

Análisis de prestaciones de eMBMS en LTE: redes de frecuencia única

Alejandro de la Fuente Iglesias, Raquel Pérez Leal, Ana García Armada

afuente@tsc.uc3m.es, rpleal@tsc.uc3m.es, agarcia@tsc.uc3m.es

Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones Universidad Carlos III de Madrid, 28911

Abstract- Mobile video is one of the most popular uses for mobile broadband networks. Based upon evolved Multimedia Broadcast Multicast Service (eMBMS) available with 3GPP release 9, LTE can provide broadcast/multicast content delivery with a single-frequency network mode that send the same multimedia content to mass audience within a specific area. In this paper, we carry out a Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR) performance analysis for this type of networks, using *OPNET Modeler* tool. Several scenarios have been considered, with different number of users receiving multicast video data from the same source and different number of eNodeBs. This study includes the comparison of SINR in scenarios with 1, 3 and 7 different frequencies using *multicast* without MBMS or with MBMS SFN. The results show a comparison in the cell throughput between the different scenarios, as well as the performance obtained using different sizes of MBMS SFN areas.

Keywords – LTE/LTE-A, MBSFN, eMBMS, multicast/broadcast, mobile video

I. INTRODUCCIÓN

MBMS es un servicio punto-multipunto propuesto en 3GPP [1], que permite transmisiones de datos desde una misma fuente a múltiples destinatarios. Mejora la escalabilidad de las transmisiones *broadcast* y *multicast* en redes móviles, empleando un canal común para enviar los mismos datos a múltiples receptores, minimizando la utilización de los recursos de red.

Además, el rendimiento de los terminales de usuario (UEs) se puede ver afectado por interferencias destructivas en las zonas donde la cobertura se solapa y el rendimiento se degrada gradualmente al alejarse de la estación base que le transmite señal; con el objetivo de mejorar el rendimiento de MBMS se propuso MBSFN (MBMS sobre una red de frecuencia única) en [2]. En la tecnología SFN, todas las estaciones base pertenecientes al mismo área MBSFN transmiten la misma señal, al mismo tiempo y en la misma frecuencia a los UEs, por lo que todas las estaciones base deben estar sincronizadas con precisión. De esta forma las transmisiones recibidas desde múltiples estaciones base, se reciben en el UE como una única transmisión sujeta a propagación multi-trayecto, transformando la interferencia destructiva en constructiva, combinando las señales recibidas en el UE.

En la Fig. 1 se muestra la arquitectura que se precisa para la introducción de e-MBMS en LTE. Las unidades MCE (*Multi-cell/multicast Coordination Entity*) coordinan las transmisiones sincronizadas de la señal desde diferentes celdas (eNBs), siendo responsables de la

asignación y configuración (selección de modulación y esquema de codificación, MCS [3]) de los recursos radio utilizados por todos los e-NBs en el área MBSFN en las transmisiones MBMS multi-celda. El e-MBMS GW se encuentra físicamente situado entre el e-BM-SC (*evolved Broadcast Multicast Service Center*) y los e-NBs, siendo su función principal el reenvío de los paquetes MBMS a cada e-NB que está transmitiendo el servicio, además realiza la señalización de control de la sesión MBMS a través del MME (*Mobility Management Entity*), por lo que se divide en un plano de control (CP) y otro de usuario (UP), con los interfaces M1 y M3 respectivamente. El e-BM-SC es la entidad encargada de introducir el contenido multimedia en la red LTE, sirviendo de punto de entrada para los proveedores de contenido o cualquier otra fuente *broadcast-multicast* externa a la red.

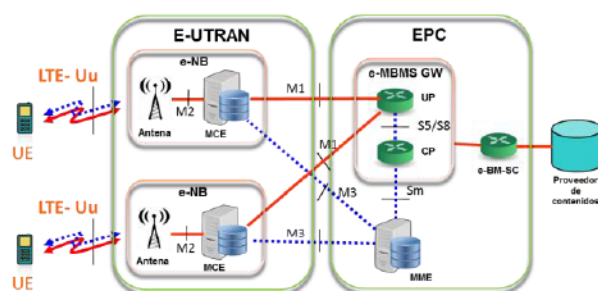


Fig. 1. Arquitectura e-MBMS

Existen varios trabajos que han analizado las prestaciones de MBSFN [4-6], comparándolas con las transmisiones punto-punto y punto-multipunto tradicionales (realizadas de manera individual en cada celda). Estos trabajos concluyen que MBSFN es el mecanismo más eficiente para el envío de datos *multicast*, lo que condujo a su estandarización por el 3GPP. En trabajos posteriores [7], se han analizado las prestaciones de MBSFN mediante el estudio de la eficiencia espectral, directamente relacionada con el esquema de modulación y codificación (MCS) elegido para la transmisión. Por otro lado, también existen estudios analíticos para la evaluación de las prestaciones de MBSFN [8], basándose en análisis de coste para determinar el número ideal de celdas que optimizan el rendimiento global en la transmisión MBSFN.

En este artículo, se realiza un análisis de prestaciones de la relación señal a interferencia más ruido (SINR) para redes LTE, mediante la herramienta de simulación *OPNET Modeler*. Se presenta un modelo sistematizado de

medidas para un conjunto de escenarios, con un número variable de eNBs y de usuarios que acceden a un servicio de vídeo *multicast*. Este estudio aporta un análisis de prestaciones de la tecnología eMBMS SFN; primero mediante la comparación de SINR en escenarios con reutilización de frecuencias, mediante envío *multicast* sin MBMS, y escenarios con MBMS SFN; seguido del análisis del rendimiento mediante la utilización de diferentes tamaños de área MBSFN. Este modelo sistematizado, constituye la base para la implementación de algoritmos de selección del esquema MBSFN más eficiente para la transmisión de datos multimedia.

El resto del artículo se estructura de la siguiente manera: en la Sección II se presenta el entorno de simulación, así como los diferentes escenarios desplegados. Los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas son presentados en la Sección III. La Sección IV expone las conclusiones más importantes y los siguientes pasos a realizar.

II. SIMULACIÓN: ENTORNO Y ESCENARIOS

El primer objetivo de las simulaciones realizadas es la comparación de la eficiencia espectral empleando diferentes distribuciones de frecuencia y con MBMS SFN, analizando la SINR y su efecto en la tasa recibida. Además se busca analizar el efecto de utilizar áreas SFN con un mayor número de celdas, con el objetivo de conseguir transmisiones con tasa de datos alta y constante.

Para ello se han definido un conjunto de escenarios con sus respectivas configuraciones, implementados en el entorno de simulación elegido. Tanto en entorno como los escenarios se detallan a continuación.

A. Entorno de simulación

El entorno de simulación utilizado para la realización del presente artículo se basa en el simulador *OPNET Modeler 17.1* [9], ya utilizado para redes LTE con MBMS [10], en su versión para Universidades. Se trata de un simulador híbrido que combina la ejecución de eventos discretos con un modelo analítico (modelos matemáticos), mediante máquinas de estado finitas para el modelado de los diferentes componentes. Se trata de un simulador dinámico y discreto, cuyas variables de simulación pueden seguir patrones deterministas o aleatorios. *OPNET Modeler* es uno de los simuladores de redes de telecomunicaciones más avanzados que dispone de multitud de librerías que permitan simular diversidad de redes, protocolos y variables específicas que se pretendan estudiar.

B. Escenarios

Se han definido seis escenarios en función de los siguientes parámetros: número de celdas, celdas por área MBSFN, usuarios por celda, número de antenas y movilidad de usuarios. Se han mantenido constantes el radio de la celda y la tasa de vídeo. En todos ellos se utiliza el modelo "pedestrian B" de ITU para el canal.

Mediante los escenarios 1 y 2 (Tabla 1), que presentan 7 celdas con usuarios que reciben el contenido *multicast* de una misma fuente (Fig. 2), se realiza la comparación de la eficiencia espectral con diferentes distribuciones de reutilización de frecuencias y MBMS con SFN (Tabla 2).

Además, en todos los escenarios, se comprueban los efectos de diferentes esquemas de modulación y codificación, que permiten conseguir mayores tasas de datos, con valores prácticamente constantes. La utilización de áreas de MBSFN fuerza a emplear el mismo esquema MCS en todos los eNB pertenecientes al mismo área.

Escenarios	1	2	3	4	5	6
eNB	7	7	19	19	19	19
UE por eNB	4	15	3	3	3	3
eNB por MBSFN	7	7	3	7	7	19
Antenas Tx/Rx	1x1	1x1	1x1	1x1	4x2	1x1
Vídeo (Kbps)	720	720	720	720	720	720
Radio celda	1 Km	1 Km	1 Km	1 Km	1 Km	1 Km
Modelo canal ITU	Ped. B	Ped. B	Ped. B	Ped. B	Ped. B	Ped. B
Vel. UE (m/s)	0-10	0-10	0	0	0	0

Tabla 1. Escenarios empleados en las simulaciones

Modo multicast	Nº frec.	Frec. portadora	BW útil.
MBMS SFN	1	2.6 GHz	10 MHz
Sin MBMS	1	2.6 GHz	10 MHz
Sin MBMS	3	2.6 GHz	9 MHz
Sin MBMS	7	2.6 GHz	9.8 MHz

Tabla 2. Modos *multicast* empleados en las simulaciones

Se presentan resultados de simulaciones del escenario 2 con MBSFN, para diferentes valores prefijados de MCS en el enlace descendente (1, 5, 10, 15, 20, 25 y 28).

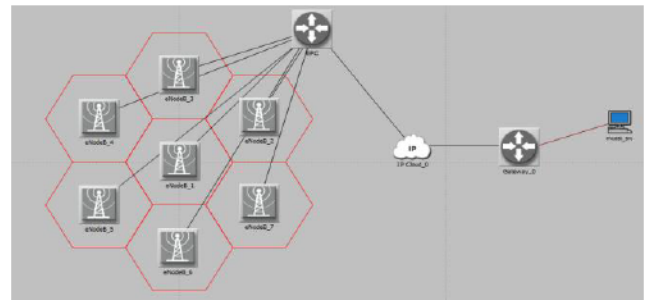


Fig. 2. Escenario con 7 celdas

Se han implementado escenarios con 19 celdas (escenarios 3, 4, 5 y 6 de la Tabla 1) como se muestran en la Fig. 3, para observar el efecto de diferentes tamaños de áreas MBSFN. Se han realizado simulaciones con áreas MBSFN de 3, 7 y 19 celdas (todas las celdas del escenario, lo que permite comparar con el valor óptimo obtenido en áreas infinitamente grandes, donde la interferencia destructiva fuera anulada completamente).

En el escenario 5 con MBSFN y 7 eNB por área MBSFN, se han realizado simulaciones de transmisiones MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), con 4 antenas transmisoras en las BS y 2 antenas receptoras en los UE, con el objetivo de analizar los efectos de mejora resultantes.

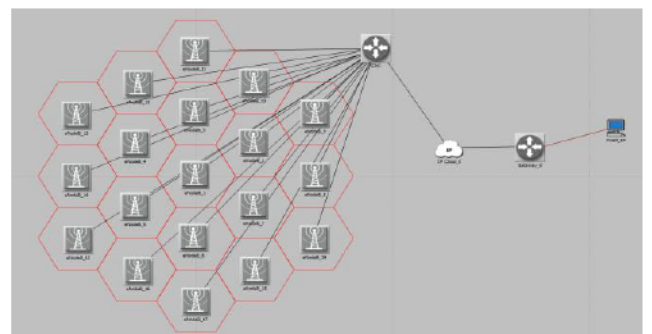


Fig. 3. Escenario con 19 celdas

III. RESULTADOS

Las simulaciones realizadas sobre los escenarios 1 y 2, empleando los 4 modos *multicast* descritos en la Tabla 1, nos permiten analizar la SINR en los usuarios en cada uno de los casos.

La Fig. 4 muestra la SINR media en los 15 usuarios de una celda, observándose la mejora de SINR obtenida utilizando MBMS SFN, representado en azul, con respecto a los casos de 1 y 3 frecuencias, en rojo y verde respectivamente. El caso de 7 frecuencias, en celeste, se muestra como referencia óptima sin interferencia, ya que en un escenario de 7 celdas ninguna interfiere a las otras. Los usuarios más alejados del e-NB obtienen un beneficio mayor de esta técnica, con respecto a los usuarios más próximos a la estación transmisora, cuyo SINR es alta para cualquiera de los modos *multicast*. Los resultados observados en celdas con diferente número de usuarios son similares, demostrando que las técnicas *multicast* permiten incrementar el número usuarios que se conectan a la misma fuente de información dentro de una celda, aumentando significativamente la tasa de datos recibidos en la celda que existe un número más alto de usuarios accediendo al mismo contenido *multicast*.

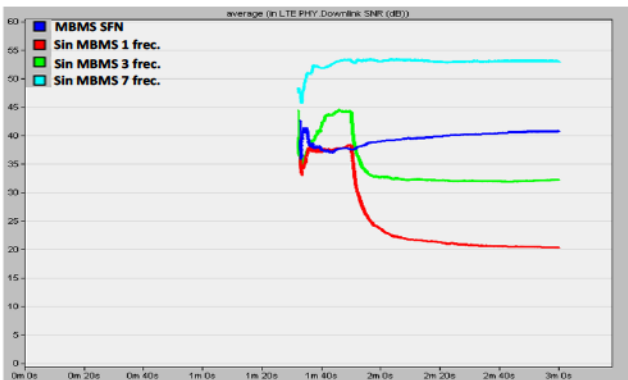


Fig. 4. SINR media en los usuarios de una celda con 15 usuarios

Al simular sobre el escenario 2 con MBSFN, utilizando diferentes MCS, podemos observar cómo es posible conseguir tasas prácticamente constantes, incrementalmente más altas para esquemas de modulación y codificación más altos (requieren mejores condiciones del canal).

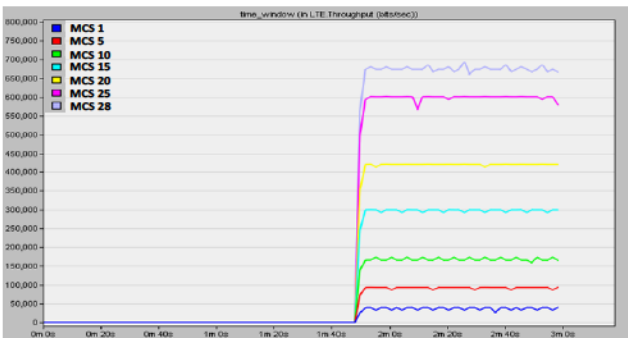


Fig. 5. Throughput/MCS en usuario borde de la celda MBSFN 7 celdas

En esta simulación todas las celdas del escenario pertenecen al mismo área MBSFN, lo que significaría crear áreas con un número alto de celdas (tendencia a infinitas), consiguiendo tasas prácticamente constantes para cualquier MCS, como se puede observar en la Fig. 5.

Para poder estudiar el efecto de tamaños de áreas MBSFN diferentes, se han realizado simulaciones en los escenarios 3, 4 y 6, con 19 celdas. Se han realizado medidas en usuarios próximos al eNB (UE1), en usuarios en la zona intermedia de la celda (UE2) y en usuarios en el borde de la celda (UE3). En la Fig. 6 podemos observar la relación SINR en un usuario en el borde de la celda para diferentes tamaños de área MBSFN. La relación SINR mejora al aumentar el tamaño del área de 3 a 7 celdas, la comparación con el caso del área MBSFN de 19 celdas (caso ideal en que todas las celdas pertenecen al mismo área MBSFN) nos refleja el margen de mejora que podemos obtener con tamaños superiores a 7 celdas.

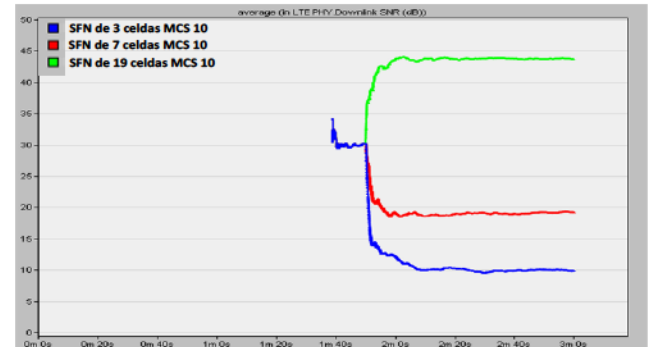


Fig. 6. SINR usuario al borde de celda MBSFN diferentes tamaños

En el escenario 5, se han realizado medidas para comprobar el efecto de la transmisión MIMO en un usuario situado en la parte media y en otro situado al borde de la celda. La Fig. 7 muestra como en el usuario situado en la parte media de la celda (UE2) tenemos una mejora en la SINR de aproximadamente 2 dB al emplear MIMO 4x2, mientras que en el usuario situado en el borde de la celda (UE3) no observamos mejora en la SINR. Esto se debe a que la mejora por diversidad espacial que se introduce por la transmisión MIMO en un usuario en el borde de la celda es insignificante, comparada con la mejora que introduce la diversidad espacial introducida con MBMS SFN.

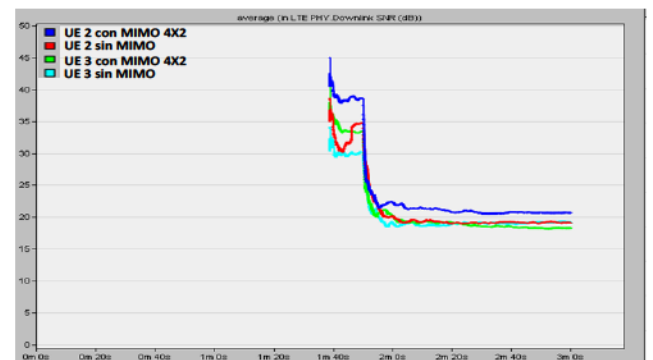


Fig. 7. SINR en transmisión MIMO 4x2, usuarios en diferente posición

En la Fig. 5, donde se presenta la tasa de datos en el usuario para diferentes MCS en el escenario 2 (las 7 celdas pertenecen al mismo área MBSFN), en este caso se obtienen valores ideales, ya que el área MBSFN corresponde al total de celdas existentes en el sistema LTE. En la Fig. 8 se muestra, para un usuario situado en el borde de la celda, la tasa de datos en función del MCS para el escenario 4 con MBSFN. Con MCS entre 1 y 10,

el usuario recibe datos con una tasa con alta variabilidad, para MCS superiores a 10 el usuario en el borde de la celda deja de recibir datos.

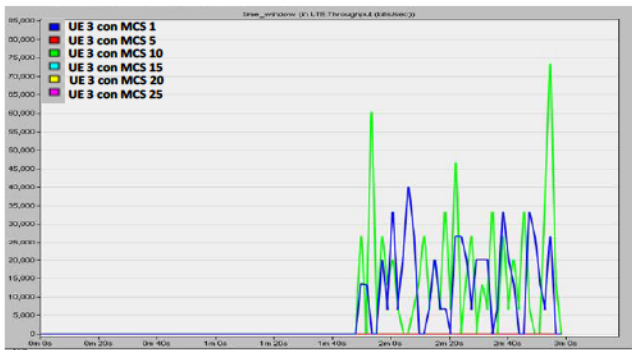


Fig. 8. Throughput/MCS en usuario borde de la celda MBSFN 7 celdas

La Fig. 9 presenta la tasa de error de bloque (BLER) en un usuario al borde de la celda para diferentes MCS en el escenario 4 con MBSFN, comparándola con el escenario 6 (caso ideal). Únicamente utilizando MCS de 1 a 5 obtenemos valores de BLER, en el usuario al borde de la celda, inferiores al 10%, valores aceptables en LTE [8]. Con los resultados obtenidos, podemos inferir que para conseguir tasas de datos altas y constantes en los usuarios es preciso aumentar el tamaño del área MBSFN, con el coste correspondiente en tiempo de sincronización de los eNB pertenecientes al mismo.

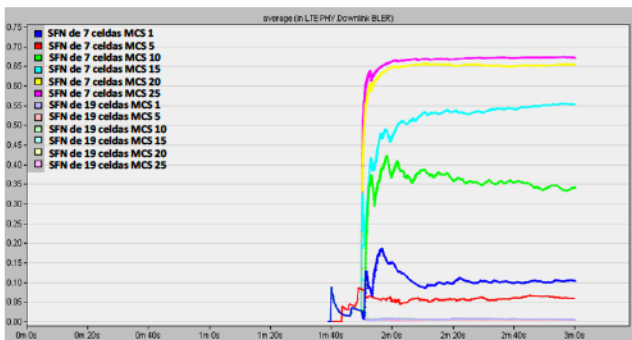


Fig. 9. BLER usuario borde celda diferente tamaño área MBSFN

En la figura 10, se presenta el retardo en el usuario, un parámetro importante en las transmisiones de video *multicast*. Se observa como el retardo introducido es menor según aumenta el esquema de modulación y codificación. El retardo obtenido al emplear MBMS SFN permanece prácticamente constante, característica fundamental para las transmisiones de video *multicast*.

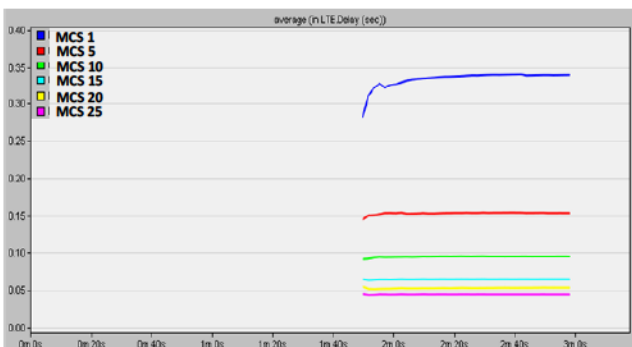


Fig. 10. Retardo en el usuario con diferentes MCS

IV. CONCLUSIONES

Mediante el estudio de prestaciones realizado se ha observado la mejora en los parámetros físicos (SINR) en los usuarios, empleando el servicio MBMS SFN con respecto a los escenarios *multicast* con reutilización de frecuencias. La utilización de áreas MBSFN ofrece la ventaja de asignar una única frecuencia, convirtiendo las interferencias ocasionadas por los diferentes eNB en interferencias constructivas en el terminal de usuario, mejorando de esta manera la SINR en el mismo, con aumentos de más de 20 dB y de casi 10 dB en la SINR media en los usuarios, con respecto a los escenarios de transmisión *multicast* sin MBMS SFN, con 1 y 3 frecuencias respectivamente. Por otro lado, se observa la mejora de casi 10 dB que se produce al aumentar el tamaño del área MBSFN de 3 a 7 celdas, al mismo tiempo, que el amplio margen de mejora que existe para tamaños superiores hasta el caso ideal. Finalmente, la simulación de escenarios LTE con MBMS SFN nos permite observar como la utilización de esta técnica entrega valores de retardo constantes en la transmisión, característica fundamental para la difusión *multicast* de vídeo en redes LTE.

Este trabajo es un punto de partida para futuros trabajos, cuyo objetivo sea la optimización del tamaño del área MBSFN, con la restricción impuesta a todos los eNodeB pertenecientes al mismo área de una precisa sincronización en tiempo y frecuencia de la información transmitida. El modelo sistematizado de medidas utilizado mediante el simulador *OPNET Modeler*, constituye la base inicial para la implementación de algoritmos que permitan seleccionar el esquema MBSFN más eficiente de forma dinámica.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido en parte financiado por el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica, proyecto LTextreme (IPT-2012-0525-430000).

REFERENCIAS

- [1] 3GPP TS 22.146, "Multimedia Broadcast/Multicast Service; Stage 1(Relase 10)", V10.1.0, January 2012.
- [2] 3GPP TS 25.346, "Introduction of the Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) in the Radio Access Network (RAN); Stage 2 (Release 11)", V11.0.0, September 2012.
- [3] 3GPP TS 36.213, "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures (Release 11)", V11.0.0, September 2012.
- [4] 3GPP R1-070051, "Performance of MBMS Transmission Configurations", 2007.
- [5] 3GPP R1-071049, "Spectral Efficiency comparison of possible MBMS transmission schemes: Additional Results", 2007.
- [6] 3GPP R1-071433, "Additional Results on eMBMS Transmission Configurations", 2007.
- [7] A. Alexiou, C. Bouras, V. Kokkinos y G. Tsichritzis, "Performance evaluation of LTE for MBSFN transmissions", *Wireless Networks*, April 2012.
- [8] A. Alexiou, C. Bouras, V. Kokkinos, A. Papazois y G. Tsichritzis, "Modulation and coding scheme selection in multimedia broadcast over a single frequency network-enabled long-term evolution networks", *Internation Journal of Communication Systems*, 2011.
- [9] <http://www.opnet.com/>, página web oficial de OPNET Technologies, inc, 2013.
- [10] T. Sánchez, "Análisis y evaluación de tecnologías y protocolos para la distribución en tiempo real de contenidos multimedia a dispositivos móviles", Proyecto Fin de Carrera, ETSIT UPM.