
<b>3. Metodología</b>	<b>8</b>
3.1. Simulador <i>Matlab</i> . . . . .	8
3.2. Herramienta planificación de cobertura <i>Xirio Online</i> . . . . .	9
<b>4. Resultados</b>	<b>10</b>
4.1. 5G-Broadcast release-16 . . . . .	10
4.1.1. Rendimiento, robustez y capacidad . . . . .	12
4.1.2. Efecto del entrelazado frecuencial . . . . .	14
4.1.3. Recepción SIMO . . . . .	17
4.1.4. AL-FEC <i>Application Layer Forward Correction Error</i> . . . . .	23
4.2. Comparativa entre DVB-T/T2 y 5G-Broadcast rel-16 . . . . .	26
4.2.1. Eficiencia espectral . . . . .	28
4.2.2. Recepción fija . . . . .	29
4.2.3. Recepción móvil . . . . .	29
4.3. Planificación de cobertura . . . . .	34
<b>5. Conclusiones</b>	<b>37</b>
<b>6. Agradecimientos</b>	<b>37</b>
<b>A. Artículos</b>	<b>39</b>

## 1. Introducción

El presente trabajo final de máster viene fomentado por una nueva tendencia en las tecnologías de radiodifusión de contenido multimedia, las cuales se encuentran en un periodo de evolución y cambio hasta ahora nunca visto, producido por la demanda para satisfacer las necesidades tanto de operadores móviles y de radiodifusión, como de los usuarios finales. Dentro de esta evolución se realizan diferentes pilotos para probar y demostrar las prestaciones de los sistemas. Este trabajo se centra en obtener cuál es el desempeño y el rendimiento que ofrece el 3GPP Release-16, para posteriormente poder planificar un piloto basado en los resultados obtenidos.

### 1.1. Motivación

Los estándares, y en última instancia, las tecnologías de radiodifusión se encuentran en un periodo de evolución, fomentado por el gran uso de los dispositivos móviles para el consumo de contenido multimedia tradicional de radiodifusión (radio y televisión). Actualmente se encuentran varios pilotos nacionales e internacionales desarrollando implementaciones de las últimas versiones del estándar de radiodifusión, del cuál se encarga el organismo de estandarización *3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project)*, el cuál sigue en constante definición y elaboración. En este sentido existe un gran margen de mejora en relación al estándar en la Release-16, segunda versión del estándar 5G, conocido como 5G Broadcast a pesar de estar basado en la tecnología LTE, lo que conlleva un estudio en las posibles características que mejoren el rendimiento de la tecnología, formando la principal motivación de este trabajo, el cual se centra en el desarrollo, evaluación y análisis de una serie de características a lo largo de la cadena de transmisión y recepción.

### 1.2. Objetivos y alcance

El principal objetivo es el estudio y análisis en términos de capacidad y robustez de 5G Broadcast, para conocer cuál es el rendimiento en función de los distintos entornos de funcionamiento, como recepción fija en visión directa, en visión no directa, recepción móvil, etc. De forma paralela se estudian otras características adicionales que mejoren el rendimiento del estándar, evaluar cuál es la mejora y compararla con el estándar europeo de segunda generación de TDT, DVB-T2, el cual todavía no está siendo usado en España sino su versión anterior el DVB-T. Estas mejoras actualmente no se encuentran en el estándar y presentan una potencial mejora, como son el uso de entrelazado en frecuencia para mejorar la recepción en movilidad, el uso de dos antenas para la recepción de la señal en los terminales móviles, y el uso de protección frente a errores adicional implementada en la capa de aplicación del modelo OSI.

Este mecanismo de corrección de errores (*AL-FEC, Application Layer FEC*) es análogo al implementado en la capa física, el cual aporta además diversidad temporal, que puede aprovecharse para implementar entrelazado temporal al sistema, mecanismo que mejora notablemente la recepción en escenarios donde se presenta degradación por efector Doppler, lo que provoca selectividad frecuencia, por lo que su uso en 5G Broadcast permitiría

una mejora del rendimiento ya que actualmente en la versión 16 del estándar, no se hace ningún tipo de entrelazado, ni temporal, ni frecuencial, y como consecuencia los niveles de señal necesarios son mayores que en el caso de su uso.

En el TFM se han investigado dos mecanismos para mejorar la robustez de la señal: aumentar el entrelazado en la capa física mediante la implementación de entrelazado frecuencial), y en la capa de aplicación, mediante la utilización de un mecanismo corrector de errores adicional capaz de explotar la diversidad del canal móvil en frecuencia y tiempo.

## 2. Estado del arte

En el ámbito de la radiodifusión de contenido multimedia, como son la televisión y la radio, han aparecido a lo largo de los años una serie de estándares para abarcar todo un abanico de posibilidades de escenarios de recepción como son la recepción fija, móvil, en interiores, en zonas rurales o aisladas a través de satélite, recepción híbrida, etcétera. Actualmente los sistemas de radiodifusión se basan en multiplexación por división ortogonal de frecuencia (*OFDM*), donde se transmiten un número de subportadoras separadas entre ellas a lo largo de un ancho de banda determinado. Este esquema de multiplexión permite una transmisión eficiente de información, el cual puede lidiar con el efecto Doppler y la separación entre transmisores en una red de frecuencia única modificando solamente parámetros como el espaciado entre portadoras o el intervalo de guarda (o prefijo cíclico). Existen multitud de estándares de radiodifusión de contenido como son el ATSC 3.0, DTMB, ISDB, etc. En este trabajo se centra en el estudio de 5G Broadcast y comparación con DVB-T2. A continuación se muestra un repaso histórico de los diferentes estándar de radiodifusión, los cuales han sido realizados por dos organismos, el DVB y el 3GPP.

### 2.1. DVB

El principal organismo encargado de desarrollar y definir los estándares de radiodifusión internacionales es el DVB (Digital Video Broadcasting). Organismo responsable de promover el estándar utilizado en la actualidad en la gran mayoría de países para la televisión digital terrestre (DVB-T/T2), por cable (DVB-C/C2) y satélite (DVB-S/S2). La primera versión de televisión digital terrestre, denominada DVB-T, fue desarrollada en 1997 solamente para recepción fija con tamaños de FFT de 2000 y 8000 subportadoras, y codificación Reed-Salomon (204,188) para la codificación exterior o primera y códigos convolucionales para la interior o segunda. Más tarde en 2009 se desarrolló una actualización denominada DVB-T2, que mejoraba la eficiencia espectral aumentando la capacidad en un 30 % gracias a una nueva generación de corrección de errores mediante codificación BCH (exterior) y LDPC (interior). Se aumentó el tamaño de la FFT hasta 32000 subportadoras y se redujo el intervalo de guarda, lo que redujo la tara (*overhead*) hasta el 8.6 %. Se añadieron nuevos intervalos de guarda pasando de cuatro a un total de siete, y nuevos patrones de pilotos para la estimación del canal. Además de entrelazamiento frecuencial, temporal, de bits y de los símbolos transmitidos.

Para la recepción móvil la DVB definió los estándares DVB-H (*Handheld*, recepción

portable terrestre) y DVB-SH (*Satellite-Terrestrial Handheld*, recepción híbrida terrestre-satélite), como una evolución de los estándares DVB-T y DVB-S respectivamente a los que se les añadieron una serie de mecanismos para proporcionar recepción móvil. Más tarde con la creación de DVB-T2 se incluyó un perfil específico para recepción móvil denominado DVB-T2 Lite, cuyo objetivo era ofrecer a los operadores la posibilidad de emitir un servicio para recepción móvil con un coste de implementación muy bajo, ya que se trataba de una versión reducida de DVB-T2.

Como continuación al estándar DVB-H, el DVB comenzó a desarrollar su siguiente versión, el DVB-NHG (*Next Generation Handheld*) en 2011, pero debido a los fracasos comerciales del DVB-H y DVB-SH nunca llegó a término. Como último intento el DVB ideó el desarrollo de una especificación común de radiodifusión elaborado conjuntamente con el 3GPP, el cuál rechazó colaborar y sentó el final del DVB como promotor de estándares para la radiodifusión de contenido multimedia, decidiendo no seguir con tal labor y delegándola así al 3GPP.

## 2.2. 3GPP

Dentro de la especificación de los estándares de comunicaciones móviles elaborados por el 3GPP se encuentra un perfil específico para la transmisión punto-multipunto de contenido a todos los usuarios que se encuentren en un área específica, el cuál puede utilizarse para la radiodifusión de contenido multimedia. Este perfil, denominado MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*), fue introducido en la *release* 6 en 2004. Con el desarrollo y los avances del estándar de cuarta generación, LTE, el 3GPP aprobó en la *release* 9 una nueva versión de MBMS llamada eMBMS (*evolved MBMS*), que mejoraba el rendimiento de MBMS. En las siguientes *releases* 10, 11 y 12, se fueron desarrollando nuevas características tales como el recuento de usuarios conectados, control de conexión y el aumento del área de cobertura de las redes de frecuencia única (*Multicast/Broadcast Single Frequency Network*). La distribución de contenido multimedia *broadcast* y *multicast* compartía temporalmente los recursos con las transmisiones dedicadas de los usuarios lo que limitaba la tasa máxima alcanzable.

En la *release* 14, se introdujeron avances y mejoras a eMBMS que pasó a denominarse FeMBMS (*Further evolved MBMS*), estas novedades fueron la inclusión de portadoras dedicadas, donde todos los recursos radio se destinan a la transmisión *broadcast/multicast*, un modo de recepción única que permite a los terminales recibir contenido sin la necesidad de disponer de una tarjeta SIM, además de espaciados de subportadoras más pequeños que permitía una mayor distancia entre transmisores ya que el tiempo de símbolo aumenta y también lo hace así el intervalo de guarda o prefijo cíclico como se llama en el estándar 3GPP. Este aumento de la distancia entre transmisores habilita la posibilidad a utilizar la infraestructura actual de los operadores de radiodifusión convencionales.

Siguiendo con la quinta generación de comunicaciones móviles, 5G, se continuó mejorando el rendimiento de FeMBMS, el cuál sigue utilizando la capa física de 4G, por lo que se denomina LTE-based 5G Broadcast. Dentro de estas mejoras se encuentran nuevas numerologías (espaciados entre subportadoras OFDM) para alcanzar mayores distancias entre transmisores de hasta 100 km, y velocidades de recepción de hasta 250 km/h,

además de mejorar la decodificación de los datos de control, transmitidos en el CAS (*Cell Acquisition Subframe*).

### 2.2.1. Malla de recursos y estructura de trama.

En 5G Broadcast la estructura de trama es la misma que la definida en 4G, adaptada a cada una de las numerologías introducidas en las últimas versiones del estándar. En el dominio del tiempo los datos se transmiten en símbolos OFDM, cuyo número depende de la numerología empleada, la duración de un símbolo OFDM es inversamente proporcional a al subespaciado en frecuencia. Estos símbolos se agrupan para formar un slot, el cual se encuentra dentro de una subtrama. Las subtramas se agrupan para formar una trama, la cual tiene una duración de 10 ms.

En el dominio de la frecuencia el ancho de banda disponible se divide en subportadoras espaciadas en frecuencia una cantidad igual a la numerología utilizada. Se denomina malla de recursos al conjunto formado por las subportadoras y los símbolos OFDM, los cuales forman los elementos de recursos o *resource elements*, definido como la porción ancho de banda de una subportadora durante un símbolo OFDM. Los RE se agrupan para formar bloques de recursos o *resource blocks* los cuales son la mínima unidad asignable de la malla de recursos a un usuario y cuyo número depende del ancho de banda usado, un RB ocupa 180 kHz.

Release	$\Delta f$ (kHz)	Símbolo OFDM por subtrama	$SC_{rb}$	$T_{cp}$ ( $\mu s$ )	$T_u$ ( $\mu s$ )
	15	12	12	16.66	66.66
Rel-14	7.5	6	24	33.33	133.3
	1.25	1	144	200	800
Rel-16	2.5	2	72	100	400
	0.37	1	486	300	2700

**Tabla 1:** Características de cada numerología

En la tabla 1 se muestra el duración de símbolo de cada numerología, desglosado en duración útil de símbolo y duración de prefijo cíclico, nombre con el se denomina al intervalo de guarda que hay entre cada uno de los símbolos OFDM, cuanto mayor es el prefijo cíclico mayor es el retardo que puede haber entre réplicas de un mismo símbolo, lo que determina la distancia máxima entre transmisores. El símbolo útil tiene como duración la inversa de la separación entre portadoras, como se ve a menor separación mayor número de subportadoras en un bloque de recursos.

En la figura 1 se muestra la estructura de trama para las diferentes numerologías. Para 1.25, 7.5 y 15 kHz, la duración de la subtrama es de 1 ms, mientras que para de 0.37 kHz es de 3 ms. El CAS es una subtrama especial donde se transmite solamente información de control cada 40 ms.

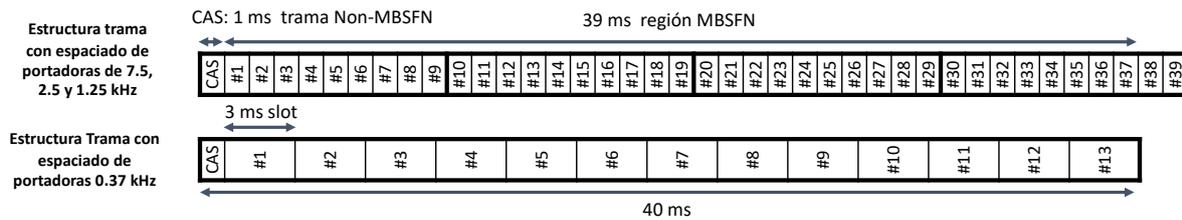


Figura 1: Estructura de trama.

## 3. Metodología

### 3.1. Simulador *Matlab*

La implementación de los estándares de radiodifusión se ha llevado a cabo en el *software* de cálculo *Matlab* donde se ha utilizado un simulador de nivel de enlace, es decir, solamente implementa las funciones de la capa física del estándar. Este simulador ha sido actualizado para añadir las características de las últimas versiones del estándar 5G. Se han programado de novedades introducidas en las *releases* 14 y 16, las nuevas numerologías de 0.37 kHz y 2.5 kHz, cada una con su correspondiente patrón de pilotos para la estimación de canal y demás novedades relacionadas dentro de la capa física. Se han añadido el entrelazado en frecuencia, realizado a nivel de bloque código, la recepción SIMO (1x2), y el modelo de canal TU6 para su uso en SIMO, así como todas las funciones para procesar los datos.

Una vez implementado el estándar se han ido desarrollando los estudios introduciendo nuevas características adicionales para obtener, en cada configuración, el valor mínimo de campo requerido para que un receptor con unas determinadas características pueda decodificar correctamente la información. El simulador implementa la cadena de transmisión y recepción a nivel de capa física, generando de forma iterativa para cada nivel de relación señal a ruido los datos los cuales se codifican y posteriormente se filtran mediante la respuesta del canal, para seguidamente ser decodificados por el receptor. Finalmente se sacan los resultados de tasa de error y nivel de señal necesaria para cada una de las configuraciones y modelos de canal que se estén simulando. Los parámetros obtenidos son la velocidad máxima que resiste el sistema, eficiencia espectral frente a SNR, tasa de transmisión o eficiencia espectral frente a SNR y tasas de error de tramas.

Las simulaciones de la capa física se han realizado considerando una sincronización perfecta, estimación real del canal mediante mínimos cuadrados con interpolación lineal, ecualización MMSE del canal, en el caso de SIMO mediante combinación de señal máxima (MRC, *Maximal Ratio Combining*), y *demapper* ML. El canal usado para las simulaciones de recepción en movilidad ha sido el TU6, canal utilizado para modelar la recepción en entornos rurales, y Rice y Rayleigh para recepción fija en tejado y en terminales móviles respectivamente.

### 3.2. Herramienta planificación de cobertura *Xirio Online*

Mediante la herramienta de planificación de radiodifusión *Xirio Tool*, desarrollada por la empresa Aptica, se obtienen los mapas de cobertura para un transmisor con unas características radioeléctricas determinadas, donde se detalla en cada punto de una zona geográfica cual es la potencia de campo eléctrico radiada. A partir de esta información y con los valores de campo mínimo obtenidos mediante el simulador de Matlab se pueden elaborar los mapas de cobertura de cada uno de los escenarios de recepción para el estándar 5G Broadcast actual, y las mejoras y características introducidas en este trabajo final de máster, los cuales servirán para conocer cuales son las capacidades del estándar y su rendimiento. Así más tarde, a la hora de planificar el piloto, en función de las necesidades del sistema a implementar saber a priori cuales son las configuraciones adecuadas.

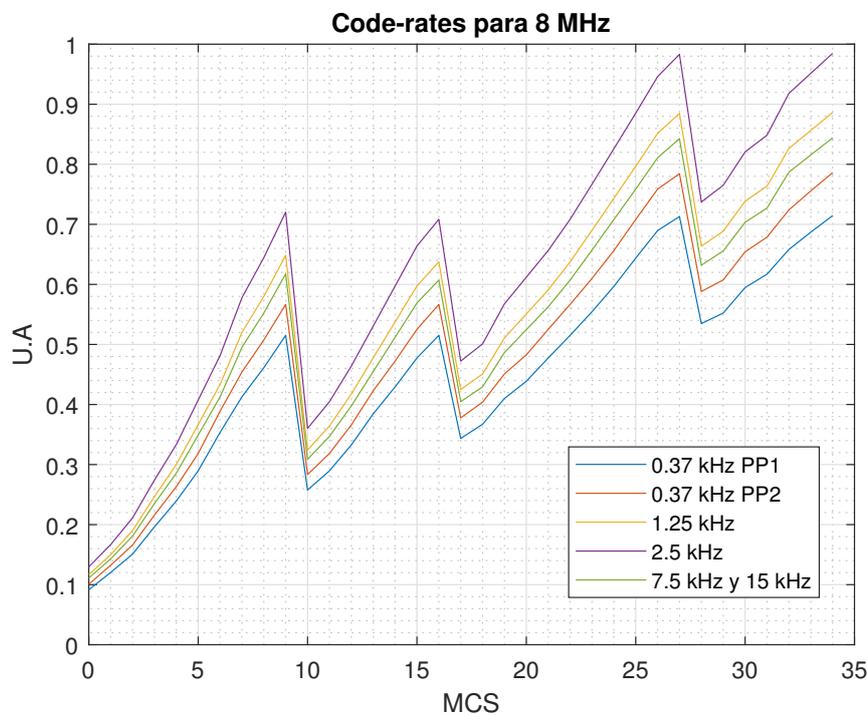
## 4. Resultados

### 4.1. 5G-Broadcast release-16

El estándar de radiodifusión 5G-Broadcast utiliza OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), al igual que DVB-T2. Este esquema de multiplexación consiste en dividir el ancho de banda total en diferentes subportadoras las cuales proporcionan una tasa de transmisión inversamente proporcional al número de subportadoras. En el estándar 5G Broadcast a esa separación se le conoce como numerologías, mientras que en DVB se les denomina tamaños de FFT.

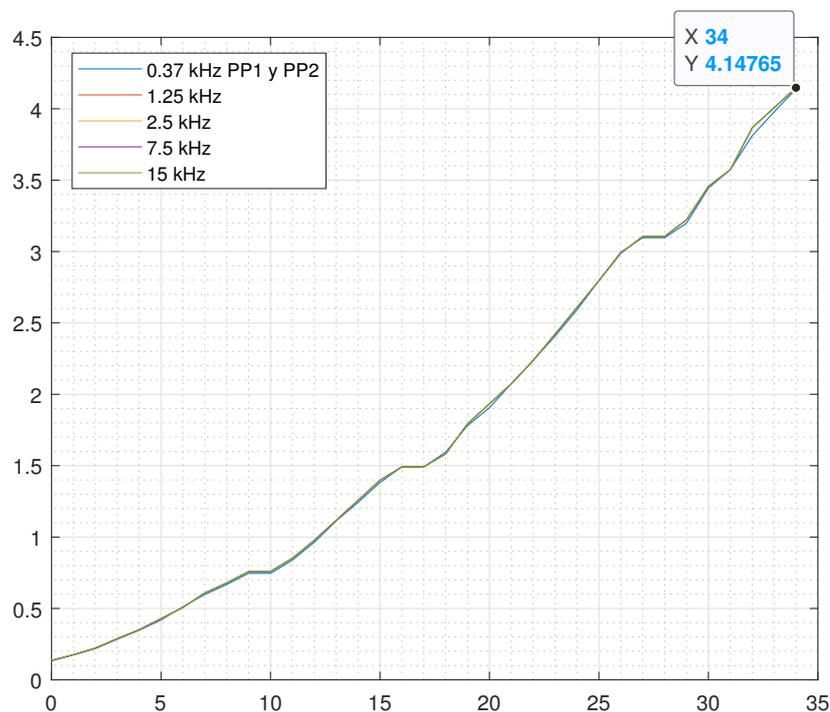
Se disponen de cinco numerologías y 35 esquemas de modulación (*MCS, Modulation Code Scheme*) distintos. Estos esquemas varían de unos a otros en la modulación usada, (QPSK, 16 QAM, 64 QAM o 256 QAM), y en el grado de protección de los datos enviados, conocido como *code rate* o tasa de codificación global, la cual no es la misma que el *coding rate* o grado de codificación.

El *code rate* se define como el cociente entre la cantidad de bits de información y la cantidad de bits de protección que se transmiten. La protección de los datos en 5G Broadcast se realiza con turbo códigos a una tasas de codificación de 2/3. Tras la etapa de codificación se realiza lo que se conoce como *puncturing*, donde parte de la información de protección es eliminada para alcanzar así un tasa de transmisión determinada. Todas estas características le proporcionan al estándar flexibilidad a la hora de adaptarse a los diferentes escenarios de recepción.



**Figura 2:** Code-rates de cada numerología y MCS para un ancho de banda de 8 MHz.

En la Fig. 2 se muestra la tasa de codificación global para cada uno de los 35 esquemas de modulación. Se observa como va aumentando conforme lo hace el esquema de modulación pero se reduce en algunos de ellos. Esto es debido a que 5G Broadcast usa QPSK, para los esquemas de 0 al 9, 16 QAM para los que van del 10 al 16, 64 QAM del 17 al 27, y 256 QAM del 28 al 34. Conforme va aumentando el esquema de modulación el bloque de transporte que se transmite en cada subtrama aumenta, reduciendo los bits de protección y por tanto su robustez. Cuando se cambia de modulación el tamaño del bloque de transporte comienza desde valores reducidos y va aumentando conforme lo hace el MCS. Es por ello que en los siguientes resultados se obtienen valores que fluctúan conforme lo hace el *code-rate*.



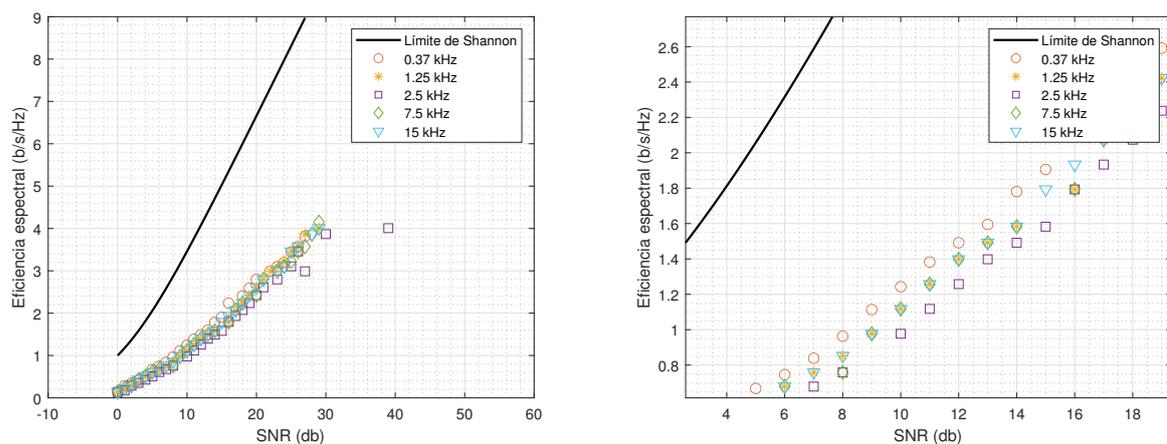
**Figura 3:** Eficiencia espectral de cada numerología y MCS para un ancho de banda de 8 MHz.

En la Fig. 3 se muestra la máxima eficiencia espectral para cada una de las numerología y esquemas de modulación de 5G Broadcast. El mayor rendimiento que proporciona el estándar es de 4.14 b/s/Hz. A lo largo de las siguientes secciones se irán obteniendo los valores de eficiencia espectral frente a relación señal a ruido necesaria, y las máximas velocidades alcanzables y su SNR correspondiente para numerología y esquema de modulación en cada una de las características evaluadas.

### 4.1.1. Rendimiento, robustez y capacidad

Para evaluar el rendimiento de 5G-Broadcast y elaborar un estudio de la mejora introducida por las nuevas técnicas que se desarrollarán en los siguientes apartados, primeramente se ha obtenido el nivel de señal a ruido necesario para poder decodificar correctamente la información en función de la numerología, esquema de modulación y escenario de recepción, esto es, recepción fija, y recepción móvil. Los valores de SNR (*Signal to Noise Ratio*) mostrados a continuación no tienen en cuenta las características de radiodifusión del receptor, esto es, no se consideran las ganancias de antenas, ni apertura efectiva, ni así el nivel de ruido en el receptor, solamente se muestran el SNR mínimo necesario.

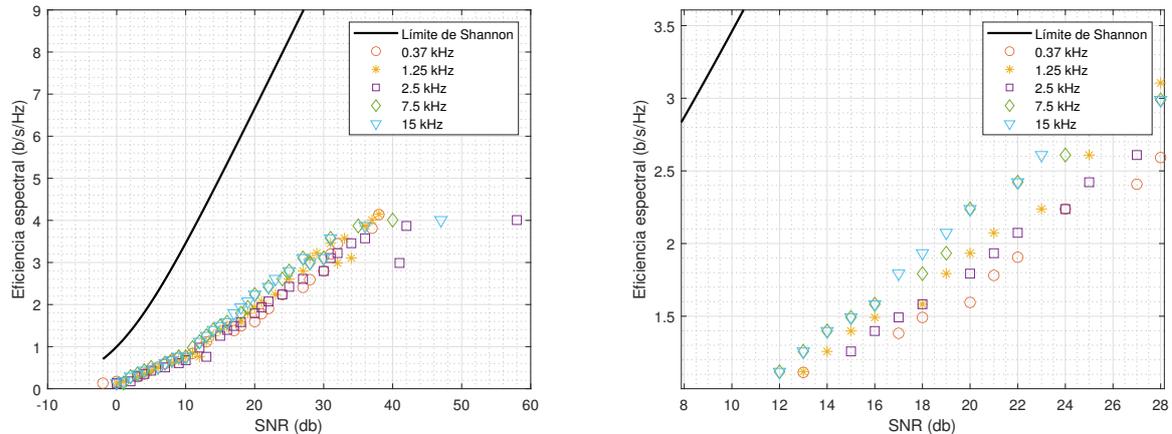
**Recepción fija** Se conoce por recepción fija, a la instalación convencional utilizada en los hogares para la recepción de contenido de radiodifusión, donde la antena utilizada normalmente es una tipo Yagi-Uda en visión directa con el transmisor. Se muestran también los valores correspondientes a recepción en terminales móviles que se encuentran estáticos, por lo que no presentan degradación por efecto Doppler. El modelo de canal utilizado para recepción fija es el Ricean, y para terminales móviles estáticos el canal Rayleigh.



**Figura 4:** Eficiencia espectral frente a SNR de cada numerología en un canal tipo *Ricean*.

En la figura 4 se observa que la máxima eficiencia espectral alcanzada es del orden de 4.14 b/s/Hz puesto que todos los MCS son decodificables. En la imagen de la derecha se encuentra una ampliación de la gráfica donde se observa que la numerología que proporciona la menor SNR para una eficiencia determinada es la de 0.37 kHz. Esto es debido a que en un canal tipo *rice* no hay degradación por efecto doppler, y la numerología de 0.37 kHz como se observa en la Fig. 2 es la que tiene la mayor robustez, o lo que es lo mismo la que tiene el menor *code-rate*.

En una canal tipo *rayleigh* la movilidad del receptor se manifiesta mediante una degradación adicional provocada por el efecto doppler, por ello respecto al canal *rice* la numerología que proporciona la menor SNR para una determinada eficiencia espectral es la de 15 kHz, puesto que al ser la que mayor separación proporciona entre subportadoras



**Figura 5:** Eficiencia espectral frente a SNR de cada numerología en un canal tipo *Rayleigh*.

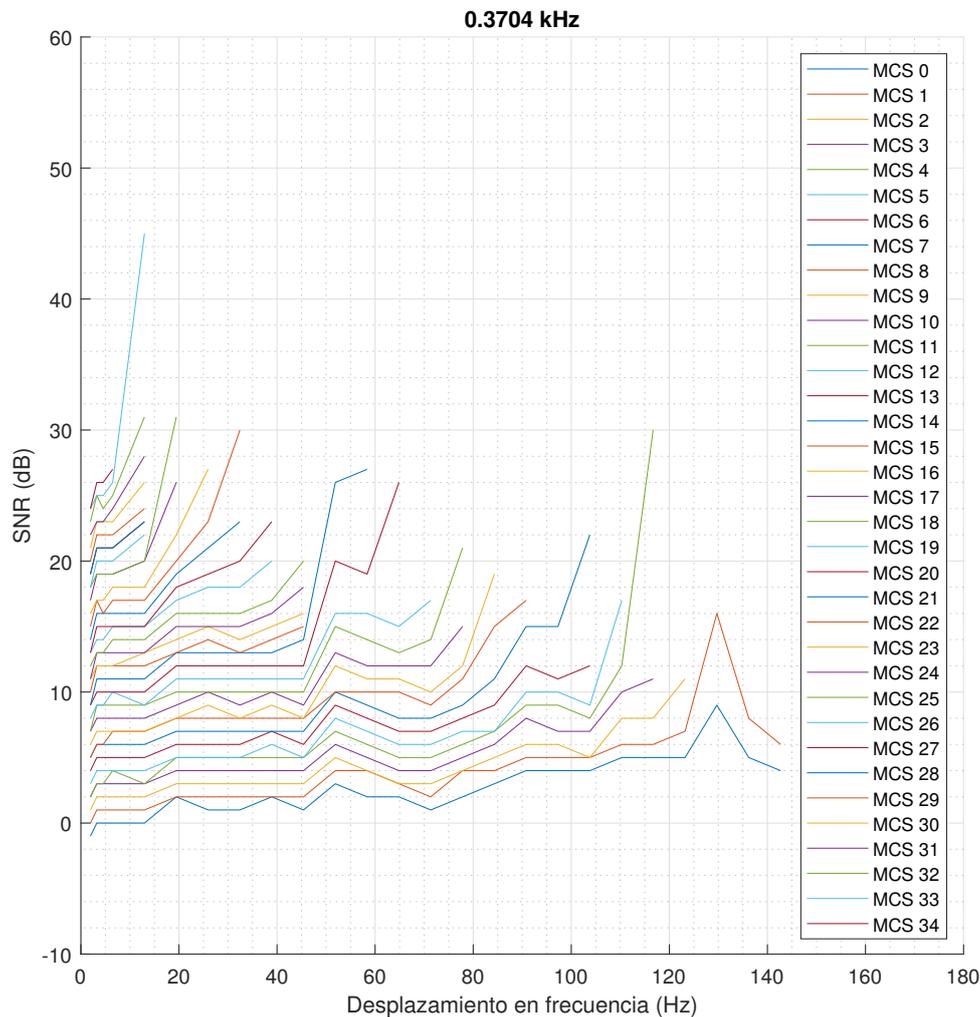
es la más robusta y la que se ve menos afectada frente al desplazamiento en frecuencia de la señal debido al efecto Doppler, degradando mínimamente la misma y por tanto requiriendo una menor SNR.

**Recepción móvil** Cuando la recepción se produce en un terminal que se encuentra en movimiento aparece una degradación adicional a las ya presentes de por sí en el canal de transmisión, debida al efecto Doppler como e ha mencionado anteriormente, introduciendo bien por el movimiento del receptor como por el movimiento de los objetos donde se dispersa la señal transmitida. Para modelar el comportamiento de dicho canal se ha utilizado el modelo de canal TU6 (*Typical Urban 6-Taps*), empleado para simular recepción en entornos urbanos y rurales.

Los resultados de eficiencia espectral frente a SNR se muestran para una determinada velocidad en concreto, la cual no es relevante, ya que la SNR conforme va aumentando la velocidad no se incrementa significativamente como se puede ver en la Fig. 6, la SNR necesaria se mantiene con la velocidad hasta que se llega a la máxima admisible por el sistema donde la SNR aumenta drásticamente y de forma abrupta. Los resultados de las siguientes figuras se corresponde con un desplazamiento en frecuencia de 3.243 kHz

En la figura 7 se muestra la velocidad máxima alcanzable para cada una de las numerologías y esquemas de modulación distintos. Conforme se va aumentando el esquema de modulación, cambia el orden de modulación, el tamaño del bloque de transporte y por tanto la cantidad de bits de protección es cada vez menor, lo que afecta en la robustez de la transmisión, es por ello que va disminuyendo la velocidad máxima alcanzable.

En la curva amarilla correspondiente a la numerología de 2.5 kHz se observa que no hay valor en la curva, esto es debido a que la tasa de código o *code rate*, es demasiado alto, y no hay suficientes bits de protección como para que el bloque de transporte se pueda decodificar. Este límite en la tasa de codificación global se encuentra recogido en el estándar, cuando se supera el 93% se indica que el esquema de modulación ya no es decodificable, puesto que el receptor no es capaz de hacerlo. Tal caso ocurre para el MCS



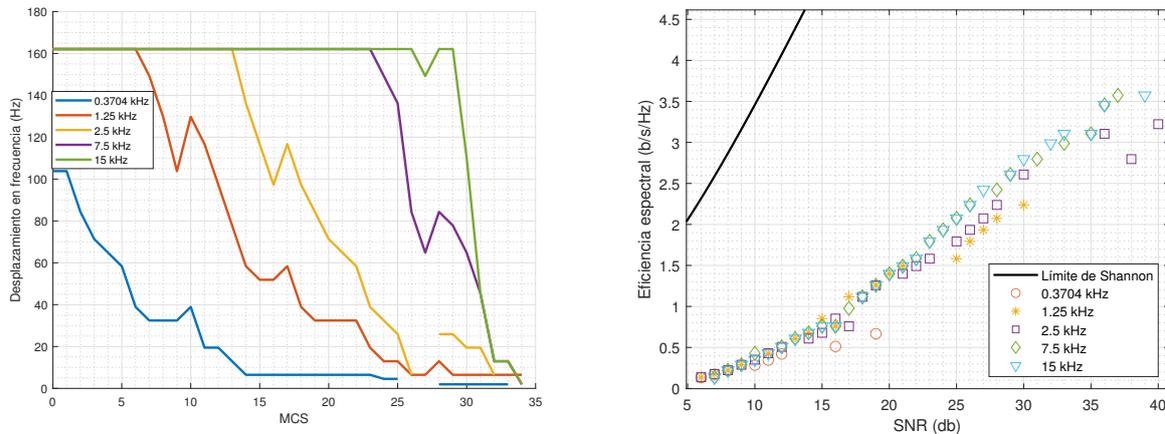
**Figura 6:** SNR en función del desplazamiento en frecuencia de cada MCS para una separación de 0.37 kHz.

27 y 34 de la numerología de 2.5 kHz.

En la gráfica de la derecha se muestra la eficiencia espectral de cada una de las numerologías en función de la SNR mínima necesaria. Se muestra una reducción en la eficiencia máxima, pasando de 4 a 3.5 b/s/Hz, esto es debido a que los esquemas de modulación más altos y son decodificables debido a la degradación por efecto Doppler.

#### 4.1.2. Efecto del entrelazado frecuencial

En los apartados anteriores se ha evaluado el rendimiento del estándar 5G Broadcast conforme se encuentra definido actualmente por el 3GPP. Es interesante considerar la inclusión de nuevas características que mejoren la robustez o aumenten la capacidad del



**Figura 7:** Eficiencia espectral frente a SNR de cada numerología en un canal tipo *TU6*.

sistema. Una de ellas es el entrelazado en frecuencia de los símbolos transmitidos, como una técnica para la mejora del rendimiento en escenarios de movilidad. A pesar de contar con dicha característica en las últimas versiones de la versión unicast de 5G, en la versión de radiodifusión no se incluye ningún tipo de entrelazado en la capa física ni temporal ni frecuencial, a nivel de símbolos transmitidos.

El entrelazado se realiza a nivel de código bloque, cuando la información de la capa superior es transmitida a la capa física para su transmisión, esta se divide en códigos bloque que son codificados por separado mediante turbo códigos, y después asignados secuencialmente a lo largo de todo el ancho de banda de transmisión.

La implementación usada es del tipo fila-columna, los códigos bloque una vez generados son almacenados en filas formando una matriz, que posteriormente es leída columna a columna, lo que proporciona un entrelazado entre los distintos símbolos con una separación igual al número de códigos bloque transmitidos como se puede ver en la Fig. 8. Para algunas numerologías y esquemas de modulación el número de códigos bloque es demasiado bajo, por lo que se ha establecido un mínimo de 6 símbolos de separación de entrelazamiento en tales casos.

En las figura 9 se puede ver el desplazamiento máximo y la eficiencia espectral cuando se emplea entrelazamiento en frecuencia. La eficiencia espectral máxima alcanza los 4 b/s/Hz, debido a que ahora los esquemas de modulación que proporcionan la mayor tasa de datos si son codificables.

En la figura 10 se ofrece una comparativa entre los desplazamientos máximos en frecuencia de cada MCS con y sin entrelazamiento en frecuencia. Las líneas continuas corresponden a los resultados sin entrelazamiento y las discontinuas a los resultados con entrelazamiento. Como se observa, para una misma SNR el valor de frecuencia Doppler máximo ha aumentado, lo que quiere decir que para la misma SNR la robustez es mayor, o lo que es lo mismo, para la misma robustez el nivel de SNR necesario ha disminuido.

En la Fig. 11 se muestra la tasa de error de trama para cuatro configuraciones distintas de las 4900 simuladas (5 numerologías por 35 MCS por 28 velocidades). En ella se

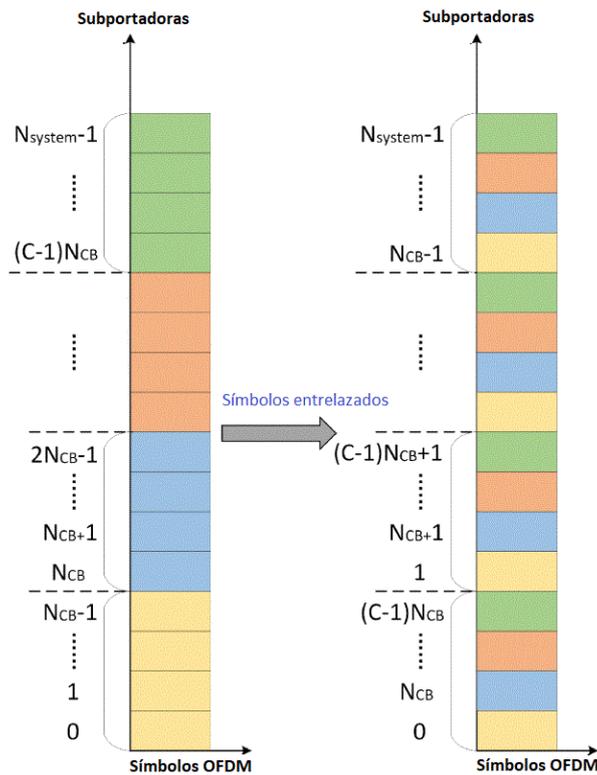


Figura 8: Entrelazado en frecuencia de los símbolos transmitidos.

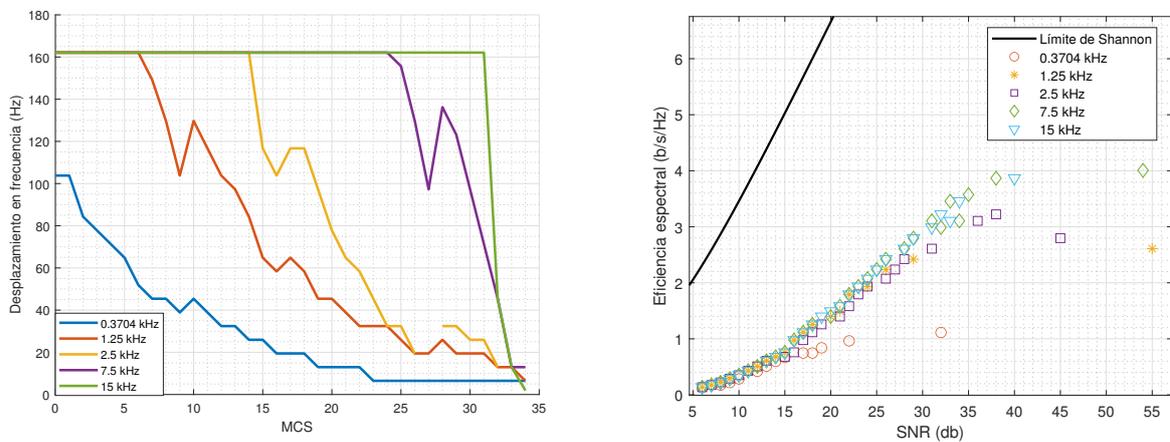
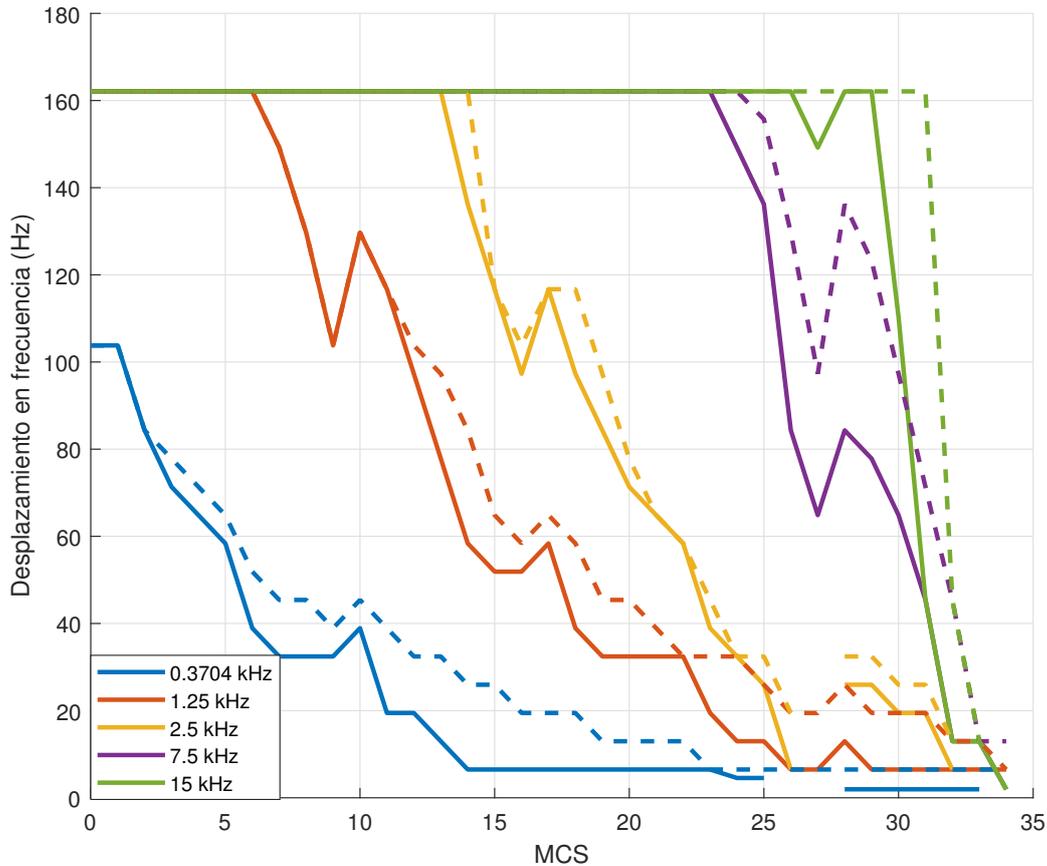


Figura 9: Eficiencia espectral frente a SNR de cada numerología en un canal tipo *TU6*.

muestran las curvas correspondientes a un bajo desplazamiento Dopple y bajo MCS y un alto desplazamiento y alto MCS, para distintas numerologías. Como se observa la mayor ganancia se consigue para las mayores velocidades, que provocan el mayor desplazamiento en frecuencia, el cual se beneficia en mayor medida del entrelazamiento en frecuencia, consiguiendo además que las configuraciones que no eran decodificables ahora sí lo sean. La



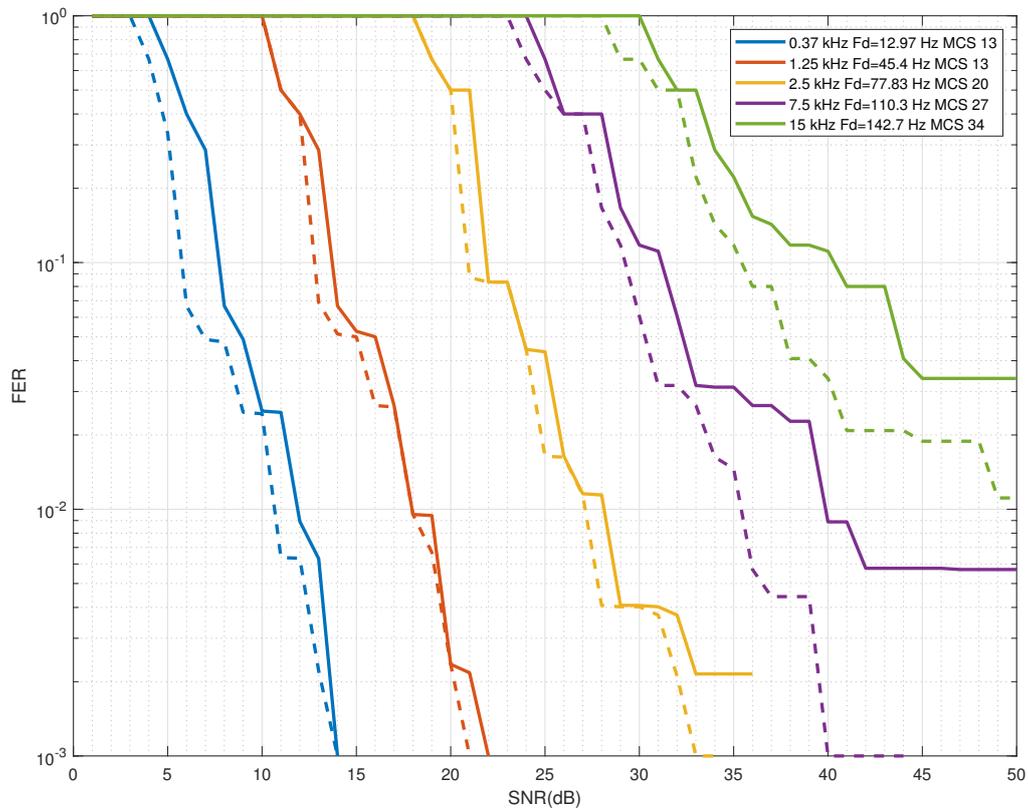
**Figura 10:** Ganancia en el desplazamiento máximo de cada MCS al emplear entrelazamiento en frecuencia.

reducción de la SNR para el resto de numerologías es del orden de 2 dB, excepto para 7.5 kHz, y 15 kHz, que presentan el mayor desplazamiento en frecuencia, donde la ganancia llega hasta 5 dB.

#### 4.1.3. Recepción SIMO

La principal ventaja de los terminales móviles compatibles con los actuales estándares de comunicaciones móviles, frente a la recepción fija utilizada convencionalmente en la radiodifusión, es la disponibilidad de varias antenas para la recepción de la señal, las cuales proporcionan la posibilidad de utilizar técnicas de transmisión SIMO, (*Single Input Multiple Output*), donde la señal se transmite por un único transmisor con una sola antena, y es recibida por un receptor con dos o más antenas. A continuación se muestra la mejora en SNR cuando se utilizan dos antenas en recepción.

En la figura 12 se muestran el máximo desplazamiento en frecuencia para cada MCS y numerología cuando la recepción es SIMO, a la derecha se muestra la eficiencia espectral.



**Figura 11:** Curvas de FER con entrelezado frecuencial en SISO (discontinua) y sin entrelezado (continua).

En la figura 13 se compara el caso SISO y SIMO, como líneas continuas y discontinuas respectivamente. El incremento de robustez es mucho mayor que el proporcionado solamente por el entrelezado frecuencial mostrado en la Fig. 10. En la Fig. 13 se han representado las curvas de tasa de error de trama, las cuales muestran la gran reducción en SNR, incluso pasando a ser decodificables aquellas configuraciones en las que no era posible la transmisión como las curvas correspondientes a las numerologías de 2.5 kHz, 7.5 kHz y 15 kHz al igual que ocurría cuando se introducía entrelezado en frecuencia para SISO, en cambio en este caso la ganancia es mucho mayor, pasando a ser del orden de 5 dB para las curvas correspondientes a un bajo efecto Doppler, y de hasta 11 dB para la numerología de 15 kHz, con un alto desplazamiento en frecuencia y esquema de modulación.

**SIMO y entrelezado en frecuencia** Una vez evaluada por separado la mejora que supone el uso de entrelezado en frecuencia y la recepción con dos antenas, es interesante considerar la mejora introducida por la combinación de ambas técnicas, para obtener cual es la magnitud de la mejora en el nivel de SNR.

La combinación de ambas técnicas, recepción SIMO y entrelezamiento en frecuencia

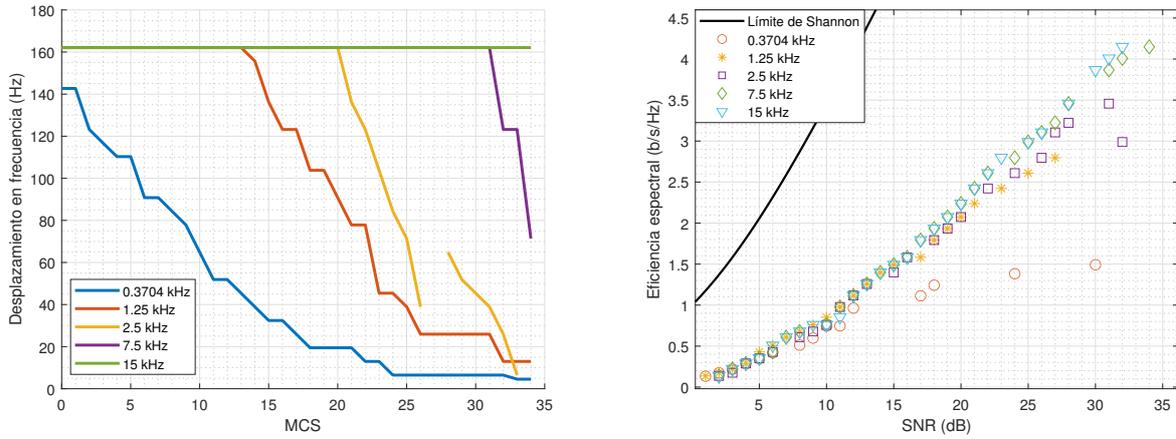


Figura 12: Máximo desplazamiento en frecuencia y eficiencia espectral frente a SNR empleando SIMO en una canal *TU6*.

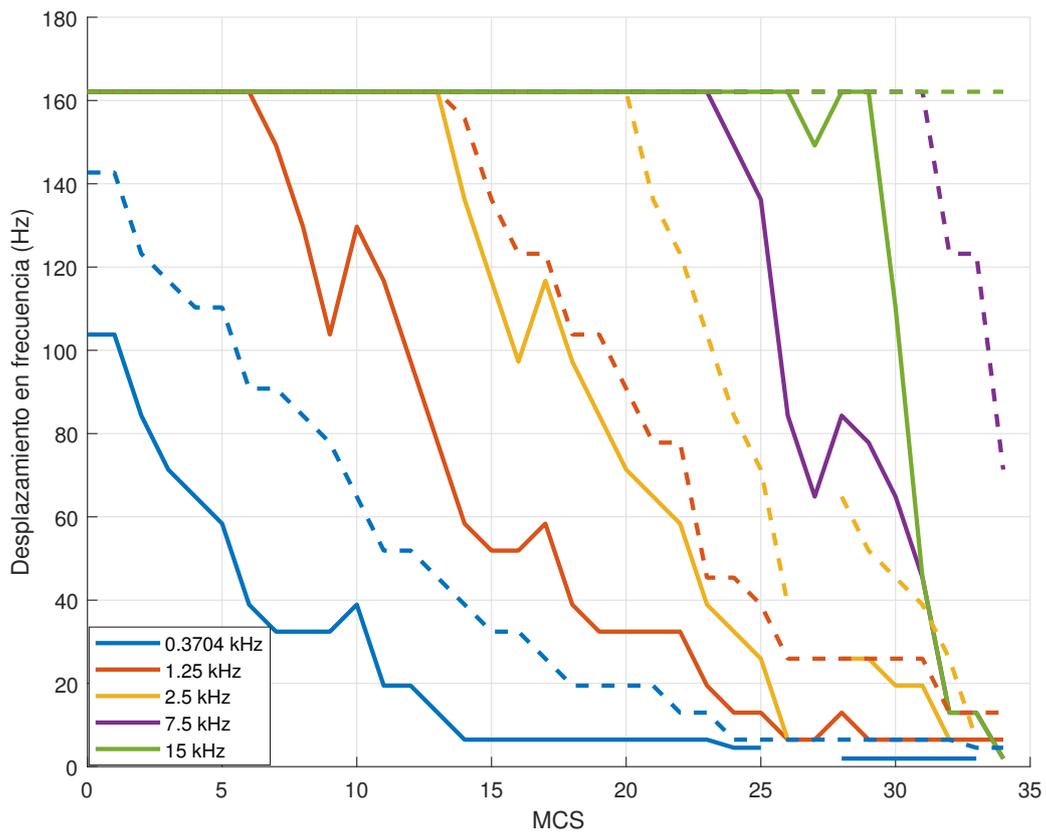
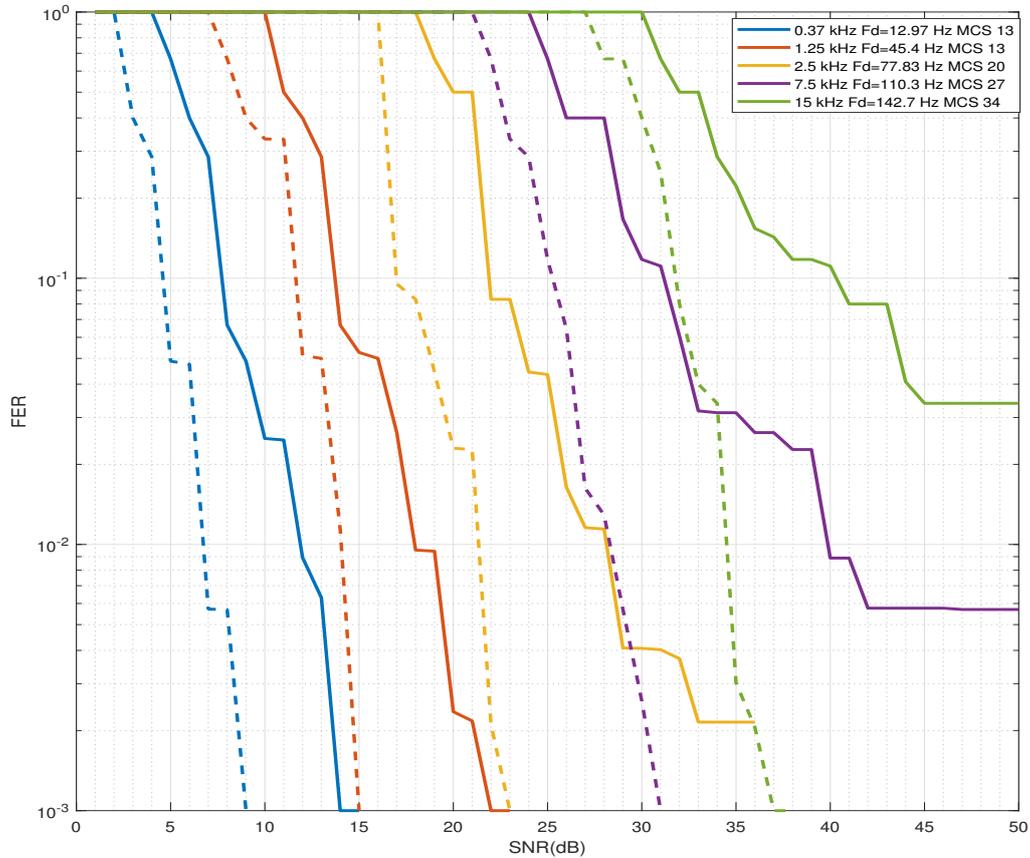


Figura 13: Comparativa de desplazamientos máximos en frecuencia entre SIMO y SISO.



**Figura 14:** Curvas de FER para SIMO (discontinua) y SISO (continua).

proporciona el mayor incremento de robustez del sistema frente a movilidad, sobretodo para la numerologías con un menor espaciado como son 0.37 kHz y 1.25 kHz. El aumento en el desplazamiento máximo en frecuencia para 0.37 kHz es de hasta 20 Hz, respecto a usar solamente SIMO. En la Fig. 17 se muestra la reducción de SNR para alcanzar una tasa de error de trama de un 0.01 %. En la comparativa con SISO se muestra que se alcanza la mayor reducción frente a usar SISO con entrelazado o SIMO solamente, llegando a ser la mejora de hasta 13 dB para la curva de 15 kHz y de 6 dB para la de 0.37 kHz. Si se compara con la ganancia obtenida usando solamente SIMO se observa que la mayor ganancia se concentra en las numerologías más bajas, y en los esquemas de modulación más altos, pero esta no es muy grande, solamente entre 1 y 2 dB.

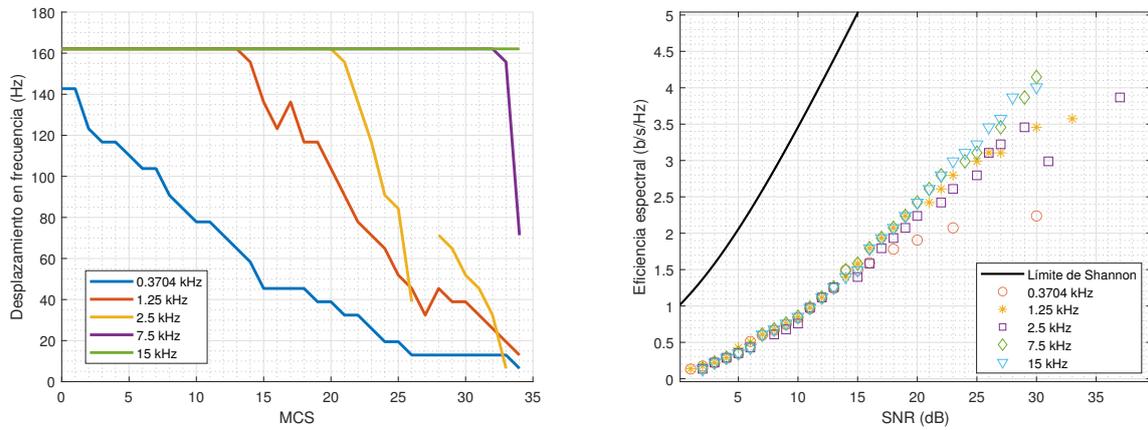


Figura 15: Máximo desplazamiento en frecuencia y eficiencia espectral frente a SNR empleando SIMO más entrelazado en frecuencia en una canal *TU6*.

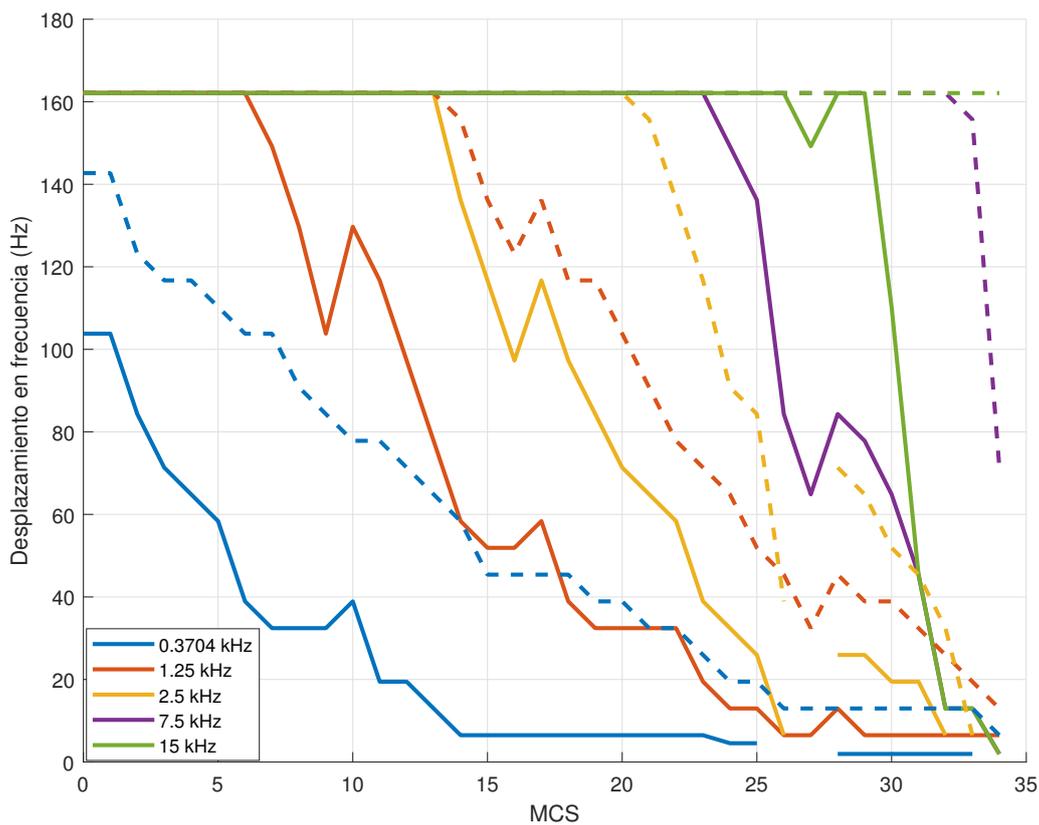
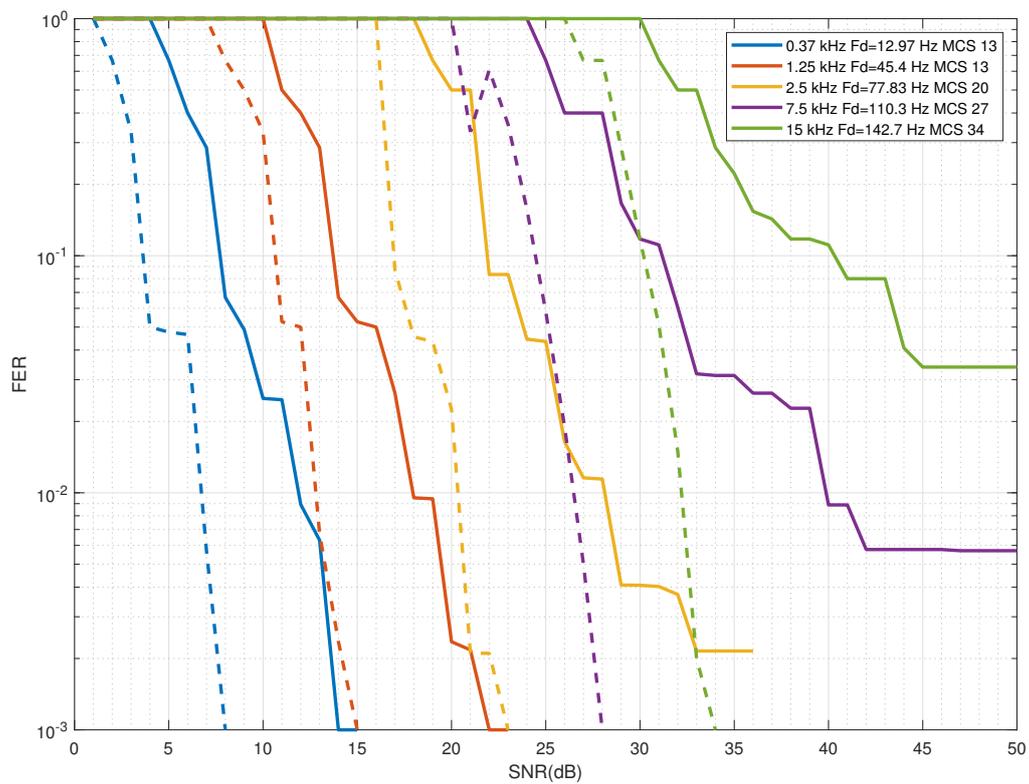


Figura 16: Comparativa de desplazamientos máximo en frecuencia entre SIMO con entrelazado en frecuencia y SISO



**Figura 17:** Ganancia en el desplazamiento máximo de cada MCS al emplear entrelazamiento en frecuencia.

#### 4.1.4. AL-FEC *Application Layer Forward Correction Error*

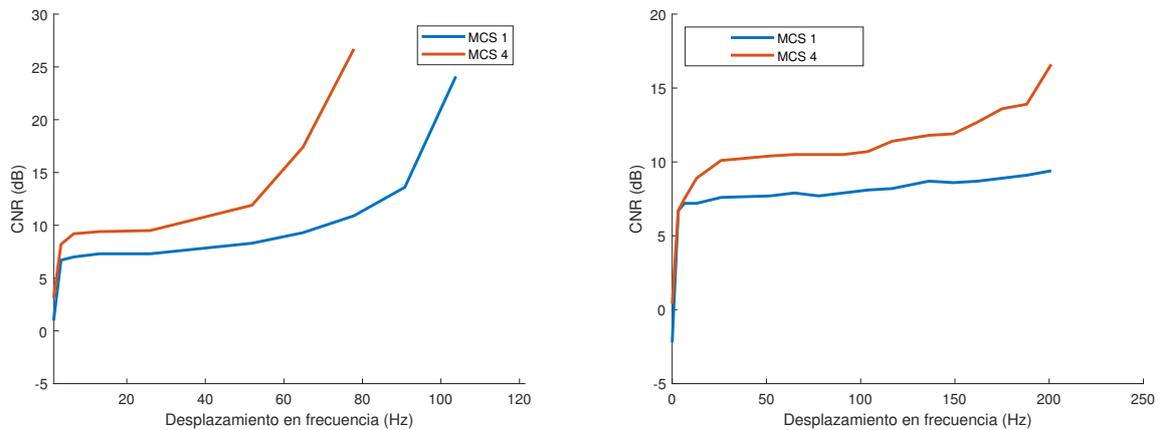
Cualquier cambio introducido en la capa física requiere de su implementación en silicio en los chips de RF, lo que provoca que las características entre las diferentes versiones de los estándares no puedan ser usadas por todos los dispositivos. Además las limitaciones de memoria son grandes, pues es directamente proporcional al tamaño que ocupa en el silicio de los chips. Una manera de implementar un nivel de protección a la cadena de transmisión es la incorporación de características a nivel de aplicación, esto es, sobre los datos enviados, que una vez recibidos son procesados para su decodificación final.

Una de las técnicas que se puede implementar en la capa de aplicación es la corrección de errores, lo que en inglés se conoce como *Application Layer Forward Error Correction*. Consiste en implementar métodos de corrección de errores (*FEC, FOrward Error Correction*) para codificar en la capa de aplicación los datos previamente a su transmisión, así el receptor una vez los reciba pueda decodificarlos una vez sean recibidos en dicha capa, lo cual es un grado de protección transparente a la capa física. Un tipo de codificación usada son los códigos Raptor, los cuales son capaces de decodificar la información siempre y cuando el número de paquetes recibidos, entre los originales y los paquetes de protección asociados, sea ligeramente mayor al número de paquetes originales. Su rendimiento es casi ideal, y como característica adicional proporciona un entrelazado temporal a la transmisión mucho mayor del que se puede implementar en la capa física, ya que la memoria de la capa de aplicación no está limitada a los recursos diseñados en los chips de RF, pero como inconveniente, reduce la eficiencia espectral del sistema, ya que parte de la información transmitida es redundante.

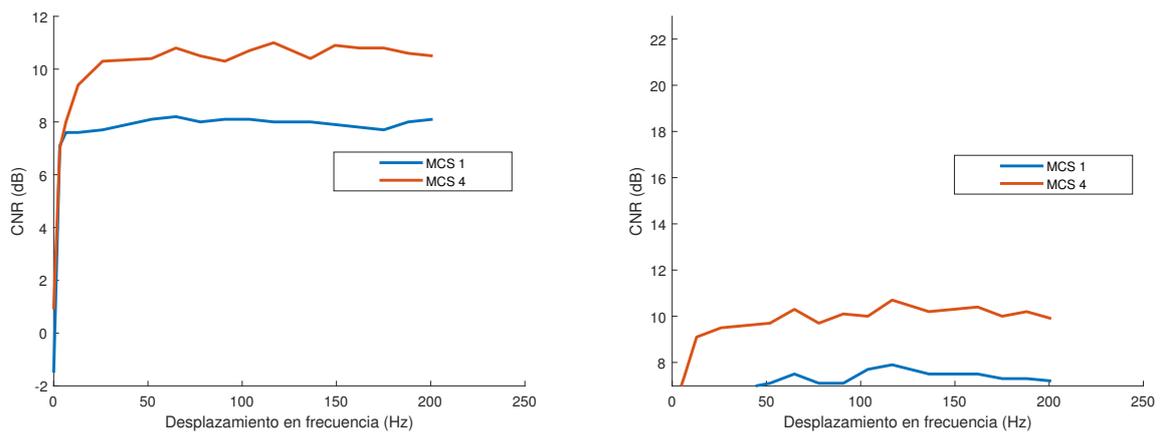
En las Fig. 18 y 19 se muestra la CNR necesaria en función del desplazamiento en frecuencia de dos numerologías distintas, MCS 1 y MCS 4. EL primero de ellos es un esquema más robusto que el segundo, pero proporciona una menor tasa de transmisión. Si se usa una protección de 1/2 junto con el MCS 4, éste presenta el mismo *code rate* que el MCS 1, por lo que se pueden utilizar para comparar la mejora introducida por el uso de AL-FEC, ya que ambas configuraciones proporcionan la misma tasa de transmisión, el objetivo es evaluar cual es el grado de mejora introducido por el entrelazamiento temporal provocado por AL-FEC, cual es el número óptimo de subtramas necesarios para alcanzar un cierto grado de mejora y ver cuál es el máximo alcanzable. Mencionar que aplicar una codificación de 1/2 reduce igualmente en la mitad la eficiencia espectral de la transmisión, pero a cambio se obtiene entrelazado temporal.

**Tiempo de protección** El grado de entrelazado temporal que proporcionan los códigos Raptor, depende del número de subtramas que se agrupan en la etapa de codificación y decodificación, cuando mayor número, mayor es el entrelazado, pero aumenta la latencia total del sistema. Es por ello necesario conocer cuál es un valor óptimo en términos de robustez y latencia, ya que se trata de un compromiso entre ambas características.

A continuación se muestra una comparativa entre dos esquemas de modulación para la numerología de 0.37 kHz, MCS 3 sin AL-FEC, y MCS 6 con AL-FEC a una tasa de protección de 5/9, para que ambas proporcionen la misma tasa de transmisión, es decir, presenten el mismo *code-rate* global.

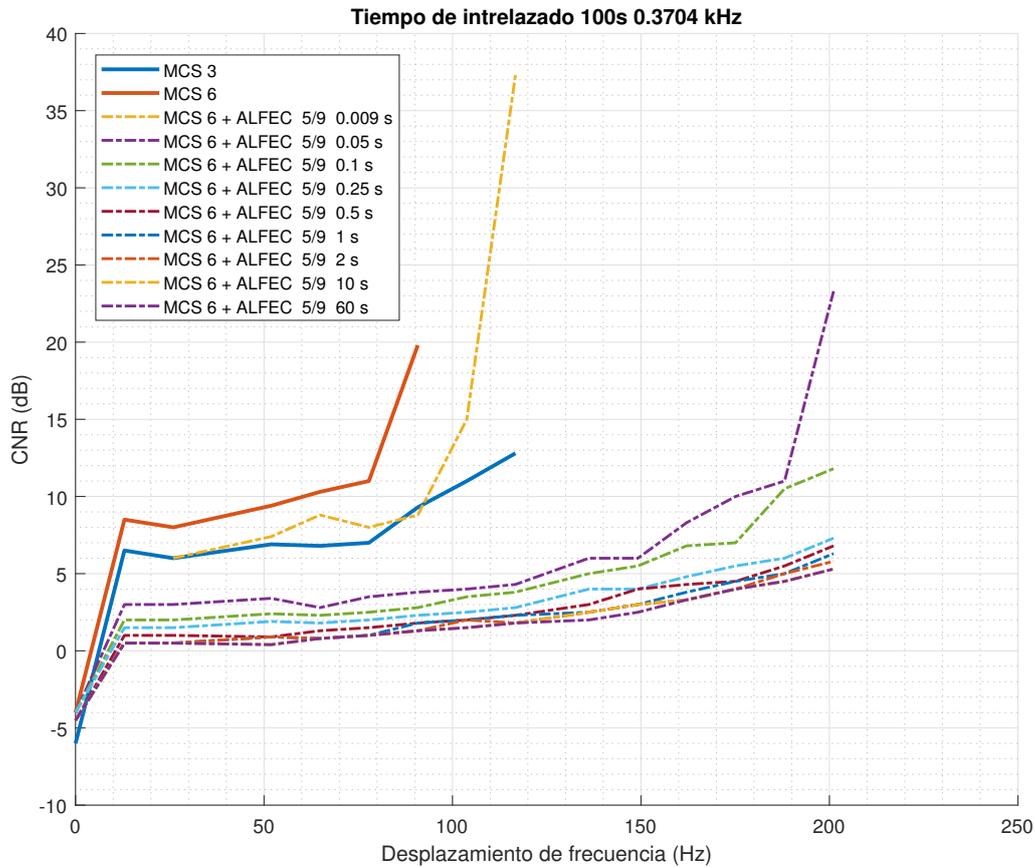


**Figura 18:** Máximo desplazamiento en frecuencia y eficiencia espectral frente a SNR con recepción SIMO y entrelazado en frecuencia en una canal *TU6*.



**Figura 19:** Máximo desplazamiento en frecuencia y eficiencia espectral frente a SNR con recepción SIMO y entrelazado en frecuencia en una canal *TU6*.

Como se puede observar en la Fig. 21, apenas un tiempo de observación de 9 ms, es necesario para que la SNR necesaria para un MCS 6 sea igual al de el MCS 3. Si se va aumentando el tiempo de observación y por ende el entrelazamiento rápidamente la SNR para un desplazamiento de 50 Hz disminuye en 4 dB solamente pasando de 9 ms a 50 ms. Conforme se va aumentando el tiempo de observación siguen disminuyendo la SNR necesaria, pero cada vez en menor medida, tendiendo asintóticamente a un valor límite, el cual viene determinado cuando el tiempo de observación tiende al infinito, además con el aumento del tiempo de observación también lo hace el máximo desplazamiento admisible por el sistema, lo cual es una muestra de la mejora de la robustez frente a el efecto Dopple, pasando de una frecuencia máxima de 90 Hz para MCS 4 sin AL-FEC a 200 Hz con solamente 100 ms de tiempo de observación.

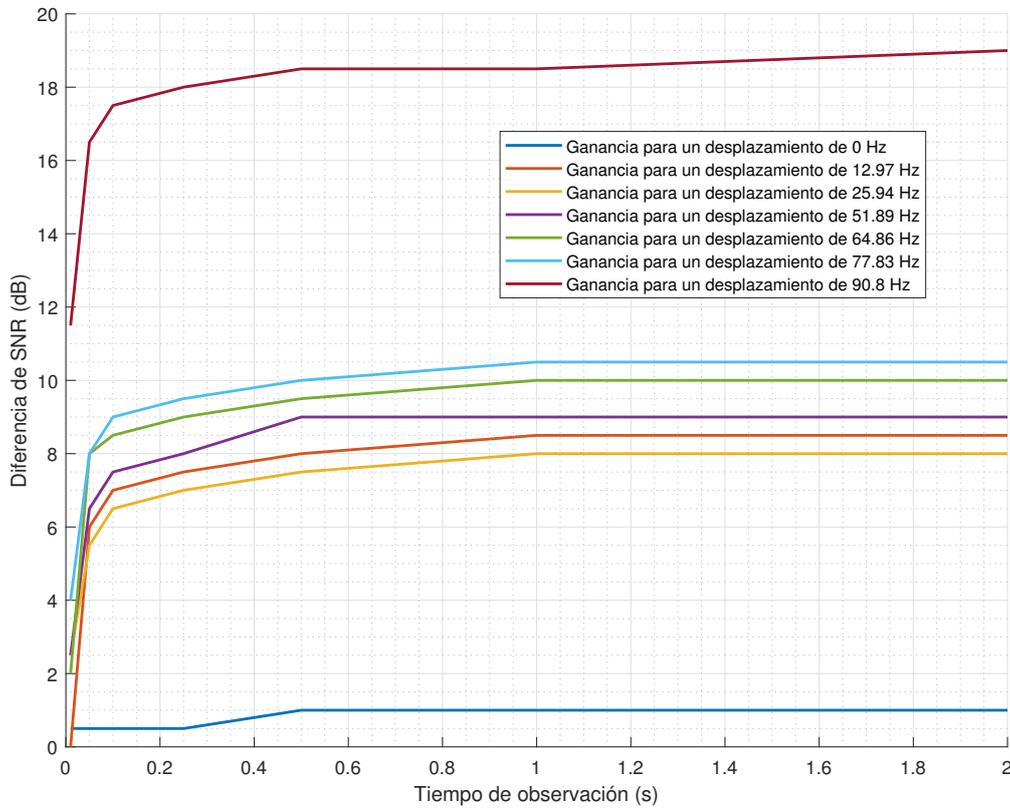


**Figura 20:** SNR frente a desplazamiento en frecuencia para MCS 3 y MCS 6 AL-FEC para la numerología de 0.37 kHz.

Para la simulación realizada el tiempo de observación máximo es de 60 s, el cuál proporciona una reducción de 7 dB para 50 Hz. Si en vez de emplearse 60 s se utilizan 0.5 la mejora apenas se ve reducida, solamente en 0.5 dB. Lo cual, de todos los tiempos de observación de la Fig. 21 0.5 s proporciona un buen rendimiento frente a la latencia introducida, que para el caso de contenido transmitido por radiodifusión, la latencia no es un requisito estricto a la hora de diseñar y configurar los sistemas.

A partir de la Fig. 29 se puede ver como la ganancia tiene asintóticamente a un límite, que varía en función de cada desplazamiento Doppler, y cuál es la ganancia alcanzada en función del tiempo de observación, lo que permite elegir fácilmente un valor adecuado a la hora de implementarse.

En la Fig. 22 se muestra la comparativa entre un MCS 1 y MCS 4 para una numerología de 2.5 kHz. En este se aprecia como al emplear AL-FEC los desplazamientos más bajos en frecuencia, correspondientes a velocidades de recepción bajas dejan de ser decodificables. Esto es debido a que en tales casos, la diversidad que proporciona la variabilidad del canal debido al efecto Doppler es muy baja y provoca que a la hora de decodificar AL-FEC no

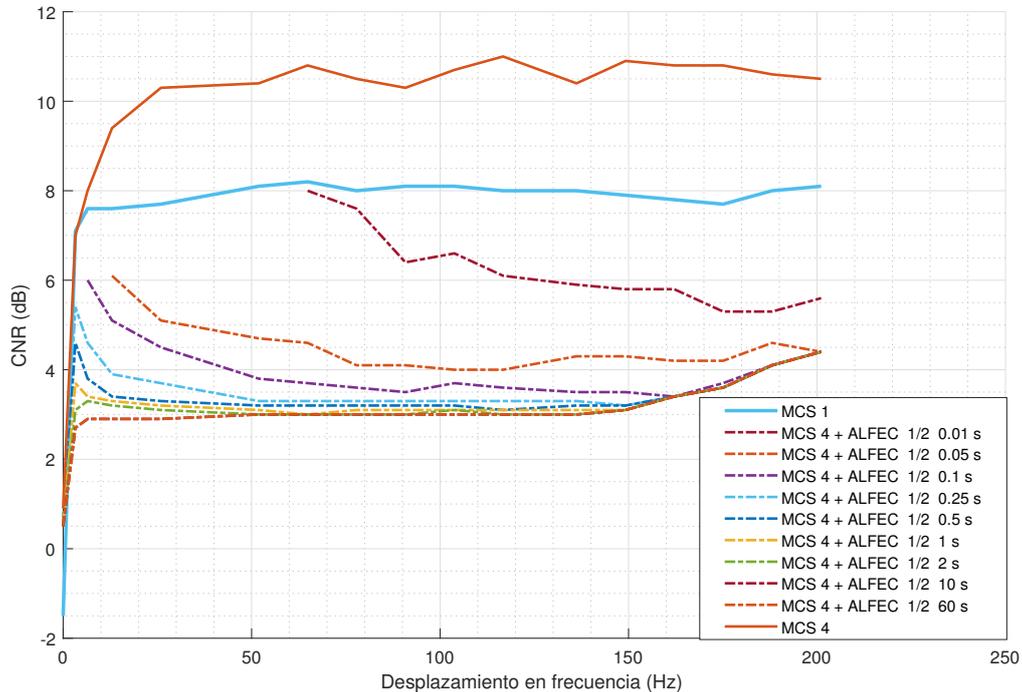


**Figura 21:** Diferencia de SNR entre MCS 6 sin ALFEC y con ALFEC para distintas cantidades de desplazamiento en frecuencia.

llegan los suficientes paquetes correctos para la tasa de codificación usada.

Por otro lado conforme va aumentando la velocidad de recepción y por lo tanto el desplazamiento en frecuencia, enseguida para los desplazamientos más alto las mejora obtenida por el aumento del tiempo de observación se queda fija, esto es debido a que para tales velocidades, la diversidad es tan alta que aun para un bajo tiempo de observación la reducción de la SNR necesaria es muy grande, ya que además para el caso de la numerología de 2.5 kHz, su mayor espaciado entre subportadoras lo hace menos sensible al efecto Doppler lo que limita la mejora alcanzable cuando se hace uso de AL-FEC.

En este caso la mejora con apenas 50 ms de tiempo de observación es de 5.8 dB para un desplazamiento de 50 Hz, alcanzando los 7.5 dB para el caso de 0.5 s de tiempo de observación. El valor al que tiende la SNR necesaria cuando el tiempo de observación tiende a infinito en este caso es de 4 dB, lo que supone una mejora de hasta 8 dB para algunos desplazamientos en frecuencia.



**Figura 22:** SNR frente a desplazamiento en frecuencia debido al efecto Doppler para MCS 1 y MCS con AL-FEC para la numerología de 2.5 kHz.

## 4.2. Comparativa entre DVB-T/T2 y 5G-Broadcast rel-16

Para establecer un referencia del rendimiento, capacidad y robustez de 5G Broadcast, es conveniente realizar una comparación con el actual estándar de radiodifusión, el DVB-T2. Como se ha mencionado anteriormente, éste hace también uso de OFDM pero difiere de 5G Broadcast en cuanto a la flexibilidad que proporciona, ya que cuenta con varios intervalos de guarda, varios patrones de pilotos para la estimación del canal, y varias tasas de codificación de canal para adaptarse a las condiciones del canal. Para realizar la comparativa es necesario realizar previamente la selección de parámetros en la configuración de cada uno de los estándares, los cuales hagan asemejarse lo más posible entre ellos, para que a la hora de comparar el rendimiento no se manifiesten diferencias relativas al diseño de los sistemas. A continuación se muestran las diferencia entre DVB-T2 y 5G-Broadcast, en cuanto a eficiencia espectral, y valores de SNR para recepción fija y móvil, además de los mapas de cobertura de cada uno de ellos. Los valores de DVB-T se han obtenido del documento para la planificación de DVB-T2 elaborado por la EBU [17], donde se especifican los valores de SNR y la metodología para su cálculo en los distintos escenarios de recepción.

En las tablas 2 y 3 se encuentra el *overhead* o tara, introducida por el uso de patrones de pilotos, destinados a realizar una estimación del canal. Estos patrones se componen de una serie de símbolos los cuales contienen un valor conocido por el receptor, los cuales

Num.	0.37 kHz PP1	0.37 kHz PP2	1.25 kHz	2.5 kHz	7.5 Khz y 15 kHz
Tara	8,33 %	16,66 %	16,66 %	25 %	12,5 %

**Tabla 2:** Tara introducida por lo patrones de pilotos en 5G Broadcast.

Num.	PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PP6	PP7	PP8
Tara	8,33 %	8,33 %	4,17 %	4,17 %	2,08 %	2,08 %	1,04 %	1,04 %

**Tabla 3:** Tara introducida por lo patrones de pilotos en en DVB-T2.

usa para realizar una estimación del canal que ha experimentado la señal. Estos símbolos suponen una degradación en la tasa de datos máxima alcanzable y en las tablas se indica su cantidad en tanto por ciento. En DVB-T2 hay toda una serie de combinaciones de patrones de pilotos con los distintos tamaño de FFT, pero en 5G Broadcast la única numerología que dispone de más de un patrón es la de 0.37 kHz que cuenta con 2. Se observa que la numerología 0.37 kHz con el patrón de pilotos 1 de 5G Broadcast tiene la misma tara que el patrón 1 de DVB-T2. Por tanto van a utilizar estos dos patrones de pilotos.

Num	0.37 kHz	1.25 kHz	2.5 kHz	7.5 kHz	15 kHz
P.C.	1/9	1/4	1/4	1/4	1/4

**Tabla 4:** Prefijos cíclicos de cada numerología de 5G Broadcast.

Modos FFT de 1k a 32k							
I.G.	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4

**Tabla 5:** Intervalos de guarda disponibles en DVB-T2.

En las tablas 4 y 5 se muestran los intervalos de guarda de los símbolo transmitidos en cada sistema. No comparten ningún valor en común por lo que se han elegido respectivamente 1/9 para DVB-T2 y 1/8 para 5G Broadcast.

FFT	1 k	2 k	4 k	8 k	16 k	32 k
Espaciado sub.	8 kHz	4 kHz	2 kHz	1 kHz	0.5 kHz	0.25 kHz

**Tabla 6:** Espaciado entre subportadoras para un ancho de banda de 8 MHz en DVB-T2.

Por último el tamaño de la FFT elegido para DVB-T2 ha sido 32 k, puesto que es el que más cerca se encuentra de los 0.37 kHz que se van a emplear en 5G Broadcast. Por tanto se va a utilizar una configuración con una FFT de 32 k subportadoras, para un ancho de banda de 8 MHz, y un patrón de pilotos 1 ó 2 para DVB-T2. Para 5G Broadcast se va a emplear la numerología de 0.37 kHz y el patrón de pilotos 1, con un ancho de banda de 8 MHz.

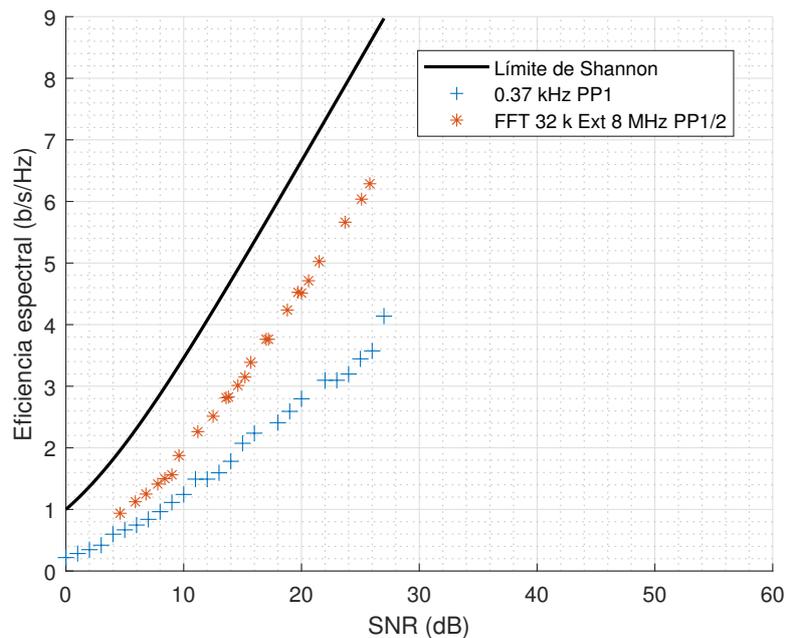
### 4.2.1. Eficiencia espectral

Para realizar la comparación en rendimiento la magnitud utilizada es la eficiencia espectral frente a nivel de relación señal a ruido. El objetivo es obtener los niveles de señal que proporcionan el mismo rendimiento en ambos sistemas. Los valores utilizados para DVB-T2 están extraídos del documento TECH 3348, el cual recoge los distintos valores para los parámetros de configuración y resultados de simulaciones y medidas para distintas configuraciones posibles a la hora de realizar una planificación DVB-T2. Los valores de 5G Broadcast son los obtenidos en este trabajo mediante simulaciones.

### 4.2.2. Recepción fija

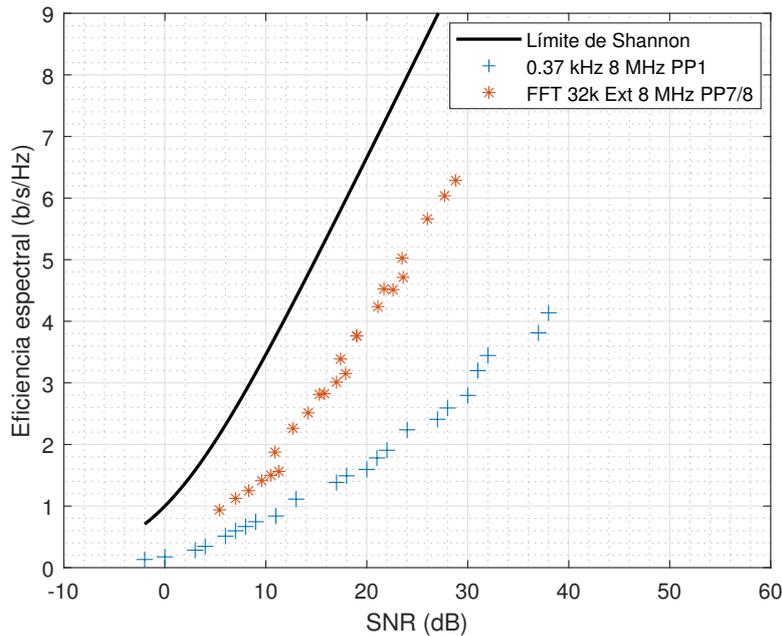
En recepción fija se han evaluado los canales *Rice*, para recepción en tejado con visión directa, y *Rayleigh* estático para recepción estática en un terminal móvil.

Como se observa en la figura 23 la eficiencia espectral de DVB-T2 es mayor, y su SNR necesaria menor que la de 5G-Broadcast. El canal *Rice* es el que proporciona la menor degradación de la señal.



**Figura 23:** Eficiencia espectral frente a SNR mínima en DVB-T2 y 5G Broadcast para un canal *Rice*.

Para recepción móvil estática se representa la SNR mínima para cada eficiencia espectral en la gráfica 24. Si lo comparamos con la gráfica anterior la SNR ha aumentado, más significativamente en 5G Broadcast que para DVB-T2, por lo que se demuestra que DVB-T2 es más robusto para este modelo de canal en concreto.



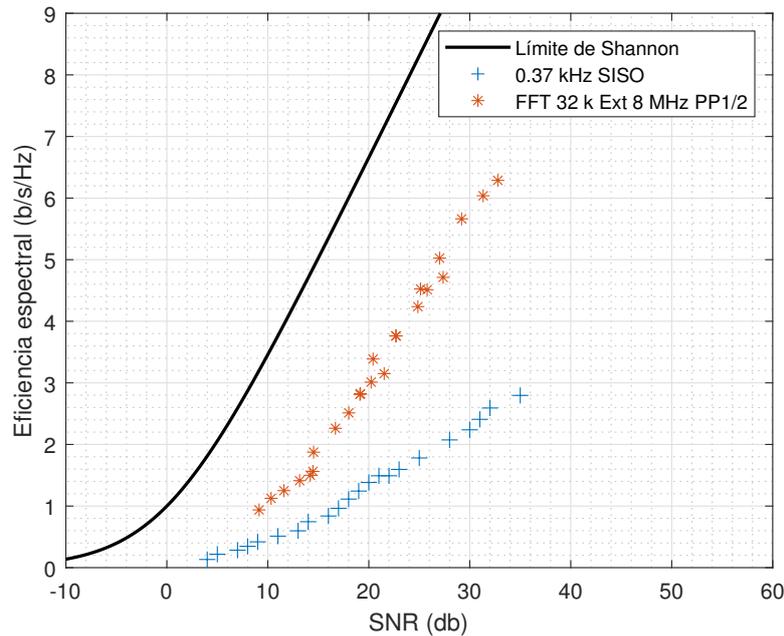
**Figura 24:** Eficiencia espectral frente a SNR mínima en DVB-T2 y 5G Broadcast para un canal *Rayleigh*.

### 4.2.3. Recepción móvil

Para la recepción móvil se ha usado un modelo de canal llamado TU6, el cual es usado para modelar recepción en un entorno rural, cuando hay movilidad. EL desplazamiento en frecuencia para las siguientes figuras es de 3.243 Hz, pero como se mencionó en apartados anteriores el nivel de SNR necesario del sistema conforme va aumentando el desplazamiento en frecuencia se mantiene constante hasta que se alcanza un valor máximo donde deja de poder decodificar la información. Es por ello que se elegido este valor de desplazamiento en frecuencia, ya que lo único que cambia si se aumenta es que los esquemas de modulación de mayor orde, los cuales proporcionan la mayor eficiencia espectral, dejarían de decodificarse y no aparecerían en las gráficas siguientes.

En la gráfica 25 se comparan ambos sistemas para un modelo de canal TU6. Como se observa la máxima eficiencia espectral alcanzable es de 3.8 b/s/Hz lo que indica que los MCS más altos, el 34, ya no es decodificable en tal escenario de recepción. También se ha visto degradada la SNR necesaria para DVB-T2 entorno a los 4 dB respecto al modelo de canal Rayleigh.

**Entrelazado en frecuencia SISO** A raíz de los datos obtenidos a lo largo del trabajo es posible ver cual es la mejora en la reducción de la SNR cuando se emplea entrelazado en frecuencia para SISO. El resultado se encuentra en la gráfica 26, donde se ve que la mejora respecto a no usar entrelazado frecuencial visto en la Fig. 25 es muy significativa, del orden de 4.5 dB para los esquemas de modulación más altos, además la eficiencia



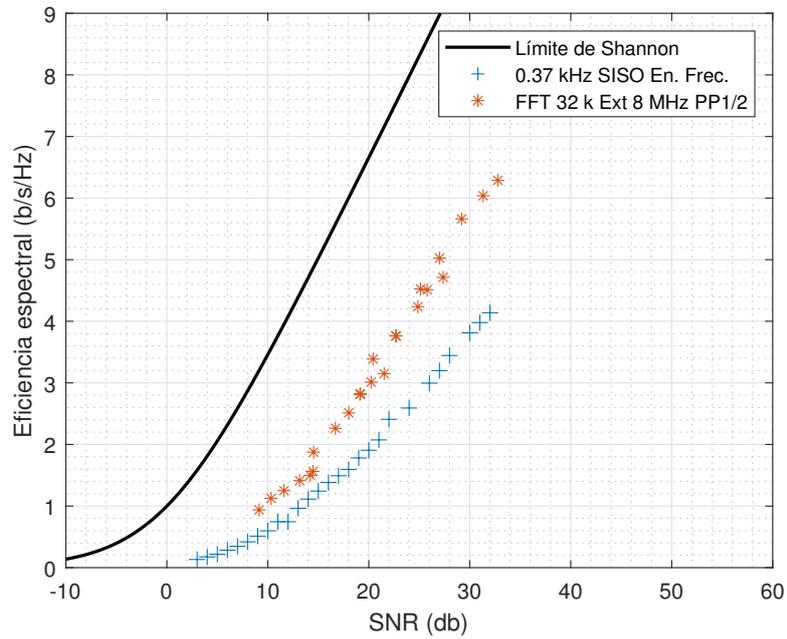
**Figura 25:** Eficiencia espectral frente a SNR mínima en DVB-T2 y 5G Broadcast para un canal *TU6*.

espectral máxima vuelve a ser 4.13 b/s/Hz, es decir, todos los MCS son decodificables.

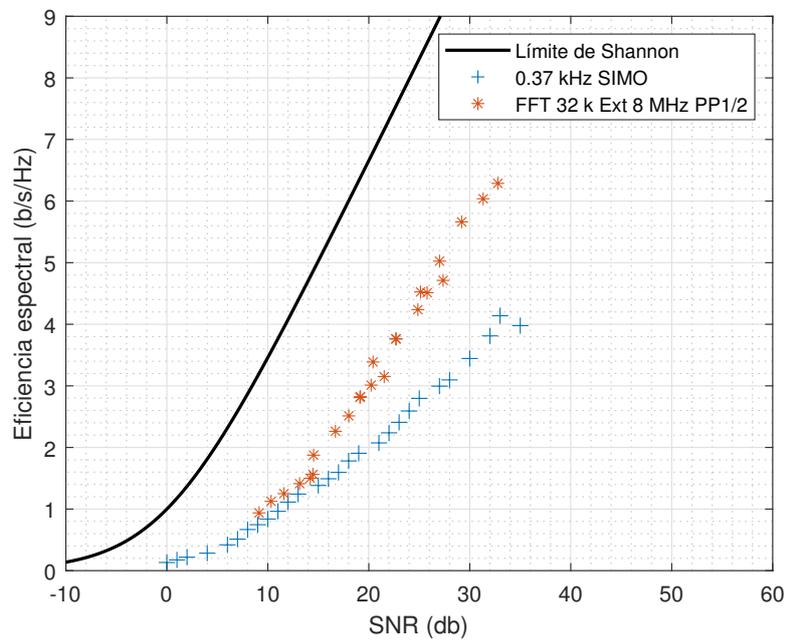
**Recepción SIMO** En la Fig. 27 se encuentra la comparativa entre DVB-T2 y 5G-Broadcast haciendo uso de dos antenas en recepción. Como se ve la mejora respecto a usar solamente SISO es del orden de 6 dB para los esquemas de modulación con una baja eficiencia espectral y de 2.5 dB para los más altos. Si lo comparamos al caso anterior, SISO con entrelazado en frecuencia, la mayor ganancia se tiene para los esquemas de modulación más bajos, sin embargo para los más altos, los cuales proporcionan la mayor eficiencia espectral SIMO no proporciona una mejora respecto a SISO con entrelazado, proporcionando incluso una SNR mínima mayor.

**Recepción SIMO con entrelazado en frecuencia** Por último en la Fig. 28 se muestra la SNR mínima para cada eficiencia espectral cuando se emplea recepción SIMO y entrelazado en frecuencia. Como se observa, para tal configuración, 5G Broadcast iguala a DVB-T2, mejorando en 15 dB para una eficiencia espectral de 3.8 b/s/Hz. Estos resultados demuestran el gran potencial que dispone 5G Broadcast y el grado de mejora que hay todavía por alcanzar.

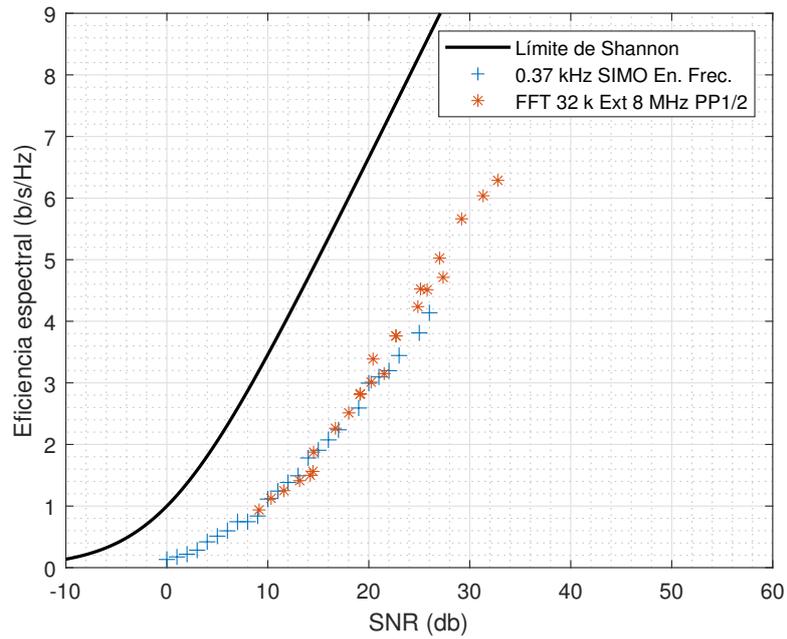
En la Fig. 29 se muestran las eficiencias espectrales frente a SNR para cada una de las diferentes características y combinaciones evaluadas, como se ha mencionado anteriormente la que ofrece la mayor reducción frente a SISO, es SIMO con uso de entrelazado en frecuencia, como se puede ver claramente en la gráfica. SIMO frente a SISO con entrelazado no supone una mejora, pero ofrece un rendimiento muy parecido, lo cual es de



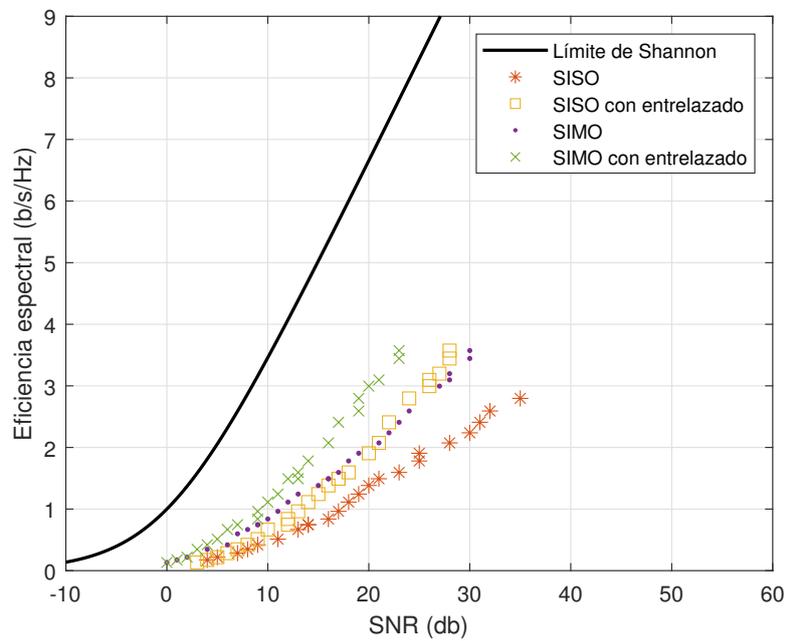
**Figura 26:** Eficiencia espectral frente a SNR mínima en DVB-T2 y 5G Broadcast en un canal *TU6* empleando entrelazado en frecuencia.



**Figura 27:** Desplazamiento en frecuencia frente a SNR mínima en DVB-T2 y 5G Broadcast en un canal *TU6* para una recepción SIMO.



**Figura 28:** Eficiencia espectral frente a SNR mínima en DVB-T2 y 5G Broadcast en un canal *TU6* empleando SIMO con entrelazado en frecuencia.



**Figura 29:** Comparativa entre las distintas configuraciones analizadas para una numerología de 0.37 kHz ancho de banda de 8 MHz y PP1.

importancia ya que la implementación de entrelazado en frecuencia requiere de más memoria en los chips de radiofrecuencia mientras que un esquema SIMO solo requiere de una antena adicional y su procesamiento correspondiente, cuya implementación es más sencilla y menos costosa, aun ofreciendo un rendimiento ligeramente menor.

Ef. espectral (b/s/Hz)	SISO	SISO con ent. en freq.	SIMO	SIMO con ent. en freq.	DVB-T2
1.4	20	16	15	12	13
2.6	32	24	24	19	18
3	N.D	26	27	20	20
3.8	N.D	30	32	25	23
4.13	N.D.	32	33	26	24

**Tabla 7:** Tabla resumen con los valores de SNR de un conjunto de eficiencias espectrales para cada configuración evaluada. Las unidades de los valores de la segunda a la última columna son dB

### 4.3. Planificación de cobertura

Con los resultados obtenidos y conociendo las características radioeléctricas de un receptor es posible determinar la zona de cobertura y los niveles de campo eléctrico mínimos necesarios para garantizar una determinada capacidad a la hora de planificar una red de radio difusión 5G como puede ser un piloto.

**Tabla 8:** Numerología 0.37 kHz recepción SIMO y entrelazado en frecuencia, para frecuencia de emisión de 700 MHz

MCS	Tasa de datos (Mbps)	SNR min (dB)	Vmax (km/h)
0	1.060	0	10
1	1.390	1	20
2	1.750	2	20
3	2.270	3	20
4	2.770	3	20
5	3.350	4	20
6	4.100	5	20
7	4.780	6	20
8	5.340	6	20
9	5.970	7	30
10	5.970	8	30
11	6.710	9	40
12	7.710	9	50
13	8.900	10	50

14	9.950	11	60
15	11.06	12	60
16	11.93	12	70
17	11.93	13	70
18	12.76	13	70
19	14.25	14	70
20	15.25	15	90
21	16.59	16	100
22	17.90	17	110
23	19.27	17	120
24	20.74	19	120
25	22.37	19	130
26	23.96	20	140
27	24.78	21	160
28	24.78	21	160
29	25.59	22	170
30	27.55	23	180
31	28.59	23	180
32	30.49	25	190
33	31.82	25	220
34	33.11	26	220

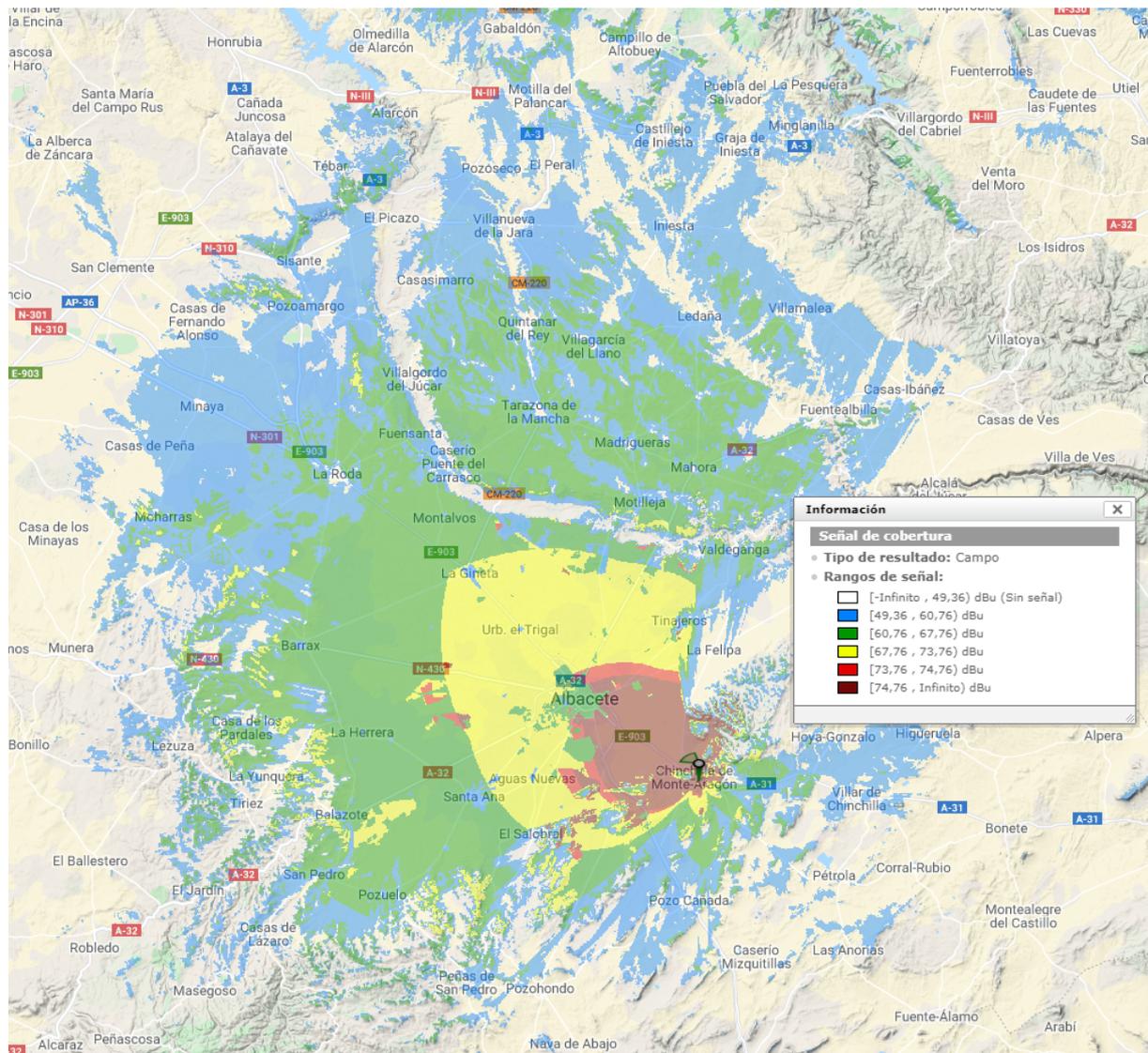
A partir de los valores de la tabla 8 se pueden calcular los valores de campo mínimo necesarios para una determinada tasa de transmisión, para ello se necesitan conocer una serie de características radioeléctricas del receptor, como la ganancia de la antena o apertura efectiva y la figura de ruido, que junto con el ancho de banda del sistema permite calcular la potencia de ruido, y a partir de ella junto con los valor de SNR de la tabla obtener el valor de campo eléctrico que debe haber para dicha capacidad.

Se va a calcular los valores de campo eléctrico para un receptor móvil con una figura de ruido de 6 y una apertura de antena efectiva de -15.6. El ancho de banda efectivo en 5G cuando se usa un ancho de banda de 8 MHz es de 7.2 MHz, mientras que en DVB-T2 32 k extendido es de 7.77 MHz.

Ef. espectral (b/s/Hz)	SNR (dB)	E <sub>min</sub> (dbuV/m)	Tasa de datos (Mbps)
0.6	6	49.36	4.8
1.4	12	60.76	11.2
2.6	19	67.76	20.8
3	20	68.76	24
3.8	25	73.76	30.4
4.13	26	74.76	33.04

**Tabla 9:** Valores de campo mínimo para 0.37 kHz y SIMO con entrelazado en frecuencia.

En la imagen 30 se muestran las zonas geográficas en las cuales el valor de campo eléctrico radiado se encuentra entre los rangos mostrados en la leyenda para una potencia de transmisión de 50 W, los cuales corresponden cada uno con un rango de tasa de transmisión de datos. El nivel de campo mínimo necesario se ha establecido para garantizar una cobertura del 99% dentro de las celdas en las que se divide el terreno para el cálculo del nivel de campo eléctrico, éstas tienen un tamaño de 100 x 100 m. Mediante la tabla 8 y la herramienta Xirio Tool puede planificarse y optimizarse el piloto 5G Broadcast en el cual se encuentra inmerso este trabajo.



**Figura 30:** Mapa de cobertura proporcionado por un transmisor emitiendo a una potencia de 50 W.

## 5. Conclusiones

En este documento se han estudiado los efectos de la inclusión de una serie de características adicionales con objeto de mejorar el rendimiento de 5G Broadcast para evaluarlo y compararlo al proporcionado por el estándar DVB-T2, lo cual permite conocer cuales son las capacidades máximas que es capaz de proporcionar para mediante los resultados obtenidos se pueda realizar la optimización y planificación de un piloto de radiodifusión que emplee 5G Broadcast. Como se ha demostrado, mediante los diferentes esquemas de recepción y técnicas estudiadas es posible conseguir un rendimiento bastante parece al que proporciona el estándar DVB-T2 en recepción fija, para escenarios de recepción móvil se han obtenido unos valores que demuestran una alta robustez a las degradaciones que se encuentra en dicho escenario.

El esquema SIMO con entrelazado en frecuencia proporciona el mejor rendimiento mejorando la robustez y capacidad del sistema en gran medida para las configuraciones más vulnerables al efecto Doppler, igualando al de DVB-T2, un estándar diseñado para recepción fija con una alta eficiencia espectral. Además se ha estudiado el rendimiento y características de una técnica de implementación de entrelazado temporal mediante el uso corrección de errores en la capa de aplicación mejorando la recepción en movilidad. ALFEC es transparente a la implementación de las funciones de la capa física en los chips de radiodifusión y no depende por tanto del hardware ni de compatibilidades entre las distintas versiones del estándar.

Todo ello pone de manifiesto el margen de mejora del que dispone actualmente el estándar 5G Broadcast, el cual posee un potencial bastante importante para ofrecer un mayor número de servicios de radiodifusión cada vez más demandantes de contenido de alta calidad, el cual cada vez necesita de mayores tasas de transmisión, y de los diferentes escenarios de recepción como lo es la recepción en terminales móviles, uno de los principales objetivos del 5G Broadcast.

## 6. Agradecimientos

El presente trabajo final de máster se engloba dentro del trabajo de investigación realizado a lo largo de varios proyectos de I+D tanto nacionales e internacionales como son el proyecto europeo H2020 5G-TOURS, el cuál consiste en el desarrollo de pilotos para la demostración de las capacidades que proporciona la quinta generación de comunicaciones móviles en su última versión y el proyecto nacional para el desarrollo de un piloto 5G Broadcast, coordinado por CLMTelecom en colaboración con distintas empresas como son RTVE y BTESA.

## Referencias

- [1] 3GPP, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation (3GPP TS 36.211 version 16.3.0 Release 16),”
- [2] 3GPP, “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding (3GPP TS 36.212 version 16.4.0 Release 16)” *January, 2019.*
- [3] 3GPP “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures (3GPP TS 36.213 version 16.4.0 Release 16) ”
- [4] 3GPP “Technical Specification Group Services and System Aspects; Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) User Services; Stage 1 (Release 6) ” *January, 2004 Available: [https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/22\\_series/22.246/22246-600.zip/](https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/22_series/22.246/22246-600.zip/).*
- [5] 3GPP “Technical Specification Group Services and System Aspects; Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) User Services; Stage 1 (Release 6) ” *June, 2008 Available: [https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/22\\_series/22.146/22146-900.zip/](https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/22_series/22.146/22146-900.zip/).*
- [6] Dazhi He , Wanting Wang, Yin Xu , Xiuxuan Huang, “Overview of Physical Layer Enhancement for 5G Broadcast in Release 16.
- [7] T. Stockhammer, G. Teniou, G. Frederic “3GPP based tv service layer” in *Proc. International Broadcasting Convention (IBC), Amsterdam, The Netherlands September, 2017.*
- [8] T. Stockhammer, I. Bouazizi, F. Gabin, JM Guyot, C. Lo, T. Lohmar and C. Thienot “Enhanced TV Services over 3GPP MBMS ” in *Proc. International Broadcasting Convention (IBC), Amsterdam, The Netherlands September, 2017.*
- [9] D. Gomez Barquero, J.J. Gimenez and R. Beutler “3GPP Enhancements for Television Services: LTE-based 5G Terrestrial Broadcast ” in *Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering January, 2020.*
- [10] D. He et al. “Overview of Physical Layer Enhancement for 5G Broadcast in Release 16 ” in *IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 66, no. 2, pp. 471-480, June, 2020.*
- [11] E. Garro, M. Fuentes, J.J. Gimenez, J.L. Carcel, et al. “Deliverable D3.2: Air Interface ” in *5G-Xcast July, 2019 Disponible: [http://5g-xcast.eu/wp-content/uploads/2019/07/5G-Xcast\\_WP3\\_D3.2\\_v3.00\\_web.pdf](http://5g-xcast.eu/wp-content/uploads/2019/07/5G-Xcast_WP3_D3.2_v3.00_web.pdf).*
- [12] Ayan Sengupta , Alberto Rico Alvarino “Cellular Terrestrial Broadcast—Physical Layer Evolution From 3GPP Release 9 to Release 16 ”
- [13] Recomendación P.525 ITU-R, “Cálculo de la atenuación en el espacio libre ” *Disponible: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.525/es>.*

- 
- [14] Recomendación P.526 -15 ITU-R, “Propagación por Difracción” *Disponible: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.526-15-201910-I/es>.*
- [15] Kelvin Chelli “High Mobility in OFDM based Wireless Communication Systems”
- [16] ETSI “TS 102 831: Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)”
- [17] EBU “Tech 3348 Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2 ”
- [18] EBU “TR 063 5G Broadcast Network Planning and Evaluation ”
- [19] ITU-R “Frequency and Network planning aspects of DVB-T2 ” *Disponible: <https://www.itu.int/pub/R-REP-BT.2254/es>.*

## A. Artículos

A continuación se encuentra anexo el artículo elaborado durante el desarrollo del trabajo, y su justificante de aceptación.

# Radiodifusión de contenidos 5G Broadcast

Alvaro Ibanez\*, Aaron Montilla\*, Jaime Sanchez\*, David Gomez-Barquero\*

\*Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia, Universitat Politècnica de València, España.

Email:{alibla, aamonvi, jaisanro, dagobar}@iteam.upv.es

**Resumen**—The emergence of 5G networks will mark one of the greatest transformations in recent decades. The technical characteristics of 5G promise to make currently used technologies obsolete. 5G can be so disruptive, not only because of the launch of this technology itself, but also because of how it will be able to support other technologies that need this new connectivity and data rates offered by 5G. One of the issues in which 5G can be key is the Multicast/Broadcast capabilities, which can be very useful for the reception of the increasing multimedia content (UHD, 4K, 8K) and also the traditional content (TV and radio). 5G Broadcast consists of carrying out Point To Multipoint (PTM) transmissions delivering, in an efficient way, the same content to a large number of users. In that sense, this paper shows a technical overview of 5G technology, showing its evolution and also the main features. This papers present an innovative demo in which 5G Broadcast network will be used for the transmission and reception of traditional television and radio multimedia content, in real time, in the city of Toledo, Spain.

## I. INTRODUCCIÓN

El estándar de comunicaciones móviles de última generación (5G), engloba muchas más características y mejoras de las centradas solamente en el aumento de las tasas de datos y reducción de la latencia. Se trata de un sistema de comunicaciones capaz de conectar no sólo a personas sino a todo tipo de máquinas y dispositivos, cambiando industrias y mercados enteros, como el de la conducción automatizada, la industria 4.0, la red inteligente, la salud, industria audiovisual, etc.

El contenido y servicios multimedia ofrecidos por compañías y medios audiovisuales ha evolucionado desde un número limitado de canales de radiodifusión tradicionales (radio y televisión) a una oferta mucho más extensa gracias a las plataformas de distribución digital, como son los servicios *streaming* basados en IP, cada vez más populares entre el público. Actualmente, se consume este tipo de contenido multimedia en un amplio abanico de dispositivos, como televisores convencionales e inteligentes, teléfonos móviles, tabletas, coches, sistemas de entretenimiento portátil, etc. cuya recepción puede ser fija, como ocurre en el hogar, o en movilidad, en un coche, tren, andando por la calle, etc.

En ese sentido, las tecnologías y estándares de transmisión terrestre convencionales, como *Digital Video Broadcasting* (DVB-T/DVB-T2), ATSC 3.0, etc. pueden ofrecer contenidos multimedia tradicionales a dispositivos portátiles y móviles. Sin embargo, estos estándares no son compatibles con estos dispositivos, ya que no incorporan el hardware necesario.

En el mercado existen millones de dispositivos, véase móviles o tablets, que pueden beneficiarse de la transmisión de contenido multimedia tradicional en una red ya compatible con los dispositivos actuales. El estándar 5G proporciona las herramientas para ello, particularmente para que los servicios de radiodifusión tradicionales se puedan transmitir a través

de la red 5G en lo que se denomina 5G Broadcast, 5G para difusión o radiodifusión. Este 5G Broadcast permite la distribución de contenido mediante una transmisión *multicast*, enviando la misma información a un gran número de usuarios a través del mismo canal físico, lo que posibilita que una gran cantidad de dispositivos actuales compatibles con el estándar 5G puedan a través de este nuevo modo de transmisión recibir y decodificar contenido multimedia.

La radiodifusión de televisión mediante redes 5G como complemento a la Televisión Digital Terrestre (TDT), cuyo estándar es el DVB-T en España, es uno de los novedosos modos de transmisión que estandarizó el 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Project*) en la segunda versión de 5G (*release 16*), mejorando las capacidades *multicast/broadcast* de LTE (*release 14*), conocidas como FeMBMS (*Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service*).

En los últimos años se han realizado trabajos acerca de la distribución de contenido multimedia utilizando redes 4G y 5G en entornos reales, empleando en la mayoría de casos equipamiento comercial de la compañía *Rohde & Schwarz*. La *Radiotelevisione Italiana* (RAI) llevó a cabo en el Valle de Aosta la difusión de contenidos multimedia empleando el modo FeMBMS [1]. La prueba se implementó usando repetidores de alta altura y potencia, HPHT (*high power high tower*), utilizando cinco transmisores operando en una red de frecuencia única, del inglés *single frequency networks* o SFN. También como parte del proyecto 5G TODAY [2], se realizó una prueba basada en el modo FeMBMS en una red SFN en la región bávara de Oberland. Los transmisores se encontraban separados 63 km uno de otro, con una potencia de emisión 100 kW y un ancho de banda de 5 MHz (MCS 9, QPSK, *data rate* 3192 kbit/s).

Otra de las pruebas en las que se empleó el modo FeMBMS fue en Beijing (China) en 2019 [3], en la que se realizó una emisión a través de tres estaciones base operando en SFN con una potencia de salida de 1 kW a una frecuencia central de 754 MHz y un ancho de banda de 5 MHz. También se han realizado pruebas empleando una red 5G Broadcast con el equipamiento de R&S en Barcelona [4] y en Rio de Janeiro.

El objetivo principal de este documento es describir el piloto de Red.es llevado a cabo en Castilla-La Mancha, concretamente en Toledo, donde se realizará la transmisión y recepción de un canal de televisión y radio de Radio Televisión Española (RTVE), a través de la red 5G.

El contenido del artículo se estructura de la siguiente forma, en la sección 2 se hace un resumen de la tecnología 5G Broadcast, donde se describe su evolución a lo largo de las versiones de la especificación así como sus principales características. En la sección 3 se presenta el piloto de Castilla-La Mancha de Red.es que empleará una red 5G Broadcast en la ciudad de Toledo, mostrando los objetivos principales, las innovaciones

y describiendo todos los elementos que van a formar parte del piloto. Por último, se muestran las conclusiones del artículo.

## II. TECNOLOGÍA 5G BROADCAST

### A. Broadcast en 3GPP

Desde la aparición de las redes móviles una de las características que han sido introducidas y mejoradas con el paso de las especificaciones ha sido la transmisión de contenido *multicast/broadcast*. En la *release* 6 del 3GPP [5] se definió por primera vez el modo *broadcast* o difusión, denominado MBMS (*multimedia broadcast and multicast services*). Este tipo de transmisión permitía un aumento en la eficiencia del uso de recursos radio mediante la transmisión de datos en modo *multicast/broadcast* utilizando conexiones punto a multipunto (PTM, *point to multipoint*). MBMS abarca cambios tanto en el terminal de usuario como en el núcleo de red y la interfaz radio.

Con la llegada de la cuarta generación de redes móviles (4G), el soporte de transmisiones PTM fue añadido como un requisito. Por esta razón, en la *release* 9 [6] se añadieron nuevas características a MBMS, pasando a denominarse eMBMS (*evolved MBMS*), también conocido como LTE Broadcast. eMBMS ha continuado desarrollándose en las posteriores versiones del estándar, sin embargo, hasta la *release* 14 estaba limitado por algunas características que lo hacían poco atractivo para los proveedores de contenido de radiodifusión. Entre estas limitaciones se destacan: (i) Límite del 60% de los recursos radio para *broadcast/multicast*, dejando el resto, el 40%, para datos de control y transmisiones de usuario dedicadas (*unicast*). (ii) Cobertura similar a 3G/4G, con un alcance muy limitado, lo que contrasta con las grandes zonas cubiertas por un único transmisor en las redes de radiodifusión.

Otro de los inconvenientes que presentaba las transmisiones PTM fue la dificultad a la hora de realizar la estimación del canal por usuario, pudiendo producirse pérdidas de paquetes o decodificaciones erróneas en recepción. Para solucionar este problema, en eMBMS (*release* 9) se añadió un mecanismo de corrección de errores en la capa de aplicación llamado AL-FEC (*application layer forward error correction*), el cual permitía la recuperación de los paquetes perdidos en la transmisión sin necesidad de interacción entre cliente y servidor. Los códigos utilizados en eMBMS para AL-FEC son los Raptor, que serán presentados más adelante.

Con la llegada de las especificaciones de la *release* 14, se mejoró significativamente el modo eMBMS pasando a denominarse *Further eMBMS (FeMBMS)*, introduciendo mejoras en la capa física, suponiendo así un gran avance en las especificaciones de radiodifusión en redes móviles.

### B. Raptor Q: Códigos de corrección de errores (AL-FEC)

Los códigos de corrección de errores empleados en la capa de aplicación en el estándar del 3GPP son los códigos RaptorQ [7] desarrollados por Amin Shokrollahi en 2001 [8]. Estos códigos pertenecen a la clase de códigos fuente (en inglés *fountain codes*) los cuales son capaces de decodificar la información a partir de cualquier subconjunto de símbolos recibidos, siempre y cuando la cantidad de éstos sea mayor que la de símbolos fuente enviados.

RaptorQ ofrece prestaciones cercanas a las ideales, donde destaca el mínimo tiempo de procesado que introduce, la gran flexibilidad que ofrece en la generación de los datos de corrección y la eficiencia en la reparación de los datos originales. Proporciona una correcta recuperación de la información a partir de una secuencia de datos (originales y de reparación) ligeramente mayor a la enviada, lo que permite llevar a cabo la corrección de errores con un mínimo aumento en la latencia y mínima disminución en la capacidad.

### C. FeMBMS Release 14

FeMBMS introdujo un modo de transmisión que puede utilizarse para transmitir contenido multimedia tradicional [9] para radiodifusión, [10]. Las principales novedades que se adoptaron en la *release* 14, a nivel de arquitectura son: (i) El 100% de los recursos radios son dedicados a transmisión *broadcast*, ya no hay recursos reservados a transmisiones de usuario dedicadas (ii) Un modo de recepción única o ROM (*receive only mode*) que permite la difusión de contenido en abierto, pudiendo ser recibido por cualquier tipo de dispositivo sin necesidad de estar registrado en la red, por lo que ya no es necesaria una tarjeta SIM. (iii) Un modo de transmisión transparente, que permite la difusión de contenidos que hacen uso de protocolos no soportados por el 3GPP, por ejemplo, MPEG-2 TS sobre IP. (iv) Una nueva interfaz xMB para simplificar el envío de contenido a la plataforma FeMBMS por parte de los proveedores de contenidos. (v) Una nueva interfaz de programación de aplicaciones abierta (MBMS-API) para simplificar el acceso a los procedimientos de FeMBMS en los receptores.

Las mejoras en la red de acceso radio RAN (*radio access network*), introducidas en FeMBMS son: (i) Nuevo tipo de subtrama, llamada CAS (*cell acquisition signalling*), con información de sincronización, señalización y control. (ii) Soporte para mayores distancias entre emplazamientos en una red SFN, mediante nuevas numerologías OFDM. En concreto, se añadió una con prefijo cíclico de 200  $\mu$ s para cubrir una distancia ISD (*inter-site distance*) de 15 km, y un espaciado entre subportadoras de 1.25 kHz. (iii) Se añadió la opción para compartir la misma red de acceso radio entre los distintos operadores de telecomunicaciones, evitando la transmisión del mismo contenido a través de varias redes distintas simultáneamente.

Pese a todas las mejoras introducidas, FeMBMS todavía no satisfacía las necesidades de los radiodifusores. Por otro lado, en las primeras especificaciones de 5G, en la *release* 15, no se incluyó ninguna característica nueva referente a *broadcast/multicast*. No fue hasta la *release* 16 cuando se incorporaron nuevas mejoras para FeMBMS en la capa física, con el objetivo de aumentar la cobertura y permitir una recepción óptima en recepción móvil a gran velocidad incluso bajo presencia de un mayor nivel de interferencias y ruido.

### D. 5G Broadcast LTE-Based release 16

Las mejoras planteadas en *release* 16, como se ha comentado con anterioridad, se centran en la capa física, concretamente se añaden dos nuevas numerologías OFDM y se mejora la robustez de la señalización en el CAS, para mejorar la recepción y decodificación en escenarios con peor señal a ruido. [11].

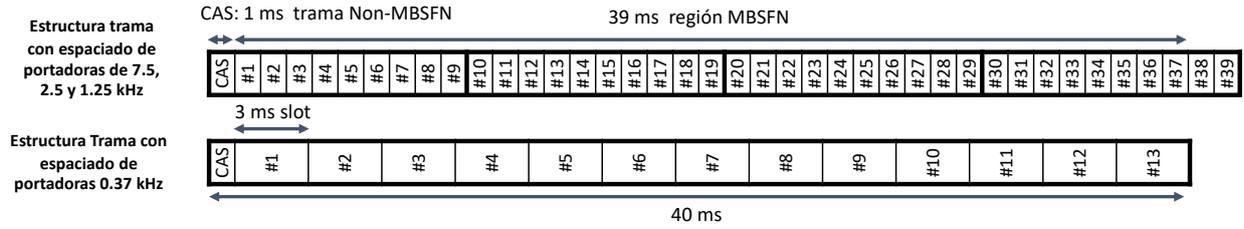


Fig. 1. Estructura de trama para las numerologías OFDM FeMBMS y 5G Broadcast [11]

TABLA I  
NUEVAS NUMEROLOGÍAS FEMBMS-RELEASE 16

Release	SCS (kHz)	OFDM Símbolos por subtrama	Subportadoras por resource block	$T_{CP}$ ( $\mu s$ )	$T_u$ ( $\mu s$ )	ISD (km)
14	1.25	1	144	200	800	60
16	2.5	2	72	100	400	30
16	0.37	1	486	300	2700	100

1. *Nuevas numerologías OFDM*: Las dos numerologías OFDM introducidas en *release 16* tienen como objetivos principal aumentar la zona de cobertura, pudiendo alcanzar distancias entre transmisores mayores y mejorar la recepción en condiciones de movilidad.

(i) La primera numerología añadida tiene un espaciado entre subportadora de 0.37 kHz y una duración de prefijo cíclico (CP, *cycle prefix*) de 300  $\mu s$  con un tiempo de símbolo OFDM de 2700  $\mu s$ . Esta numerología rompe con la estructura de trama tradicional de LTE, como se muestra en la Figura 1, siendo el tiempo de subtrama tres veces superior al que se usaba en LTE. El aumento del tiempo del prefijo cíclico está pensado para aumentar las distancias entre transmisores en recepción fija hasta los 100 km. (ii) La numerología con un espaciado de 2.5 kHz y un prefijo cíclico de 100  $\mu s$  con un tiempo de símbolo OFDM de 400  $\mu s$ , permite una recepción a altas velocidades. En la Tabla I se representan las características principales de estas dos numerologías y la comparativa con la introducida en FeMBMS.

2. *Mejora del CAS*: Por otro lado, los cambios en el CAS se centran en mejorar la recepción y decodificación de esta subtrama en escenarios con peor relación señal a ruido, escenarios con interferencias, en movilidad con altas velocidades, etc. ya que podía darse la situación en la que los datos podían decodificarse, pero el CAS que emplea una numerología con un espaciado entre de subportadoras de 15 kHz, no era recibido correctamente haciendo imposible la decodificación de la información.

Estas mejoras se llevaron a cabo mediante los siguientes cambios. (i) Repetición del canal PBCH (*physical broadcast channel*): El canal físico de difusión transporta la información de bloque principal, fundamental para poder decodificar los datos. Contiene por ejemplo el ancho de banda del sistema. En la *release 16* se añadió la repetición del PBCH, mejorando así la recepción y sincronización por parte del terminal de usuario. (ii) Nuevo nivel de agrupación, AL (*aggregation level*): El AL indica cuántos elementos de control se utilizan

para transmitir el canal de control PDCCH (*physical downlink control channel*). Se añadió el nivel 16, siendo hasta entonces el nivel 8 el valor máximo en FeMBMS. Se consigue así una mejora en la recepción en condiciones de baja relación señal a ruido, como se demuestra en [12].

3. *Futuras mejoras*: Tras la *release 16*, los esfuerzos del 3GPP en cuanto a la transmisión *multicast/broadcast*, se centran en una solución nativa 5G NR, más eficiente y flexible, basada en la propuesta del proyecto 5G-Xcast [13]. El 3GPP se encuentra trabajando en la *release 17* en lo que se denomina modo mixto (*mixed mode*), o 5G NR MBS (*multicast broadcast service*) para permitir a las redes 5G hacer transmisiones *multicast/broadcast* tanto a nivel radio como a nivel de núcleo de red de manera dinámica y bajo demanda. Sin embargo, el modo de radiodifusión terrestre de NR no llegará hasta la *release 18*. Por otro lado, en la *release 17*, la unión de radiodifusores europeos, EBU (European Broadcasters Union) propuso añadir a 5G Broadcast LTE-Based los anchos de banda de TDT, algo que ha sido aprobado y cuyo estudio y posterior estandarización empezará en los próximos meses [14].

### III. PILOTO 5G BROADCAST RED.ES DE CASTILLA-LA MANCHA

En esta sección se presenta y detalla el piloto de Castilla-La Mancha de Red.Es. El objetivo principal es realizar una emisión de contenido de TV a través de una red 5G Broadcast en la ciudad de Toledo (véase Fig. 2) mediante un repetidor HPHT (*high power high tower*) y usando equipos de radio definida por software, SDR (*software defined radio*), tanto en transmisión como en recepción.

El piloto se realizará en su totalidad en la ciudad de Toledo, donde se grabará contenido de televisión y radio en tiempo real para ser procesado y emitido desde el centro emisor de TDT (Televisión Digital Terrestre) en el Cerro de Palos, donde actualmente se radia la señal de TV en el término municipal de Toledo. Se trata por tanto de una prueba totalmente innovadora, ya que hasta la fecha no se han realizado transmisiones de radiodifusión de contenidos de TV y radio con equipos compatibles con las especificaciones de *release 16* del 3GPP.

A continuación detallar de forma más exhaustiva el Piloto de Red.es, para ello, se presenta el consorcio de empresas e instituciones que están involucradas, así como todos los componentes y los estudios realizados.

#### A. Demostración 5G Broadcast

El desarrollo del piloto utilizará la grabación de un evento en directo realizado en el edificio de las Cortes de Castilla-

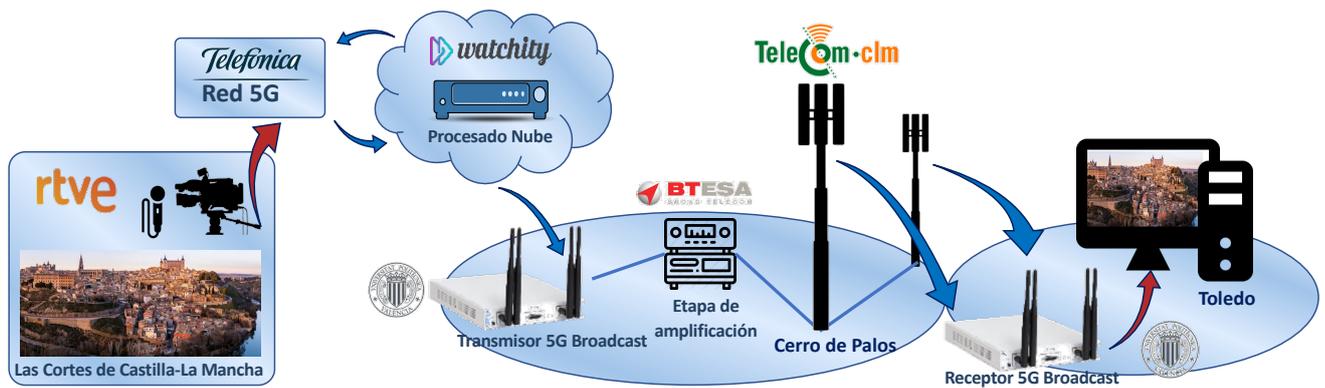


Fig. 2. Arquitectura del piloto TelecomCLM de Red.es

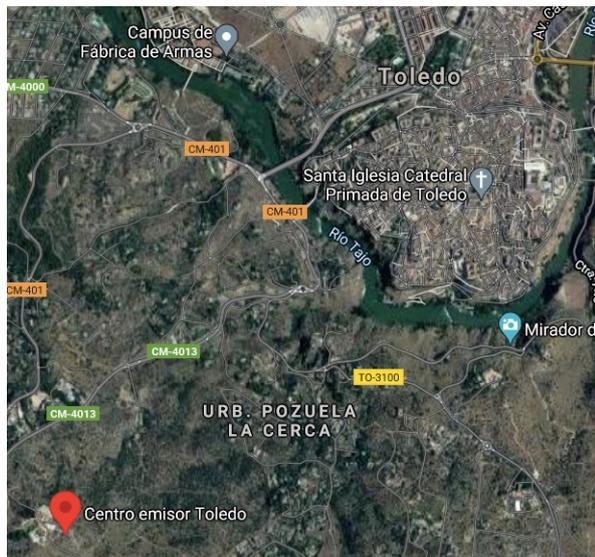


Fig. 3. Localización de centro de transmisión de Cerro Palos

La Mancha. El contenido será procesado en tiempo real y enviado al centro de emisión de TDT en Cerro de Palos (véase Figura 3). Al no haber en la actualidad equipos comerciales compatibles con las especificaciones 5G Broadcast, se hará uso de dispositivos SDR (*software defined radio*), necesarios para poder implementar de forma rápida y eficaz las novedades introducidas en la últimas versiones del estándar. Estos equipos SDR servirán para poder transmitir el contenido de TV y también servirán para la recepción.

Estas soluciones SDR ofrecen una comunicación extremo a extremo transparente para el proveedor de contenidos, sin embargo al estar diseñados para uso en laboratorio presentan una serie de inconvenientes en cuanto al uso en pruebas de campo ya que trabajan con potencias bajas y no cuentan con algoritmos optimizados para entornos de recepción desfavorables, entre otros.

Por todo ello, será necesario optimizar la cadena de transmisión y recepción. En ese sentido, se ha realizado un estudio de la cobertura desde el centro emisor de Cerro de Palos, para hacer una planificación óptima de las potencias de transmisión en la banda de frecuencia de emisión, entorno a los 700 MHz. Otro de los aspectos a tener en cuenta para la

realización de la demostración es la integración de los equipos SDR con el emisor HPHT. Siendo necesario un sistema de preamplificación en la etapa de radio frecuencia (RF).

Por otro lado y de forma innovadora, se hará uso de códigos de corrección de errores en la capa de aplicación, implementados mediante códigos RaptorQ [8], en su versión más moderna, los cuales permitirán una mejora en la recepción de contenidos multimedia.

### B. Consorcio Piloto TelecomCLM

El consorcio estará formado por diferentes empresas e instituciones de carácter privado y público. Se divide en dos grupos, el primero lo constituyen las compañías que se dedicarán a la producción y procesado del contenido de TV y radio, y el segundo por los encargados de transmitir y recibir ese contenido.

El primer grupo lo componen: (i) Radio Televisión Española (RTVE): encargada de proporcionar el contenido que va a transmitirse. (ii) Telefónica: encargada de poner a disposición la red 5G que llevará el contenido a la nube para su posterior procesado. (iii) Watchity: encargado de suministrar el servidor en la nube que permite en tiempo real la realización y producción de la señal desde un navegador web.

El segundo grupo lo componen: (i) TelecomCLM: encargado de proporcionar el transmisor HPHT para la radiodifusión del contenido además de coordinar del consorcio. (ii) BTESA: encargada de realizar el estudio de cobertura y dimensionar la etapa de preamplificación previa al repetidor HPHT, así como de proveer los equipos profesionales (amplificadores y reemisores RF). (iii) El Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (ITEAM) de la Universidad Politécnica de València (UPV) que aportará su experiencia previa en demostraciones y ensayos en implementaciones del estándar del 3GPP mediante soluciones SDR, desarrollando los equipos compatibles con las especificaciones de la *release 16* para el transmisor y receptor.

### C. Estudio de cobertura

Previo al desarrollo del Piloto, se requiere un estudio de cobertura del transmisor de televisión digital terrestre instalado en Cerro de Palos (Toledo), el cual cuenta con un emisor adicional o *gap filler* en Salto del Caballo (Toledo) para extender la cobertura.

TABLA II  
PARÁMETROS PARA ESTUDIO COBERTURA

Parámetro	Valor
$P_N$ Potencia ruido receptor	-131 dBW
Factor Ruido receptor	6 dB
Ancho Banda	5 MHz
$P_S$ Potencia mínima receptor	-111 dBW
C/N	20.4 dB
Frecuencia	700 MHz
Intensidad mínima campo	50.5 dB $\mu$ V/m
Potencias emisión	200-500W
Altura antena transmisora	50m
Ganancia antena transmisora	11.3 dBi

Para el estudio, se ha utilizado un software específico para el análisis de coberturas, con mapas cartográficos de alta resolución (5 m/pixel), con información cartográfica de edificios (clutter). El estudio de cobertura se basa en las recomendaciones de la ITU-R P.525/526-15 [15], [16], utilizando una geometría de difracción basada en el método *Delta-Bullington*. El objetivo del estudio es obtener la potencia necesaria de emisión para conseguir un valor mínimo de campo de 50 dbuV/m en el área de recepción de la señal de televisión (alternando entre el Canal 24h y la señal en Las Cortes) y la señal de Radio 5. Debido a que los anchos de banda de LTE difieren de los de TDT, se ha elegido el ancho de banda de 5 MHz para la transmisión del contenido. La modulación utilizada para alcanzar un tasa de transmisión en torno a los 5 Mbps es la 16 QAM. Con dicha modulación la C/N (*carrier to noise ratio*) mínima requerida en el receptor ronda los 20 dB.

Según la EBU TECH 3348 (*Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2*) [17], los valores de campo mínimo en condiciones de visión directa entre antena transmisora y receptora se sitúan en torno a los 50 dB $\mu$ V/m. En la Figura 4 se muestran los resultados del estudio de cobertura, donde se puede observar un campo mínimo de 50 dB $\mu$ V/m en casi toda la ciudad y valores por encima de 65 dB $\mu$ V/m en muchos emplazamientos y una buena parte entre 71 y 78 dB $\mu$ V/m. En base a estos resultados se va a emplear una potencia máxima de 500 W.

#### D. Plataformas y equipos SDR

1. *Plataformas SDR*: En la actualidad existen varias plataformas y equipos SDR compatibles con las especificaciones FeMBMS del 3GPP. Dentro de toda la oferta de código libre u *open source* disponibles en el mercado, se encuentra la plataforma OpenAirinterface (OAI) [18] y la de ORS (Austrian-Broadcasting-Services), OBECA (Open Broadcast Edge Cache Appliance) [19]. La versión FeMBMS de OAI ya fue usada en un escenario real [2], sin embargo, la versión actual no implementa las novedades de *release 16*, por lo que será necesario añadirlas. Por otro lado, la versión del software OBECA ofrece una solución FeMBMS completa y en un futuro cercano dispondrán de una versión compatible con las especificaciones de *release 16*. Se contempla el uso de ambas plataformas para el desarrollo del Piloto.

2. *Equipos SDR*: Las plataformas SDR requieren de unos dispositivos físicos para convertir la implementación software (señal digital) a señal de RF. En el mercado existe una

inmensa variedad de dispositivos que realizan esta conversión, entre ellos se encuentran los USRPs (*universal software radio peripheral*), del fabricante Ettus Research. Un USRP es un dispositivo de radio frecuencia reconfigurable que incluye una combinación de procesadores basados en FPGA y terminales RF. Dentro de la gama de USRPs que ofrece Ettus el más interesante es el USRP B210 [20], (véase Figura 5), ya que es el más estable para trabajar con las plataformas *open source* nombradas anteriormente y el que ofrece una mayor relación calidad precio.

#### E. Etapa de preamplificación y potencia

Uno de los inconvenientes que presentan los dispositivos SDR (como los USRPs) es su reducida potencia de emisión (sobre los 10 mW), relativamente baja para entornos reales. Por ello, si se va a transmitir el contenido a través de un emisor HPHT, es necesario altas potencias de emisión, como se ha visto anteriormente. Por lo tanto se hace necesaria una etapa de preamplificación y una etapa de potencia. La etapa de amplificación constará de un excitador (*driver*) que sea capaz de trabajar en el rango de frecuencias entorno a los 700 MHz, y también se necesitará el propio sistema de amplificación.

La etapa de amplificación además de recibir la señal del modulador FeMBMS, se encarga de proteger el transmisor en todo momento tanto por sobreexcitación como por VSWR (*voltage standing wave ratio*) excesivo, mediante circuitos de corte rápido. Igualmente, se deberá manejar el sistema de CAG/CAP (control automático de potencia) para conseguir una potencia de transmisión estable. Se requerirá un módulo de precorrección digital adaptativo que asegure una buena linealidad, traducida en un buen MER (*modulation error rate*). Finalmente, un amplificador con capacidad máxima de 1 Wrms (para señales OFDM) con una configuración redundante y balanceada que asegure la potencia de excitación necesaria.

La etapa de potencia constará de dos módulos de 3RU sumados mediante combinación híbrida dando una potencia máxima de 600 W. Cada módulo lleva incorporado dos etapas de potencia dobles en configuración balanceada, basados en transistores de estado sólido tipo LDMOS y en clase AB.

#### F. Raptor Q

Debido a que los mecanismos de procesamiento de señal en recepción y transmisión de las plataformas SDR no están completamente optimizados, se necesita una protección extra mediante mecanismos de corrección de errores en la capa de aplicación. Por esta razón en el piloto se ha incluido una implementación de AL-FEC (*application layer forward error correction*) basada en los códigos RaptorQ, en su versión más moderna y mejorada cuyas características superan en gran medida a los Raptor convencionales.

Estos mecanismos de protección y corrección de errores, que ya se implementan en la capa física de LTE, serán aplicados previamente a la transmisión del contenido por el transmisor SDR (capa de aplicación). Esto supone un nivel de protección extra al que ya se aplica en la capa física, aumentando el entrelazado temporal. Sin embargo, se debe tener en cuenta que su aplicación va ligada a una disminución de la capacidad del sistema y un aumento de la latencia, dos parámetros de calidad claves en las transmisiones *broadcast*.

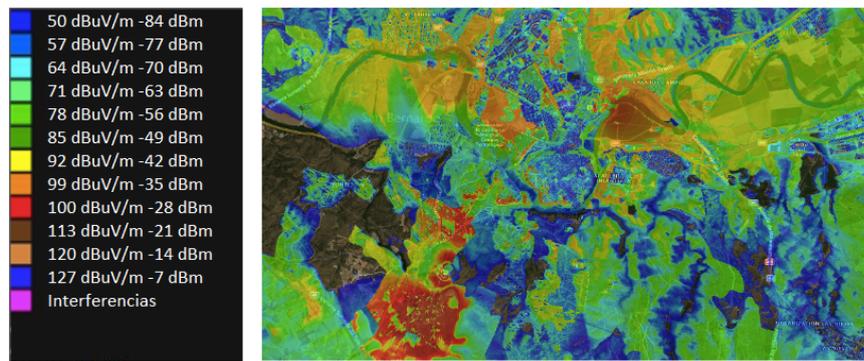


Fig. 4. Intensidad de campo en la ciudad de Toledo ( $\text{dB}\mu\text{V/m}$ )



Fig. 5. USRP B210

Estas características son ajustables usando dos parámetros de configuración: el periodo de protección y la tasa de codificación.

La tecnología RaptorQ genera paquetes adicionales o de reparación a partir de los datos originales y transmite una secuencia formada por ambos tipos. En recepción, la decodificación de los datos originales puede realizarse si el tamaño de la secuencia es ligeramente mayor a la original, independientemente de si los datos recibidos son originales o de reparación. Dentro de la arquitectura utilizada en el piloto, el codificador RaptorQ se incluirá en la etapa de distribución implementada por la UPV. De forma similar, el decodificador RaptorQ estará incluido dentro de la etapa de recepción también implementada por la UPV. La inclusión de los datos de reparación creados por RaptorQ añadirá un grado más de fiabilidad a la transmisión, además dado que RaptorQ presenta unas propiedades cercanas a las óptimas, el aumento de latencia introducido será mínimo y la capacidad se verá mínimamente reducida.

#### IV. CONCLUSIONES

En este artículo se analiza con detalle la tecnología 5G Broadcast, mostrando las mejoras que se han ido introduciendo desde su incorporación en las especificaciones del 3GPP y a continuación las características principales de la tecnología. En este artículo también se explica el piloto de Red.es de Castilla-La Mancha, donde se retransmitirá contenido de TV y radio en tiempo real mediante una red 5G Broadcast.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se está desarrollando en la segunda convocatoria de proyectos piloto 5G de Red.es, bajo la financiación del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Cuenta con el apoyo del proyecto europeo del horizonte 2020 (H2020) 5G-TOURS bajo la financiación N. 856950.

#### REFERENCIAS

- [1] Radiotelevisione Italiana, "Trials on 5G broadcast technology in Aosta Valley during European Championships 2018," Available: <http://www.crit.rai.it/CritPortal/progetti/?p=2342.com>.
- [2] 5G TODAY, "Towards 5G Broadcast: Large-scale TV broadcasting" January, 2019.
- [3] Rohde & Schwarz 5G Broadcast "5G Broadcast trials in China" Available: <https://www.tvtechnology.com/news/rohde-schwarz-taking-part-in-chinas-5g-broadcast-trial>.
- [4] Rohde & Schwarz 5G Broadcast "5G Broadcast trials in Barcelona" Available: <https://www.broadbandtvnews.com/2020/02/24/rohde-schwarz-cellnex-rtve-trial-5g-broadcast-in-barcelona/>.
- [5] 3GPP "Technical Specification Group Services and System Aspects; Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) User Services; Stage 1 (Release 6)" January, 2004 Available: [https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/22\\_series/22.246/22246-600.zip/](https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/22_series/22.246/22246-600.zip/).
- [6] 3GPP "Technical Specification Group Services and System Aspects; Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) User Services; Stage 1 (Release 6)" June, 2008 Available: [https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/22\\_series/22.146/22146-900.zip/](https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/22_series/22.146/22146-900.zip/).
- [7] A. Shokrollahi, "Raptor Codes", in *IEEE Information Theory Workshop on Information Theory for Wireless Networks*, 2007, pages. 1-1.
- [8] Qualcomm "RaptorQ Technical Overview" Disponible: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/raptorq-technical-overview.pdf>.
- [9] T. Stockhammer, G. Teniou, G. Frederic "3GPP based tv service layer" in *Proc. International Broadcasting Convention (IBC), Amsterdam, The Netherlands September, 2017*.
- [10] T. Stockhammer, I. Bouazizi, F. Gabin, JM Guyot, C. Lo, T. Lohmar and C. Thienot "Enhanced TV Services over 3GPP MBMS" in *Proc. International Broadcasting Convention (IBC), Amsterdam, The Netherlands September, 2017*.
- [11] D. Gomez Barquero, J.J. Gimenez and R. Beutler "3GPP Enhancements for Television Services: LTE-based 5G Terrestrial Broadcast" in *Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering January, 2020*.
- [12] D. He et al. "Overview of Physical Layer Enhancement for 5G Broadcast in Release 16" in *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 66, no. 2, pp. 471-480, June, 2020.
- [13] E. Garro, M. Fuentes, J.J. Gimenez, J.L. Carcel, et al. "Deliverable D3.2: Air Interface" in *5G-Xcast July, 2019* Disponible: [http://5g-xcast.eu/wp-content/uploads/2019/07/5G-Xcast\\_WP3\\_D3.2\\_v3.00\\_web.pdf](http://5g-xcast.eu/wp-content/uploads/2019/07/5G-Xcast_WP3_D3.2_v3.00_web.pdf).
- [14] 3GPP "WI - 911020 - New bands and bandwidth allocation for 5G terrestrial broadcast" Disponible: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/WorkItem/WorkItemDetails.aspx?workItemId=911020>.
- [15] Recomendación P.525 ITU-R, "Cálculo de la atenuación en el espacio libre" Disponible: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.525/es>.
- [16] Recomendación P.526 -15 ITU-R, "Propagación por Difracción" Disponible: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.526-15-201910-1/es>.
- [17] ITU-R "Frequency and Network planning aspects of DVB-T2" Disponible: <https://www.itu.int/pub/R-REP-BT.2254/es>.
- [18] OpenAirinterface Alliance "Home Page" Disponible: <https://www.openairinterface.org/>.
- [19] ORS "OBCEA SDR Receiver" Disponible: <https://www.broadbandtvnews.com/2021/02/19/ors-broadcast-develops-5g-receiver/>.
- [20] National Instruments "USRP (Universal Software Radio Peripheral) Modelo B210" Disponible: <https://www.ettus.com/all-products/ub210-kit/>.

## Contribuciones

Desde aquí puede enviar sus contribuciones y configurar las que ya tiene.

**Ya ha enviado una o más contribuciones, las cuales se muestran a continuación:**

121

Grupo de trabajo/Tipo de contribución: **Contribución URSI 2021**

**Radiodifusión de contenidos 5G Broadcast** ©

Ibanez, Alvaro; Montilla Vicent, Aaron; Sánchez Roldán, Jaime; Gomez-Barquero, David  
Organización: Universidad Politécnica de Valencia, España

Primer archivo  [Radio Television 5G.pdf](#) (28/05/2021 10:22:17 CEST)

**Descargar las versiones finales:**

Primer archivo  [Radio Television 5G.pdf](#) (22/07/2021 10:08:31 CEST)

► [Mostrar resumen](#)

► [Datos de la contribución](#)

### **Ju.1-2: Sistemas de comunicaciones por radio**

*Hora:* Jueves, 23/09/2021: 15:00 - 16:40

*Lugar:* Sala Virtual 2

*Presidente de la sesión:* **Leandro Juan Liácer**, Universidad Politécnica de Cartagena,

España; [leandro.juan@upct.es](mailto:leandro.juan@upct.es)

*Presidente de la sesión:* **Joaquín Manuel Sánchez Martín**, Universidad de Málaga,

España; [jmsanchez@ic.uma.es](mailto:jmsanchez@ic.uma.es)



## SOLICITUD DE PRESENTACIÓN DE TFM

Alumno: D/D<sup>a</sup> Jaime Sánchez Roldán

Tutor/es: D/D<sup>a</sup> David Gómez Barquero

Título del TFM: Planificación y optimización de un piloto 5G Broadcast

Orientación<sup>1</sup>: Profesional   
Científico

Especialidad/ Línea temática<sup>1</sup>: INGENIERÍA DEL SOFTWARE   
TECNOLOGÍA SOFTWARE MULTIPARADIGMA   
SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Habiendo realizado mi trabajo fin de máster, por la presente solicito presentarme a la convocatoria ante tribunal para la exposición y defensa del mismo.

Valencia, 12 de septiembre de 2021

**SANCHEZ  
ROLDAN,  
JAIME (FIRMA)**

Firmado  
digitalmente por  
SANCHEZ ROLDAN,  
JAIME (FIRMA)  
Fecha: 2021.09.12  
23:35:12 +02'00'

Firma del alumno: Jaime Sánchez Roldán

---

<sup>1</sup> Tanto la orientación del TFM como su especialidad/línea temática deben coincidir con el tema de TFM aprobado previamente. En caso de contrario, se debe solicitar su modificación.