

ESTUDIO DE LA PLANIFICACIÓN DE TDT USANDO EL SISTEMA WiB

Trabajo Fin de Master

Memoria

Alumno: Álvaro Gabilondo García

Director de Proyecto: Manuel M^a Velez Elordi

Codirector: Pablo Angueira

Titulación: Master Universitario en Ingeniería de Telecomunicación

Curso académico

2016/2017

Índice

Índice.....	2
1. Resumen Trilingüe.....	4
2. Lista de Tablas, ilustraciones y acrónimos	6
FIGURAS	6
TABLAS	8
ACRÓNIMOS.....	9
3. Memoria.....	10
4. Introducción	10
5. Contexto.....	11
5.1 Estándares.....	11
5.2 Dividendo digital	12
6. Objetivos y Alcance	13
6.1 Objetivos	13
6.2 Alcance	13
7. Beneficios	14
7.1 Beneficios Técnicos	14
7.2 Beneficios Económicos.....	14
7.3 Beneficios Sociales	14
8. Estado del arte	15
8.1 DVB-T2.....	15
8.2 WiB.....	16
8.3 SPLAT	18
9. Metodología	19
9.1 Obtención de datos.....	19
9.2 Creación del código en MatLab.....	21
9.2.1 Cobertura espacial.....	21
9.2.2 Cobertura de población	25
9.3 Mejora de código básico	26
9.3.1 Mecanismo de sincronización: Señal más fuerte	26
9.3.2 Intervalo de guarda: Pendientes laterales	27
9.3.3 Diagrama de radiación en antenas Receptoras	28
9.4 Descripción CASO-A de WiB en red SFN.....	29
9.5 Caso práctico	30

10.	Descripción de las tareas. Gantt.....	35
10.1	Equipo de trabajo	35
10.2	Fases del trabajo	35
10.3	Gantt.....	38
11.	Presupuesto	39
11.1	Horas internas	39
11.2	Amortizaciones.....	39
11.3	Resumen económico	40
12.	Análisis de riesgos	41
12.1	Riesgos.....	41
12.2	Planes de contingencia.....	42
13.	Conclusiones.....	43
	Bibliografía	44
	Anexo I: Código de MatLab	45
	Código principal.....	45
	Función para acotar zona	47
	Función para crear Matrices de potencia	47
	Función para Quitar ceros.....	49
	Función para crear matriz de retardo/distancia	49
	Función para obtener el transmisor con señal más fuerte	50
	Función para obtener matrices Contribuyentes e Interferentes	50
	Función para aplicar el método K-LNM.....	52
	Función para Obtener matriz con SNR.....	53
	Función para eliminar ceros.....	53
	Función Conversora de utm a grados	53
	Función para acortar zonas habitadas	56
	Anexo II: Método de combinación de señales K-LNM	58
	Método LNM	58
	K-LNM.....	58
	Anexo III: Transmisores empleados	60
	Anexo IV: Resultados caso práctico	63
	Figuras de cobertura espacial	63
	Figuras de cobertura de población	77

1. Resumen Trilingüe

El objetivo final de esta trabajo fin de master, que se expone en este documento, trata sobre el estudio de la planificación de un sistema de radiodifusión de TDT (Televisión Digital Terrestre) aplicando las características del escenario A del WiB (WideBand Reuse 1) con la intención de mejorar el consumo de potencia de los transmisores manteniendo la cobertura espacial y de población. Además del estudio mencionado se realizará una prueba a través de un caso práctico en el que se analizará un sistema con el estándar actual con el modificado con el sistema WiB. Se partirá de la información de potencia obtenida por diferentes transmisores y de datos estadísticos de población obtenidos de bases de datos autonómicas. Para las simulaciones se utilizarán los programas de SPLAT y Matlab.

Palabras clave: TDT, WiB, Sistema de radiodifusión, Estudio de planificación, Reducción de potencia, transmisores.

The ultimate goal of the work that is disclosed in this document, is about the study of a planning of a DTT (Digital Terrestrial Television) broadcasting system applying the characteristics of the scenario A of the WiB (WideBand Reuse 1) with the aim of improving the power consumption of the transmitters while maintaining the spatial and population coverage. In addition to the aforementioned study, a test will be carried out through a case study in which a system with the current standard will be analyzed with the one modified with the WiB system. It will depart from the power information obtained by different transmitters and statistical population data obtained from autonomic databases. For the simulations, the SPLAT and Matlab programs will be used.

Key words: DTT, WiB, Broadcast system, Planning study, Power reduction, transmitters.

Dokumentu honetan eztabaidatzen den masterraren azken helburua TDT (Telebista Digitalaren Telebista) sistemaren plangintza aztertzea WiB-ren eszenatoki A (WideBand Reuse 1) ezaugarriak aplikatuz transmisoreen energia-kontsumoa hobetzeko asmoarekin espazioan eta biztanleriaren estaldura mantenduz da. Aurreko azterketez gain, azterketa bat egingo da kasu-azterketen bidez, eta uneko estandarrarekin sistema bat aztertuko WiB sistemarekin aldatua da. Transmisore ezberdinek lortutako potentzia informazioa eta datu base autonomikoetatik lortutako datu estatistikoak datuak igaroko dira. Simulazioak egiteko, SPLAT eta Matlab programak erabiliko dira.

Gako-hitzak: TDT, WiB, igorpen sistema, azterketa planifikatua, potentzia murriztea, transmisoreak.

2. Lista de Tablas, ilustraciones y acrónimos

FIGURAS

Figura 1: Reparto de los estándares en el mundo [3]	12
Figura 2: Dividendo digital	12
Figura 3: Icono del SPLAT	18
Figura 4: Comando para simulación en SPLAT	20
Figura 5: Ejemplo de simulación con SPLAT	20
Figura 6: Método de análisis de cobertura SFN [12].....	21
Figura 7: Transmisores Tx1 y Tx2 en zona de simulación	22
Figura 8: Zonas abarcadas de transmisores independientes Tx1 y Tx2	22
Figura 9: Ejemplo de obtención de matriz total de distancia mínima	23
Figura 10: Ejemplo de señales Contribuyentes e Interferentes.....	24
Figura 11: Ejemplo de capa seleccionada	25
Figura 12: Intervalo de guarda con primera señal recibida	27
Figura 13 Intervalo de guarda con señal más fuerte.....	27
Figura 14: Función de ponderación $W(t)$	27
Figura 15: Potencias sin corrección del diagrama de radiación.....	29
Figura 16: Potencias con corrección del diagrama de radiación.....	29
Figura 17: Ejemplo de Figura de cobertura espacial	33
Figura 18: Ejemplo de Figura de cobertura de población	33
Figura 19: Escala de colores de las figuras	33
Figura 20: Escala de colores de las figuras	63
Figura 21: Cobertura espacial 256-QAM 3/5 con disminución de 0dB.....	64
Figura 22: Cobertura espacial 256-QAM 3/5 con disminución de 6dB.....	64
Figura 23: Cobertura espacial 256-QAM 3/5 con disminución de 10dB.....	65
Figura 24: Cobertura espacial 256-QAM 3/5 con disminución de 20dB.....	65
Figura 25: Cobertura espacial 256-QAM 3/5 con disminución de 30dB.....	66
Figura 26: Cobertura espacial 256-QAM 3/5 con disminución de 40dB.....	66
Figura 27: Cobertura espacial QPSK 1/2 con disminución de 6dB.....	67
Figura 28 Cobertura espacial QPSK 1/2 con disminución de 10dB	67
Figura 29: Cobertura espacial QPSK 1/2 con disminución de 20dB.....	68
Figura 30: Cobertura espacial QPSK 1/2 con disminución de 30dB.....	68
Figura 31: Cobertura espacial QPSK 1/2 con disminución de 40dB	69
Figura 32: Cobertura espacial QPSK 3/4 con disminución de 6dB.....	69
Figura 33: Cobertura espacial QPSK 3/4 con disminución de 10dB.....	70
Figura 34: Cobertura espacial QPSK 3/4 con disminución de 20dB.....	70
Figura 35: Cobertura espacial QPSK 3/4 con disminución de 30dB.....	71
Figura 36: Cobertura espacial QPSK 3/4 con disminución de 40dB.....	71
Figura 37: Cobertura espacial 16-QAM 1/2 con disminución de 6dB.....	72
Figura 38: Cobertura espacial 16-QAM 1/2 con disminución de 10dB.....	72
Figura 39: Cobertura espacial 16-QAM 1/2 con disminución de 20dB.....	73

Figura 40: Cobertura espacial 16-QAM 1/2 con disminución de 30dB	73
Figura 41: Cobertura espacial 16-QAM 1/2 con disminución de 40dB	74
Figura 42: Cobertura espacial 16-QAM 3/4 con disminución de 6dB	74
Figura 43: Cobertura espacial 16-QAM 3/4 con disminución de 10dB	75
Figura 44: Cobertura espacial 16-QAM 3/4 con disminución de 20dB	75
Figura 45: Cobertura espacial 16-QAM 3/4 con disminución de 30dB	76
Figura 46: Cobertura espacial 16-QAM 3/4 con disminución de 40dB	76
Figura 47: Cobertura de población 256-QAM 3/5 con disminución de 0dB	77
Figura 48: Cobertura de población 256-QAM 3/5 con disminución de 6dB	78
Figura 49: Cobertura de población 256-QAM 3/5 con disminución de 10dB	78
Figura 50: Cobertura de población 256-QAM 3/5 con disminución de 20dB	79
Figura 51: Cobertura de población 256-QAM 3/5 con disminución de 30dB	79
Figura 52: Cobertura de población 256-QAM 3/5 con disminución de 40dB	80
Figura 53: Cobertura de población QPSK 1/2 con disminución de 6dB	80
Figura 54: Cobertura de población QPSK 1/2 con disminución de 10dB	81
Figura 55: Cobertura de población QPSK 1/2 con disminución de 20dB	81
Figura 56: Cobertura de población QPSK 1/2 con disminución de 30dB	82
Figura 57: Cobertura de población QPSK 1/2 con disminución de 40dB	82
Figura 58: Cobertura de población QPSK 3/4 con disminución de 6dB	83
Figura 59: Cobertura de población QPSK 3/4 con disminución de 10dB	83
Figura 60: Cobertura de población QPSK 3/4 con disminución de 20dB	84
Figura 61: Cobertura de población QPSK 3/4 con disminución de 30dB	84
Figura 62: Cobertura de población QPSK 3/4 con disminución de 40dB	85
Figura 63: Cobertura de población 16-QAM 1/2 con disminución de 6dB	85
Figura 64: Cobertura de población 16-QAM 1/2 con disminución de 10dB	86
Figura 65: Cobertura de población 16-QAM 1/2 con disminución de 20dB	86
Figura 66: Cobertura de población 16-QAM 1/2 con disminución de 30dB	87
Figura 67: Cobertura de población 16-QAM 1/2 con disminución de 40dB	87
Figura 68: Cobertura de población 16-QAM 3/4 con disminución de 6dB	88
Figura 69: Cobertura de población 16-QAM 3/4 con disminución de 10dB	88
Figura 70: Cobertura de población 16-QAM 3/4 con disminución de 20dB	89
Figura 71: Cobertura de población 16-QAM 3/4 con disminución de 30dB	89
Figura 72: Cobertura de población 16-QAM 3/4 con disminución de 40dB	90

TABLAS

Tabla 1: Comparativa entre DVB-T y DVB-T2 [6].....	15
Tabla 2: Escenarios del WiB	17
Tabla 3: Resumen de características de la red.....	31
Tabla 4: Parámetros de transmisión empleados.....	31
Tabla 5: Capacidades de las configuraciones en DVB-T2	32
Tabla 6: Tabla de coberturas espaciales	33
Tabla 7: Tabla de coberturas de población	34
Tabla 8: Equipo de trabajo	35
Tabla 9: Diagrama de Gantt	38
Tabla 10: Horas Internas	39
Tabla 11: Amortizaciones	40
Tabla 12: Resumen económico	40
Tabla 13: Tabla de Impacto/Probabilidad de riesgos.....	42
Tabla 14: Transmisores empleados.....	62

ACRÓNIMOS

BBC	British Broadcasting Corporation
CAV	Comunidad Autónoma Vasca
CR	Code Rate
DVB-T	Digital Video Broadcast – Terrestrial
EBU	European Broadcasting Union
GI	Guard Interval
HDTV	High Definition Television
HPHT	High Power High Tower
ITU	International Telecommunication Union
LPHT	Low Power High Tower
NASA	National Aeronautic and Space Administration
SFN	Single Frequency Network
SHP	Shapefile
SNR	Signal to Noise Ratio
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TDT	Televisión Digital Terrestre
TSR	Tratamiento de la Señal y Radiocomunicación
TV	Televisión
WiB	WideBand Reuse 1

3. Memoria

En la memoria de este proyecto presentada a continuación se incluyen algunos apartados esenciales. En primer lugar la introducción, en la que se resume el contenido de la memoria. Después, se contextualiza el entorno del proyecto, indicando su alcance y objetivos y se resumen los beneficios más relevantes. Tras esto, en el estado del arte, se analizan todos los aspectos actuales que están relacionados del proyecto. Por último, se realiza una explicación de la metodología realizada junto con un caso práctico, un resumen del presupuesto y un análisis de los riesgos de las soluciones propuestas en este proyecto.

4. Introducción

A lo largo de este documento se presenta la memoria de un trabajo fin de master, el cual, consiste en el estudio de la planificación de un sistema de radiodifusión de TDT partiendo del sistema DVB-T2 [1] (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) aplicando ciertas características del sistema WiB. Este trabajo se ha llevado a cabo junto con el grupo de investigación TSR (Tratamiento de la Señal y Radiocomunicaciones) de la escuela de ingenieros de Bilbao, que no había realizado proyectos anteriormente con el sistema WiB.

En primer lugar se hace un estudio de la situación actual y del estándar que actualmente se utiliza en Europa, DVB-T/T2, y del nuevo sistema WiB junto con sus escenarios, los cuales se definen en convenciones llevadas a cabo por la organización DVB, encargada de crear los estándares de los sistemas de radiodifusión de televisión digital en Europa, para tratar esta nueva tecnología.

Una vez acotado el escenario de WiB a emplear, el proyecto continúa con el estudio de una planificación del sistema de radiodifusión de TDT introduciendo las características asociadas al escenario y analizando la mejora que proporciona dichas características WiB introducidas en el estándar actual.

Si bien es cierto que este sistema se empezó a estudiar y a comentar con mucha motivación y en convenciones posteriores otras organizaciones como la BBC (British Broadcasting Corporation) ha realizado estudios, en Reino Unido, con estos escenarios, más exactamente con el primer escenario o escenario A, el cual se estudia en este proyecto, actualmente ya no se le presta tanta atención como al principio.

5. Contexto

Hoy en día la televisión se ha convertido en uno de los medios de comunicación y de entretenimiento más influyentes a nivel mundial. A través de ella cada día millones de personas se informan de las novedades que ocurren en todos los lugares del mundo y se entretienen con las series y películas que se emiten.

Las primeras emisiones públicas de televisión fueron en la década de los 30, sin embargo, no se emitían programas en horarios regulares. A mediados del siglo XX se establecieron las primeras normas que regulaban la exploración, la modulación y la transmisión de la señal de TV (Televisión) y cada país crea sus sistemas de TV nacionales y privados. Sin embargo, no fue hasta finales de siglo cuando se crearon las primeras versiones de los estándares que utilizamos actualmente. Estos estándares se han ido adoptando por los diferentes países hasta la situación que nos encontramos hoy en día.

En un principio las emisiones de TV se realizaban de forma analógica, ocupando cada programa emitido un canal de radiofrecuencia, pero a partir del siglo XXI comenzaron a realizarse transmisiones en formato digital, donde se podían transmitir varios programas en un mismo radiocanal, aumentando el número de transmisiones y de usuarios de televisión digital año a año.

La principal causa de este cambio se debe a que en mayo de 2005 se propuso un apagón analógico a nivel mundial. Esto consistía en que todos los operadores de TV dejaran de emitir completamente cualquier emisión en analógico para que emitieran por completo de manera digital la TDT. Este cambio implicó que los usuarios cambiaran sus receptores de manera obligada o añadiesen sintonizadores a sus televisores antiguos. En la mayoría de los países este cambio ya se ha realizado, en España se terminó en 2010, mientras que en algunos aún se está realizando.

5.1 Estándares

Como ya se ha dicho actualmente existen diferentes estándares para las radiodifusiones de TDT (Televisión Digital Terrestre), estos estándares principalmente son ATSC [2] de Estados Unidos, ISDB-T de Japón, DTMB de China y DVB-T/T2 de Europa, cada uno de ellos se encuentra implantado en una parte del mundo. Esta división se presenta en la Figura 1.

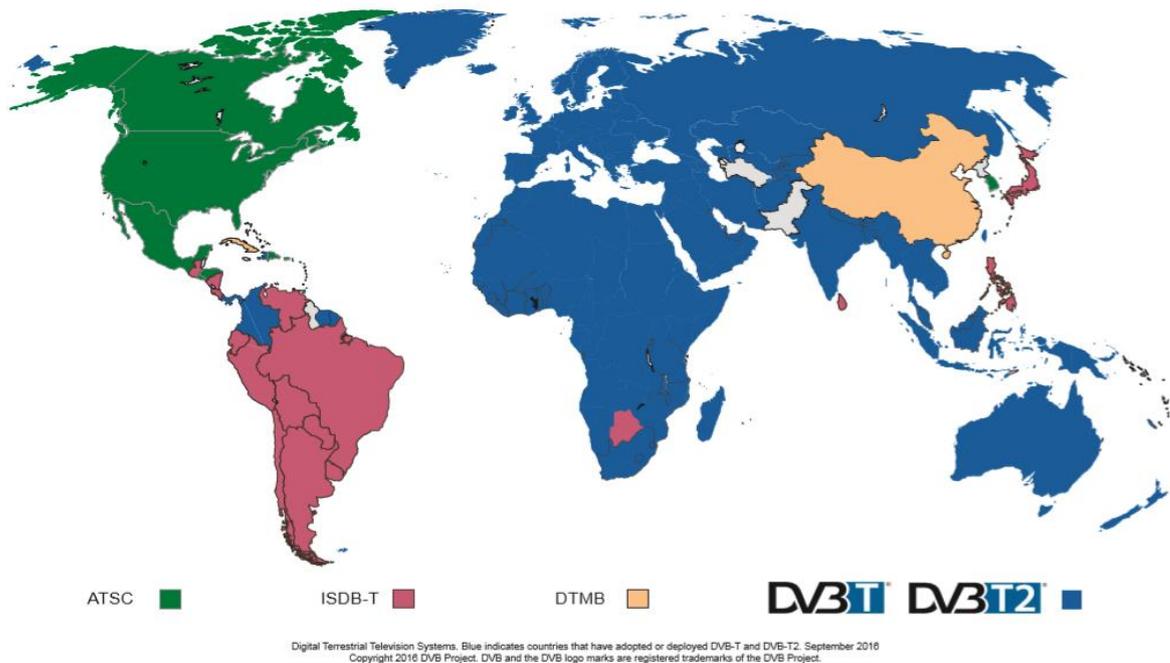


Figura 1: Reparto de los estándares en el mundo [3]

Como se puede ver en la Figura 1, y como ya se ha comentado, el sistema que se utiliza en Europa es el DVB-T y DVB-T2. Se mencionan los dos sistemas debido a que una pequeña parte de Europa, como Reino Unido, se ha pasado ya completamente al estándar DVB-T2, sin embargo, la mayor parte, entre la que se incluye España aún mantiene el DVB-T debido a que las prestaciones que da son suficientes y sería demasiado caro pasarse a DVB-T2 tanto para el Gobierno como para los usuarios.

Este cambio de estándar implica que se emitiese durante un tiempo con ambas configuraciones para después emitir únicamente con DVB-T2.

5.2 Dividendo digital

Por último hay que hablar del dividendo digital. Esto se refiere al traspaso de una serie de bandas que estaban destinadas a la TDT para 4G de la telefonía móvil, esta banda es la de 800 (790-862 MHz), debido a esto se pasó a tener 40 canales destinados a la TDT. Este dividendo se refleja en la Figura 2.



Figura 2: Dividendo digital

En 2020 se realizará un segundo dividendo digital de la banda de 700 (694 MHz a 790 MHz)

6. Objetivos y Alcance

En este apartado se resumen el alcance y los objetivos de este trabajo.

6.1 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es realizar un estudio de una planificación de un sistema de radiodifusión de TV digital (TDT) con el estándar más actual que se utiliza en Europa, el DVB-T2, implementando las características del escenario A del nuevo sistema WiB. Para realizar este estudio se ha de realizar una comparativa de coberturas:

- Cobertura Espacial: Puede llegar a ser menor con el sistema WiB
- Cobertura de Población: Ha de ser similar en ambos casos

Además de realizar este estudio se pretende probar dicha planificación mediante el análisis de un caso práctico referente a provincias de la Comunidad Autónoma Vasca (CAV) analizando las coberturas mencionadas gracias a información de potencia de transmisores e información del terreno (Cobertura espacial) y añadiendo información estadística de población (Cobertura de población).

6.2 Alcance

El alcance de este proyecto es obtener un programa que permita, mediante la introducción de matrices de potencia obtener las coberturas espaciales y de población para poder hacer análisis y comparaciones entre diferentes sistemas de radiodifusión de TV y comprobar las mejoras que se obtienen mediante la utilización de algunas características del nuevo sistema, el WiB.

El programa que se obtiene se empleará para analizar el caso práctico en la CAV, sin embargo, se ha diseñado para que sea general y mediante el cambio de unos pocos parámetros poder analizar estas coberturas en cualquier lugar del mundo.

7. Beneficios

En este apartado se tratarán los beneficios que aporta este proyecto. Estos beneficios se clasifican entre beneficios técnicos, económicos y sociales.

7.1 Beneficios Técnicos

En este proyecto se estudia el nuevo sistema WiB para la utilización de sus características en el estándar europeo actual. Esto es un beneficio debido a que es un nuevo sistema que ni siquiera está estandarizado por el momento y su estudio y análisis puede ayudar en el futuro con nuevos trabajos.

Otro beneficio de este proyecto es la utilización de bases de datos de población. Estas bases de datos se utilizan a través de ficheros SHP (Shapefile), los cuales otorgan una muy buena precisión debido a que los núcleos se centran en las zonas habitadas como son las residencias y dejan las zonas como montes y ríos donde no se utilizarán receptores para la visualización de TV.

El último beneficio técnico principal es la utilización del programa SPLAT [4], el cual a pesar de no ser un programa sencillo de usar por el usuario, otorga una simulación muy precisa de un sistema de broadcast, gracias a información del terreno, que nos permite trabajar con gran cantidad de datos, es decir, que obtendremos resultados más realistas.

Todo lo realizado en este proyecto puede servir como ayuda en futuros trabajos y proyectos similares mediante el estudio de los demás escenarios de WiB o en la optimización de los programas realizados

7.2 Beneficios Económicos

Los beneficios económicos presentados por este proyecto se obtienen principalmente de la utilización de esta planificación en la vida real debido a que con ella se puede reducir el consumo energético empleado en cada transmisor en gran medida sin reducir de manera perceptible el porcentaje de población que puede recibir las emisiones de TDT de manera correcta.

7.3 Beneficios Sociales

Los beneficios sociales que se pueden obtener de este estudio son que si se llevase a cabo esta mejora en la tecnología actual de radiodifusión los usuarios de TDT podrían obtener una mejor recepción permitiendo que si ocurriese un fallo en algún transmisor, la zona cubierta por este podría seguir visualizando los mismos canales debido a que las demás estaciones seguirían emitiendo esa misma información sin generar interferencias, cosa que actualmente no ocurre debido a que cada transmisor envía diferente información, es decir, diferentes programas de TV, debido a la distancia de reutilización de frecuencias de la planificación actual.

8. Estado del arte

8.1 DVB-T2

Como ya se ha mencionado en el apartado “5 Contexto” existen diferentes estándares de radiodifusión para TDT utilizados en diferentes partes del mundo. El empleado en Europa para dichas difusiones es el estándar DVB-T/T2, el último estándar de radiodifusión terrestre europeo.

El DVB-T se creó en el año 1997 y se presenta en el estándar de DVB y ITU-R [3] y al año siguiente se comenzaron a realizar las primeras emisiones comerciales en Reino Unido, en España se realizó en 2000. Sin embargo en 2006 se comenzó a estudiar para crear un nuevo estándar. Este estudio surgió debido a diferentes razones, las principales fueron:

- Tecnología DVB-T obsoleta
- Nuevos sistemas surgidos
- Necesidad de mayor bitrate, aparición de HDTV
- Nuevos mecanismos de compresión (MPEG-4)
- Nuevos códigos de protección más eficientes

Debido a todas estas causas se generó en 2009 un nuevo estándar, el DVB-T2 [5], el cual es más complejo que su antecesor. Esto se debe a que utiliza las mismas características técnicas que DVB-T pero añadiendo unas mejoras. Todo esto se puede apreciar en la tabla de a continuación.

	DVB-T2	DVB-T
FEC	LDPC + BCH	CC + RS
Code Rate	1/2, 3/5 , 2/3, 3/4, 4/5 , 5/6	1/2, 2/3, 3/4, 5/6 7/8
Constellation	QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Guard Interval	1/4, 19/256 , 1/8, 19/128 , 1/16, 1/32, 1/128	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
FFT size	1K , 2K, 4K , 8K, 16K , 16K ext , 32K , 32K ext	2K, 8K
Scattered Pilots	1%, 2%, 4%, 8% of total	8% of total
Continual Pilots	0,35 % of total	2,6 % of total
Bandwidth	1,7 , 5, 6, 7, 8, 10 Mhz	5, 6, 7, 8 Mhz
Max. Bandwidth	50,34 Mb/s	31,66 Mb/s

Tabla 1: Comparativa entre DVB-T y DVB-T2 [6]

Como se puede ver el DVB-T2 mantiene muchas de las características de DVB-T (CR, Code Rates; Constelaciones; Intervalo de Guarda, GI...) añadiendo nuevos valores, como en el CR, lo que permite mayor flexibilidad en la protección o como las constelaciones, en las que se añade la 256-QAM, la cual reduce la protección pero permite aumentar el bitrate que se puede transmitir. Con todo ello se permite enviar mayor información que en DVB-T o si se envía exactamente la misma información, mismos Mbps, esta se puede enviar con mayor nivel de protección.

Estos estándares, tanto el DVB-T/DVB-T2 son sistemas de broadcast, es decir, son sistemas de transmisión donde una estación emisora transmite la misma información para múltiples receptores sin que estos le devuelvan la comunicación. Para ello se utiliza el método High Power High Tower (HPHT), donde a través de una serie de transmisores que emiten mucha potencia, en unos pocos canales del espectro asignado a la TDT, se pueda dar servicios a múltiples receptores fijos situados en sus radios de cobertura. Además del gran consumo de estos transmisores, al utilizar potencias tan altas es necesario que los transmisores cercanos no usen las mismas frecuencias debido a que pueden generar interferencias que impidan una correcta recepción, esto es la distancia de reutilización.

Actualmente este estándar no se encuentra completamente implantado en toda Europa. En algunos países se encuentra completamente integrado como en Inglaterra, en otros se está realizando la migración, como por ejemplo Italia, mientras que en otros, como es el caso de España, no se ha realizado ni se plantea realizar dicha migración debido a que con el sistema actual de DVB-T funciona correctamente y los requisitos necesarios ya se cubren con él.

8.2 WiB

La nueva tecnología WiB toma su nombre del concepto 'Wideband Reuse-1' [7]. Con ella lo que se consigue es que todo lo que se envía hoy en día en esos pocos canales nombrados y con esa alta potencia, se envíe en múltiples canales del espectro pero con una potencia mucho menor, es decir, se conseguiría tener un método de transmisión Low Power High Tower (LPHT).

Este concepto de reducción de potencia se consigue gracias a que en el estado actual, los pocos canales por los que se transmite necesitan gran capacidad, más de 20Mbps, para transmitir toda la información multiplexada en ellos, lo cual hace que la protección que tienen (CR y constelación) no permita tener bajas SNR (Signal to Noise Ratio) y por lo tanto es necesario enviar los datos con gran potencia para aumentar la señal frente al ruido. Con el WiB, la información de un canal se reparte en múltiples canales, es decir, la capacidad para enviar los datos necesarios por un canal se reduce en gran medida ya que en vez de enviar varios programas multiplexados en un único canal se enviará únicamente un programa en dicho canal cuya capacidad será menor a 10Mbps e incluso a 5Mbps si se habla de canales SD. Gracias a esto la protección que se le puede otorgar a cada canal es mucho mayor, disminuyendo la constelación y aumentando la redundancia con unos CR mejores, y por lo tanto la SNR en el receptor no necesita ser tan alta, acercándose incluso a 0dBs, es decir, la potencia que se le otorga a cada canal puede ser menor.

Con el WiB, además de lo mencionado, se modifica también, con respecto a la situación actual del estándar DVB-T2, que en todos los transmisores se envía exactamente la misma información, al contrario que lo ocurrido actualmente en el que los transmisores cercanos transmiten por una serie de frecuencias diferentes para evitar interferencias. Esto conseguirá que no haya necesidad de una distancia de reutilización como ocurre con DVB-T2, se podrá obtener un Re-use 1, con lo que se consigue tener una red SFN.

Esta distancia de reutilización se debe a que con las potencias más bajas las interferencias serán de menor potencia. Además, se consigue una mayor protección, como ya se ha mencionado anteriormente debido a que no se necesita enviar tantos datos por un mismo canal, ya que en vez de enviar varios programas de TDT por un mismo canal se repartirán entre un número mayor de ellos, con lo que se consigue disminuir la relación señal a ruido (SNR), considerando el ruido como el ruido del receptor y las interferencias provocadas por los demás transmisores, permitiendo aumentar el área de cobertura al poder recibir señales con menor potencia a una distancia mayor.

Esta tecnología se estudia en diferentes escenarios. Partiendo del DVB-T2 los escenarios van introduciendo mejoras hasta encontrar un sistema únicamente WiB. Los escenarios mencionados se representan en la Tabla 2.

Escenario	Estandar	Red	Comentario
A	DVB-T2	LPHT	Re-use 1 para mejorar la eficiencia
B	T2-XL/Hevvy	LPHT	Como escenario A pero con algún cambio
C	WiB-B	LPHT	Utilización de cancelación de interferencias
D	T2 (H) WiB (V)	LPHT	Nuevo servicio vía Wib
E	WiB-B/C	LPHT + LPLT	Como C pero con red densa
F	WiB-B + WiB-U/C	LPHT	Usar LDM/NOMA para dar servicio unicast en areas Rurales. Uplink separado
G	WiB-B + WiB-U/C	LPHT + LPLT	Como F pero con sitios adicionales
H	WiB-B + WiB-U/C	LPHT + LPLT	Como E pero con uplink
I	WiB-B + WiB-U/C	LPLT	

Tabla 2: Escenarios del WiB

En este trabajo se plantea el estudio del CASO-A, el primer escenario, viendo su aplicación sobre la planificación SFN de TDT en CAV.

8.3 SPLAT

Como ya se ha mencionado el programa que se utiliza para obtener los datos de potencia de cada transmisor, los cuales después se introducirán en Matlab para su análisis y obtención de coberturas, es el SPLAT., el cual es una herramienta de análisis de la propagación de la señal, las pérdidas y el terreno de código abierto.

Este programa tiene aplicaciones en el diseño de redes inalámbricas, comunicaciones de radioaficionados, coordinación de frecuencias y diseño de sistemas de comunicación y radiodifusión de televisión y radio digital terrestre.

Para obtener las matrices de potencia del SPLAT, el programa necesita información del terreno, obtenido en este trabajo de SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), información de entorno (tipo de clima, constante dieléctrica de la atmósfera...) e información de los transmisores, principalmente las coordenadas, la altura de la antena y la potencia de salida.



Figura 3: Icono del SPLAT

9. Metodología

La elaboración de este trabajo consta de 4 partes, las cuales se describen a continuación.

9.1 Obtención de datos

En primer lugar, para poder realizar la planificación del sistema de TDT con la mejora de las características del WiB es necesario obtener los datos de potencia en la zona a planificar referente a cada transmisor empleado. Dichos transmisores se escogen de los transmisores empleados por Itelazpi [8] debido a que el caso práctico que se realiza es en la CAV.

Para obtener dicha información de potencia se han estudiado diferentes programas como los conocidos RadioMobile [9] y Xirio [10], sin embargo, tras analizar sus diferentes ventajas e inconvenientes se ha descubierto que el mejor programa para realizar simulaciones broadcast es el SPLAT y por lo tanto es el que se ha empleado para realizar dicho trabajo. Dicho programa únicamente funciona correctamente en Linux.

Lo primero que se necesita para que se puedan realizar las simulaciones es la información del terreno en la zona de interés. Existen diferentes fuentes y bases de datos donde obtener dicha información, pero los datos que puede leer el programa son únicamente en formato *.sdf* por lo tanto será necesario convertirlos. Para este proyecto se han obtenido los datos de la base de datos de SRTM [11], el cual es un proyecto de la NASA en la que se cartografió el planeta completamente con una precisión de 30 metros por pixel. El SPLAT se ideó teniendo en mente esta base de datos por lo tanto tiene ya programados una serie de instrucciones para convertir los datos con el formato de SRTM (*.hgt*) en el formato necesario (*.sdf*), esta instrucción es **srtm2sdf**.

Tras obtener y convertir al formato correcto la información del terreno únicamente sería necesario obtener la información de los transmisores para realizar las simulaciones. Esta información se resume en dos archivos:

- **<Nombre del nodo>.lrp**: Frecuencia, información de atmosfera y clima y, lo más importante, potencia.
- **<Nombre del nodo>.qth**: Nombre del transmisor, coordenadas y altura de la antena transmisora

En el archivo *.lrp* se indica que lo más importante es la potencia debido a que los demás parámetros se obtienen por defecto o ya tiene unos valores marcados en función de la zona del planeta en que se simule, sin embargo, en lo referente a la potencia es la que marcará que un transmisor sea de un tipo o de otro. Con esto se refiere a que los transmisores se dividen en 4 tipos en función de su potencia: Tipo 1, 2kW; Tipo 2, 1kW; Tipo 3, 500W; y Tipo 4, 50W. Estos valores de potencia no son los reales debido a que no se dispone de la información exacta de los transmisores, pero lo más importante es la diferencia de potencia ya que el análisis a realizar conllevará una comparación de porcentajes y no de números absolutos.

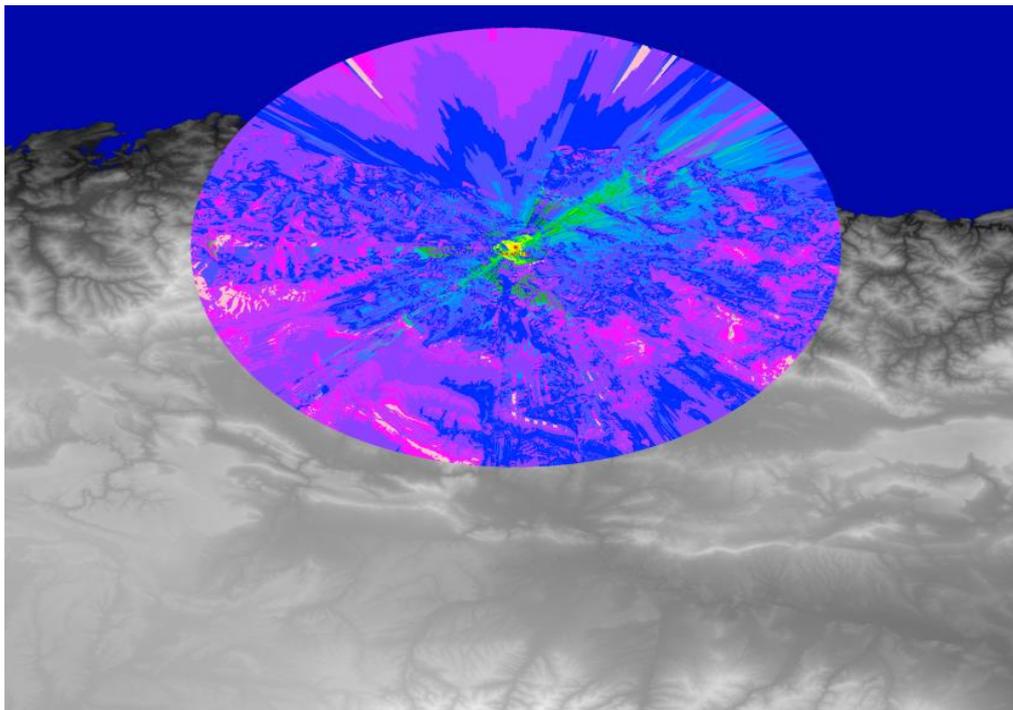
Una vez obtenida toda esa información ya se puede realizar las simulaciones. Para ello se emplea el siguiente comando:

```
$ splat -t Zaramillo -L 30 meters -dbm -ano DatosZaramillo.dat
```

Figura 4: Comando para simulación en SPLAT

Este comando se compone del nombre del transmisor (Zaramillo); *-L*, que indica que se realizará un análisis de cobertura controlando las pérdidas en cada punto; *30*, representa la altura de la antena receptora, se tiene en cuenta que se encontrará en un mástil en la azotea de los edificios; *meters*, indicando que las medidas se realizarán en metros y no en pies; *-dbm*, los resultados se obtienen en dBm, si se quisiesen obtener en dB μ V/m únicamente sería necesario quitar dicho parámetro del comando; *-ano DatosZaramillo.dat*, con el *-ano* se indica que se quiere sacar un fichero con los datos con nombre de DatosZaramillo, en este caso se ha escogido ese por ser el nombre del transmisor.

Con este comando se consiguen varios ficheros entre los cuales nos interesa el fichero de Datos<Nombre del nodo>.dat que contiene la potencia en cada punto y las coordenadas exactas de dicho punto, el cual se importará posteriormente como una matriz numérica a MatLab, y una imagen de como se ha simulado dicho transmisor. Esta imagen se representa en la siguiente figura.



0dB	-10 dBm	-20 dBm	-30 dBm	-40 dBm	-50 dBm	-60 dBm	-70 dBm	-80 dBm	-90 dBm	-100 dBm	-110 dBm	-120 dBm	-130 dBm	-140 dBm	-150 dBm
-----	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Figura 5: Ejemplo de simulación con SPLAT

En la parte inferior de la imagen obtenida en la simulación se puede distinguir la escala de colores que corresponden a distintos niveles de potencia.

Una vez obtenidos los datos en los ficheros *.dat* se importarán a MatLab como matrices numéricas teniendo en cuenta que las columnas se separan mediante “,”. Para la creación del código se han escogido 10 transmisores como prueba.

9.2 Creación del código en MatLab

9.2.1 Cobertura espacial

Una vez importados la información de potencia de los diferentes nodos se ha procedido a crear el código, el cual se presenta en el Anexo I.

El método de análisis de cobertura de una red de frecuencia única (SFN) se representa en la Figura 6, y en este apartado se explicará los pasos que se han ido realizando para conseguir que dicho código realice lo representado en dicha figura.

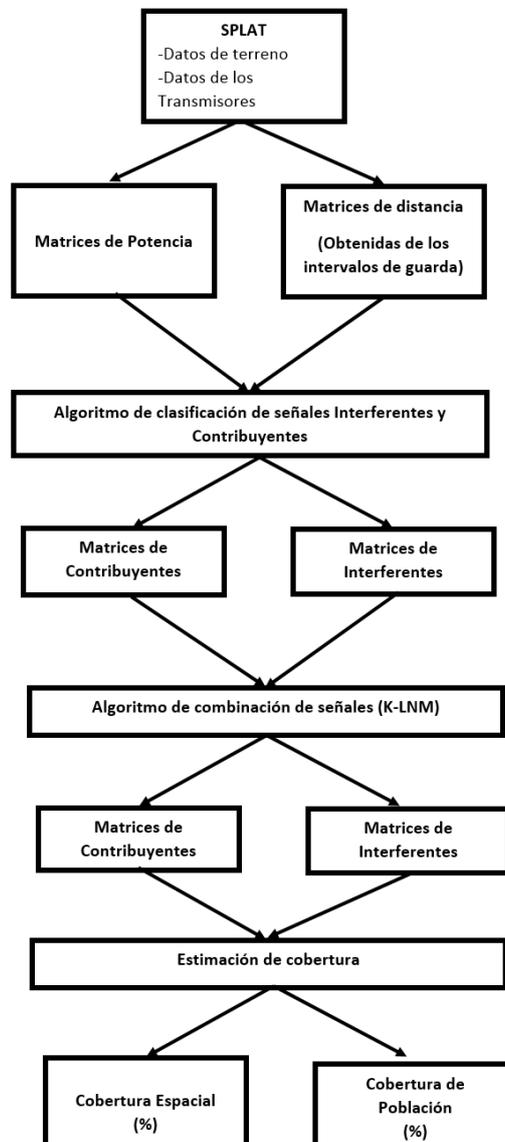


Figura 6: Método de análisis de cobertura SFN [12]

En un primer lugar se ha de definir el área a analizar, para ello, mediante la indicación de 4 vértices, se acotará el área a analizar a un rectángulo en el que se encuentre la zona de interés.

Una vez acotada la zona a analizar se tratarán los datos obtenidos del SPLAT, esto se debe a que estos datos se encuentran de manera que en las dos primeras columnas de indican las coordenadas y para dichas coordenadas la potencia se indica en la última columna. Por lo tanto, se ha de convertir en una matriz rectangular en la que cada elemento de la matriz representará cada coordenada a través de la potencia que posea. Puede ocurrir que en algún punto no se tenga información, por lo que se realizará una media de las potencias de alrededor.

A lo largo de este documento se hablará únicamente de simulaciones llevadas a cabo en España y más exactamente en la CAV, sin embargo, este código se crea pensando en que puede utilizarse para la planificación en cualquier lugar del mundo con un área de simulación lo suficientemente grande como para que la información de cada transmisor no tenga por qué contener información en toda el área de interés, de modo que antes de empezar el proceso comentado es necesario situar dicha información de cada transmisor en su lugar. Este concepto se puede apreciar más claramente en las Figuras 7 y 8.

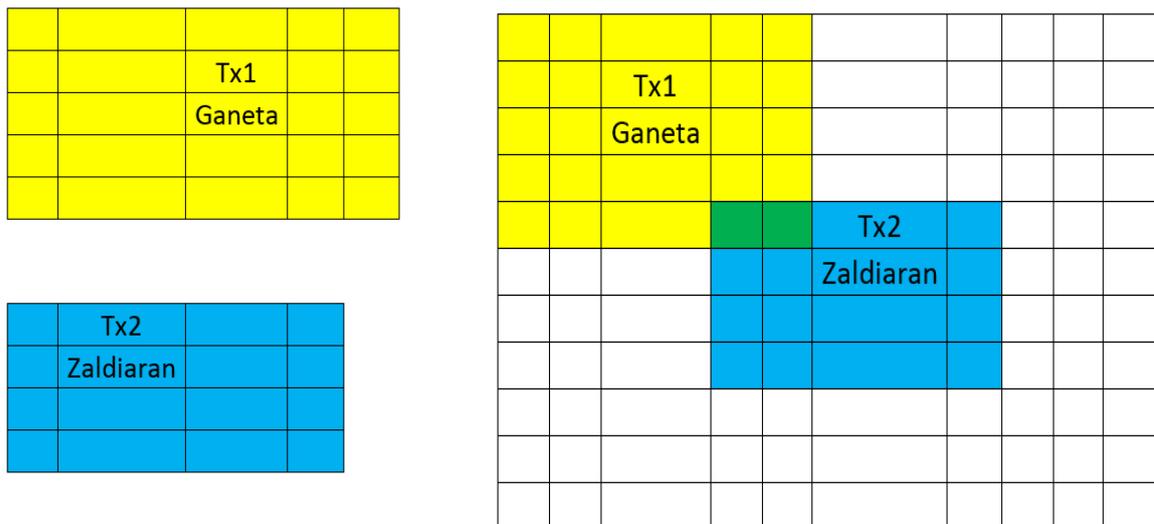


Figura 8: Zonas abarcadas de transmisores independientes Tx1 y Tx2 Figura 7: Transmisores Tx1 y Tx2 en zona de simulación

Como se puede ver puede ocurrir que en un mismo punto varios transmisores coincidan y den potencia, es debido a esto que se ha de definir si cada señal pertenece a señales contribuyentes o a interferentes.

Una vez obtenidas cada matriz de potencia y conociendo las coordenadas de cada transmisor se obtendrán las matrices de distancia en cada punto debido a cada transmisor, y por lo tanto se obtienen los retardos conociendo la velocidad de la luz. Con todas estas matrices de distancia/retardos se puede obtener en cada punto la distancia/retardo mínima. Para ver esto mejor se representa en la siguiente figura.

Tx1			
		5,3ms	

		2,4ms	
	Tx2		

Tx1			
		2,4ms	
	Tx2		

Figura 9: Ejemplo de obtención de matriz total de distancia mínima

Como se puede ver en este primer momento esta matriz se obtiene con el primer transmisor que da potencia a dicho punto, sin embargo, en el siguiente apartado se verá cómo se mejora esta parte del código haciendo que la distancia mínima sea la del transmisor que haga que se tenga el rayo más fuerte, es decir, la distancia debida al transmisor que otorgue mayor potencia en dicho punto. Estas matrices de distancia se emplearán posteriormente para definir el intervalo de guarda el cual será necesario para generar las matrices Contribuyentes e Interferentes de cada transmisor.

En este momento nos encontramos en la segunda fila del método representado en la Figura 6, donde se generará el algoritmo clasificador de señales Contribuyentes e Interferentes. Para la creación de dicho algoritmo, como ya se ha dicho, en primer lugar es necesario obtener el intervalo de guarda en cada punto teniendo en cuenta todos los transmisores, para ello nos basaremos en las matrices de potencia de todos los transmisores y en la matriz de distancia/retardo mínima generada antes.

Nos basaremos en la matriz de retardos mínima, la cual representa en cada punto el retardo, o la distancia, mínimo, es decir, nos indica que transmisor hace llegar el rayo primero. A partir de esto, utilizaremos la estrategia de sincronización de la primera señal recibida, es decir, que el intervalo de guarda comenzará a tenerse en cuenta a partir de ese retardo mínimo. En lo referente a las estrategias de sincronización existen diferentes métodos de sincronización [13], primera señal sobre un umbral, centro de gravedad.... Sin embargo los más utilizados son la primera señal recibida, empleada en este estudio y la señal más fuerte, que se comentará en el próximo apartado.

Una vez obtenido el comienzo del intervalo de guarda y su duración, la cual en España es de 224µs, se procede a crear las matrices Contribuyentes e Interferentes de cada transmisor. Para ello es necesario conocer el comienzo del intervalo, su duración, y el retardo en cada punto debido a cada transmisor. Los dos primeros ya se han obtenido y el tercer elemento se encuentra en la matriz de retardos/distancias de cada transmisor. Para conocer si una señal pertenece a una matriz o a otra simplemente se ha de hacer una comparación, si el retardo en ese punto

debido a un transmisor es superior o igual al comienzo del intervalo y también es inferior al comienzo del intervalo más la duración ($224\mu\text{s}$) esa señal es una señal Contribuyente. Si por el contrario el retardo es inferior al comienzo del intervalo de guarda o superior al comienzo más la duración esa señal es Interferente. Con este método de sincronización el caso de que sea inferior a comienzo del intervalo de guarda no se puede dar ya que es el retardo de la primera señal recibida, es decir el mínimo. Para explicar más claramente este concepto este se representa en la siguiente Figura.

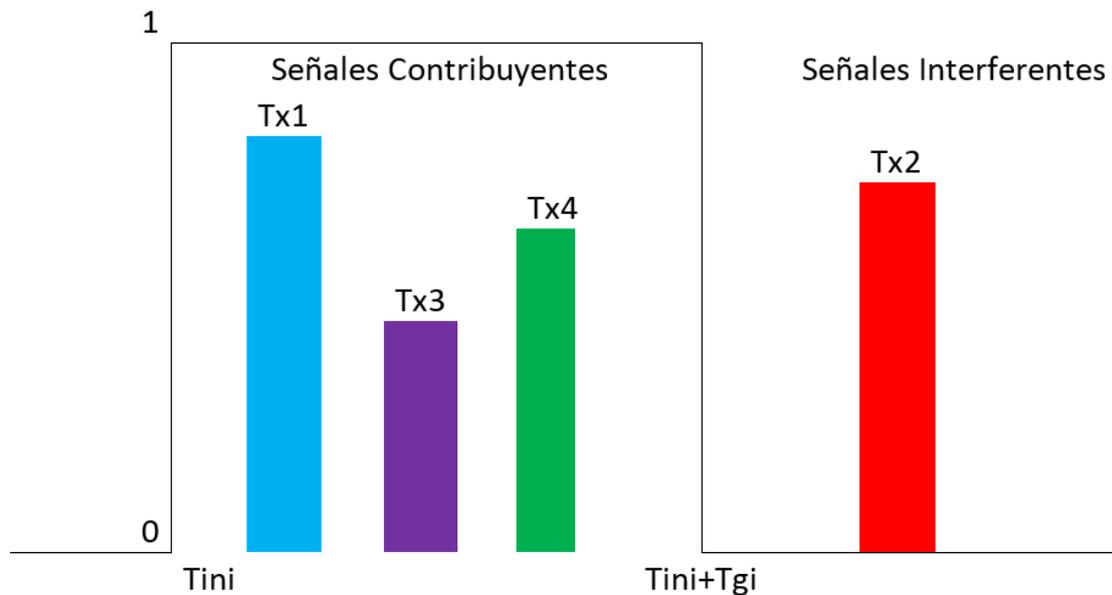


Figura 10: Ejemplo de señales Contribuyentes e Interferentes

Una vez obtenidas las matrices Contribuyentes e Interferentes de cada transmisor es necesario combinar las de todos los transmisores para obtener una única matriz Contribuyente e Interferente, para ello utilizaremos aproximaciones analíticas. Existen diferentes tipos, métodos de suma de potencia, de multiplicación simplificada o métodos logarítmicos. De este último tipo existen dos métodos muy empleados, el T-LNM y el K-LNM [13]. En este proyecto se empleará el segundo método, el cual se expone con mayor detalle en el anexo II.

Una vez combinadas todas la matrices mediante el método K-LNM se ha de calcular la SNR, teniendo en cuenta que las señales serán las correspondientes a la matriz contribuyente conjunta y el ruido será la combinación de las señales interferentes más el ruido obtenido de una figura de ruido de 6 dB, que es el valor típico.

Tras esto se obtendrá una matriz en la que en cada punto se tiene la relación SNR. A partir de aquí simplemente se ha de comparar dicho valor con un umbral para indicar que puntos superan el umbral y cuáles no, con esa comparación se obtiene una máscara en la que los puntos que superan el umbral serán 1, estos puntos tendrán cobertura, y los que no serán 0, dichos puntos no tendrán cobertura por no superar el umbral de SNR mínimo. Con esta máscara ya se puede obtener la cobertura espacial haciendo la suma de los puntos en los que si hay cobertura y obteniendo el porcentaje.

El umbral mencionado se determinará en función del modo empleado, es decir, en función de la constelación y del CR elegidos. Este parámetro se modificará en el código en función de la simulación que se realizará. El umbral viene definido por la Unión Europea de Radiodifusión (EBU) para DVB-T2 [14].

9.2.2 Cobertura de población

Con todo este proceso explicado en el apartado anterior ya se puede obtener la parte de cobertura espacial de la zona acotada, a partir de este momento se crea el código para obtener la cobertura de población.

Para poder obtener los porcentajes de población de la zona de interés en un primer momento es necesario obtener los datos estadísticos de población de la zona tratada. En este caso, se emplean los datos del Gobierno Vasco [15] a través de ficheros *.shp* (Shapefiles), los cuales contienen información de la población además de los límites de las zonas urbanas, lo cual nos permite eliminar zonas como montañas, ríos..., dejando principalmente edificios, es decir, permite eliminar zonas donde no hay población, donde no se recibiría la TDT, lo que nos permite ser mucho más precisos al calcular la cobertura de población.

La capa seleccionada para este trabajo ha sido la de suelo residencial, la cual no incluye los caseríos dispersos, los cuales no son significativos a la hora de calcular el porcentaje de cobertura de población.

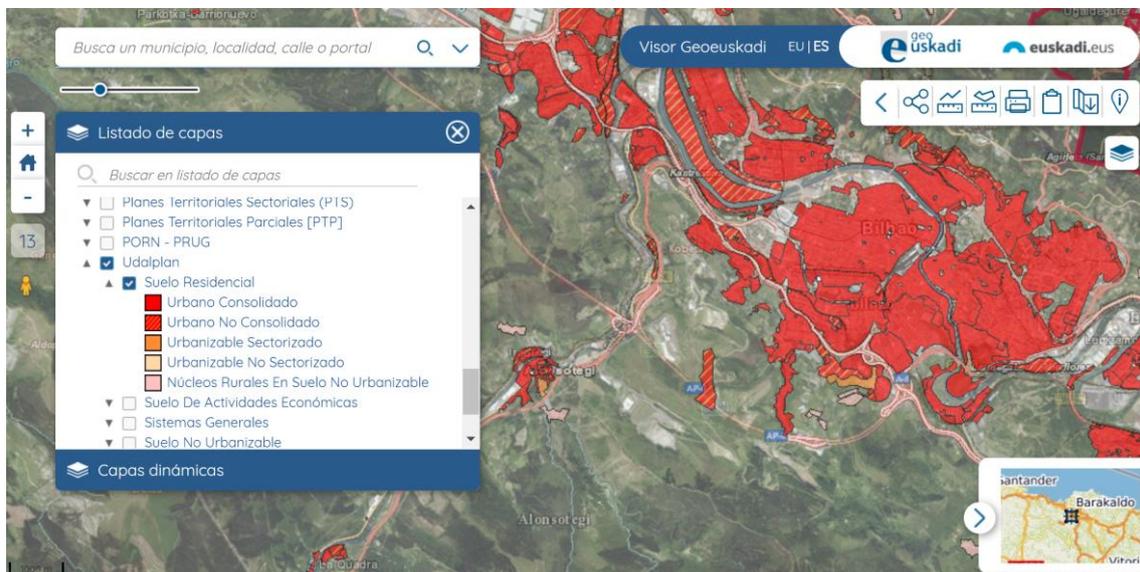


Figura 11: Ejemplo de capa seleccionada

Una vez importados los datos a MatLab del fichero shp, estos se presentan como una estructura con múltiples campos, de estos los únicos que nos interesan son las coordenadas donde se encuentra la población y el número de habitantes de dicha zona.

El método que se ha generado para obtener el porcentaje de población cubierta es crear una máscara de 1s, indica que existe población en esa coordenada, y 0s, indica que no es una zona residencial y por lo tanto no hay población. Una vez generada dicha máscara esta se

comparará con la generada para la cobertura espacial, la cual indicaba si se superaba el umbral mínimo o no, y a partir de ahí se obtendrá que zonas residenciales tienen un valor de SNR mayor al necesario y qué zonas lo tienen inferior, por lo que se obtendrá el porcentaje total de cobertura de población cubierta. Además de dicho porcentaje se utilizará el número de habitantes obtenido del fichero shp para indicar el número exacto de habitantes cubiertos sobre el total.

Este código permite la introducción de más de un fichero shp, esto se debe a que en este caso sólo se tratan las zonas residenciales como son los edificios de viviendas, eliminando todas las zonas como montes, zonas industriales.... Sin embargo, también puede ser interesante estudiar la cobertura en zonas donde hay industrias o empresas debido a que también se les puede tener en cuenta a la hora de estudiar las coberturas de población.

9.3 Mejora de código básico

En este apartado se comentarán y explicarán las mejoras realizadas al código base. Estas mejoras se han llevado a cabo en el mecanismo de sincronización elegido, en la creación del intervalo de guarda para la definición de señales contribuyentes e interferentes y en la aplicación de un diagrama de radiación en las antenas receptoras. Todas estas mejoras se realizan para poder realizar simulaciones más parecidas a la realidad.

9.3.1 Mecanismo de sincronización: Señal más fuerte

Como ya se ha comentado en el apartado 9.2.1 existen diversos mecanismos de sincronización como el de primera señal sobre un umbral, el intervalo de guarda comenzará en el instante en el que llegue una señal con potencia superior a un umbral definido, o el de centro de gravedad, el intervalo de guarda comenzará en el tiempo medio entre todas las señales recibidas. Sin embargo las más utilizadas, y las que se emplearán en este trabajo, son el mecanismo de primera señal recibida, explicada en el anterior punto, y la de señal más fuerte.

Este mecanismo de señal más potente se basa en que el intervalo de guarda comience en el instante en el que llega la señal con mayor potencia. Para ello, en el código, se necesita crear una matriz que indique la mayor potencia recibida en cada punto y por lo tanto también se deberá modificar la matriz de distancias/retardos para que ahora no marque la distancia/retardo mínima en cada punto, la de la primera señal que llega, sino la de la señal más potente.

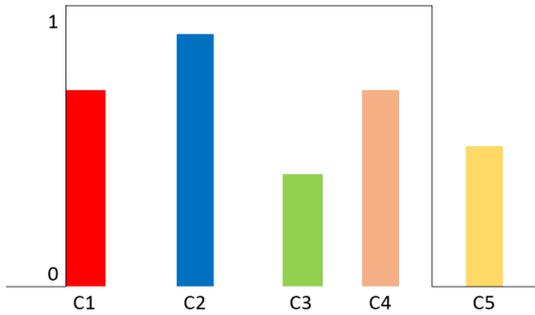


Figura 12: Intervalo de guarda con primera señal recibida

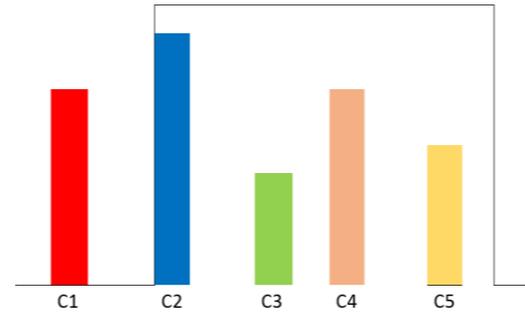


Figura 13: Intervalo de guarda con señal más fuerte

El primer método, el empleado en el código base, es un más sencillo de generar y de requiere de un menor tiempo de ejecución, lo cual lo hace bueno para áreas en las que el receptor tenga visión directa o en áreas pequeñas en las que todas las señales cupiesen en el intervalo de guarda. El segundo método empleado, con el cual se mejorará este código, es más complejo de crear y computacionalmente pero es mejor en zonas donde no se tiene línea de visión directa o en áreas grandes donde transmisores emiten con diferentes potencias, como es el caso de este tipo de estudios.

9.3.2 Intervalo de guarda: Pendientes laterales

La segunda mejora es la introducción de intervalos de tiempo en el intervalo de guarda, uno anterior y otro posterior [14], como se puede ver en la Figura 14, en los que la señal no sea completamente Contribuyente o Interferente, sino que tendrá parte contribuyente y la otra parte interferente. Esto se realiza para conseguir una mejor aproximación a la realidad.

La cantidad de señal Contribuyente e Interferente dependerá el momento en el que llegue la señal y a la distribución de ponderación que da a la señal un peso para considerarla Contribuyente y el resto se considera Interferente.

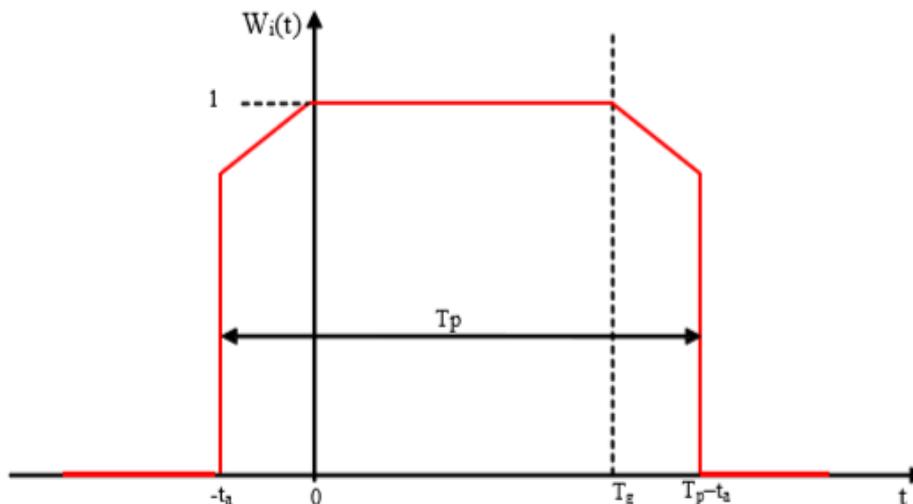


Figura 14: Función de ponderación $W(t)$

Esta mejora se consigue mediante la aplicación de una ponderación en el código, que dependerá de la pendiente aplicada. Ésta pendiente se conseguirá aplicando un t_a , es decir, el tiempo extra añadido al intervalo, del 10% del intervalo de guarda original, que en nuestro caso, España, será de $24\mu s$. A partir de ahí únicamente hay que aplicar la fórmula (1).

$$w_i = \begin{cases} 0 & \text{if } t \notin EI \\ \left(\frac{T_u + t}{T_u}\right)^2 & \text{if } t \in EI \text{ \& } t < 0 \\ 1 & \text{if } t \in EI \text{ \& } 0 \leq t \leq T_g \\ \left(\frac{(T_u + T_g) - t}{T_u}\right)^2 & \text{if } t \in EI \text{ \& } t > T_g \end{cases} \quad (1)$$

9.3.3 Diagrama de radiación en antenas Receptoras

La tercera y última mejora es la aplicación de un diagrama de radiación en las antenas de recepción, las cuales apuntarán al transmisor que les otorgue mayor potencia, para lo cual se reutilizará la matriz de potencias máximas en cada punto generada en la primera mejora del código base.

En primer lugar para cada punto del área de simulación se calcula cual es el transmisor que le da la señal más potente, para ello se utiliza la matriz de potencia máxima ya mencionada. Tras eso, se calcula el ángulo de cada transmisor respecto a dicho punto y se aplica una corrección en función de dicho ángulo, si el ángulo es inferior a 20° no se hace corrección alguna, si se encuentra entre $20-60^\circ$ se reduce de forma lineal los dBm de 0 a -16 dB y si es superior a 60° se disminuyen en -16dB el valor de potencia referido a dicho transmisor. El diagrama de radiación empleado se obtiene de la ITU-R [16]. El proceso se representa para más aclaraciones en la Figura 15 y 16.

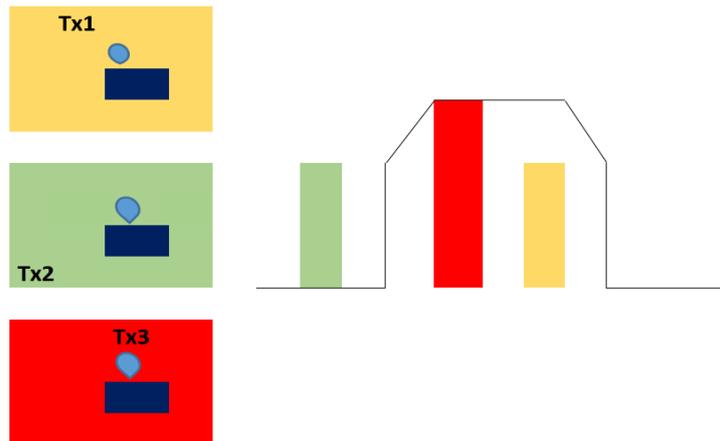


Figura 15: Potencias sin corrección del diagrama de radiación

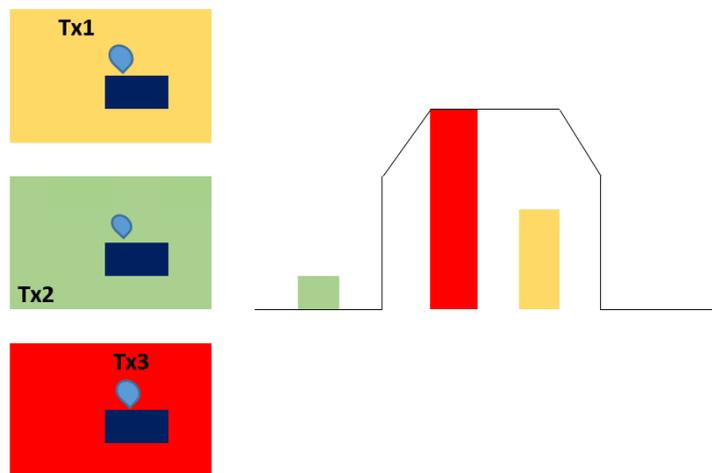


Figura 16: Potencias con corrección del diagrama de radiación

9.4 Descripción CASO-A de WiB en red SFN

Hasta este momento se ha generado un código, el cual realiza simulaciones en una red SFN para analizar las coberturas tanto espacial como de población. Sin embargo, no se ha mencionado las mejoras implementadas, relacionadas al CASO-A del WiB, sobre el estándar actual para convertirlo en una red SFN. Hasta ahora sólo se ha comentado el objetivo final del WiB, que es la reducción de potencia de los transmisores. En este apartado se exponen las mejoras realizadas.

Como ya se indica en el estado del arte, en este documento se estudia el CASO-A del WiB, el cual introduce el Reuse-1 en el estándar empleado actualmente, el DVB-T/T2, convirtiendo la red actual en una red SFN, todos los transmisores transmitirán con la misma frecuencia. Mediante esta introducción del Reuse-1, lo que en esencia es eliminar la distancia de reutilización entre transmisores cercanos, el WiB busca tres mejoras principalmente:

- Reducir el nivel de potencia de los transmisores
- Obtener umbrales de SNR en recepción lo más cercanos a 0dBs

- Emplear todo el espectro disponible

Estas tres mejoras a tener en cuenta en el WiB están relacionadas y se deben a que al reducir la distancia de reutilización de frecuencias a uno, lo más importante a tener en cuenta son las interferencias, debido a que transmisores cercanos que emitan las mismas frecuencias con grandes potencias se interferirán, por lo que habría que disminuir sus potencias, de ahí el primer objetivo.

Esto implicaría que no se obtuviesen las mismas coberturas ya que con la disminución de potencia no se conseguiría proporcionar un umbral en recepción tan elevado como el que se emplea actualmente, es decir, es necesario bajar el umbral en recepción, el segundo objetivo.

Por último, para disminuir dicho umbral es necesario emplear mecanismos más seguros como constelaciones menores o CR mayores, lo que provoca que los canales no puedan dar suficiente capacidad por canal para satisfacer los mismos requisitos que se tienen actualmente. Para solucionar esto se emplearán todos los canales del espectro disponible en vez de los 9 canales actuales, en el caso de España, cada uno de ellos proporcionará poca capacidad en comparación con los actuales pero en conjunto la suficiente para igualarse a la capacidad dada por el DVB-T2.

En el caso práctico que se expondrá en el siguiente apartado, lo que se realizará son simulaciones en un canal, con diferentes niveles de disminución de potencia de los transmisores, diferentes constelaciones y CRs, y se extrapolarán los datos a la utilización de múltiples canales. Tras esto se estudiarán las coberturas obtenidas para comprobar si cumpliendo con las mejoras introducidas por el CASO-A del WiB se puede mantener la cobertura de población con disminución de potencias.

9.5 Caso práctico

Como ya se ha dicho en el apartado anterior, para comprobar el funcionamiento del código generado y comprobar si con el WiB se puede mejorar el estándar actual al mantener la cobertura disminuyendo la potencia se ha realizado un caso práctico, mediante la simulación y el análisis de los resultados, en toda la CAV. En la siguiente Tabla se expone un resumen del área simulada junto con la información de los transmisores divididos en tipos y por provincias.

Área	Área de simulación	7.234 km ²
Resolución	Resolución por pixel	110 m
Nº de transmisores por provincia	Álava	34
	Bizkaia	44
	Gipuzkoa	36
Nº de transmisores por Tipo	Tipo 1 (2kW)	11
	Tipo 2 (1kW)	20
	Tipo 3 (500W)	63
	Tipo 4 (50W)	20

Tabla 3: Resumen de características de la red

Los transmisores mencionados se exponen con mayor detalle en el anexo III y las figuras obtenidas de las simulaciones también se exponen de manera más extensa en el anexo IV.

Las simulaciones mencionadas se han llevado a cabo en un único canal de radiofrecuencia debido a que la información de cobertura se puede extrapolar al resto de canales y de esta manera no sea necesario realizar simulaciones innecesarias.

Para la realización de estas simulaciones se han definido los parámetros de red de transmisión, dichos parámetros se muestran en la siguiente tabla.

Parámetros	Valor
Tipo de Recepción	Recepción fija
SNR objetivo	Depende de la configuración (3, 6.1, 8, 12, 18.3 dB)
Figura de Ruido/Potencia de Ruido	6 dB/ -130.4 dBW
Pérdidas entre receptor y antena	0 dB
Tipo de antena de Tx y Rx	Omnidireccional
Constante dieléctrica	15
Conductividad de la tierra	0.005 (Siemens/m)
Constante de flexión atmosférica	301 (N)
Clima	Templado continental
Polarización	Horizontal
Fracción de situaciones	50%
Fracción de tiempo	90%
PIRE	Depende del tipo de Tx (2kW, 1kW, 500W o 50W)

Tabla 4: Parámetros de transmisión empleados

Los últimos dos parámetros corresponden al análisis estadístico proporcionado por el modelo ITM. Esto significa que SPLAT devolverá la máxima pérdida de trayectoria que ocurre el 50% de las situaciones (fracción de situaciones, o Variabilidad de Locaciones) el 90% del tiempo (fracción de tiempo, o Variabilidad Tiempo).

En este caso práctico se parte de la base de que en caso de emplear el DVB-T2 en la CAV se tendría una constelación de 256-QAM y un CR de 3/5 con una capacidad de 33.2 Mbps por canal, lo que empleado en los 9 canales utilizados en España equivale a 298,8 Mbps. Esta es la capacidad mínima necesaria que se ha de conseguir para considerar que la configuración empleada sea válida. En la siguiente Tabla se muestran las diferentes configuraciones empleadas con las capacidades que otorgan al emplear los 40 canales disponibles. También se muestran las capacidades de emplear 29 debido a la proximidad del segundo dividendo digital.

Modo/CR	Umbral SNR (dB)	Bitrate/ canal (Mbps)	Bitrate (40 canales) (Mbps)	Bitrate (29 canales) (Mbps)
QPSK $\frac{1}{2}$	3	7.5	300	217.5
QPSK $\frac{3}{4}$	6.1	11.2	448	324.8
16-QAM $\frac{1}{2}$	8	15	600	435
16-QAM $\frac{3}{4}$	12	22.4	896	649.6
256-QAM $\frac{3}{5}$	18.3	33.2	1328	962.8

Tabla 5: Capacidades de las configuraciones en DVB-T2

Como se puede ver en la Tabla 5, en caso de emplear los 40 canales disponibles, la configuración más robusta, la QPSK con CR $\frac{1}{2}$, es suficiente desde el punto de vista de bitrate. Sin embargo, si se empleasen únicamente los 29 canales restantes tras el segundo dividendo digital dicha configuración no otorga suficiente bitrate, por lo que habría que emplear la QPSK con CR de $\frac{3}{4}$. Todos estos comentarios son únicamente desde el punto de vista de capacidad sin tener en cuenta los porcentajes de cobertura que se expondrán a continuación.

Una vez aclarado el tema de bitrate se ha comenzado a realizar las simulaciones de cobertura. En un primer momento se ha realizado la simulación de la situación actual, en caso de que se emplease DVB-T2 en la CAV, sin disminución de potencia y los valores de porcentaje de cobertura espacial y de población obtenidos se han tomado de referencia para los análisis de resultados posteriores.

Una vez obtenidos los valores de referencia se han realizado las demás simulaciones con tres diferentes constelaciones (256-QAM, QPSK y 16-QAM), con diferentes CR ($\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ y $\frac{3}{5}$) y con diferentes disminuciones de potencia (6 dB, 10 dB, 20 dB, 30 dB y 40 dB) y se han obtenidos los resultados. Estos resultados se dividen en dos tipos, en primer lugar se obtienen dos figuras, la primera es la representación de la cobertura espacial mediante la representación de los niveles de SNR que superan el umbral (Figura17), y la segunda es la representación de la cobertura de población mediante la representación de los niveles de SNR que superan el umbral en las zonas habitadas obtenidas de los ficheros shapefile (Figura 18).

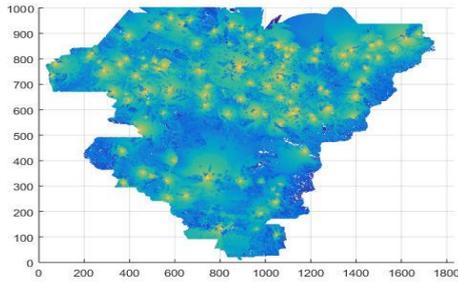


Figura 17: Ejemplo de Figura de cobertura espacial

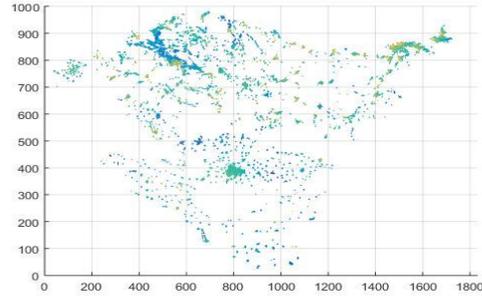


Figura 18: Ejemplo de Figura de cobertura de población

Como se puede ver en ambas figuras cuanto más amarillo el color más potencia se tiene, es decir, más SNR y cuanto más azul menor potencia y menor SNR, la escala de colores se representa con mayor detalle en la Figura 19, por ese motivo en la primera figura se pueden apreciar la localización de los transmisores representados con puntos amarillos.

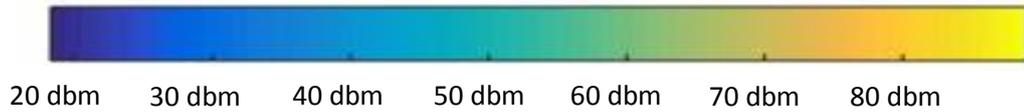


Figura 19: Escala de colores de las figuras

También decir que los ejes representados en todas ellas se refieren a los pixeles empleados, cuya resolución es de 110 m por pixel, como se indica en la Tabla 3, es decir que en el eje X los km simulados son 110 km y en el Y son 200 km.

Estas figuras son un ejemplo obtenidos de la simulación de la configuración 16-QAM con CR de $\frac{3}{4}$ y una disminución de potencia de 6dB, las demás figuras se expone en el anexo IV.

El otro tipo de resultado que se obtiene son representaciones numéricas por pantalla de los porcentajes de cobertura espacial, temporal y en número de habitantes cubiertos. Estos resultados se pueden observar en las siguientes tablas

Reducción de Potencia	Cobertura Espacial (%)				
	256-QAM 3/5	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16-QAM 1/2	16-QAM 3/4
0 dB	86.58	-	-	-	-
-6 dB	85.49	97.67	95.23	93.75	90.98
-10 dB	83.86	97.39	94.79	93.21	90.19
-20dB	67.17	94.97	91.57	89.32	83.02
-30dB	43.51	84.36	75.68	70.17	59.24
-40dB	15.23	57.56	49,44	44.78	35.96

Tabla 6: Tabla de coberturas espaciales

Reducción de Potencia	Cobertura de Población (%)				
	256-QAM	QPSK	QPSK	16-QAM	16-QAM
	3/5	1/2	3/4	1/2	3/4
0 dB	93.09	-	-	-	-
-6 dB	92.68	98.97	97.97	97.30	95.90
-10 dB	91.87	98.89	97.82	97.11	95.63
-20dB	84.04	98.05	96.55	95.51	92.57
-30dB	71.22	93.65	89.62	86.50	81.02
-40dB	35.10	80.11	75.48	72.50	66.37

Tabla 7: Tabla de coberturas de población

Como se puede ver en las Tablas 6 y 7 si se quisiese mantener la cobertura de población, en caso de emplear 40 canales, es decir, de usar QPSK con CR de $\frac{1}{2}$, se podría llegar a disminuir la potencia en 30 dB, es decir, en 1.000 y aun mantener la misma cobertura. En caso de usar 29 canales, es decir, QPSK con CR de $\frac{3}{4}$, se podría disminuir en 20 dB manteniendo la cobertura o en 30 dB disminuyendo la cobertura de población en un 3%.

Un dato de interés al observar estas tablas es que al disminuir la potencia la cobertura espacial disminuye mucho más rápido que la cobertura de población, sin embargo, para este estudio dicha cobertura no es tan importante debido a que está planeado para un servicio de TDT, cuya recepción se supone fija, por lo que interesa más la recepción en viviendas y zonas habitadas, que es lo que nos indica la cobertura de población. El motivo de que la cobertura espacial disminuya tanto es que los primeros lugares donde se pierde la cobertura son montes y zonas deshabitadas donde no interesa recibir TDT.

Por último hay que comentar que las disminuciones de potencia que se realizan son en cada transmisor y en cada canal, es decir, las potencias que se obtenían del SPLAT se referían a un transmisor y a un canal de dicho transmisor, por lo tanto hay que observar que actualmente se emplean 9 canales mientras que con esta planificación se emplearán 40 o 29 canales. Con todo esto nos referimos a que si actualmente un transmisor Tipo 1 (2kW) transmite en 9 canales esto es 18kW, sin embargo, al disminuir la potencia en 30 dB la potencia de cada transmisor por canal es de 2W, al aplicarla a los 40 o 29 canales se obtiene una potencia de 80W o 58W. Esto sigue siendo mucho menor que los 18kW pero es necesario mencionarlo.

10. Descripción de las tareas. Gantt

En este apartado se presenta las diferentes fases llevadas a cabo a lo largo del proyecto así como el diagrama de Gantt. Esto permitirá obtener una visión global del trabajo realizado en el proyecto

10.1 Equipo de trabajo

En este punto se especifican el número de personas que trabajan en este proyecto y su labor.

Nombre	Responsabilidad	Perfil
Manuel M ^a Velez Elordi	Director del proyecto	Ingeniero Senior
Pablo Angueira	Codirector del proyecto	Ingeniero Senior
Álvaro Gabilondo García	Realizador del proyecto	Ingeniero Junior

Tabla 8: Equipo de trabajo

10.2 Fases del trabajo

PT.1: Coordinación y gestión del proyecto

Este paquete de trabajo tiene una duración equivalente al proyecto, 31 semanas, y será llevado a cabo junto con el director y codirector del proyecto a través de reuniones. Para realizar este paquete de trabajo se realizarán reuniones en las que se definirán los objetivos, se hará un seguimiento y un control del trabajo realizado.

- Duración: 31 semanas
- Trabajo:
 - o Manuel M^a Vélez: 50 horas
 - o Pablo Angueira: 50 horas
 - o Álvaro Gabilondo: 20 horas

PT.2: Recopilación de información

Este paquete de trabajo incluye toda la búsqueda de información, tanto del nuevo sistema WiB, como de la tecnología empleada actualmente y de los programas empleados.

- Duración: 4 semanas:
- Trabajo:
 - o Álvaro Gabilondo: 35 horas

PT.3: Familiarización con los programas:

En esta tarea se practicará con los diferentes programas a emplear.

PT.3.1: Familiarización con SPLAT: Familiarizarse con el programa realizando diferentes pruebas de modo que se coja soltura con él.

- Duración: 2 semanas
- Trabajo:
 - Álvaro Gabilondo: 20 horas

PT.3.2: Familiarización con MatLab: Familiarización con las diferentes ToolBox necesarias para el estudio de población.

- Duración: 1 semana
- Trabajo:
 - Álvaro Gabilondo: 10 horas

PT.4: Obtención de datos

En este paquete de trabajo se realizan las tareas necesarias para la obtención de los datos de potencia mediante las simulaciones en SPLAT y su posterior importación a MatLab.

- Duración 4 semanas
- Trabajo:
 - Álvaro Gabilondo: 20 horas

PT.5: Creación del código en MatLab

En este paquete de trabajo se generará el código a usar en el caso práctico (Duración 15 semanas)

PT.5.1: Creación código base: Generación del código en MatLab que permita obtener resultados de coberturas espaciales y de población

- Duración: 13 semanas
- Trabajo:
 - Álvaro Gabilondo: 260 horas

PT.5.2: Mejoras del código: Modificación del código base introduciendo las tres mejoras del método de sincronización, pendientes en el intervalo de guarda e introducción de diagrama de radiación en antenas receptoras

- Duración: 2 semanas
- Trabajo:
 - Álvaro Gabilondo: 60 horas

PT.6: Realización de caso práctico

En este paquete de trabajo se realizan las diferentes tareas para la obtención de resultados del caso práctico.

- Duración: 5 semanas
- Trabajo:
 - Álvaro Gabilondo: 120 horas

PT.7: Documentación

Esta tarea se irá realizando a lo largo del proyecto, según se vayan realizando las diferentes tareas.

- Duración: 20 semanas
- Trabajo:
 - Álvaro Gabilondo: 80 horas

10.3 Gantt

	Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre			
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32
PT.1	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
PT.2	█	█	█	█																												
PT.3					█	█																										
PT.3.1					█	█																										
PT.3.2						█																										
PT.4							█	█	█	█																						
PT.5													█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█						
PT.5.1													█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█								
PT.5.2																								█	█							
PT.6																									█	█	█	█	█			
PT.7													█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Tabla 9: Diagrama de Gantt

11. Presupuesto

En este punto se exponen los diferentes gastos e inversiones que se realizan en el proyecto. Estos gastos se dividen en apartados:

- Horas internas
- Amortizaciones

Por último se unirán todos estos apartados para dar un presupuesto general en un resumen económico.

11.1 Horas internas

En este apartado se incluyen los costes referentes a los participantes del proyecto. Los costes indirectos (luz, agua, materiales de oficina...) vienen incluidos dentro de este apartado.

Horas Internas			
Puesto	€/h	Horas	Total
Director del proyecto	80	50	4.000 €
Codirector del proyecto	70	50	3.500 €
Realizador del proyecto	30	625	18.750 €
Subtotal			26.250 €

Tabla 10: Horas Internas

A pesar de que el director y el codirector del proyecto realizan la tarea de supervisión, que ocupa toda la duración del proyecto en las tareas, no lo realizan durante todas las horas en las que se realiza el proyecto.

11.2 Amortizaciones

En este punto se exponen todos los recursos utilizados en este proyecto que pueden ser empleados en otros futuros proyectos.

Amortizaciones				
Recurso	Coste (€)	Vida del recurso (meses)	Tiempo empleado (meses)	Coste de la amortización (€)
Ordenador	1.000	12	8	666,67 €
Sistema operativo Windows 8	200	12	8	133,33 €
Microsoft Office 2013	100	12	8	66,67 €
Subtotal				866,67 €

Tabla 11: Amortizaciones

11.3 Resumen económico

Por último, como ya se ha dicho, se muestra el presupuesto completo, en el que se tienen en cuenta todos los gastos presentados en los anteriores apartados.

Concepto	Subtotal (€)
Horas internas	26.250
Amortizaciones	866,67
Subtotal	27.117,67

Tabla 12: Resumen económico

El coste final del *Estudio de la planificación de TDT usando el sistema WiB* asciende a un total de **veintisiete mil ciento diecisiete con sesenta y siete euros**.

En Bilbao, a 25 de septiembre de 2017

Fdo.: Álvaro Gabilondo García

12. Análisis de riesgos

En este apartado se mostrarán una serie de riesgos que pueden aparecer a lo largo del trabajo y posibles soluciones. Estos riesgos se clasifican en función del impacto (I) que pueden causar así como por la probabilidad de que pueda ocurrir dicho riesgo (P). Estos parámetros de impacto y probabilidad se puntúan de 1 a 3 (1 bajo, 2 medio, 3 alto)

12.1 Riesgos

Los posibles riesgos que pueden surgir son:

- **Error en las simulaciones con SPLAT:** Si existe un error en la obtención de datos, debido a la inexperiencia de uso del SPLAT, no detectado al comienzo implicaría retrasos debido a la necesidad de volver a realizar las simulaciones con SPLAT y a su importación a MatLab.
 - I=1
 - P=3

- **Configuración errónea del código básico:** Si se configurasen los parámetros de forma errónea implicarían grandes retrasos debido a que las simulaciones, erróneas debidos a los parámetros, necesitan varias horas para su realización.
 - I=2
 - P=1

- **Avería de equipos y pérdida de datos:** Este es el riesgo con mayor impacto debido a que la pérdida de datos por avería, como pueden ser los scrips generados o los datos importados a MatLab, implicarían la vuelta al comienzo del proyecto y muy posiblemente a su fracaso por falta de tiempo.
 - I=3
 - P=2

En la siguiente tabla se expresan estos riesgos en función de su probabilidad y el impacto que tendrían en el proyecto.

		Impacto (I)		
	Valor	1	2	3
Probabilidad (P)	1		Configuración errónea del código básico	
	2			
	3	Error en las simulaciones con SPLAT		Avería de equipos y pérdida de datos:

Tabla 13: Tabla de Impacto/Probabilidad de riesgos

12.2 Planes de contingencia

En este apartado se exponen las medidas que habría que tomar para reducir e incluso evitar la aparición de alguno de los riesgos anteriores:

- **Error en las simulaciones con SPLAT:** Realizar mayor número de simulaciones de pruebas para entender y controlar definitivamente el programa SPLAT
- **Configuración errónea del código básico:** Este es un error complejo ya que es difícil de detectar y de no realizar. Lo que se ha de hacer es dejar un mayor margen de tiempo para imprevistos y antes de realizar cualquier simulación asegurarse de que los parámetros de simulación son los correctos
- **Avería de equipos y pérdida de datos:** No se puede generar un plan de contingencia para evitar este error, pero para evitar que su impacto sea muy elevado se han de hacer copias de seguridad periódicamente, tanto de los datos como de los scrips generados, así como de toda la información que pueda ser utilizada en el proyecto

13. Conclusiones

En este Trabajo Fin de Master titulado “Estudio de la planificación de TDT usando el sistema WiB” se ha estudiado la planificación de un sistema de TDT con el estándar actual DVB-T/T2 incluyendo la mejora del CASO-A del sistema WiB, es decir, la introducción del Reuse-1. Este nuevo sistema puede ser la siguiente fase en los sistemas de TDT siendo la mejora de lo que se encuentra hoy en día.

La ventaja de estudiar este nuevo sistema es que es un sistema novedoso del cual aún no se ha generado ni siquiera un estándar y por lo tanto aún no se ha estudiado en profundidad y es por esto que el estudio del CASO-A realizado para este trabajo puede ser de gran utilidad en futuros proyectos como la aplicación de siguientes casos o en la optimización de los algoritmos generados en este mismo trabajo.

También se ha empleado el programa SPLAT el cual es un valor añadido de este trabajo, ya que a pesar de no ser un programa sencillo de emplear es uno de los mejores programas para el estudio de broadcast debido a la precisión que otorga y a los numerosos parámetros que se pueden introducir que hacen que las simulaciones sean más realistas.

El estudio del CASO-A del WiB tiene como objetivo introducir el Reuse-1 lo que implica disminuir la potencia de los transmisores, emplear todos los canales del espectro disponible para la TDT y a su vez mantener la cobertura de población en valores similares a los que se tienen actualmente. Observando los resultados obtenidos del caso práctico realizado en CAV este objetivo se ha llevado a cabo de manera satisfactoria debido a que se puede obtener una capacidad igual o mayor a la actual y una cobertura de población similar disminuyendo las potencias de cada transmisor en 30 dBs.

Como ya se ha visto, mediante este proyecto se ha generado un código para realizar simulaciones de redes SFN, y dicho código se ha comprobado mediante su aplicación en un caso práctico en una zona de España, más exactamente en la CAV. Sin embargo, este código se ha generado para que se pueda emplear en cualquier zona del mundo siempre que se tenga información del terreno e información estadística de población dentro de dicha zona de simulación.

Una continuación de este proyecto puede ser el análisis de las coberturas en una zona mayor, como puede ser España. O también otra continuación puede ser la optimización de dicho código para que sea más rápido en las simulaciones y por lo tanto permita reducir el tiempo necesario empleado en una planificación.

Bibliografía

- [1] DVB. (September de 2016). <https://www.dvb.org/news/worldwide>.
- [2] "ATSC Standard: Physical Layer Protocol (A/322)". Doc. A/322:2017, . (9 February 2017).
- [3] ITU-R BT.2295-1. "Digital terrestrial broadcasting systems". . (July 2015).
- [4] SPLAT!. "RF Signal Propagation, L. A. (s.f.). [<http://www.qsl.net/kd2bd/splat.html>].
- [5] ETSI EN 302 755. "Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)". (October 2010).
- [6] [CIM-1617]. (2016/2017). TEMA 2.3 Estándar DVB-T2 (Pag. 7).
- [7] E. Stare, J. G. (s.f.). "WiB: a new system concept for digital terrestrial television (DTT)". IBC Conference, 2016, DOI: 10.1049/ibc.2016.0041. .
- [8] ITELAZPI S.A. [<http://www.itelazpi.eus>]. (s.f.).
- [9] RadioMobile. (s.f.). Obtenido de <http://www.ve2dbe.com/rmonline.html>.
- [10] XIRIO. (s.f.). Obtenido de <https://www.xirio-online.com/>.
- [11] SRTM. (s.f.). Obtenido de http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/.
- [12] M.M.Velez et al "Measurement based software design for DVB-T and T-DAB single frequency network planning and coverage prediction". 5th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory, ISAPE 2000. DOI: 10.1109/ISAPE.2000.894860. (s.f.).
- [13] TR024, "SFN FREQUENCY PLANNING AND NETWORK IMPLEMENTATION WITH REGARD TO T-DAB AND DVB-T" . (October, 2013).
- [14] EBU Tech3348 "FREQUENCY AND NETWORK PLANNING ASPECTS OF DVB-T2". (October, 2014).
- [15] *GeoEuskadi*, [http://www.geo.euskadi.net/s69-bisorea/es/x72aGeoEuskadiWAR/index.jsp?lang=ES&xmin=374327.08410775&xmax=686467.89589337&ymin=4668589.9994666&ymax=4830711.7612142&base_layer=Ortofoto-hibrido&layers=limites-estadisticos]. (s.f.).
- [16] ITU-R BT.419-3 *Directivity and polarization discrimination of antennas in the reception of television broadcasting*. (1992).

Anexo I: Código de MatLab

A continuación se muestra el código generado. Dicho código se presenta a través de un código principal, el cual, llamará a diferentes funciones para realizar los pasos mencionados en este documento.

Código principal

```
function Matriz=Total(varargin)
    NumCapas=varargin{1,end};
    NumDat=size(varargin,2)-(3+NumCapas);
    Coordenadas=varargin{1,NumDat+1};
    Cont=0;Habitantes=0;
    Umbral=18.3;%Umbral de DBV-T2 (256-QAM,3/5)
    % Umbral=3;%Umbral de DBV-T2 (QPSK,1/2)
    % Umbral=6.1;%Umbral de DBV-T2 (QPSK,3/4)
    % Umbral=8;%Umbral de DBV-T2 (16-QAM,1/2)
    % Umbral=12;%Umbral de DBV-T2 (16-QAM,3/4)
    Bordes=varargin{1,NumDat+2};
    CoordePunt(:,1)=Coordenadas(:,1)*1000-(Bordes(1,1)*1000-1);
    CoordePunt(:,2)=(Bordes(2,2)*1000+1)-Coordenadas(:,2)*1000;

    for i=1:NumDat
        varargin{1,i}=CoorGrBil(varargin{1,i},Bordes);%Acotar a
        zona deseada
        [varargin{1,i},varargin{2,i}]=MatrizPot(varargin{1,i},Coord
        enadas(i,:),Bordes);%Crear matriz de Pot y
        Distancias/Retardos
        [varargin{1,i},varargin{2,i}]=QuitarCeros(varargin{1,i},var
        argin{2,i});% Quitar 0s que haya en medio

        if (Cont==0)
            varargin{2,NumDat+1}=zeros(size(varargin{1,1},1),size(varargin{1
            ,1},2));
            varargin{2,NumDat+2}=zeros(size(varargin{1,1},1),size(varargin{1
            ,1},2));
            varargin{3,NumDat+1}=zeros(size(varargin{1,1},1),size(varargin{1
            ,1},2));
            Cont=Cont+1;
        end

        [varargin{2,NumDat+1},varargin{3,NumDat+1}]=Primero(varargin{1,i
        },varargin{2,i},varargin{2,NumDat+1},varargin{3,NumDat+1});%Obte
        ner matriz de tiempo con la señal más potente

        varargin{2,NumDat+2}=MatAng(varargin{2,i},varargin{2,NumDat+1},v
        arargin{2,NumDat+2},i);
    end

    for i=1:NumDat

        [varargin{3,i},varargin{4,i}]=MatCeI(varargin{1,i},varargin{2,i}
        ,varargin{2,NumDat+1},CoordePunt,varargin{2,NumDat+2},i);%Obtene
        r Mat de Contribuyentes e Interferentes
    End
```

```

[varargin{5,1},varargin{5,2}]=klnmfin(varargin{3,:},varargin{4, :
},NumDat);
varargin{6,1}=SNR(varargin{5,1},varargin{5,2});
varargin{6,2}=(varargin{6,1}>Umbral);%Mat de cobertura espacial
M=load('C:\Users\ALVARO_2\Desktop\TFM\SPLAT\Datos\DatosMatlab\Da
tosTxs\Mascara.mat'); %Mascara para acotar la CAV
Mascara=M.Mascara;
varargin{6,2}=varargin{6,2}.*Mascara;
varargin{7,1}=varargin{6,1}.*varargin{6,2};
varargin{7,1}=Infinito(varargin{7,1});
mesh(varargin{7,1});axis([0 size(varargin{1,1},2) 0
size(varargin{1,1},1)]);
PorcentajeCoberturaEspacial=sum(sum(varargin{6,2}))/ (sum(sum(Mas
cara)))*100;
disp(['El porcentaje de cobertura espacial es:
',num2str(PorcentajeCoberturaEspacial),'%']);
varargin{8,1}=PorcentajeCoberturaEspacial;
varargin{6,3}=zeros(size(varargin{6,1},1),size(varargin{6,1},2))
;
for j=1:NumCapas
S=shaperead(varargin{1,end-(NumCapas)+(j-1)});

for h=1:size(S,1)
clear B;
[Lat,Lon]=utm2deg(S(h).X(1:end),S(h).Y(1:end));
[S(h).BoundingBox(:,1),S(h).BoundingBox(:,2)]=utm2deg(S(h).
BoundingBox(:,1),S(h).BoundingBox(:,2));
B(2,:)=(-1).*Lon';B(1,:)=Lat';
B=B';

if(S(h).BoundingBox(1,1)>=Bordes(1,1) &&
S(h).BoundingBox(2,1)<=Bordes(1,2) && -
S(h).BoundingBox(1,2)<=Bordes(2,2) && -
S(h).BoundingBox(1,2)>=Bordes(2,1))
A=round(B,3);
[~,ia,~]=unique(A(:,1:2),'rows');
ia=sort(ia);
BordZona=(A(ia,:))';
TF=isnan(BordZona);

for l=size(BordZona,2):-1:1
if(TF(1,l)==1 || TF(2,l)==1)
BordZona(:,l)=[];
end
end
Matriz=Acotarlo(varargin{6,1},Bordes,BordZona);
Habitantes=S(h).POBLACION+Habitantes;
varargin{6,3}=varargin{6,3}+Matriz;
end
end
end
M=varargin{6,3};
for i=1:size(varargin{6,3},1)
for j=1:size(varargin{6,3},2)
if(M(i,j)>0)
M(i,j)=1;
end
end
end
varargin{6,3}=M;
varargin{6,4}=varargin{6,2}.*varargin{6,3};

```

```

varargin{7,2}=varargin{6,1}.*varargin{6,4};
varargin{7,2}=Infinito(varargin{7,2});
figure(2);
mesh(varargin{7,2});axis([0 size(varargin{1,1},2) 0
size(varargin{1,1},1)]);
PorcentajeCoberturaPoblacion=sum(sum(varargin{6,4}))/sum(sum(varargin{6,3}))*100;
disp(['El porcentaje de cobertura de población es: ',num2str(PorcentajeCoberturaPoblacion),'%']);
varargin{8,2}=PorcentajeCoberturaPoblacion;
PoblacionCubierta=round(Habitantes*PorcentajeCoberturaPoblacion/100);
varargin{8,3}=PoblacionCubierta;
disp(['La población cubierta es ',num2str(PoblacionCubierta),' habitantes de ',num2str(Habitantes),' habitantes totales.']);

Matriz=varargin;
end

```

Función para acotar zona

Con esta función se acorta la zona a analizar a un rectángulo en la que se encuentra el área a simular, que en este caso es la CAV.

```

function CoorGrBil=CoorGrBil(Datos,bordes)

Medio=Datos(Datos(:,1)>bordes(1,1) & Datos(:,1)<bordes(1,2) &
Datos(:,2)>bordes(2,1) & Datos(:,2)<bordes(2,2),:);
A=round(Medio,3);
[C,ia,ic]=unique(A(:,1:2),'rows');
CoorGrBil=A(ia,:);

end

```

Función para crear Matrices de potencia

Mediante esta función los datos de potencias asociadas a unas coordenadas se distribuyen creando matrices rectangulares haciendo que cada punto tenga una potencia y se refiera a cada coordenada.

```

function [Matriz,Distancia]=MatrizPot(Datos,Coor,Bordes)

Matriz=zeros(round((Bordes(1,2)-Bordes(1,1))*1000+1),round((Bordes(2,2)-Bordes(2,1))*1000+1));
Distancia=zeros(round((Bordes(1,2)-Bordes(1,1))*1000+1),round((Bordes(2,2)-Bordes(2,1))*1000+1));
Datos=sortrows(Datos);
CantDat=size(Datos,1);
FO=1;

```

```

Mini=0;Maxi=0;Minj=0;Maxj=0;
O=size(Datos,1);
if (min(Datos(:,1))>Bordes(1,1))
    Mini=(min(Datos(:,1)));
else
    Mini=Bordes(1,1);
end
if (max(Datos(:,1))<Bordes(1,2))
    Maxi=(max(Datos(:,1)));
else
    Maxi=Bordes(1,2);
end
if (min(Datos(:,2))>Bordes(2,1))
    Minj=(min(Datos(:,2)));
else
    Minj=Bordes(2,1);
end
if (max(Datos(:,2))<Bordes(2,2))
    Maxj=(max(Datos(:,2)));
else
    Maxj=Bordes(2,2);
end

for i=Mini*1000:Maxi*1000
    for h=FO:CantDat
        if (h~=1)
            O=h-1;
        end
        if(Datos(h,1)==i/1000 && Datos(h,1)~=Datos(O,1))

            for j=Minj*1000:Maxj*1000;
                for l=h:CantDat
                    if(Datos(h,1)~=Datos(l,1))
                        break;
                    end
                    if(Datos(l,1)==i/1000 && Datos(l,2)==j/1000)
                        Matriz((i-(Bordes(1,1)*1000-
                            1)),((Bordes(2,2)*1000+1)-j))=Datos(l,5);
                        break;
                    end
                end
            end
            FO=h;
            break;
        end
    end
end
for i=Bordes(1,1)*1000:Bordes(1,2)*1000
    for j=Bordes(2,1)*1000:Bordes(2,2)*1000;
        Distancia((i-(Bordes(1,1)*1000-
            1)),((Bordes(2,2)*1000+1)-
            j))=DistanciaPunto([i/1000,j/1000],Coor);
    end
end
end

```

Función para Quitar ceros

Con las siguientes instrucciones se eliminan los 0s que nos podemos encontrar en las matrices creadas, para ello se hace la media de los valores de alrededor de dicho punto.

```
function [Datos,Dist]=QuitarCeros (Datos,Dist)
    for j=1:size (Datos,1)
        ini=j-1;
        fin=j+1;
        for h=1:size (Datos,2)
            inih=h-1;
            finh=h+1;
            if (Datos (j,h)==0)
                D=0;
                DI=0;
                if (j==1)
                    ini=1;
                elseif (j==size (Datos,1))
                    fin=size (Datos,1);
                end
                if (h==1)
                    inih=1;
                elseif (h==size (Datos,2))
                    finh=size (Datos,2);
                end
                Cont=0;
                for y=ini:fin
                    for t=inih:finh
                        if (Datos (y,t)~=0)
                            D=D+Datos (y,t);
                            DI=DI+Dist (y,t);
                            Cont=Cont+1;
                        end
                    end
                end
                if (Cont>2)
                    Datos (j,h)=D/Cont;
                    Dist (j,h)=DI/Cont;
                end
                if (Datos (j,h)==0)
                    Datos (j,h)=-Inf;
                end
            end
        end
    end
end
```

Función para crear matriz de retardo/distancia

Existen dos versiones de esta función, la segunda que se creó para obtener una matriz de retardos/distancias mínimas y la primera, que es la mejor, obtiene la matriz de retardos/distancias con la señal más fuerte.

```

function [DistMin,PotMax]=Primero(Pot,Dist,DistMin,PotMax) %Mejora
    for i=1:size(Dist,1)
        for j=1:size(Dist,2)
            if (DistMin(i,j)==0)
                PotMax(i,j)=Pot(i,j);
                DistMin(i,j)=Dist(i,j);
            elseif (Pot(i,j)>=PotMax(i,j))
                PotMax(i,j)=Pot(i,j);
                DistMin(i,j)=Dist(i,j);
            end
        end
    end
end
% function DistMin=Primero(Dist,DistMin)
% for i=1:size(Dist,1)
%     for j=1:size(Dist,2)
%         if (DistMin(i,j)==0)
%             DistMin(i,j)=Dist(i,j);
%         elseif (DistMin(i,j)>Dist(i,j))
%             DistMin(i,j)=Dist(i,j);
%         end
%     end
% end
% end

```

Función para obtener el transmisor con señal más fuerte

Mediante esta función se obtiene una matriz que identifica para cada punto que transmisor le hace llegar la señal más fuerte para posteriormente generar las correcciones del diagrama de radiación

```

function Mat=MatAng(Dist,DistMin,Mat,NumTx)
    for i=1:size(DistMin,1)
        for j=1:size(DistMin,2)
            if(Dist(i,j)==DistMin(i,j))
                Mat(i,j)=NumTx;
            end
        end
    end
end

```

Función para obtener matrices Contribuyentes e Interferentes

Con esta función se generan las matrices de señales Contribuyentes e Interferentes además de hacer las correcciones del diagrama de radiación. Para ello es necesario una serie de funciones adicionales (ObtenerAng y AjusteDiagramRx).

```

function ANG=ObtenerAng(Punt0,Punt1,Punt2)
    v1=[Punt1(1)-Punt0(1),Punt1(2)-Punt0(2),0];
    v2=[Punt2(1)-Punt0(1),Punt2(2)-Punt0(2),0];
    m1=norm(v1);m2=norm(v2);
    ANG=acosd(dot(v2,v1)/m1/m2);
End

```

```

function Dato=AjusteDiagramRx (Angulo,Dato)
    if (Angulo<=20)
        Dato=Dato;
    elseif (Angulo>=60)
        Dato=Dato-16;
    elseif (Angulo>20 && Angulo<60)
        alfa=16/40;
        Dato=Dato- ((Angulo-20)*alfa);
    end
end

```

También existen diferentes versiones de esta función debido a que es ella se introduce la mejora del intervalo de guarda, en la primera, la mejorada, se tienen en cuenta las pendientes anterior y posterior, en la segunda no se tiene en cuenta dichas pendientes.

```

function
[C,I]=MatCeI (Datos,Dist,DistMin,Coordenadas,MatAng,NumTx)
C=zeros (size (Datos,1),size (Datos,2));
I=zeros (size (Datos,1),size (Datos,2));
Tu=3584*(10^-6);
Tg=224*(10^-6);
ta=Tg/10;
for i=1:size (Datos,1)
    for j=1:size (Datos,2)
        Num=MatAng (i,j);
        Angulo=ObtenerAng ([i,j],Coordenadas (Num,:),Coordenadas (NumTx,
x,:));
        Datos (i,j)=AjusteDiagramRx (Angulo,Datos (i,j));
        if (Dist (i,j)<(DistMin (i,j)-ta) ||
            Dist (i,j)>(DistMin (i,j)+(Tg+ta)))
            I (i,j)=Datos (i,j);
        elseif (Dist (i,j)>=DistMin (i,j) &&
            Dist (i,j)<=(DistMin (i,j)+Tg))
            C (i,j)=Datos (i,j);
        elseif (Dist (i,j)>=(DistMin (i,j)-ta) &&
            Dist (i,j)<DistMin (i,j))
            t=Dist (i,j)-DistMin (i,j);
            wi=((Tu+t)/Tu)^2;
            C (i,j)=Datos (i,j)+10*log10 (wi);
            I (i,j)=Datos (i,j)+10*log10 (1-wi);
        elseif (Dist (i,j)>(DistMin (i,j)+Tg) &&
            Dist (i,j)<=(DistMin (i,j)+(Tg+ta)))
            t=Dist (i,j)-DistMin (i,j);
            wi=((Tu+Tg)-t)/Tu)^2;
            C (i,j)=Datos (i,j)+10*log10 (wi);
            I (i,j)=Datos (i,j)+10*log10 (1-wi);
        end
    end
end
end
end

```

```

% function [C,I]=MatCeI (Datos,Dist,DistMin,Coordenadas,MatAng,NumTx)
% C=zeros (size (Datos,1),size (Datos,2));
% I=zeros (size (Datos,1),size (Datos,2));
% % UmbralDist=20*(10^-6);
% UmbralDist=224*(10^-6);
% for i=1:size (Datos,1)
%     for j=1:size (Datos,2)
%         Num=MatAng (i,j);

```


Función para Obtener matriz con SNR

```
function CNI=SNR(varargin)
    C=varargin{1,1};
    I=varargin{1,2};

    F=6;BW=8*10^6;
    N=F+10*log10(BW)-174;
    N=ones(size(C,1),size(C,2)).*N;
    CI=C-I;
    CN=C-N;
    CI=10.^(CI/10);
    CN=10.^(CN/10);
    CNI=1./((1./CI)+(1./CN));
    CNI=10*log10(CNI);
end
```

Función para eliminar ceros

Mediante la siguiente función se eliminarán los 0s, sustituyéndolos por -Inf y de esta manera no se representará color alguno en las simulaciones.

```
function Mat=Infinito(Mat)
    for i=1:size(Mat,1)
        for j=1:size(Mat,2)
            if(Mat(i,j)==0)
                Mat(i,j)=-Inf;
            end
        end
    end
end
```

Función Conversora de utm a grados

Esta función convierte los datos de coordenadas del fichero shapefile de formato UTM a grados decimales. Este código es el único no propio sino que ha sido encontrado de una fuente externa, probado y empleado.

```
Lat, Lon] = utm2deg(xx, yy)
% -----
% -----
% [Lat, Lon] = utm2deg(x, y)
%
% Description: Function to convert vectors of UTM coordinates
into Lat/Lon vectors (WGS84).
% Some code has been extracted from UTMIP.m function by Gabriel
Ruiz Martinez.
%
% Inputs:
%     x, y , utmzone.
%
% Outputs:
```

```

%   Lat: Latitude vector.   Degrees.   +ddd.ddddd   WGS84
%   Lon: Longitude vector.  Degrees.   +ddd.ddddd   WGS84
%
% Example 1:
% x=[ 458731; 407653; 239027; 230253; 343898; 362850];
% y=[4462881; 5126290; 4163083; 3171843; 4302285; 2772478];
% utmzone=['30 T'; '32 T'; '11 S'; '28 R'; '15 S'; '51 R'];
% [Lat, Lon]=utm2deg(x,y,utmzone);
% fprintf('%11.6f ',lat)
% 40.315430 46.283902 37.577834 28.645647 38.855552
25.061780
% fprintf('%11.6f ',lon)
% -3.485713 7.801235 -119.955246 -17.759537 -94.799019
121.640266
%
% Example 2: If you need Lat/Lon coordinates in Degrees, Minutes
and Seconds
% [Lat, Lon]=utm2deg(x,y,utmzone);
% LatDMS=dms2mat(deg2dms(Lat))
%LatDMS =
% 40.00 18.00 55.55
% 46.00 17.00 2.01
% 37.00 34.00 40.17
% 28.00 38.00 44.33
% 38.00 51.00 19.96
% 25.00 3.00 42.41
% LonDMS=dms2mat(deg2dms(Lon))
%LonDMS =
% -3.00 29.00 8.61
% 7.00 48.00 4.40
% -119.00 57.00 18.93
% -17.00 45.00 34.33
% -94.00 47.00 56.47
% 121.00 38.00 24.96
%
% Author:
% Rafael Palacios
% Universidad Pontificia Comillas
% Madrid, Spain
% Version: Apr/06, Jun/06, Aug/06
% Aug/06: corrected m-Lint warnings
%-----
%-----

% Argument checking
%
Num=size(xx,2);
% utmzone=[];
% for i=1:Num
%     utmzone='30 N';
% end
error(nargchk(2, 2, nargin)); %3 arguments required
n1=length(xx);
n2=length(yy);
% n3=size(utmzone,1);
% if (n1~=n2 || n1~=n3)
%     error('x,y and utmzone vectors should have the same number
or rows');
% end
% c=size(utmzone,2);
% if (c~=4)

```

```

% error('utmzone should be a vector of strings like "30 T"');
% end

% Memory pre-allocation
%
Lat=zeros(n1,1);
Lon=zeros(n1,1);

% Main Loop
%
for i=1:n1
% if (utmzone(i,4)>'X' || utmzone(i,4)<'C')
% fprintf('utm2deg: Warning utmzone should be a vector of
strings like "30 T", not "30 t"\n');
% end
% if (utmzone(i,4)>'M')
% hemis='N'; % Northern hemisphere
% else
% hemis='S';
% end

x=xx(i);
y=yy(i);
zone=30;

sa = 6378137.000000 ; sb = 6356752.314245;

% e = ( ( ( sa ^ 2 ) - ( sb ^ 2 ) ) ^ 0.5 ) / sa;
e2 = ( ( ( sa ^ 2 ) - ( sb ^ 2 ) ) ^ 0.5 ) / sb;
e2cuadrada = e2 ^ 2;
c = ( sa ^ 2 ) / sb;
% alpha = ( sa - sb ) / sa; %f
% ablandamiento = 1 / alpha; % 1/f

X = x - 500000;

if hemis == 'S' || hemis == 's'
Y = y - 10000000;
else
Y = y;
end

S = ( ( zone * 6 ) - 183 );
lat = Y / ( 6366197.724 * 0.9996 );
v = ( c / ( ( 1 + ( e2cuadrada * ( cos(lat) ) ^ 2 ) ) ) ) ^ 0.5
) * 0.9996;
a = X / v;
a1 = sin( 2 * lat );
a2 = a1 * ( cos(lat) ) ^ 2;
j2 = lat + ( a1 / 2 );
j4 = ( ( 3 * j2 ) + a2 ) / 4;
j6 = ( ( 5 * j4 ) + ( a2 * ( cos(lat) ) ^ 2 ) ) / 3;
alfa = ( 3 / 4 ) * e2cuadrada;
beta = ( 5 / 3 ) * alfa ^ 2;
gama = ( 35 / 27 ) * alfa ^ 3;

```

```

Bm = 0.9996 * c * ( lat - alfa * j2 + beta * j4 - gama * j6
);
b = ( Y - Bm ) / v;
Epsi = ( ( e2cuadrada * a^ 2 ) / 2 ) * ( cos(lat) )^ 2;
Eps = a * ( 1 - ( Epsi / 3 ) );
nab = ( b * ( 1 - Epsi ) ) + lat;
senoheps = ( exp(Eps) - exp(-Eps) ) / 2;
Delt = atan(senoheps / (cos(nab) ) );
TaO = atan(cos(Delt) * tan(nab));
longitude = (Delt * (180 / pi ) ) + S;
latitude = ( lat + ( 1 + e2cuadrada* (cos(lat)^ 2) - ( 3 / 2
) * e2cuadrada * sin(lat) * cos(lat) * ( TaO - lat ) ) * ( TaO -
lat ) ) * ...
(180 / pi);

Lat(i)=latitude;
Lon(i)=longitude;

```

end

Función para acortar zonas habitadas

Esta última función creada lee las coordenadas del fichero shapefile y rellena los puntos del interior marcado para obtener los porcentajes de cobertura de población.

```

function Matriz=AcotarLo(SNR,Bordes,BordesPoblacion)
Matriz=zeros(size(SNR,1),size(SNR,2));
cambiar=1;seguir=0;
for i=1:size(BordesPoblacion,2)
    ini=i;
    fin=i+1;
    if(i==size(BordesPoblacion,2))
        fin=1;
    end

    Lat1=BordesPoblacion(1,ini);Long1=BordesPoblacion(2,ini);
    Lat2=BordesPoblacion(1,fin);Long2=BordesPoblacion(2,fin);

    NumLat=round((Lat2-Lat1)*1000);
    NumLong=round((Long2-Long1)*1000);

    Lati2=max(Lat1,Lat2);Lati1=min(Lat1,Lat2);
    Longi2=max(Long1,Long2);Longi1=min(Long1,Long2);

    if((NumLat<=0 &&NumLong<=0) || (NumLat>=0 && NumLong>=0))

    NumLat=abs(NumLat)+1;
    NumLong=abs(NumLong)+1;
    if(NumLat<=NumLong)
        Y=round(linspace(Longi1,Longi2,NumLong),3);
        for j=1:NumLong
            Matriz(floor((Lati1*1000-(Bordes(1,1)*1000-
1)+1*(j-1))),floor((Bordes(2,2)*1000+1)-
Y(j)*1000))=1;
        end
    else

```

```

        Y=linspace(Longi1,Longi2,NumLat);
        saltos=ceil(NumLat/NumLong);
        for j=1:NumLat
            Matriz(floor((Lati1*1000-(Bordes(1,1)*1000-
                1)+1*(j-1))),floor((Bordes(2,2)*1000+1)-
                Y(ceil(j/saltos))*1000))=1;
        end
    end
else
    NumLat=abs(NumLat)+1;
    NumLong=abs(NumLong)+1;
    if(NumLat<=NumLong)
        Y=round(linspace(Longi2,Longi1,NumLong),3);
        for j=1:NumLong
            Matriz(floor((Lati1*1000-(Bordes(1,1)*1000-
                1)+1*(j-1))),floor((Bordes(2,2)*1000+1)-
                Y(j)*1000))=1;
        end
    else
        Y=linspace(Longi2,Longi1,NumLat);
        saltos=ceil(NumLat/NumLong);
        for j=1:NumLat
            Matriz(floor((Lati1*1000-(Bordes(1,1)*1000-
                1)+1*(j-1))),floor((Bordes(2,2)*1000+1)-
                Y(ceil(j/saltos))*1000))=1;
        end
    end
end
end
if(size(SNR,2)~=size(Matriz,2))
    Num=size(Matriz,2)-size(SNR,2);
    Matriz=Matriz(:,1:end-Num);
end
if(size(SNR,1)~=size(Matriz,1))
    Num=size(Matriz,1)-size(SNR,1);
    Matriz=Matriz(1:end-Num,:);
end
end
end

```

Anexo II: Método de combinación de señales K-LNM

Método LNM

Es un método para la computación estadística de distribución de suma de un grupo de variables distribuidas de forma logarítmica. Se emplea con diferentes desviaciones estándar de distribuciones de campo único.

Para mejorar el método LNM se introdujo un factor de corrección (k), esta nueva versión es el k -LNM, la cual con un factor $k=1$, es el método LNM.

K-LNM

La aproximación asume que la distribución de la suma de variables estadísticas con distribución logarítmica se puede describir como una nueva distribución logarítmica.

La aproximación se basa en el hecho de que para todo tipo de distribuciones el valor medio y la desviación estándar de la distribución de la suma de los variables estadísticas individuales están dados por las sumas de los valores medios y desviaciones estándar de las variables estadísticas individuales

Dado que la distribución de suma aproximada resultante es log-normal, puede ser combinada de nuevo con una tercera distribución log-normal, y así sucesivamente, permitiendo así la construcción de una distribución aproximada de n variables estadísticas log-normalmente distribuidas. Este procedimiento se puede realizar analíticamente.

El valor de k depende de múltiples factores, por lo tanto, para simplificar este método se elige un valor medio de k , lo cual resultará en una imprecisión en las aproximaciones, pero suficientemente pequeña como para considerar el método como bueno. Para la suma de campos con desviaciones estándar entre 6 y 10 dB, el valor $k = 0,5$. Para valores más pequeños de desviaciones estándar debe usarse un valor más alto para k , por ejemplo el valor empleado en este proyecto $k=0.7$.

A continuación, el método se describe en detalle: Supongamos que se dan:

- n campos logarítmicos F_i con distribución gaussiana (parámetros F_i, σ_i), es decir, las potencias correspondientes son log-normalmente distribuidas.

La tarea consiste en determinar la distribución logarítmica aproximada de la suma de potencia o , de forma equivalente, encontrar los parámetros de la distribución gaussiana del correspondiente campo de suma logarítmica. Para ello los pasos a seguir son:

1. Transformar los parámetros F_i y σ_i de dB a escala Neperiana con la formula (2)

$$X_{\text{Neper}} = \frac{1}{10 \times \log_{10}(e)} * X_{\text{dB}} \quad (2)$$

2. Calcular el valor medio M_i y la varianza S_i^2 de las n distribuciones

$$M_i = e^{F_i + \frac{\sigma_i^2}{2}}, \quad S_i^2 = e^{2F_i + \sigma_i^2} \times (e^{\sigma_i^2} - 1), \quad i = 1 \dots n, \quad (3)$$

3. Calcular la media M y la varianza S^2 de la distribución suma

$$M = \sum_{i=1}^n M_i, \quad S^2 = \sum_{i=1}^n S_i^2, \quad (4)$$

4. Determinar los parámetros de la distribución suma F_Σ y σ_Σ

...

$$\sigma_\Sigma^2 = \log_e \left(k \frac{S^2}{M^2} + 1 \right), \quad F_\Sigma = \log_e(M) - \frac{\sigma_\Sigma^2}{2}, \quad (5)$$

5. Transformar los nuevos parámetros de escala Neperiana a dB

$$X_{\text{dB}} = 10 \times \log_{10}(e) * X_{\text{Neper}} \quad (6)$$

F_Σ y σ_Σ son el valor medio y la desviación estándar, respectivamente, de la distribución gaussiana del campo de suma logarítmica.

Anexo III: Transmisores empleados

En este anexo se exponen los transmisores empleados separados por los cuatro tipos que hay y por las provincias en las que se encuentran

TIPO DE TX	PROVINCIA	TRANSMISOR	
TIPO 1	ARABA	HERRERA	
		IOAR	
	BIZKAIA	ZALDIARAN	
		GANETA	
	GIPUZKOA	OIZ	
		GOROSTIAGA	
		IGELDO	
		JAIZKIBEL	
		KARAKATE	
		EL_RASO	
TIPO 2	ARABA	FONTETXA	
		PAGOLAR	
	BIZKAIA	ARNOTEGI	
		BARAIKU	
		EL_MAZO	
		JATA	
		LA_GARBEA-BIGARRENA	
		LEMOA	
		SERANTES	
		UNTZETAPIKU	
GIPUZKOA	URRIKOATXA		
	ANTZUITZA		
	AZKONABIETA		
	ELOSUA		
	MURUGAIN		
	OIAUN		
	ORIO-ZARAUZ		
	SAN_MARCOS		
	TIPO 3	ARABA	USURBE
			ARAIA
ARAMAIO			
ARLUZEA			
ARTZENIAGA			
BERGANZO			
KORRES			
MAESTU-ONRAITA			
MARKINEZ			
MIOMA			
OKINA-PUEBLO			
POBES			
RETES_DE_LLANTENO			
RIBABELLOSA			
SALINAS_DE_AÑANA			

		SAN_FORMERIO
		SOBRON
		URTURI
		ZUAZO_DE_KUARTANGO
BIZKAIA		ALTAMIRA
		AMOROTO
		ARTAUN
		ATXONDO
		BAKIO-SAN_PELAYO
		BARRIKA
		BERMEO
		EA
		FRUNIZ
		GORDEXOLA
		ISPASTER
		KASTREXANA
		LANESTOSA
		LEMOIZ
		MARKINA-ARRETXINAGA
		MUXIKA-IBARRURI
		OTXANDIO
		SODUPE
		SOPUERTA
		UBIETA
		ZALDIBAR
		ZARAMILLO
		ZIERBENA
GIPUZKOA		AIA-SAN_PEDRO
		AMEZKETA
		ANDOAIN
		ANTZUOLA
		ARRASATE-CEMENTERIO
		AZPEITIA-NUARBE
		BELAR
		BERGARA-SAN_MIGUEL
		BILLABONA
		DEBA
		ELGOIBAR-BALLEGOITI
		HERNANI-PAGOAGA
		HONDARRIBIA
		IRAETA
		IRURA-ANOETA
		LASARTE
		LEGAZPIA-TELLERiarTE
		MENDARO
		MUTILOA
		MUTRIKU
		ZESTOA
		ZUMAIA-SAN_MIGUEL
		ATAURI
		AZACETA

TIPO 4

ARABA

	BARAMBIO-ONZONO
	KRIPAN
	LEORZA
	LLANTENO
	MUSITU
	PAUL
	SARATXO
	ZUAZA
BIZKAIA	ARRAZUA
	ARTZENTALES-GORGOLAS
	EL_PEÑASCAL
	EL_REGATO
	LA_CALERA
	LA_CUADRA
	USI
	ZALDU
GIPUZKOA	ASTIGARRIBIA-ARNONDO
	BEASAIN

Tabla 14: Transmisores empleados

Anexo IV: Resultados caso práctico

En este anexo se presentan las figuras y resultados obtenidos del caso práctico. Se representan en 2 apartados diferentes: Figuras de cobertura espacial y figuras de coberturas de población.

Antes de representar las imágenes es necesario indicar la escala de colores, como ya se hizo en el apartado 9.5, la cual varía mínimamente al reducir la potencia, pero sin demasiada importancia. La escala es la representada en la siguiente figura.

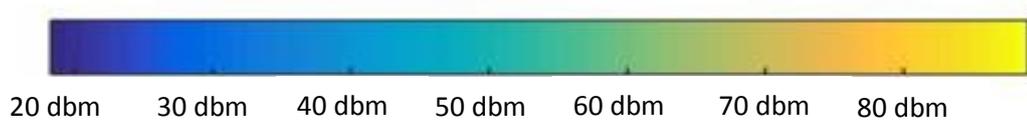


Figura 20: Escala de colores de las figuras

Figuras de cobertura espacial

En este apartado se representarán las figuras de coberturas espaciales de las diferentes configuraciones, con diferentes reducciones de potencia, simuladas en el siguiente orden:

- 256-QAM con CR $\frac{3}{5}$
- QPSK con CR $\frac{1}{2}$
- QPSK con CR $\frac{3}{4}$
- 16-QAM con CR $\frac{1}{2}$
- 16-QAM con CR $\frac{3}{4}$

Como ya se comenta en el documento los ejes representados en todas ellas se refieren a los pixeles empleados, cuya resolución es de 110 m por pixel, como se indica en la Tabla 3, es decir que en el eje X los km simulados son 110 km y en el Y son 200 km.

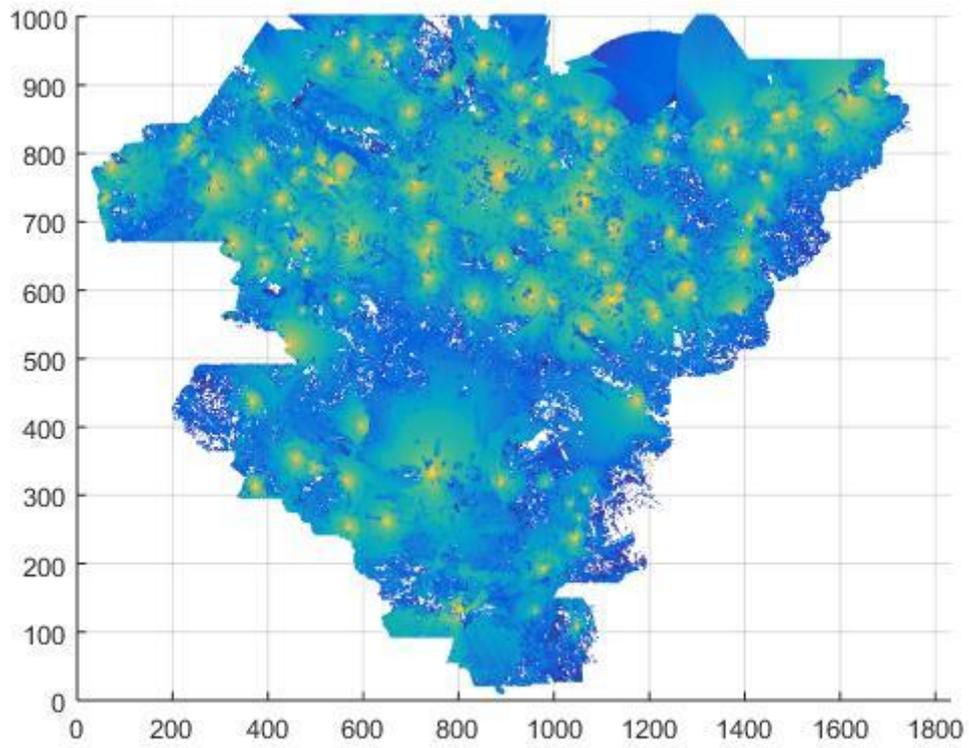


Figura 21: Cobertura espacial 256-QAM 3/5 con disminución de 0dB

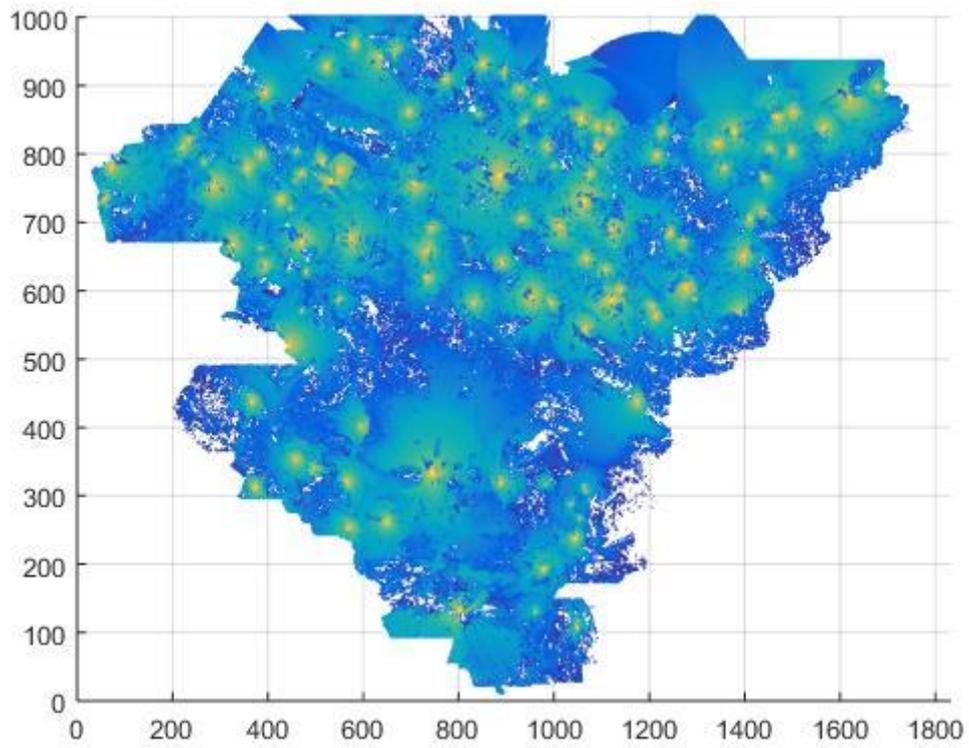


Figura 22: Cobertura espacial 256-QAM 3/5 con disminución de 6dB

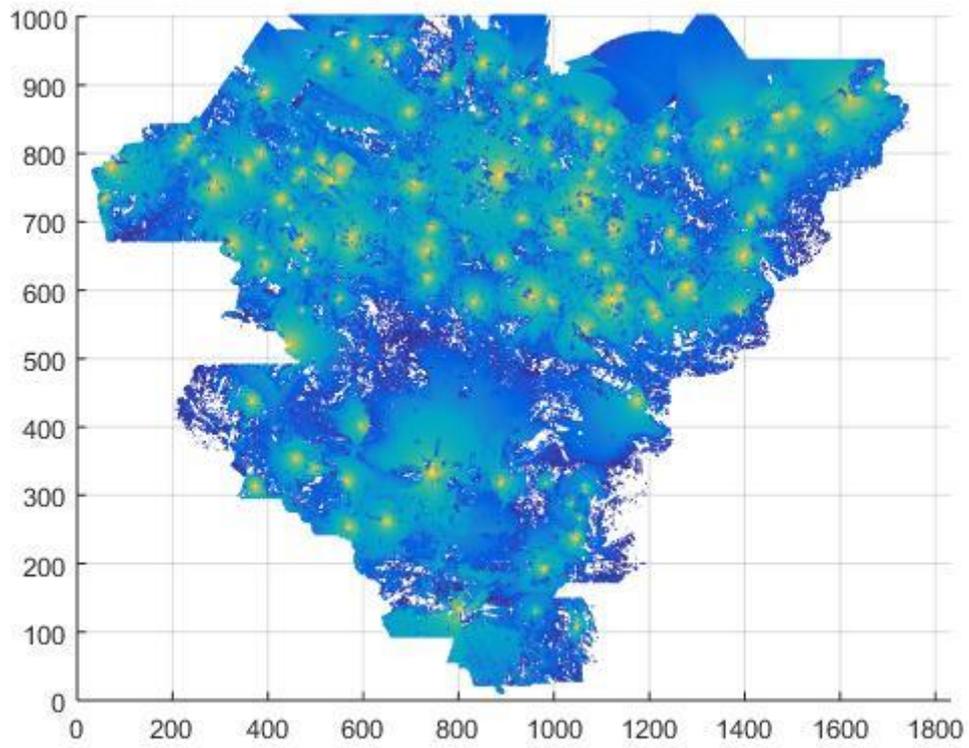


Figura 23: Cobertura espacial 256-QAM 3/5 con disminución de 10dB

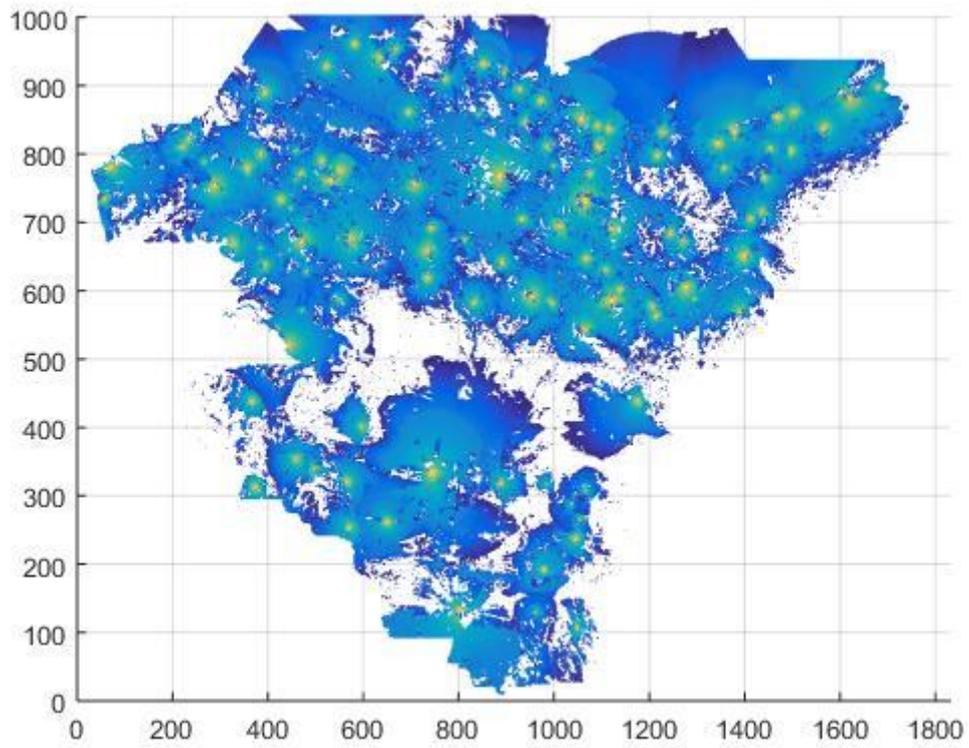


Figura 24: Cobertura espacial 256-QAM 3/5 con disminución de 20dB

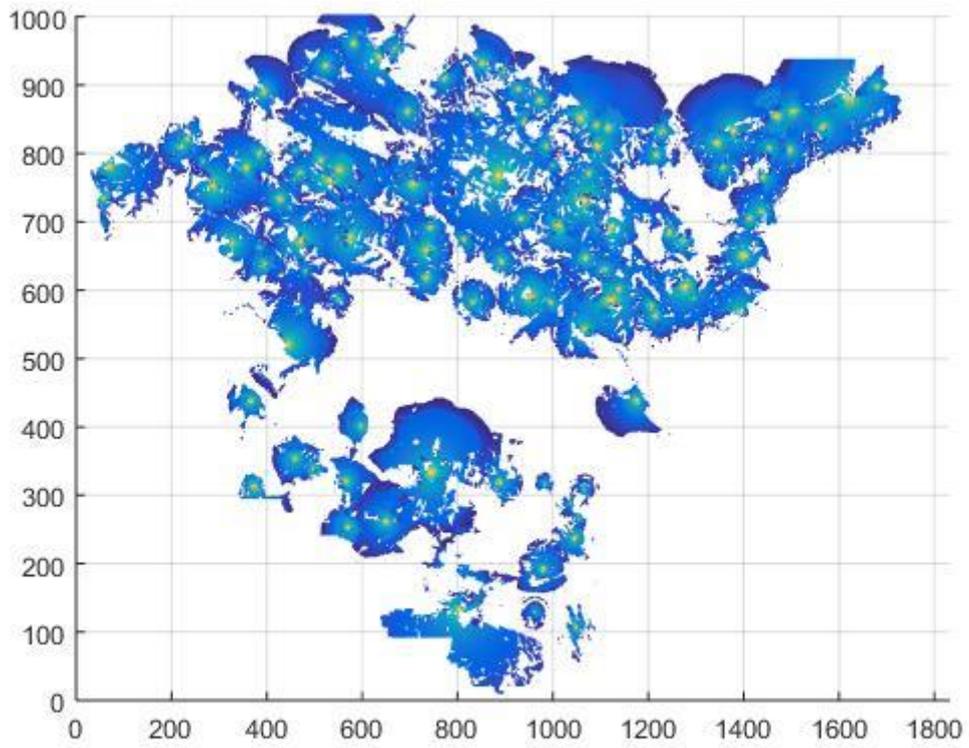


Figura 25: Cobertura espacial 256-QAM 3/5 con disminución de 30dB

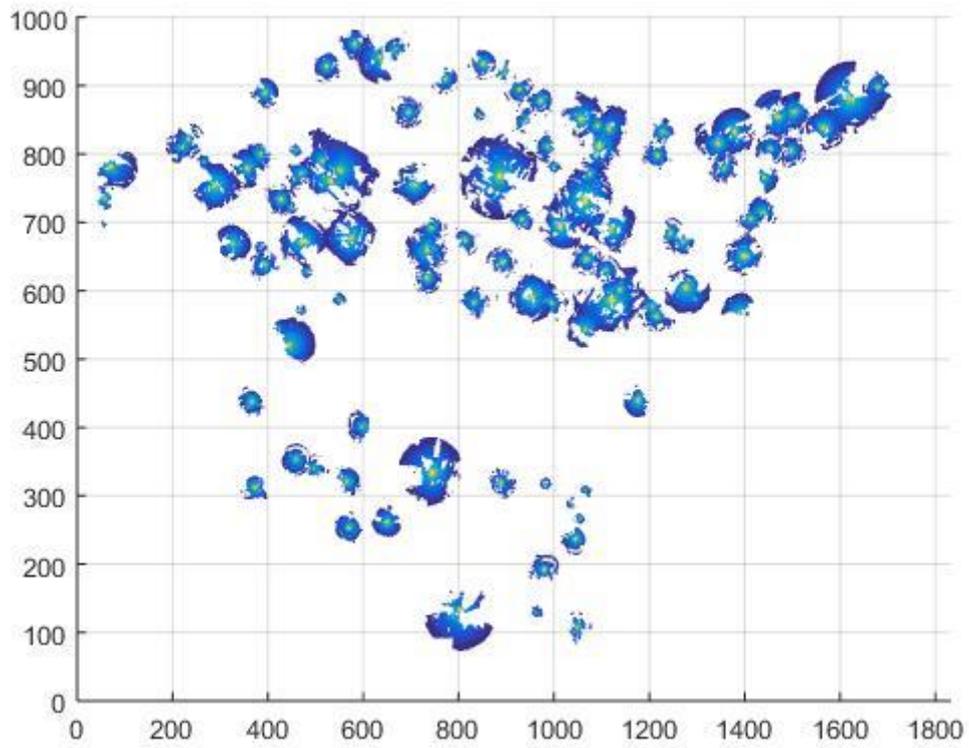


Figura 26: Cobertura espacial 256-QAM 3/5 con disminución de 40dB

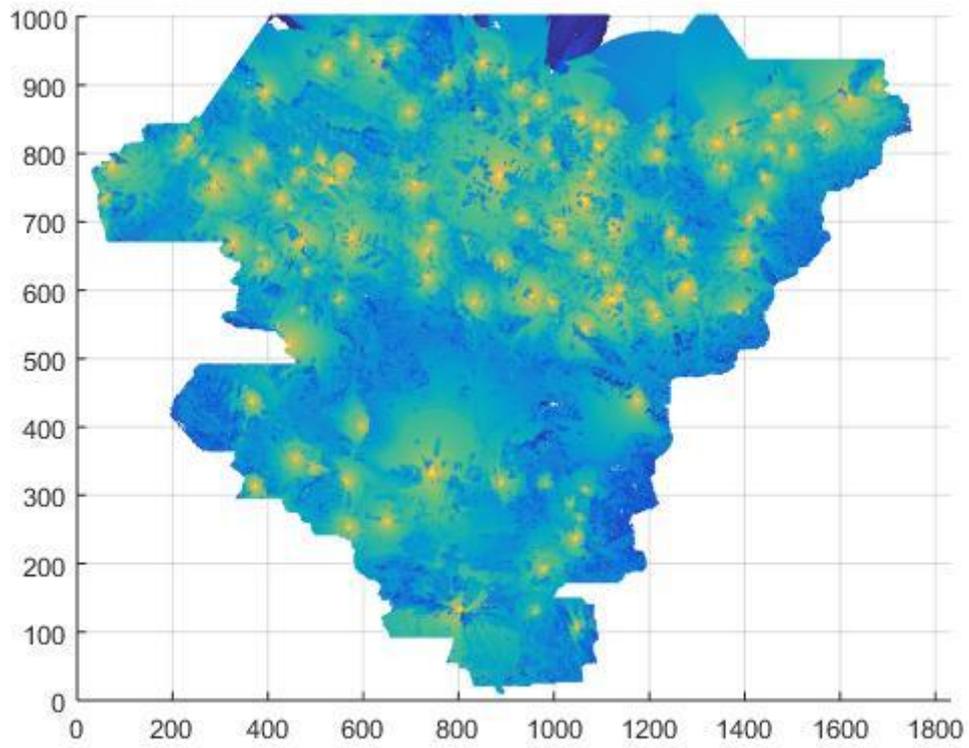


Figura 27: Cobertura espacial QPSK 1/2 con disminución de 6dB

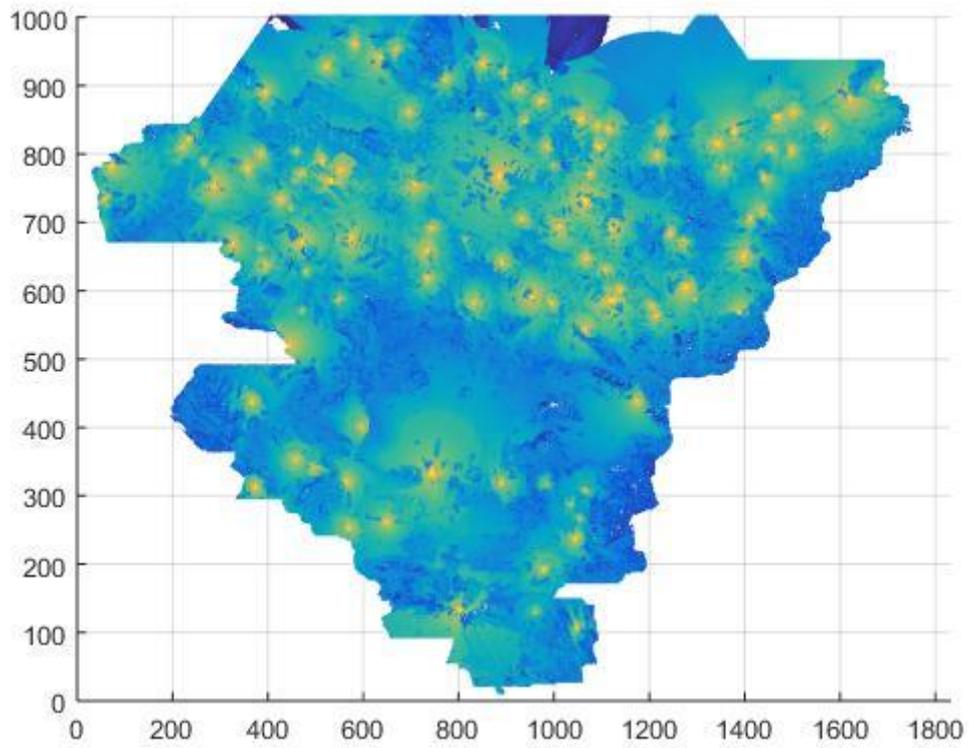


Figura 28 Cobertura espacial QPSK 1/2 con disminución de 10dB

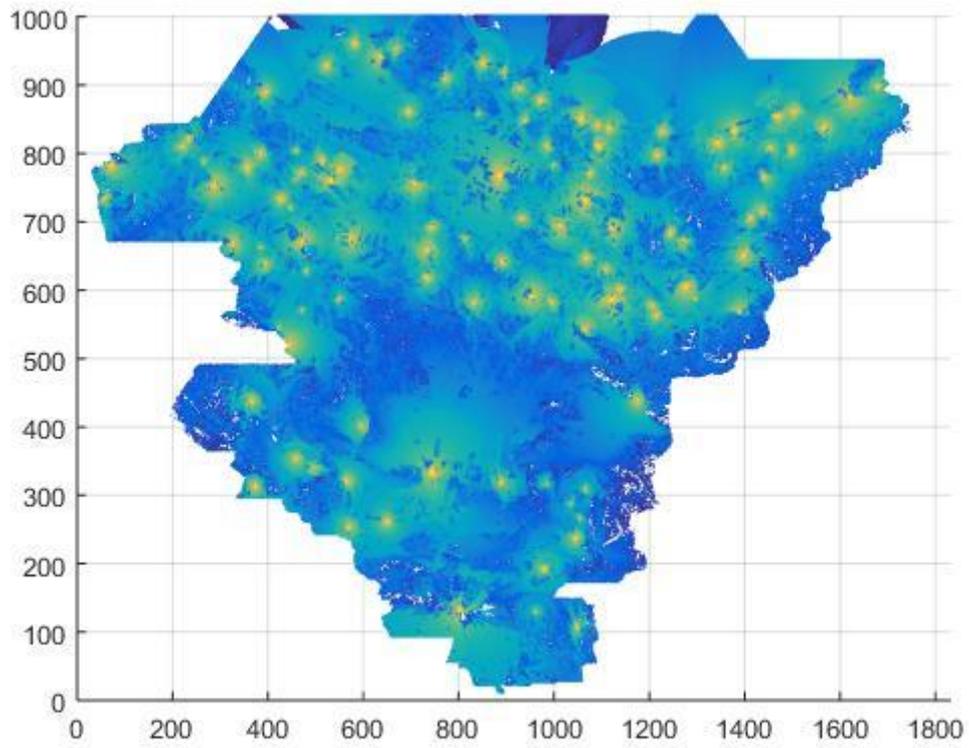


Figura 29: Cobertura espacial QPSK 1/2 con disminución de 20dB

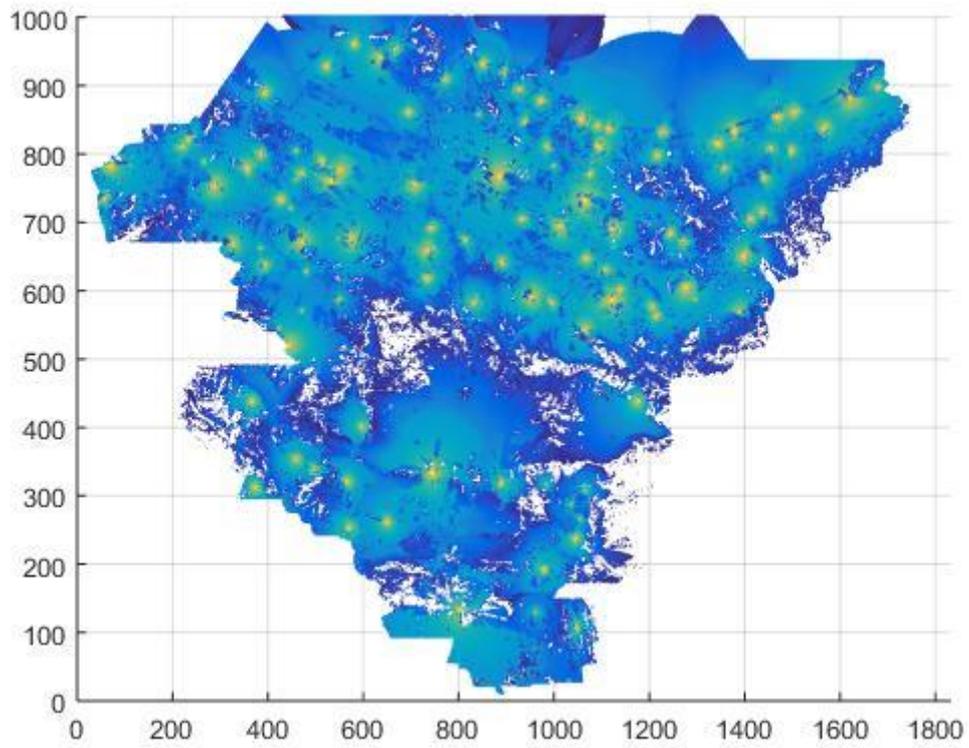


Figura 30: Cobertura espacial QPSK 1/2 con disminución de 30dB

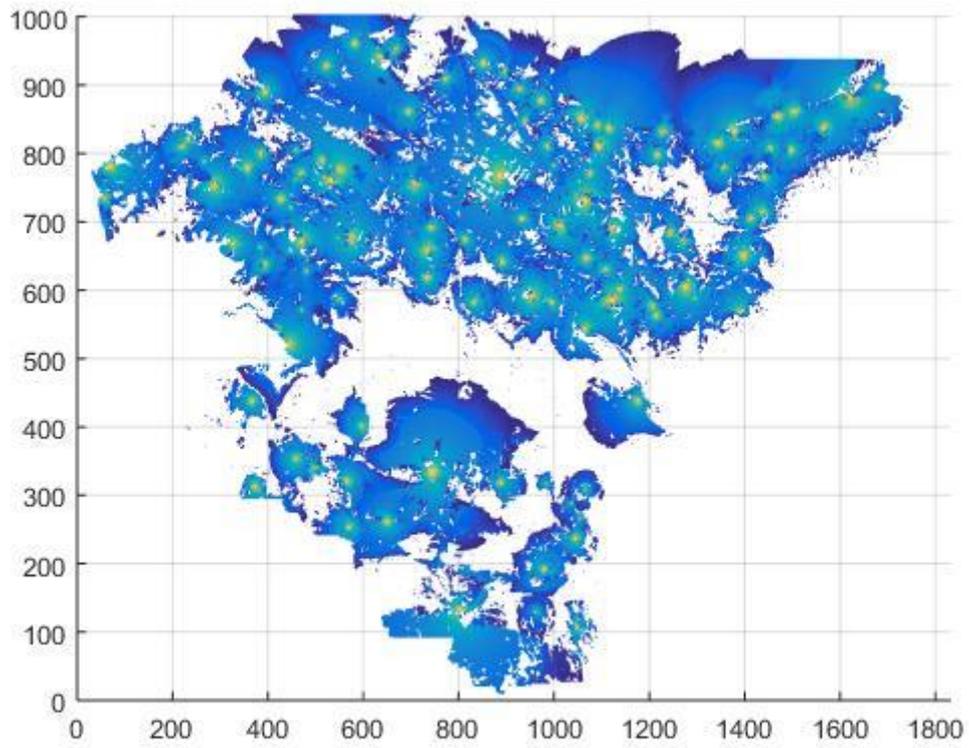


Figura 31: Cobertura espacial QPSK 1/2 con disminución de 40dB

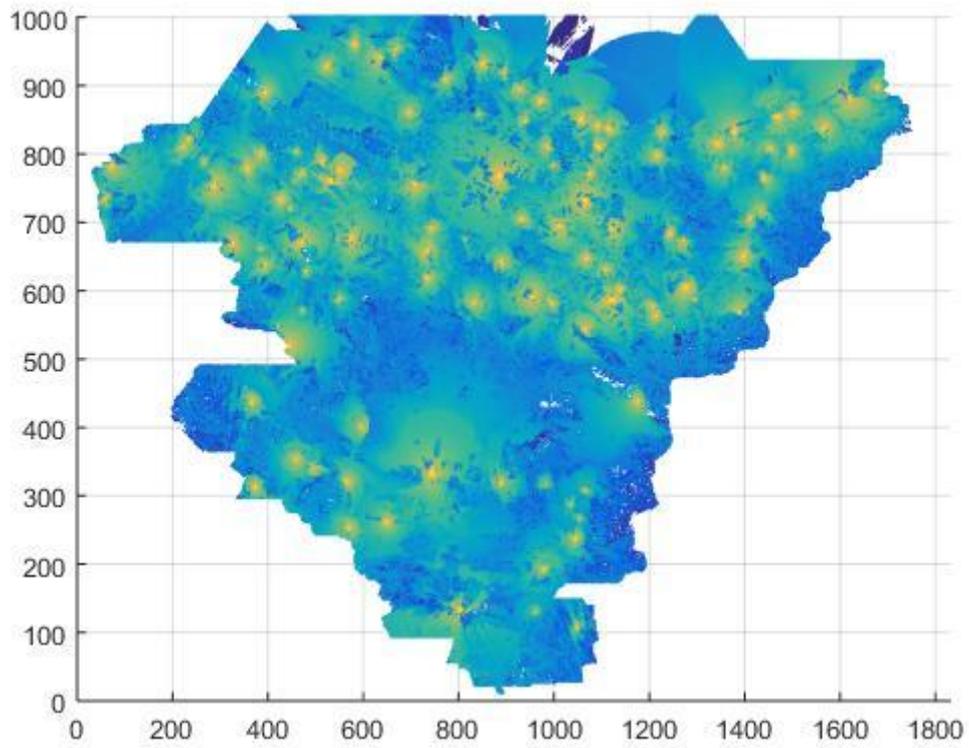


Figura 32: Cobertura espacial QPSK 3/4 con disminución de 6dB

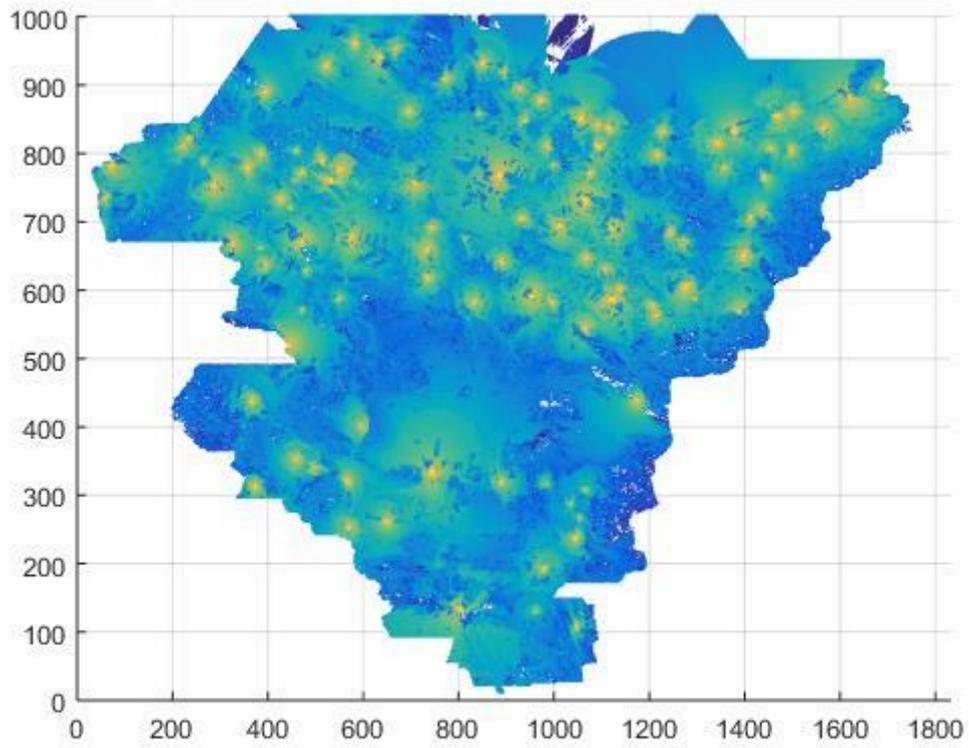


Figura 33: Cobertura espacial QPSK 3/4 con disminución de 10dB

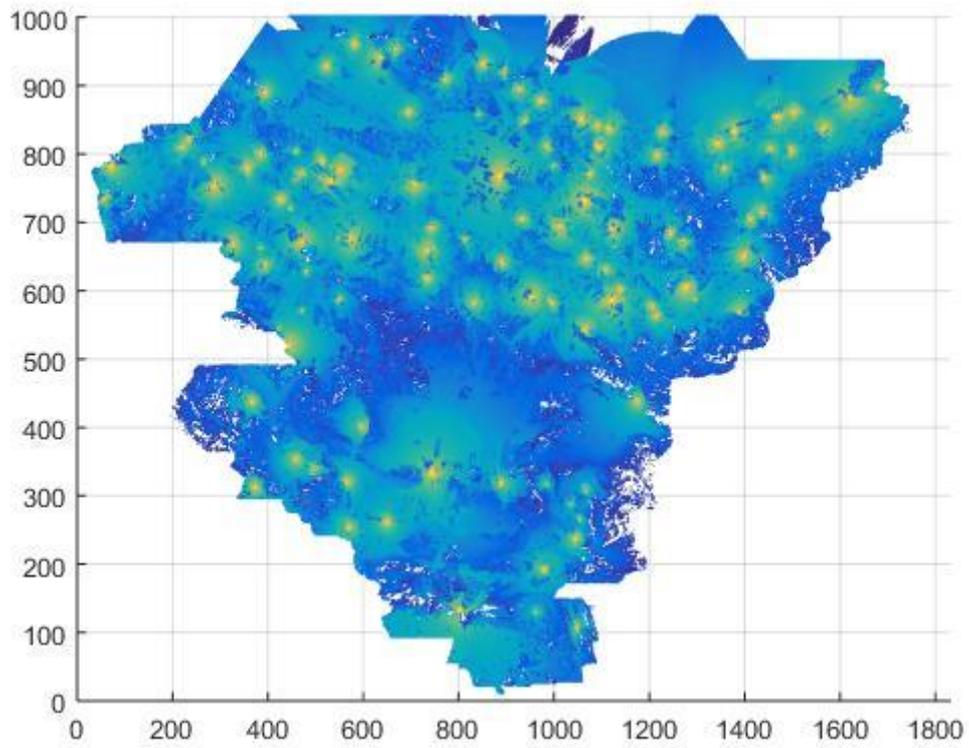


Figura 34: Cobertura espacial QPSK 3/4 con disminución de 20dB

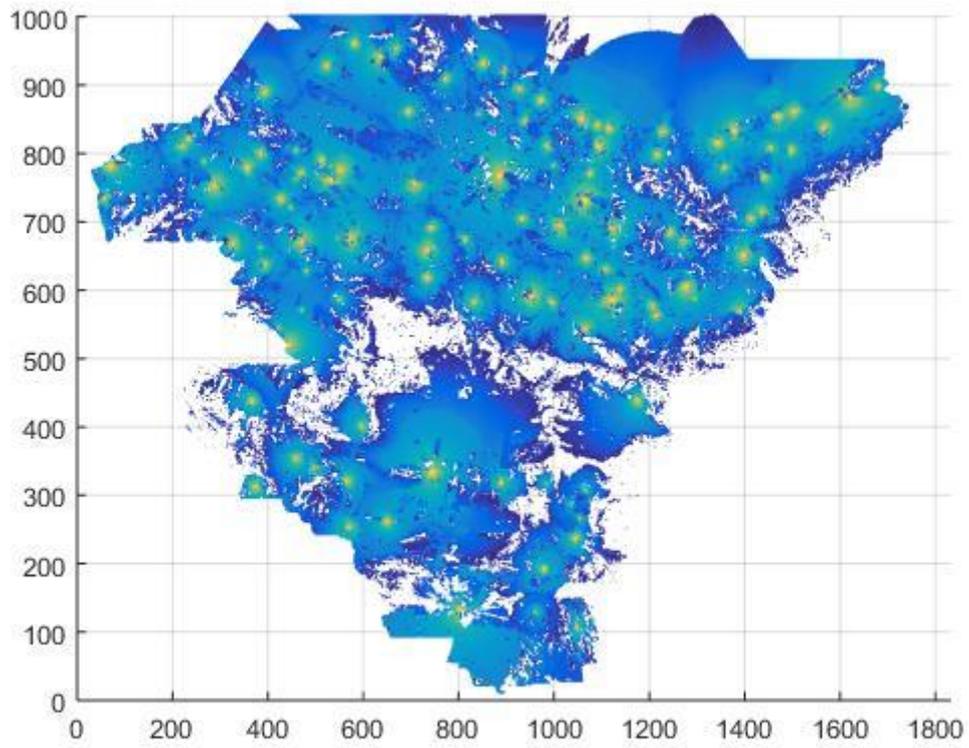


Figura 35: Cobertura espacial QPSK 3/4 con disminución de 30dB

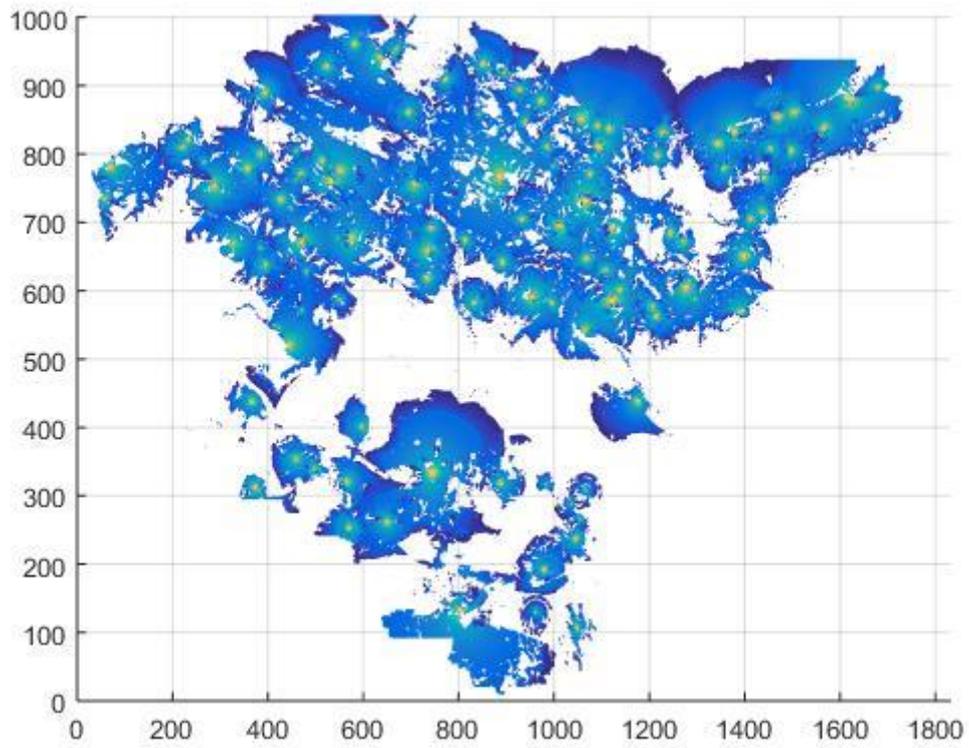


Figura 36: Cobertura espacial QPSK 3/4 con disminución de 40dB

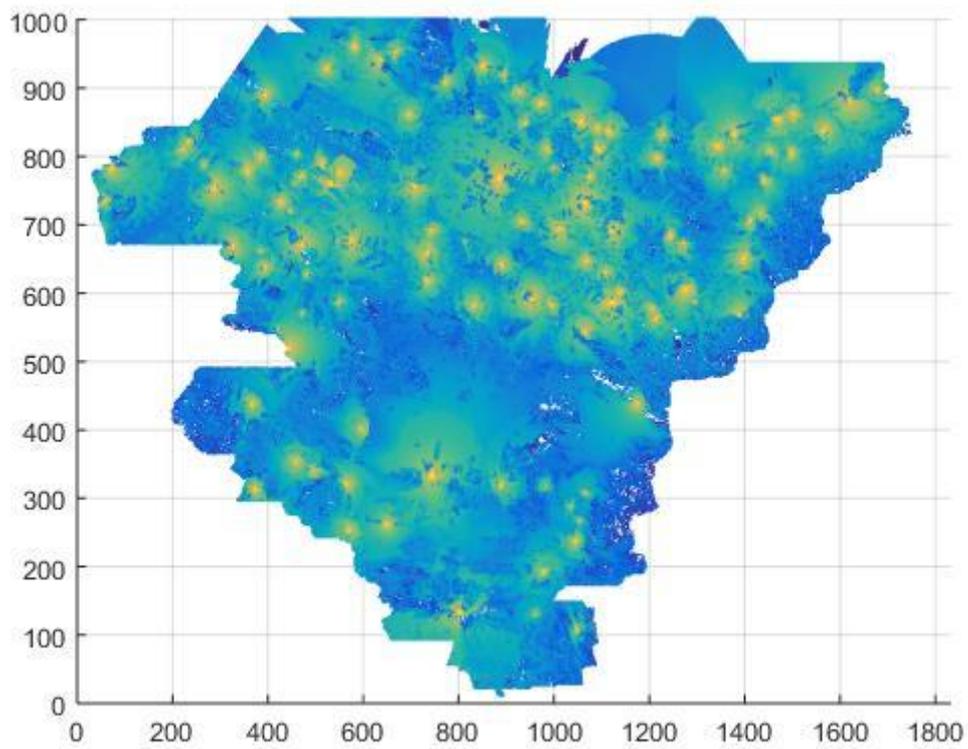


Figura 37: Cobertura espacial 16-QAM 1/2 con disminución de 6dB

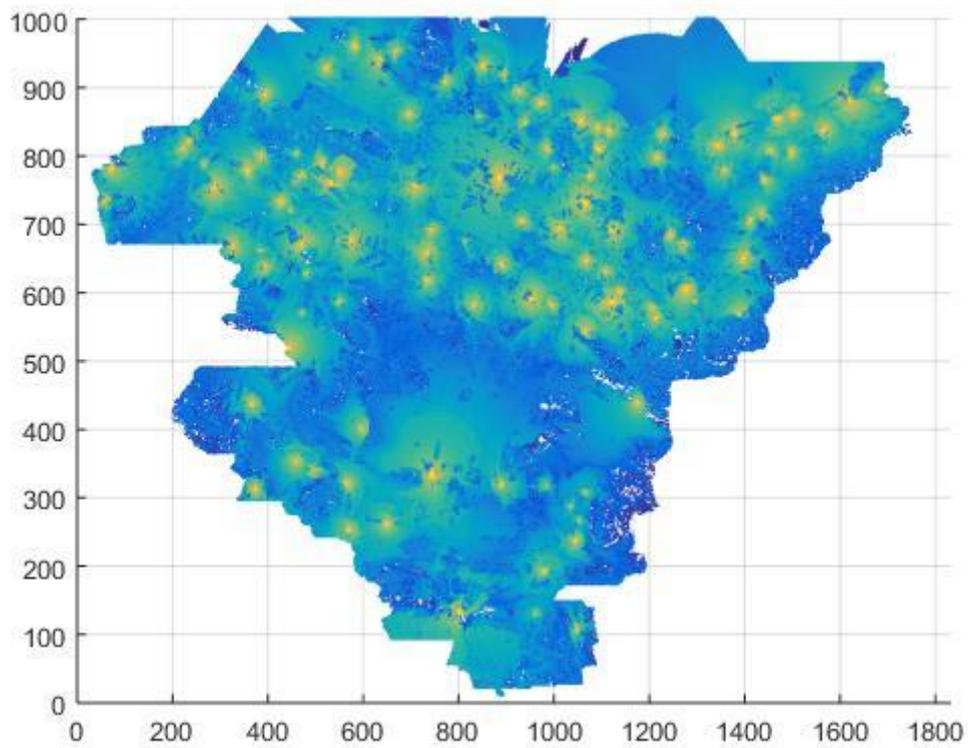


Figura 38: Cobertura espacial 16-QAM 1/2 con disminución de 10dB

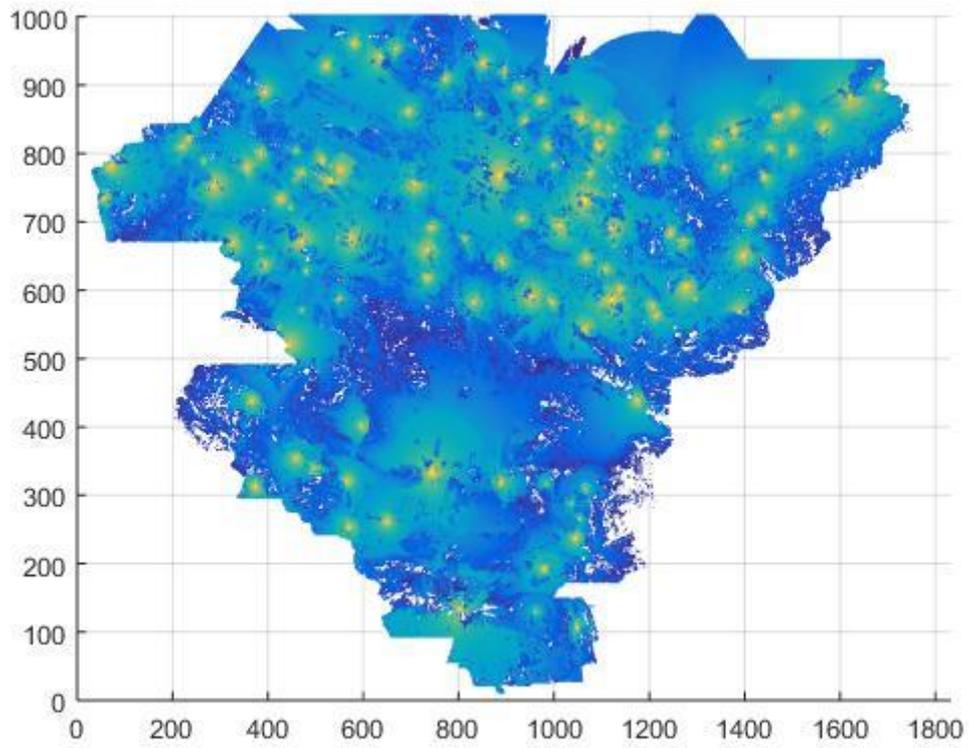


Figura 39: Cobertura espacial 16-QAM 1/2 con disminución de 20dB

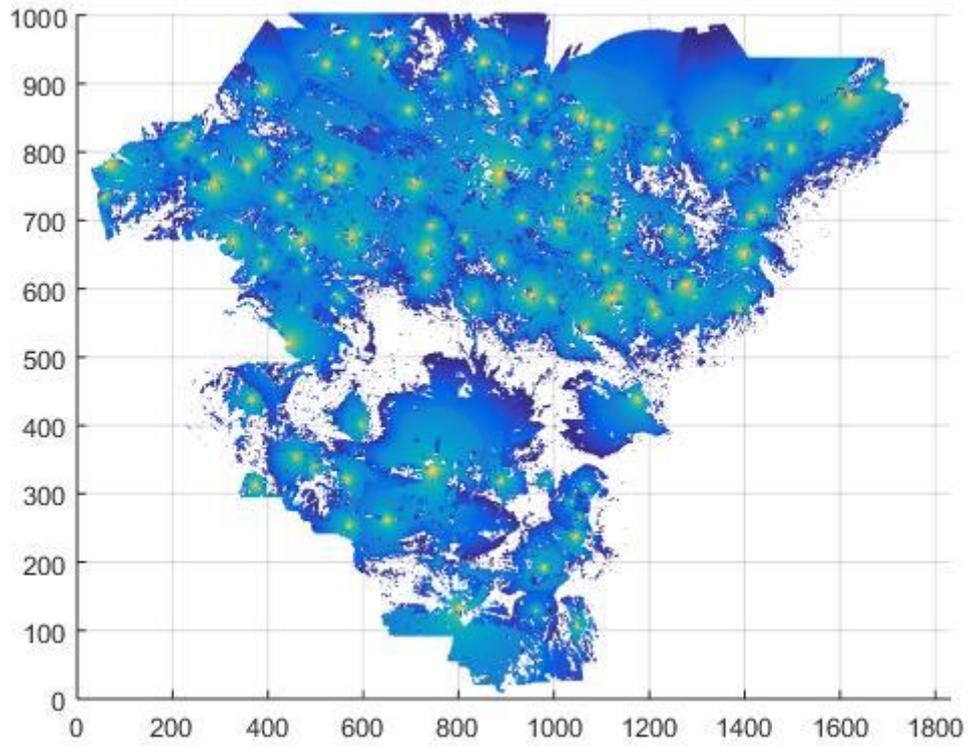


Figura 40: Cobertura espacial 16-QAM 1/2 con disminución de 30dB

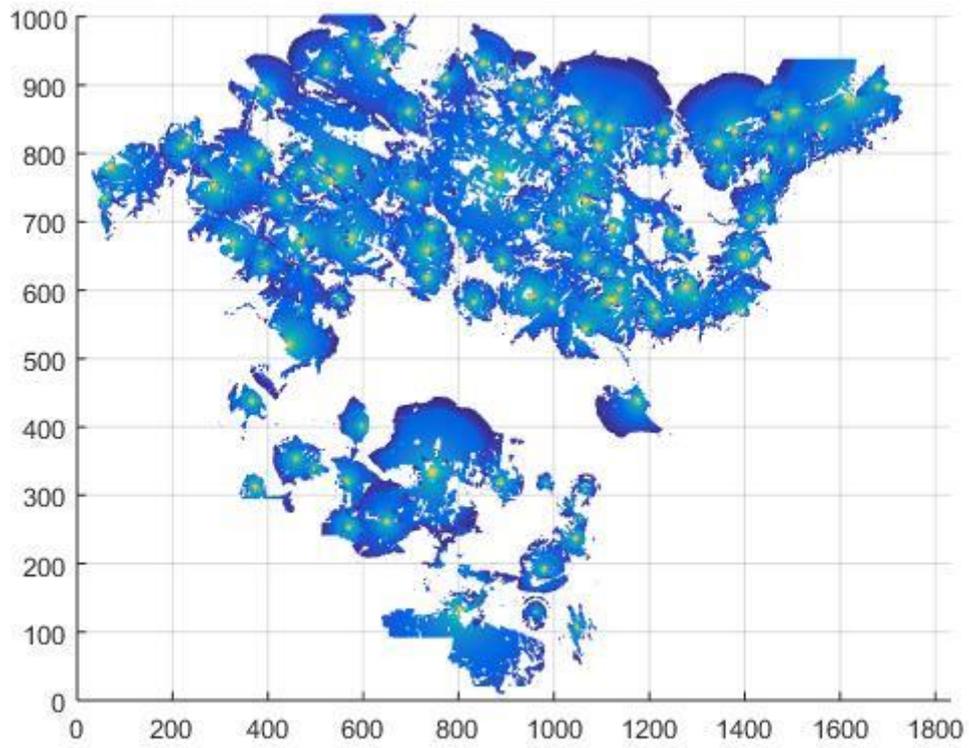


Figura 41: Cobertura espacial 16-QAM 1/2 con disminución de 40dB

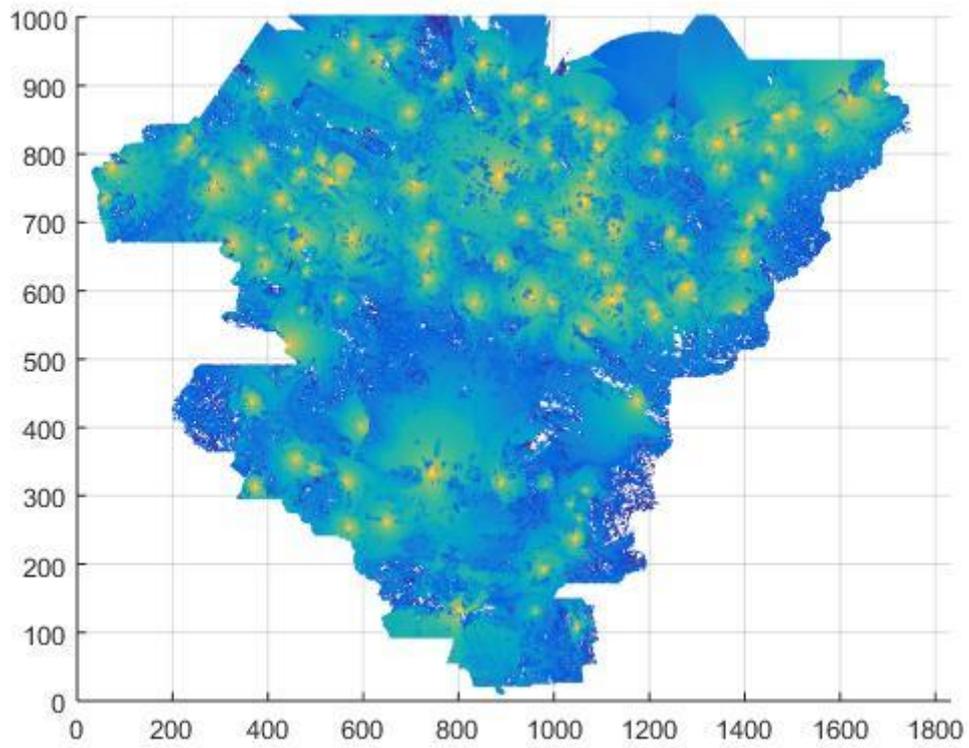


Figura 42: Cobertura espacial 16-QAM 3/4 con disminución de 6dB

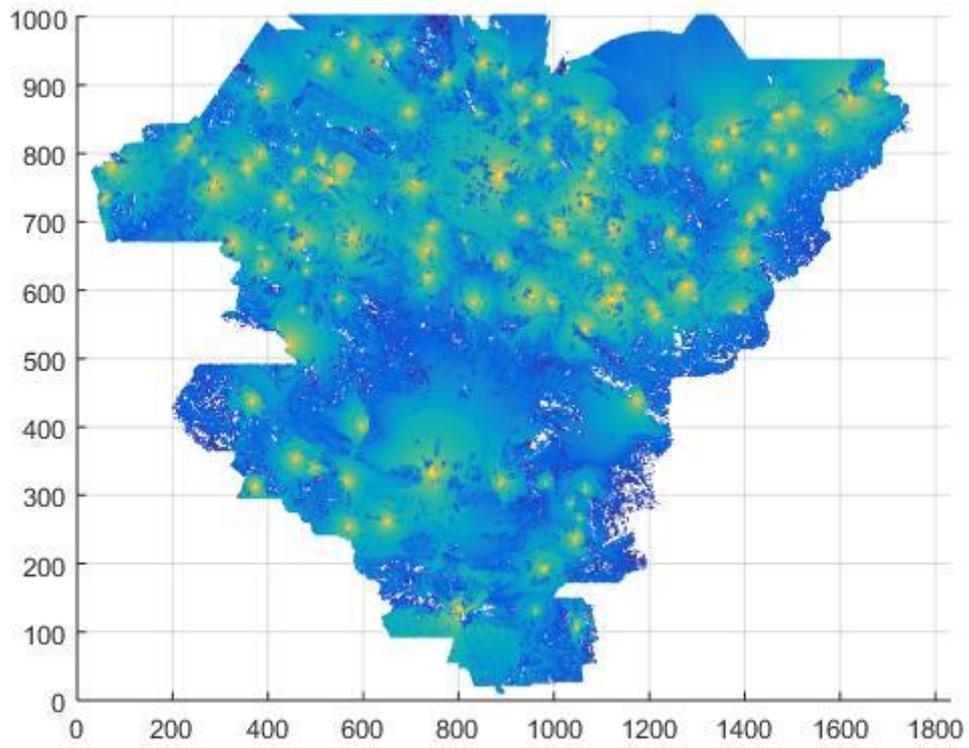


Figura 43: Cobertura espacial 16-QAM 3/4 con disminución de 10dB

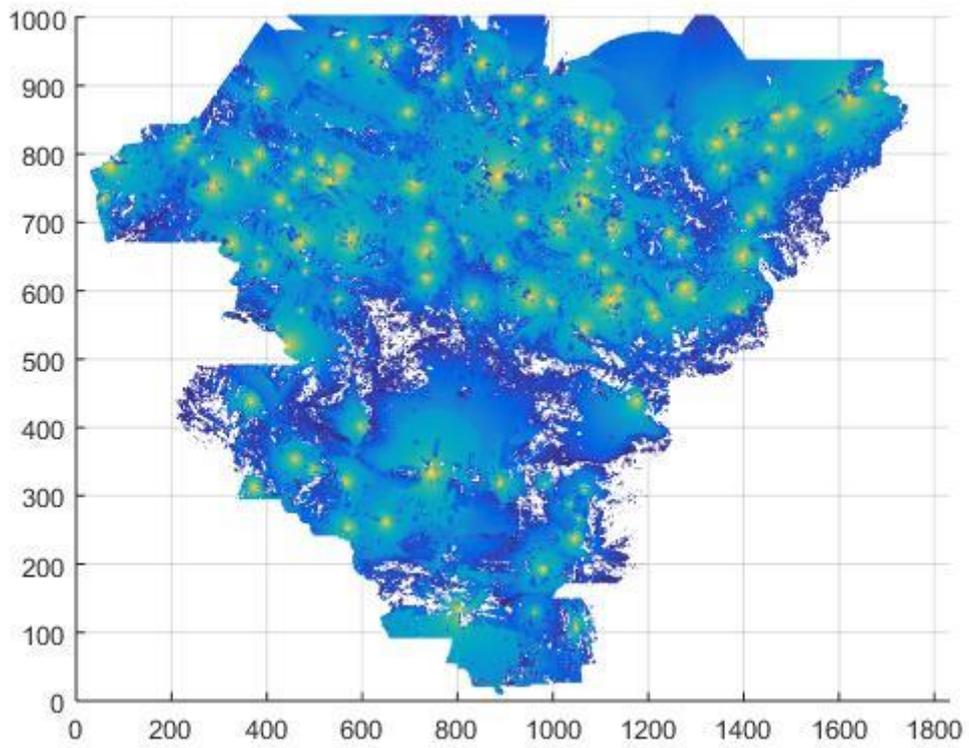


Figura 44: Cobertura espacial 16-QAM 3/4 con disminución de 20dB

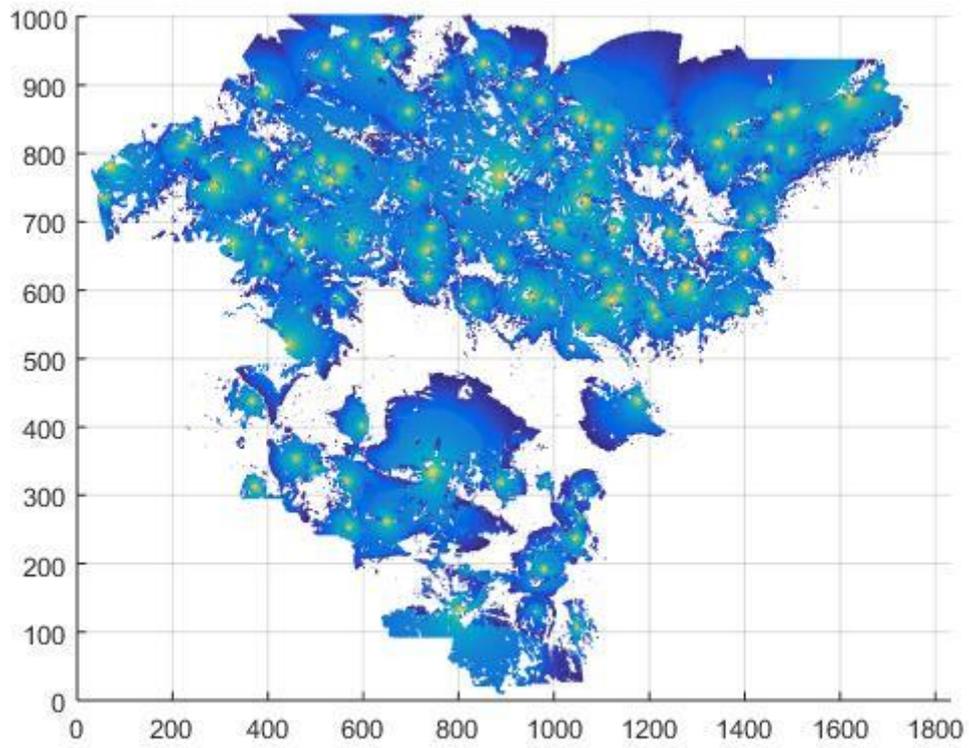


Figura 45: Cobertura espacial 16-QAM 3/4 con disminución de 30dB

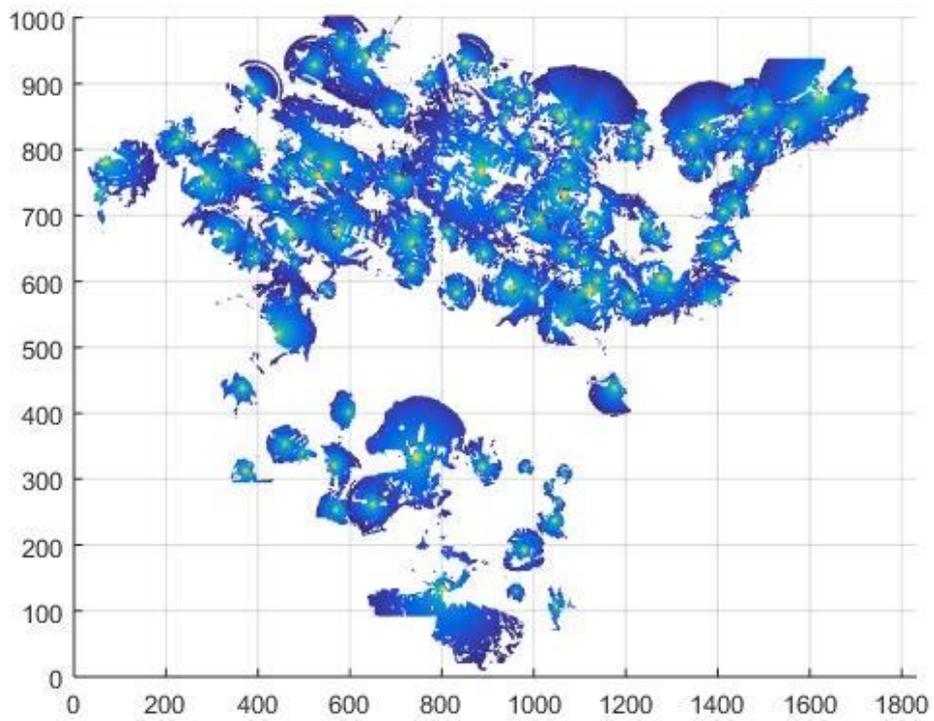


Figura 46: Cobertura espacial 16-QAM 3/4 con disminución de 40dB

Figuras de cobertura de población

En este apartado se representan las mismas figuras que en apartado anterior pero referente a la cobertura de población

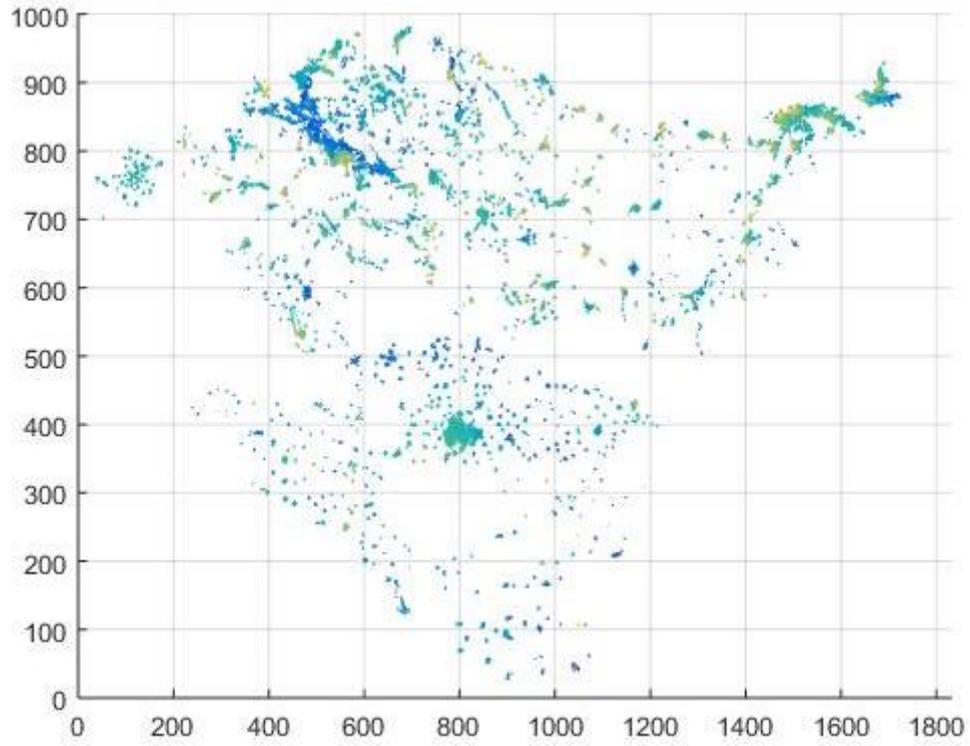


Figura 47: Cobertura de población 256-QAM 3/5 con disminución de 0dB

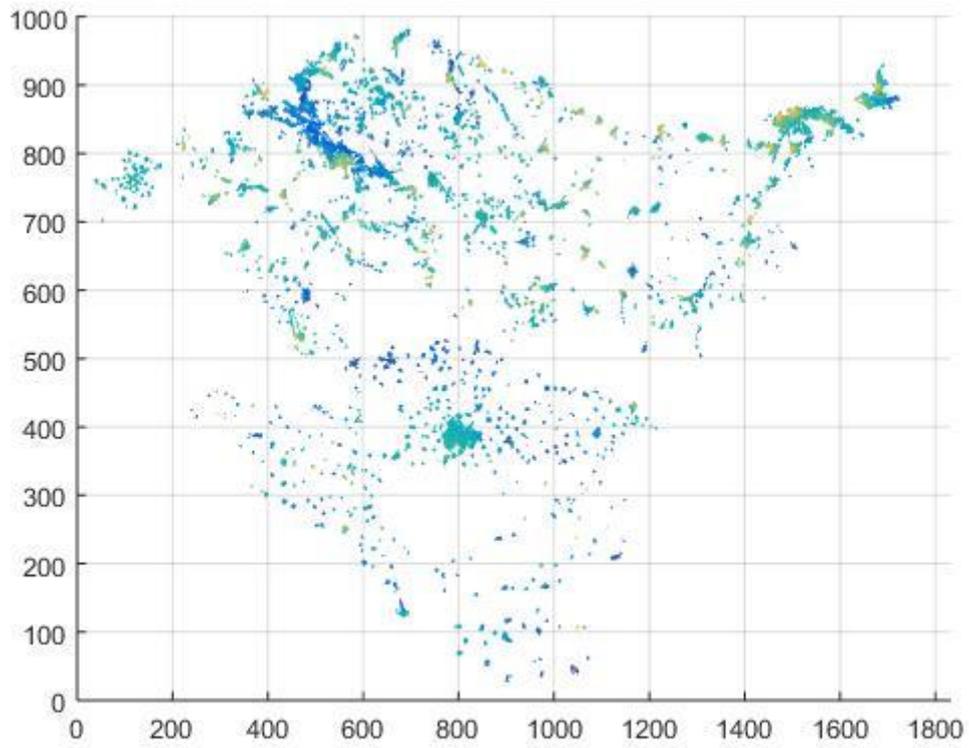


Figura 48: Cobertura de población 256-QAM 3/5 con disminución de 6dB

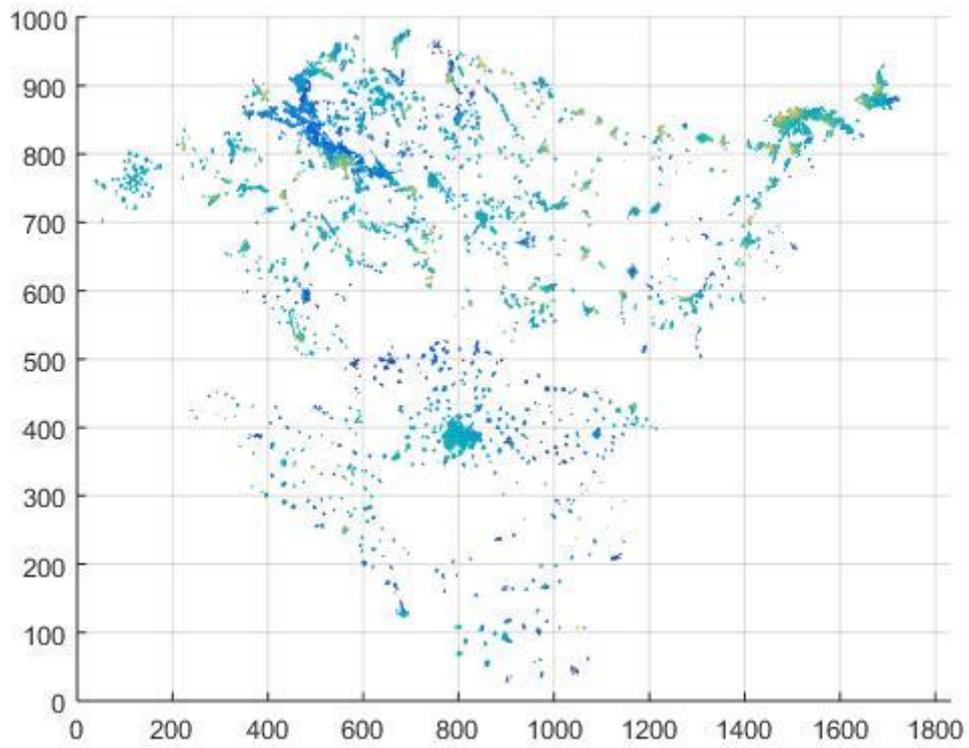


Figura 49: Cobertura de población 256-QAM 3/5 con disminución de 10dB

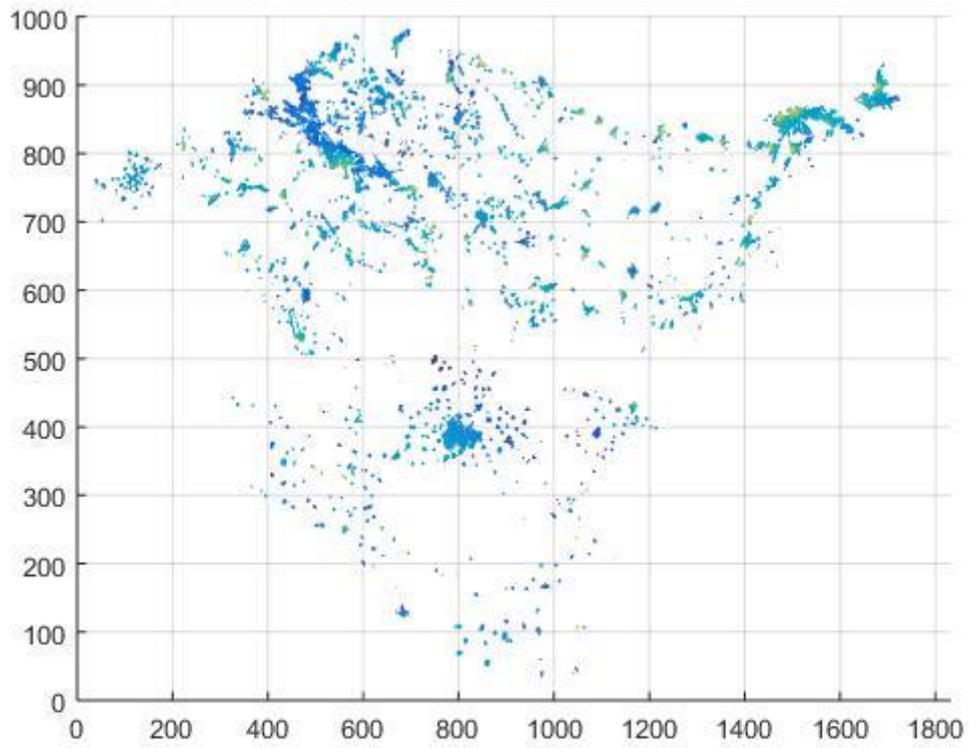


Figura 50: Cobertura de población 256-QAM 3/5 con disminución de 20dB

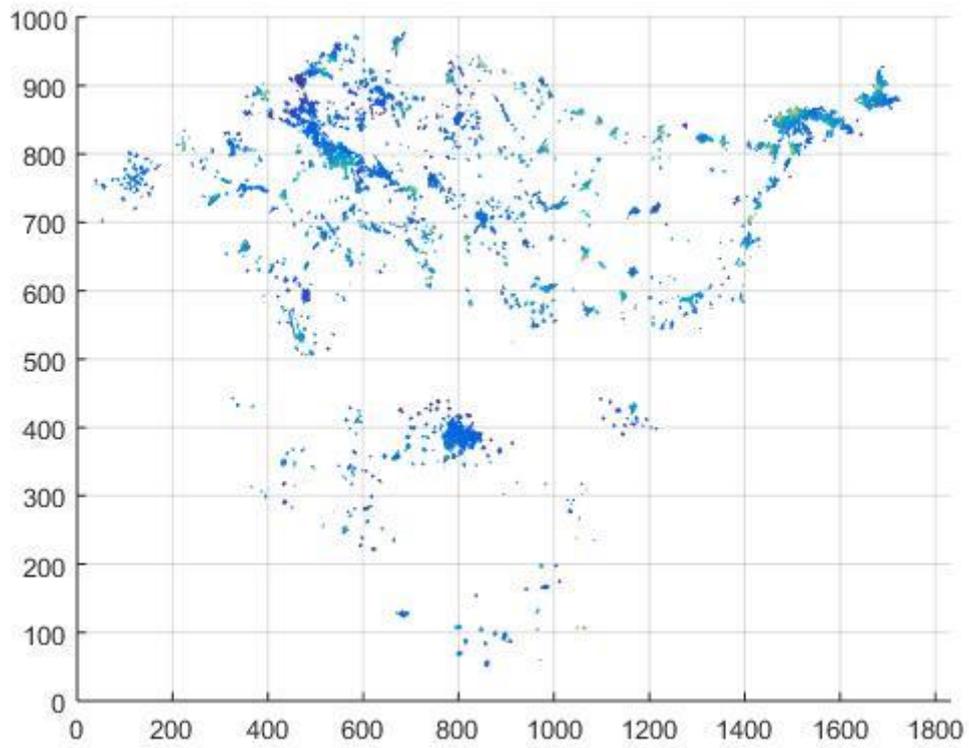


Figura 51: Cobertura de población 256-QAM 3/5 con disminución de 30dB

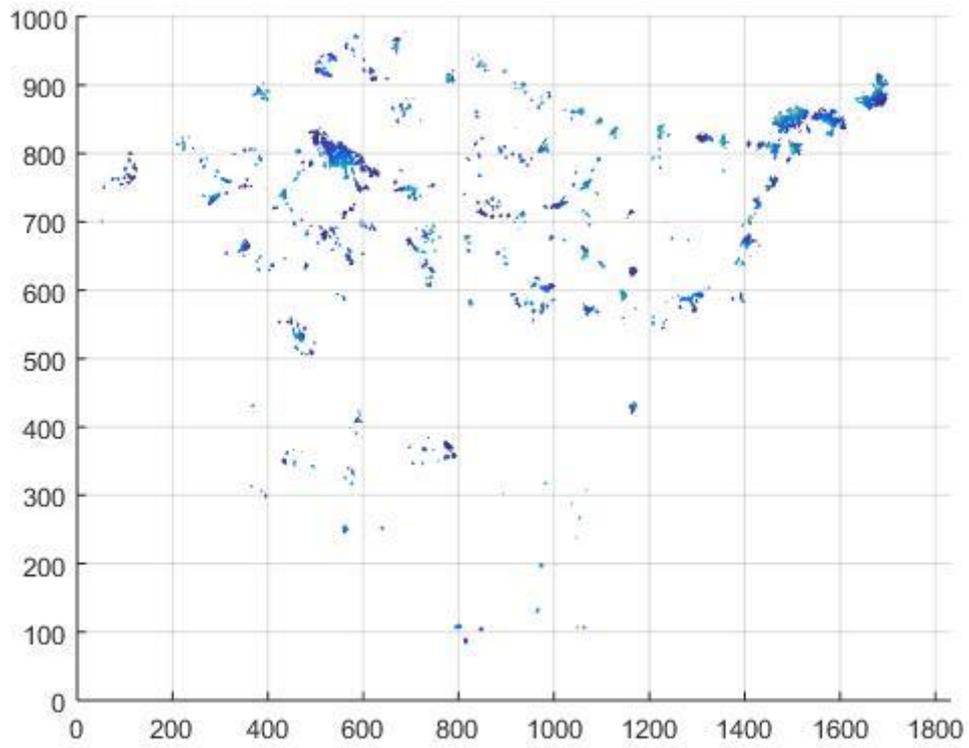


Figura 52: Cobertura de población 256-QAM 3/5 con disminución de 40dB

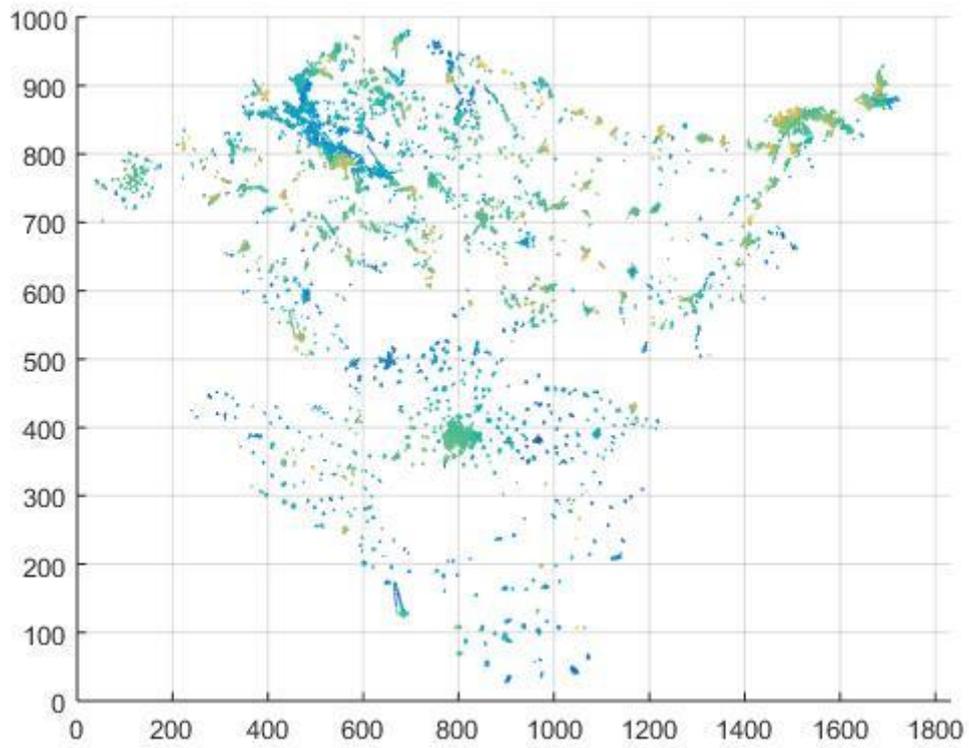


Figura 53: Cobertura de población QPSK 1/2 con disminución de 6dB

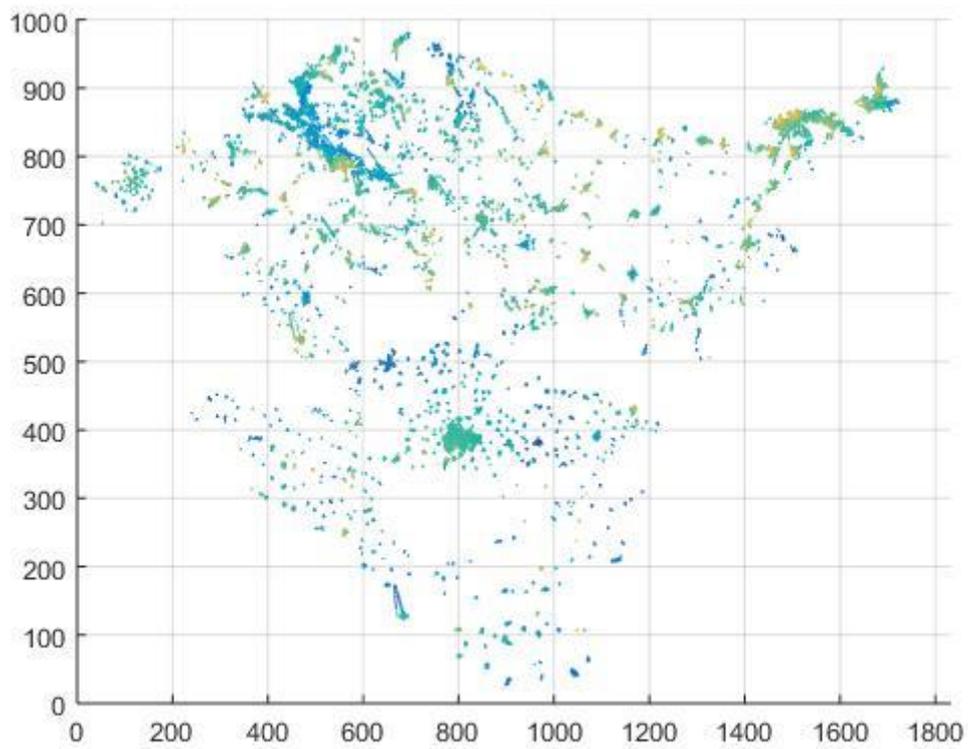


Figura 54: Cobertura de población QPSK 1/2 con disminución de 10dB

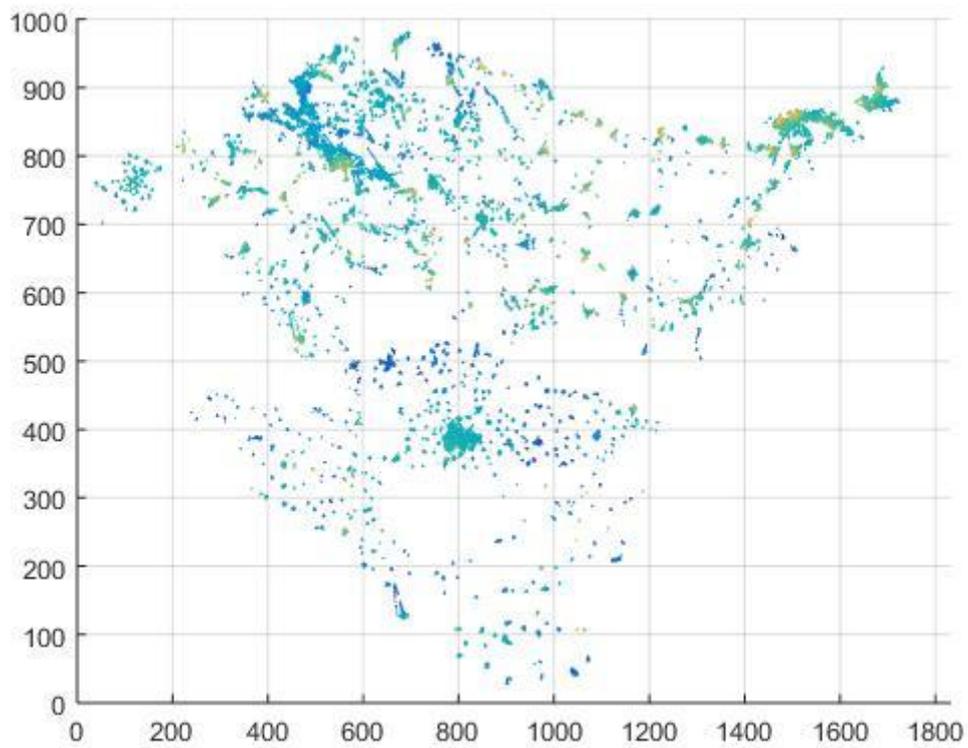


Figura 55: Cobertura de población QPSK 1/2 con disminución de 20dB

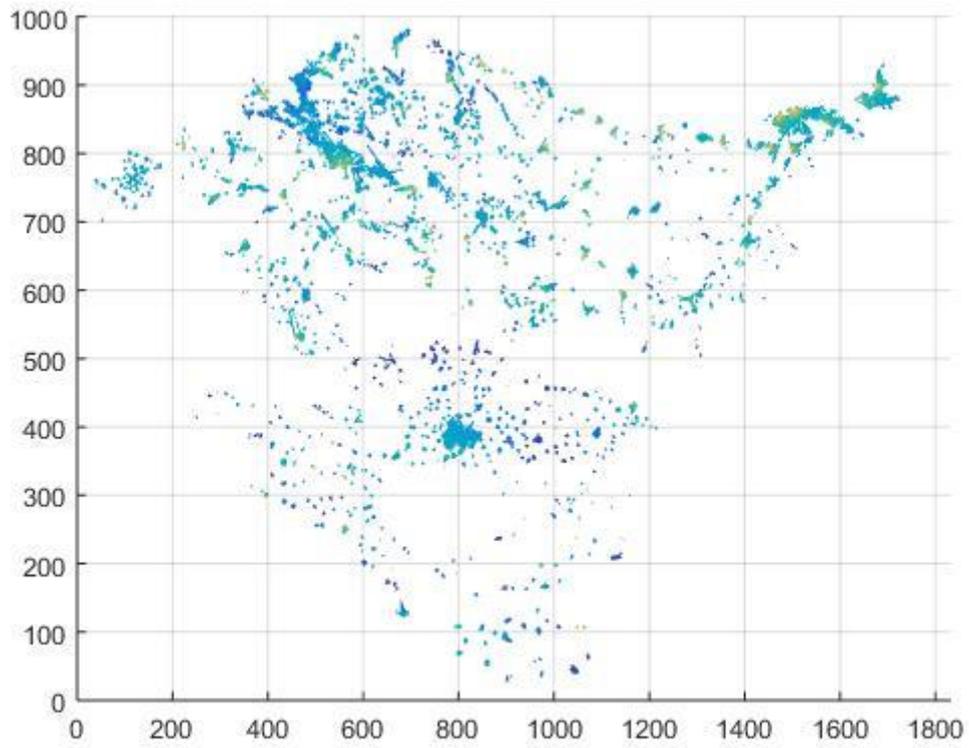


Figura 56: Cobertura de población QPSK 1/2 con disminución de 30dB

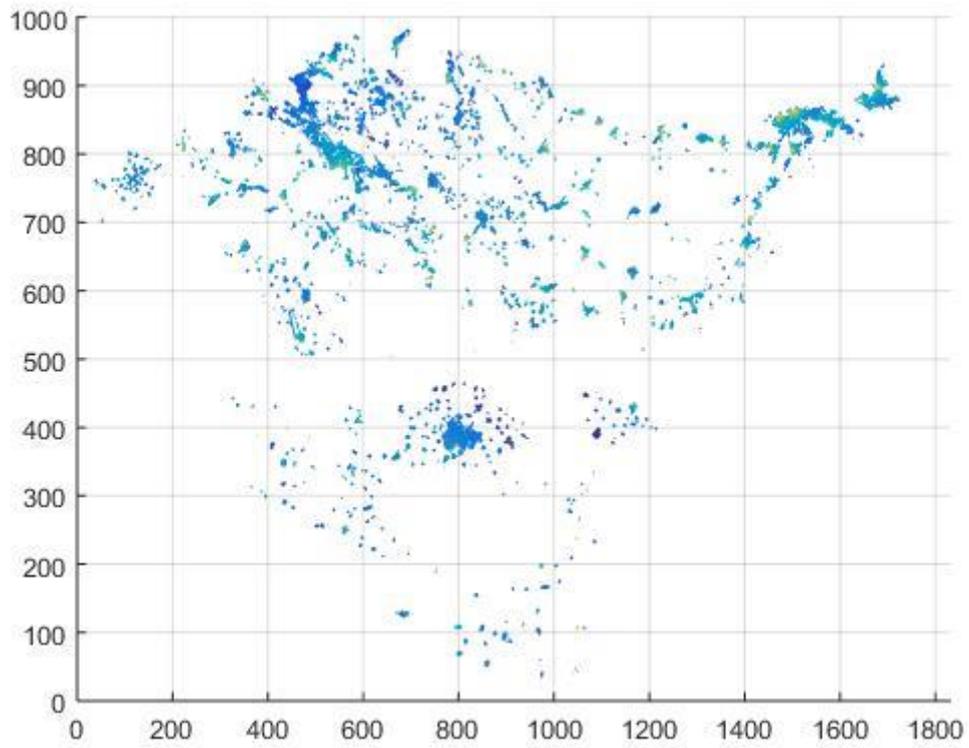


Figura 57: Cobertura de población QPSK 1/2 con disminución de 40dB

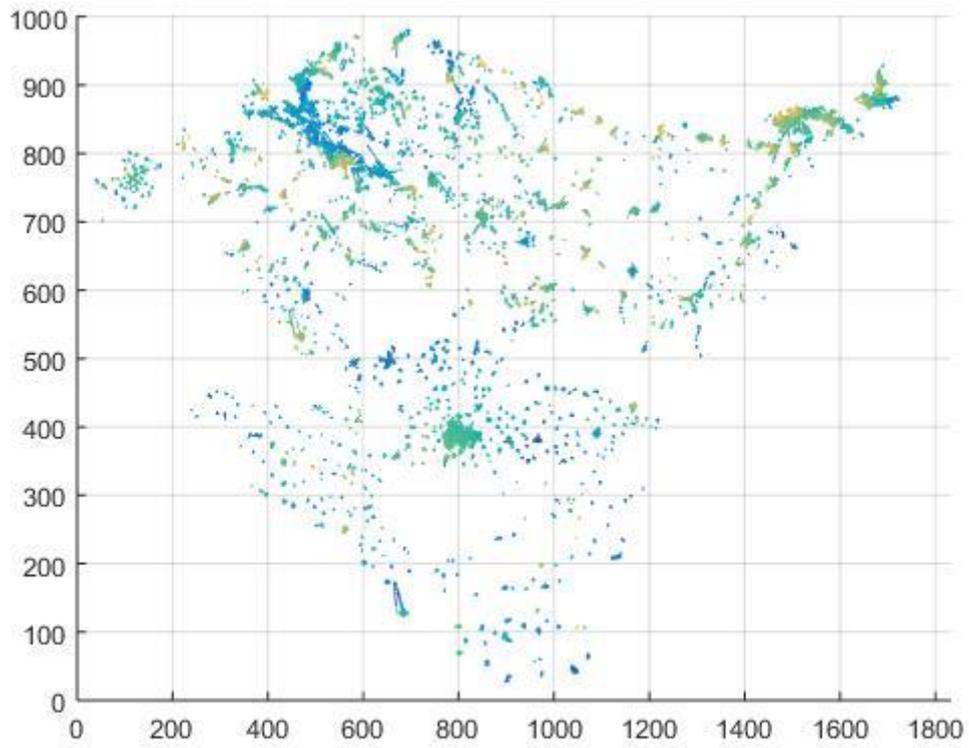


Figura 58: Cobertura de población QPSK 3/4 con disminución de 6dB

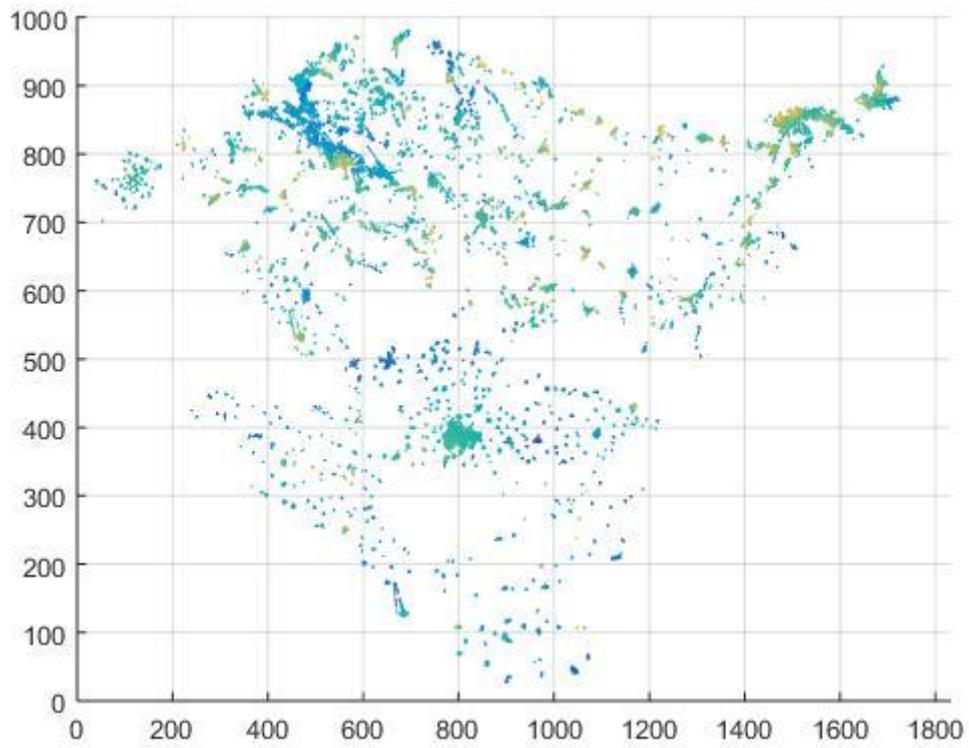


Figura 59: Cobertura de población QPSK 3/4 con disminución de 10dB

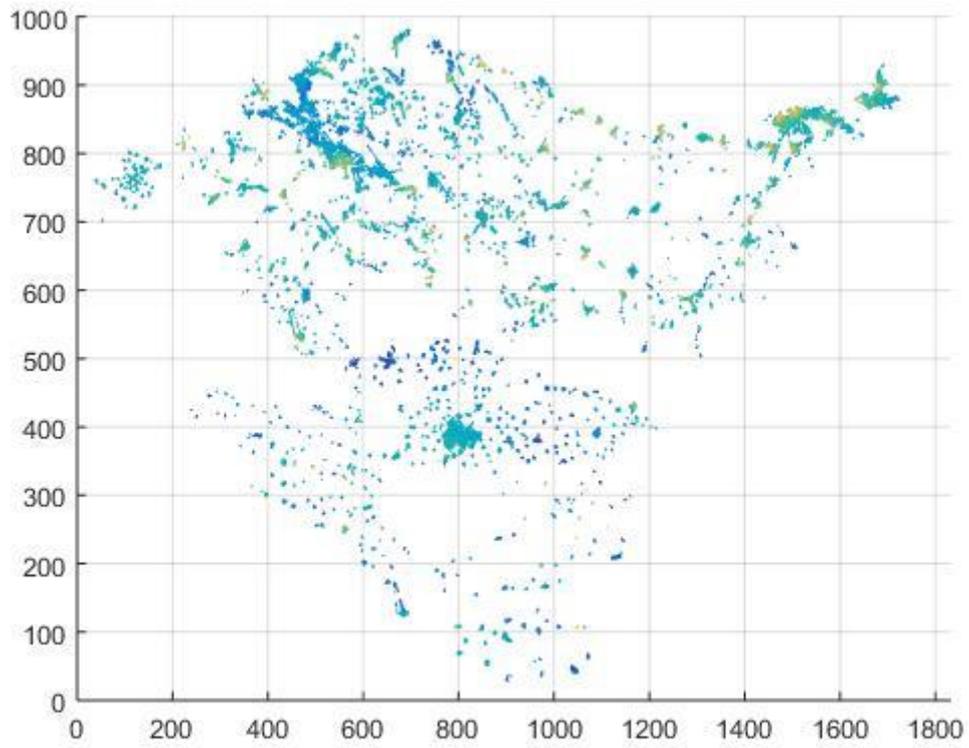


Figura 60: Cobertura de población QPSK 3/4 con disminución de 20dB

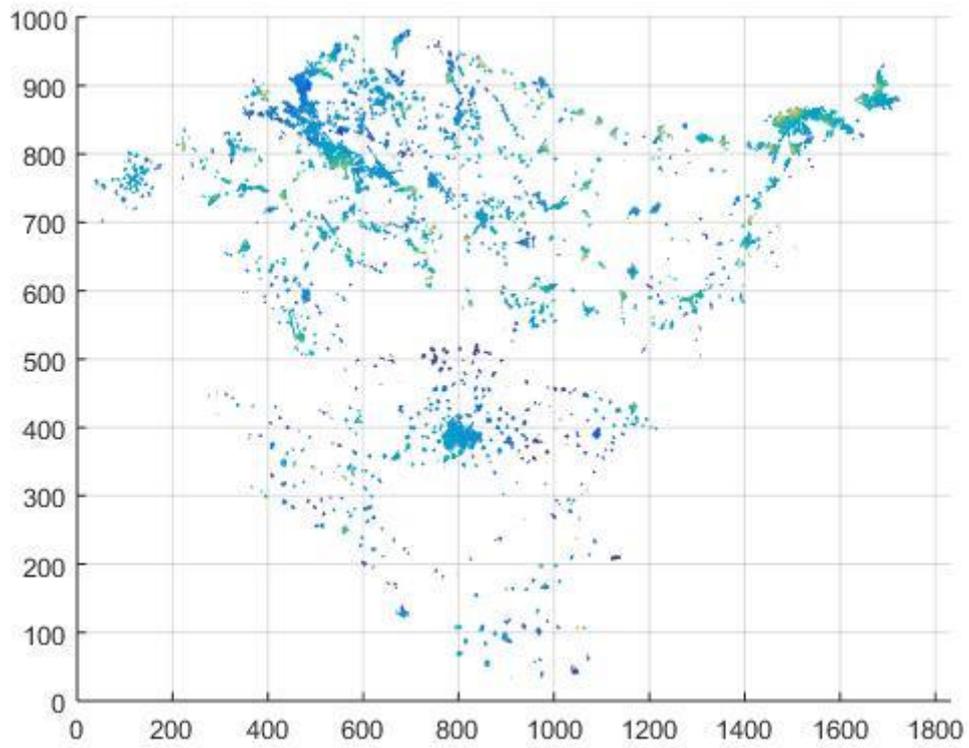


Figura 61: Cobertura de población QPSK 3/4 con disminución de 30dB

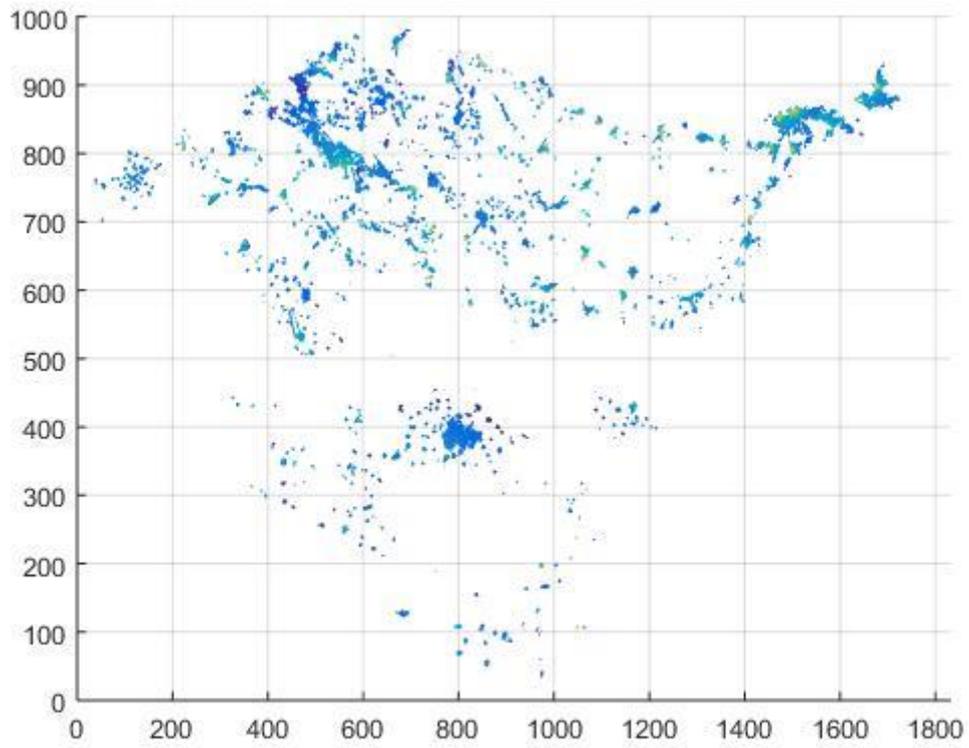


Figura 62: Cobertura de población QPSK 3/4 con disminución de 40dB

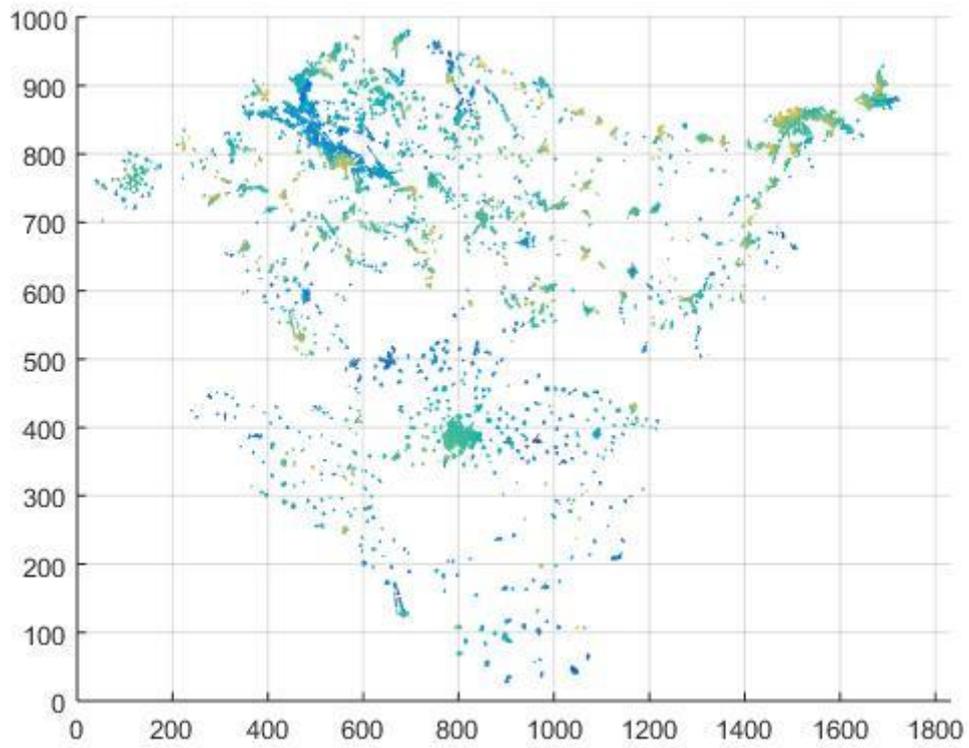


Figura 63: Cobertura de población 16-QAM 1/2 con disminución de 6dB

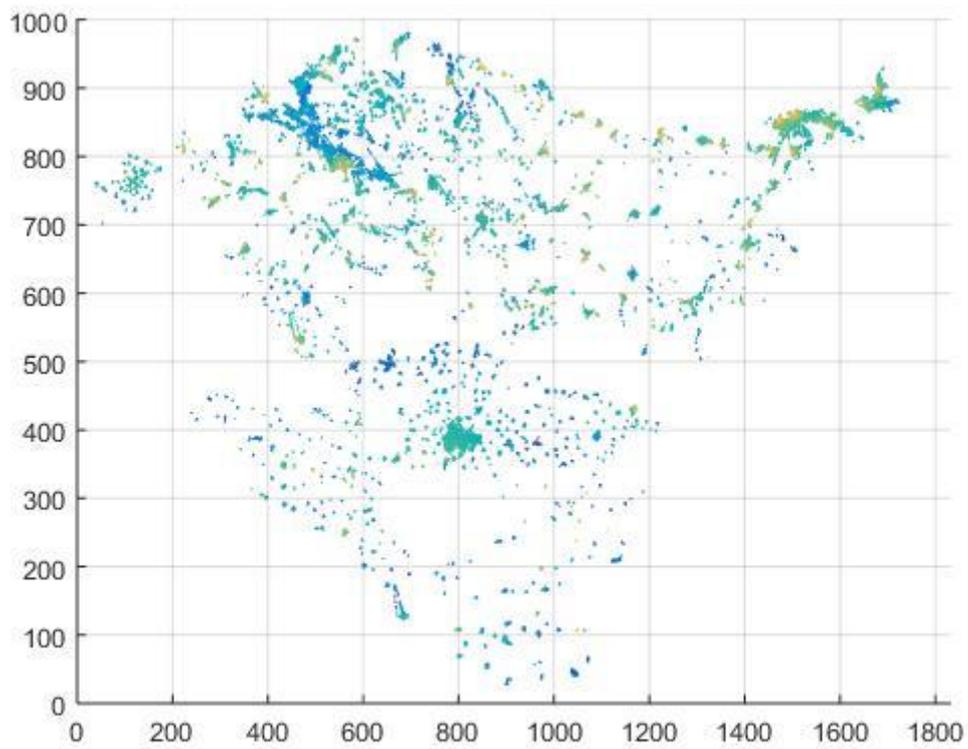


Figura 64: Cobertura de población 16-QAM 1/2 con disminución de 10dB

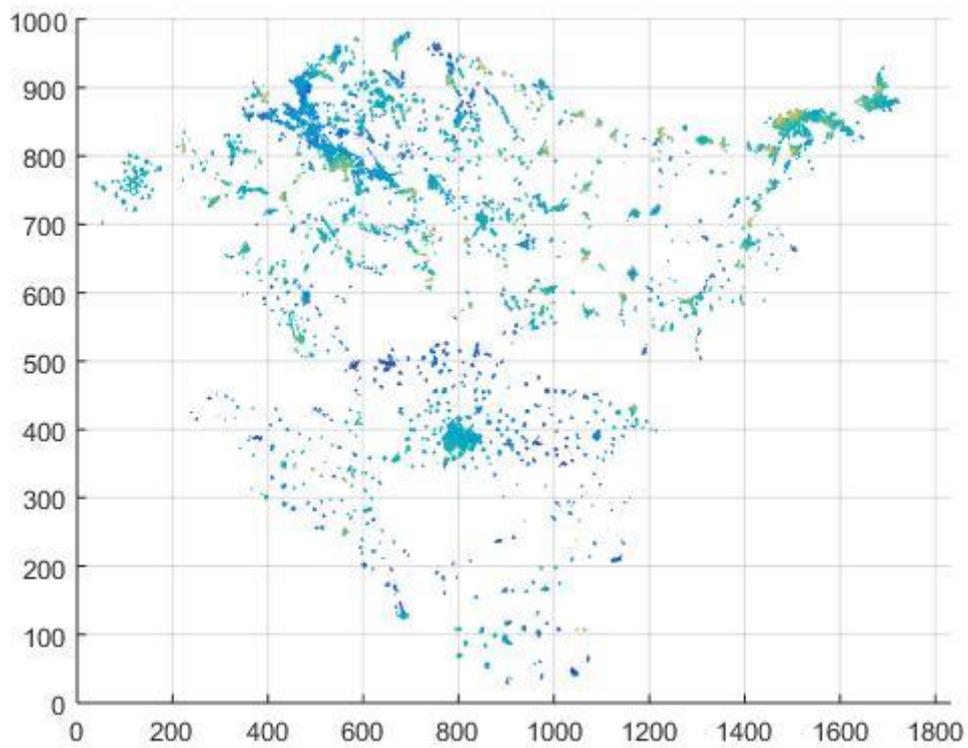


Figura 65: Cobertura de población 16-QAM 1/2 con disminución de 20dB

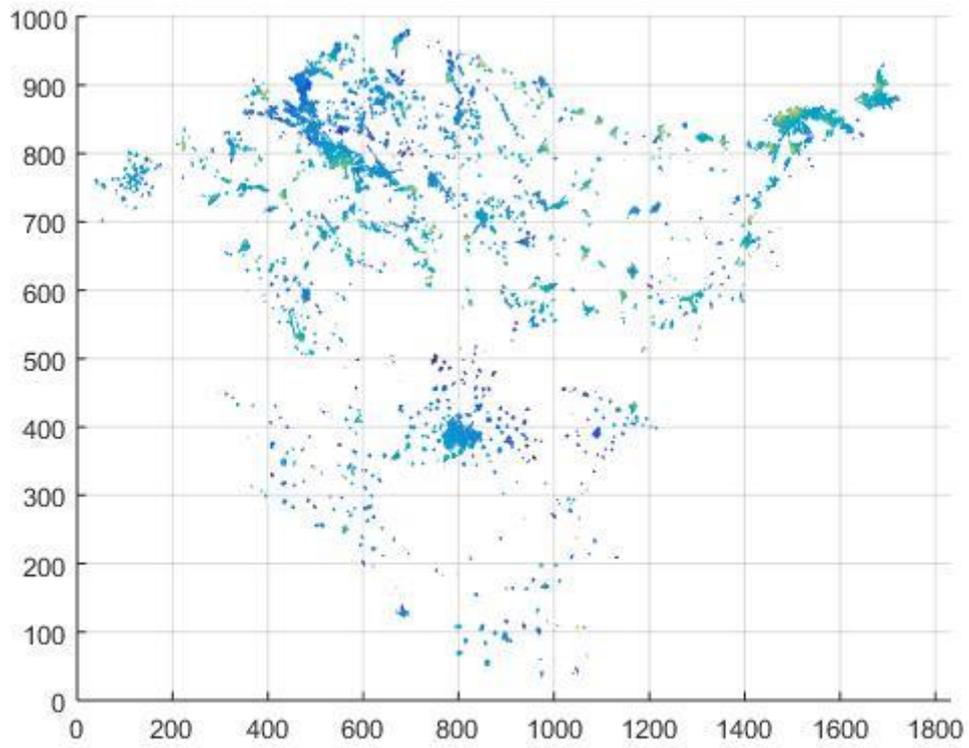


Figura 66: Cobertura de población 16-QAM 1/2 con disminución de 30dB

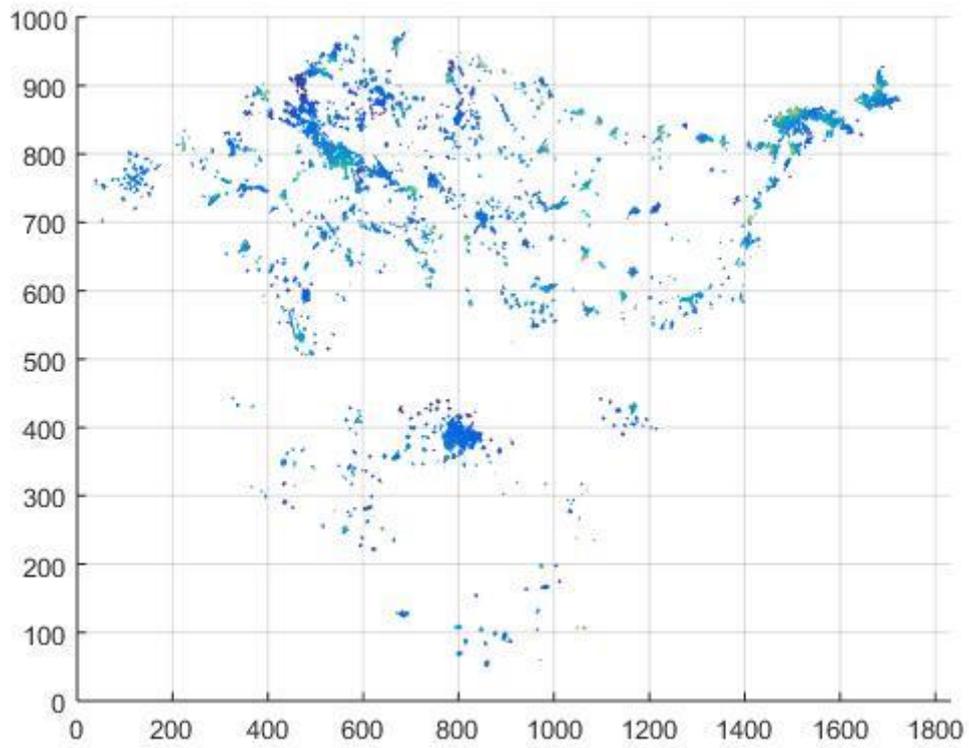


Figura 67: Cobertura de población 16-QAM 1/2 con disminución de 40dB

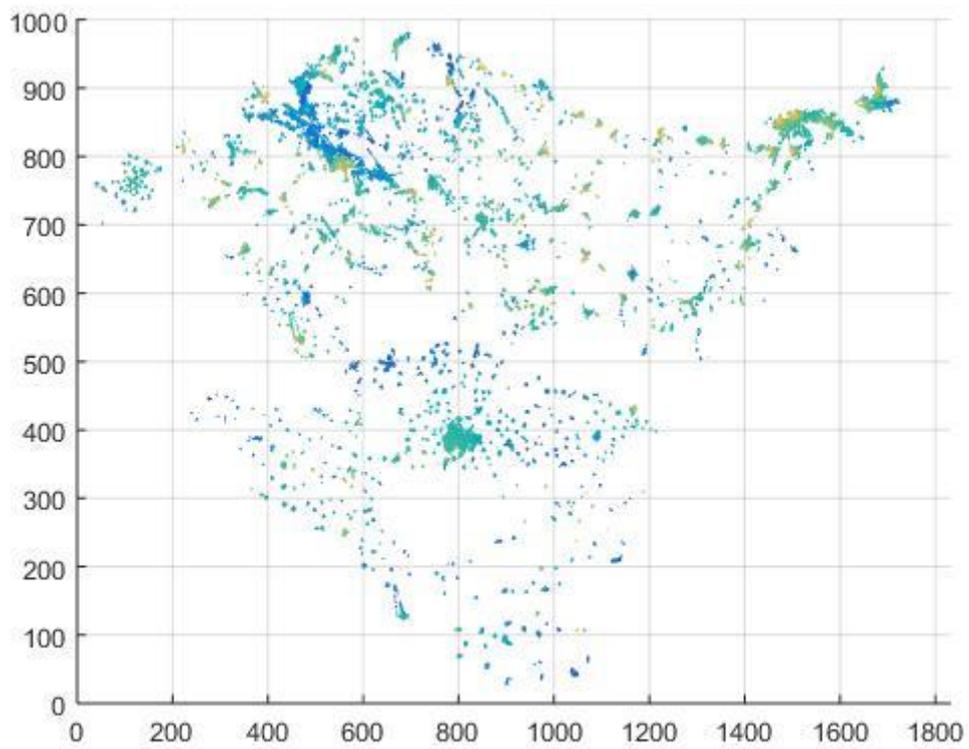


Figura 68: Cobertura de población 16-QAM 3/4 con disminución de 6dB

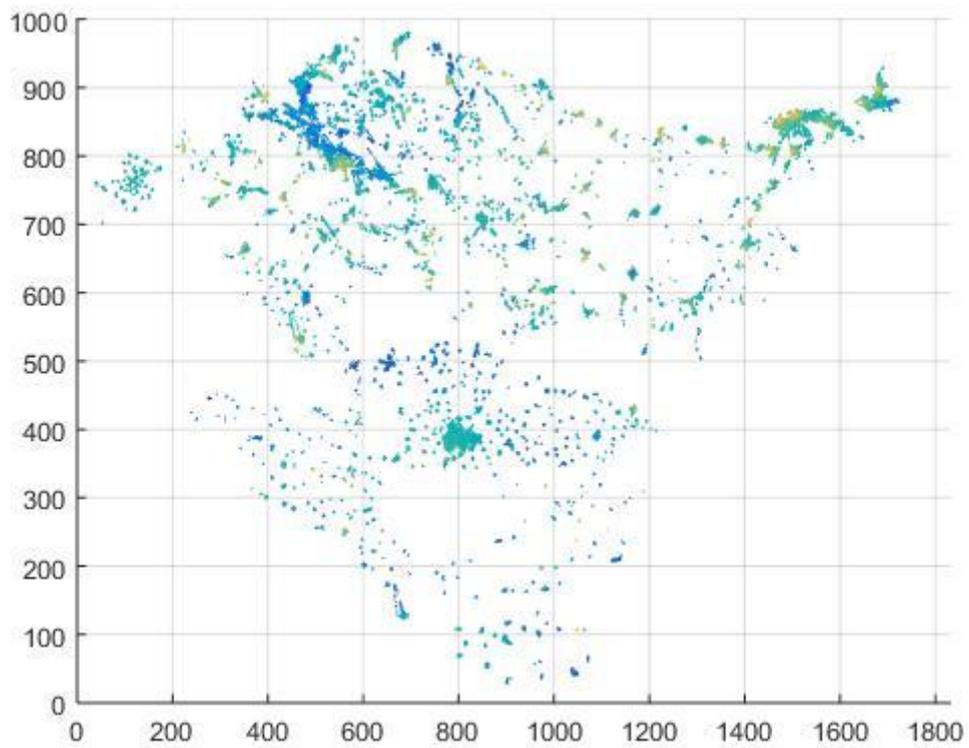


Figura 69: Cobertura de población 16-QAM 3/4 con disminución de 10dB

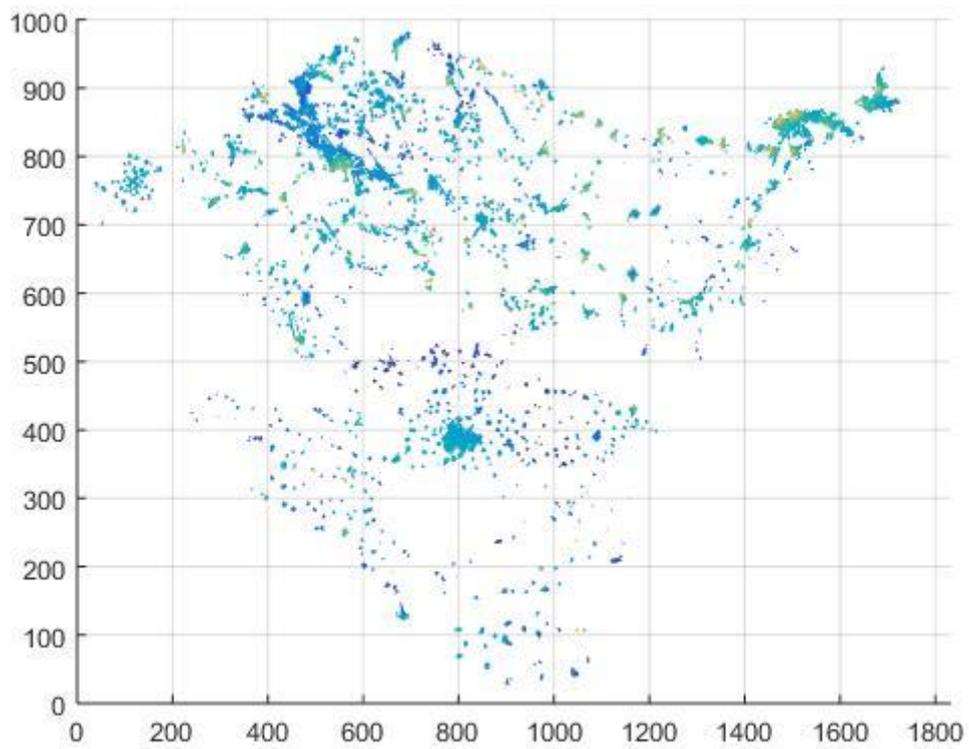


Figura 70: Cobertura de población 16-QAM 3/4 con disminución de 20dB

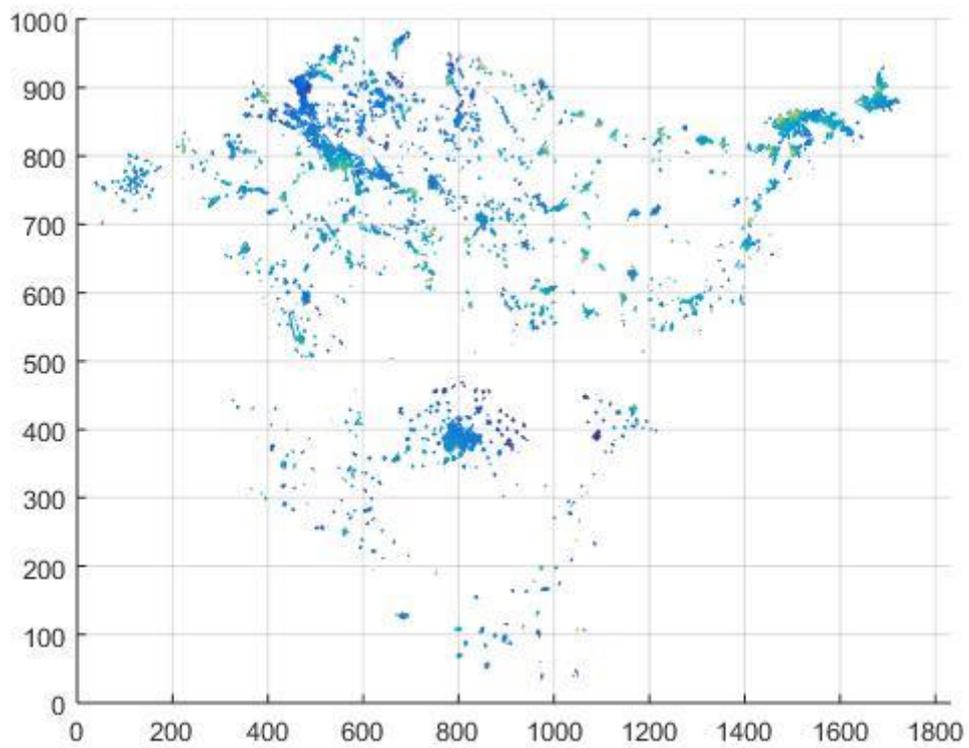


Figura 71: Cobertura de población 16-QAM 3/4 con disminución de 30dB

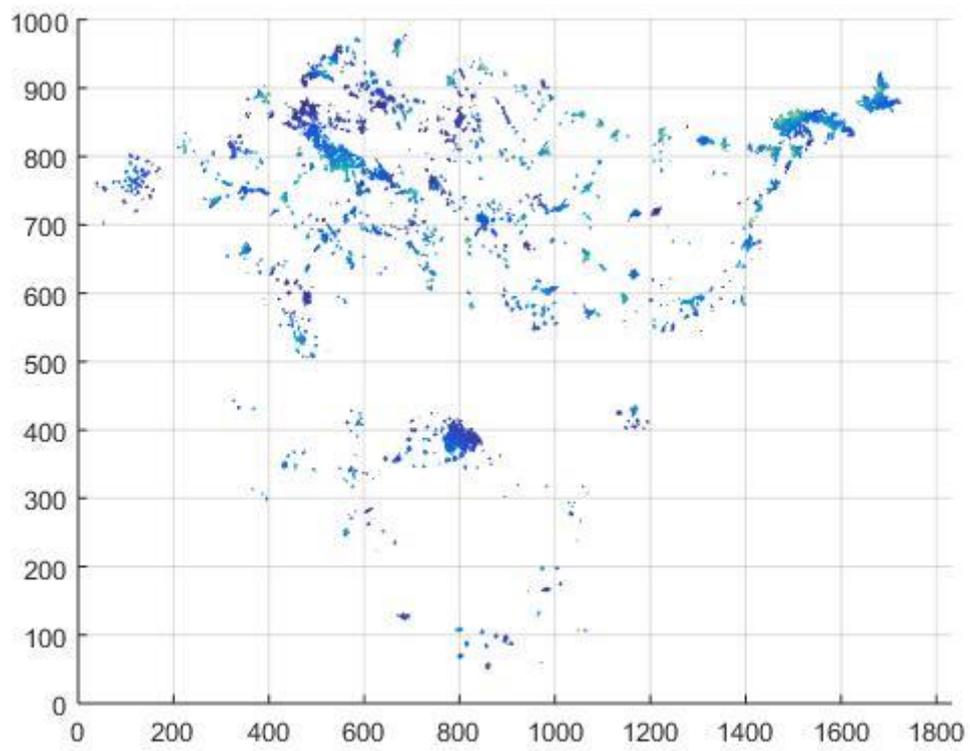


Figura 72: Cobertura de población 16-QAM 3/4 con disminución de 40dB