

Escuela de Ingeniería de Bilbao

TRABAJO DE FIN DE GRADO:

ESTUDIO PARA LA PLANIFICACIÓN DE REDES DE DIFUSIÓN SEGÚN EL ESTÁNDAR ATSC 3.0

Grado en Ingeniería en Tecnología de Telecomunicación

Autor
Xabier Botran Fernández

Director/Tutor
Pablo Angueira Buceta

Curso académico
2018/2019

Índice general

ÍNDICE GENERAL	2
RESUMEN TRILINGÜE	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	7
1 INTRODUCCIÓN	8
2 CONTEXTO	10
3 OBJETIVOS.....	12
3.1 OBJETIVOS PRINCIPALES	12
3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS	12
4 BENEFICIOS DEL PROYECTO	13
4.1 BENEFICIOS TÉCNICOS.....	13
4.2 BENEFICIOS ECONÓMICOS	13
4.3 BENEFICIOS SOCIALES	14
5 ESTADO DEL ARTE	15
5.1 ATSC 3.0	15
5.2 PLANIFICACIÓN DE REDES DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE	17
5.2.1 Aspectos generales de planificación	17
5.2.2 Planificación de redes MFN.....	19
5.2.3 Planificación de redes SFN	19
6 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	21
6.1 ESTUDIOS PREVIOS	21
6.2 RESUMEN DE METODOLOGÍA.....	21
6.3 DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS	22
6.3.1 Herramienta de cálculo de campo eléctrico: SPLAT!	22
6.3.2 Programa en Python para cobertura en redes SFN	22
6.4 EJEMPLO DE UNA SIMULACIÓN DE COBERTURA	24
6.4.1 Obtención del campo eléctrico: SPLAT!	24
6.4.2 Cálculo de estimación de probabilidad de cobertura en redes SFN: Python.....	27
6.5 DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS DE USO	30
6.5.1 Formatos de video para ATSC 3.0	30
6.5.2 Principales casos de uso.....	31
6.5.3 Requisitos de Bitrates	31
6.5.4 Escenarios de recepción.....	32
6.5.5 Parámetros de configuración.....	33
6.6 SERVICIOS ATSC 3.0 EN EL ESTADO DE IOWA	34
6.6.1 Red Actual.....	34
6.6.2 Configuración basada en ATSC 3.0	36
6.6.3 Simulaciones y Resultados	38
6.7 SERVICIOS ATSC 3.0 EN LA ZONA DE SAN FRANCISCO.....	39
6.7.1 Red Actual.....	40
6.7.2 Configuración basada en ATSC 3.0	41
6.7.3 Simulaciones y Resultados	43

6.8 DISCUSIÓN	45
7 DESCRIPCIÓN DE TAREAS: GANTT	46
7.1 EQUIPO DE TRABAJO.....	46
7.2 DEFINICIÓN DE PAQUETES DE TRABAJO Y TAREAS	46
7.3 DIAGRAMA DE GANTT	49
8 RESUMEN ECONÓMICO.....	51
8.1 AMORTIZACIONES	51
8.2 HORAS INTERNAS.....	51
8.3 OTROS GASTOS	51
8.4 RESUMEN ECONÓMICO	52
9 ANÁLISIS DE RIESGOS	53
9.1 IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE RIESGOS	53
9.1.1 Recursos Humanos.....	53
9.1.2 Complejidad del algoritmo.....	53
9.2 MATRIZ DE PROBABILIDADES E IMPACTO.....	54
10 CONCLUSIONES	55
11 BIBLIOGRAFÍA.....	56
12 ANEXOS:.....	58
ANEXO 1: PAPER BMSB 2017.....	58

Resumen Trilingüe

Abstract: In this BsC final degree project, different configuration and network architecture settings for the standard ATSC 3.0 are studied. The work analyzes bitrate requirements, associated ATSC 3.0 modes and several network architecture options. Both calculations and minimum requirements of SNR have been analyzed and simulations in selected environments have been carried out. The field strength distribution of each transmitter have been obtained using SPLAT!. Afterwards, to estimate the coverage probability for each service, a toolbox coded on Python has been applied. By means of these simulations, some implementation guidelines for deploying ATSC 3.0 services are given for each selected scenario.

Resumen: En este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se estudiarán las posibles configuraciones del sistema y arquitectura de red para el estándar de ATSC 3.0. Se analizarán los requisitos de *bitrate* para la emisión de cada servicio (UHD, HD,...) además de las posibles planificaciones de redes. Una vez realizados los cálculos y obtenidos los valores de SNR mínimo necesarios, se empezará con las simulaciones en los diferentes entornos seleccionados. En primer lugar, se usará SPLAT! para obtener los valores de campo eléctrico de cada transmisor. Posteriormente, usando una herramienta codificada en Python, se obtendrán las estimaciones de cobertura para cada servicio. Mediante estas simulaciones se ofrecerán unas recomendaciones para la implantación del sistema ATSC 3.0 en los escenarios seleccionados.

Laburpena: Gradu Amaierako Lan (GrAL) honetan, ATSC 3.0 estandarrak barruan har ditzakeen konfigurazio ezberdinak eta sare arkitektura aztertzen dira. Igorri ahalko diren zerbitzurentzako (UHD, HD, ...) *bitrate* betekizunak eta sare-plangintza ezberdinak ikertuko dira. Behin eragiketak eta beharrezko SNR minimoak lortuta, hautatutako ingurune bakoitzerako simulazioekin hasiko da. Lehenengo eta behin, transmisore bakoitzak igorritako eremu elektrikoaren balioak lortzeko, SPLAT! softwarea erabiliko da. Ondoren, zerbitzu bakoitzerako estaldura zenbatespenak lortuko dira Pythonen kodetutako erreminta baten bidez. Simulazio hauen bitartez, ATSC 3.0 sistemaren ezarpenerako hainbat gomendio eskainiko dira.

Índice de figuras

IMAGEN 1: DISTRIBUCIÓN DE LOS SERVICIOS EN LA BANDA UHF EN 2015.....	8
IMAGEN 2: ARQUITECTURA POR CAPAS DE ATSC 3.0.....	15
IMAGEN 3: ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA A NIVEL DE LA CAPA FÍSICA.....	16
IMAGEN 4: MAPA DE LOS DIFERENTES ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL.....	17
IMAGEN 5: RED MULTIFRECUENCIA VS RED DE FRECUENCIA ÚNICA.....	20
IMAGEN 6: SINCRONIZACIÓN A LA SEÑAL MAS FUERTE.	23
IMAGEN 7: SEPARACIÓN DE LA POTENCIA DE LA SEÑAL ENTRE LOS COMPONENTES CONTRIBUYENTES Y INTERFERENTES	24
IMAGEN 8: PROCESO DE LA SIMULACIÓN EN TERMINAL	26
IMAGEN 9: RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL TRANSMISOR KNTV EN PPM	26
IMAGEN 10: SECCIÓN DEL ESTADO DE IOWA Y EJEMPLO DE MARCADORES.....	28
IMAGEN 11: COORDENADAS EN EL ARCHIVO .STUDY.....	28
IMAGEN 12: INFLUENCIA DE LOS TRANSMISORES EN LA SECCIÓN	29
IMAGEN 13: RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES DE ESTA SECCIÓN	29
IMAGEN 14: MAPA FÍSICO DEL ESTADO DE IOWA Y SU DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN	34
IMAGEN 15: DISPOSICIÓN DE LOS TRANSMISORES Y COBERTURA QUE OFRECEN ACTUALMENTE	36
IMAGEN 16: RESULTADOS DE ESTIMACIÓN DE COBERTURA EN IOWA.....	38
IMAGEN 17: DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN Y MAPA FÍSICO DEL ÁREA DE BAHÍA DE SAN FRANCISCO.....	39
IMAGEN 18: ÁREA DONDE SE VA A REALIZAR EL ESTUDIO DENTRO DE LÍNEAS NEGRAS.	40
IMAGEN 19: COBERTURA ESTIMADA PARA UHD SFN ROOFTOP (IZDA.) Y HD SFN PORTABLE INDOOR (DCHA.).....	44
IMAGEN 20: COBERTURA ESTIMADA PARA HD LOCAL ROOFTOP EN SAN FRANCISCO(IZDA.) Y SAN JOSÉ (IZDA.).....	44

Índice de tablas

TABLA 1: INTERVALO DE GUARDA Y DISTANCIA EQUIVALENTE ENTRE TRANSMISORES EN ATSC 3.0	19
TABLA 2: DATOS NECESARIOS PARA REALIZAR LAS SIMULACIONES.....	25
TABLA 3: BITRATE NECESARIOS CON HEVC (MBPS)	32
TABLA 4: BITRATE NECESARIOS CON SHVC (MBPS)	32
TABLA 5: BITRATE NECESARIOS CON AC-4 (KBPS).....	32
TABLA 6: REQUISITOS DE SNR (DB) PARA ESCENARIOS DE RECEPCIÓN DE ATSC 3.0.....	33
TABLA 7: BITRATE NECESARIO CON SHVC (MBPS).....	33
TABLA 8: DATOS DE TRANSMISORES PRINCIPALES.....	35
TABLA 9: DATOS DE TRANSMISORES SECUNDARIOS	35
TABLA 10: DIFERENTES OPCIONES DE PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN PARA EL SEGUNDO CASO DE USO	37
TABLA 11: VALORES DE CAMPO ELÉCTRICO MÍNIMO PARA LDM-SFN	37
TABLA 12: RESULTADOS DE EL ESTADO DE IOWA	39
TABLA 13: DATOS DE LOS TRANSMISORES	41
TABLA 14: PARÁMETROS DEL CONJUNTO DE SEÑALES LDM.....	41
TABLA 15: REQUISITOS DE SNR (DB) PARA ATSC 3.0	42
TABLA 16: CAMPO ELÉCTRICO MÍNIMO PARA LDM SFN LOCAL SERVICE INSERTION	43
TABLA 17: RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES EN CADA CASO	44
TABLA 18: EQUIPO DE TRABAJO	46
TABLA 19: AMORTIZACIONES DEL PROYECTO	51
TABLA 20: HORAS INTERNAS DEL PROYECTO	51
TABLA 21: OTROS GASTOS DEL PROYECTO.....	51
TABLA 22: RESUMEN ECONÓMICO DEL PROYECTO	52
TABLA 23: MATRIZ DE PROBABILIDAD E IMPACTO	54

Índice de acrónimos

ATSC	Advanced Television Systems Committee
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BICM	Bit-Interleaved Coded Modulation
CIESIN	Center for International Earth Science Information Network
CMR	Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
DVB-T	Digital Video Broadcasting-Terrestrial
EBU	European Broadcasting Union
EPT	Effective Protection Target
FDM	Frequency Division Multiplexing
FDM	Frequency Division Multiplexing
FEC	Forward Error Correction
FFT	Transformada Rápida de Fourier
HDR	High Dynamic Range
HEVC	High Efficiency Video Coding
HFR	High Frame Rate
IPTV	Iowa Public Television
ITM	Irregular Terrain Model
ITWOM	Irregular Terrain with Obstructions Model
k-LNM	k-Log-Normal Method
LDM	Layered Division Multiplexing
LDPC	Low-Density Parity-Check
LSI	Local Service Insertion
MFN	Multi Frequency Networks
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
MISO	Multiple-Input Single-Output
NTSC	National Television System Committee
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PAL	Phase Alternating Line
PBS	Public Broadcasting Service
PLP	Physical Layer Pipe
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RF	Radio Frecuencia
SFN	Single Frequency Network
SHVC	Scalable High Efficiency Video Coding
SISO	Single-Input Single-Output
SNR	Signal-to-Noise Ratio
WCG	Wide Color Gamut

1 Introducción

Los servicios de televisión digital comenzaron a implantarse en la década de los noventa, primero en Europa con DVB-T y servicios por satélite (DVB-S). Después, a finales de la década de los noventa, se estandarizó ATSC 1.0 en países de América del Norte. En los siguientes años estos servicios tuvieron una fase de despliegue escalonado lento, hasta que a finales de 2010, la gran mayoría de los países occidentales dejaron de emitir servicios analógicos. Con la desaparición de los servicios analógicos, se produjo una mejora en el aprovechamiento del espectro radioeléctrico.

Desde que se introdujo la televisión digital terrestre, la necesidad de mejorar los servicios audiovisuales ha sido determinante en su evolución. La demanda de servicios de mejor calidad se ha incrementado exponencialmente. Paralelamente, la demanda para ofrecer contenido multimedia en dispositivos móviles también se ha visto incrementada, principalmente para servicios como, video/audio bajo-demanda y Social Video. Todos estos servicios requieren de un *bitrate* considerable.

En los últimos años, existe una discusión por la repartición de los recursos del espectro entre servicios móviles y de televisión. En últimas CMR (Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones) se han empezado a realizar cambios en las atribuciones de frecuencias en la banda UHF, utilizadas tradicionalmente por servicios de televisión. En el año 2007, se realizó la asignación de la parte superior de esta banda (790-862MHz) para comunicaciones móviles. Posteriormente, en el año 2015, la ITU asignó la banda de 700 (694-790MHz) a servicios móviles, pero en un modo compartido con los servicios de televisión, siendo los dos servicios co-primarios. Siendo esto inviable en la realidad, la ITU decidió no realizar cambios en la banda en la próxima CMR-19, del año 2019. Sin embargo, ha incluido entre los temas a tratar en la siguiente edición de la CMR-23, en 2023, la discusión de las asignaciones de toda la banda UHF.

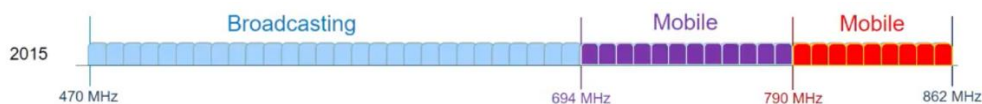


Imagen 1: Distribución de los servicios en la banda UHF en 2015

Por lo tanto, teniendo estos factores en consideración, en los últimos años se ha tratado de agrupar diferentes tecnologías en un nuevo estándar de radiodifusión digital terrestre. Para afrontar los posibles cambios en el futuro, este estándar de nueva generación adoptará muchas de las mejoras existentes en diferentes estándares actuales. Las principales características objetivo para este nuevo sistema de televisión digital son la flexibilidad y la escalabilidad.

El documento se organiza de la forma siguiente: El capítulo 2 presenta el contexto del proyecto, donde se analiza la evolución del estándar de televisión ATSC 3.0 y sus necesidades actuales. En los capítulos 3 y 4 se explica, por un lado, cuales son los

objetivos principales y secundarios que se desean lograr con este proyecto, y por otro, los beneficios técnicos, económicos y sociales que conlleva.

A continuación, en el capítulo 5, se realiza un estudio del estado del arte, donde se tratarán los conceptos principales que se desarrollan en este proyecto: ATSC 3.0 y diferentes estrategias de planificación de redes.

Después, en el capítulo 6, se detalla la metodología utilizada para la realización del TFG, con las distintas fases que se han llevado a cabo y los resultados que se han obtenido. También se define en el capítulo 7 la planificación, donde se indican los trabajos y tareas en los que se divide el proyecto, así como el diagrama de Gantt del TFG.

Por otro lado, en el capítulo 8 se realiza un resumen de los aspectos económicos del proyecto, donde se indican los gastos que ha tenido.

En el capítulo 9 se realizará un análisis de riesgos, donde se analizarán cuáles son los riesgos principales que podrían aparecer en el transcurso del proyecto, las consecuencias que tendrían y las medidas de contingencia que habría que tomar para tratar de evitarlas o minimizarlas.

Por último, en el capítulo 10, se describen las conclusiones principales obtenidas en este TFG.

2 Contexto

El ámbito de la radiodifusión se encuentra actualmente en pleno desarrollo. En estos últimos años, se está trabajando en nuevos estándares de televisión digital terrestre. Principalmente en la segunda generación de Digital Video Broadcasting - Terrestrial (DVB-T2), usado mayormente en Europa y la tercera versión de Advanced Television Systems Committee (ATSC 3.0), principalmente usado en Estados Unidos. En comparación con sus predecesores, estos estándares ofrecen mejoras significativas tanto en flexibilidad (en términos de configuración) como en variedad de servicios a ofrecer.

A finales del año 2011, ATSC formó el equipo de trabajo TG-3 con el objetivo de diseñar un nuevo sistema de radiodifusión de nueva generación. Para ello se realizó un “*Call for Inputs*”, invitando a diferentes instituciones y organizaciones a enviar propuestas, con la finalidad de especificar los requisitos con los que debería contar el nuevo estándar. Con estos requisitos, se definieron las capacidades del nuevo sistema, así como una guía para definir el paquete de estándares de ATSC 3.0.

Terminado este proceso, el nuevo sistema constara de aproximadamente 20 estándares. Cada uno incluirá diferentes tecnologías a cada una de las capas dentro del sistema (capa física, capa de aplicación o la capa de transporte).

Actualmente, a finales de 2018, el sistema ATSC 3.0 ya se encuentra estandarizado. Las primeras pruebas se desarrollaron en febrero del 2018, en Corea del Sur coincidiendo con la celebración de los Juegos de Invierno en Pyeongchang. Con el éxito en la implantación del sistema, la FCC (Federal Communications Commission) informó que permitiría la implantación de este nuevo estándar de televisión digital (Next Gen TV) en Estados Unidos.

Dentro del sistema, cada estándar dispondrá de sus propios parámetros técnicos definidos, con multitud de combinaciones posibles, cumpliendo así las exigencias establecidas por ATSC.

Para este proceso se necesitará realizar pruebas con los diferentes modos y codificaciones que proporciona los diferentes estándares. Se necesitarán definir escenarios para el despliegue de las redes y así abordar los retos asociados a una planificación, como puedan ser, dificultades geográficas o restricciones asociadas a la existencia de centros de transmisión.

Se necesitará efectuar un proceso de estudio para definir cuáles serán las recomendaciones para el despliegue de los diferentes servicios en cada entorno. Esto implicará decidir entre las diferentes arquitecturas de red disponibles, estudiar la compatibilidad del estándar con las estructuras existentes. Para cada uno de los

escenarios posibles, las necesidades asociadas a la planificación variarán ya que cada combinación de parámetros tendrá asociado un umbral de funcionamiento diferente.

Una vez el estándar está aprobado, se necesitará realizar un proceso de estudio para ofrecer una guía de uso y recomendaciones para que se puedan iniciar a diseñar redes comerciales.

Actualmente, están identificados distintos casos para la posible implantación del nuevo estándar, así como las posibles especificaciones técnicas del estándar, pero aunque ya empieza a haber equipamiento disponible, todavía no se dispone de ninguna guía de uso y recomendaciones para la planificación de cada caso.

Este TFG analizará las posibles configuraciones que ofrece el estándar, para proponer una guía de uso y recomendaciones en cada caso. Para esto se realizarán simulaciones en los escenarios propuestos.

3 Objetivos

En este capítulo se analizan los objetivos principales y secundarios de este TFG.

3.1 Objetivos principales

El objetivo principal de este TFG es proponer unas recomendaciones para posibles configuraciones del sistema y arquitectura de red para el estándar de ATSC 3.0, teniendo en cuenta parámetros de planificación (diferentes entornos y bajo diferentes suposiciones), con el fin de mejorar el servicio existente y optimizar el espectro radioeléctrico.

3.2 Objetivos secundarios

Para conseguir el objetivo principal anteriormente mencionado, se deberán superar primero una serie de objetivos secundarios:

- Estudio y análisis del estándar de ATSC 3.0 para proponer las configuraciones adecuadas para cada escenario propuesto.
- Proponer y analizar las arquitecturas de red más eficientes desde el punto de vista de la energía en el espectro y la cobertura, tanto en área como en población cubierta.
- Proponer una metodología de planificación que sea aplicable a cualquier otro escenario donde se quiera implantar el estándar.

La consecuencia de todos estos objetivos se basará en simulaciones de cobertura obtenidas mediante la herramienta de simulación SPLAT! Esta herramienta es de código abierto y permite realizar simulaciones con modelos de propagación ITM o ITWOM.

4 Beneficios del proyecto

Este capítulo recoge los beneficios que conlleva la realización del proyecto. Pueden clasificarse en técnicos, económicos y sociales.

4.1 Beneficios técnicos

ATSC 3.0 es un estándar bastante nuevo. Por eso mismo, un beneficio tecnológico que aporta este TFG es el de proponer una posible metodología para la planificación y posterior análisis de redes que usan este estándar, con las nuevas tecnologías que incluye, por ejemplo, OFDM o LDM. El conjunto de tecnologías que se agrupan en este estándar permite dar servicio a diferentes tipos de receptores (móviles, fijos,...) de una manera eficiente y flexible.

Por eso, el hecho de analizar las diferentes posibilidades que ofrece el estándar, y a la vez tener que adecuarlos a los diferentes casos de estudio, hace que las simulaciones y resultados adquieran un valor añadido, relevantes técnicamente.

4.2 Beneficios económicos

Los beneficios económicos están estrechamente relacionados con las simulaciones. En primer lugar, se realizará un análisis para seleccionar el modo adecuado entre todos los que ofrece el estándar para, a continuación, realizar una simulación de cada uno de los casos de estudio. De cada una de las simulaciones se obtendrán resultados y conclusiones, para finalmente poder identificar posibles optimizaciones en la planificación de la red. Estos procesos hacen que los posteriores estudios que se puedan realizar se vean disminuidos, con el ahorro económico que ello puede suponer.

Además, las simulaciones permiten, desde el ordenador, recrear diversos escenarios que se podrían dar, para posteriormente trasladarlos a la realidad mediante prácticas de campo y mediadas. Para estas últimas se necesitan varios recursos, como, por ejemplo, equipos de alto coste y personal técnico. En consecuencia, el coste de realizar unas prácticas de campo y medidas es superior al coste de simular casos específicos desde el ordenador. Haciendo previamente varias simulaciones, las mediadas de campo pueden verse disminuidas, con el ahorro económico que ello conlleva.

En definitiva, haciendo varios análisis en el ordenador, pueden verse distintos casos de uso y sacar conclusiones. De esta manera, tal vez haya prácticas de campo y medidas que no merezca la pena realizar, porque se ha visto en las simulaciones que los resultados no son los que se desean.

4.3 Beneficios sociales

Además de beneficios en los aspectos técnicos y económicos, este proyecto puede conllevar también un beneficio social. El hecho de poder ofrecer una metodología de cómo realizar unas simulaciones del nuevo estándar ATSC 3.0, una vez elegidos los parámetros oportunos, o tener disponibles unos casos básicos de aplicación donde estos parámetros han sido elegidos y simulados, podrían aprovecharse para la estimación de nuevos casos.

De esta manera, al tener ya una herramienta que realiza una estimación del caso de uso, se facilita el trabajo a las personas que en un futuro se encarguen de realizar esa implementación.

5 Estado del arte

Este capítulo presenta el estudio del estado del arte, en el que se abarcan dos conceptos principales. Para empezar, se hablará sobre ATSC 3.0, ya que es el estándar que se va a usar para realizar el estudio. Seguidamente, se hablará sobre la planificación de redes de televisión digital terrestre, aspecto clave para el desarrollo del TFG.

5.1 ATSC 3.0

ATSC (Advanced Television Systems Committee) ha estado trabajando en el desarrollo de un sistema de transmisión de televisión terrestre de nueva generación, con la intención de sustituir el estándar A/53 (ATSC 1.0), que llevaba más de 20 años en uso en USA, Canadá y Corea del Sur.

ATSC 1.0, precisamente, fue el primer sistema de televisión digital; creado para reemplazar el sistema de televisión analógica de color NTSC (National Television System Committee). La llegada de la televisión digital obligó a digitalizar todos los procesos, lo que implicó una renovación de todos los equipos.

Los objetivos de ATSC 3.0 son mejorar la experiencia a la hora de ver la televisión, con una mejor calidad de audio y video, una recepción mejorada y flexible, tanto para receptores móviles como fijos. Todo ello con personalización, accesibilidad e interactividad, siendo más eficiente y flexible en el uso del espectro.[1]

También intenta inculcar al consumidor a cambiar comportamientos y preferencias a la hora de ver la televisión, proporcionando contenido multimedia de la TV en una gran variedad de dispositivos. ATSC está trabajando en nuevos modelos de mercado, sin la restricción de tener que ser compatible con anteriores sistemas.

El trabajo en el sistema ATSC 3.0 ha sido dividido en tres capas funcionales: capa física, capa de transporte y capa de aplicación y presentación. En la Imagen 2 se pueden observar dichas capas. La intermedia, aunque agrupada a efectos de organización, está compuesta por dos capas. [3]

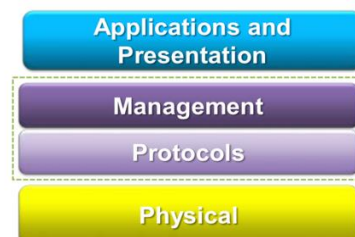


Imagen 2: Arquitectura por capas de ATSC 3.0

La estructura de la capa física de ATSC 3.0 comienza con un símbolo de arranque, conocido como *bootstrap*. Esta señal proporciona sincronización e información básica de la tecnología usada en la propia capa física, como, por ejemplo, alertas de emergencia y ancho de banda del servicio [5]. Este símbolo de arranque, es extremadamente robusto, posibilitando su recepción en condiciones muy exigentes. Esta estructura es el mecanismo del que dispone ATSC 3.0 para posibles extensiones del estándar en el futuro. Dispone de su propio estándar, diferente que el estándar para el resto de la televisión. Tiene un ancho de banda idéntico al utilizado en las señales de redes celulares (6MHz).

Seguidamente, viene el preámbulo, conocido como *preamble*. El preámbulo, transporta información necesaria para estructurar la carga o *payload* contenida en la estructura. El resto de la estructura de la capa física será la propia carga. Un esquema de la estructura se puede observar en la Imagen 3. Esta estructura es idéntica a utilizada por DVB-T2.

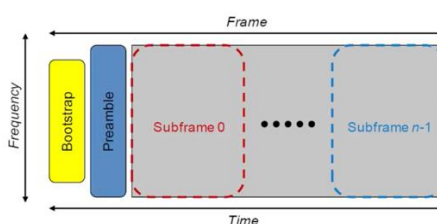


Imagen 3: Esquema de la estructura a nivel de la capa física

Con la incorporación de los recientes avances en modulación, codificación, corrección de errores, constelaciones y multiplexación, hacen que la capa física de ATSC 3.0 ofrezca un gran abanico de puntos de funcionamiento en la cadena BICM (bit interleaver, coding and modulation), muy cercanos al límite de Shannon (límite teórico de cantidad de información capaz de transportar en un medio ruidoso). [1]

La capa física de ATSC 3.0 está desarrollada a partir de los fundamentos de la modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) con potentes códigos de corrección de error lineal LDPC (Low-Density Parity Check). Asimismo, soporta seis formas de modulación, desde QPSK hasta 4096QAM. De igual manera, existen soporte para tres modos de multiplexación para los PLP (Physical Layer Pipes): tiempo (TDM), frecuencia (FDM) y potencia (en dos niveles, LDM). Estos pueden ser combinados en tres tipos de estructuras: SISO (Single-Input Single-Output), MISO (Multiple-Input Single Output) o MIMO (Multiple-Input Multiple Output).

La capa física soporta doce longitudes de intervalos de guarda diferentes (desde $\sim 27\mu\text{s}$ hasta $\sim 700\mu\text{s}$) y tres tamaños de FFT: 8k, 16k y 32k. Estos parámetros ofrecen una fuerte protección contra ecos en un canal de 6MHz de ancho de banda.

ATSC 3.0 permite la decodificación de hasta 4 PLP por servicio, posibilitando la separación de diferentes componentes (video, audio y metadatos) indiferentemente de la configuración de robustez de cada uno. El máximo de los PLP en un canal (6, 7 y 8MHz) es de 64. En cuanto al *bitrate* mínimo y máximo alcanzable en un canal de 6MHz son 1Mbps y 57Mbps. [3]

La capa de transporte de ATSC 3.0 utiliza el encapsulamiento del protocolo de Internet (IP) tanto para transmitir contenido como para la entrega de archivos, en vez de

la encapsulación (TS) de MPEG-2, usada el anterior estándar. Esto permite a la radiodifusión ser parte de Internet y crear nuevos servicios y modelos de mercado. [1]

El transporte IP permite la incorporación de servicios híbridos donde componentes de los servicios puedan ser transmitidos por radiodifusión y banda ancha de manera que puedan ser sincronizados y combinados en un nuevo servicio. [4]

La capa de aplicación y presentación abarca desde la codificación de audio y video hasta la accesibilidad. Con los actuales avances en codificación de video en HEVC/H.265, ATSC 3.0 dispone de la capacidad de ofrecer contenido 4k o ultra-alta definición (UHD). La diferencia en el video, se aprecia principalmente a nivel de píxel. Esta nueva codificación incorpora las posibilidades de añadir mejoras a la imagen, por ejemplo, mejor rango dinámico (HDR), mejora en la corrección de color, 10 bits por píxel en vez de 8 y mayor número de fotogramas por segundo (HFR), llegando a más de 120Hz. [1]

En cuanto al audio, el nuevo estándar de ATSC 3.0 traerá más posibilidades para el espectador, como la posibilidad de personalizar los elementos de audio, como pueden ser los diferentes modos dependiendo del momento o el lugar (entre otros, bed-mode o full-mode, dependiendo si estamos en un ambiente tranquilo o viendo un concierto en casa, por ejemplo), VDS (Video Description Service) para poder tener comentarios si el espectador es invidente y la posibilidad de ofrecer el contenido en diferentes idiomas, siendo distribuidos en un flujo separado del principal. Todo esto se consigue al implementar las tecnologías de los sistemas de compresión AC-4 y MPEG-H, que proporcionan una mejora media del 50% en la eficiencia de compresión.

En resumen, ATSC 3.0 supone un gran paso adelante en la difusión de sistema de televisión. Proporciona flexibilidad al diseñador para planificar su red y ofrecer nuevos servicios. El estándar está diseñado con vistas a futuro, con los conceptos de flexibilidad, extensibilidad y escalabilidad en el núcleo del sistema con la intención de proporcionar una evolución elegante para futuras necesidades.

5.2 Planificación de redes de televisión Digital Terrestre

5.2.1 Aspectos generales de planificación

Las estrategias de gestión del espectro radioeléctrico a la hora de planificar una red de televisión digital han variado mucho desde que se introdujo la televisión digital para reemplazar a la televisión analógica. En el mundo existen diferentes estándares para la transmisión de televisión digital, como se puede ver en la Imagen 4. De los existentes, los más relevantes para este TFG son DVB-T y ATSC.

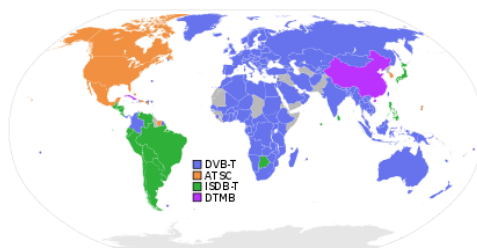


Imagen 4: Mapa de los diferentes estándares de televisión digital.

Por un lado, DVB-T2, desarrollado por el proyecto DVB, es la segunda generación del estándar publicado en la década de los noventa, DVB-T [7]. DVB-T2 (Digital Video Broadcasting Terrestrial, 2nd gen.) [8] fue publicado por primera vez en el año 2009 y es uno de los sistemas de televisión digital más avanzados del mundo, ofreciendo mayor robustez y flexibilidad. Soporta servicios SD, HD, UHD, televisión móvil/portátil o cualquier combinación de estas opciones.

Como su predecesor y la mayoría de los sistemas de transmisión terrestres modernos, DVB-T2 hace uso de modulación COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex). Este tipo de modulación, que usa un gran número de subportadoras, permite el envío de señales robustas, capaces de soportar condiciones de canal exigentes. Esto es posible gracias a una serie de características técnicas que hacen de este estándar un sistema muy versátil, como, por ejemplo [3]:

- Cuatro opciones de modulación (QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM).
- Siete opciones de intervalo de guarda (GI).
- Opciones de tamaño de FFT de 1k, 2k, 4k, 8k, 16k y 32k.
- Cinco tasas de FEC (Forward Error Correction), con la novedad de las técnicas heredadas de DVB-S2 [9], como son LDPC (Low Density Parity Check) combinado con BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquengham), incrementando la robustez de la señal.
- *Bitrate* mínimo y máximo (6 MHz): 5.6 Mbps y 38Mbps.
- Constelaciones rotadas mejorando la robustez en los canales con degradaciones altas (multitrayecto, operaciones en redes SFN,...).

Usando diferentes combinaciones de los parámetros anteriores, se puede llegar a diseñar una red DVB-T2 acorde a las necesidades del operador de red, llegando a un compromiso entre robustez y capacidad.

Por otro lado, ATSC 1.0, fue impulsado por el grupo encargado del desarrollo de los estándares de la televisión digital, ATSC (Advanced Television Systems Committee), para sustituir la televisión analógica en Estados Unidos. Este estándar ha sido adoptado en diferentes países de América del Norte (EE.UU., Canadá, México) y Corea del Sur.

El estándar ATSC define sus formatos de emisión en función del número de líneas de la imagen y la forma en que las líneas se presentan en la pantalla. El sistema ATSC utiliza un canal de 6MHz que permite la transmisión a una tasa neta de 19Mbps para canales de transmisión terrestre. Un canal convencional de televisión se compone de video (MPEG-2 como sistema de compresión/codificación), audio (sistema de compresión Dolby AC-3) y datos complementarios (publicidad interactiva, subtítulos,...)

La característica más propia del estándar ATSC está basada en dos partes. La codificación del canal y la modulación 8-VSB. La modulación en banda lateral vestigial de 8 niveles, proporciona una alta eficiencia espectral e inmunidad ante interferencias radioeléctricas. Es un sistema que permite utilizar los canales de televisión analógica

para transmitir múltiples programas de contenido digital, en el ancho de banda en un único canal de 6 MHz.

Todo el conjunto trabaja en base a algoritmos de codificación y decodificación adecuados a cada tipo de señal que se está transportando, con una cantidad de etapas dedicadas a la corrección de posibles errores. Esto evitará que aparezcan efectos fantasma originados por múltiples rebotes, ruidos irregulares, o degradaciones que se pudieran dar en el modelo de televisión analógica. [10]

Como se puede ver, los dos estándares, tienen unas diferencias técnicas evidentes, sobre todo en cuanto a la flexibilidad que ofrecen para emitir diferentes servicios de televisión digital. La mayor de ellas, y la más relevante para este TFG, se encuentra en la modulación. Uno usa COFDM y el otro 8-VSB.

5.2.2 Planificación de redes MFN

Antes de existir la tecnología con la que estos dos estándares disponen para la planificación de redes, la mayoría las estrategias de gestión del espectro radioeléctrico se apoyaban en las redes multifrecuencia o MFN. Estas redes heredaron la metodología usada para la difusión de servicios analógicos.

Las redes MFN (Multi-Frequency Network) son aquellas en las que cada transmisor emite contenidos que pueden ser parcial o totalmente independientes, haciendo uso de las frecuencias portadoras distintas. Existen dos tipos de redes MFN, redes multifrecuencia horizontales y verticales.

Por un lado, en las redes multifrecuencia horizontales, la difusión en diferentes áreas se realiza empleando frecuencias portadoras distintas. Esto permite que el contenido pueda ser o no el mismo (por ejemplo, para desconexiones locales.).

Por otro lado, las redes multifrecuencia verticales, permiten difundir en una misma área de servicio, diferentes contenidos en frecuencias portadoras distintas, con el objetivo de aumentar la capacidad. [11]

5.2.3 Planificación de redes SFN

Como se ha expuesto en el apartado anterior, el nuevo estándar ATSC 3.0, no solo implementa alguna de las opciones del estándar DVB-T2, sino que en algunos aspectos amplía las posibilidades para ofrecer una mayor flexibilidad a la hora de elegir una estrategia de gestión del espectro. De todas las novedades adquiridas, la implementación de OFDM junto con el uso de una estructura de transmisión de símbolos que incorporan intervalo de guarda (GI), son las más relevantes para la planificación de una red SFN.

El rango de intervalo de guarda (GI) de ATSC 3.0 se extiende hasta un máximo de aproximadamente 704 μ s para señales de un ancho de banda de 6MHz. Este valor permite realizar redes SFN con un valor máximo teórico entre transmisores de 210km (ver Tabla 1 para todos los casos relevantes). Este valor dependerá de las condiciones de propagación y de la arquitectura de la red.

	GI(μ s)	Distancia entre transmisores
Valor Máximo	704	210 km
Valor típico	224	65 km
Valor Mínimo	27,8	8 km

Tabla 1: Intervalo de guarda y distancia equivalente entre transmisores en ATSC 3.0.

Las redes de frecuencia única SFN (Single-Frequency Network), son aquellas en las que todos los transmisores de la red emiten en el mismo multiplex de forma distribuida y empleando la misma frecuencia portadora en toda el área de servicio, haciendo que tenga una eficiencia superior ya que la red entera usara un único canal de RF. Las redes SFN han sido usadas en países europeos desde que se dieron a conocer en el estándar DVB-T en el año 2002. [12]

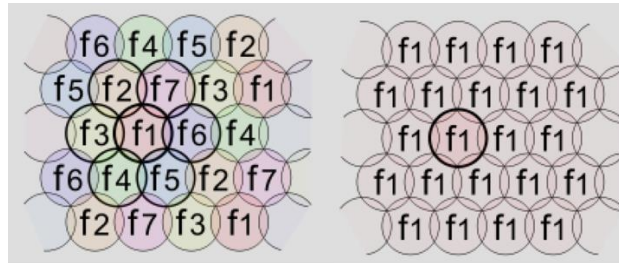


Imagen 5: Red multifrecuencia vs red de frecuencia única.

La operación en frecuencia única incrementa la complejidad de las condiciones de propagación, lo que introduce una cierta degradación incluso aun cuando todas las señales recibidas se encuentran dentro del intervalo de guarda. Con el uso de la modulación OFDM y la elección del intervalo de guarda adecuado, se pueden diseñar redes de frecuencia única para cubrir una región entera o para mejorar la cobertura en interiores, usando *gap-fillers*. [11]

Este modo de operación obliga a todos los transmisores a emitir el mismo contenido, con el inconveniente de que no es posible la inserción de contenidos locales [13]. Recientemente, una configuración basada en el uso de LDM (Layered Division Multiplexing) ha sido propuesta como solución, para ofrecer contenido local en redes SFN. [14]

LDM es una técnica de multiplexación incluida en el estándar de la capa física de ATSC 3.0. Estudios previos han demostrado tanto teórica como en la práctica que LDM es mucho más eficiente que los clásicos TDM (Time Division Multiplexing) y FDM (Frequency Division Multiplexing). [15]

Para realizar la planificación de una red de televisión terrestre, en la que se use una red SFN, una vez se ha seleccionado el umbral objetivo, es necesario un análisis más extenso.

Para el análisis de capacidades, tendremos que obtener un valor de campo eléctrico mínimo. Existen dos factores adicionales en el cálculo de la posible cobertura en una cierta ubicación dentro del área de servicio: La ganancia SFN (contribución de diferentes transmisores en una misma ubicación) y la posible interferencia dentro de la red SFN. [16]

En los casos de redes MFN, el campo eléctrico obtenido puede ser directamente comparado con el requerido técnicamente para determinar el área de cobertura de un tipo de servicio. Sin embargo, en redes SFN, debemos de realizar un proceso adicional. La metodología del proceso que siguen los servicios SFN, están basados en el proceso descrito en [17] y es analizado en el siguiente capítulo.

6 Descripción de la metodología

En este capítulo se detalla la metodología utilizada para alcanzar los objetivos propuestos en este TFG. Para ello se presentan distintos apartados con cada una de las diferentes fases, finalizando con los resultados de las simulaciones realizadas y las conclusiones obtenidas.

6.1 Estudios previos

En primer lugar, se han tenido que entender los conceptos teóricos que rodeaban al proyecto. Por lo tanto, en la primera fase se ha realizado el estudio del estado del arte.

Para ello se ha tenido que empezar definiendo cuales eran los conceptos importantes que había que analizar para poder desarrollar el TFG. Se han tenido que entender las principales características del nuevo estándar ATSC 3.0. Dentro del estándar, la capa física de este estándar se fundamenta en el sistema de transmisión OFDM, por lo que habrá que entender sus características (conceptos como la modulación, el intervalo de guarda...). También se han tratado de comprender el funcionamiento y los conceptos básicos de LDM. Por último, ha sido necesario estudiar las diferentes estrategias de gestión del espectro radioeléctrico (redes MFN y SFN), así como las diferentes particularidades que presentan cada una de ellas, ya que resulta de vital importancia para el desarrollo de este proyecto.

Comprendiendo que conocimientos eran necesarios para la realización de este TFG, se han tenido que realizar búsquedas en artículos, manuales o enlaces de Internet que traten sobre estos conceptos. Tras reunir cierta bibliografía, se ha procedido a estudiarla y asimilarla para adquirir las nociones necesarias para el desarrollo del proyecto

6.2 Resumen de metodología

Para empezar, antes de realizar cualquier simulación, se tendrán que analizar los posibles casos de uso que pueda ofrecer ATSC 3.0. Para ello se realizará un estudio de los requisitos de *bitrate* de cada uno de los codificadores de video, ya que los servicios que se van a transmitir en cada caso, fijarán después la capacidad de la configuración de la capa física.

Una vez expuestos los casos de uso y sus diferentes parámetros de configuración, se seleccionarán varios entornos en los que realizar las simulaciones. Estos entornos serán casos significativos para la futura implantación para el nuevo estándar.

Una vez seleccionados los escenarios y reunida toda la información necesaria, se realizarán las simulaciones. Para estas simulaciones se utilizarán dos herramientas:

SPLAT!, para calcular el campo eléctrico de cada transmisor en el área de estudio, y un paquete de software adicional, para el cálculo de probabilidad de cobertura en redes SFN. Este paquete adicional se implementará en Python.

Una vez finalizadas las simulaciones, se podrán estimar cual será la probabilidad de cobertura para cada escenario. Para realizar esta estimación, de las simulaciones se obtendrán los porcentajes de población con cobertura, así como el porcentaje de área bajo cobertura.

Al realizar el estudio de varios escenarios, siendo diferente el caso de uso utilizado en cada uno, una vez expuestas las herramientas utilizadas y los diferentes casos de uso, se abordarán los pasos para realizar las simulaciones de cada escenario por separado.

Para finalizar, se realizará un análisis de rendimiento del estándar en los entornos en los que se ha simulado, del cuales se podrán extraer conclusiones.

6.3 Descripción de las herramientas utilizadas

Una vez asimilados los conceptos teóricos necesarios, se necesitarán comprender las herramientas que se van a utilizar para realizar los diferentes estudios del TFG. El proceso para el cálculo de la probabilidad de cobertura consta de dos fases. Para alcanzar este objetivo, se necesitarán dos herramientas: una primera para obtener el campo eléctrico y una segunda para calcular la estimación de la probabilidad de cobertura en las redes SFN. Estas herramientas se describen en las secciones 6.3.1 y 6.3.2 respectivamente.

6.3.1 Herramienta de cálculo de campo eléctrico: SPLAT!

En primer lugar, se calcularán los mapas de distribución del campo eléctrico utilizando el software SPLAT! [19]. Esta herramienta proporciona al usuario varias funciones para el análisis de cobertura. SPLAT! se basa en el modelo ITWOM (Irregular Terrain with Obstructions Model) [20], recomendado por la FFC (Federal Communications Commission).

Esta herramienta necesitará dos tipos de datos para realizar los cálculos. Por un lado, se necesitará la estructura de RF del área de análisis, obtenida de la página web de la FFC disponible para el público [21]. Por otro lado, se precisará de los datos topográficos del terreno. Estos datos se obtendrán de STRM-3, matrices con un detalle del terreno de tres arco-segundos, correspondientes a la Space Shuttle STS-99 Radar Topography Mission [22]. Adicionalmente se necesitarán datos de la población, para calcular la cobertura de la población en el área de análisis. Para este análisis se usarán datos del CIESIN. [23]

Los resultados que se obtienen de estas simulaciones serán matrices con el campo eléctrico por cada pixel de área para cada uno de los transmisores.

6.3.2 Programa en Python para cobertura en redes SFN

Como se ha explicado en el anterior capítulo, a la hora de estimar la probabilidad de cobertura en una red SFN, a diferencia de en una red MFN, donde los resultados

obtenidos con el SPLAT! resultarán suficientes, es necesario realizar un proceso adicional.

En nuestro caso, este proceso adicional se realizará con un paquete de software desarrollado en Python. En este programa se implementará un método para el cálculo de la probabilidad de cobertura en una red SFN. El método de cálculo que implementara el programa se expone a continuación en la sección 6.3.2.1.

6.3.2.1 Método de cálculo

Como se ha expuesto en la sección 6.3.2, para calcular la probabilidad de cobertura de una red SFN, los resultados obtenidos de campo eléctrico de la herramienta SPALT! precisan de un análisis adicional.

Para este análisis se tomarán como punto de partida los resultados de SPLAT!, donde en forma de matrices obtendremos el campo eléctrico en cada píxel. En primer lugar, para cada píxel del área, se obtendrán las matrices de retardo en la propagación respecto a cada transmisor. En nuestro caso, la referencia en el tiempo estará asociada a la señal recibida con mayor nivel de potencia [17]. En la Imagen 6 se puede ver un ejemplo. Usando esta referencia, es posible identificar y calcular si las amplitudes de las señales procedentes de los demás transmisores están dentro o fuera del intervalo de guarda especificado.

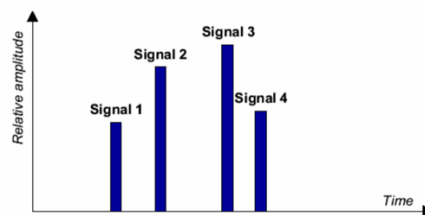


Imagen 6: Sincronización a la señal más fuerte.

Después del proceso de selección, todos los componentes contribuyentes e interferentes serán calculados. Este cálculo es el resultado de la suma de variables log-normales. Para este propósito, en nuestro estudio, utilizaremos el método k-LNM descrito en [18].

Como resultado se obtendrán dos matrices, una con el campo eléctrico contribuyente y otra con el campo eléctrico interferente. Con esta información y los requisitos de SNR objetivo que se han calculado, se podrá calcular la EPT (Effective Protection Ratio) para cada píxel y así poder estimar la probabilidad de cobertura. Esta estimación de cobertura incluye el porcentaje de píxeles cubiertos (lugares donde se excede el EPT) en el área de estudio [18]. Para entender mejor la separación en dos componentes, la Imagen 7 ilustra los diferentes componentes de la señal.

La EPT se define como una relación entre la potencia de las señales deseadas (componentes útiles dentro del intervalo de guarda (Δ en la Imagen 7) y los componentes útiles de los ecos que estén entre Δ y los componentes interferentes, T_p) y la suma de las potencias de ruido y las interferencias efectivas (componentes interferentes de los ecos entre Δ y los componentes interferentes (T_p) y los ecos fuera de T_p), en el umbral del sistema. Este valor sustituiría al SNR estático en los casos de redes SFN. [18]

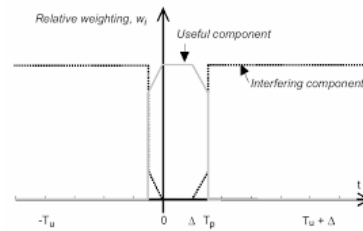


Imagen 7: Separación de la potencia de la señal entre los componentes contribuyentes e interferentes.

6.4 Ejemplo de una simulación de cobertura.

En el momento de realizar una simulación, se necesitarán llevar a cabo dos fases distintas. Con el objetivo de aclarar los pasos necesarios para completar una simulación, en esta sección se tratará de explicar estas dos fases. En primer lugar, se utilizará la herramienta de cálculo de campo eléctrico SPLAT! y después la herramienta implementada en Python, con la que se obtendrá una estimación de la probabilidad de cobertura de una red SFN.

6.4.1 Obtención del campo eléctrico: SPLAT!

SPLAT! es una herramienta utilizada para el análisis del terreno y propagación RF de software libre diseñada para operar en escritorios Unix y basados en Linux. En este caso los ejemplos se han realizado en Ubuntu 16.04. La herramienta, se manejará por línea de comandos o terminal de textos (Shell).

La herramienta dispone de infinidad de funcionalidades, como, por ejemplo, la visualización, diseño y análisis de enlaces de redes WAN, enlaces microondas, estudios de interferencia y coordinación de frecuencias, y determinación del contorno de cobertura de las regiones de radio y televisión terrestres anagógicas y digitales. Para todas las funciones de las que dispone la herramienta se puede consultar de manual de usuario [33].

Para el cálculo del campo eléctrico de un transmisor que se van a realizar en las simulaciones, se usará una pequeña parte de la aplicación. El procedimiento para la obtención del campo eléctrico será idéntico para todos los transmisores.

En primer lugar, se recabarán los datos que necesitará la aplicación para realizar los cálculos. Leerá los datos de entrada a través de un número de ficheros de datos. Estos ficheros se dividirán en dos grupos, los pertenecientes al transmisor y aquellos con información topográfica del terreno. Por comodidad, se recomienda separar estos grupos en sus correspondientes carpetas dentro del área de trabajo.

En el primer grupo, se agruparán los ficheros que describen las características físicas del transmisor, los parámetros de configuración de la antena y los parámetros de propagación. En el segundo, se almacenarán un número indeterminado de ficheros dependiendo del tamaño del área de estudio.

En este ejemplo, se realizarán las simulaciones para el transmisor KNTV. Este transmisor está ubicado en San Francisco. Una vez se ha recabado toda la información del transmisor (Tabla 2), se podrá empezar a rellenar los diferentes ficheros. Se ha utilizado en nombre común KNTV para todos los ficheros para facilitar la explicación.


Nombre	Frec. (MHz)	Localización	Latitud	Longitud	AGL (metros)	ERP (kW)	BeamTilt (°)	Tipo Antena	Diagrama de radiación
KNTV	207	Mount San Bruno	37.685	121.433	62.1	103.1	1.5	Directiva	

Tabla 2: Datos necesarios para realizar las simulaciones.

Para que la aplicación pueda identificar las características del transmisor, necesitará los ficheros *KNTV.qth* y *KNTV.lrp*. Además, al tratarse de un transmisor con antena directiva, la aplicación necesitará los ficheros *KNTV.el* y *KNTV.al* para los patrones de radiación.

En el manual de usuario disponible online [33], se pueden encontrar ejemplos de estos archivos y de su contenido específico en imágenes.

- Fichero *KNTV.qth*: La aplicación importará la información de la localización del transmisor. El archivo contiene el nombre de la estación, la latitud y longitud (en formato decimal) y la altura del transmisor sobre el nivel del terreno (AGL).
- Ficheros *KNTV.lrp* y *KNTV.scf*: La aplicación importará parámetros de Modelo Terreno Irregular (ITM), para determinar las pérdidas por trayectoria de RF, intensidad de campo, o nivel de la potencia de la señal recibida, ya sea en el modo punto-a-punto o predicción de área. En las simulaciones se usará el factor de probabilidad F(95,90), es decir, el 95% de las localizaciones recibirán una señal útil el 90% del tiempo. El segundo fichero se usará para representar una escala de colores en las simulaciones. Se aprovechará el incluido el del manual de usuario.
- Ficheros *KNTV.az* y *KNTV.el*: La aplicación importará de estos dos ficheros la información necesaria para los patrones de radiación de la antena, para los patrones en azimut y elevación respectivamente. Estos archivos deberán tener el mismo nombre base que el transmisor. Adicionalmente, en la primera línea de cada uno de ellos también se incluirá la rotación de la antena y la inclinación respectivamente. Los datos del patrón de radiación de cada transmisor están disponibles online [21].

En el segundo grupo, se incluirán los ficheros de los datos topográficos. La herramienta importará estos datos desde los archivos SDF. Los ficheros de datos pueden ser generados desde los archivos de datos SRTM y luego usar la utilidad *srtm2sdf* para convertirlos. Para más exactitud y resolución, se usarán los datos topográficos SRTM-1 Versión 2.1 [22]. Una vez en la página web [34], tendremos que seleccionar aquellos ficheros que se necesiten y transformarlos. (No cambiar los nombres generados al transformar los archivos)

Una vez organizados los ficheros, se podrán empezar a realizar simulaciones. Para ello se iniciará la terminal y nos ubicaremos en la carpeta donde tenemos los ficheros con las características del transmisor.

Para realizar la simulación, se tendrán que ejecutar una serie de comandos encadenados. En el comando se incluirán: en nombre del transmisor, la altura de la antena receptora, el directorio de trabajo con los mapas del área que se simulará, la

opción para que se genere un archivo compatible con Google Earth (.kml), el nombre del archivo que se generará con los resultados y el radio de simulación. La línea de código se puede ver a continuación.

```
splat -t KNTV.qth -L 10.0 -metric -o cobertura -d "/home/robot/Escritorio/TFG/SPLAT/Mapas/SFO"  
-kml -ano cobertura.txt -R 80
```

En la Imagen 8 se puede ver la ejecución de este comando en la terminal. Este proceso puede llevar cierto tiempo, dependiendo de la memoria RAM del ordenador y del radio de simulación.

```
---[ Welcome To SPLAT! v1.4.0 ]---  
Loading "/home/robot/Escritorio/TFG/SPLAT/Mapas/SFO/37:38:122:123.sdf" into page 1... Done!  
Loading "/home/robot/Escritorio/TFG/SPLAT/Mapas/SFO/36:37:121:122.sdf" into page 2... Done!  
Loading "/home/robot/Escritorio/TFG/SPLAT/Mapas/SFO/37:38:121:122.sdf" into page 3... Done!  
Loading "/home/robot/Escritorio/TFG/SPLAT/Mapas/SFO/38:39:121:122.sdf" into page 4... Done!  
Loading "/home/robot/Escritorio/TFG/SPLAT/Mapas/SFO/36:37:122:123.sdf" into page 5... Done!  
Loading "/home/robot/Escritorio/TFG/SPLAT/Mapas/SFO/38:39:122:123.sdf" into page 6... Done!  
Region "36:37:123:124" assumed as sea-level into page 7... Done!  
Loading "/home/robot/Escritorio/TFG/SPLAT/Mapas/SFO/37:38:123:124.sdf" into page 8... Done!  
Loading "/home/robot/Escritorio/TFG/SPLAT/Mapas/SFO/38:39:123:124.sdf" into page 9... Done!  
Computing ITWOM field strength contours of "KNTV"  
out to a radius of 80.00 kilometers with an RX antenna at 10.00 meters AGL...  
0% to 25% .o0o.o0o.o0o.o0o.o0o.o0o.█
```

Imagen 8: Proceso de la simulación en terminal

En este ejemplo, se ha considerado un radio de 80 kilómetros. En las demás simulaciones, este valor variará dependiendo de la distancia máxima entre transmisores. Antes de empezar la simulación, al cargar la aplicación los mapas topográficos, si no encontrara una zona, no marcará ningún error. La aplicación asumirá esa zona como una zona al nivel del mar. Esto puede ocasionar problemas, si el área de simulación es muy extensa y no se controla a que corresponde cada zona.

Una vez el proceso ha terminado, se obtendrán como resultado un archivo *cobertura.txt*, donde tendremos los valores de campo eléctrico por cada píxel y unos archivos KLM y PPM. Estos archivos representarán los resultados en imágenes, con una escala de colores, dependiendo de la intensidad del campo eléctrico en cada punto. Una vez concluido este proceso, se podrá realizar la segunda fase.

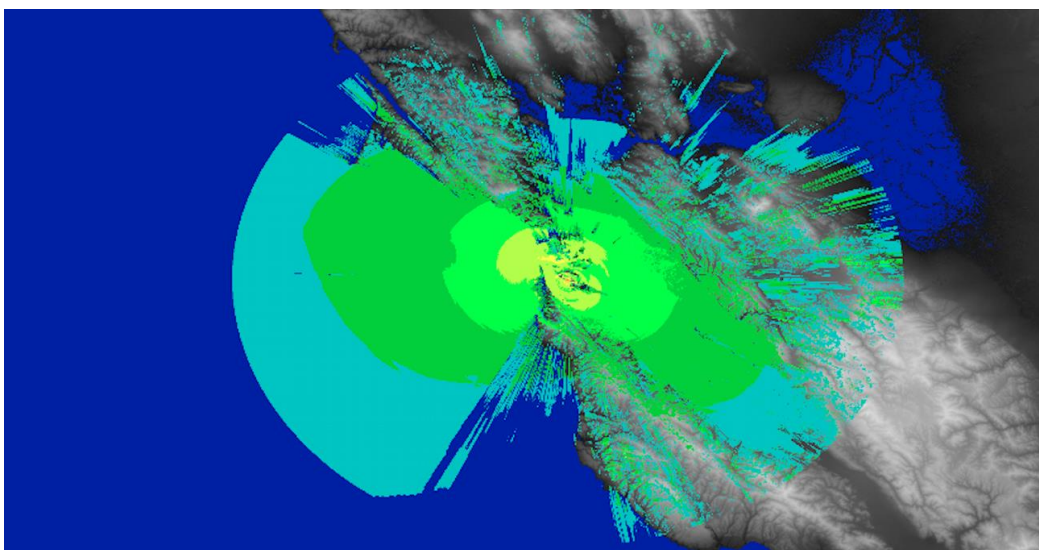


Imagen 9: Resultados obtenidos para el transmisor KNTV en PPM.

6.4.2 Cálculo de estimación de probabilidad de cobertura en redes SFN: Python

El método para el cálculo de la estimación de probabilidad de cobertura expuesto en la sección 6.3.2.1 implementado en Python necesitará varios archivos para realizar las simulaciones. Estos archivos necesarios serán:

- Los archivos QTH utilizados en la fase anterior, de cada transmisor en la zona en la que se va a realizar el análisis.
- Los archivos *cobertura.txt* correspondientes a cada transmisor en la zona de análisis.

(Con el fin de tener una herramienta lo más automática posible, estos dos archivos tendrán que estar relacionados. Para ello, estos ficheros tendrán la misma base: *txN.qth* y *coberturaN.txt*. Los transmisores en el área de análisis empezarán con $N=0$. Habrá un total de $N-1$ par de ficheros)

- Un archivo STUDY se encargará de agrupar los parámetros que varían en el cálculo de la probabilidad de cobertura. Se especificarán: el número de transmisores, la frecuencia, el tipo de receptor, la SNR objetivo, el tipo de antena y las coordenadas del polígono dentro del que se quiere realizar la simulación.
- Un archivo con los datos de la población TIF descargado del CIESAN [23]

Para tener esta fase bien organizada, se recomienda agrupar todos estos ficheros necesarios en una nueva carpeta.

En el fichero STUDY se tendrán que definir todos los valores para realizar la simulación. Estos datos se pueden obtener del estudio realizado para cada caso.

El proceso más laborioso en esta fase es el de obtener las coordenadas del polígono para realizar la simulación. Es una labor fácil pero tediosa. Las coordenadas tendrán que estar bien ordenadas para que no se produzcan fallos. Estarán ordenadas en sentido contrario de las agujas del reloj. Cuanto más difícil sea el área de estudio, y también, cuanto más cuidadoso se procure ser, se tendrán más coordenadas, haciendo más complejo el polígono.

Para este ejemplo, no se realizarán las simulaciones en el área de San Francisco. Se realizarán en una de las secciones del estado de Iowa, a fin de ser lo más genéricos posibles. Para realizar las simulaciones del área de San Francisco se necesitarán 23 coordenadas distintas.

Uno de los inconvenientes que presenta Python, es la incapacidad de trabajar con matrices de datos muy grandes. La herramienta necesita una librería especial (*Numpy*) para trabajar con múltiples matrices pero aun así, el tamaño soportado no es suficiente para cubrir todo el estado de Iowa.

Por esta razón, aprovechando que el estado de Iowa tiene una forma rectangular, se podrá dividir el estado en varias partes para realizar las simulaciones. En este ejemplo, se realizará la simulación de la parte superior izquierda de la sección noroeste

del estado (se muestra en la Imagen 10). Para definir correctamente la zona se necesitarán siete coordenadas.

Para obtener estas coordenadas se usará la herramienta incluida en Google Earth, *marcador de posición*. En la Imagen 10 se puede ver la división correspondiente a las cuatro partes de sección noroeste del estado y un ejemplo de cómo se obtendrían las coordenadas.

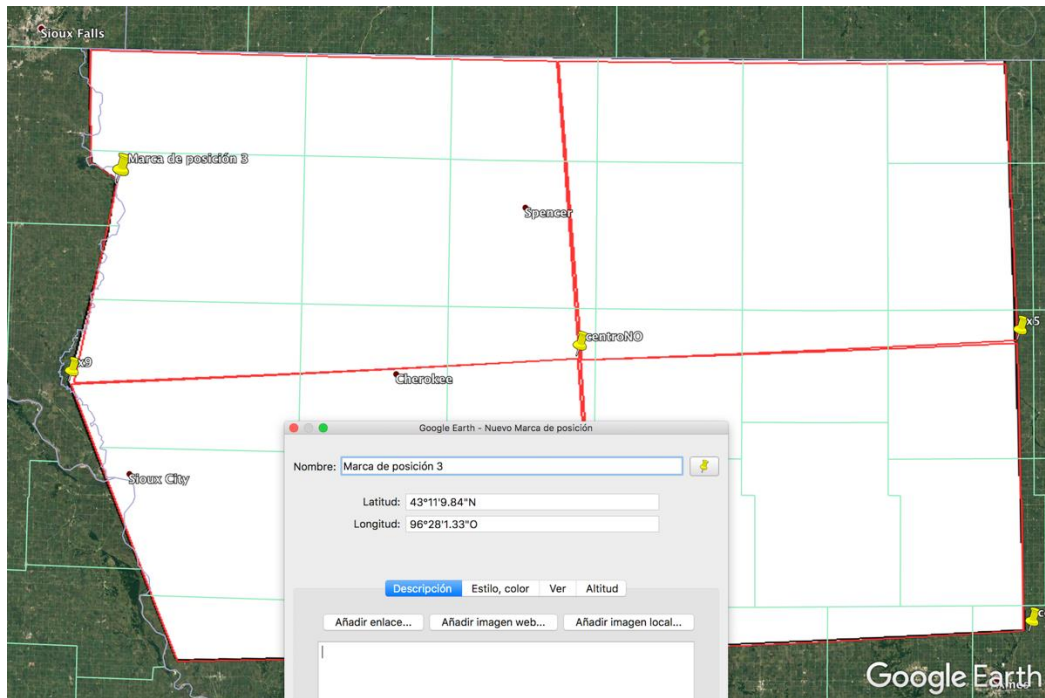


Imagen 10: Sección del estado de Iowa y ejemplo de marcadores

Estas coordenadas se obtendrán en el formato latitud/longitud, por lo que se tendrán que convertir a decimal para poder incluirlas en el fichero STUDY. Una vez se han obtenido y se han convertido a decimal, se podrán incluir todas en orden. En la Imagen 11 se pueden ver las coordenadas ordenadas en el fichero, listas para realizar las simulaciones de esta sección.

```
# En total son 9 coordenadas en el polígono límite del cuarto de estado
num_poly_points : 7
pol1_lat: 43.497786
pol1_lon: 96.58418
pol2_lat: 43.361975
pol2_lon: 96.563089
pol3_lat: 43.233044
pol3_lon: 96.551197
pol4_lat: 43.144105
pol4_lon: 96.477713
pol5_lat: 42.725525
pol5_lon: 96.627705
pol6_lat: 42.798653
pol6_lon: 94.974767
pol7_lat: 43.501
pol7_lon: 95.0578
```

Imagen 11: Coordenadas en el archivo .study

Al dividirse el estado en diferentes secciones más pequeñas, alguno de los transmisores de la red SFN no tendrán influencia en algunas zonas. En este punto, se realizará un análisis para determinar que transmisores tienen influencia en cada zona. Para ello, se usarán los resultados en forma de imágenes obtenidas en la primera fase.

Si se realiza este análisis, observaremos que en la sección seleccionada (resaltada con un fondo blanco) solo tienen influencia cuatro transmisores (K26JI, K43LX, KSIN y KTIN). En la Imagen 12 se puede observar la influencia de los transmisores sobre la sección a analizar.

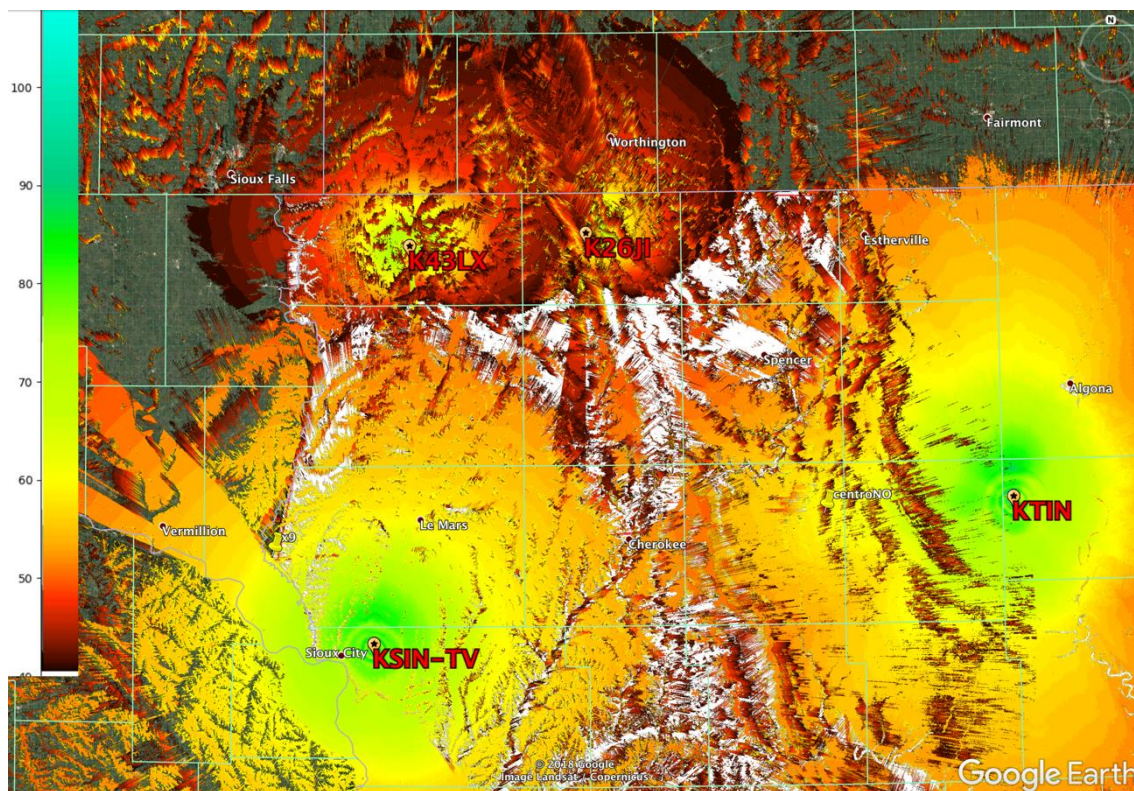


Imagen 12: Influencia de los transmisores en la sección

Por lo tanto, para realizar esta simulación se necesitarán los archivos de estos cuatro transmisores, además del fichero STUDY, el archivo en PYTHON y el fichero con la información de la población en formato TIF.

Una vez que estos ficheros estén en la carpeta, nos ubicaremos en ella en la terminal. Se ejecutará el fichero Python y si no aparecen errores por pantalla, se visualizarán los resultados por pantalla. Este proceso puede tener una duración de una hora, dependiendo del ordenador y la complejidad del polígono. Los resultados aparecerán por pantalla como se muestra en la Imagen 13.

```
KSIN
KTIN
K43LX
K26JI
Input file size is 43200, 17400
0...10...20...30...40...50...60...70...80...90...100 - done.
Total covered population: 65196.4014401 // Not covered population: 3840.27749293 // Porcentaje:
94.4373374382
Total covered area: 1003401.0 // Not covered population: 59434.0 // Porcentaje:94.4079748973
```

Imagen 13: Resultados de las simulaciones de esta sección

En estos resultados se pueden ver la cantidad de población cubierta y no cubierta, así como el área cubierta y no cubierta.

Además de estos resultados mostrados por pantalla, se obtendrán un archivo PNG con la cobertura conjunta y un archivo KML compatible con Google Earth, para poder visualizar los resultados.

6.5 Descripción de los casos de uso

En esta sección se analizarán los posibles casos de uso de los que ATSC 3.0 dispondrá. Los diferentes servicios de los que dispondrá el estándar fijarán después los requisitos de capacidad en la configuración de la capa física. Por lo tanto, se tendrá que realizar un análisis de los diferentes codificadores de bit.

6.5.1 Formatos de video para ATSC 3.0

Se pueden tener en cuenta varios formatos para los servicios que ofrecerá el sistema de radiodifusión de nueva generación ATSC 3.0.

Además de los servicios de definición estándar (SD) y la alta definición (HD), los servicios de ultra alta definición (UHD) son considerados como esenciales para mejorar la calidad de imagen ofrecida al usuario. Últimamente, la tendencia es aumentar la calidad del video y limitar el número de servicios SD emitidos. De todas maneras, para escenarios donde se dispone de un *bitrate* limitado, unos servicios SD robustos son deseables.

Por un lado, existen dos formatos para distribuir contenido SD: 720x576 (576i) distribuido por el sistema europeo PAL y el basado en el sistema americano NTSC, 720x480 (480i). Ambos formatos usan exploración entrelazada. Esta consiste en analizar cada *frame* (cuadro) de la imagen en dos semicuadros iguales denominados *field* (campos), de forma que las líneas estén relacionadas entre sí alternadamente por superposición.

Sin embargo, la EBU (Unión Europea de Radiodifusión) empezó a criticar estos formatos, debido a la pérdida de calidad que provocan. Si la imagen contiene detalles verticales, aparecerán zonas borrosas y sensación de parpadeo. Actualmente, esto se ha mejorado usando diferentes técnicas, como la repetición de cada *frame*.

Por otro lado, existen tres posibles formatos para la distribución de contenido HD, de los cuales, dos utilizan barrido progresivo: 1280x720 (720p) y 1920x1080 (1080p) y el tercero, exploración entrelazada: 1920x1080i (1080i). La mayoría de los estudios concluyen que el formato que mejor rendimiento muestra para la distribución de servicios en HD es 1080p. [24]

Finalmente, para UHDTV se han definido dos formatos: 3840x2160 (2160p o 4K) y 7680x4320 (4320p o 8K). Sin embargo el incremento en resolución espacial, como en el caso de 8K, no trae mejoras reales para dispositivos domésticos. El tamaño de las pantallas de televisión y la distancia entre TV y espectador, hacen que el incremento de HD a algunos formatos de UHD (8K) no sea realmente apreciable para el usuario.

Estos últimos formatos de UHDTV, disponen de técnicas para mejorar aspectos de la imagen, *Better Pixel*, como pueden ser HFR (Higher Frame Rate), WCG (Wider Color Gamut) o HDR (Higher Dynamic Range). Con la combinación de estas técnicas se obtienen imágenes más realistas, así como un color más natural y con más contraste.

6.5.2 Principales casos de uso

La demanda de servicios de gran calidad se debe en gran parte al aumento de los hogares en los que se dispone de una pantalla en la que se pueden ver tanto contenido en HD como en UHD. En consecuencia, en muchos países las empresas distribuidoras ya emiten servicios en HDTV, mientras se preparan para la futura implantación de servicios en UHDTV.

Asimismo, como el número de dispositivos móviles ha aumentado rápidamente, la difusión de contenido multimedia para estos se ha convertido en una de las máximas prioridades para los sistemas de radiodifusión de nueva generación. Además, en muchos países como Estados Unidos, muchos hogares no disponen de antenas en la azotea, sino que cada usuario utilizará un receptor directamente conectado a la TV. Por esta razón la recepción indoor es un escenario objetivo prioritario para los nuevos estándares.

Por esta razón, se considera deseable, que al menos los servicios SD se puedan recibir en casi cualquier situación, tanto en dispositivos móviles como en receptores indoor. De esta manera, si por cualquier circunstancia, la calidad de la señal disminuyera, imposibilitando la recepción del servicio en uso, se pudiera cambiar a un servicio de menor calidad sin interrupciones para el usuario.

En resumen, para el estándar ATSC 3.0 se han definido cuatro casos de uso principales:

1. Transmisión de al menos un servicio mejorado de UHDTV y/o varios UHDTV normales o servicios HDTV. Esta transmisión requiere un *bitrate* muy alto y, debido a esto, la robustez suele ser baja. Por esta razón, es únicamente recibida en condiciones de recepción muy buenas (antenas en la azotea).
2. Transmisión simultánea de un único servicio UHDTV o varios servicios HDTV, para ser recibidos en una antena fija en la azotea, y varios servicios HDTV o incluso servicios SD para recibirlos en dispositivos en movimiento y receptores en interiores.
3. Transmisión de un servicio UHDTV o varios HDTV para ser recibidos en receptores interiores, requiriendo una robustez mayor.
4. La transmisión simultánea de UHDTV y HDTV para ser recibidos en antenas en la azotea y dispositivos portátiles respectivamente, en un entorno de una red SFN. Además, cada transmisor de la red SFN, transmitirá simultáneamente contenido local (LSI) con un bajo *bitrate*.

En los cuatro casos, una parte mínima del *bitrate* deberá reservarse para transmitir servicios de audio robustos.

6.5.3 Requisitos de Bitrates

ATSC 3.0 utiliza HEVC (High Efficiency Video Coding) [25], como estándar de codificador de video, que supera ampliamente al anteriormente usado H.264/AVC [26]. Un resumen de los requisitos sugeridos de *bitrate* para cada servicio en HEVC se especifica en la Tabla 3.

En el caso de SDTV, ambos formatos requieren un *bitrate* similar. En el caso de HDTV, el formato con el que se ha obtenido mejor rendimiento es 1080p [24]. Finalmente, para servicios UHD TV, solamente se ha considerado la opción de 4K ya que el incremento de calidad para el usuario por parte de 8K es mínimo.

Calidad del servicio	Bitrate necesario
SD	0.8-1.8
HD (1080p)	2.0-3.5
UHD (4K)	15.0-20.0

Tabla 3: Bitrate necesarios con HEVC (Mbps)

Adicionalmente, en el caso de UHD TV, si se aplicaran las mejoras en las imágenes con las técnicas HFR, WCG o HDR, se produciría un incremento en el *bitrate*. Dependiendo de la combinación de mejoras que se quieran aplicar, el *bitrate* aumentaría hasta estar entre los 23.0 y 28.0 Mbps.

Asimismo, la versión escalable de HEVC, SHVC (Scalable High Efficiency Video Coding), mejora las necesidades en el *bitrate*. En comparación con H.264, este nuevo estándar puede reducir el ancho de banda necesario para transmitir servicios HD en un 50% y en el caso de servicios UHD, en un 60%. Como el esquema de SHVC está basado en la transmisión de dos capas de video codificadas (servicios HD en la capa base (BL) e información de adaptabilidad a UHD en la superior (EL)), se adapta perfectamente a la tecnología LDM, usada en el sistema ATSC 3.0.

La principal mejora de este nuevo estándar es la reducción de ancho de banda. De esta manera, se podrán ofrecer más programas o servicios con más calidad. En la Tabla 4 se agrupan los *bitrate* necesarios para cuando se considera SHVC.

Capa	Calidad de video	Bitrate necesario
Base	SD	0.8-1.8
	HD (1080p)	2.0-3.5
Realzadora	HD (1080p)	1.5-3.0
	UHD (4K)	10.0-15.0
	UHD (4K Mejorada)	18.0-23.0

Tabla 4: Bitrate necesarios con SHVC (Mbps)

Para los servicios de audio, ATSC 3.0 usa el sistema de audio AC-4, que proporciona una mejora en la compresión respecto a cualquier otro estándar. Este sistema soporta la entrega de contenido desde mono hasta Immersive Audio. La Tabla 5 muestra los requisitos de *bitrate* para cada nivel de calidad.

Calidad de Video	Bitrate necesario
Mono	24.0-40.0
Stereo	40.0-64.0
5.1	96.0-160.0
Immersive Audio	224.0-288.0

Tabla 5: Bitrate necesarios con AC-4 (Kbps)

6.5.4 Escenarios de recepción

Entre sus objetivos, ATSC 3.0 ha calificado como primordial el ofrecer recepción tanto fija como móvil (tanto para personas en movimiento, como para vehículos). Asimismo, los receptores pueden estar situados tanto en el exterior (*rooftop*) como en el interior de un edificio.

Teniendo esto en cuenta, y considerando todas las combinaciones posibles, se pueden definir cuatro escenarios de recepción [27]: portátil e indoor (PI), móvil e outdoor (MO), fijo e indoor (SI) y fijo e outdoor (SO). La diferencia entre cada

escenario es el requisito de SNR (Signal-to-Noise Ratio), que es completamente diferente. El tener un requisito diferente conlleva un conjunto de parámetros de configuración también diferentes.

En la Tabla 6 se muestran los cuatro escenarios potenciales y sus correspondientes requisitos para que se puedan recibir correctamente en función del SNR umbral (en un canal AWGN). [27]

Escenario de recepción	SNR requerida
PI	-6.0 - 1.5
MO	1.5 - 8.0
SI	8.0 - 14.0
SO	14.0 - 24.0

Tabla 6: Requisitos de SNR (dB) para escenarios de recepción de ATSC 3.0

6.5.5 Parámetros de configuración

Teniendo en cuenta el *bitrate* y los requisitos de SNR umbral, se pueden definir los parámetros de configuración apropiados para cada caso de ATSC 3.0. Como se ha mencionado anteriormente, se considera el uso del estándar HEVC en ATSC 3.0.

Para los casos de uso con varias transmisiones simultáneas, se considerará el uso de SHVC, ya que se transmitirá información con más calidad de video con necesidad de menos *bitrate*. Como el esquema de SHVC se basa en la transmisión de dos capas de video codificadas, la tecnología de LDM es apropiada. En cada una de las capas físicas de LDM, LL (*Upper Layer*) y UL (*Lower Layer*), se transmitirán los videos codificados de SHVC, EL (*Enhanced Layer*) y BL (*Base Layer*) respectivamente. Teniendo en cuenta estas consideraciones, se proponen diferentes configuraciones para los casos de uso definidos. Estos se muestran en la Tabla 7.

Casos de uso	Multiplex.	PLP	MOD	CR	Bitrate (Mbps)	SNR (dB) (AWGN)
1	TDM (72%-82%)	High Bitrate	64QAM	11/15	17.5-20.0	14.3
	TDM (28%-18%)	Audio	QPSK	5/15	1.0-0.7	-1.7
2	TDM (65%)	Fixed	256QAM	11/15	21.0	18.8
	TDM (35%)	Mobile/Indoor+ Audio	16QAM	5/15	2.3	2.8
	LDM	Mobile/Indoor (UL)+ Audio	QPSK	4/15	2.8	-0.4
	LDM (IL -4dB)	Fixed (LL)	64QAM	10/15	20.8	18.3
	TDM (38%)	Fixed	64QAM	11/15	8.7	14.3
	TDM (43%)	Mobile/Indoor	16QAM	5/15	3.0	2.8
	TDM (19%)	Audio	QPSK	5/15	0.7	-1.7
	TDM (81%) LDM	Mobile/Indoor (UL)	QPSK	5/15	2.8	1.86
	TDM (81%) LDM (IL - 3dB)	Fixed (LL)	64QAM	8/15	13.5	15.0
	TDM (19%)	Audio	QPSK	5/15	0.7	-1.7
	LDM	Mobile/Indoor (UL) +Audio	QPSK	3/15	2.1	-1.7
	LDM (IL -3dB)	Fixed (LL)	64QAM	8/15	16.7	15.1
3	TDM (81%) LDM	High Robustness	QPSK	4/15	2.3	8.9
	TDM (81%) LDM (IL - 3dB)	High Bitrate	64QAM	4/15	6.7	0.2
	TDM (19%)	Audio	QPSK	5/15	0.7	-1.7
	LDM	High robustness (UL) +Audio	QPSK	3/15	2.1	-1.7
	LDM (IL -3dB)	High Bitrate (LL)	64QAM	4/15	8.3	8.9
	--	Trade off + audio	16QAM	5/15	5.7	2.8
4	LDM TDM (75%)	High Bitrate	256NU-QAM	8/15	16.4	15.5
	LDM TDM (%25)	Mobile/Indoor	QPSK	11/15	1.9	3.5
	LDM (IL -19dB)	Local Service	QPSK	4/15	2.7	16.2

Tabla 7: Bitrate necesario con SHVC (Mbps).

Una vez analizados los requisitos de *bitrate* de cada uno de los servicios y vistos los posibles casos de uso de ATSC 3.0, con sus correspondientes parámetros de configuración, se estará preparado para empezar a realizar simulaciones en los diferentes escenarios.

En este TFG se van a analizar el segundo y el cuarto caso de uso. Estos casos son representativos para el nuevo estándar. En el primero, se desarrollará una planificación para una red SFN que abarque uno de los estados de Estados Unidos. Este caso se considera muy significativo ya que será un caso típico de uso en el futuro. Este estudio se realizará en el estado de Iowa.

En el segundo, nos centraremos en un caso más novedoso. En esta ocasión se analizará el despliegue de una red SFN en una región, en el que se incorporan contenido local, también llamado, LSI (Local Service Insertion). La región elegida para este estudio es el área de la bahía de San Francisco.

6.6 Servicios ATSC 3.0 en el estado de IOWA

En esta sección se va a analizar el segundo de los casos de uso expuestos en la sección anterior. Se va a analizar la posible planificación de una red SFN, teniendo como escenario el estado de Iowa.

El estado de Iowa, ubicado en la región Medio Oeste de Estados Unidos, es relativamente irregular pero sin tener grandes desniveles. Las mayores depresiones son resultado de los cauces de los ríos que atraviesan el estado, como el Mississippi y el Misuri. El estado tiene una densidad de población bastante baja (21,2 hab./km²) con la mayoría de la población concentrada en grandes núcleos urbanos dispersos en el estado. Como podemos observar en la Imagen 14, la mayor parte de la población del estado está concentrada en el noreste. [28]

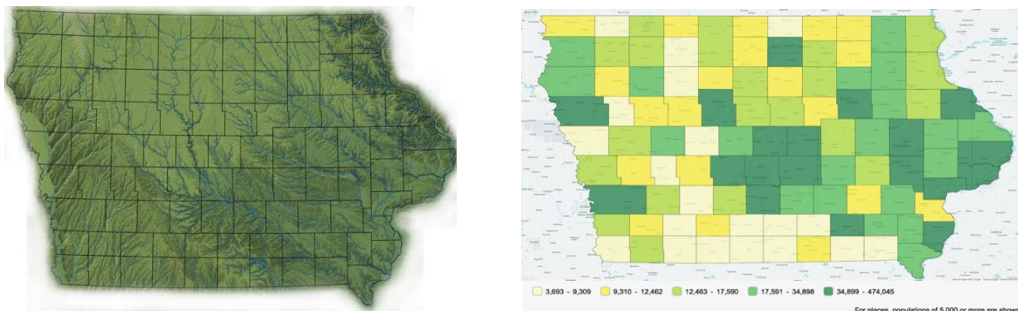


Imagen 14: Mapa físico del estado de Iowa y su distribución de población.

6.6.1 Red Actual

Para este estudio se han tenido en cuenta los transmisores de la red pública existente en el estado de Iowa. Actualmente la red IPTV (Iowa Public TV) está compuesta por 17 transmisores, divididos en dos grupos, dependiendo de la potencia radiada.

En el primer grupo, se encuentran aquellos transmisores con ERP (potencia efectiva radiada) mayor a 200kW y en el segundo grupo, aquellos con una ERP menor a 15kW. Del total de los transmisores, la mayoría operan en la banda UHF distribuidos en diferentes canales, menos dos que transmiten en VHF. En la Tabla 8 se muestran los

datos más relevantes asociados a los transmisores principales de la red y en Tabla 9, los datos asociados a los secundarios. [21]

En cuanto a la distribución geográfica, los transmisores de la red IPTV, se distribuyen de forma homogénea a lo largo de la superficie del estado de Iowa. Los transmisores principales se ubican principalmente cerca de los grandes núcleos de población y son complementados por transmisores secundarios, ubicados en zonas donde la orografía limita la cobertura y es necesario reforzar la señal.





Nombre	KDIN-TV	KIIN	KYIN	KTIN	KSIN-TV	KBIN-TV	KQIN	KRIN	KHIN
Canal	11	12	18	25	28	33	34	35	35
fc (MHz)	201	207	497	539	557	587	593	599	599
Localización	Des Moines	Iowa City	Mason City	Ford Dodge	Sioux City	Omaha	Davenport	Waterloo	Red Oak
Latitud	41.809	41.721	43.476	42.818	42.515	41.254	41.312	42.316	41.344
Longitud	93.615	91.342	92.708	94.411	96.304	95.836	90.379	91.859	95.256
AGL (ft)	1942	1394	1475	1165	943	141	748	1811	1479
ERP (kW)	22.5	57	533	600	400	200	199.5	250	600
Tipo antena	Omni	Omni	Directiva	Directiva	Omni	Omni	Directiva	Omni	Directiva
Beam Tilt (°)	0	0.75	1.25	0.75	0.75	0.75	1	0.75	0.75
Rotación (°)	0	0	0	0	0	0	345	0	0
Diagrama de radiación	-	-			-	-		-	

Tabla 8: Datos de transmisores principales






Nombre	K18GU	K24IM	K26JI	K28JD	K28KK	K39LW	K43LX	K44AB
Canal	18	24	26	28	28	39	43	44
fc (MHz)	497	533	545	557	557	623	647	653
Localización	Ottumwa	Keosauqua	Sibley	Fort Madison	Decorah	Lansing	Rock Rapids	Keokuk
Latitud	40.961	40.961	43.403	40.632	43.325	43.350	43.377	40.411
Longitud	92.371	91.943	95.671	91.433	91.767	91.221	96.196	91.404
AGL (ft)	446	390	457	421	373	466	460	167
ERP (kW)	15	15	14	15	15	15	15	6.65
Tipo antena	Omni	Directiva	Directiva	Omni	Directiva	Directiva	Directiva	Omni
Beam Tilt (°)	1	-0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	N/A
Rotación (°)	0	340	185	0	185	270	175	0
Diagrama de radiación	-			-				-

Tabla 9: Datos de transmisores secundarios

Actualmente, las señales digitales de las estaciones de la red IPTV están multiplexadas y transmiten cuatro programas. Dos de los programas emiten servicios en alta definición (HD) y otros dos en definición estándar (SD). Los servicios en HD están dedicados a la programación principal de IPTV y a PBS Kids, un canal público con contenido infantil. Los demás servicios en SD están dedicados a ofrecer contenido variado (noticias, documentales...).

La configuración asociada para los transmisores de la banda UHF tiene un umbral de cobertura de 36 dB μ V/m, basados en Longley-Rice y con ajuste de dipolo. En cuanto a los transmisores de la banda VHF, su umbral de cobertura es de 41 dB μ V/m y su cobertura está basada en una señal común principal de 36dBu y no está ajustada a dipolo.

La red existente está organizada como una MFN, así que, como se ha analizado en el capítulo anterior, no se realiza una estrategia óptima del espectro radioeléctrico.

Asimismo, con la configuración actual, se dispone de cobertura en prácticamente todo el estado. En la Imagen 15 se puede observar la disposición de los diferentes transmisores de la red y el área cubierta.

Como se puede observar en la Imagen 15, en multitud de lugares, se pueden apreciar solapes entre coberturas de diferentes transmisores. Esto produce un déficit en el aprovechamiento de las señales, ya que la contribución de varias señales en un área producirá un aumento del nivel de la señal en el área.

A priori no se puede saber qué porcentaje de la población estará bajo cobertura, pero si se analiza la cobertura ofrecida conjuntamente con la distribución de la población de la Imagen 14, se observa que en las zonas sin cobertura, la población no representa un porcentaje significativo.

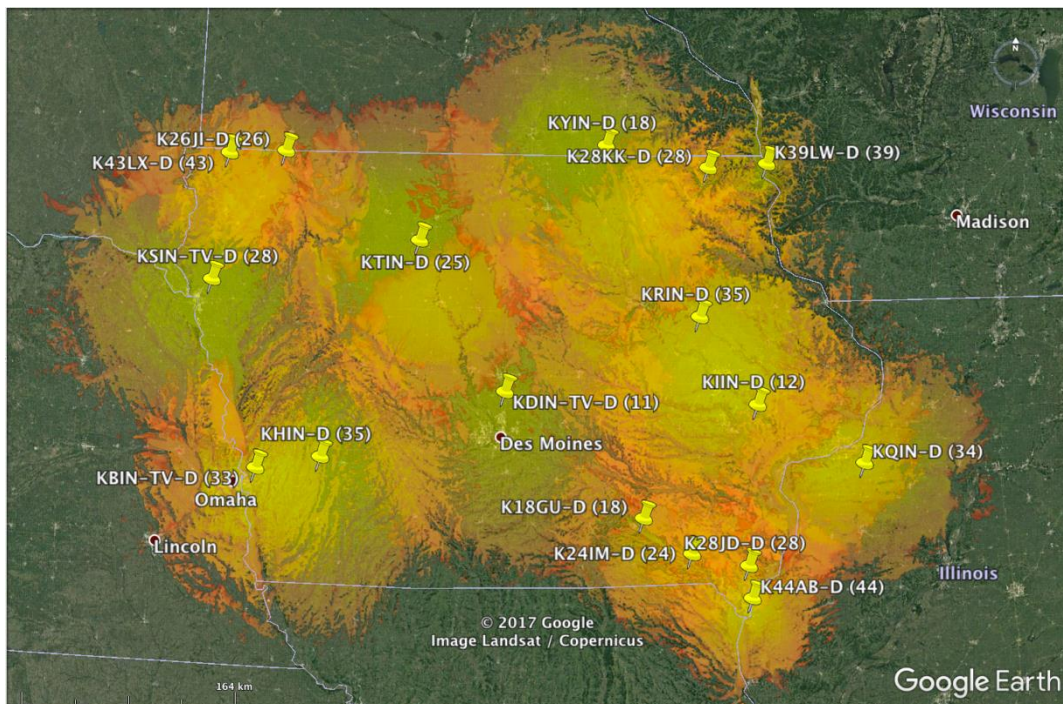


Imagen 15: Disposición de los transmisores y cobertura que ofrecen actualmente.

6.6.2 Configuración basada en ATSC 3.0

Para esta planificación se va a asumir que IPTV, organización responsable de la televisión pública en el estado de Iowa, quiere efectuar un cambio en la red para que sus transmisores operen como una red SFN. Para ello las estaciones de transmisión mantendrán sus ubicaciones y niveles de potencia, pero cambiarán su configuración.

En esta ocasión se quieren ofrecer servicios en UHD TV para receptores fijos, pero manteniendo un umbral de SNR compatible con la red actual que está sobre los 15 dB. Para no tener que modificar en exceso la configuración actual, tendremos que seleccionar un modo de los que ofrece ATSC 3.0, detallados en la Tabla 7, con un SNR umbral similar. De este modo el umbral necesario no varía en exceso, pero si la calidad de los servicios ofrecidos.

Si se observa la Tabla 7, se puede apreciar que para el segundo caso de uso, se disponen de varios modos que ofrecen el SNR umbral objetivo similar (Tabla 10). De

los modos de configuración disponibles se utilizará el primero, ya que el uso de LDM proporciona más *bitrate* con casi la misma configuración.

Otro parámetro importante que se tendrá que seleccionar para el análisis será la frecuencia. Actualmente, cada transmisor emite en un canal diferente (Tabla 8 y Tabla 9). Al querer que todos los transmisores trabajen en una SFN, se tendrá que seleccionar una frecuencia apropiada. La frecuencia seleccionada, que no tendrá que ser precisamente la utilizada cuando se despliegue la red, será 615MHz. Esta frecuencia, se encuentra en el centro de la banda UHF.

Multiplex.	PLP	MOD	CR	Bitrate (Mbps)	SNR (dB) (AWGN)
LDM	Mobile/Indoor (UL)+ Audio	QPSK	4/15	2.8	-0.4
LDM (IL -4dB)	Fixed (LL)	64QAM	10/15	20.8	18.3
TDM (43%)	Mobile/Indoor	16QAM	5/15	3.0	2.8
TDM (19%)	Audio	QPSK	5/15	0.7	-1.7
TDM (38%)	Fixed	64QAM	11/15	8.7	14.3

Tabla 10: Diferentes opciones de parámetros de configuración para el segundo caso de uso.

Una vez se tienen seleccionados los parámetros de configuración y el SNR umbral, se podrá realizar el análisis de capacidades para obtener un valor de campo eléctrico mínimo. El método para obtener valores para la planificación de campo eléctrico mínimo incluye datos de estándar de equipamiento de recepción. El desglose de los diferentes aspectos asumidos para obtener los valores de campo eléctrico mínimo se puede ver en la Tabla 11.

Servicio	UHD SFN
Tipo de receptor	Suburban Fixed Rooftop
SNR Objetivo (dB)	18.3
Figura de Ruido (dB)	7
Potencia del ruido (dBW)	-129.4
Feeder Loss(dB)	11
Ganancia Antena (dBi)	13.15
Apertura de la antena (dBm2)	-4.07
Potencia de Señal (dBuV)	30.6
Potencia de Señal (dBW)	-108.1
Densidad (dBW/m2)	-100.05
Campo eléctrico (dBuV/m)	45,75
Man-Made Noise (dB)	0
Penetration Loss (dB)	0
Height Loss (dB)	0
E95 min Average (dBuV/m)	48,7
Location Variation 95% (dB)	9.0
E95 min Good (dBuV/m)	54,7

Tabla 11: Valores de campo eléctrico mínimo para LDM-SFN.

Una vez definido el valor objetivo de SNR y hechos los cálculos, se le sumarán diferentes pérdidas con el fin de ser lo más realista posible a la hora de dar un umbral de campo eléctrico mínimo. De la Tabla 11 podremos obtener un valor mediano y objetivo. El umbral asumido para este análisis será de 48,7 dB μ V/m.

La diferencia entre el SNR umbral actual y el asumido para este estudio, es de poco más de 3 dB. Por otra parte, la diferencia entre umbrales de campo eléctrico mínimo (con los transmisores de la banda UHF) es mayor. Esto puede deberse a las diferencias en la figura de ruido, valores asumidos para las antenas receptoras, las diferentes pérdidas incluidas con el fin de obtener un valor más realista o una combinación de varias.

Una vez se tienen los valores de campo eléctrico para cada servicio, se podrán empezar a realizar las simulaciones.

6.6.3 Simulaciones y Resultados

En la primera fase de las simulaciones, se tendrán que realizar un total de 17 simulaciones con SPLAT!, una por cada transmisor de la red. Para obtener los resultados de campo eléctrico, en estas simulaciones se ha considerado apropiado un radio de cálculo de 140 kilómetros para los transmisores principales y 100 para los secundarios. Estos valores son aproximadamente la máxima distancia entre dos transmisores vecinos de misma categoría en la red. El estado de Iowa tiene unas dimensiones de aproximadamente 500x300 kilómetros.

Como se ha mencionado en el ejemplo de simulaciones de la sección 6.4, la herramienta implementada en Python, no dispone de capacidad suficiente para trabajar con matrices de gran tamaño. Por lo tanto, se tendrá que dividir el estado en 16 secciones similares. Para cada una de las secciones se tendrá que realizar un análisis para determinar que transmisores tienen influencia en cada una de ellas.

Después de realizar dicho análisis, podemos concluir que en cada sección, el número de transmisores con influencia variará entre los tres y cinco. Además, la mayoría de estas secciones serán rectangulares. Estos factores, agilizarán el proceso de las simulaciones.

Al tratarse del mismo escenario de uso para todos casos, se tomará el mismo valor de SNR y tipo de recepción. En cuanto a las coordenadas para definir los polígonos de las simulaciones, para cada una de las secciones se necesitarán entre 4 y 10 puntos.

Una vez realizados todos los pasos previos, se podrán empezar a realizar las simulaciones de cada una de secciones. Para amenizar el proceso, una vez que todas las secciones están revisadas, se realizará un *script* para que el proceso sea más autónomo. En la primera fase, para el cálculo del campo eléctrico de cada transmisor, también se decidió usar este método. De esta manera, las simulaciones se podrán dejar en segundo plano y ahorrar tiempo. Una imagen con la cobertura estimada se muestra en la Imagen 16.

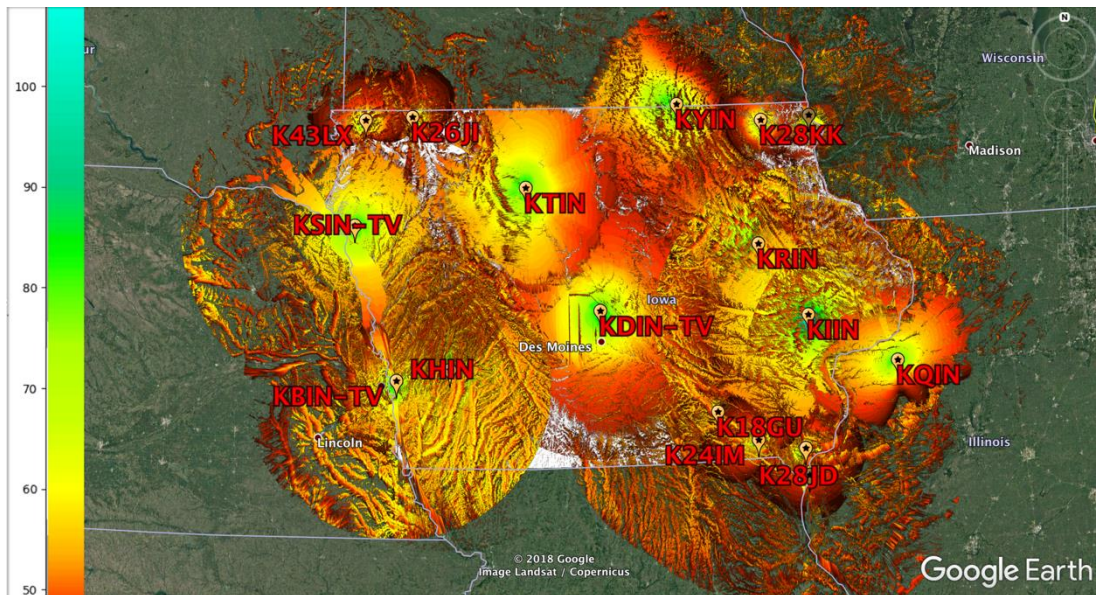


Imagen 16: Resultados de estimación de cobertura en Iowa.

Una vez terminadas las simulaciones de todas las secciones, se tendrán que manipular los resultados obtenidos para obtener los resultados globales. Al tener que dividir el área de simulación en partes, para obtener los valores de todo el estado se tendrán que sumar los resultados de todas las secciones. Los resultados totales para todo el estado se pueden observar en la Tabla 12.

Servicio	Población Cubierta	Área Cubierta
UHDTV Rooftop	97,42%	92.11%

Tabla 12: Resultados del estado de Iowa.

6.7 Servicios ATSC 3.0 en la zona de San Francisco

En esta sección se analizará el segundo estudio. Se realizará una propuesta de planificación de la red en el área de la bahía de San Francisco. En esta ocasión, se desea implantar una red SFN con contenido local (LSI), en la que se distribuyan dos servicios: UHDTV en receptores fijos y HD en móviles e indoor, y contenido local. Estos servicios corresponden al caso de uso número cuatro, propuesto en la sección 6.5.2.

El área de la bahía de San Francisco se encuentra en la costa oeste de Estados Unidos, en el estado de California, dominada por tres grandes ciudades: San Francisco, Oakland y San José. Según el último censo disponible, en el área de la bahía, la población es de aproximadamente 8,8 millones de personas. [29][30]. En la Imagen 17 se pueden observar la distribución de población en los diferentes distritos alrededor de la bahía y una imagen por satélite de la zona.

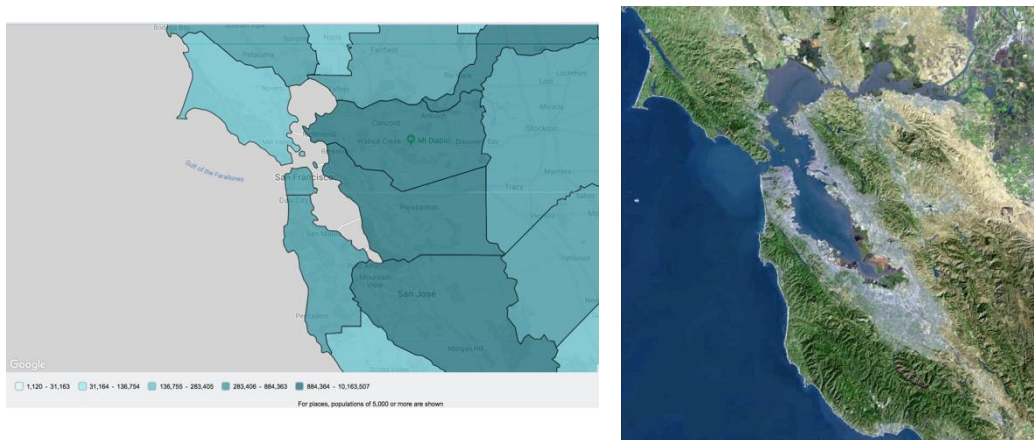


Imagen 17: Distribución de la población y mapa físico del área de bahía de San Francisco.

Geográficamente, el área de la bahía de San Francisco tiene una combinación de elementos que la convierten en un escenario complejo; grandes edificios, humedales, ensenadas, aeropuertos, puertos,...

La combinación de elementos arquitectónicos y geográficos hacen de este un escenario exigente para realizar una planificación de red. Se eligió esta área para realizar el estudio debido a la combinación de las cadenas montañosas y grandes áreas de agua. Junto con la arquitectura de las ciudades, requieren de un esfuerzo sustancial de ingeniería para proporcionar servicio a la población.

Dado que el área de la bahía resulta muy extensa, para este estudio se ha decidido acotar el área en el que realizar la planificación. Este incluye ambos lados de la bahía,

con ciudades como Berkeley o Palo Alto y las tres ciudades más importantes (y pobladas) en la bahía, San Francisco, San José y Oakland. El área completa de estudio se puede ver en la Imagen 18, delimitada por una línea negra.



Imagen 18: Área donde se va a realizar el estudio dentro de líneas negras.

6.7.1 Red Actual

Actualmente el área de la bahía de San Francisco cuenta con multitud de torres de radiodifusión, pertenecientes a diferentes estaciones de emisión privadas, como por ejemplo, NBC o Fox. También existe un servicio de radiodifusión público, KQED Inc. perteneciente a *Northern California Public Broadcasting*, encargado de ofrecer contenido PBS (Public Broadcasting Service) en la zona. El contenido ofrecido es idéntico al ofrecido en IPTV en el estudio anterior, es decir, dos canales en HD y otros dos en SD.

Para este estudio se ha asumido una emisora que proporcione servicios a la bahía de San Francisco y a las áreas metropolitanas contiguas, como San José. El área estará servida por tres transmisores que operaran como una SFN. Los transmisores TX1 y TX2 proveerán servicio en el área de la ciudad de San Francisco y sus alrededores mientras que TX3 ofrecerá cobertura complementaria en el área de la bahía y proporcionará cobertura a San José.

Las estaciones de transmisión y sus sistemas de radiación se basan en los datos obtenidos de las existentes torres de comunicación KQED, KNTV (San Francisco) y KICU-TV (San José) [21]. La red mantendrá las configuraciones de RF existentes para ATSC 1.0.

La información de cada transmisor esta resumida en la Tabla 13.


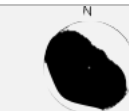

Nombre	KQED	KNTV	KICU-TV
Canal	30	12	36
fc (MHz)	569	207	605
Localización	Mount Sutro, San Francisco	Mount San Bruno, San Francisco	Monument Peak, San José
Latitud	37.755	37.685	37.488
Longitud	122.452	121.433	121.866
AGL (m)	288.4	62.1	175
ERP (kW)	1000	103.1	500
Tipo antena	Directiva	Directiva	Directiva
Beam Tilt (°)	0.75	1.5	1
Polarización	-	Horizontal	-
Diagrama de radiación			

Tabla 13: Datos de los transmisores.

6.7.2 Configuración basada en ATSC 3.0

La red propuesta ofrecerá dos conjuntos de servicios transportados en la misma señal de LDM: servicios SFN globales y servicios locales. Los servicios de SFN estarán disponibles para cualquier receptor dentro del área de cobertura de la red SFN. Los servicios para la SFN serán transportados por la capa superior (UL) del conjunto de la señal LDM. Dependiendo de las necesidades de mercado del emisor, en un futuro se podrán asignar servicios TDM a fijos, dispositivos portátiles o móviles.

El contenido local, estará disponible para cualquier equipo receptor dentro de un rango específico del transmisor que emita contenido local. Estos servicios serán transportados en la capa inferior (LL) del conjunto de la señal de LDM, con el apropiado nivel de inyección (Δ). La Tabla 7 resume la configuración del conjunto de señales de LDM que se va a usar para este escenario con dos servicios SFN (Recepción Fija de UHD TV y Mobile/Indoor HD) y contenido local.

De los casos de uso, como se ha mencionado previamente, este corresponde al cuarto caso. Para este caso solamente se dispone de una configuración de parámetros. Esta se puede ver en la Tabla 14.

Multiplex.	PLP	MOD	CR	Bitrate (Mbps)	SNR (dB) (AWGN)
LDM TDM (75%)	High Bitrate	256NU-QAM	8/15	16.4	15.5
LDM TDM (%25)	Mobile/Indoor	QPSK	11/15	1.9	3.5
LDM ($\Delta=19$ dB)	Local Service	QPSK	4/15	2.7	16.2

Tabla 14: Parámetros del conjunto de señales LDM.

Para nuestros propósitos de planificación, el nivel de inyección en LDM será un parámetro de configuración crucial. La elección dependerá de la ratio entre la huella de cobertura entre la capa inferior y superior. Desde un punto puramente comercial, es deseable que ambas (UL y LL) huellas sean idénticas y al mismo tiempo que ambas capas no se vean influenciadas entre sí por las demás. Exámenes anteriores [14], sugieren un valor de 19dB como el mínimo de inyección para mantener el umbral del servicio de la UL inalterado.

Esto es un reto incluso en una red SFN compuesta de solo dos transmisores, en el que un receptor en el borde del área de cobertura de uno de los transmisores, recibirá al menos cuatro componentes diferentes (UL TX1, LL TX1, UL TX2 y LL TX2). Los umbrales en este escenario estarán influenciados por las interferencias co-canal (CCI).

Estas interferencias determinaran el umbral de SNR final del contenido local transmitido en la capa inferior.

La Tabla 15 contiene los valores de los umbrales utilizados para este propósito. La última columna contiene los requisitos para cada capa. Estos valores han sido obtenidos usando un *toolbox* conforme con las actuales especificaciones PHY, que simula un sistema completo transmisor-receptor de ATSC. [31]

Cada una de las capas de servicio experimentará diferentes deficiencias de canal. La UL ha sido evaluada usando un canal 0 dB echo. En el peor escenario, el canal puede degradar el sistema hasta en cuatro dB. Los umbrales para móviles y portátiles han sido obtenidos usando canales PO (Pedestrian Outdoor) y TU-6. En la Tabla 15 se pueden observar los SNR efectivos para cada tipo de servicio.

Servicio	SNR teórica	Canal	SNR Efectiva
UL Rooftop	15.5	0 dB Echo	20.7
UL Mobile	3.5	PO// TU-6	9.1//14.5
UL Indoor	3.5	Rayleigh	7.1
LL Rooftop	16.3	Rice+ 0 dB Co-channel Interferer	19.6
LL Indoor	16.3	Rayleigh+ 0 dB Co-channel Interferer	21.3

Tabla 15: Requisitos de SNR (dB) para ATSC 3.0.

Una vez se han definido los umbrales de SNR efectiva, para la planificación de la red se necesitarán los valores de campo eléctrico mínimo. El proceso esta resumido en la Tabla 16. La tabla contiene valores para servicios locales y de SFN (Servicios HD y UHD TV). El método de obtención de los valores incluye valores estándar de equipamiento de recepción. En el proceso se incluyen valores de referencia de ruido y sistemas de antenas tanto para recepción portable y en azotea de modo fijo.

Los valores obtenidos de campo eléctrico de la Tabla 16 indican que existe una diferencia significativa entre las coberturas asociadas a *rooftop* e *indoor*. Existen diferentes factores que explican esta diferencia. En primer lugar, la corrección por altura y las perdidas por penetración suman un total de 30 dB. Incluso siendo pesimistas, los valores tomados son usuales en la planificación de redes en caso de ciudades densas [32]. Un segundo factor tiene relación con la ganancia de la antena, que en algunos casos puede suponer otro margen de entre 15 y 20 dB.

La solución para esta diferencia la proporcionará un avance del propio estándar ATSC 3.0. Con la inclusión de algunos *gap-fillers* de baja potencia en puntos estratégicos dentro del área de servicio, se aumentarán significativamente los porcentajes de cobertura.

En resumen, los valores de planificación aseguran una huella de cobertura similar entre las capas superior e inferior (LSI) para recepción fija, mientras que en aquellos en los que se pretende dar servicio a portable *indoor* e *in-car*, usando antenas omnidireccionales, requerirán de valores de planificación mucho mayores.

Servicio	UHD SFN	HD SFN	HD SFN	HD SFN	HD SFN	HD Local	HD Local
Tipo de receptor	Fixed Rooftop	Portable Indoor	Portable Outdoor	Mobile (inside car)	Car Antena	Local Rooftop	Local Portable Indoor
SNR Objetivo (dB)	20.7	7.1	9.1	14.5	14.5	19.6	21.3
Figura de Ruido (dB)	7	6	6	6	6	7	7
Potencia del ruido (dBW)	-129.4	-130.4	-130.4	-130.4	-130.4	-129.4	-130.4

Feeder Loss(dB)	4	0	0	0	0	4	0
Ganancia Antena (dBi)	13.1	-7.3	-7.3	-7.3	2.15	13.1	-7.3
Apertura de la antena (dBm2)	-4.1	-24.6	-24.6	-24.6	-4.1	-15.1	-24.6
Potencia de Señal (dBuV)	33	16.9	18.9	25.3	25.3	32.2	34.6
Potencia de Señal (dBW)	-105.7	-121.8	-119.8	-113.4	-113.4	-106.5	-104.1
Densidad (dBW/m2)	-97.6	-97.2	-95.2	-88.8	-98.3	-98.4	-79.5
Campo eléctrico (dBuV/m)	48.2	48.6	50.6	57.0	47.5	47.3	66.3
Man-Made Noise (dB)	0	0	0	0	1	0	0
Penetration Loss (dB)	0	11	0	8	0	0	11
Height Loss (dB)	0	23.5	23.5	23.5	23.5	0	23.5
Location Variation 95% (dB)	9.0	13.0	13.0	13.0	13.7	9.0	13.0
E95 min (dBuV/m)	57.2	96.1	87.1	102.2	85.0	56.4	113.8

Tabla 16: Campo Eléctrico mínimo para LDM SFN Local Service Insertion

Una vez se tienen los valores de campo eléctrico mínimo para cada servicio, se podrá empezar a realizar las simulaciones.

6.7.3 Simulaciones y Resultados

En este caso, para realizar este estudio, las simulaciones tendrán una primera fase liviana y una segunda más compleja.

Por una parte, en la primera fase se tendrán que realizar tres simulaciones para obtener el campo eléctrico de los transmisores. En esta ocasión, se ha considerado oportuno usar un radio de 80 kilómetros ya que el área de San Francisco no es tan extensa y en ningún momento se superará esta distancia entre ninguno de transmisores de la red.

Por otra parte, para realizar la segunda fase de las simulaciones, se tendrán que efectuar diferentes tareas intermedias más tediosas. En primer lugar, al realizar un análisis para diferentes casos de recepción, se tendrán que lanzar las mismas simulaciones, variando varios parámetros (SNR objetivo y tipo de antena). Una vez organizado cada caso de en una carpeta diferente, se tendrá que determinar el polígono para todas las simulaciones.

El área de la bahía de San Francisco en la que vamos a realizar el análisis, delimitada en la Imagen 18, es más compleja de acotar. Para realizar estas simulaciones se han necesitado 23 coordenadas. En la Imagen 18 no se puede observar con claridad, pero al estar rodeadas las ciudades por cordilleras montañosas, se han tenido que extremar las precauciones e intentar ser lo más preciso posible, con el objetivo de obtener los resultados más reales posibles.

Para los casos de contenido local (LSI), se tendrán que realizar otros polígonos diferentes, uno para el área de San Francisco y otro para el área de San José. Estos polígonos necesitarán de menos puntos para su acotación.

Una vez se han realizado estos pasos previos, podremos empezar a realizar las simulaciones, una por cada caso, haciendo un total de 7 simulaciones. Los resultados estimados de probabilidad de cobertura para cada uno de los casos se pueden ver en la Tabla 17.

Servicio	Población Cubierta	Área cubierta
UHD SFN Rooftop	98,3%	97,8%
HD SFN Portable Indoor	52,7%	46,4%
HD SFN Portable Outdoor	88,1%	86%
HD SFN Mobile (in-car)	18,3%	12,5%
HD SFN Car Antena	63,5%	57,3%
HD Local Rooftop	94,4% (San Francisco) 94,7% (San José)	92,1% (San Francisco) 94,1% (San José)
HD Local Portable Indoor	5,4 % (San Francisco) 8,7 % (San José)	2,2% (San Francisco) 11,8% (San José)

Tabla 17: Resultados de las simulaciones en cada caso.

Se puede observar en la Imagen 19 y en la Imagen 20 algunos de los resultados más significativos obtenidos en las simulaciones. En estas simulaciones, las zonas de color azul claro indican que en esos pixeles la EPT será superior del 95%.

En la Imagen 19, se puede apreciar una gran diferencia entre las huellas de las dos coberturas. Esto está asociado con lo explicado anteriormente en la sección 6.7.2. La eficiencia de la antena, la corrección de altura y las pérdidas por penetración de los edificios serán los principales factores de esta diferencia.

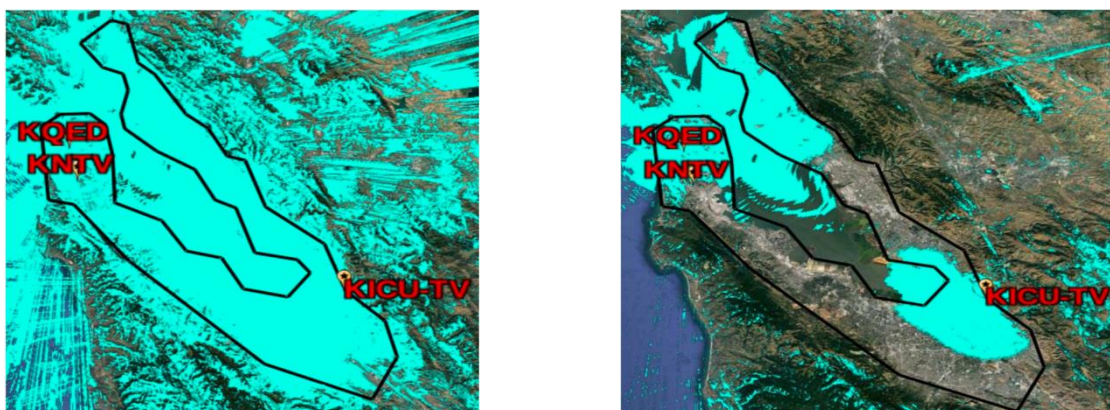


Imagen 19: Cobertura estimada para UHD SFN Rooftop (izda.) y HD SFN Portable Indoor (dcha.).

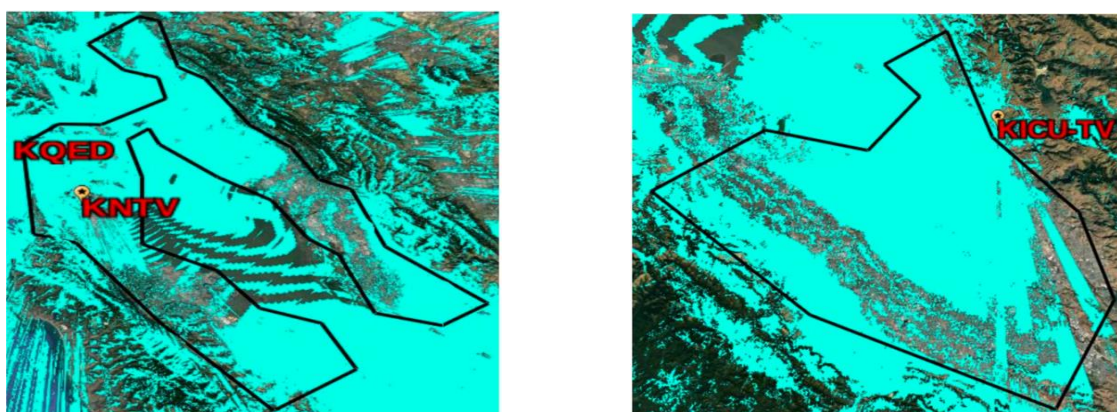


Imagen 20: Cobertura estimada para HD Local Rooftop en San Francisco (izda.) y San José (izda.).

En la Imagen 20 se pueden observar los resultados asociados a servicios locales. Si se analizan los resultados del caso de recepción *rooftop*, se puede observar que la cobertura de la capa inferior es similar a la cobertura global de la capa superior. (Imagen 19 dcha.)

6.8 Discusión

En esta sección se analizan los resultados de las simulaciones realizadas en las secciones anteriores, en los escenarios de Iowa y el área de la bahía de San Francisco. De las simulaciones se han obtenido dos resultados: el área con cobertura y la población con cobertura.

Por un lado, se puede ver que para el caso del estado de Iowa, los resultados muestran un porcentaje de población cubierta cercana al total para el servicio de UHDTV Rooftop. Como se puede observar en la Imagen 16, las zonas donde no se obtendrá el nivel de potencia suficiente son escasas. El más significativo corresponde al situado en el extremo sur del estado. Dicho hueco de cobertura también se producía con ATSC 1.0, como se puede observar en la Imagen 15.

Analizando los resultados de población cubierta obtenidos y según el último censo realizado en el estado de Iowa [28], en esa amplia zona no se superan los diez mil habitantes.

Por el otro lado, el estudio efectuado en el área de San Francisco para el caso de una SFN con LSI, muestra diferentes resultados. Se han definido los parámetros para una red SFN con servicios globales y locales. Esta posibilidad es uno de los beneficios que aporta LDM, actualmente en exclusividad al estándar ATSC 3.0.

Los resultados indican que LDM proporciona una solución para emitir servicios de contenido local (LSI). Los porcentajes de cobertura tanto para el servicio global (UHD SFN Rooftop) como para servicio local (HD Local Rooftop), muestran una similitud (98% y 94% respectivamente), pudiendo considerarse una única huella para ambas coberturas.

Por el contrario, a la vista de los resultados y en línea con anteriores estudios efectuados en la banda UHF, para extender la cobertura de la red SFN en los casos de in-car indoor y recepción indoor portátil, se precisarán de estaciones de transmisión adicionales. Esto no se debe a un problema de LDM sino a problemas de propagación.

7 Descripción de tareas: Gantt

En este capítulo se muestra la planificación que se ha llevado a cabo a la hora de realizar el proyecto, distinguiendo las tareas en los que se ha dividido y los distintos paquetes de trabajo.

7.1 Equipo de trabajo

En la Tabla 18 se describe el equipo de trabajo que se encargará del desarrollo del proyecto. También se indica cual será la responsabilidad de cada uno de los miembros.

Nombre	Responsabilidad
Pablo Angueira	Director del proyecto
Cristina Regueiro	Investigadora
Xabier Botran	Desarrollador del proyecto

Tabla 18: Equipo de trabajo

El director del proyecto será el encargado de definir el TFG y de hacer el seguimiento para observar cómo evoluciona el proyecto. El investigador, ayudará con las dudas que puedan ir surgiendo a lo largo del proyecto, siendo fundamental en el ámbito de la programación y ayudando en las simulaciones, haciendo un seguimiento del mismo. Por último, el desarrollador, será el encargado de llevar a cabo el TFG, desarrollando las simulaciones necesarias, interpretándolas y resumiendo el desarrollo del proyecto y sus conclusiones en el presente documento.

7.2 Definición de paquetes de trabajo y tareas

En esta sección, se muestran cuáles serán los distintos paquetes de trabajo y tareas en los que se divide el proyecto.

P.T.1: Coordinación, supervisión y gestión del proyecto

El objetivo de este paquete de trabajo es definir cuál será exactamente el proyecto que el desarrollador deba realizar, y llevar a cabo un seguimiento del mismo para comprobar que todos los objetivos se cumplen de manera satisfactoria.

- Tareas:

T.1.1: Definición del proyecto. Se debe definir de manera precisa sobre que se va a tratar el proyecto, así como los objetivos que se deseen alcanzar.

T.1.2: Definición del plan de trabajo. Se deben definir los pasos que se van a ir dando, para conseguir de manera progresiva todos los objetivos del proyecto.

T.1.3: Gestión y seguimiento del proyecto. El director y el investigador realizarán un seguimiento del trabajo que realice el desarrollador, mediante reuniones y/o informes.

- No hay hitos ni unidades entregables.
- Duración: 32 semanas (todo el proyecto).
- **Recursos:** Pablo y Cristina.

P.T.2 Estudios previos

El objetivo de este paquete de trabajo es formar al alumno en todos los aspectos básicos que necesite para poder realizar su proyecto.

- Tareas:
 - T.2.1: Reunión de bibliografía necesaria.** En primer lugar, es necesario hacer búsqueda en libros, artículos y páginas de Internet fiables para reunir una bibliografía que permita realizar los estudios teóricos.
 - T.2.2: Análisis del funcionamiento de ATSC 3.0.** Se deberá entender las características principales del estándar y la estructura básica de transmisión.
 - T.2.3: Análisis de funcionamiento de LDM y LSI.** Se deben comprender los aspectos básicos de la tecnología LDM para poder aplicarla al proyecto, así como combinarla con LSI.
 - T.2.4: Análisis del funcionamiento de redes SFN.** Se deben comprender los aspectos básicos de los aspectos técnicos básicos para su implementación.
 - T.2.5: Análisis de funcionamiento de la herramienta SPLAT! y Python:** Se deben comprender las especificaciones y funcionalidades para su uso en las simulaciones necesarias para el proyecto.
- No hay hitos ni unidades entregables.
- Duración: 7 semanas.
- **Recursos:** Pablo, Cristina y Xabier.

P.T.3 Pre simulaciones

El objetivo de este paquete de trabajo es realizar una primera simulación y organizar los pasos para obtener los resultados objetivos.

- Tareas:
 - T.3.1: Fijar características objetivo de las simulaciones.** Se realizará un diseño de los programas para obtener los resultados objetivos.
 - T.3.2: Búsqueda de información.** Se deben recabar toda la información requerida para la correcta realización de las simulaciones.
 - T.3.3: Realización de los programas.** Se realizará la codificación de los programas, integrando las características necesarias para el objetivo del proyecto (SFN...).

T.3.4: Realización de una prueba. Se realizará una prueba completa, en la que se simulará una situación familiar (Bilbao, Monte Ganeta...).

- Hitos:

H.3.1: Comprobación de la información. Reunión para analizar los datos recabados y la comparación/comprobación.

H.3.2: Comprobación de los programas. Reunión para verificar el correcto funcionamiento de los programas realizados.

H.3.3: Comprobación del programa final. Reunión para verificar los programas realizados, una vez realizada una simulación de ejemplo.

- Unidades entregables:

U.E.3: Programas realizados: Se deberán entregar los ficheros PYTHON realizados, para que le director y/o el investigador dispongan de ellos y puedan comprobar en cualquier momento si hay algún cambio que se necesite realizar.

- Duración: 13 semanas.
- **Recursos:** Cristina y Xabier.

P.T.4 Simulaciones

El objetivo de este paquete de trabajo es realizar las simulaciones que son objeto de estudio, utilizando los ficheros codificados en P.T.3.

- Tareas:

T.4.1: Definición de los casos de estudio. Se deben definir cuáles serán los escenarios que se simularán y las características en cada uno.

T.4.2: Realización de las simulaciones. Realizar las simulaciones teniendo en cuenta los casos de escenarios anteriormente definidos.

- Hitos:

H.4. Comprobación de los resultados por escenario. Reunión para comprobar que los resultados obtenidos son coherentes e interesantes para el estudio.

- No hay unidades entregables.
- Duración: 7 semanas.
- **Recursos:** Xabier y Cristina.

P.T.5 Evaluación de los resultados

El objetivo de este paquete de trabajo es evaluar los resultados de las simulaciones realizadas en P.T.4, para así poder sacar las conclusiones finales del proyecto.

- No hay tareas, hitos ni unidades entregables.
- Duración: 3 semanas.

- **Recursos:** Pablo y Xabier.

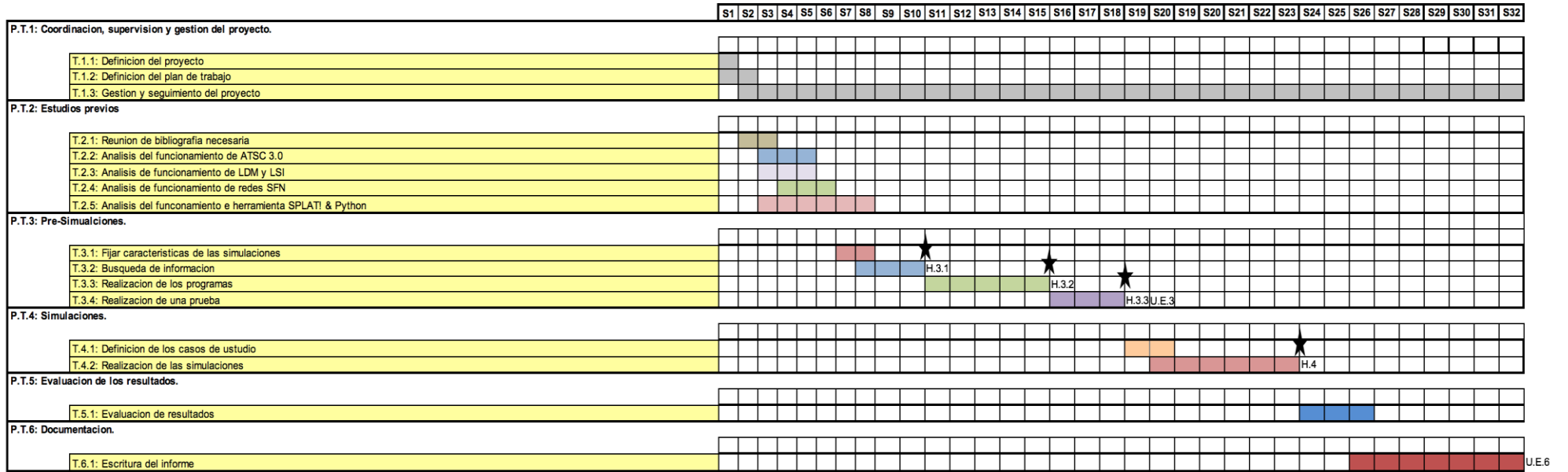
P.T.6 Documentación

El objetivo de este paquete de trabajo es preparar toda la documentación que forma el TFG.

- No hay tareas ni hitos.
- Unidades entregables:
U.E.6: Informe final. Se debe entregar el presente informe, en donde se detallas todos los aspectos relevantes del proyecto realizado y las conclusiones oportunas.
- Duración: 6 semanas.
- **Recursos:** Pablo y Xabier.

7.3 Diagrama de Gantt

Todos los paquetes de trabajo, tareas e hitos explicados en la sección 7.2 se resumen en el siguiente diagrama de Gantt, para poder ver de manera visual todas las relaciones entre ellos, así como los hitos y unidades entregables.



8 Resumen económico

Este capítulo muestra todos los gastos que ha habido en el desarrollo del proyecto, desglosado en tres apartados: amortizaciones/inversiones, horas internas y otros gastos.

8.1 Amortizaciones

Las amortizaciones reúnen los activos (tanto hardware como software) que han sido necesarios para la realización del proyecto. La Tabla 19 muestra un resumen de cada de ellos y el cálculo de la amortización.

Concepto	Precio	Cantidad	Vida útil	Tiempo de uso	Total
Ordenador	990 €	1	4	0,70	173,25 €
Licencia Office	99 €	1	2	0,45	20,25 €
Total					193,50 €

Tabla 19: Amortizaciones del proyecto.

8.2 Horas internas

En las horas internas se muestran los recursos que han sido necesarios para llevar a cabo el proyecto. La Tabla 20 muestra la tasa horaria de cada uno de los recursos humanos y su cargo de trabajo, para así calcular el coste total de cada uno de ellos.

Concepto	Tasa horaria	Nº de horas	Total
Director	65,00 €	35	2.275 €
Investigador	50,00 €	65	3.250 €
Desarrollador	35,00 €	320	11.200 €
Total			16.725 €

Tabla 20: Horas internas del proyecto.

8.3 Otros gastos

En este apartado se incluyen todos los materiales fungibles, es decir, aquellos que desaparecen con su uso, así como otros tipos de gastos que no pueden incluirse en las categorías anteriores.

La Tabla 21 muestra un resumen de ellos.

Concepto	Precio
Materia de oficina	120 €
Otros gastos	40 €
Total	160 €

Tabla 21: Otros gastos del proyecto.

8.4 Resumen económico

Teniendo en cuenta el resto de apartados del presupuesto, la Tabla 22 se resume el presupuesto total del desarrollo del proyecto.

Apartado	Subtotal
Amortizaciones	193,50 €
Horas internas	16.725 €
Otros gastos	160 €
Total	17.078,50 €

Tabla 22: Resumen económico del proyecto.

9 Análisis de riesgos

En este capítulo se analiza cuáles son los riesgos que podrían aparecer durante la realización de este proyecto, así como las medidas de contingencia a tomar para tratar de evitarlos o, en caso de que sucedan, minimizar su efecto. También se incluye una calificación en una matriz de probabilidad e impacto.

9.1 Identificación y valoración de riesgos

9.1.1 Recursos Humanos

Dado que el proyecto lo componen un grupo de personas, donde cada una tiene definidas sus tareas, puede darse el escenario en que algún integrante tenga un percance que le impida continuar normalmente con el proyecto (problemas en el ámbito familiar, problemas de salud, cambio de puesto de trabajo...). Debido a esto, el proyecto puede tener una demora, si no se ha anticipado la baja y se ha buscado un sustituto.

En cualquiera de los casos, la probabilidad estimada de que esto suceda es baja y su impacto en el proyecto será bajo. Si el riesgo apareciera, en el peor de los casos el proyecto sufriría un atraso.

9.1.2 Complejidad del algoritmo

PYTHON tiene una capacidad de procesamiento predeterminada, dependiendo de características del ordenador en el que se ejecute (procesador, memoria...), así como de los propios comandos y estructuras que se utilicen (los bucles requieren un tiempo de procesamiento mayor, ciertas formas de estructurar los comandos son más eficientes que otras, etc...). Una vez realizado el diseño del proceso y algoritmo, se necesitará codificarlo en PYTHON, y en este punto se desconoce el nivel de complejidad que tendrá el programa. Un algoritmo complejo o que procese grandes cantidades de información podría hacer que la ejecución tardase más tiempo del aceptable en finalizar o que se atasque al intentar ejecutarlo.

La probabilidad de que esto suceda se media, y el impacto que tendría sobre el proyecto también se valora como medio. Para tratar de evitar este riesgo, habría que codificar el algoritmo, dentro de lo posible, de la manera más eficiente. Si el riesgo apareciera, y no se pudiera simplificar más el programa, habría que buscar un ordenador más potente para trabajar.

9.2 Matriz de probabilidades e impacto

En esta sección se presenta la matriz de probabilidad e impacto de los riesgos de la sección anterior. De esta forma, se puede observar de manera visual como afectarían dichos riesgos a la realización del TFG.

		IMPACTO				
		Muy bajo (0.05)	Bajo (0.1)	Moderado (0.2)	Alto (0.4)	Muy Alto (0.8)
PROBABILIDAD	Raramente (0.1)					
	Difícilmente (0.3)		1 (0.03)			
	Posible (0.5)			2 (0.1)		
	Probable (0.7)					
	Casi seguro (0.9)					

Tabla 23: Matriz de probabilidad e impacto.

10 Conclusiones

En este TFG se ha analizado la viabilidad del estándar ATSC 3.0 para ofrecer diferentes tipos de servicios de televisión digital en diferentes entornos. Para ello, una vez definidos los objetivos, se ha iniciado recopilando información de las capacidades técnicas que podría ofrecer el sistema.

En primer lugar, se han estudiado los requerimientos de bit necesarios para cada uno de los posibles servicios que se puedan ofrecer en los diferentes escenarios. Se han analizado los posibles casos de uso y sus respectivos parámetros de configuración. Para realizar este análisis se han tenido en cuenta las diferentes arquitecturas de red, además de las tecnologías incluidas en el estándar (LDM, OFDM,...). Como resultado, se han obtenido diferentes configuraciones posibles para cada caso de uso así como los valores necesarios para realizar las simulaciones.

En segundo lugar, antes de realizar las simulaciones, se han tenido que seleccionar los diferentes entornos. Estos se han seleccionado por sus características (población, geografía...) y porque representan casos típicos de uso para en el futuro. Para este proyecto se han escogido dos de los casos de uso más novedosos. A través de las simulaciones realizadas en el estado de Iowa y en el área de la bahía de San Francisco se ha podido concluir que la incorporación de algunas técnicas al estándar supone un gran avance.

La elección de usar redes con arquitectura SFN supone un aprovechamiento de recursos del espectro notable. La resolución de la discusión en la asignación del espectro es vital con vistas a futuro, ya que en la CMR-23, en 2023, se revisará toda la banda UHF (470-960MHz). Además, se puede observar en los resultados obtenidos, que la cobertura para transmitir servicios en UHDTV en recepción en azoteas es prácticamente total en ambos casos.

El uso de la tecnología LDM para incorporar contenido local (LSI) junto a servicios globales en redes SFN ha obtenido buenos resultados. Como se puede observar en los resultados, para este caso de uso, ambos servicios disponen de prácticamente la misma huella de cobertura, llegando a ser de más del 90% en ambos casos.

Sin embargo, también se han observado casos de servicios (HD in-car) en los que la cobertura no era suficiente. Para este tipo de servicios se necesitarán incorporar nuevos transmisores a la red.

Una vez finalizado el proyecto se puede concluir que con las características técnicas que ofrece este nuevo estándar se puede sustituir el anterior, ATSC 1.0. Todo ello ofreciendo flexibilidad para diseñar nuevos tipos de redes, transmitiendo servicios con requisitos de *bitrate* elevados y manteniendo la escalabilidad para una ampliación o modificación del sistema en el futuro.

11 Bibliografía

- [1] R. Chernock, D. Gomez-Barquero, J. Whitaker, S.-I. Park, and Y. Wu, “ATSC 3.0 Next Generation Digital TV Standard—An Overview and Preview of the Issue,” *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 62, no. 1, pp. 154 – 158, 2016.
- [2] Advanced Television Systems Committee (19 Oct 2017): ATSC 3.0 Standard: ATSC 3.0 System (A/300) (Doc. A/300:2017). [Online] Disponible: <https://www.atsc.org/wp-content/uploads/2017/10/A300-2017-ATSC-3-System-Standard-1.pdf>
- [3] L. Fay, L. Michael, D. Gomez-Barquero, N. Ammar, and M. W. Caldwell, “An Overview of the ATSC 3.0 Physical Layer Specification,” *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 62, no. 1, pp. 159 – 171, 2016.
- [4] G.K. Walker, T. Stockhammer, G. Mandyam, Y-K Wang, and C. Lo, “ROUTE/DASH IP Streaming-Based System for Delivery of Broadcast, Broadband, and Hybrid Services” *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 62, no. 1, pp. 328 – 337, 2016
- [5] Advanced Television Systems Committee (23 Mar 2016): ATSC 3.0 Standard: A/321, System Discovery and Signaling (Doc. A/321:2016).[Online].Disponible:<https://www.atsc.org/wp-content/uploads/2016/03/A321-2016-System-Discovery-and-Signaling.pdf>
- [6] Advanced Television Systems Committee (24 Jan 2017): ATSC 3.0 Standard: A/342 Part 1, Audio Common Elements (Doc. A/342:2017).[Online] Disponible: <https://www.atsc.org/wp-content/uploads/2017/01/A342-1-2017-Audio-Part-1-4.pdf>
- [7] European Telecommunications Standard Institute (ETSI), «Digital Video Broadcasting (DVB); Framing Structure, Channel Coding and Modulation for a Digital Terrestrial Television (DVB-T), » Standard ETSI EN 300 744 V1.6.1, September 2008
- [8] European Telecommunications Standard Institute (ETSI), «Digital Video Broadcasting (DVB); Framing Structure, Channel Coding and Modulation for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2), » Standard ETSI EN 302 755 V1.1.1, September 2009
- [9] European Telecommunications Standard Institute (ETSI), «Digital Video Broadcasting (DVB); Second Generation Framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2), » Standard ETSI EN 302 307 V1.2.1, 2009
- [10] C. Perez Vega, Dpto. de Ingenieria de Comunicaciones, Universidad de Cantabria «Transmisión de Television Digital » [Online] Disponible: <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/estandares%20de%20transmision%20digital.pdf>
- [11] U. Meabe Muniain, « Planificación de redes de difusión para redes DVB fijas, móviles y portátiles indoor/outdoor de nueva generación en el País Vasco » Proyecto fin de Carrera, Bilbao, 2014.
- [12] D. Plets et al. “On the methodology for calculating SFN gain in digital broadband system” in *IEEE Transaction on Broadcasting*, vol. 56 no. 3, pp. 331– 339, Sep. 2010
- [13] J. Lopez-Sanchez, J. Zöllner, S. Atungsiri, E. State, and D. Gomez-Barquero, “Technical solutions for local service insertion in DVB-NGH single frequency networks” in *IEEE Transaction on Broadcasting*, vol. 63, no. 1, pp. 250– 259, March 2017.
- [14] W. Li et al, “Using LDM to Achieve Seamless Local Service Insertion and Local Program Coverage in SFN Environment,” in *IEEE Transaction on Broadcasting*, vol. 63, no.1, pp. 250– 259, March 2017
- [15] J. Montalban et al. “Performance study of layered division multiplexing based on SDR platform,” in *IEEE Transaction on Broadcasting*, vol. 61 no. 3, pp. 436–444, Sep. 2015
- [16] G-J. Sullivan, et al., “Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard”, *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 22, no. 12, pp. 1649–1668, Sept. 2012.
- [17] European Broadcasting Union (EBU), “Planning and Implementation for T-DAB and DVB-T”, Tech. 024, Oct. 2013
- [18] European Broadcasting Union (EBU), “Frequency and Network planning aspect of DVB-T2”, Tech. 3348, version 4.1.1. Oct. 2014.
- [19] SPLAT! [Online]. Disponible: <https://www.qsl.net/kd2bd/splat.html>, accedido sept-18

- [20] S. Kasampalis et al., “Comparison of Longley-Rice, ITM and ITWOM propagation models for DTV and FM broadcasting”, International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), June 2013.
- [21] FCC Info [Online]. Disponible: <http://www.fccinfo.com/cmdpro.php?sz=L&wd=1680>, accedido sept-18.
- [22] STRM3 Space Shuttle STS-99 Radar Topography Mission. [Online]. Disponible: https://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/North_America/, accedido sept-18.
- [23] Gridded Population of the world, version 4 (2015). Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University [Online]. Disponible: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/mapping/popest/gpw-v4/>
- [24] H. Hoffman, et al. “A novel method for subjective picture quality assessment and further studies of HDTV formats” IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 54, no. 1, March 2018.
- [25] Sullivan, G.J. et al., “Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard”, IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 60, no.2, pp. 70-184, June 2012.
- [26] T. Weingand et al., “Overview of the H.264/AVC video coding standard”, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 13, no. 7, pp. 560-576, July 2013.
- [27] ATSC 3.0 Contribution to Baseband PHY Description “Reworked Version of S32-201r0 Baseband PHY Description (08/12/2014). Analysing MAC layer & SFN contains”, Team Cast, December 2014.
- [28] United States Census Bureau [Online]: Disponible: <https://www.census.gov/quickfacts/fact/map/ia/PST045217>, accedido sept-18
- [29] Bay Area Census [Online]: Disponible: <http://www.bayareacensus.ca.gov/bayarea.htm>, accedido Oct-18.
- [30] United States Census Bureau [Online]: Disponible <https://www.census.gov/quickfacts/fact/dashboard/sanfranciscocalifornia/PST045217>, accedido oct-18
- [31] A/322 ATSC Candidate Standard–Physical Layer Protocol, document S32-230r55, Adv. Televis. Syst. Committee, Washington DC, USA, Jun 29 2016. [Online]: Disponible: <https://www.atsc.org/wp-content/uploads/2016/10/A322-2017a-Physical-Layer-Protocol-1.pdf>, accedido Oct-18
- [32] European Broadcasting Union, “Frequency and Network planning aspects of DVB-T2”, Tech. 3348 version: 4.1.1. October 2014.
- [33] Documentación SPLAT! [Online]. Disponible: <https://www.qsl.net/kd2bd/splat-spanish.pdf>, accedido oct-18
- [34] Documentación STRM1. [Online]: https://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM1/Region_definition.jpg, accedido Oct-18

12 Anexos:

Anexo 1: Paper BMSB 2017

El artículo fue presentado en el 2017 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting en Cagliari (Italia). El documento está disponible online: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7986206>.

Network Planning for Local Service in ATSC 3.0 Single Frequency Networks

C. Regueiro¹, X. Botran¹, J. Montalban¹, M. Velez¹, P. Angueira¹, Y. Wu², L. Zhang² and W. Li²

¹ University of the Basque Country (UPV/EHU), Alda. Urquijo s/n, 48013 Bilbao, Spain.
Email: {cristina.regueiro, xabier.brotran, jon.montalban, manuel.velez, pablo.angueira}@ehu.eus

² Communications Research Centre, 3701 Carling Ave, Nepean, ON K2K 2Y7, Canada
Email: yiyang.wu@ieee.org, liang.zhang@canada.ca, wei.li@canada.ca

Abstract— This paper analyzes a potential configuration of ATSC 3.0 for delivering local services in a Single Frequency Network (SFN). This application is possible using Layered Division Multiplexing – Local Service Insertion (LDM-LSI). This technique uses the lower layer as the bearer of local services, injected well below the upper layer ($\Delta=19\text{dB}$). The paper analyzes the bitrate requirements and mode configuration of each layer. The field strength planning values and the specific processing for calculating the coverage probability values are also described. Finally, the configuration proposed is evaluated on a specific environment (San Francisco) where a planning exercise with population and location coverage probability statistics is also provided. The results show that fixed service coverage of both global and local services on an SFN can be easily achieved using LDM LSI.

Index Terms— ATSC 3.0, LSI, LDM, SFN, Planning

I. INTRODUCTION

ATSC 3.0 is the latest terrestrial broadcasting standard designed to replace the first generation system. This first generation system, ATSC 1.0, has been successfully on air for more than a decade in the US, Canada and South Korea. The new standard, ATSC 3.0, has been created with as much flexible functions as possible in order to be adapted to the needs of any market around the world.

ATSC 3.0 is in fact a set of standards that covers different layers of the multimedia delivery process, each one dealing with a subset of communication functionalities [1]. The physical layer standard A322 was approved in summer 2016 and incorporates the latest advances in techniques associated to RF transmission and reception (modulation, coding, interleaving, OFDM, multiplexing and others). The use of state-of-the-art physical layer technologies has driven efficiency really close to the Shannon limit and the flexibility in configuration possibilities enables efficient network deployments, adapted to the specific service and coverage requirements of the target area. A major advance of ATSC 3.0 with respect to its predecessor is the full technical capability to configure Single Frequency Networks (SFN).

SFNs are optimal network configurations that maximize spectrum efficiency and minimize co-channel interference. SFNs have been intensively used in European countries since 2002 for DVB-T commercial service rollouts [2]. Their superior efficiency comes from the fact that being all the transmitters time and frequency synchronized the same content can be delivered over the whole network using a single RF channel.

ATSC 3.0, following the path of DVB terrestrial standards, is based on OFDM and has a symbol transmission structure that incorporates Guard Intervals (GI). The range of GIs of ATSC 3.0 extends up to 704 μs for 6 MHz bandwidth signals (See Table I). This value permits SFNs with a maximum theoretical distance between transmitters of 210 km. In practice, the maximum distance between transmitters will vary according to the propagation conditions and network architecture but in any case the maximum value will ensure seamless coverage that can extend over hundreds of kilometers to create a nationwide service on a single UHF channel (See Table I).

TABLE I
GI AND EQUIVALENT TRANSMITTER DISTANCE IN ATSC 3.0

	GI (μs)	Tx Distance
Maximum Value	704	210 km // 130 miles
Typical Value	224	65 km // 40 miles
Minimum Value	27.8	8 km // 5 miles

In a SFN all transmitters need to broadcast exactly the same content. In consequence, that prevents the delivery of local services over the SFN service area [3]. Recently, a configuration based on the use of Layered Division Multiplexing (LDM) has been proposed as a means to deliver local service contents in SFN [4].

LDM [5] is a multiplexing technique included in the baseline of the physical layer of ATSC 3.0. Previous publications have presented several studies that demonstrate both theoretically and practically that LDM is much more efficient than the classical Time Division Multiplexing (TDM) or Frequency Division Multiplexing (FDM) approaches [6]. This superiority requires an imbalance in bitrates of delivered streams of different layers.

This paper analyzes the main planning parameters and values for planning SFN networks with local service insertion using LDM. The paper discusses the possible values of the LDM configuration parameters as well as their impact on the network planning and the variations on the service coverage.

The paper is organized as follows. A theoretical analysis of the network and service parameters is included in Section II. The planning methodology has been described in Section III and applied to San Francisco area as an example in Section IV. Finally, Section V presents the main conclusions of the work.

II. NETWORK AND SERVICE PLANNING PARAMETERS

First, the bitrate allocation to different services needs to be evaluated. ATSC 3.0 uses High Efficiency Video Coding (HEVC) or H.265 [7]. According to the available bibliography and latest commercial disclosures, some suggestions of the bitrate requirements associated to various image qualities are displayed in Table II.

TABLE II
SERVICE AND BITRATES REQUIREMENTS

Format	Bitrate (Mbps)
Standard Definition (SD)	0.8-1.8
High Definition (HD)	2.0-3.5
Ultra High Definition (UHD)	15.0-20.0

The term UHD TV (Ultra High Definition TV) requires further specification and its bitrate requirements will depend on the use of complementary techniques such as High Dynamic Range (HDR), Wide Color Gamut (WCG) and High Frame Rate (HFR) [8]-[10].

The network will deliver two sets of services carried by the same LDM ensemble: global SFN services and local services.

SFN services will be accessible by receivers at any location within the SFN service area. The SFN services will be carried by the upper layer (UL) of the LDM signal ensemble. Depending upon the needs of the broadcaster market, the UL can be further allocate TDM services for fixed, portable and mobile reception.

Local services, that will be received by equipment located within the range of a specific transmitter delivering a specific local content. They will be carried on the lower layer (LL) of the LDM signal ensemble with appropriate injection level (Δ).

Table III summarizes the LDM ensemble configuration in a scenario with two SFN services (Fixed Reception UHD TV and Mobile/Indoor HD) and a local service.

TABLE III
LDM ENSEMBLE PARAMETERS

LDM Component	Service	MOD-COD	Bitrate (Mbps)	Theoretical SNR (dB)
UL (TDM 75%)	Fixed	256 NU-QAM 8/15	16.4	15.5
UL (TDM 25%)	Mobile/Indoor	QPSK 11/15	1.9	3.5
LL ($\Delta=19$ dB)	Local	QPSK 4/15	2.7	16.3

For service planning purposes the LDM injection level will be a critical configuration parameter. The choice will depend on the ratio of the coverage footprints of the upper and lower layers. From a purely market perspective, it is desirable that both UL and LL footprints will be identical but at the same time, the UL service should not be influenced by the presence of a LL. Previous tests [4] suggest 19 dB as the minimum injection to keep the UL service threshold unaltered.

This is a challenge even in a simple SFN networks composed of two transmitters, where the receiver at the fringe of the coverage area of one of the two transmitters will receive at least four components UL TX1, LL TX1, UL TX2, LL TX2. The thresholds in this scenario will be influenced by the impact of the co-channel interference, which determines the final SNR threshold of the local service delivered on the lower layer [4]. Table IV contains the SNR threshold values used for this purpose. The last column contains the SNR requirements for each layer. Those values have been obtained from simulations using a full ATSC transmitter-receiver toolbox

compliant with the current PHY specification [1]. Each one of the service layers will experience different channel impairments. The UL has been evaluated using a 0 dB echo channel. In the worst scenario the channel can degrade the system performance up to 4 dB. Nevertheless, a perfect 0 dB channel is seldom observed in real networks, and if necessary, could be mitigated using MISO coding techniques included in ATSC 3.0. The portable and mobile thresholds have been obtained using the DVB Pedestrian Outdoor (PO) and TU-6 channels respectively.

TABLE IV
SNR (dB) REQUIREMENTS FOR ATSC 3.0 MEASURED CONFIGURATIONS

Service	Theor. SNR	Channel	Effective SNR
UL Rooftop	15.5	0 dB Echo	20.7
UL Mobile	3.5	PO //TU-6	9.1//14.5
UL Indoor	3.5	Rayleigh	7.1
LL Rooftop	16.3	Rice + 0 dB Co-channel Interferer	19.6
LL Indoor	16.3	Rayleigh + 0 dB Co-channel Interferer	21.3

Once the SNR thresholds have been defined, network planning will require minimum field strength calculations. The process is summarized in Table V. The table contains values for local and SFN services (HD and UHD TV services). The method for obtaining field planning values includes standard reception equipment data. Rows 2 to 7 in Table V contain reference noise and antenna system values for fixed rooftop and portable reception [11].

Values in Table V suggest a significant difference in the footprints associated to rooftop and indoor coverage. There are several factors that explain the difference. First, the antenna height correction as well as penetration loss values will involve an accumulated difference of more than 30 dB. Even pessimistic, these are usual data in network planning and they are intended for worst case situations in dense cities [11]. A second factor is related to the antenna gain that in some cases can lead to an additional margin of 20 to 25 dB. The solution to that difference comes from another advantage of SFNs, with the inclusion of low power gap fillers strategically located within the service area that increase the coverage percentages significantly [12].

In addition to the standard difference between rooftop and portable indoor reception cases, the SFN LSI has an additional challenge: the co-channel interference. The portable reception involves higher co-channel interference from the adjacent transmitter local service (LL TX2 harms LL TX1, where the desired local service is delivered by LL TX1).

In summary, planning values will ensure similar footprints on the upper and lower layer (LSI) for rooftop reception, while those services intended for portable indoor and in-car reception, using omnidirectional antennas, will require much higher planning values.

TABLE V
MINIMUM FIELD STRENGTH VALUES FOR LDM SFN LOCAL SERVICE INSERTION

Service	UHD SFN	HD SFN	HD SFN	HD SFN	HD SFN	HD Local	HD Local
Receiver Type	Fixed Rooftop	Portable Indoor	Portable Outdoor	Mobile (inside car)	Car Antenna	Local Rooftop	Local Portable Indoor
SNR Target Scenario (dB)	20.7	7.1	9.1	14.5	14.5	19.6	21.3
Noise Figure (dB)	7	6	6	6	6	7	6
Noise Power (dBW)	-129.4	-130.4	-130.4	-130.4	-130.4	-129.4	-130.4
Feeder Loss (dB)	4	0	0	0	0	4	0
Antenna Type	Directive	Omni	Omni	Omni	Omni	Directive	Omni
Antenna Gain (dBi)	13.1	-7.3	-7.3	-7.3	2.15	13.1	-7.3
Antenna Aperture (dBm ²)	-4.1	-24.6	-24.6	-24.6	-4.1	-15.1	-24.6
Signal Power (dBuV)	33.0	16.9	18.9	25.3	25.3	32.2	34.6
Signal Power (dBW)	-105.7	-121.8	-119.8	-113.4	-113.4	-106.5	-104.1
Density (dBW/m ²)	-97.6	-97.2	-95.2	-88.8	-98.3	-98.4	-79.5
Field Strength (dBuV/m)	48.2	48.6	50.6	57.0	47.5	47.3	66.3
Man-made Noise (dB)	0	0	0	0	1	0	0
Penetration Loss (dB)	0	11	0	8	0	0	11
Height Loss (dB)	0	23.5	23.5	23.5	23.5	0	23.5
Location Variation 95% (dB)	9.0	13.0	13.0	13.0	13.7	9.0	13.0
E95 min (dBuV/m)	57.2	96.1	87.1	102.2	85.0	56.4	113.8

III. PLANNING PROCESS

Field strength reference values in Table V require further analysis in the case of a SFN. There are two additional factors required in the calculation of the coverage probability at a certain location of the service area: the SFN gain (contribution of different transmitters at the same location) and the potential intra-network SFN interference. This section provides an explanation of the method required for coverage probability estimation.

The software used to simulate field strength distribution maps is SPLAT! [13]. This tool is an RF Signal, Propagation, Loss, and Terrain that provides coverage analysis functionalities. SPLAT! is based on the Irregular Terrain with Obstructions Model (ITWOM) [14].

This package requires two datasets as input to the calculation. On the one hand, SPLAT! needs the RF infrastructure database, which in our case has been obtained from publicly available FCC information[15]. On the other hand, the topographic database, which in this case is the STRM-3, a three arc-second terrain data obtained from the Space Shuttle STS-99 Radar Topography Mission [16]. In addition, a population database has been also included in order to analyze population coverage statistics for each broadcast service. In this case, the population data are provided by CIESIN (Columbia University) [17].

In MFN scenarios, the field strength can be directly compared to the required field strength defined in Table V in order to determine the coverage area for each type of service. However, in SFNs, an additional process has to be applied. Figure 1 shows the planning methodology process followed for SFN services, based on the process described in [18].

First, the propagation delay time matrixes for each transmitter are obtained for each area pixel. In our example, the time reference will be associated to the signal with highest received power level. Using that reference, it is possible to identify and compute the amplitude of signals coming from other transmitters that are inside or outside the guard interval. After this selection process, the overall contributing and interfering components will be calculated. This calculation is a

summation of lognormal variables. In our case we are using the K-LNM method [18] for that purpose. The result will be a contributing field strength matrix and an interfering field strength matrix. With this information and the SNR requirements from Table IV, the Effective Protection Ratio (EPT)[11] is obtained and the coverage probability can be estimated. This coverage estimation includes the percentage of covered pixels (locations exceeding the EPT) in the measured area.

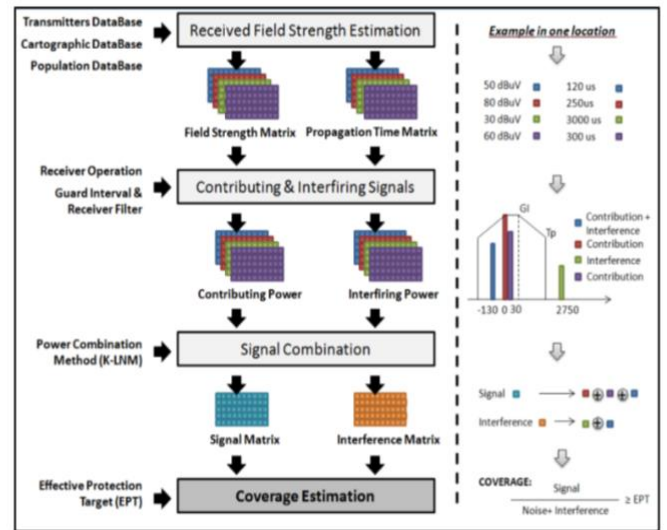


Figure 1. SFN Planning Methodology Process

IV. PLANNING USE CASE: SAN FRANCISCO

A use case illustrating values and procedures of the previous case has been applied to the DTV ATSC 3.0 service in the San Francisco area (US).

We have assumed a broadcaster that provides services to San Francisco bay and contiguous metropolitan areas including San Jose. The area is served by three sites that operate as a SFN. TX1 and TX2 (see Figure 2) provide coverage to the San Francisco bay surrounding area, whereas TX3 is used to provide complementary coverage in San Francisco bay as well as in San Jose. The transmitting sites location and radiation systems are based on existing

communications towers KQED, KNTV (San Francisco) and KICU-TV (San Jose) from FCC [15]. The broadcast network has been kept with the existing RF configuration system used for ATSC 1.0: current power and existing radiating system. The data is summarized in Table VI.

TABLE VI
TRANSMITTERS MAIN INFORMATION

Name	KQED	KNTV	KICU-TV
Location	San Francisco	San Francisco	San Jose
AGL (m)	288.4	62.1	175.0
Antenna	TUM 20-C5SP-14/60H-2-R-T	THV-6A12 VP-R C150SP	TFU-30DSC/VP-R C170
ERP (kW)	1000	103.1	550
Polarization		Horizontal	

Figure 2 shows the estimated coverage for the UL SFN service. Specifically, plots show the UHD SFN Rooftop coverage (left) and Portable Indoor services (right). The light blue area represents pixels where the EPT is higher than 95%. The difference between those coverage footprints is remarkable and associated to the link budget difference as explained in section III. The antenna efficiency, antenna height correction as well as the building penetration losses are the main factors creating the coverage difference. The exact coverage values are displayed in Table VII. Rooftop reception is successful on the entire service area (figures over 98% of the population), while portable indoor coverage is close to 50% of the population. The numbers are in line with similar cases aiming at indoor coverage using High Tower High Power infrastructure [12].

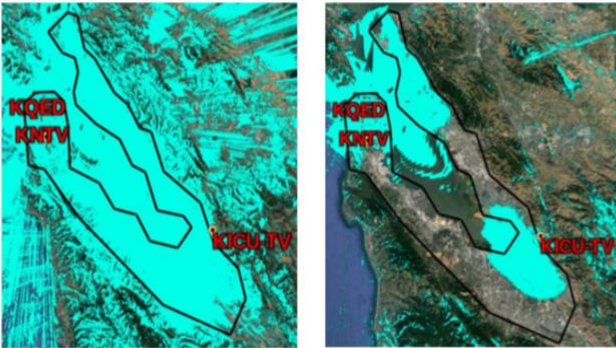


Figure 2. Coverage Estimation for UHD SFN Rooftop (on the left) and HD SFN Portable Indoor (on the right)

Figure 3 shows the results associated to the local service. If the case of rooftop reception is analyzed, the lower layer coverage is similar to the global service on the upper layer. A black polygon has been included as a visual reference of the service target area.

Population percentage values are also shown in Table VII. These values indicate that LDM provides a solution for delivering local service insertion. The coverage percentages of the global service (UHD SFN Rooftop) and the local service (HD Local Rooftop) are close enough to consider a single footprint for both contents.

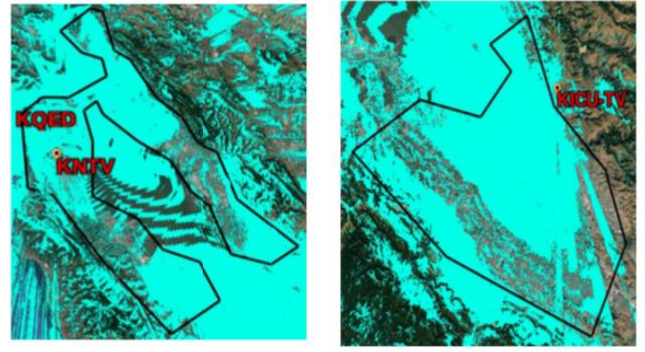


Figure 3. Coverage Estimation for HD Local Rooftop in San Francisco (on the left) and San Jose (on the right)

TABLE VII
ESTIMATED COVERAGE IN THE SERVICE AREA

Service	Population Coverage	Location Coverage
UHD SFN Rooftop	98.3 %	97.8 %
HD SFN Portable Indoor	52.7 %	46.4 %
HD SFN Portable Outdoor	88.1 %	86 %
HD SFN Mobile (in-car)	18.3 %	12.5 %
HD SFN Car antenna	63.5 %	57.3 %
HD Local Rooftop	94.4 % (San Francisco), 94.7 % (San Jose)	92.1 % (San Francisco), 94.1 % (San Jose)
HD Local Portable Indoor	5.4 % (San Francisco), 8.7 % (San Jose)	2.2 % (San Francisco), 11.8 % (San Jose)

The HD SFN Portable Outdoor coverage is also remarkable for a High Power High Tower infrastructure. In this case the numbers are higher than 85% of the locations. It should be noted here that the correction factor might be pessimistic for urban planning in the US, according to the average household building height.

The results, in line with previous studies in the UHF band, suggest that extending the coverage of the SFN to in-car mobile and indoor portable reception requires additional transmitting sites.

V. CONCLUSIONS

This paper has outlined the planning parameters of an SFN to global and local services. This possibility is one of the benefits of LDM and so far exclusive of the ATSC 3.0 standard. A proposal for configuring both types of services has been included. A two layered system with 19 dB injection has been studied, providing UHD grade services on the upper layer and HD grade local services on the lower layer.

The different steps in planning parameter definition have been explained starting from bitrate requirements of H.265 for specific quality targets (HD vs. UHD), following with ATSC 3.0 mode as well as derivation of field strength planning values. The use of overall SNR and SNIR values at each pixel has also been considered for coverage probability computation.

The planning parameters have been applied to an example in the city of San Francisco. The results show that rooftop coverage is possible for both the upper (global) and lower (local) services with population coverage numbers that in practice mean all the population in the area (98% and 94% respectively).

ACKNOWLEDGMENT

This work has been financially supported in part by the University of the Basque Country UPV/EHU (UFI 11/30), by the Basque Government (IT-683-13 and PREDOC program), by the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness under projects HEDYT-GBB (TEC2012-33302) and 5G-newBROS (TEC2015-66153-P MINECO/FEDER, UE) and the European Regional Development Fund (ERDF).

REFERENCES

- [1] A/322 ATSC Candidate Standard—Physical Layer Protocol, document S32-230r55, Adv. Televis. Syst. Committee, Washington, DC, USA, Jun. 29, 2016. [Online]. Available: <http://atsc.org/wpccontent/uploads/2015/10/A322S32-230r56-Physical-Layer-Protocol.pdf>
- [2] D. Plets et al., "On the methodology for calculating SFN gain in digital broadcast systems," in *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 56, no. 3, pp. 331–339, Sep. 2010.
- [3] J. López-Sánchez, J. Zöllner, S. Atungsiri, E. Stare, and D. Gómez-Barquero, "Technical solutions for local service insertion in DVB-NGH single frequency networks," in *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 60, no. 2, pp. 293–301, Jun. 2014.
- [4] W. Li et al, "Using LDM to Achieve Seamless Local Service Insertion and Local Program Coverage in SFN Environment," in *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol.63, no.1, pp.250-259, March 2017.
- [5] L. Zhang et al., "Layered-division-multiplexing: Theory and practice", in *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 62, no. 1, pp. 216–232, Mar. 2016.
- [6] J. Montalban et al., "Performance study of layered division multiplexing based on SDR platform," in *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 61, no. 3, pp. 436–444, Sep. 2015.
- [7] G-J. Sullivan, et al., "Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard", *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol.22, no.12, pp. 1649-1668, Sep. 2012.
- [8] "Understanding Ultra High Definition Television", Ericsson White Paper, Nov. 2015.
- [9] C. Becker, "The consumer experience of UHD. Results of an in-depth study", Orange Labs, Nov. 2014.
- [10] T. Biatek, W. Hamidouche, J. F. Travers and O. Deforges, "Optimal Bitrate Allocation in the Scalable HEVC Extension for the Deployment of UHD Services," in *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 62, no. 4, pp. 826-841, Dec. 2016.
- [11] European Broadcasting Union, "Frequency and Network planning aspects of DVB-T2", tech.3348, version: 4.1.1, Oct. 2014.
- [12] U. Meabe et al., "On the Coverage and Cost of HPHT Versus LPLT Networks for Rooftop, Portable, and Mobile Broadcast Services Delivery", in *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 61, no. 2, pp. 133-141, Jun. 2015.
- [13] SPLAT!, [Online]. Available: <http://www.qsl.net/kd2bd/splat.html>, accessed April 2016.
- [14] S. Kasampalis et al., "Comparison of Longley-Rice, ITM and ITWOM propagation models for DTV and FM broadcasting", *International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, June 2013.
- [15] FCC Info [Online]. Available: <http://www.fccinfo.com>, accessed April 2017.
- [16] STRM3 Space Shuttle STS-99 Rada Topography Mission. [Online]. Available: https://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/North_America/, accessed April 2017.
- [17] Gridded Population of the world, version 4 (2015). Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University [Online]. Available: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/gpw-v4>, accessed in April 2017.
- [18] European Broadcasting Union, "Planning and Implementation for T-DAB and DVB-T", Tech. 024, Oct. 2013.

