Herramienta de Planificación de Redes de TV Móvil DVB-H/SH

Jorge Martín, Ariana Salieto, David Gómez Barquero, Gema Roig, Alexis P. García y Narcís Cardona

***Abstract* — Este artículo presenta la herramienta de planificación de redes de TDT móvil DVB-H (*Digital Video Broadcast-Handhelds*) y DVB-SH (*Digital Video Broadcast-Satellite Services to Handheld Devices*) desarrollada por el instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (iTEAM) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). DVB-H es el estándar europeo de TDT móvil, mientras que DVB-SH es la evolución tecnológica del mismo para transmitir contenido multimedia vía satélite. En este artículo se describe la estructura de la herramienta de planificación y sus funcionalidades. También se revisa la metodología a seguir para calcular el nivel de cobertura que ofrece la red, dada su configuración. Finalmente, se muestran ejemplos del funcionamiento de la herramienta, y de la utilización de algoritmos de planificación para obtener las configuraciones de red óptimas.**

I. Introducción

Dentro de las comunicaciones móviles multimedia, el máximo exponente a día de hoy es la TV móvil. Recientes estudios de mercado han revelado un gran interés por parte de los consumidores, y se prevé que la demanda de estos servicios explotará en 2011, con más de 500 millones de usuarios en todo el mundo. Aunque será necesario adaptar los contenidos al entorno móvil, la TV móvil permitirá ofrecer un servicio mucho más rico y personalizado que la TV convencional, con un abanico de nuevos servicios para los consumidores, proporcionando nuevas vías de negocio a todos los agentes de la industria audiovisual y de las telecomunicaciones.

Aunque los operadores de telefonía móvil han empezado recientemente a ofrecer servicios de TV móvil con sus redes de tercera generación 3G, el mayor potencial para proporcionar estos servicios lo representan las redes de Televisión Digital Terrestre (TDT) móvil. Sólo estas redes tienen las capacidades necesarias para soportar un consumo a gran escala de este tipo de servicios.

El estándar europeo de TDT móvil es conocido como DVB-H (*Digital Video Broadcast – Handhelds*) [1] el cual es una evolución adaptada para terminales móviles del estándar DVB-T (*Digital Video Broadcast – Terrestrial*) [2]. La evolución tecnológica de DVB-H para transmitir contenidos multimedia vía satélite, se conoce como DVB-SH (*Digital Video Broadcasting – Satellite Services to Handheld Devices*)[3]. Las principales características de DVB-SH son dos: una arquitectura híbrida terrestre satelital, y la transmisión en la banda S situada en torno a los 2 GHz, la cual está disponible a nivel europeo para este tipo de servicios.

El satélite es probablemente el medio ideal para distribuir una señal de TV a grandes audiencias cubriendo áreas extensas. Un único satélite geoestacionario es capaz proporcionar cobertura en todo el territorio europeo desde el mismo momento en el que el satélite está operativo[4]. La solución consiste en reforzar la señal procedente del satélite mediante una red terrestre de radiodifusión complementaria.

DVB-SH permite además el empleo de la forma de onda TDM para la componente satelital, la cual permite mayores potencias de transmisión en el satélite. Esto es debido a que las señales multiportadora como OFDM se caracterizan por una elevada potencia de pico, que impide que los amplificadores de alta potencia trabajen cerca del punto de saturación (en el cual la potencia transmitida es máxima) para evitar la aparición de distorsiones no lineales. Por otro lado transmitir con señales TDM permite que los amplificadores puedan trabajar más cerca del punto de saturación, lo cual representa una ganancia en potencia con respecto a OFDM y por tanto, un aumento en la cobertura de la componente satelital. Esta ganancia es significativa en aquellas configuraciones de carga para las cuales cada amplificador trabaja con una única señal DVB-SH, ya que en el caso de tener que trabajar con un múltiplex de señales DVB-SH moduladas en TDM es necesario bajar también el punto de trabajo.

La presencia de dos capas físicas aumenta las posibilidades de configuración del sistema, y da lugar a dos arquitecturas diferentes:

- Arquitectura SH-A: tanto la componente satelital como la componente terrestre emplean la forma de onda OFDM.
- Arquitectura SH-B: la componente satelital emplea la forma de onda TDM mientras que la componente terrestre emplea OFDM.

Tanto DVB-H como DVB-SH presentan una seria barrera para conseguir un mercado europeo de servicios de TV móvil: el elevado coste del despliegue de la red. Las condiciones de recepción de DVB-H/SH son mucho más severas que las de DVB-T, sobre todo para situaciones de recepción en interiores (*indoor*) y en automóviles (*vehicular*). En el caso de DVB-H el elevado coste de despliegue se debe a la gran infraestructura de red necesaria para proporcionar niveles aceptables de cobertura en entornos urbanos, ya que para entornos rurales el despliegue de red es inviable. Además DVB-H se encuentra con el problema adicional de la indisponibilidad de frecuencias a nivel europeo en su banda de operación. Sin embargo, para el caso de DVB-SH la componente satelital proporciona una cobertura base en todo el territorio, tanto urbano como rural, por lo que la componente terrestre se emplea para complementar la cobertura de la componente satelital en aquellas zonas donde la señal del satélite llegue muy debilitada, principalmente entornos urbanos.

Un aspecto fundamental para el éxito comercial de un sistema de comunicaciones móviles es la realización de una planificación eficiente de la red, ya a que esta planificación puede conllevar un ahorro considerable en el coste de despliegue, lo que puede afectar positivamente al precio del servicio final. Por lo tanto, realizar una planificación adecuada para minimizar el coste del despliegue de red es un aspecto crítico para no comprometer las posibilidades de DVB-H/SH de proveer servicios de TDT móvil a bajo coste.

Este artículo presenta la herramienta de planificación DVB-H/SH desarrollada por el Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (iTEAM) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). La estructura del artículo es la siguiente: en la sección 2 se describe la estructura de la herramienta de planificación desarrollada. En la sección 3 se explica la metodología a seguir para realizar la estimación del nivel de cobertura que proporciona una red, y se analiza la influencia de su configuración en la misma. La sección 4 realiza una descripción de los algoritmos de planificación que implementa la herramienta para determinar la configuración óptima de la red. Finalmente, en la sección 5 se describen las funcionalidades de la herramienta de planificación DVB-H/SH.

II. Herramienta de Planificación de Redes de TV Móvil DVB-H/SH

En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques de la herramienta de planificación DVB-H/SH del instituto iTEAM de la Universidad Politécnica de Valencia. La herramienta de planificación esta basada en ArcGIS, dado su gran potencial en elaboración y tratamiento de información geográfica. La herramienta permite realizar la planificación de una red DVB-H o DVB-SH y asegurar el cumplimiento de los requisitos del sistema en cuanto a niveles de cobertura y capacidad, a través de un intuitivo interfaz gráfico. La herramienta ha sido desarrollada de manera modular para facilitar futuras mejoras.

La herramienta de planificación tiene como entradas de diseño los mapas del escenario de despliegue, que incluye un mapa digital del terreno (MDT), un mapa de alturas de los edificios y un mapa de *clutter* (rios, zona residencial, zona comercial, etc.). También se debe indicar la posición de los posibles emplazamientos de la red, así como las posibles configuraciones de los transmisores (rangos de potencia, tipo de antena, rango de tilt, etc.) y del satélite (tipo de antena, potencia transmitida, etc.). Por ultimo, se debe introducir un mallado de puntos de test del escenario de despliegue.

A partir de estos parámetros de entrada la herramienta calcula las pérdidas de propagación de cada uno de los posibles emplazamientos y del satélite, teniendo la posibilidad de elegir entre una serie de modelos de propagación aplicables a la banda de frecuencias del sistema. La herramienta implementa los modelos de propagación de Xia-Bertoni, Walfish-Ikegami y Okumura-Hata para el cálculo de las pérdidas de DVB-H. También se ha implementado un modelo que calcula las pérdidas de propagación según la fórmula de Hata y añade pérdidas debidas a la difracción según el modelo de difracción de Deygout. Para la componente terrestre de DVB-SH se implementa el modelo de propagación de Walfisch-Bertoni y Xia-Bertoni puesto que son modelos aplicables a la banda S. Finalmente, para la componente satelital de DVB-SH se ha desarrollado un modelo de propagación para satélites geoestacionarios que incluye las pérdidas por espacio libre, por gases, lluvia y por difracción múltiple y final. La resolución de las pérdidas dependerá del mallado de puntos de test. Una característica muy importante es la posibilidad de ajustar estos modelos mediante la utilización de medidas de campo, a partir de la cuales es posible calibrar los parámetros de los modelos para obtener una estimación de las pérdidas más exacta.

El bloque de modelo de cobertura calcula la cobertura de una configuración de red, empleando las pérdidas obtenidas y los parámetros de entrada referentes al modo de transmisión escogido. El cálculo de cobertura emplea un modelo de combinación de señales, debido a que la señal total recibida se corresponde con la suma ponderada de varias señales provenientes de distintos transmisores.

Por último, el bloque de planificación determina la configuración óptima de la red (posición de los emplazamientos, potencia transmitida, configuración de las antenas, etc.). Esta decisión se toma en base a ciertos criterios u objetivos, como pueden ser minimizar el coste de despliegue de red, obtener un máximo nivel de cobertura o minimizar la interferencia. El coste de despliegue de red dependerá principalmente del número de emplazamientos utilizados y de la potencia transmitida y será diferente para cada una de las tecnologías. Para decidir los parámetros de la red se utilizan algoritmos de planificación, los cuales hacen uso de los resultados del bloque del modelo de cobertura y emplean los datos provenientes del bloque de modelo de coste.

III. Estimación del Nivel de Cobertura

Uno de los aspectos más importantes en la planificación de cualquier tipo de red es la estimación del nivel de cobertura que proporciona. El cálculo de la cobertura proporcionada se divide en dos partes. En primer lugar, se debe estimar las pérdidas de propagación que experimenta la señal entre el transmisor y el receptor y, en segundo lugar, modelar el comportamiento del receptor frente a la señal recibida y definir la superposición de señales.

A. Cálculo de las pérdidas de propagación

Para determinar la atenuación que sufre la señal se debe especificar un modelo de propagación terrestre para DVB-H y el segmento terreno de DVB-SH y un modelo de propagación satelital para el segmento satélite de DVB-SH. Los modelos de

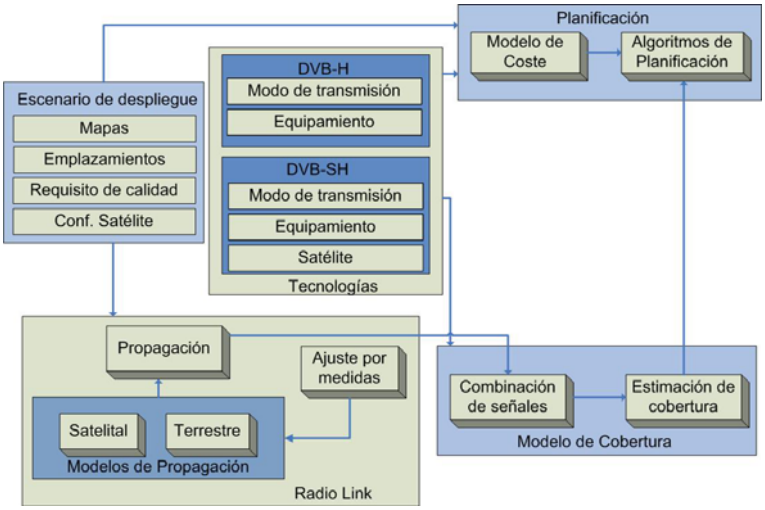


Fig. 1. Estructura de la herramienta de planificación DVB-H/SH.

propagación deben tener en cuenta los mecanismos propios de cada tipo de canal. De este modo, la propagación terrestre está caracterizada por mecanismos como la reflexión y la difracción en edificios, mientras que en el segmento satelital se deben tener en cuenta, adicionalmente, mecanismos propios del tipo de canal como puede ser la absorción de la atmósfera, que depende en gran medida de la posición del satélite y del receptor, o la difracción producida por los árboles.

La herramienta de planificación contempla la utilización de varios modelos de propagación terrestre y un modelo de propagación satelital. Los modelos de propagación terrestre utilizados dependerán de la frecuencia de operación del sistema. De este modo, para DVB-H, que opera en la banda UHF (entre 470 y 862 MHz) los modelos de propagación utilizados son el modelo de propagación de Okumura-Hata [5], el modelo de propagación de Xia-Bertoni [6] y el Walfish-Ikegami [7]. También se ha desarrollado un modelo de propagación basado en la fórmula de Hata que añade pérdidas de difracción en edificios según el método de difracción de Deygout [8].

El modelo de propagación de Okumura-Hata realiza los cálculos de propagación de forma empírica en función del tipo de entorno de propagación (urbano, semiurbano o rural). Por otro lado, tanto el modelo de propagación de Xia-Bertoni como el de Walfisch-Ikegami las pérdidas de propagación se expresan como la suma de las pérdidas de espacio libre, las pérdidas por difracción desde la terraza hacia la calle y las pérdidas debido a múltiples difracciones sobre edificios.

La aplicabilidad de cada modelo de propagación depende varios factores, como pueden ser el tipo de escenario de despliegue, la frecuencia de operación del sistema o la altura de la estación transmisora. Esta última consideración es de gran importancia puesto que la altura de los emplazamientos de las redes DVB-H/SH variará considerablemente en función de si el transmisor es común de *broadcast* o *gap-filler*. En el primer caso el transmisor se encontrará a gran altura, mientras que en el segundo caso es transmisor tendrá una altura comparable a la de los edificios. De este modo, los modelos de propagación de Xia-Bertoni, Walfisch Ikegami y Okumura-Hata con difracción son apropiados para entornos urbanos en los cuales el transmisor se encuentra a una menor altura o en el caso de transmisores muy altos pero que se encuentran muy alejados del escenario de despliegue. El modelo de propagación de Okumura-Hata se utiliza cuando la altura del transmisor es muy alta en comparación con la altura de los edificios. También se utilizará para entornos rurales o para cuando no se disponga de información detallada del escenario de despliegue.

Por otro lado, los modelos de propagación que la herramienta utilizará para la componente terrestre de DVB-SH son el Xia-Bertoni y el Walfisch-Bertoni [9], ya que contemplan frecuencias contenidas en la banda S (de 2 a 4 GHz). La utilización de frecuencias más elevadas que para el caso de DVB-H conlleva mayores pérdidas de propagación, las cuales empeoran el balance de potencias y disminuyen la cobertura proporcionada por los transmisores. Sin embargo, el hecho de trabajar con frecuencias elevadas permite conseguir mayores ganancias de antena en terminales de tamaño reducido. Para conseguir buenos rendimientos de antena es necesario que el tamaño de la misma sea similar a la longitud de onda de la señal recibida, lo cual sí sucede trabajando con terminales móviles en banda S. De este modo, mientras que la ganancia de antena de un terminal DVB-H es de unos -7 dB para 700 MHz [1], en un terminal DVB-SH a 2.2 GHz pueden alcanzare unas ganancias de antena desde los -3 dB hasta los 4 dB dependiendo del tipo de terminal [3].

Para hallar la cobertura proporcionada por el satélite en el escenario de despliegue se ha desarrollado un modelo de propagación y se ha introducido en la herramienta de planificación. Este modelo de propagación incluye pérdidas por espacio libre, por gases, lluvia y difracción múltiple y final (Figura 2). Los cálculos se realizan en función de la elevación del satélite respecto al terminal móvil, puesto que, tal y como se muestra en la Figura 3 dependiendo de este ángulo habrá o no visión directa y se considerará un tipo de difracción u otra. De este modo, en la Región 1 se tiene en cuenta difracción múltiple (perfil de edificios) y final (último edificio), en la Región 2 se calculan las pérdidas debidas a la difracción final y en la Región 3 se realiza un análisis de las condiciones de visión directa para determinar si se tiene en cuenta difracción o no. En esta última región, la existencia de LOS dependerá del entorno, así como de la existencia de árboles en los alrededores del terminal móvil [10].

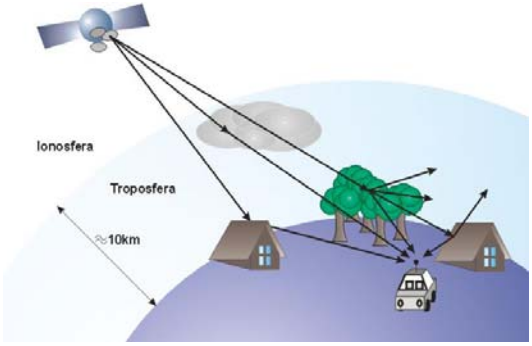


Fig. 2. Mecanismos de propagación del segmento satelital.

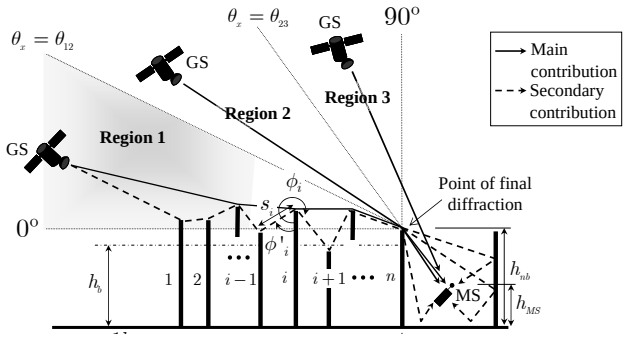


Fig. 3. Geometría usada en el algoritmo del satélite para el cálculo de pérdidas por difracción.

Finalmente, se debe tener en cuenta que hay condiciones supuestas por los modelos de propagación que en la realidad no se cumplen, como puede ser la distribución de las calles (que los modelos de propagación suponen uniforme) o la altura de los edificios. Para conseguir mejores resultados se debe adaptar el modelo de propagación elegido a un entorno en particular y a una frecuencia determinada, ajustando algunos de sus parámetros del modelo en base a medidas de campo. La herramienta de planificación dispondrá de un módulo que permite ajustar los parámetros de los modelos de propagación en base a los resultados de campañas de medida.

B. Modelo de receptor y combinación de señales

Para determinar la cobertura proporcionada por una red dada su configuración, es necesario estimar la calidad de la señal recibida en cada punto de test del escenario de despliegue en términos de la relación señal a interferencia más ruido, o *Signal-to-Interference plus Noise Ratio* (SINR). El nivel de cobertura se suele definir como el porcentaje de localizaciones cuya SINR supera un valor mínimo conocido como requisito de CNR (*Carrier-to-Noise Ratio*). Este requisito depende del modo de transmisión y del tipo de recepción. El umbral de CNR es diferente para DVB-H y DVB-SH, ya que la capa física de DVB-SH introduce numerosas mejoras con respecto a DVB-H. Estas mejoras le permiten obtener un mejor rendimiento disminuyendo el umbral de C/N necesario para una correcta recepción de la señal. DVB-SH substituye el codificador Reed Solomon y el codificador convolucional de DVB-H por un turbocodificador. También sustituye los entrelazadores de capa física de DVB-H por un entrelazador capaz de proporcionar mayores duraciones de entrelazado. Ambas mejoras suponen una ganancia de en torno a 6 dB con respecto a la capa física de DVB-H.

Una característica importante de DVB-H y DVB-SH, es que, gracias a la modulación COFDM, se tiene la posibilidad de implementar SFNs (*Single Frequency Networks*) en las cuales todos los transmisores emiten la misma señal a la misma frecuencia[11]. Por ello se necesita modelar el comportamiento del receptor frente a varias contribuciones de la misma señal, cada una retardada y atenuada de forma distinta. También es necesario realizar la predicción de la potencia recibida en el área de servicio debida a cada uno de los transmisores y *gap-fillers* de la red.

Para DVB-SH, en el caso de implementar una arquitectura SH-A se puede tener dos tipos de escenarios: SH-A SFN, en las cuales no es posible introducir contenido local, y SH-A MFN. En los escenarios SH-A SFN la señal proveniente del satélite se considera como la de un repetidor pero que experimenta unas condiciones de propagación distintas que son propias del canal satélite. Por otro lado, en los escenarios SH-A MFN se dispondría del mismo contenido sobre distintas portadoras.

La herramienta de planificación deberá, dada una serie de contribuciones, hallar el retardo con que cada una de ellas llega al receptor. Este retardo depende del tipo de transmisor, ya que tanto en DVB-H como en DVB-SH se tendrá, por un lado, transmisores que reciben la señal de una red independiente para posteriormente modularla COFDM y transmitirla (transmisores sincronizados) y, por otro lado, *gap-fillers* que reciben la señal de la propia red. Los *gap-fillers*, a diferencia de los transmisores sincronizados, reciben la señal de la propia red DVB-H/SH, la amplifican y la retransmiten a la misma frecuencia. La principal ventaja que presentan es que son una solución de menor coste debido a la sencillez del equipamiento. Sin embargo, la ganancia máxima está limitada por el aislamiento entre las antenas transmisora y receptora con el fin de evitar oscilaciones debidas al acoplo producido entre ellas. En DVB-SH, además, los *gap-fillers* podrán recibir la señal del satélite. Por lo tanto la herramienta debe determinar a qué contribución se sincroniza el receptor (que depende de la técnica de sincronismo implementada) y el retardo relativo entre el instante de sincronismo y el de llegada de la señal proveniente del resto de transmisores terrestres y del satélite.

En SH-B se utilizan dos demoduladores diferentes para la señal del satélite y de la red terrestre. La combinación se puede llevar a cabo antes de la decodificación FEC (*Selective Combining*), pero es recomendable realizarla después del mismo, de forma que se pueda transmitir información con codificación y entrelazado distintos para el segmento terrestre y el satelital para obtener cierta ganancia al combinar las contribuciones. A esta técnica de combinación se la conoce como *Code Combining*.

IV. Algoritmos de Planificación DVB-H/SH

La planificación de red de DVB-H/SH es, en cierta medida, similar a la planificación de red de DVB-T. Sin embargo, requiere una metodología diferente, ya que no se considera una recepción fija mediante antenas en los tejados, sino recepción móvil, con lo cual la infraestructura necesaria, y por lo tanto el coste de despliegue de red, es mucho mayor. Ante esta problemática surgen dos soluciones: reutilizar la infraestructura celular existente y utilizar *gap-fillers* como alternativa a los transmisores sincronizados.

La planificación de una red DVB-H/SH consistirá por tanto, en decidir, dado conjunto de emplazamientos posibles (caracterizados por su posición, altura, máxima potencia transmitida, aislamiento en caso de ubicar un *gap-filler* etc.) y una frecuencia de operación conocida, qué emplazamientos utilizar, el tipo de emisor (transmisor o *gap-filler*), así como su configuración individual (especialmente la potencia transmitida, pero también el tilt y azimut de la antena transmisora, a qué emisor enganchar el *gap-filler*, etc.). Por lo general, el objetivo de la planificación es proporcionar un nivel mínimo de calidad de la señal sobre el área de servicio (cobertura) minimizando el coste de despliegue de red. Para realizar una planificación DVB-SH adicionalmente se debe calcular la cobertura que proporcionará el satélite para, posteriormente, realizar la planificación de la red terrestre.

Debido a las numerosas combinaciones posibles, el problema de planificación de red se traduce en un complejo problema combinacional en el que es imposible estudiar todas las configuraciones de red posibles, por lo que es imprescindible utilizar algoritmos de planificación con un coste computacional aceptable. Se ha estudiado el comportamiento de dos técnicas de optimización multiobjetivo: los algoritmos genéticos, concretamente el NSGA-II (*Non-Dominated Sort Genetic Algorithm version 2*) y el *Simulated Annealing*.

Los algoritmos genéticos (GA) se basan en los mecanismos de selección de la naturaleza por los que los individuos más aptos de una población son los que sobreviven. El objetivo de la optimización es encontrar configuraciones de red que minimicen el coste de despliegue de red en función del nivel de cobertura. El algoritmo genético consigue un amplio abanico de soluciones, por lo que puede ser utilizado para un despliegue progresivo de la red.

El *Simulated Annealing* (SA) es una variante de la búsqueda local, que permite movimientos hacia estados que representan soluciones peores, y de esta manera evitar quedar atrapado prematuramente en un óptimo local. El objetivo del SA es encontrar la configuración de red que alcance el objetivo de cobertura y que minimice el coste de despliegue de red.

V. Funcionalidades de la Herramienta de Planificación DVB-H/SH

En esta sección se detallarán las diferentes funcionalidades que implementa la herramienta de planificación descrita en este artículo. En primer lugar, la herramienta debe permitir la inserción y posterior manejo de la cartografía para realizar los cálculos de propagación. La cartografía necesaria para DVB-H y DVB-SH es la altura de terreno (*DTM, Digital Terrain Model*), altura de edificios, *clutter* de zonas (zonas residenciales, parques, ríos...) y un *clutter* de árboles, de especial interés en el caso de la propagación satelital. La fiabilidad de los cálculos de propagación depende fundamentalmente de la resolución de la cartografía, puesto que ésta limita la resolución del cálculo de las pérdidas de propagación, que influye considerablemente en el cálculo de cobertura y en última instancia en los resultados de los ejercicios de planificación.

Una vez definida la cartografía que se va a utilizar en los cálculos, se define los transmisores que forman la red. Mediante la herramienta se puede especificar la posición de los emplazamientos, y los parámetros característicos de los transmisores, que dependen del tipo de transmisor. Los diferentes tipos de transmisores considerados son [3]:

- Transmisores comunes de *broadcast*, Tr(a), que reciben la señal en banda base a través de una red independiente (enlace terrestre o red digital) para posteriormente modularla, amplificarla y transmitirla.
- Repetidores no regenerativos o *gap-fillers*, Tr(b), que reciben la señal de la propia red, y la retransmiten a la misma frecuencia tras amplificarla. En DVB-SH esta señal se puede recibir de un transmisor terrestre o del satélite.
- Transmisores móviles, Tr(c), que se ubican en medios de transporte de alta velocidad y reciben y amplifican la señal proveniente de la red de distribución. Estos transmisores pueden ser regenerativos o no regenerativos.

La principal ventaja de utilizar *gap-fillers* es que tienen menor coste y complejidad, ya que su equipamiento e instalación son más sencillos. Sin embargo, los *gap-fillers* presentan varias restricciones técnicas (acoplo entre la antena transmisora y la receptora, ecos en la señal amplificada, etc.), que se deben tener en cuenta para garantizar un correcto funcionamiento. Además, las potencias transmitidas son en general menores que las de los transmisores sincronizados, principalmente para evitar problemas de realimentación.

En el caso de DVB-H, los transmisores serán transmisores comunes de broadcast o *gap-fillers* que reciben y amplifican la señal proveniente de la propia red DVB-H. Tanto para DVB-H como para DVB-SH, los parámetros que caracterizan los transmisores sincronizados son la posición del emplazamiento donde se ubican, la altura la potencia transmitida y la configuración de la antena (ganancia máxima, diagrama de radiación, tilt y azimut). Por otra parte para introducir un *gap-filler* también se debe caracterizar la antena receptora y el aislamiento entre ésta y la antena transmisora, ya que determina, junto al nivel de potencia recibida, la ganancia máxima del *gap-filler*[12]. El aislamiento entre antenas se parametriza en

función de la separación entre antenas, situación de éstas, diferencia de azimut, etc., teniendo en cuenta las características del entorno en el que se realiza la planificación.

La Figura 4 muestra el interfaz gráfico de la herramienta junto con la definición de todos los parámetros característicos de los diferentes tipos de transmisores. Posteriormente se debe definir las propiedades del satélite. Para ello se necesita conocer su posición y su huella satelital, la cual determina la potencia transmitida por el satélite en cada punto. Finalmente se elige el modelo de propagación que se utilizará para el cálculo de pérdidas de la componente terrestre del sistema y se determina el tipo de recepción y sus características.

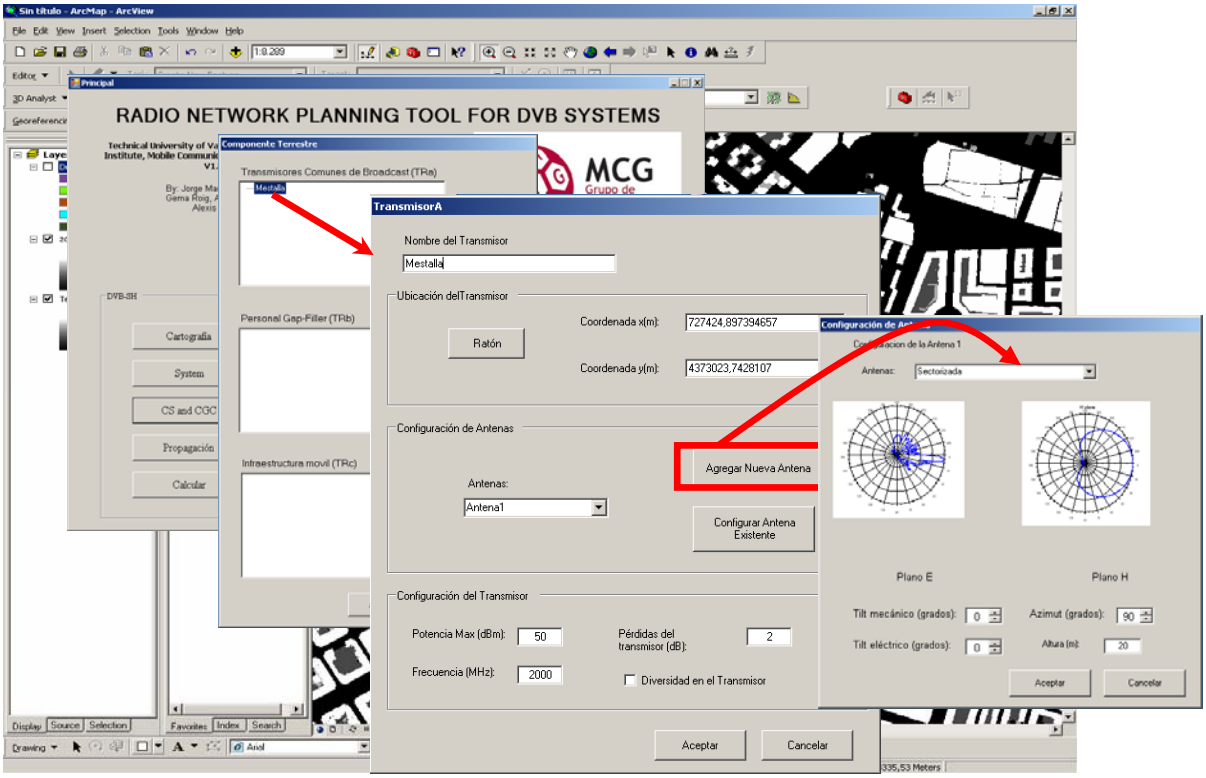


Fig. 4. Interfaz gráfico de la herramienta y definición de los transmisores.

La herramienta de planificación utiliza toda la información descrita anteriormente para realizar diversos cálculos, como pueden ser la potencia recibida de cada transmisor, la potencia recibida de la SFN formada por una serie de transmisores o la cobertura proporcionada por la red. La Figura 5 muestra la SINR de la señal recibida de una SFN formada por el satélite y dos transmisores a una potencia de 40 dBm. Finalmente, el nivel de cobertura de la red es el número de puntos que superan el umbral de SINR requerido para el modo de transmisión utilizado. La Figura 6 muestra los puntos en los cuales la red proporciona cobertura (rojo), para una modulación QPSK 1/3 y recepción *pedestrian outdoor*. La Figura 7 muestra las pérdidas de propagación calculadas para el satélite.

Para garantizar la máxima fiabilidad de los cálculos, los modelos de propagación se deben ajustar al entorno en el que se realiza la planificación de la red y a la frecuencia de la misma. Es muy importante, por tanto, calibrar los parámetros característicos en base a medidas. La herramienta dispone de una funcionalidad capaz de realizar este tipo de ajuste, con lo cual disponiendo de medidas a la frecuencia de operación de DVB-SH se podría ajustar los modelos de propagación disponibles y obtener así mejores resultados.

Finalmente, los resultados de cobertura obtenidos se utilizan para calcular la configuración óptima de la red. En este caso, la herramienta determina aquellas configuraciones que proporcionan cierto nivel de cobertura a un mínimo coste. Para ello se utiliza, tal y como se ha explicado en la sección IV, dos algoritmos de planificación basados en dos técnicas de optimización diferentes: algoritmos genéticos y la técnica del *Simulated Annealing*. Como resultado de los algoritmos se obtiene, en primer lugar, el coste mínimo de despliegue de red en función de la cobertura que proporciona y, en segundo lugar, la configuración que proporciona dicha cobertura a un mínimo coste. La Figura 7 muestra una comparativa de los resultados obtenidos mediante un algoritmo de planificación basado en el *Simulated Annealing* y un algoritmo basado en el NSGA-II para DVB-H, empleando tanto transmisores sincronizados como *gap-fillers* de potencia variable y optimizando el azimut de las antenas transmisoras de los *gap-fillers*. Se observa como el SA es capaz de obtener mejores soluciones que el algoritmo genético, ya que es capaz de “escapar” de los óptimos locales y encontrar el óptimo global, también es debido a que el SA se fija en una única cobertura objetivo y el GA se fija un gran rango de coberturas. Finalmente, en la Figura 8 se muestra la configuración

óptima de red para DVB-H, obtenida mediante el *Simulated Annelaing*. Se ha marcado con un símbolo rojo la situación de los transmisores sincronizados y con un símbolo verde la situación de los *gap-fillers*. Las líneas negras indican el transmisor sincronizado al que se engancha el *gap-filler*, los *gap-filler* que están enganchados a la torre de TV no tienen ninguna línea.

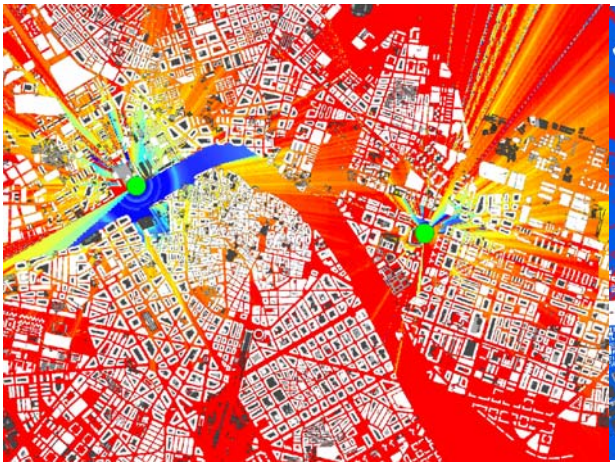
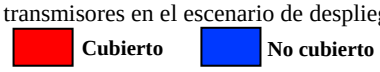


Fig. 5. Distribución de la SINR (dB) proporcionada por el satélite y dos transmisores, en la ciudad de Valencia.

Fig. 6. Cobertura proporcionada por el satélite y dos transmisores en el escenario de despliegue.



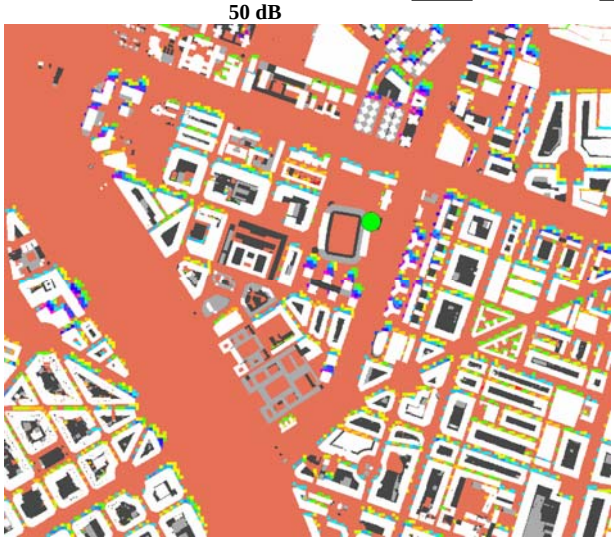
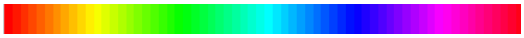


Fig. 7. Pérdidas de propagación calculadas para el satélite.



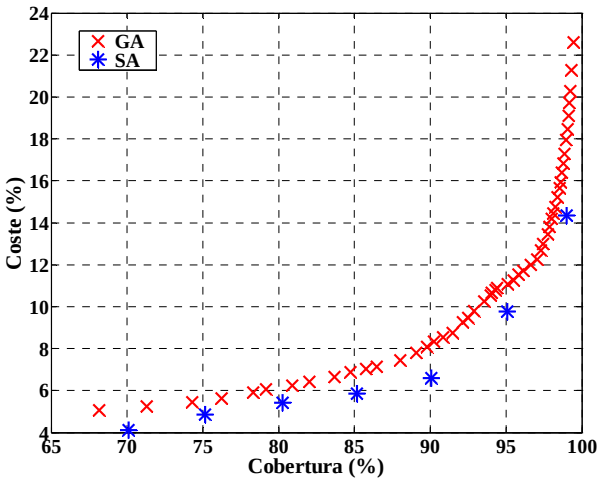


Fig. 7. Coste de despliegue vs. Cobertura. QPSK 1/2.

Fig. 8. Distribución de la SINR (dB) para una cobertura del 95% obtenido con el SA.

VI. Conclusiones y líneas futuras

En este artículo se ha presentado una herramienta de planificación de redes DVB-H y DVB-SH. Esta herramienta permite, dada una configuración de la red (ubicación de los emplazamientos y del satélite, tipo de transmisores y su configuración, frecuencia de operación, modo de transmisión etc.), obtener la cobertura que proporciona utilizando varios modelos de propagación y del receptor. Los modelos de propagación pueden ser ajustados en base los resultados de campañas de medidas. La herramienta también permite obtener, mediante la utilización de técnicas de optimización, las configuraciones de red que proporcionan cierto nivel de cobertura a un mínimo coste de despliegue de la misma.

El trabajo futuro consiste en mejorar y ampliar las funcionalidades de la herramienta:

- Calibrar y verificar, mediante resultados de campañas de medidas, los modelos de propagación en la banda de frecuencias de DVB-SH.
- Realizar medidas con el fin de validar el modelo de propagación satelital.
- Dotar a la herramienta de un simulador dinámico. Se trata de una herramienta capaz de simular un gran número de usuarios en movimiento dentro de un área de servicio dada con una red DVB-H/SH desplegada o hipotética, y de evaluar la calidad del servicio percibida por los usuarios al moverse por el escenario de despliegue.

Agradecimientos

Este trabajo 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@.

Bibliografía

[1] ETSI, TR 102 377 v1.2.1, "*Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-H Implementation Guidelines*", November 2005.

[2] ETSI, EN 300 744 v1.5.1, "*Digital Video Broadcasting (DVB); Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Terrestrial Television*", November 2004.

[3] ETSI, A120, "*Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-SH Implementation Guidelines*", May 2008.ç

[4] D. Gozálvez, D. Gómez-Barquero and N. Cardona, "*Transmisión de Servicios de Televisión Digital Móvil en Redes DVB-SH"*, Jornadas Telecom I+D, Valencia, España, 2007.

[5] Okumura, Y.; Ohmori, E.; Kawano, T. and Fukuda, K.: "*Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service*" (Japón: Re. Elec. Com. Lab., vol. 16, pp. 825-873, 1968).

[6] H. H. Xia, H. L. Bertoni, "*Diffraction s.f. Cylindrical and Plane Waves by an Array of Absorbing Half-Screens*", IEEE Transactions on antennas and propagation. Vol. 40. No.2, February 1992.

[7] E. Damasso, Digital Mobile Radio: *COST 231 View on the Evalution to-wards 3rd Genaration Systems. Bruxelles: Final Report of the COST231. Project published by the Europian Comission* , 1998.

[8] J. Deygout, "*Multiple knife edge diffraction of microwaves,*" IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 14, July 1966.

[9] J. Walfisch and H.L. Bertoni, "*A theoretical model of UHF propagation in urban environments*", IEEE Transactions on Antennas Propagation Vol. 36, 1988.

[10] L. Rubio, N. Cardona, "Modeling of the vertical plane propagation for mobile satellite communication in urban environments", Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 26, No. 5, July 2000.

[11] J.H. Stott, "The how and why of COFDM", *EBU Technical Review*, winter 1998.

[12] D. Gómez-Barquero, A. Salieto, J. Martín and N. Cardona, "*Planificación y Despliegue de Redes de TDT Móvil DVB-H utilizando Gap-Fillers"*, Jornadas Telecom I+D, Valencia, España, 2007.