

# La Nueva TV Digital Satelital Móvil DVB-SH ya Está Aquí

David Gómez Barquero<sup>1</sup>, Ariana Saliato<sup>1</sup>, Fernando Camaró<sup>1</sup>, Jordi Puig<sup>1</sup>, Pedro Fernando Gómez<sup>1</sup>,  
David Gozávez<sup>1</sup>, Guillermo Sánchez<sup>1</sup>, Narcís Cardona<sup>1</sup>, Jorge Rodríguez<sup>2</sup>, Inéz Sanz<sup>2</sup>

<sup>(1)</sup>Grupo de Comunicaciones Móviles, Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (iTEAM), Universidad Politécnica de Valencia

<sup>(2)</sup>Hispat S.A.

E-mail: dagobar@iteam.upv.es, jrodriguez@hispat.es

**RESUMEN** — **DVB-SH (Digital Video Broadcast – Satellite Services to Handhelds)** es el estándar europeo para provisión de servicios de TV digital a terminales móviles en banda S. Se caracteriza por una arquitectura híbrida terrestre-satelital, donde el satélite proporciona cobertura global, mientras que los transmisores terrestres refuerzan la señal en entorno urbano. Actualmente, existen dos satélites en órbita cubriendo Europa occidental y los EEUU, y se prevé que se empiecen a dar servicios comerciales a final de año. En España, los esfuerzos de validación de la tecnología DVB-SH se han hecho dentro del proyecto FURIA (Futura Red Integrada Audiovisual), siendo el coordinador del paquete de trabajo sobre DVB-SH Hispat. En este artículo se describen las principales actividades del Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (iTEAM) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) en temas de DVB-SH dentro del proyecto FURIA.

## I. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE DVB-SH

DVB-SH (*Digital Video Broadcasting – Satellite services to Handhelds*) es un sistema diseñado para la difusión de servicios móviles mediante redes híbridas terrestres satelitales [1]. Estas redes emplean un satélite geoestacionario para proporcionar cobertura a nivel nacional junto con una red terrestre que refuerza el servicio en aquellas zonas donde la señal del satélite se ve seriamente degradada. La red terrestre permite también aumentar la capacidad del sistema. Las redes DVB-SH utilizan señales OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) en la red terrestre y señales OFDM o TDM (*Time Division Multiplexing*) en la transmisión vía satélite [2]. La utilización de OFDM permite desplegar redes de frecuencia única SFN, en las que los receptores pueden combinar todas las señales provenientes de los transmisores a su alcance (incluido el satélite), mientras TDM permite mayores potencias de transmisión en el satélite, aumentando la cobertura satelital.

La recepción móvil satelital se caracteriza por la presencia de desvanecimientos de larga duración en la señal recibida debido a la aparición de obstáculos en la línea de visión directa entre el transmisor y el receptor. Dichos desvanecimientos ocasionan la pérdida de grandes porciones de información que no pueden ser recuperadas por los mecanismos de corrección habituales de capa física. Para combatir este tipo de desvanecimientos, DVB-SH incorpora en la capa física un entrelazador convolucional de larga duración capaz de extender la protección FEC (*Forward Error Correction*) a lo largo de varios segundos [2].

Por otra parte, el alto coste hardware que conlleva la implementación de entrelazadores de larga duración en la capa física ha dado lugar a la utilización de mecanismos de protección de capa de enlace. MPE-iFEC (*Multi Protocol Encapsulation – inter burst Forward Error Correction*) [3] es un mecanismo de protección de capa de enlace que emplea codificación *multi-burst* para extender la protección a lo largo del tiempo. La codificación *multi-burst* consiste en codificar de manera conjunta porciones de información pertenecientes a diferentes *bursts* de forma que sea posible recuperar la pérdida completa de alguno de ellos. DVB-SH distingue dos tipos de receptores atendiendo al entrelazado temporal. Mientras que los receptores de tipo 1 incorporan entrelazado temporal de larga duración en la capa de enlace por medio de MPE-iFEC, los receptores de tipo 2 implementan un entrelazador de larga duración en la capa física.

## II. LÍNEAS DE DESARROLLO DVB-SH DE ITEAM

### A. Herramienta de Planificación de Redes DVB-SH

La herramienta de planificación de redes DVB-SH permite realizar cálculos de cobertura en función de la configuración de la red [4]. Estos cálculos de cobertura posibilitan la realización de estudios y ejercicios de planificación y optimización. La interfaz de la herramienta se muestra en la Figura 1.

Para estimar el nivel de cobertura, el usuario introduce los datos de la red DVB-SH (satélite utilizado, posición y altura de los transmisores, configuración de los mismos, frecuencia de operación, modo de operación etc.) y de los receptores. Los modelos de propagación incluidos en la herramienta de planificación emplean estos datos junto con información cartográfica del escenario de despliegue para calcular las pérdidas experimentadas por la señal entre el transmisor (tanto para el satélite como para los transmisores terrestres) y el receptor. Los modelos de propagación implementados se pueden validar y calibrar mediante medidas.

Finalmente, la herramienta permite llevar a cabo de manera automatizada estudios de planificación de forma que se determina la configuración óptima de la red en base a ciertos criterios u objetivos, como pueden ser minimizar el coste de despliegue de la misma, obtener un máximo nivel de cobertura o minimizar la interferencia.

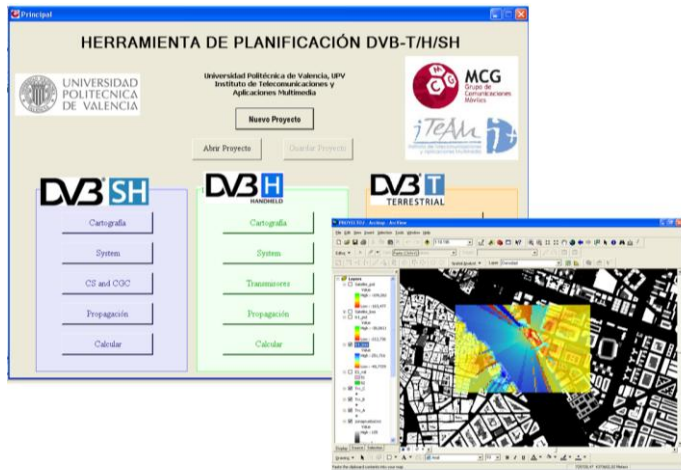


Figura 1: Herramienta de planificación DVB-SH.

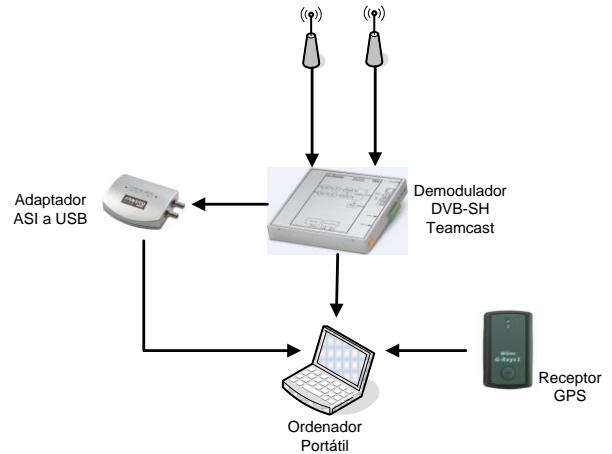


Figura 2: Arquitectura del sistema automatizado de medida DVB-SH.

### B. Sistema Automatizado de Medida DVB-SH

Con el objetivo de facilitar el proceso de adquisición de medidas, iTEAM ha desarrollado un sistema automatizado de medidas DVB-SH [5]. Su arquitectura básica puede verse en la Figura 2. El sistema está compuesto por un receptor DVB-SH profesional capaz de medir parámetros de capa física (RSSI, SNR, MER...) y de capa de enlace (FER, MFER, MiFER); un lector de paquetes MPEG-2 mediante el que se obtiene una traza de error de los paquetes recibidos, y un receptor GPS que registra la posición y la velocidad. El sistema de medida es capaz de almacenar y sincronizar los datos capturados por los diferentes dispositivos en tiempo real. También es posible interactuar y controlar los dispositivos que forman la cadena de transmisión (e.g. modulador y emulador de canal). Esto facilita el desarrollo y validación de aplicaciones tales como plataformas de simulación o encapsulación. Finalmente, el sistema también permite el post-procesado de información, para generar, por ejemplo, mapas de cobertura.

### C. Plataforma de Encapsulación DVB-SH

Dentro de la cadena de transmisión-recepción de un sistema de difusión DVB-SH, la plataforma de encapsulación tiene como misión principal la adaptación de los contenidos de entrada para el transmisor y su correcta señalización. De este modo la plataforma generará un flujo MPEG-2-TS con las características adecuadas para que el modulador lo transmita, de forma que los terminales receptores sean capaces de descubrir los servicios que se están recibiendo, seleccionar uno de ellos y reproducirlo en las mejores condiciones.

La plataforma de encapsulación DVB-SH de iTEAM (Figura 3) se ha implementado en tres etapas [5]. Una primera etapa de diseño en la cual se ha hecho especial hincapié en la modularidad, con el fin de permitir una fácil incorporación otras tecnologías, como DVB-T, DVB-H o futuros estándares. En una segunda fase de desarrollo, se ha realizado la implementación software de la plataforma en lenguaje Java, sobre un PC convencional funcionando con un sistema GNU/Linux y a través de una máquina virtual orientada a aplicaciones que requieran prestaciones en tiempo real. Finalmente se ha procedido a realizar su validación mediante el receptor software de Telefónica I+D, dentro de las pruebas de interoperabilidad del proyecto FURIA.

Con todo esto, con el fin de que la plataforma cumpla sus funciones, ésta se estructura en tres bloques principales: encapsulación, señalización y gestión de recursos. El bloque de encapsulación se encarga de empaquetar PDUs de nivel de red (datagramas IP) iterativamente en PDUs de capas inferiores hasta alcanzar la capa física. Este apartado de encapsulación engloba los bloques de codificación MPE-FEC y MPE-iFEC, que son los encargados de generar información adicional de protección.

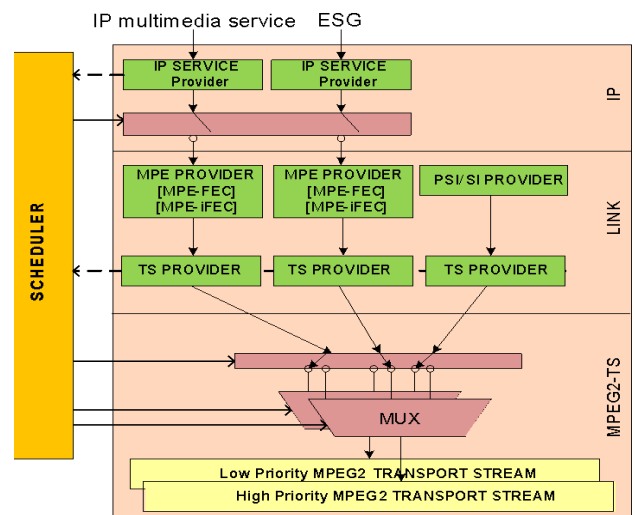


Figura 3. Diagrama de bloques de la plataforma de encapsulación DVB-SH.

Por otra parte, el bloque de señalización tiene como función principal la provisión de información al receptor para que éste sea capaz de descubrir los servicios que se encuentran dentro del flujo MPEG-2 recibido. La señalización se estructura en dos partes: la PSI/SI, que ofrece información de señalización a nivel de servicio MPEG-2; y la ESG, que da información de localización y descripción de las capas superiores. Finalmente, el bloque de gestión de recursos estará controlado por el “scheduler”. El scheduler maneja los tiempos de encapsulación de cada uno de los servicios y sus correspondientes periodos de transmisión, con el fin de hacer un uso eficiente de los recursos disponibles.

Con esta configuración, iTEAM ha conseguido disponer de una plataforma de encapsulación DVB-SH capaz de generar flujos MPEG-2-TS, tanto en tiempo real como de forma off-line, ofreciendo la posibilidad de realizar estudios sobre técnicas avanzadas de multiplexación de servicios, técnicas de fast-zapping, optimización de parámetros de capa de enlace de MPEG-IFEC, etc.

#### D. Plataforma de Simulación DVB-SH

Dentro de la actividad investigadora llevada en el grupo de comunicaciones móviles del iTEAM, se han desarrollado simuladores software de capa física de diferentes estándares DVB para la realización de estudios sobre cobertura, validación, optimización y diseño de redes broadcast [5], [6]. Para llevar a cabo estas actividades es siempre conveniente disponer de un laboratorio que permita validar con equipamiento real las simulaciones y modelos empleados en los distintos estudios. Debido a la falta de equipamiento hardware en transmisión para la tecnología DVB-SH, iTEAM decidió llevar a cabo la implementación software del mismo, desarrollando de este modo una plataforma de simulación DVB-SH. La plataforma de simulación está formada por dos bloques claramente diferenciables: una plataforma de encapsulación, definida en detalle en el apartado II.C, que adapta los contenidos adecuadamente a la entrada del transmisor y un simulador de capa física (ver Figura 4) que genera señales en banda base a partir de los datos suministrados por la plataforma de encapsulación. Cabe mencionar que el simulador de capa física desarrollado implementa todas las funcionalidades del estándar [7], incluyendo la señalización.

Una vez generada la señal en banda base, se pasa a un transmisor hardware que suele denominarse de forma comercial *IQ player*. Este equipo, transparente a la tecnología, la transmite en radiofrecuencia. Tras pasar por el canal, la señal se recibe mediante un receptor profesional que permite monitorizar parámetros de rendimiento como el nivel de relación señal a ruido (CNR), el ratio de bits erróneos (BER), la traza de error de paquetes MPEG-2, etc. Además, para un correcto funcionamiento de la plataforma de simulación es necesario que la señal de entrada al simulador de capa física esté correctamente adaptada y señalizada. Para ello se utiliza la plataforma de encapsulación detallada en la Sección III.C.

Una vez terminado el proceso de desarrollo, comenzó, con la colaboración de AICIA, un proceso de validación y verificación (V&V) en el que se comprobó el correcto funcionamiento de los distintos modos de configuración de capa física. Mediante la plataforma de simulación DVB-SH extremo a extremo desarrollada pueden realizarse multitud de estudios entre los que cabe destacar pruebas de rendimiento, optimización de la transmisión, evaluación de mecanismos de corrección de errores en capas de enlace y aplicación y pruebas de QoS y QoE entre otros. En la Figura 5 se muestra el esquema general de la plataforma de simulación.

Mediante la plataforma de simulación DVB-SH extremo a extremo desarrollada pueden realizarse multitud de estudios entre los que cabe destacar pruebas de rendimiento, optimización de la transmisión, evaluación de mecanismos de corrección de errores en capas de enlace y aplicación y pruebas de QoS y QoE entre otros. En la Figura 5 se muestra el esquema general de la plataforma de simulación.

Mediante la plataforma de simulación DVB-SH extremo a extremo desarrollada pueden realizarse multitud de estudios entre los que cabe destacar pruebas de rendimiento, optimización de la transmisión, evaluación de mecanismos de corrección de errores en capas de enlace y aplicación y pruebas de QoS y QoE entre otros. En la Figura 5 se muestra el esquema general de la plataforma de simulación.

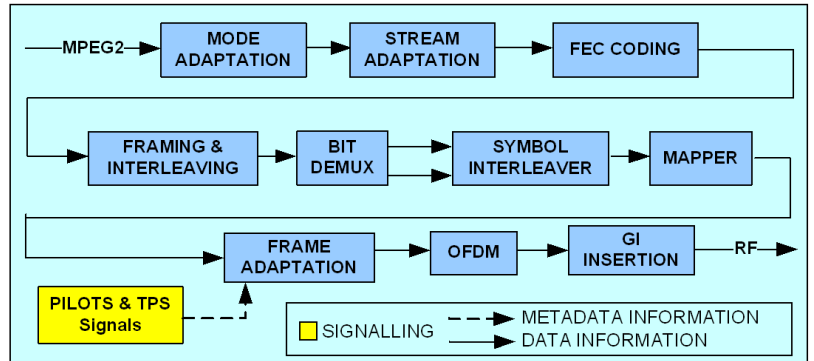


Figura 4. Diagrama de bloques del simulador de capa física DVB-SH.

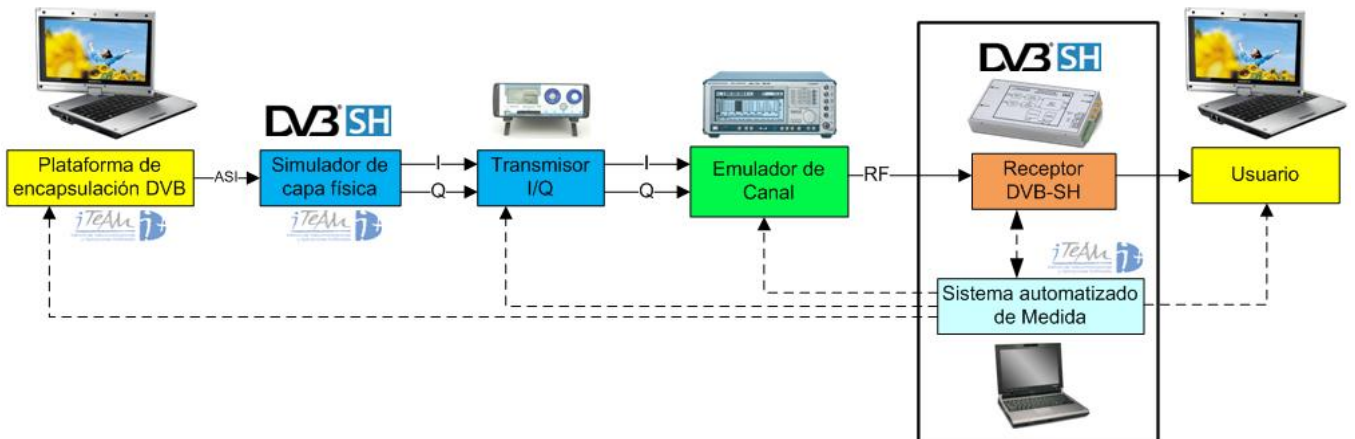


Figura 5. Diagrama de bloques de la plataforma de simulación DVB-SH.

### III. PRUEBAS EXPERIMENTALES DVB-SH DEL PROYECTO FURIA

#### A. Pruebas de Laboratorio

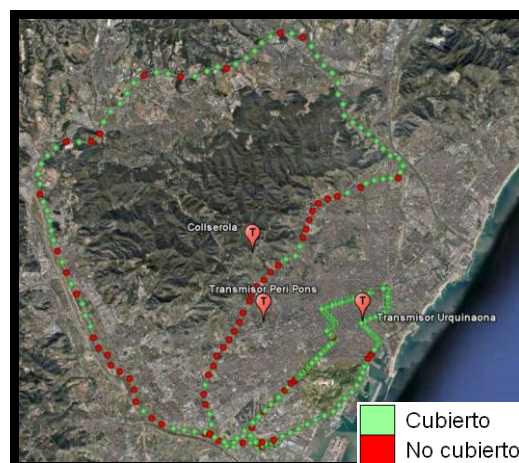
En Julio de 2009, el Proyecto FURIA organizó las primeras pruebas de laboratorio del estándar DVB-SH en la ciudad de Madrid. La campaña tuvo lugar en el laboratorio de la Secretaría General de Telecomunicaciones del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, El objetivo de estas pruebas consistía en la evaluación del estándar en sus componentes terrestre y satelital. Sin embargo, debido a diferentes problemas de interoperabilidad de los equipos y tiempo disponible, se realizaron finalmente medidas de evaluación del segmento terrestre del estándar.

Los flujos de transporte empleados eran generados a partir del encapsulador de LaSalle. El modulador de MIER era el encargado de transmitir los servicios, generando la señal DVB-SH con la configuración del modo de transmisión y ancho de banda deseados. A continuación, una red de dispositivos desplegada por Integrasys demodulaba a banda base la señal en banda S que proporcionaba el transmisor. Una vez en banda base, el par IQ se introducía en el emulador SFQ que permitía simular un canal de transmisión TU6, y proporcionar la señal emulada a la frecuencia y CNR deseadas. Finalmente el sistema de medida desarrollado por iTEAM, recibía y registraba la señal DVB-SH para su posterior análisis, al mismo tiempo que controlaba la CNR y frecuencia Doppler del canal TU6 del emulador SFQ. A lo largo de las pruebas, también estuvieron presentes Telefónica I+D, aportando el “receptor en banda base”; así como Abertis Telecom, para prestar asistencia en diversos aspectos de las pruebas.

Para llevar a cabo la evaluación del segmento terrestre, se realizaron diversas medidas emulando en el laboratorio un canal TU6, adecuado para la recepción terrestre en terminales móviles. La frecuencia central empleada a lo largo de todas las pruebas fue de 2177,5 MHz, con un ancho de banda de 5 MHz. Se evaluaron varias configuraciones de transmisión de capa física variando el esquema de modulación y codificación, y también distintos perfiles de entrelazado; y pruebas de capa de enlace, en la que se evaluó el rendimiento de MPE-iFEC.



**Figura 6:** Configuración del piloto DVB-SH de Barcelona realizado en Febrero de 2010.



**Figura 7:** Cobertura obtenida para el modo de capa física QPSK  $\frac{1}{2}$  Entrelazado 8/48/1/0/0.

#### B. Pruebas de Campo

Como parte del proyecto FURIA han tenido lugar dos campañas de pruebas experimentales DVB-SH en España. El objetivo de estas pruebas fue obtener medidas de rendimiento y cobertura que permitan validar tanto la componente terrestre como satelital. Ambas campañas de medida tuvieron lugar en la ciudad de Barcelona, la primera en diciembre de 2008 y la segunda en febrero de 2010. Los participantes en el piloto fueron Abertis, Hispasat, La Salle, MIER, SIDSA e iTEAM.

La campaña de pruebas de campo de 2008 constituyó el primer piloto de TV móvil DVB-SH en España y se organizó de forma conjunta con el proyecto B21C, colaborando France Télécom, Teamcast y DibCom. En estas pruebas se realizaron medidas de la componente terrestre. Los resultados obtenidos se pueden observar con más nivel de detalle en el artículo [8].

En las pruebas de 2010 se evaluaron tanto la componente terrestre como satelital gracias a un acuerdo de colaboración con el proyecto J-Ortigia. En ambas campañas de pruebas experimentales se empleó el sistema de medida automatizado DVB-SH desarrollado por iTEAM (ver Sección II.B). En cuanto a la red bajo pruebas, se configuró una SFN con 2 transmisores de 50 W y otro de 200 W, además de la componente satelital (ver Figura 6). La frecuencia de trabajo fue de 2187.5 MHz con 5 MHz de ancho de banda. Se midieron varias configuraciones de modo de transmisión de capa física, incluyendo el uso de diversidad de antenas en recepción. Además se llevaron a cabo pruebas de capa de enlace en las que se estudió el mecanismo de corrección de errores MPE-iFEC. Durante la realización de las pruebas se siguieron varias rutas con el fin de evaluar la cobertura del piloto en entornos urbano y suburbano. En la Figura 7 se muestra a modo de ejemplo la cobertura existente para el modo QPSK  $\frac{1}{2}$ . Para la representación se ha elegido como criterio el ESR5(20). Este criterio se cumple cuando en un intervalo de 20 segundos hay menos de 1 segundo erróneo. El ESR5(20) medio obtenido es del 80%, siendo del 90% en entorno urbano y del 40% en suburbano.

#### IV. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN SOBRE DVB-SH DE ITEAM

##### A. Modelos de Propagación Radio Terrestre y Satelital en Banda S

Los modelos de propagación son necesarios para determinar el nivel de señal proveniente de un transmisor a la entrada del receptor. Estiman un valor de pérdidas que se calculan teniendo en cuenta los diferentes mecanismos de propagación que experimenta la señal desde el transmisor hasta el receptor: reflexión, difracción, *scattering*, etc.

La elección del modelo de propagación se debe realizar teniendo en cuenta varios factores: frecuencia, altura del transmisor, entorno de propagación, resolución de los cálculos, información cartográfica disponible etc. En la herramienta de planificación se ha implementado un modelo de propagación para la componente satelital y dos modelos de propagación para la componente terrestre. El modelo implementado para la componente satelital es muy diferente a los modelos terrestres puesto que debe tener en cuenta los mecanismos propios de este tipo de entornos, como pueden ser las pérdidas de absorción de la troposfera y la ionosfera o las pérdidas producidas por lluvia.

Los modelos de propagación terrestre implementados son válidos para frecuencias de operación en la banda S. Concretamente se aplican el modelo de propagación Xia-Bertoni [9] y un modelo basado en la fórmula de Hata [10] añadiendo pérdidas por difracción en edificios, calculadas según el método Deygout [11]. Ambos modelos definen fórmulas para realizar los cálculos de pérdidas de propagación, que se deben ajustar utilizando resultados de campañas de medida. Los términos de estas formulaciones dependen de la frecuencia, de la distancia entre el transmisor y el receptor y del perfil de terreno y edificios. El modelo de propagación de Xia-Bertoni describe el comportamiento de la señal radioeléctrica para frecuencias de operación de hasta 3 GHz, y es aplicable cuando la altura del transmisor es comparable a los edificios del escenario de despliegue. Para realizar los cálculos de difracción y de pérdidas tiene en cuenta la información sobre terreno y edificios, considerando la altura media de los edificios entre el transmisor y el receptor. Por otro lado, Hata es un modelo empírico, es decir, las pérdidas se calculan mediante fórmulas obtenidas de exhaustivas campañas de medida. Por este motivo, no tiene en cuenta la difracción producida por los obstáculos entre el transmisor y el receptor. Para hacer frente a esta limitación, se añade un valor de pérdidas por difracción calculadas según el método de Deygout. Este método considera que los edificios entre el transmisor y el receptor son filos de cuchillo y calcula las pérdidas teniendo en cuenta únicamente los de mayor altura.

Los modelos de propagación terrestre desarrollados se han validado y calibrado con los resultados de la campaña de medidas DVB-SH realizadas por el proyecto europeo B21C en colaboración con el proyecto español FURIA en diciembre de 2008 [12]. La Figura 8 muestra la comparativa entre las medidas y las predicciones del nivel de señal según el modelo de propagación Hata+Deygout.

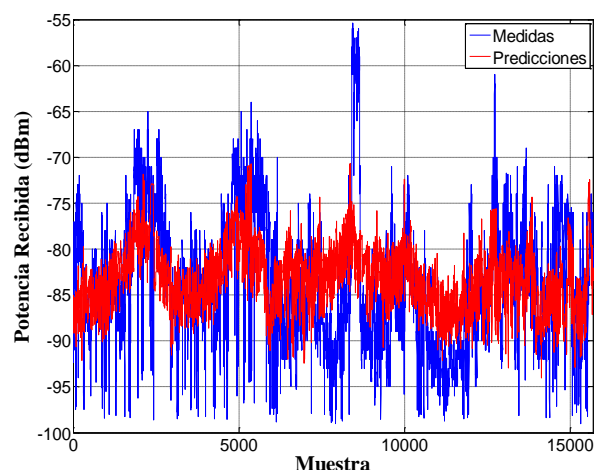


Figura 8. Medidas de nivel de señal y predicciones según el modelo de propagación Hata+Deygout.

##### B. Ganancia por Combinación de Señales Terrestre y Satélite

Una de las principales características de DVB-SH es que define una arquitectura híbrida terrestre-satélite de forma que la componente terrestre complementa la cobertura proporcionada por el satélite. El despliegue de la infraestructura terrestre DVB-SH se realizará en aquellos casos en los que la recepción satélite no sea posible (en entorno urbano denso e interiores principalmente).

Además de la complementariedad entre la red terrestre y satélite, DVB-SH permite implementar técnicas de combinación y diversidad que mejoren la calidad de la señal recibida. En terminales con dos interfaces radio se pueden implementar técnicas de combinación de señales en banda base. También se pueden implementar técnicas de *code-combining* utilizando códigos complementarios en la componente satelital y terrestre. ITEAM está realizando estudios de las condiciones y situaciones bajo las cuales se produce esta ganancia por combinación terrestre-satélite. Los resultados de estos estudios se tendrán en cuenta en los cálculos de cobertura y ejercicios de planificación.

##### C. Modelos de Rendimiento de Capa Física

DVB-SH utiliza una técnica de transmisión discontinua, conocida como *time-slicing*, en la que la información se transmite a ráfagas (*bursts*) periódicamente. El objetivo de los modelos de rendimiento de la capa física de DVB-SH debe ser por tanto predecir qué información del *burst* se ha recibido correctamente (la cantidad de paquetes MPEG2-TS) y la distribución temporal de los errores en función de la configuración de la transmisión, la movilidad del usuario y el entorno en el que se encuentra.

Los parámetros de entrada de los modelos de rendimiento deben ser:

- Modo de transmisión DVB-SH: tamaño FFT, intervalo de guarda GI, modulación, *code rate*, entrelazado.
- SINR: relación señal a interferencia más ruido. Para calcular la interferencia se deben de tener en cuenta tanto interferencias externas como interferencias producidas por la propia red en una red de frecuencia única (SFN).
- Frecuencia Doppler; relacionada con la movilidad del usuario.
- Tipo de entorno y tipo de canal.

Para el desarrollo de modelos de rendimiento de capa física son necesarias trazas de errores de paquetes MPEG-2-TS. Estas trazas pueden obtenerse mediante simulaciones, medidas de laboratorio y medidas de campo.

Hasta el momento, iTEAM ha propuesto varios modelos basados en umbrales que calculan la traza de error de paquetes MPEG2-TS a partir de los parámetros generales de capa física y teniendo en cuenta el entrelazado temporal.

En primera instancia se planteó generar las trazas de error necesarias para el desarrollo de los modelos a partir de simulaciones de capa física, pero este método tiene como gran inconveniente que el coste de las simulaciones tanto en tiempo como en memoria necesaria resulta demasiado elevado. Por ello, y dada la participación activa de iTEAM en el proyecto FURIA, se ha optado por utilizar las trazas de error obtenidas en las medidas de laboratorio realizadas en el marco del proyecto para llevar a cabo el desarrollo de los modelos de rendimiento.

La precisión de los modelos puede comprobarse comparando sus resultados con los obtenidos a partir de medidas. Los modelos de rendimiento desarrollados por iTEAM han sido validados mediante las medidas de laboratorio y campo realizadas en el marco del proyecto FURIA. En la Figura 9 se ilustra una comparación del porcentaje acumulado de paquetes erróneos medidos y simulados pudiendo comprobarse la buena aproximación obtenida.

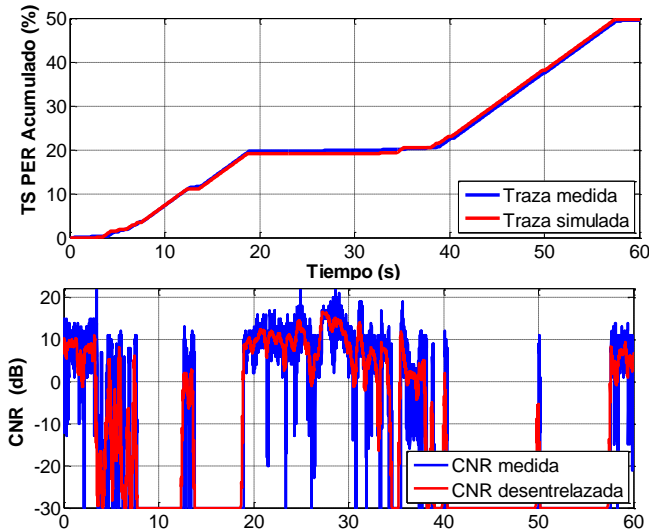


Figura 9. Comparativa entre el porcentaje de paquetes erróneos acumulados a lo largo del tiempo medidos y simulados

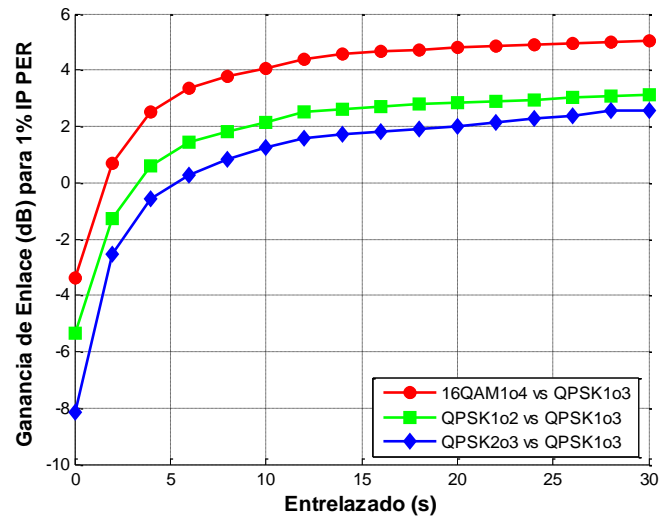


Figura 10. Ganancia en términos de CNR que proporciona MPE-iFEC en un escenario con *fast fading* y *shadowing*.

#### D. Optimización de los Parámetros de Transmisión

En el proyecto FURIA se investigaron las capacidades de DVB-SH para la provisión de servicios móviles con el objetivo de validar el estándar y optimizar la configuración *cross-layer* de los diferentes parámetros de transmisión. DVB-SH incorpora mecanismos de protección FEC y entrelazadores tanto en la capa física como en la capa de enlace. En el caso de los terminales de clase 1 los mecanismos de protección de la capa física se encargan de contrarrestar las degradaciones ocasionadas por el ruido térmico, las interferencias impulsivas y el *fast fading*. En la capa de enlace, MPE-iFEC tiene como objetivo reparar las pérdidas de información ocasionadas por desvanecimientos de larga duración. La configuración conjunta de ambas capas permite optimizar el rendimiento del sistema pudiendo incrementar de esta forma la cobertura y/o capacidad de la red. Para evaluar el rendimiento de DVB-SH se utilizaron simulaciones dinámicas de sistema basadas en los modelos de rendimiento obtenidos a partir de medidas de laboratorio. Las medidas de laboratorio se realizaron para un canal TU6, el cual únicamente considera la presencia de *fast fading* en la señal recibida. Por este motivo y para modelar la presencia de variaciones lentas, el simulador emplea además un modelo de *shadowing*. Las simulaciones dinámicas de sistema consideran a varios usuarios moviéndose a velocidad constante por un mapa de CNR log-normal definido por su desviación estándar y distancia de correlación. El criterio de calidad empleado en las simulaciones fue un ratio de error de paquete del 1 % (IP PER 1 %).

La Figura 10 muestra la ganancia en términos de CNR que es posible obtener mediante la utilización de protección MPE-iFEC para una misma tasa binaria de servicio. En este caso se compara el rendimiento de una constelación QPSK con una tasa de codificación 1/3 y sin MPE-iFEC con respecto a otras configuraciones menos robustas pero que sin embargo utilizan MPE-iFEC en la capa de enlace. Como puede verse en la figura, la utilización conjunta de protección de capa física y de capa de enlace obtiene ganancias de más de 5 dB para un entrelazado mayor de 20 s.

### E. Estudios de Calidad de Subjetiva de Servicios de Video Streaming

En el caso particular de servicios de video *streaming*, la calidad de servicio (QoS) tiene un importante factor subjetivo. La calidad de experiencia además está determinada por numerosos aspectos, desde los errores de capa física hasta el comportamiento particular del decodificador de video frente a los errores (*error concealment*). Con el objetivo de estudiar esta influencia en la percepción de los usuarios, iTEAM ha desarrollado una herramienta llamada Visualizador [13].

El Visualizador (cuyo diagrama de bloques se muestra en la Figura 11) es capaz de crear videos con los mismos errores de visualización que si el vídeo original fuera transmitido en un escenario real y recibido por un terminal. Para ello el Visualizador utiliza los tiempos de llegada de los datagramas IP, su tamaño, el tamaño máximo de las ráfagas, el tiempo de ciclo etc., con el principal objetivo de determinar exactamente la asociación entre todos los paquetes de todas las capas contiguas de la pila de protocolos. Con esta información, tras aplicar la máscara o patrón de errores de capa física, se pueden propagar los errores de manera realista hasta la capa de aplicación. Además, el visualizador ofrece numerosas medidas de QoS a lo largo de la pila de protocolos, incluso de PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*), para luego, mediante los estudios de calidad subjetiva poder determinar la relación entre estos y la aceptación real de los usuarios.

Gracias a esta herramienta se están realizando estudios de calidad subjetiva dentro del proyecto FURIA. Estos tienen como objetivo determinar la correlación entre los diferentes criterios de QoS y la satisfacción de los usuarios, así como los niveles de estos criterios que determinan el umbral de aceptabilidad.

### F. Técnicas de Zapping Rápido

Debido al esquema de protección multi-burst en MPE-iFEC, el tiempo de *zapping*, o tiempo transcurrido desde que el usuario da la orden de cambiar de canal en el terminal hasta que empieza a visualizar el contenido, puede ser intolerable para los usuarios si dicha protección se expande a un gran número de *bursts*.

Actualmente se proponen diferentes técnicas para poder suavizar este tiempo o amenizar la espera del usuario. Entre estas técnicas encontramos el uso de anuncios, canales de *fast zapping*, que se cargan en los intervalos de *zapping* con gran rapidez a expensas de una inferior calidad, y reducción de la tasa de reproducción durante este tiempo de *zapping*.

En este sentido, en iTEAM se están haciendo estudios mediante tests de calidad subjetiva para determinar la satisfacción que estas técnicas les merecen a los usuarios. De entre las técnicas comentadas, los primeros resultados apuntan al canal de *fast zapping* como la técnica mejor valorada por los usuarios. Sin embargo, este estudio ha de ser también completado con un análisis técnico sobre la viabilidad y recursos necesarios de dichas técnicas para poder valorarlas y compararlas completamente, tanto desde el punto de vista del usuario como desde el del proveedor de contenidos que quiere optimizar el uso de los recursos.

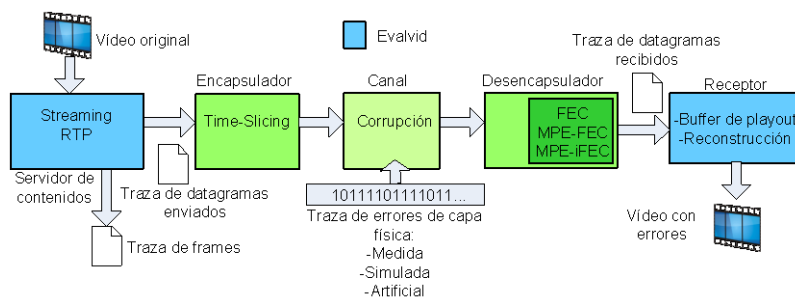


Figura 11. Diagrama de bloques del Visualizador.

## AGRADECIMIENTOS

El trabajo presentado en este artículo ha sido parcialmente subvencionado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio dentro del Proyecto FURIA (Futura Red Integrada Audiovisual), en el marco del Programa Plan Avanz@ (TSI-020301-2009-33), [www.furiapse.com](http://www.furiapse.com). Los autores quieren mostrar su agradecimiento todos los miembros del paquete de trabajo DVB-SH: Abertis, MIER, SIDSA, Integrasys, Telefónica I+D, AICIA y La Salle; ya que sin su colaboración no se habrían logrado muchos de los resultados obtenidos.

## REFERENCIAS

- [1] D. Gozávez, D. Gómez-Barquero y N. Cardona, "Transmisión de Servicios de Televisión Digital Móvil en Redes DVB-SH," *Jornadas Telecom I+D*, Valencia, España, 2007.
- [2] ETSI, "Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-SH Implementation Guidelines," 2010.
- [3] DVB BlueBook A131, "MPE-iFEC," draft ETSI TS 102 772 v1.1.1, August 2008.
- [4] D. Gómez-Barquero, A. Salieta, G. Roig, J. López, C. García, A. Fernández, y N. Cardona, "Mobile TV Network Planning," *Waves*, vol. 1, pp. 45-52, 2009.
- [5] D. Gómez-Barquero, D. Gozávez, P. Olivas, F. Camaró, P. F. Gómez, J. Puig, y N. Cardona, "End-to-End Digital Video Broadcasting Test-bed," *Waves*, vol. 2, pp. 124-130, 2010.
- [6] P. F. Gómez, J. Puig, F. Camaró, D. Gómez-Barquero, y N. Cardona, "Generador Software IQ/TS de Señales TDT Móvil DVB-SH," *Jornadas Telecom I+D*, Valladolid, España, 2010.
- [7] ETSI EN 302 583, "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Satellite Services to Handheld devices (SH) below 3G", 2008.
- [8] P. Olivas, P. F. Gómez, D. Gómez-Barquero y N. Cardona, "Resultados del Primer Piloto de TV Digital Móvil DVB-SH en España" *Jornadas Telecom I+D*, Madrid, España, 2009.
- [9] H. H Xia and H. L. Bertoni, "Diffraction of Cylindrical and Plane Waves by an Array of Absorbing Half-Screens," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 40, no. 2, pp. 170-177, Feb. 1992.
- [10] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, and K. Fukuda, "Field Strength and its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Service," *Rev. Elec. Comm. Lab.*, vol. 16, no. 9-10, pp. 825-873, 1968.
- [11] J. Deygout, "Multiple Knife Edge Diffraction of Microwaves," *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, vol. 14, pp 480-489, July 1966.
- [12] A. Salieta, G. Roig, D. Gómez-Barquero y N. Cardona, "Propagation Model Calibration for DVB-SH in Terrestrial Single Frequency Networks", *Proc. IEEE EuCAP*, Barcelona, España, 2010.
- [13] F. Camaró, D. Gómez-Barquero, J. Puig y N. Cardona, "Desarrollo y Aplicaciones de un Visualizador de Televisión Digital," *Jornadas Telecom I+D*, Madrid, España, 2009.