Diseño e implementación de una metodología para representar *White Spaces* con una herramienta de planificación de radiofrecuencia

Proyecto de fin de carrera

presentado ante la

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona de la Universidad Politécnica de Catalunya

para la obtención del grado de

INGENIERO SUPERIOR DE TELECOMUNICACIÓN

Realizado por: Juan Carlos León Gutiérrez

Tutor: Anna Umbert Juliana

Marzo de 2012

DEDICATORIA

Este proyecto es dedicado a mis padres Luz Marina y Freddy José.

No hay duda que sin ellos no sería la persona quien soy hoy día.

Siempre he contado y sé que contaré con su apoyo incondicional en las buenas y malas, han sido la principal razón por la cual yo este aquí.

Por esta razón y muchísimas otras les doy las GRACIAS

AGRADECIMIENTOS

Luego de haber finalizado el trabajo de fin de carrera, quiero agradecer a todas aquellas personas que bridaron su apoyo, consejos y compañía para llevar a cabo con éxito los objetivos propuestos en este proyecto.

Principalmente a Dios, por brindarme la fortaleza en los momentos de dificultad, la tranquilidad para poder sacar los resultados a tiempo y la alegría de poder vivir toda esta experiencia fuera de mi país.

A mi tutora Anna Umbert Juliana, sobre todo por su paciencia y dedicación, siempre estando dispuesta ayudarme; por sus correcciones y buenos consejos que ayudaron a perfeccionar mi trabajo.

Les doy las gracias a todos los profesores de la UCAB y la UPC que durante mi carrera, me han transmitido lo conocimientos necesarios para culminar esta etapa de mi vida y darme las bases requeridas para la realización de este proyecto.

A mis compañeros que formaron parte de esta experiencia en la ciudad de Barcelona y me brindaron su ayuda en este proyecto, Eduardo López, Juan Khawly y Cristina Guinand, gracias por contar con su ayuda, así como ustedes saben que siempre contarán con la mia.

A Isabel Ribeiro, por su apoyo incondicional a cualquier hora con tal de brindar su aporte en este trabajo, haciéndome ver mi errores y queriendo siempre que sea el mejor, una persona que sin duda le agradezco a Dios que este en mi vida, por eso y mucho más, gracias.

Y por supuesto, estoy infinitamente agradecido con la familia tan hermosa que Dios me ha dado, mis hermanos Eduardo José y Jorge Luis, y sobre todos a mis padres Freddy José y Luz Marina, no hay palabras para agradecerles todo lo que han hecho por mi, espero que este logro sea solo uno de los muchos que los llene de alegría. Muchísimas gracias.

RESUMEN

Las políticas actuales de asignación fija por largos periodos de tiempo en extensas regiones geográficas del espectro radioeléctrico y el crecimiento de sistemas inalámbricos han llevado a una aparente saturación del mismo. No obstante numerosas campañas de medida del uso del espectro radioeléctrico han demostrado su uso ineficiente, pues no todo el espectro asignado esta siendo utilizado todo el tiempo y en todos los lugares. Es por ello que las técnicas de acceso dinámico al espectro y la tecnología *Cognitive Radio,* plantean como solución a la escasez de frecuencias disponibles hacer un uso secundario del espectro no utilizado sin interferir a los usuarios legítimos. La banda UHF de televisión es una candidata interesante para el empleo de esta tecnología, dado que la presencia de huecos en el espectro, bautizados como *White Spaces*, que surgen tras hacer el paso de la televisión analógica a digital, se caracterizan por ser muy estáticos permitiendo así conocer con mayor facilidad la ubicación de los mismos. En este sentido, el presente Proyecto de Fin de Carrera tiene como finalidad diseñar e implementar una metodología para representar la ubicación de los *White Spaces* en la banda de televisión en un territorio determinado, usando una herramienta de planificación de radiofrecuencia para su posterior uso en sistemas *Cognitive Radio*.

Este proyecto se realizo con la herramienta de planificación Atoll, en ella fue delimitado el territorio de la comarca del Baix Llobregat sobre el cual se hizo el estudio, y posteriormente fueron representadas todas las zonas en donde existe un mínimo tamaño de *White Space*, indicando tanto sus ubicaciones en la banda de televisión como sus tamaños en extensión del territorio.

Como resultado más importante se destaca que se ha conseguido el objetivo del proyecto trabajando siempre sobre una herramienta de planificación de radiofrecuencia, la cual no esta diseñada con dicho propósito, demostrando la versatilidad de la misma tras usar y adaptar de manera ingeniosa las opciones que en ella se encuentran.

Palabras claves: metodología, herramienta de planificación radio, *White Spaces*, banda de televisión, *Cognitive Radio*.

ABSTRACT

Static spectrum allocation policies for long periods over large geographical regions and the growth of wireless systems have led to an apparent saturation of the same. An important number of spectrum measurement campaigns have demonstrated, however, its inefficient use, as not all the spectrum allocated is being used all the time and everywhere. That is why dynamic spectrum access technique and Cognitive Radio technology proposed as solution to the lack of frequencies available a secondary use of unused spectrum without interfering to legitimate users. The UHF television band is an interesting candidate for use of this technology, since the presence of gaps in the spectrum, named White Spaces, arising after making the transition from analog to digital television is typically very static allowing to easily find their location. In this respect, this Thesis Project aims to design and implement a methodology to represent the location of the White Spaces in the television band in a given territory, using an RF planning tool for future use in Cognitive Radio systems.

This project was carried out with the planning tool Atoll, it was demarcated the territory of the Baix Llobregat on which the study was done, and were subsequently represented all areas where there is a minimum size of White Space, indicating both their locations in the TV band as their sizes in extent of territory.

As most important results it's highlighted the achievement of the project's goal on a radio planning tool, which is not designed for that purpose, showing its the versatility after use and adapt in an ingenious way its options.

Keywords: methodology, radio planning tool, White Spaces, television band, Cognitive Radio.

RESUM

Les polítiques actuals d'assignació fixa per llargs períodes de temps en extenses regions geogràfiques de l'espectre radioelèctric i el creixement dels sistemes sense fils han portat a una aparent saturació d'aquest. No obstant això nombroses campanyes de mesura de l'ús de l'espectre radioelèctric han demostrat el seu ús ineficient, ja que no tot l'espectre assignat està sent utilitzat tot el temps i en tots els llocs. És per això que les tècniques d'accés dinàmic a l'espectre i la tecnologia *Cognitive Radio* plantegen com a solució a l'escassetat de freqüències disponibles fer un ús secundari de l'espectre no utilitzat sense interferir als usuaris legítims. La banda UHF de televisió és una candidata interessant per l'ús d'aquesta tecnologia, atès que la presència de forats en l'espectre, batejats com *White Spaces*, que sorgeixen després de fer el pas de la televisió analògica a digital, es caracteritzen per ser molt estàtics permetent així conèixer amb major facilitat la ubicació dels mateixos. En aquest sentit, el present Projecte de Fi de Carrera té com a finalitat dissenyar i implementar una metodologia per representar la ubicació dels *White Spaces* a la banda de televisió en un territori determinat, utilitzant una eina de planificació de radiofreqüència per al seu posterior ús en sistemes Cognitive Radio.

Aquest projecte es va realitzar amb l'eina de planificació Atoll, en ella es va delimitar el territori de la comarca del Baix Llobregat sobre el qual es va fer l'estudi, i posteriorment es van representar totes les zones on hi ha un *White Space* de certa mida, indicant tant les seves ubicacions a la banda de televisió com les seves extensions en el territori.

Com a resultat més important es destaca que s'ha aconseguit l'objectiu del projecte treballant sempre sobre una eina de planificació de radiofreqüència, la qual no està dissenyada amb aquest propòsit, demostrant la versatilitat de la mateixa després usar i adaptar de manera enginyosa les opcions que en ella es troben.

Paraules clau: metodologia, eina de planificació ràdio, White Spaces, banda de televisió, Cognitive Radio.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA ..... **I**

AGRADECIMIENTOS ..... **II**

RESUMEN ..... **III**

ABSTRACT ..... **IV**

RESUM ..... **V**

ÍNDICE GENERAL ..... **VI**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **VIII**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **XI**

INTRODUCCIÓN ..... **XII**

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **1**

1.1 PROPUESTA 1
1.2 JUSTIFICACIÓN 1
1.3 OBJETIVOS 2
1.3.1 Objetivo General *2*
1.3.2 Objetivos específicos *2*
1.4 LIMITACIONES Y ALCANCES 2
1.4.1 Limitaciones *2*
1.4.2 Alcances *3*

2 MARCO REFERENCIAL **4**

2.1 OCUPACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO 4
2.2 *COGNITIVE RADIO* 5
2.2.1 Principales características *6*
2.2.2 Arquitectura física *8*
2.2.3 Arquitectura de red *10*
2.2.4 Espectro compartido *12*
2.2.5 Movilidad del espectro *14*
2.2.6 Algunos desafíos de las redes secundarias *14*
2.3 TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE 15
2.3.1 Característica del estándar DVB-T *16*
2.3.2 Beneficios de la TDT *17*
2.4 *TV WHITE SPACES* 19
2.4.1 Técnicas para definir TV White Spaces *19*
2.4.2 Organismos reguladores del acceso de los usuarios secundarios a los TV White Spaces. *21*

3 METODOLOGÍA 23

3.1 RECOPILAR INFORMACIÓN. 23
3.2 EN LA HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN. 23
3.3 USO EN BASE DE DATOS. 24

4 DESARROLLO 25

4.1 NUEVO PROYECTO 25
4.2 INICIALIZACIÓN DE PARÁMETROS 26
4.2.1 Frecuencias 26
4.2.2 BSIC. 27
4.2.3 Canales 28
4.3 ZONA DE TRABAJO 31
4.4 REPRESENTACIÓN DE LAS COBERTURAS_WS 36
4.4.1 Simulación de las Coberturas_WS en cada canal ocupado en la banda de televisión 41
4.4.2 Ubicaciones de los posibles tamaños de White Spaces en la comarca del Baix Llobregat 49
4.4.3 Intersección de las cobertura_WS de los canales ocupados en Atoll 53

5 RESULTADOS Y ANÁLISIS 57

5.1 TAMAÑO DE *WHITE SPACE* REPRESENTADO POR LAS COBERTURAS_WS 57
5.2 FORMAS DE VISUALIZAR LAS COBERTURAS_WS EN ATOLL 66
5.2.1 Coberturas_WS con un mínimo tamaño de White Space 66
5.2.2 Representación de distintos tamaños de White Spaces para una cobertura_WS . 69
5.3 COBERTURAS_WS MÁS INTERESANTES 75
5.4 RESOLUCIÓN DE LAS SIMULACIONES DE COBERTURA 77

6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS 79

7 BIBLIOGRAFÍA 82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: *Representación del Acceso Dinámico al Espectro de un Cognitive Radio* 5
Figura 2.2: *Ciclo cognitivo* 7
Figura 2.3: *Transceptor de un Cognitive Radio* 8
Figura 2.4: *Arquitectura del RF front-end* 9
Figura 2.5: *Arquitectura de una red Cognitive Radio* 11
Figura 2.6: *Espectro compartido dentro y entre las redes en RS* 14
Figura 2.7: *Antena UHF convencional* 16
Figura 2.8: *Número de canales, transmisión digital y analógica* 17
Figura 2.9: *Formatos de las imágenes en una transmisión de televisión* 18
Figura 4.1: *Sistema de coordenadas definido en Atoll, proyección y display* 25
Figura 4.2: *Pestaña General del transmisor del canal 64 en el emplazamiento Castelldefels* 29
Figura 4.3: *Pestaña TRXs del transmisor del canal 64 en el emplazamiento Castelldefels* 29
Figura 4.4: *Transmisores de Castelldefels* 30
Figura 4.5: *Transmisores agrupados por canales* 30
Figura 4.6: *Transmisores del canal 24* 31
Figura 4.7: *Archivo .kml del municipio Castelldefels abierto con WordPad* 31
Figura 4.8: *.txt con las coordenadas geográficas del municipio Castelldefels. Formato para colocarlo en el Computation Zone de Atoll* 32
Figura 4.9: *Computation Zone en forma de la comarca del Baix Llobregat* 32
Figura 4.10: *Proceso de exportación de municipios en Atoll* 33
Figura 4.11: *Proceso de importación de municipios en Atoll* 34
Figura 4.12: *Representación de los 30 municipios de la comarca del Baix Llobregat* 35
Figura 4.13: *Cobertura canal 33, display type: discrete values* 36
Figura 4.14: *Cobertura canal 33, display type: Unique* 37
Figura 4.15: *Cobertura canal 33 y cobertura_WS canal 33* 38
Figura 4.16: *Point Analysis sobre solapamiento, cobertura canal 33 y cobertura_WS channel 33* 39
Figura 4.17: *Canales libres y ocupados de televisión en Cataluña* 40
Figura 4.18: *Cobertura_WS Canal 24* 41
Figura 4.19: *Cobertura_WS canal 26 y 48* 42
Figura 4.20: *Cobertura_WS canales 27, 31, 34 y 47* 42
Figura 4.21: *Cobertura_WS canal 30* 43
Figura 4.22: *Cobertura_WS canal 33* 43
Figura 4.23: *Cobertura_WS canal 36* 44
Figura 4.24: *Cobertura_WS canal 39 y 45* 44

Figura 4.25: *Cobertura_WS canal 40*..... 45
Figura 4.26: *Cobertura_WS canal 44*..... 45
Figura 4.27: *Cobertura_WS canal 46*..... 46
Figura 4.28: *Cobertura_WS canal 46*..... 46
Figura 4.29: *Cobertura_WS canal* 64, 66, 67, 68 y 69 47
Figura 4.30: *Representación en porcentaje del territorio ocupado por las coberturas_WS de los canales de la banda de televisión* 48
Figura 4.31: *Ubicación de las 10 coberturas_WS en la banda de televisión* 49
Figura 4.32: *Ejemplo de una nueva banda de televisión con sus respectivas coberturas_WS* 49
Figura 4.33: *Coberturas_WS con sus respectivos tamaños generadas en la nueva banda de televisión* 50
Figura 4.34: *Numeración de las 10 coberturas_WS* 50
Figura 4.35: *Representación de un grupo de las 53 nuevas coberturas_WS en Atoll. Dibujada la cobertura_WS 62 en la comarca* 53
Figura 4.36: *Intersección de las coberturas_WS 1 y 9 usando la opción Compre With* . 54
Figura 4.37: *Simulación de coberturas_WS de los canales implicados en 1 y 9 a la vez.* 55
Figura 5.1: *Ejemplo de una nueva banda de televisión, indicando la ubicación de coberturas_WS en la banda de televisión* 57
Figura 5.2: *Máximo tamaño de White Space para una cobertura_WS* 58
Figura 5.3: *Tamaños de White Spaces para una cobertura_WS* 60
Figura 5.4: *Tamaño de White Space para coberturas_WS que involucra la intersección de varias de ellas* 61
Figura 5.5: *Tamaño de White Spaces para una cobertura_WS ubicada en diferentes parte de la banda de televisión (Caso a estudiar: cobertura_WS 1)* 62
Figura 5.6: *Representación de los canales libres en la banda de televisión* 64
Figura 5.7: *Todos los posibles tamaños de White Spaces con su respectiva ubicación en los canales de la banda de televisión presentes en la comarca del Baix Llobregat* 65
Figura 5.8: *Puntero colocado fuera y dentro de la cobertura_WS activada en el mapa de Atoll*..... 66
Figura 5.9: *Representación de un tamaño de White Spaces mínimo de 24 MHz en la comarca* 68
Figura 5.10: *Ubicación gráfica de los distintos tamaños de los White Spaces en la banda de televisión. Parte I* 70
Figura 5.11: *Ubicación gráfica de los distintos tamaños de los White Spaces en la banda de televisión. Parte II* 71
Figura 5.12: *Procedimiento para conseguir mayores tamaños de White Spaces dentro de una cobertura_WS* 72
Figura 5.13: *Representación de los mayores tamaños de White Spaces dentro de una cobertura_WS* 73

Figura 5.14: *White Space más grande (izquierda) y más extenso (derecha) de la comarca del Baix Llobregat* 76
Figura 5.15: *Comparación de coberturas entre un Main Resolution de 20m y otro de 500m* 77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1: *BSIC asignados a los Canales ocupados de Televisión de Cataluña* 27
Tabla 4.2: *Canales activos en el emplazamiento Castelldefels* 28
Tabla 4.3: *Generate Report, cobertura canal 33 y cobertura_WS canal 33* 38
Tabla 4.4: *Generate Report, cobertura canal 33 y Nueva cobertura_WS canal 33 con margen de 0 dB*..... 39
Tabla 4.5: *Canales que conforman las 12 coberturas en la banda de televisión* 40
Tabla 4.6: *Superficies cubiertas por cobertura canal 24 y cobertura_WS canal 24*..... 41
Tabla 4.7: *Superficies cubiertas por cobertura canales 26 y 28 y cobertura_WS canales 26 y 48* 42
Tabla 4.8: *Superficies cubiertas por cobertura canales 27, 31, 34 y 47 y cobertura_WS canales 27, 31, 34 y 47* 42
Tabla 4.9: *Superficies cubiertas por cobertura canal 30 y cobertura_WS canal 30*..... 43
Tabla 4.10: *Superficies cubiertas por cobertura canal 33 y cobertura_WS canal 33*..... 43
Tabla 4.11: *Superficies cubiertas por cobertura canal 36 y cobertura_WS canal 36*..... 44
Tabla 4.12: *Superficies cubiertas por cobertura canales 39 y 45 y cobertura_WS canal 39 y 45* 44
Tabla 4.13: *Superficies cubiertas por cobertura canal 40 y cobertura_WS canal 40*..... 45
Tabla 4.14: *Superficies cubiertas por cobertura canal 44 y cobertura_WS canal 44*..... 45
Tabla 4.15: *Superficies cubiertas por cobertura canal 46 y Cobertura_WS canal 46* 46
Tabla 4.16: *Superficies cubiertas por cobertura canales 61 y cobertura_WS canal 61* . 46
Tabla 4.17: *Superficies cubiertas por cobertura canales* 64, 66, 67, 68 y 69 *y cobertura_WS canal* 64, 66, 67, 68 y 69 47
Tabla 4.18: *Composición e identificación numérica y cromática de las 53 nuevas coberturas_WS. Parte I*..... 51
Tabla 4.19: *Composición e identificación numérica y cromática de las 53 nuevas coberturas_WS. Parte II*..... 52
Tabla 4.20: *Generate Report de la intersección de las coberturas_WS 1 y 9 usando la opción Compre With* 55
Tabla 4.21: *Generate Report de la Simulación de coberturas_WS 1 y 9 a la vez*..... 55
Tabla 5.1: *Tamaño y ubicación en la banda de las coberturas_WS de cada canal ocupado de televisión* 63
Tabla 5.2: *Tamaño y ubicación en la banda de las coberturas_WS de cada bloque de canales libres consecutivos de televisión*..... 64
Tabla 5.3: *Porcentaje cubierto por las coberturas _WS de la Figura 5.13* 74
Tabla 5.4: *Porcentaje de territorio cubierto donde solo es encontrado las coberturas _WS de la Figura 5.13*..... 74
Tabla 5.5: *White Spaces más grande y más extenso de la comarca del Baix Llobregat* 75

INTRODUCCIÓN

El espectro radioeléctrico es el recurso más valioso usado por los sistemas de radiocomunicaciones. La constante evolución de los sistemas inalámbricos ha generado atender a una mayor cantidad de usuarios aumentando al mismo tiempo la demanda de servicios. Es por ello que el espectro ha resultado ser un recurso limitado (atribuido al incremento)debido a las políticas actuales de asignación fija, por largos periodos de tiempo en extensas regiones geográficas, del espectro radioeléctrico que no permiten la aparición de nuevos sistemas o la ampliación de los existentes, pues ya lo tienen todo asignado. En paralelo numerosos estudios de ocupación del espectro radioeléctrico han demostrado su ineficiente uso. Dado estos factores, se plantea un nuevo modelo de uso del espectro radioeléctrico conocido como Acceso Dinámico del Espectro, que junto con la tecnología *Cognitive Radio* deben permitir hacer un uso más eficiente del mismo sin necesidad de modificar la asignación de frecuencias actual. Diferentes técnicas se han propuesto para hacer un uso secundario de este espectro, el de mayor proyección consiste en la creación de una base de datos que contenga la información del espectro sin uso en diferentes lugares, conocido como Geo-localización.

Uno de los servicios de telecomunicaciones que ha evolucionado en los últimos años es el de la televisión, el cual tras pasar de usar tecnología analógica a digital permite un uso del espectro radioeléctrico más eficiente, causando a su vez que largas porciones de la banda de TV se encuentren sin uso. (Estas porciones de la banda de TV que no se usan se han bautizado como *TV White Spaces*).

Por esta razón, gracias a esta presencia de espectro sin uso en la banda de TV, el acceso dinámico del espectro esta siendo investigado con el fin de sacar mayor provecho de este nuevo espectro disponible, caracterizado por ser muy estático permitiendo así conocer con mayor facilidad la ubicación de estos *TV White Spaces*.

Es en este marco que surge la necesidad por parte del Grupo de Investigación en comunicaciones Móviles del departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la UPC, de desarrollar este proyecto, con la finalidad de diseñar e implementar una metodología para representar la ubicación de los *White Spaces* en la banda de televisión para un territorio determinado, usando una herramienta de planificación de radiofrecuencia y conseguir así generar una base de datos geo-localizada. Para lograrlo, el proyecto se estructura de la siguiente manera:

En el **capítulo 1** se expone la propuesta y justificación del proyecto, definiendo tanto el objetivo general como los específicos, así como también las limitaciones y alcances encontrados.

Posteriormente en el **capítulo 2** se describe la situación actual del espectro radioeléctrico y a su vez la tecnología *Cognitive Radio,* la cual es capaz de hacer un uso más eficiente del mismo, describiendo varias de sus características. Luego se habla de la Televisión Digital Terrestre para introducir el concepto de los *White Spaces*, haciendo mención de sus principales organismos reguladores a nivel mundial.

Seguidamente en el **capítulo 3** se explica de forma general los pasos necesarios para conseguir la representación de los *White Spaces* de cualquier tamaño en una herramienta de planificación de redes radio.

De esta forma en el **capítulo 4** se exponen los diferentes pasos realizados para obtener la representación de los *White Spaces* en la banda de televisión en la comarca del Baix Llobregat, con la herramienta de planificación Atoll. Una vez conseguidos los resultados, estos son analizados en el **capítulo 5**, explicando los procedimientos para asignar el tamaño de *White Space* de cada representación conseguida, así como las formas en la que éstas pueden ser visualizadas en Atoll.

Las conclusiones a las que se llega tras analizar los resultados obtenidos se exponen en el **capítulo 6**, junto con las posibles líneas futuras que pueden surgir una vez completados los estudios del proyecto.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El siguiente capítulo describe la razón por la cual surge el proyecto y las justificaciones que avalan la realización del mismo. Se describe el objetivo general y los objetivos específicos buscados, y finalmente son definidas las limitaciones y alcances encontrados en la realización de este proyecto.

1.1 Propuesta

En este trabajo de investigación se plantea el diseño e implementación de una metodología para conseguir representar la ubicación de los *White Spaces* en un territorio y espectro determinado, con la ayuda de la herramienta de planificación y optimización de redes Atoll, siendo esta desarrollada para cumplir otros objetivos al deseado.

Específicamente se propone estudiar la superficie comprendida por la comarca del Baix Llobregat para la banda de televisión en Cataluña, la cual ha sido investigada anteriormente por el Grupo de Investigación en Comunicaciones Móviles, con otras finalidades.

1.2 Justificación

La iniciativa de este proyecto surge de la necesidad de crear una base de datos con la información de la ubicación de los *White Spaces* en la banda de televisión, pues esta es una banda que se caracteriza por ser muy estática gracias a que la transmisión de sus canales es continua, dando la posibilidad de observar fácilmente donde están ubicados los huecos en la banda de televisión para un posible uso secundario del espectro.

La finalidad de la base de datos será proporcionar servicio a aquellos usuarios secundarios que, estando situados en un determinado punto, soliciten dicha información para conocer en que parte de la banda pueden transmitir, ya que ellos no son capaces de realizar una detección del espectro para conocer la disponibilidad del mismo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar e implementar una metodología para la representación de los *White Spaces* en la banda de televisión para la comarca de Baix Llobregat con la ayuda de la herramienta de planificación y optimización de radiofrecuencia Atoll.

1.3.2 Objetivos específicos

- Recopilar la información utilizada en otros estudios realizados por el Grupo de Investigación en Comunicaciones Móviles, que pueda ser útil para el proyecto.
- Crear con la herramienta Atoll, un proyecto que reproduzca el escenario radioeléctrico para la banda de televisión en la comarca del Baix Llobregat.
- Estudiar los canales que se están usando, en particular, cual es su posición en el espectro.
- Representar en la zona de estudio un *White Space* definido por un canal ocupado, por los canales libres y por más de un canal ocupado de la banda de televisión.
- Definir el tamaño de *White Space* por cada una de las representaciones encontradas.
- Estudiar las alternativas en la que puedan ser visualizadas dichas representaciones en Atoll.
- Conseguir y analizar el porcentaje del territorio cubierto en la comarca del Baix Llobregat por cada *White Space* encontrados.
- Conseguir el *White Space* más grande y extenso de la comarca.

1.4 Limitaciones y alcances

1.4.1 Limitaciones

- Para las simulaciones de coberturas ejecutadas en este proyecto, no fue posible realizar un filtrado previo que involucrara a los transmisores responsables de generalas, requiriendo una activación y desactivación manual de los transmisores a usar, causando así un proceso más laborioso al momento de conseguir los estudios deseados.

1.4.2 Alcances

- La metodología para conseguir la ubicación de los *White Spaces* empleada en esta memoria, solo fue aplicada al área comprendida por la comarca del Baix Llobregat, sin embargo, de la forma en que fue desarrollado el proyecto, es posible reproducir los resultados a cualquier otro territorio de España peninsular y Baleares.
- El estudio fue realizado con una de las herramientas de planificación de radiofrecuencia existentes en el mercado, conocida como Atoll, no obstante gracias a la similitud entre dichas herramientas, la metodología implementada sirve de guía para mostrar la ubicación de los *White Spaces* en otras herramientas con mínimas adaptaciones.
- Es posible obtener resultados más precisos en términos de territorio ocupado por una cobertura, si las simulaciones comprenden la misma resolución que el cálculo del modelo el propagación por cada transmisor, a costa de incrementar el tiempo de procesado.

2 MARCO REFERENCIAL

En el siguiente capítulo se describe la situación actual del espectro radio eléctrico y a su vez la tecnología capaz de hacer un uso más eficiente de él, siendo esta la *Cognitive Radio*, desarrollando sus principales características de funcionamiento, su arquitectura tanto de red como física y las desventajas que ésta posee. Por otro lado, se habla de la Televisión Digital Terrestre, su definición y beneficios, para poder introducir posteriormente el concepto de los *TV White Spaces*, donde se explican los métodos para poder detectarlos y una pequeña mención a los principales organismos reguladores a nivel mundial.

2.1 Ocupación del espectro radioeléctrico

Actualmente existe un alto crecimiento en servicios inalámbricos de banda ancha, causado principalmente por la conectividad móvil, además de las aplicaciones de banda ancha fija (por ejemplo: ADSL). Del mismo modo, el tráfico de datos originado por móviles durante los últimos dos años se ha incrementado considerablemente. Los factores clave de este rápido aumento se deben al desarrollo de los servicios de redes inalámbricas de tercera generación (3G), el despliegue de tecnologías inalámbricas de cuarta generación (4G) y el aumento de la popularidad en la conectividad WIFI de los *smartphones* y otros dispositivos informáticos móviles. Todos estos elementos, con el pasar de los años, causaran una demanda de tráfico para la conexión inalámbrica la cual podría ser enorme [1].

Por otra parte, existen políticas de asignación fija del espectro que regulan las redes inalámbricas, siendo concedidas a servicios o titulares de licencia por largos períodos de tiempo en extensas regiones geográficas. Estas adjudicaciones hacen que se observe un uso no homogéneo del espectro, donde se tienen: largas porciones del espectro asignado usado esporádicamente y el espectro utilizado es concentrado en ciertos puntos a lo largo de la banda, representando grandes espacios sin ningún uso [2].

Debido al limitado espectro disponible (por el aumento de su demanda) y el ineficiente uso que se le ha dado al espectro asignado de manera exclusiva, cada vez se hace más difícil encontrar bandas de frecuencias vacantes para desplegar servicios o mejorar los ya existentes. Para solucionar este uso ineficiente del espectro y la escasez aparente de espectro se propuso el Acceso Dinámico al Espectro o *Dynamic Spectrum Access* (DSA), donde se pretende que los usuarios móviles sin licencia (usuarios secundarios) usen de manera oportunista aquellas bandas sin usar por parte de los usuarios móviles licenciados (usuarios primarios), conocidos comúnmente como “Espacios en el espectro” o *White Spaces*, sin interferir con los usuarios existentes [3].

El paradigma clave que permite este dinamismo del uso del espectro es conocido como *Cognitive Radio.*

2.2 *Cognitive Radio*

Existen numerosas definiciones que se han realizado con el transcurso de los años en relación a la *Cognitive Radio*, teniendo como responsables a los organismos de normalización internacional, el mundo académico y líderes en las industrias.

Según [4], una *Cognitive Radio* es un transmisor/receptor de radio frecuencia diseñado para detectar inteligentemente si un segmento en particular del espectro radio se encuentra en uso y de tener la capacidad de saltar rápidamente (si es necesario) dentro del espectro no usado temporalmente, sin interferir con las transmisiones de los usuarios primarios. En la Figura 2.1 se ilustra dicho comportamiento.

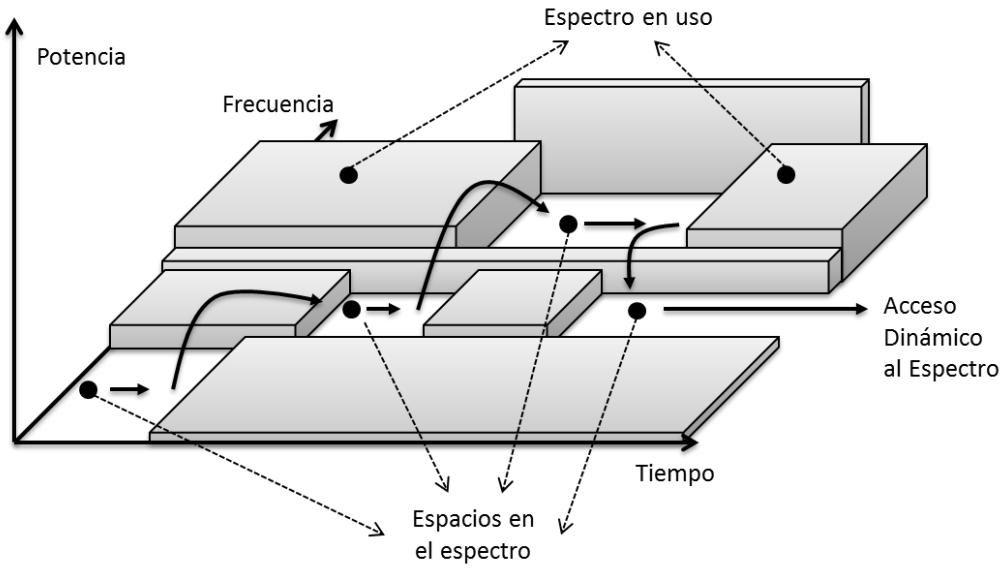


Figura 2.1: *Representación del Acceso Dinámico al Espectro de un Cognitive Radio*

Además, un *Cognitive Radio System* implementa una tecnología que le permite al sistema obtener un conocimiento de su entorno operacional y geográfico, políticas establecidas y su estado interno, ajustando de manera dinámica y automática sus parámetros operacionales y protocolos conforme a sus conocimientos adquiridos, aprendiendo de cada resultado [5].

Un *Cognitive Radio System* puede clasificarse de acuerdo a su área de operaciones de la siguiente manera [3]:

- Sistema multi-banda: Soporta más de una banda de frecuencia.
- Sistema multi-estándar: Soporta más de un estándar. Este puede trabajar dentro de una familia de estándares o a través de diferentes redes.

- Sistema multi-servicio: Proporciona diferentes servicios tales como transmisión de video, voz, etc.
- Sistema multi-canal: Soporta dos o más transmisiones y recepciones de canales independientes al mismo tiempo.
- Sistema multi-modo: Una combinación de sistemas multi-banda y multi-estándar.

2.2.1 Principales características

Una *Cognitive Radio*, tiene como objetivo final el obtener el mejor espectro disponible, esto es posible gracias a dos de sus características de mayor importancia [3].

2.2.1.1 Capacidad cognitiva

A través de iteraciones en tiempo real con el entorno radio, son definidos los espacios en el espectro en una localización o tiempo determinado, clasificándose en tres diferentes clases:

- Espacios negros: Están ocupados por interferencias de alta potencia en ciertos intervalos de tiempo. Estos espacios deben ser evitados todas las veces cuando los emisores de radio frecuencias residentes en ellos estén encendidos.
- Espacios grises: Están parcialmente ocupados por interferencias de baja potencia.
- Espacios blancos o *White Spaces*: Están libres de interferencias de radio frecuencia excepto por el ambiente compuesto por formas naturales y artificiales de ruido.

Son necesarias unas tareas para operar en el espectro, las cuales son:

- Detección del espectro: Determina que porción del espectro se encuentra disponible y es capaz de detectar la presencia de usuarios primarios cuando una *Cognitive Radio* opera en bandas licenciadas, mediante la estimación de los niveles de interferencia del entorno radio.
- Análisis del espectro: Contiene la estimación de la información del estado del canal y la predicción de la capacidad del canal para ser usado por el transmisor.
- Decisión sobre el espectro: una C*ognitive Radio* al determinar la tasa de datos, el modo a transmitir y el ancho de banda de una transmisión, escoge la banda más apropiada de acuerdo a las características del espectro y los requisitos del usuario.

Estas tres tareas son conocidas como el ciclo cognitivo o *cognitive cycle*, representado gráficamente en la Figura 2.2.

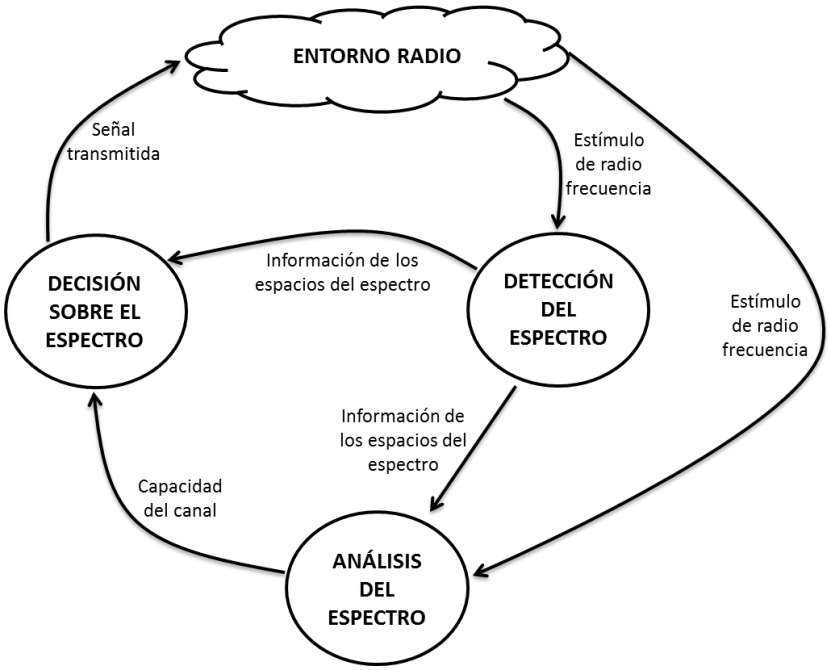


Figura 2.2: *Ciclo cognitivo*

Al tener establecida la banda del espectro de operación, se procederá a realizar una comunicación sobre ella. Sin embargo, dado que los cambios del entorno radio ocurren en tiempo y en espacio, una *Cognitive Radio* debe realizar un seguimiento de su entorno para percatarse de dichas modificaciones. Ahora bien, si existe alguna variante durante la transmisión como la aparición del usuario primario, cambio en el tráfico o movimientos de usuarios existe una función de movilidad del espectro que se realiza para brindar una perfecta transmisión.

2.2.1.2 Reconfigurable

Permite a una *Cognitive Radio* adaptarse fácilmente a un entorno radio dinámico al tener la capacidad de ajustar sus parámetros de operación en plena transmisión sin necesidad de realizar alguna modificación en sus componentes de *hardware*, dentro de los cuales se tienen [2]:

- Frecuencia de operación: Basándose en la información obtenida en su entorno radio, una *Cognitive Radio* es capaz de cambiar su frecuencia de operación a la más adecuada.
- Modulación: Una *Cognitive Radio* debe reconfigurar el esquema de modulación adaptativo dadas las condiciones del canal y las necesidades del usuario. Un ejemplo se observa en las aplicaciones sensibles al retardo, donde la tasa de datos es más importante que la tasa de error. Por lo tanto, debe ser seleccionado un esquema de modulación que permita una alta eficiencia espectral.
- Potencia de transmisión: Permite controlar la potencia de forma dinámica dentro de unos parámetros establecidos, donde una *Cognitive Radio* puede

reducir la potencia del transmisor a un nivel mínimo logrando así compartir el espectro con más usuarios y disminuir la interferencia.

- Tecnología de comunicación: Capaz de proporcionar interoperabilidad entre diferentes sistemas de comunicación.

2.2.2 Arquitectura física

La arquitectura genérica de un transceptor *Cognitive Radio* viene conformada principalmente por la Radio Frecuencia (RF) *front-end* y la unidad de procesamiento de banda base, donde cada componente puede ser reconfigurado a través de un bus de control. La función de la unidad de procesamiento de banda base es modular/demodular y codificar/decodificar la señal, por otro lado, el RF *front-end* al recibir una señal, se encarga de amplificarla, mezclarla y convertirla en analógica/digital. En la Figura 2.3 se ilustra la estructura de un transceptor *Cognitive Radio*.

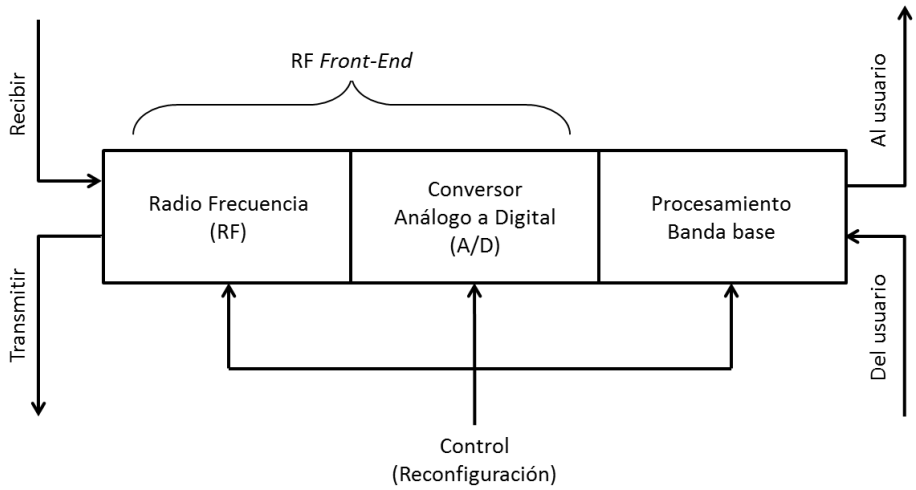


Figura 2.3: *Transceptor de un Cognitive Radio*

La principal característica del RF *front-end* es la capacidad de detectar una banda ancha en cualquier parte del largo rango del espectro de frecuencias, gracias a la tecnología *hadware* implementada, la cual involucra una antena de banda ancha, un filtro adaptativo y un amplificador de potencia. A su vez, la detección del espectro le permite hacer medidas en tiempo real obteniendo información del entorno radio. Los componentes de una RF *front-end* en una *Cognitive Radio* son los siguientes:

- Filtro de RF: Selecciona la banda deseada con un filtro pasa banda del receptor de señales de RF.
- Amplificador de bajo ruido (ABR): Amplifica la señal deseada mientras simultáneamente minimiza la componente del ruido.
- Mezclador: La señal recibida es mezclada con la frecuencia del generador local de RF y es llevada a banda base o a una frecuencia intermedia.

- Oscilador controlado por voltaje (VCO): El VCO genera una señal de una frecuencia específica con un determinado voltaje para ser mezclada con la señal de entrada. Este procedimiento logra que la señal sea llevada a banda base o a una frecuencia intermedia.
- *Phase locked loop* (PLL): Asegura que la señal sea llevada a una frecuencia específica. También es usado para generar frecuencias precisas con una fina resolución.
- Filtro seleccionador de canal: Es usado para capturar un canal deseado, rechazando así los canales adyacentes. Existen dos tipos de filtros seleccionadores: el receptor de conversión directa, usando filtros pasa bajo para los canales deseados y el receptor superheterodino adoptando un filtro pasa banda.
- Control automático de ganancia (CAG): Mantiene el nivel de potencia a la salida de un amplificador constante sobre un ancho rango de niveles de señal de entrada.

En la Figura 2.4 se ilustra la arquitectura de un RF *front-end.*

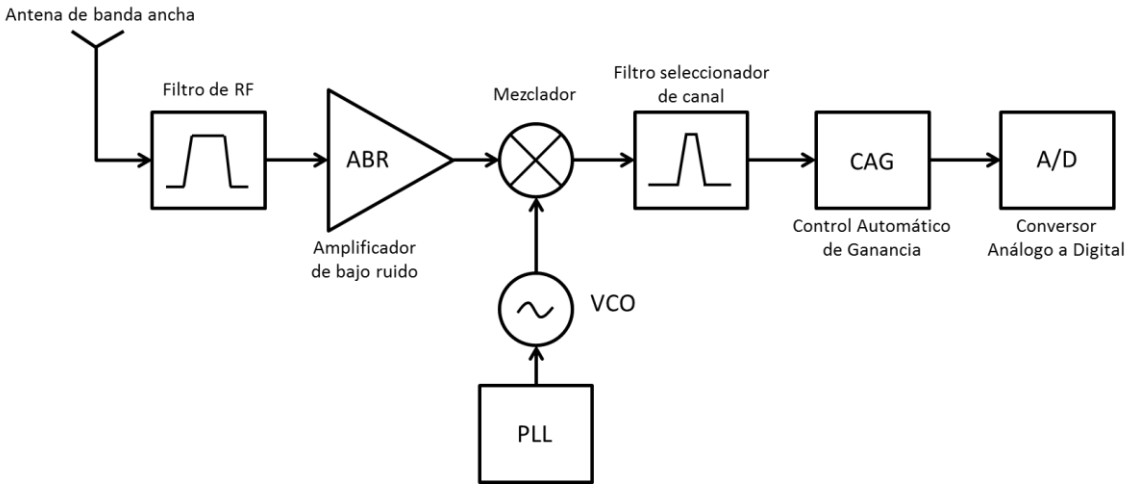


Figura 2.4: *Arquitectura del RF front-end*

Para poder detectar la señal de los usuarios primarios en la arquitectura RF *front-end*, la señal de banda ancha recibida es muestreada a alta velocidad por el conversor análogo/digital y luego se realizan las medidas. No obstante, existen limitaciones, una de ellas es el ancho de banda de la antena de recepción al recibir señales de diversos transmisores operando a varios niveles de potencia, localidades y anchos de banda, por esta razón, el RF *front-end* debe tener la capacidad de detectar señales débiles a lo largo de todo el rango espectral.

La detección requiere de una velocidad de varios GHz por parte del conversor análogo/digital siendo necesario reducir el nivel de señales fuertes a su entrada, las cuales pueden estar ubicadas en cualquier parte del rango del espectro. Esta reducción es lograda mediante filtros sintonizables. Otra alternativa conlleva a uso de múltiples

antenas, realizando así un filtrado en el domino espacial en lugar del dominio de la frecuencia.

2.2.3 Arquitectura de red

Los elementos que conforman una arquitectura de red *Cognitive Radio* pueden ser clasificados en dos grupos: La red primaria (RP) o red licenciada y la red secundaria (RS) también llamada red *Cognitive Radio,* red de acceso dinámico al espectro o red no licenciada.

2.2.3.1 Red primaria (RP)

Hace referencia a las infraestructuras de red existentes, teniendo apropiada una cierta banda del espectro para su uso exclusivo. Teniendo como ejemplo al móvil común y las redes de televisión. Los principales componentes de la RP son:

- Usuarios primarios: Conocidos igualmente como usuarios licenciados, son aquellos quienes tienen una licencia para transmitir en una cierta banda del espectro, donde su acceso tiene que ser controlado por una estación base primaria sin ser afectada por las operaciones de otros usuarios sin licencia.
- Estación base primaria: Llamada también como estación base licenciada, es una componente fija de la infraestructura de RP que posee un espectro licenciado, un ejemplo viene representado por las BTS (*Base Transceiver Station*) en los sistemas celulares. Sin embargo, las estaciones base primarias no poseen ninguna capacidad *Cognitive Radio* para poder compartir el espectro con otros usuarios no licenciados.

2.2.3.2 Red secundaria (RS)

Son redes que no poseen licencias para operar en una banda específica, teniendo un acceso al espectro solo de manera oportunista. Las redes secundarias tienen dos formas de ser desplegadas: como una infraestructura de red o como una red *ad hoc*. Los componentes de la RS son:

- Usuario secundario: Conocidos igualmente como usuarios no licenciados o usuarios *Cognitive Radio*, son aquellos que no poseen ningún espectro asignado, tomando como alternativa compartir las bandas licenciadas sin interferir a los usuarios licenciados con la ayuda de funciones desarrolladas para ese propósito.
- Estación base secundaria: También llamada como estación base no licenciada o estación base *Cognitive Radio*, es una componente fija de la infraestructura de RS proporcionando una simple conexión a los usuarios secundarios. Sin ella, estos usuarios no podrían acceder a otras redes.

- Agente del espectro: Entidad de red central responsable de compartir los recursos del espectro entre diferentes redes secundarias. El agente del espectro permite la coexistencia de múltiples redes (al gestionar la información del espectro) gracias a una conexión que posee con cada una de ellas.

En la Figura 2.5 se representan los componentes que conforman la arquitectura de red de una *Cognitive Radio*, así mismo, son mostradas los tres diferentes tipos de accesos que pueden realizar los usuarios secundarios [6]:

- Acceso RS: Los usuarios secundarios acceden a su propia estación base secundaria, tanto en las bandas del espectro con y sin licencias. Además, como todas las iteraciones suceden dentro de la RS, su política de compartir el espectro puede ser diferente a la de RP.
- Acceso *Cognitive Radio ad hoc*: Los usuarios secundarios se pueden comunicar con otros usuarios secundarios a través de una conexión *ad hoc* tanto en las bandas del espectro con y sin licencias.
- Acceso RP: Los usuarios secundarios también pueden acceder a la estación base primaria a través de la banda licenciada. A diferencia de los otros tipos de acceso, los usuarios secundarios requieren de un protocolo adaptativo de control de acceso al medio (o MAC por sus siglas en ingles), que permite la itinerancia a través de múltiples RP con diferentes tecnologías de acceso.

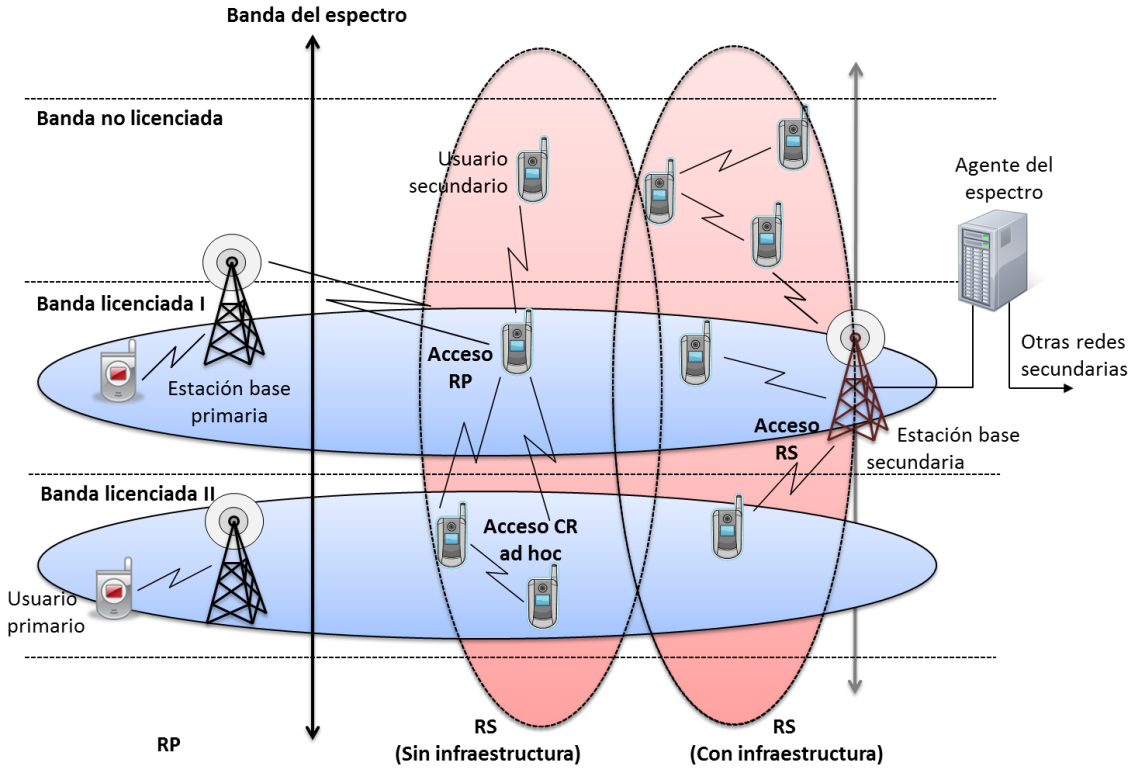


Figura 2.5: *Arquitectura de una red Cognitive Radio*

Adicionalmente, debido a la coexistencia entre las redes secundarias y las redes primarias, se deben cumplir unos requerimientos [3]:

- Evitar interferencias: los usuarios secundarios deben evitar interferir a los usuarios primarios.
- *Quality of Service* (QoS): la RS debe soportar una QoS tomando en consideración que el entorno del espectro es dinámico y heterogéneo.
- Comunicación fluida: esta debe ser proporcionada por la RS sin tomar en consideración la presencia de usuarios primarios.

2.2.4 Espectro compartido

Como se explica en [6], en la naturaleza compartida de un canal inalámbrico se requiere una coordinación en los intentos de transmisión entre los usuarios secundarios, siendo necesario en el espectro compartido el incluir muchas de las funcionalidades del protocolo MAC. En las RS, dos de los principales retos que esta posee radican en la coexistencia de los usuarios secundarios y primarios y el amplio rango de espectro disponible. Por lo tanto, las RS son clasificadas en cuatro técnicas para compartir el espectro que se detallan a continuación:

2.2.4.1 La arquitectura

La primera técnica hace referencia a como esta dividida la arquitectura, centralizada o distribuida, cuyas definiciones son desarrolladas a continuación:

- Centralizada: Aquí se encuentra una entidad central responsable de controlar los procedimientos de acceso y la asignación del espectro. Se propone una distribución de los procesos de detección es propuesta de tal forma que cada entidad en la RS envíe sus medidas sobre la ocupación del espectro a la entidad central y esta entidad logrará así un mapa de ocupación del espectro; por otro lado, ésta puede arrendar el espectro a los usuarios en una limitada región geográfica por un tiempo en específico.
- Distribuida: La asignación y acceso del espectro está basada en políticas locales que son realizadas por cada uno de los nodos distribuidos (usuarios secundarios a los cuales se les ha concedido una porción del espectro para transmitir). Esta distribución es usada también en diferentes redes de tal manera que las estaciones base compiten con sus estaciones base interferentes de acuerdo a los requerimientos de QoS de sus usuarios asignados a una parte del espectro.

Un trabajo realizado sobre la comparación de estas dos soluciones, señala que la solución de distribución generalmente sigue de cerca a la solución centralizada pero a costa del intercambio de mensajes entre los nodos.

2.2.4.2 Comportamiento de la asignación del espectro

La segunda clasificación se basa en el comportamiento de la asignación, donde el acceso al espectro puede ser con colaboración o sin colaboración:

- Con colaboración: Considera el efecto que puede causar la comunicación de unos nodos sobres los otros, gracias a que se comparten las medidas de interferencias realizadas por cada nodo hacia los demás. La técnica generalmente usada consiste en la formación de *clusters* para poder compartir la información de interferencia localmente, proporcionando así un balance efectivo entre un esquema distribuido y uno centralizado.
- Sin colaboración: Aquí solo se toma en cuenta un nodo, por lo tanto, al no considerar la interferencia de los demás, se tiene como resultado un uso reducido del espectro. Sin embargo, no es necesario un intercambio frecuente de mensajes entre vecinos como una solución en colaboración.

La solución sin colaboración por lo general se ve superada por la solución con colaboración, dado a una mejora en el rendimiento y un mayor grado de justicia. Por su parte, el degradado rendimiento de la solución sin colaboración es principalmente compensado por un intercambio de información significativamente bajo, disminuyendo así el consumo de energía.

2.2.4.3 Técnica de acceso al espectro

La tercera clasificación se divide en [3]:

- Superposición del espectro compartido: Utiliza las porciones sin uso del espectro con un razonable intervalo de guarda, para que la transmisión de los usuarios secundarios mantenga la interferencia a los usuarios primarios al mínimo.
- Espectro compartido subyacente: Conocido también como técnicas de ensanchado del espectro, consiste en transmitir una señal por debajo del nivel de ruido.

Las técnicas del espectro compartido subyacente pueden usar un alto ancho de banda al costo de un ligero incremento en la complejidad. Teniendo en cuenta este equilibrio, deben ser consideradas técnicas híbridas para las tecnologías de acceso al espectro.

2.2.4.4 Alcance

La cuarta clasificación viene enfocada a dos tipos de soluciones:

- Espectro compartido dentro de la red: Esta solución es destinada a la asignación del espectro entre las entidades de una RS, ilustrado en la figura 2.6, como consecuencia los usuarios secundarios tratan de acceder al espectro disponible sin causar interferencia a los usuarios primarios.

- Espectro compartido entre redes: La arquitectura de una *Cognitive Radio* permite que múltiples sistemas sean desplegados superponiéndose tanto en lugares como en el espectro, ilustrado en la figura 2.6.

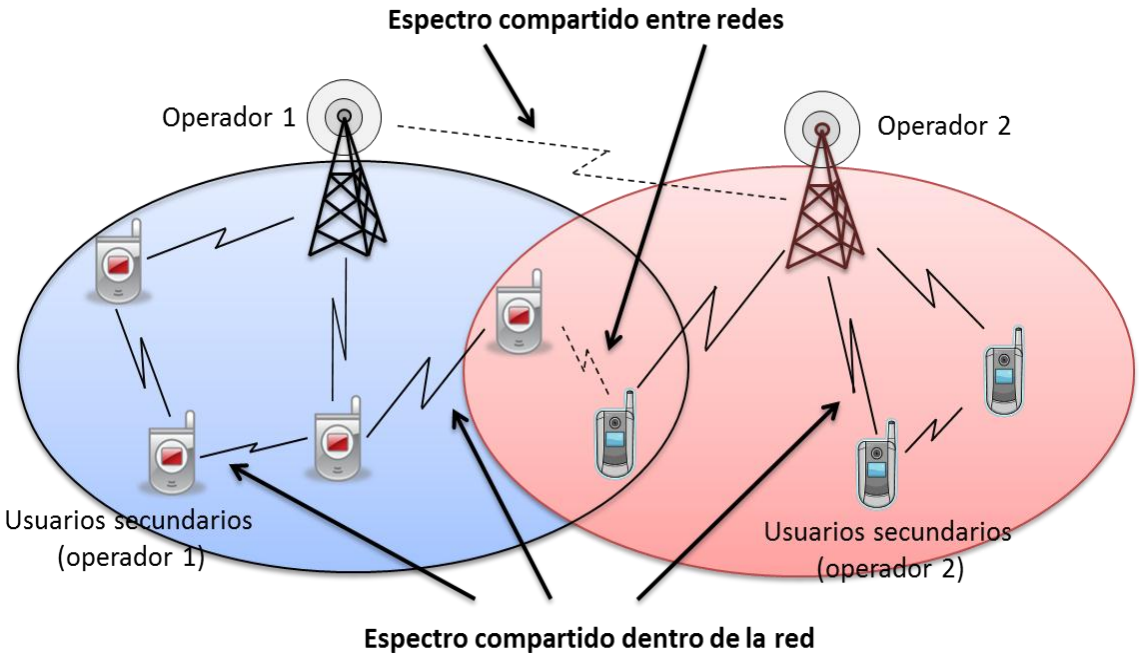


Figura 2.6: *Espectro compartido dentro y entre las redes en RS*

2.2.5 Movilidad del espectro

Como lo explica [3], la movilidad es un proceso realizado por los usuarios secundarios al cambiar su frecuencia de operación, bien sea porque las condiciones canal en donde se encuentra empeoran o el usuario primario aparece.

La movilidad del espectro da lugar a un nuevo tipo de *handoff* en las RS, conocida como *spectrum handoff*. Por su parte, los protocolos para diferentes capas de la pila de red deben adaptarse a los parámetros del canal de la frecuencia de operación. Además, ellos deben ser transparentes al *spectrum handoff* y a la latencia asociada. Por lo tanto, es esencial para los protocolos de gestión de movilidad conocer con anticipación la duración aproximada del *spectrum handoff* para poder asegurar que la comunicación de los usuarios secundarios es sometida a una degradación de rendimiento mínimo.

2.2.6 Algunos desafíos de las redes secundarias

Según [3] y [6], se presentan varios retos que deben ser investigados para los desarrolladores de las RS:

- Para los diferentes requisitos de QoS y la estimación de capacidad del canal son necesarios nuevos modelos de decisión adaptativos al espectro.

- Un canal común de control (CCC) facilitaría muchas funcionalidades del espectro compartido. Pero se tienen limitaciones: primero, la implementación de un CCC fijo es inviable, debido a que el canal debe estar desocupado para cuando el usuario primario desee usarlo; segundo, en las RS un canal común para todos los usuarios depende altamente de la topología y varía con el tiempo. Como consecuencia, se pueden plantear CCC locales para un grupo de nodos.
- Los usuarios secundarios deben ser capaces de medir con precisión o estimar la interferencia de los usuarios primarios cercanos.
- Para poder detectar con fiabilidad las señales de los usuarios primarios a través de la detección del espectro, existe una complicación en la implementación de los circuitos del conversor análogo/digital necesarios para muestrear la banda ancha de la señal teniendo un rango dinámico potencialmente grande, por lo tanto es necesario reducir el rango dinámico de la señal antes del conversor análogo/digital.
- Lo más probable será que en la RS se obtenga una combinación del espectro con licencia y sin licencia. Como resultado, las RS deben apoyar las operaciones en la decisión del espectro tanto de los usuarios primarios como de los usuarios secundarios considerando sus diferentes características.
- La nueva movilidad y los enfoques de gestión de conexión tienen que ser diseñados para reducir el retardo y la perdida de información durante el *spectrum handoff*. Igualmente, son necesarios nuevos algoritmos para garantizar que las aplicaciones no sufrirán una degradación en su rendimiento cuando tengan que ser transferidas a otras bandas de frecuencia disponible debido a la aparición del usuario principal.
- Las pérdidas de propagación están estrechamente relacionadas con la frecuencia y la distancia, por lo tanto, a medida que la frecuencia de operación aumente, las perdidas por propagación se incrementarán, teniendo como resultado una disminución en el rango de transmisión. No obstante, si se aumenta la potencia de transmisión para compensar el incremento de las pérdidas de propagación, puede que crezca la interferencia a otros usuarios.
- Dependiendo del nivel de interferencia y el esquema de modulación de una banda del espectro, cambia la tasa de error del canal.

2.3 Televisión Digital Terrestre

Según [7], del resultado de la tecnología digital aplicada a la señal de televisión resulta la Televisión Digital Terrestre (TDT), transmitiéndose por la atmósfera sin necesidad de cable o satélite, recibiéndose por medio de antenas UHF convencionales, como la ilustrada en la Figura 2.7, realizándose en España el apagado definitivo de la televisión analógica el 2 de abril del 2010.

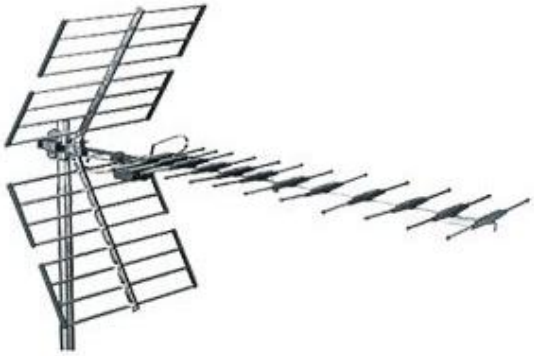


Figura 2.7: *Antena UHF convencional*
Fuente: *extraída de* [8]

A nivel mundial se han planteado tres diferentes estándares de TDT: ATSC (*Advanced Television Systems Committee*) originado en Estados Unidos, ISDB (*Integrated Services Digital Broadcasting*) de origen Japonés y DVB-T (*Digital Video Broadcasting - Terrestrial*) usado en España y en otros 110 países a lo largo del mundo, encontrándose todos los de la Unión Europea.

La modulación COFDM es la usada por el estándar DVB-T, proporcionando así una robusta señal y una protección contra los ecos producidos por los múltiples caminos que toma la señal en propagación, facilitando un reuso de las mismas frecuencias en las antenas vecinas.

2.3.1 Característica del estándar DVB-T

Como se explica en [9] y [10], las principales características del estándar DVB-T son:

- El sistema DVB-T introduce un intervalo de guarda para evitar la interferencia intersimbólica y protegerse contra los ecos.
- Canalización de 6MHz, 7MHz y 8MHz.
- Calidad SD (significa Definición Estándar) y HD (significa Alta Definición), ambas referidas a formatos de emisión de señales tanto analógicas como digitales. La SD fue la resolución de video dominante durante décadas, responsable de proporcionar suficiente calidad de imagen para televisores analógicos convencionales, mostrando solamente 720 x 576 píxeles (576 líneas horizontales activas entrelazadas). La HD brinda una calidad de imagen muy superior a la televisión estándar, siendo éstas más nítidas, limpias, excepcionalmente detalladas y con una gran riqueza de colores, generando así una sensación de realismo total; la HD consta de 720 líneas progresivas horizontales (720p, imágenes más claras y nítidas) o 1080 línea horizontales entrelazadas (1089i, mayor detalle en la imágenes).
- La modulación COFDM (*Coded Orthogonal Frecuency Division Multiplexing*) divide la información en una cantidad de portadoras moduladas con una tasa binaria

baja para que el tiempo de símbolo sea mayor que la dispersión temporal. Los modos de transmisión dependen del número de portadoras usadas, para el modo "2k" son 1075 portadoras y el modo "8k" son 6817.

- Las portadoras de datos del COFDM usan diferentes niveles de modulación QAM, QPSK y tasas de código.
- Utiliza el método de codificación de audio y video MPEG-2.

2.3.2 Beneficios de la TDT

El cambio de la televisión analógica a la digital trae consigo una cantidad de beneficios, nombrados a continuación [7]:

2.3.2.1 Mayor número de canales de televisión

Permite el uso del espectro radioeléctrico mucho más eficiente, ya que el ancho de banda necesitado por la televisión digital es mucho menor que la requerida por la televisión analógica, brindando la posibilidad de transmitir 4 o más canales digitales donde anteriormente solo se podía transmitir solo uno canal analógico, ilustrado en la Figura 2.8.

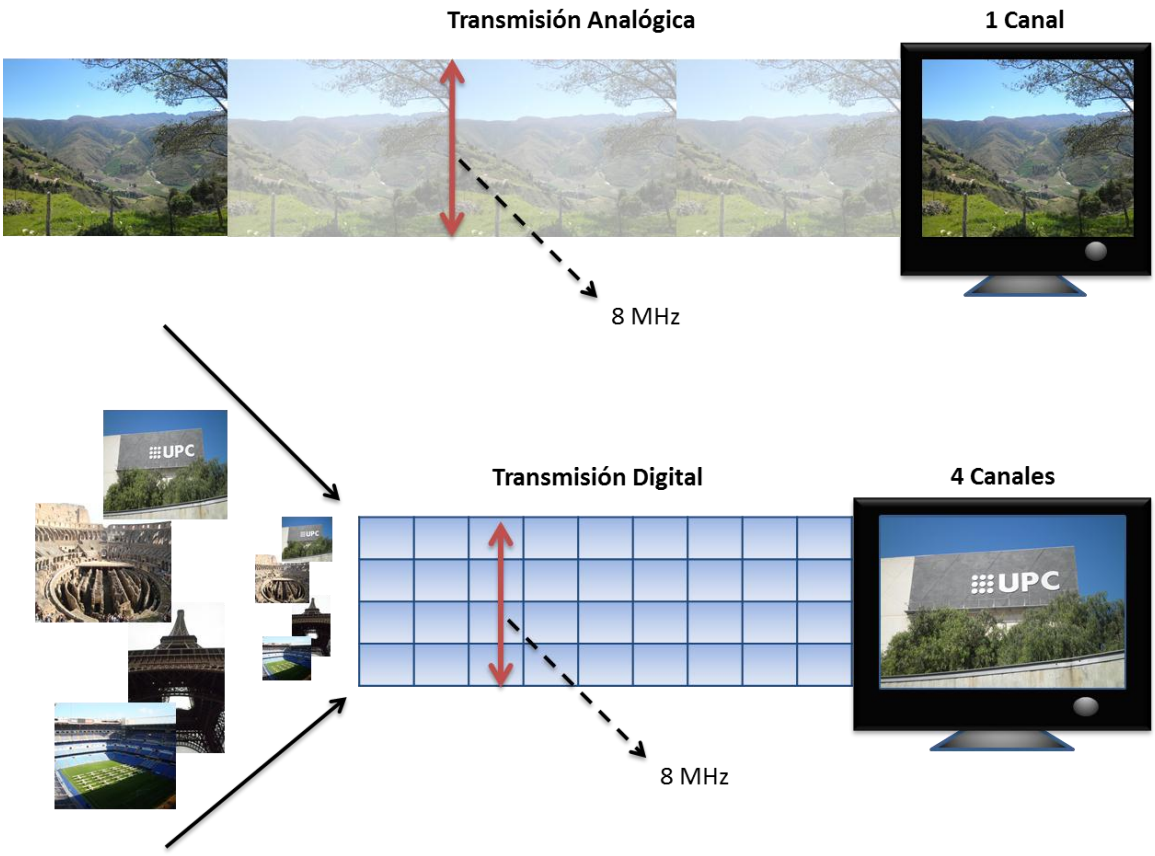


Figura 2.8: *Número de canales, transmisión digital y analógica*

2.3.2.2 Mejor sonido e imagen

Al digitalizar la información se obtiene como resultado una televisión con menos interferencias, ruidos, ni doble imagen. Además, es posible la transmisión de la imagen en formato panorámico, el 16:9, a diferencia del formato tradicional de la televisión analógica, el 4:3, ilustrado en la Figura 2.9.

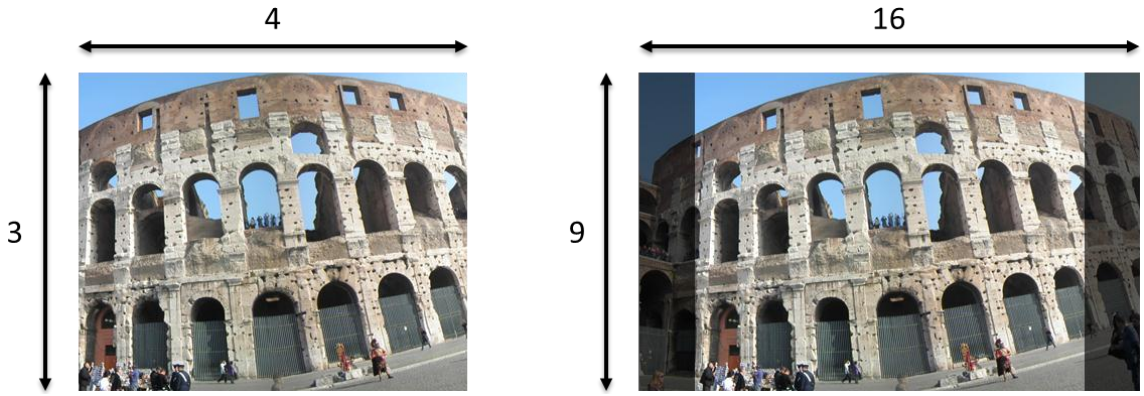


Figura 2.9: *Formatos de las imágenes en una transmisión de televisión*

Las tecnologías de televisión digital brindan la posibilidad de elegir entre múltiples subtítulos así como una mejora en la calidad de sonido, donde los canales de televisión pueden ser recibidos en estéreo o con sonido envolvente. Todo esto es posible utilizando un ancho de banda muy inferior a los de la televisión analógica y permitiendo al usuario escoger la banda de audio que desee.

2.3.2.3 Menores costos de transmisión

A pesar del costo que puede traer la modernización de los equipos de televisión, con el tiempo, la transmisión empleando una tecnología digital resulta menos costosa, debido a esto, es posible un uso más eficiente de la potencia de emisión de los transmisores. Sin embargo, es necesario también un gasto por parte de los usuarios para poder recibir este tipo de señales, como es la compra de un decodificador o de un televisor digital.

2.3.2.4 Más servicios

El mejor aprovechamiento de ancho de banda permite a la televisión digital ofrecer una gran cantidad de servicios, como lo son: teletexto digital con un entorno mucho más amigable y visual, canales de radio, guía electrónica de programas, servicios públicos como tráfico, meteorología, aeropuertos, etc. Así mismo, existirán unos servicios interactivos que permitirán al usuario influir en los programas que va a recibir, por ejemplo, el acceder a información complementaria sobre los servicios publicitarios de su interés e incluso el proceder a realizar su compra *online* usando su teléfono o conexión a internet.

2.4 *TV White Spaces*

Tras culminar el proceso de digitalización de la banda analógica de televisión y convertirla en la TDT, se observa un uso del espectro radioeléctrico más eficiente, permitiendo que largas porciones del espectro en la banda UHF se encuentren sin uso, siendo estos espacios conocidos como *TV White Spaces* [11].

La tecnología C*ognitive Radio* esta siendo altamente investigada con el fin que los usuarios secundarios obtengan el mayor beneficio de estos *TV White Spaces*, pues, gracias a la propiedad de transmisión estática que poseen las bandas de televisión es posible conocer con mayor facilidad su ubicación en el espectro mediante diversos métodos, a diferencia del dinamismo encontrado en otras bandas (telefonía móvil).

2.4.1 Técnicas para definir *TV White Spaces*.

Según [12], se tienen tres técnicas principales usadas por los usuarios secundarios para detectar los *TV White Spaces*, explicadas a continuación:

2.4.1.1 Detección del espectro

Involucra principalmente la realización de medidas dentro de un canal determinado para conocer si existe la presencia de algún servicio. Una vez que el canal es definido como vacante, el proceso de detección es realizado a los canales adyacentes para poder determinar que tipo de restricciones podrían haber en la potencia de transmisión.

Las técnicas para detección del espectro que están siendo aplicadas son cada vez más sofisticadas produciendo una mejora en los niveles de sensibilidad, a cambio de usar un conocimiento detallado de las características de la señal de servicio. No obstante, estas técnicas son aplicables solo si las características de la señal de servicio son conocidas y si los usuarios secundarios implementan una detección de señal que se adapte a algún cambio de estas características.

Una ventaja significativa en la detección del espectro es que no se basa en alguna infraestructura, como lo es una conexión a una base de datos. Esto podría ser importante para cuando los usuarios secundarios son usados para proporcionar una conectividad local entre múltiples dispositivos o donde el acceso de internet es limitado. Sin embargo, los umbrales de detección deben ser muy bajos con el fin de proteger los servicios existentes, esto implicaría una reducción en el numero de canales disponibles, así como un incremento en la complejidad.

Es necesario que los usuarios secundarios estén realizando de manera periódica un monitoreo del canal, permitiéndoles detectar cambios en la presencia del servicio, en el canal previamente considerado como libre o en uno o más canales adyacentes.

Se tienen como parámetros claves en la detección de espectro:

- Umbral de detección.
- Monitoreo periódico de los canales que han sido detectados como vacantes.
- Duración del muestreo.

Los métodos de detección pueden ser divididos en dos:

- Detección de energía: Detecta la potencia de la señal en el canal que se esta estudiando. El detector puede ser de banda estrecha con la posibilidad que se deslice a través del canal o de banda ancha que coincida con el ancho de banda de la señal. Una desventaja es la baja sensibilidad requerida debido al nivel de ruido y las posibilidades de una falsa detección. Una ventaja del detector de energía es que es independiente del sistema radio a detectar, adaptándose a cualquier sistema introducido en la banda.
- Cualidades del detector: Usará ciertas características conocidas de la señal que va que ser detectada, pudiendo ser: el preámbulo, la portadora de la señal piloto, señales continuas o dispersadas correspondiente a una señal OFDM, cierta secuencia o periodicidad de la señal en tiempo o frecuencia. Es de destacar que las cualidades del detector no son por lo general demoduladores de señales para poder acceder a toda su información, sin embargo, son capaces de detectar el tipo de señal, como por ejemplo DVB-T o DVB-T2, y así disminuir las posibilidades de falsas alarmas.

2.4.1.2 *Beacons*

Son señales que son usadas para indicar si los canales están siendo ocupados por los servicios o libres. El uso de estas señales puede aliviar los requisitos de rendimiento de los usuarios secundarios que usen la detección de espectro aumentando la probabilidad de detección.

Existen diferentes configuraciones de *beacons*, explicadas a continuación:

- *Beacon* habilitador: Si el *beacon* es detectado, el canal señalado puede ser usado.
- *Beacon* inhabilitador*:* Si el *beacon* es detectado, el canal se considera ocupado y no puede ser usado por los usuarios secundarios.
- *Beacon* como canal piloto: Identifica los canales usados locamente, por ejemplo una base de datos local.

2.4.1.3 Geo-localización

Con esta técnica, cada usuario secundario mide su ubicación y consulta con la base de datos “geo-localización” para fijar que frecuencias pueden ser usadas por el usuario en

ese lugar. Esta base de datos contiene la información de los espacios libres del espectro en una zona determinada.

Hasta que los usuarios secundarios no obtengan de manera exitosa la información proporcionada por la base de datos de la existencia de algún canal libre en su ubicación, éstos no tienen permitido transmitir. Por lo tanto, es necesario que el acceso inicial a la base de datos se haga por algún otro medio usando frecuencias libres. El acceso es representado por dos casos:

- En el caso de la operación Maestro-Esclavo, se tiene que un usuario secundario esta conectado a un punto de acceso (llamado maestro), permitiéndole actuar como un *proxy* para la consulta de la base de datos de un solo usuario secundario o un grupo de ellos (llamados esclavos). El maestro debe asegurar siempre de una manera adecuada que los esclavos operen de acuerdo a las limitaciones enviadas por la base de datos.
- Para el caso donde exista varios puntos de acceso disponibles conectados entre sí, se puede usar la triangulación o alguna otra red basada en el método de posicionamiento para medir la ubicación de los usuarios secundarios. Las medidas de las ubicaciones deben se usadas por el maestro para preguntar a la estación base por la disponibilidad de los canales radio, anchos de banda y las potencias máximas de transmisión.

2.4.2 Organismos reguladores del acceso de los usuarios secundarios a los *TV White Spaces*

Como se explica en [1], son varios los países alrededor del mundo donde existe un organismo regulador responsable del acceso de los usuarios secundarios a los *TV White Spaces*. Todos hacen uso de un Cuestionario Regulatorio creados por ellos mismos, el cual busca obtener una visión razonablemente "unificada" sobre el estado de regulación de los *TV White Spaces*. El cuestionario es usado por los siguientes organismos: BNetzA (Alemania), FICORA (Finlandia), PTS (Suecia), Ofcom (Reino Unido), FCC (Estados Unidos), iDEA (Singapore), KCC (Korea) y CEPT (Unión Europea). A continuación se habla un poco de dos de los representantes con mayor influencia en el acceso de los usuarios secundarios a los *TV White Spaces*, siendo estos Reino Unido y Estados Unidos.

2.4.2.1 Estados Unidos

El FCC (*Federal Communication Commission*) propone en el 2004 que los dispositivos *Cognitive Radio* puedan acceder a las bandas de televisión; en noviembre del 2008, el FCC permite el uso de los *TV White Spaces* por parte de los usuarios secundarios (tanto fijos como móviles). Además, se decidió que para la protección de los usuarios primarios serian usadas ambas técnicas, geo-localización y detección de espectro.

Sin embargo, en la publicación más reciente (septiembre del 2010), el FCC elimina el requisito de detección para los usuarios secundarios con la capacidad de geo-localización.

Asimismo es discutido como debe ser el acceso de los usuarios secundarios, concluyéndose que la mejor manera para facilitar nuevas aplicaciones es vía exento de licencias.

2.4.2.2 Reino Unido

Ofcom, ha sido el promotor vanguardista en el acceso por parte de usuarios secundarios a los *TV White Spaces* en Europa, emitiendo una declaración el 13 de diciembre de 2007 considerando por primera vez el uso de los *TV White Spaces* siempre y cuando no cause interferencia perjudicial a los usuarios primarios.

Posteriormente, para su nueva publicación en julio de 2009, Ofcom evaluó tres mecanismos para poder identificar los *TV White Spaces*: detección del espectro, geo-localización y *beacons*. En él se concluye que la transmisión de *beacons* no será considerada para el futuro, debido a que se requiere una costosa infraestructura sin poder garantizar que la interferencia perjudicial pueda ser evitada todo el tiempo a los usuarios primarios. Además, observa que existen desventajas para los otros dos mecanismos, *beacons* y geo-localización, decidiendo así trabajar con ellos. No obstante, a corto plazo concluye que el mecanismo más importante es la geo-localización.

3 METODOLOGÍA

El siguiente capítulo tiene como objetivo explicar de forma general cuales son los pasos necesarios para conseguir la representación de los *White Spaces* de cualquier tamaño en una herramienta de planificación de redes radio, mencionados a continuación:

3.1 Recopilar información.

En una primera fase de documentación deben adquirirse los datos necesarios para reproducir el entorno radioeléctrico, esto es:

- Definir la banda de frecuencia a estudiar.
- Buscar las ubicaciones de los transmisores que trabajan en esa banda.
- Buscar los canales frecuenciales que se usan.
- Buscar las potencias de los transmisores.
- Buscar los tipos de antenas, con sus respectivas alturas y azimut para cada transmisor.
- Buscar los ficheros (mapa de relieve) y límites cartográficos de la zona de estudio.
- Definir el modelo de propagación para las simulaciones de cobertura.

3.2 En la herramienta de planificación.

En la segunda fase, una vez recopilada toda la información necesaria para realizar el estudio de los *White Spaces* en una zona determinada, todos estos elementos serán ingresados en la herramienta de planificación de la siguiente manera:

- Crear un nuevo proyecto.
- Seleccionar el sistema cartográfico adecuado en función de los ficheros a ingresar.
- Descargar los ficheros responsables de mostrar un mapa de relieve de la zona a estudiar.
- Crear los emplazamientos en donde serán ubicados los transmisores en el mapa.
- Definir los canales a estudiar.
- Definir las antenas a usar.
- Crear los transmisores, indicando en cada uno de ellos sobre que canal transmitirá.
- Delimitar la zona de trabajo correspondiente a la comarca a estudiar.
- Representar los municipios en la comarca.
- Obtener las coberturas unificadas de los transmisores que emitan sobre un mismo canal.

- Representar las coberturas de los *White Spaces* de cada canal ocupado.
- Representar nuevas coberturas de *White Spaces,* las cuales comprendan el territorio en común de las coberturas de los *White Spaces* de los canales ocupados, representando así aquellas zonas en donde sea posible encontrar una mayor cantidad de espectro disponible. Las nuevas coberturas de *White Spaces* son formadas por las intersecciones entre las coberturas de los *White Spaces* de canales ocupados consecutivos.
- Conocer el tamaño de *White Space* que representa cada cobertura de *White Space* creadas dada su ubicación en la banda.
- Indicar en el nombre de cada una de las coberturas de *White Spaces* encontradas el tamaño que representan y que canales la conforman.
- Activar las coberturas que se deseen visualizar en la herramienta de planificación de radio y colocar el puntero sobre el mapa para observar la disponibilidad en el espectro de un determinado punto.

3.3 Uso en base de datos.

Esta representación gráfica de los *White Spaces* en un punto geográfico concreto puede ser usada directamente por usuarios que requieran espectro libre para un uso secundario. Además la información conseguida sobre el posible uso de los *White Spaces* de diversos tamaños para cualquier coordenada geográfica de la zona de trabajo, sirve para la creación de una base de datos, la cual respondería a las solicitudes realizadas por usuarios secundarios para conocer la disponibilidad del espectro tras enviar su ubicación en el mapa.

4 DESARROLLO

El siguiente capítulo tiene como objetivo explicar los diferentes pasos realizados para obtener la representación de los *White Spaces* de la banda de televisión en la comarca del Baix Llobregat con la herramienta de planificación de radiofrecuencia Atoll. Dicho proceso parte de la creación de un nuevo proyecto, el cual esta basado en estudios realizados anteriormente en el GRCM. Posteriormente se explican los pasos para clasificar los transmisores en función de los canales que transmiten en Atoll, la forma en que fue definida la zona de trabajo (comprendiendo solo el territorio ocupado por el Baix Llobregat junto con los municipios que lo conforman) y el modo de representar el territorio cubierto por un *White Space* en un canal ocupado de la banda. Por ultimo son definidas las dos formas de representar los diferentes tamaños de *White Spaces* en el Baix Llobregat.

4.1 Nuevo proyecto

Para la representación de los *White Spaces* con la herramienta de planificación de redes radio Atoll, es necesario trabajar bajo un nuevo documento basándose en un *Project Template*, al igual que en [13] se utilizó la plantilla GSM GPRS EDGE para hacer la planificación de la red de DVB (*Digital Video Broadcasting*).

Luego fueron descargados los ficheros tipo *Digital Elevation Model* (DEM), encargados de mostrar un mapa de relieve de la ciudad de Barcelona y alrededores, éstos también son utilizados por los modelos de propagación para calcular la difracción debida al suelo.

Para la proyección de los mapas descargados, se tuvo que verificar el sistema cartográfico que los define (en la barra de herramientas de Atoll la opción Document/Properties. Para el caso de Barcelona y sus alrededores la proyección que le corresponde tiene como nombre WGS 84/ UMT zone 30N y fue elegido un *Display* de nombre WGS 84, permitiendo visualizar las coordenadas del mapa en la latitud y longitud, ilustrado en la Figura 4.1.

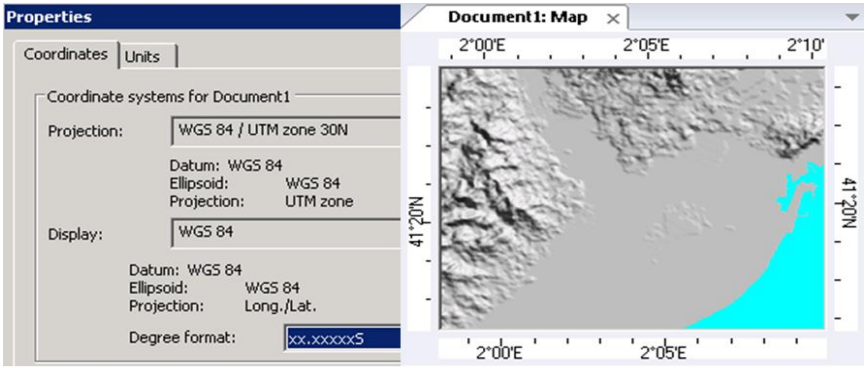


Figura 4.1: *Sistema de coordenadas definido en Atoll, proyección y display*

4.2 Inicialización de parámetros

La información de los elementos a considerar en el proyecto se tomo de estudios anteriores realizados en el GRCM. En concreto las siguientes informaciones se detallan en [13]:

- *Sites* o emplazamientos, con su respectiva latitud, longitud y altitud (34 en total).
- Antenas emisoras: 1 panel (sin cola), 2 paneles, 3 panales, 4 paneles.
- Conocimiento de la banda de televisión de Cataluña, donde los canales son enumerados desde el 21 hasta el 69, teniendo solo 21 ocupados clasificándose en 4 grupos: Estatales, Nuevos Estatales, Autonómicos y Locales; con su respectiva frecuencia inicial y final.
- Características de transmisores en cada emplazamiento: tipo de antena, azimut deseado, altura de la antena y potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE).
- Modelo de propagación por difracción ITU-526, con un radio de calculo de unos 100.000m a una resolución de 500m (de nombre *Main Resolution*).
- Los canales ocupados de televisión fueron considerados como libres en aquellos puntos del mapa cuya intensidad del campo recibido por sus transmisores fuese inferior de 56 dBμV/m.

Dado que se esta trabajando con una plantilla GSM GPRS EDGE, se manejaron algunos recursos usados para una planificación y optimización de una red GSM, como: frecuencias, BSIC, canales.

4.2.1 Frecuencias

Según [14], las frecuencias son gestionadas en tres niveles: bandas de frecuencias, luego en dominios y finalmente en grupos; aspecto que en este proyecto fue asignado manualmente.

Las bandas de frecuencias deben ser fijas y representan el nivel más alto de los tres en un proyecto GSM GRPS EDGE, siendo principalmente usadas por los transmisores. Solo se definió una banda de frecuencia responsable de agrupar a todos los canales de la banda de televisión de Cataluña, teniendo como características:

- **Nombre:** DVB-T Total.
- ***Frequency* (MHz):** 470.
- ***Channel width* (kHz):** 8.000.
- ***First channel*:** 21.
- ***Last channel*:** 61.

El dominio representa un subconjunto de frecuencias de una banda, y el grupo se encuentra dentro de un dominio. Se creó para este proyecto uno de cada uno con los siguientes valores:

- **Nombre dominio de frecuencia:** DVB-T total.
- **Pertenece a la Banda de frecuencia:** DVB-T Total.
- **Grupo de frecuencia:** Canales DVT.
  - **Min:** 21.
  - **Max:** 69.

Además se definió un tipo de celda con la que trabajará cada transmisor, llamada Cell Total, conteniendo a su vez el dominio de frecuencia definido anteriormente.

4.2.2 BSIC.

El *Base Station Identity Code* o BSIC, se asigna a un BCCH para poder identificar a un transmisor en una zona determinada. Puede ser un número escrito en octal o decimal, [14]. Para cada canal de televisión ocupado en Cataluña se asignó un BSIC, con el objetivo de poder identificar la posición espectral de los *White Spaces*, aunque al final no fue de gran utilidad. Los valores se observan en la Tabla 4.1.

Canales	BSCI octal
24	0
26	1
27	2
30	3
31	4
33	5
34	6
36	7
39	10
40	11
44	12
45	13
46	14
47	15
48	16
61	17
64	20
66	21
67	22
68	23
69	24

Tabla 4.1: *BSIC asignados a los Canales ocupados de Televisión de Cataluña*

4.2.3 Canales

Como lo explica [14], los TRXs definen a los canales y las frecuencias, exitiendo diferentes tipos de TRX, pero el usado en este proyecto para mostrar la cobertura de cada canal en la banda de televisión fue el BCCH (*Broadcast Control Channel*).

Por lo tanto, para poder representar los 21 canales ocupados en Atoll, primero se colocaron los 34 emplazamientos con sus nombres y coordenadas geográficas en el mapa de Barcelona; después se identificó cuales son los canales que se encuentran transmitiendo de forma activa en cada *site*, como por ejemplo, para el emplazamiento Castelldefels en la Tabla 4.2 se muestra los 8 canales que en él se transmiten con sus respectivas frecuencias.

Canal	Frecuencia inicial (MHz)	Frecuencia final (MHz)
Canal 33	566	574
Canal 36	590	598
Canal 61	790	798
Canal 64	814	822
Canal 66	830	838
Canal 67	838	846
Canal 68	846	854
Canal 69	854	862

Tabla 4.2: *Canales activos en el emplazamiento Castelldefels*

Una vez conocida esta información, se definió un nuevo transmisor para cada canal de televisión, 8 en total, ingresando a las propiedades de cada uno, modificándose los siguientes datos[1]:

- Pestaña General: Se coloca el nombre y se elige el *site* en donde se quiere ubicar el transmisor. La estructura definida para el nombre se compone de la siguiente manera: Canal_*número del canal*_*grupo al cual pertenece el canal*[2]_*nombre del emplazamiento*. Ejemplo: Canal_24_L_Alella.
- Pestaña Transmitter: Se introduce la EIRP (*Equivalent Isotropically Radiated Power*), altura y modelo de antena principal del transmisor.
- Pestaña TRXs: Se selecciona el nombre de la celda a la cual pertenece (Cell Total), el BSIC correspondiente al canal que se encuentra, el máximo número de TRXs (1) y por último se define un solo TRX (tipo BCCH) a usar, indicándose sobre que canal será enviado.

[1] Los datos definidos entre paréntesis son fijos para todos los transmisores creados en el proyecto.
[2] Son 4 las iniciales que representan los grupos de canales de televisión en Cataluña: L = Local, E = Estatales, NE = Nuevos Estatales, A = Autonómicos.

En la Figura 4.2 y Figura 4.3 se exponen las pestañas General y TRXs respectivamente, mostrando los datos una vez colocados para el transmisor del canal 64 ubicado en Castelldefels.

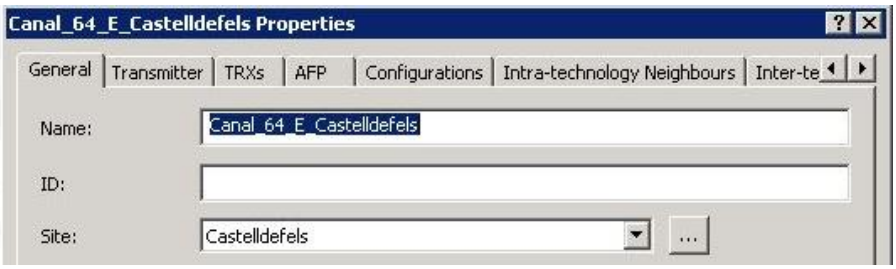


Figura 4.2: *Pestaña General del transmisor del canal 64 en el emplazamiento Castelldefels*

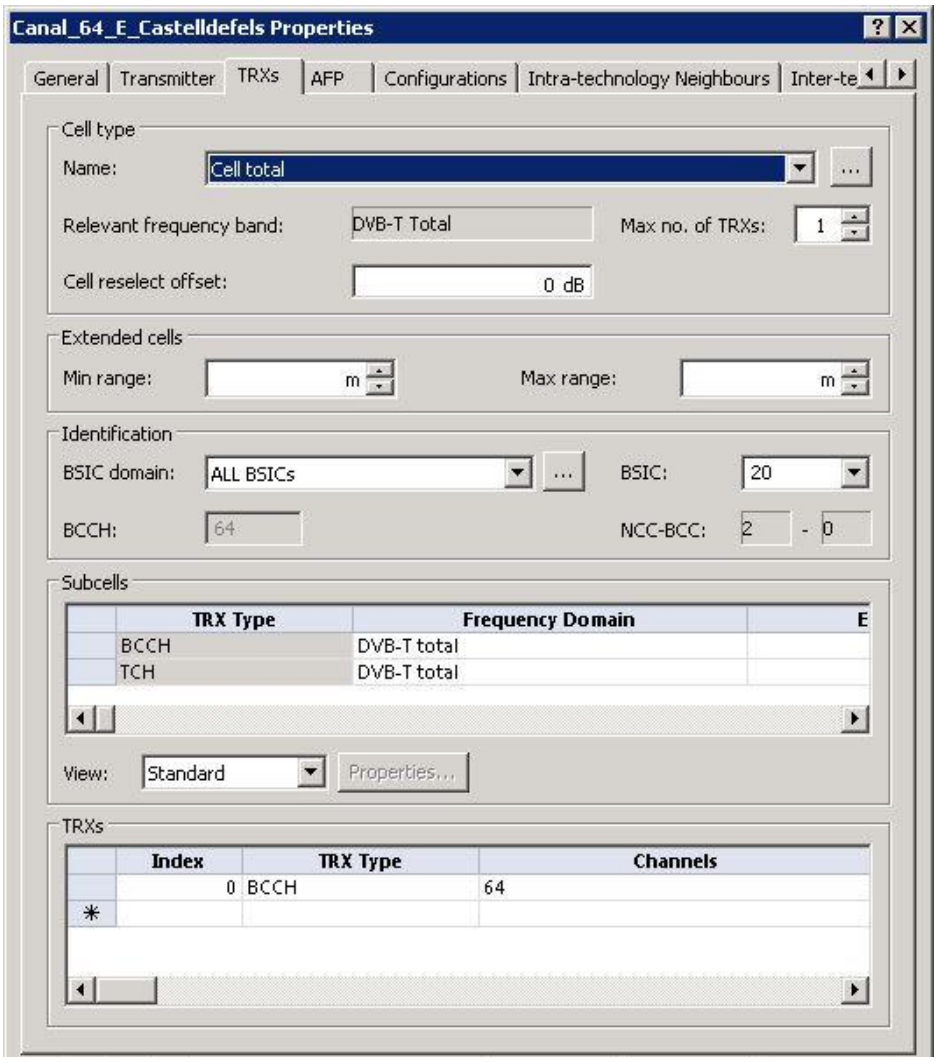


Figura 4.3: *Pestaña TRXs del transmisor del canal 64 en el emplazamiento Castelldefels*

El mismo procedimiento se realizó para el resto de canales a transmitir en dicho emplazamiento. Una vez terminados se observaron en la carpeta *Transmitters* de la pestaña *Network* en Atoll, agrupando los transmisores creados por *site* (utilizando la opción *Group By*), como se ilustra en la Figura 4.4.

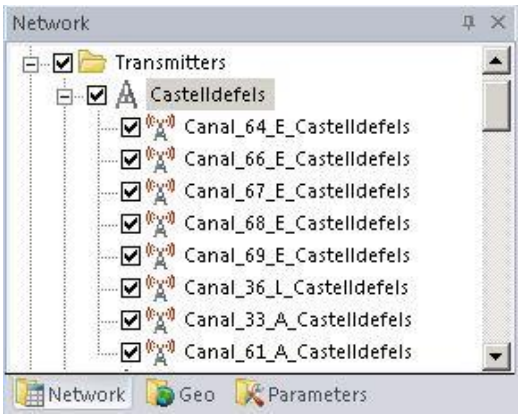


Figura 4.4: *Transmisores de Castelldefels*

De esta forma fue posible representar para cada emplazamiento los canales que en ellos se transmiten, creando así 341 transmisores en total, los cuales abarcan los 21 canales ocupados de televisión de Cataluña.

Una vez finalizada la asignación, en la pestaña *Network* del Atoll, los *Transmitters* fueron agrupados por *Channels* para facilitar trabajar con ellos, al momento de realizar las simulaciones de cobertura por canal, ilustrándose en la Figura 4.5. En la Figura 4.6 se aprecia los transmisores de un canal determinado (canal 24).

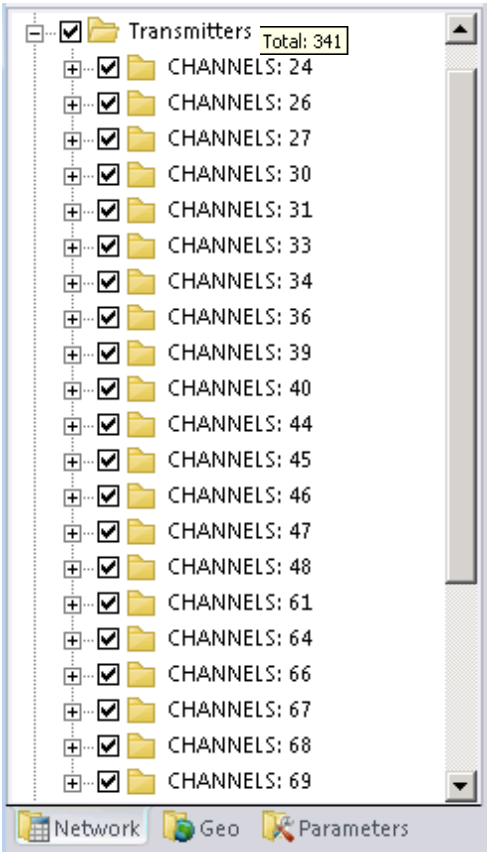


Figura 4.5: *Transmisores agrupados por canales*

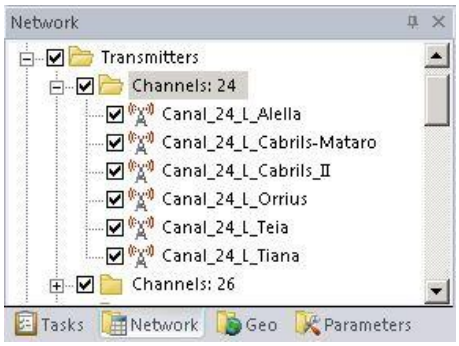


Figura 4.6: *Transmisores del canal 24*

4.3 Zona de trabajo

En Atoll, se usa el concepto de *Computation Zone* para especificar la zona de trabajo donde se realizan los estudios de cobertura, reduciendo el área de cálculo y por ende el tiempo de cálculo.

Para el desarrollo de este proyecto se decidió hacer una búsqueda para representar, de manera precisa, una zona de trabajo en forma del contorno de la comarca del Baix Llobregat. Como resultado se llegó a [15], sitio web que proporciona la cartografía para visualizar en *Google Earth* cualquier territorio municipal de España peninsular y Baleares, obteniéndose así los ficheros responsables de representar los 30 municipios que conforman la comarca, en formato .kml.

Al abrir uno de estos documentos (con WordPad), se observó que las coordenadas usadas para dibujar un municipio vienen representadas en latitud y longitud (Figura 4.7), por esta razón, dichos valores se guardaron en un fichero .txt en un formato que el *Computation Zone* del Atoll pudiese reconocer (Figura 4.8), creándose 30 ficheros .txt correspondientes a los 30 municipios de la comarca.

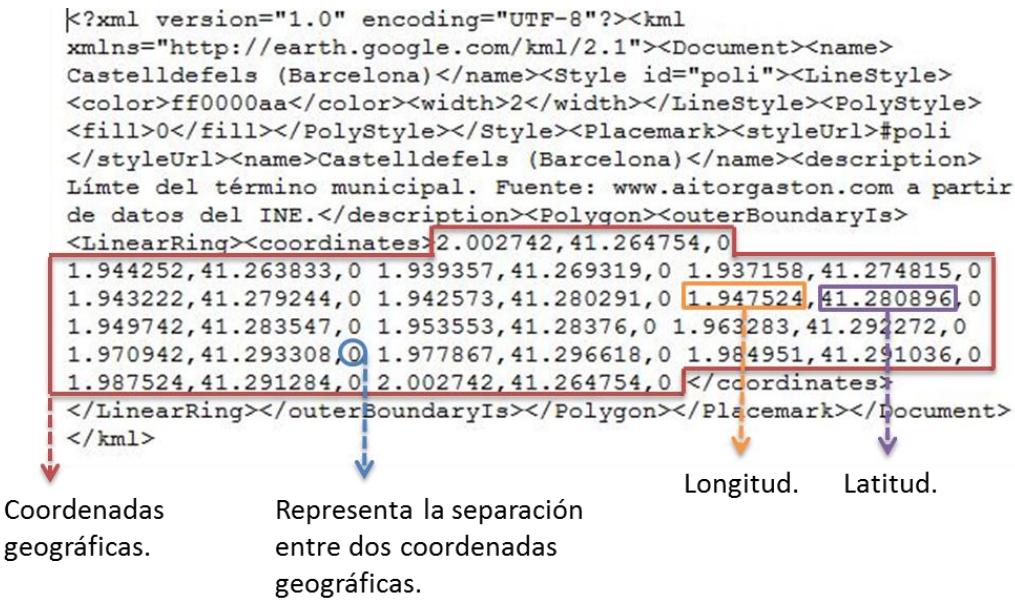


Figura 4.7: *Archivo .kml del municipio Castelldefels abierto con WordPad*

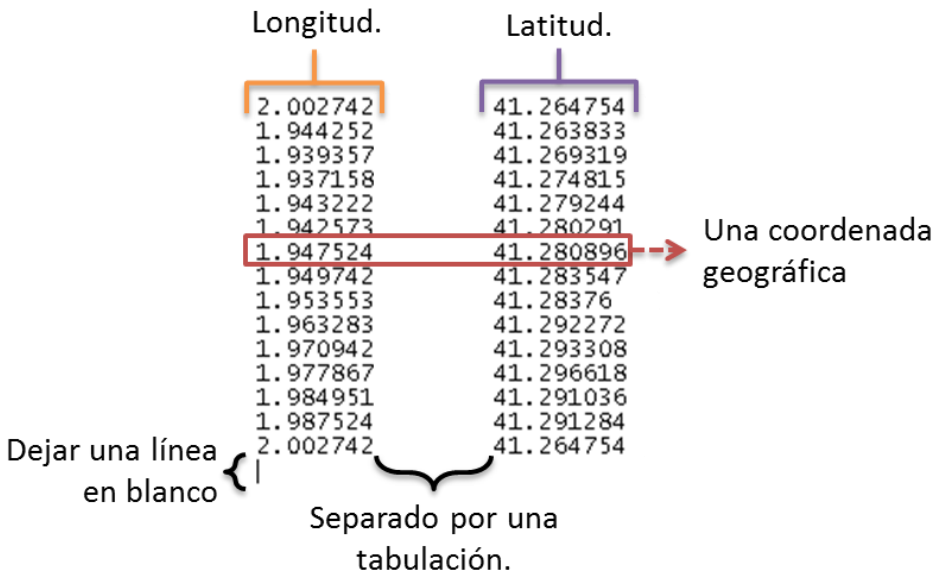


Figura 4.8: *.txt con las coordenadas geográficas del municipio Castelldefels. Formato para colocarlo en el Computation Zone de Atoll*

Luego, se seleccionaron las coordenadas de ciertos municipios que forman el contorno de la comarca de Baix Llobregat, para ser ingresadas en el *Comptation Zone* de Atoll. El resultado de dicho procedimiento se ilustra en la Figura 4.9.

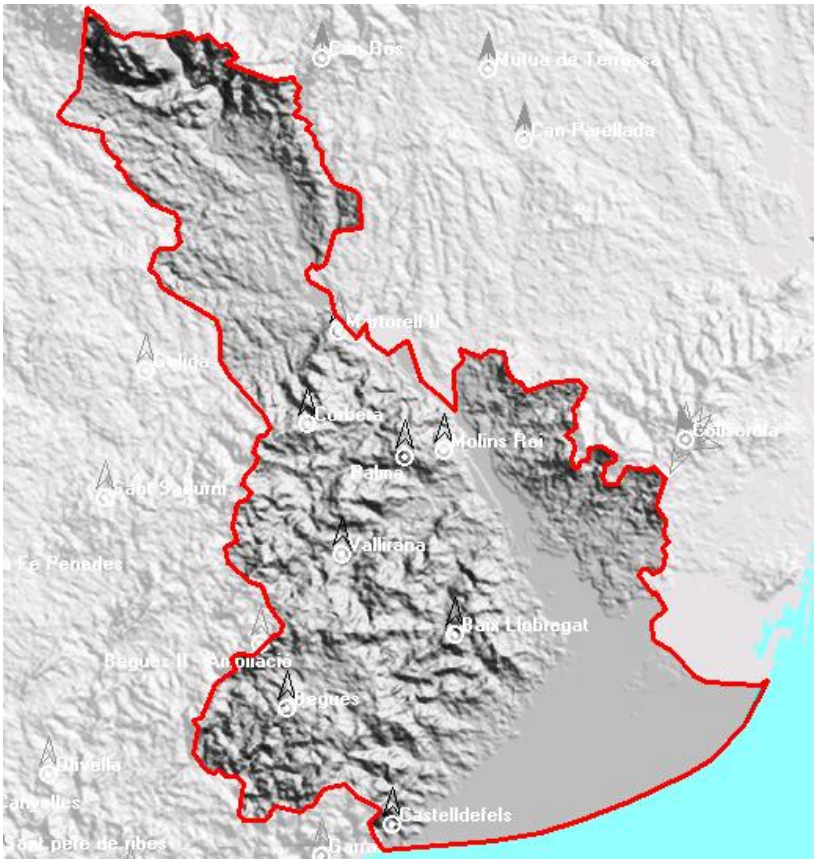


Figura 4.9: *Computation Zone en forma de la comarca del Baix Llobregat*

La superficie abarca unos 487.621 Km^2.

De la misma manera, como se ilustra en la Figura 4.10, se quiso representar cada municipio en Atoll una vez definida el contorno de la comarca. Para empezar, de los .txt que contienen las coordenadas de los municipios, se fueron creando *Computation Zone* de cada uno de ellos (paso 1 y 2) y exportándolos a su vez en archivos (cuyo formato se verificó que fuera compatible con aquellos soportados por Atoll para importar) de extensión .agd (paso 3), con un sistema de coordenadas de nombre WGS 84 / UTM zone 30N, el mismo utilizado para proyectar los mapas de Barcelona y sus alrededores (paso 4).

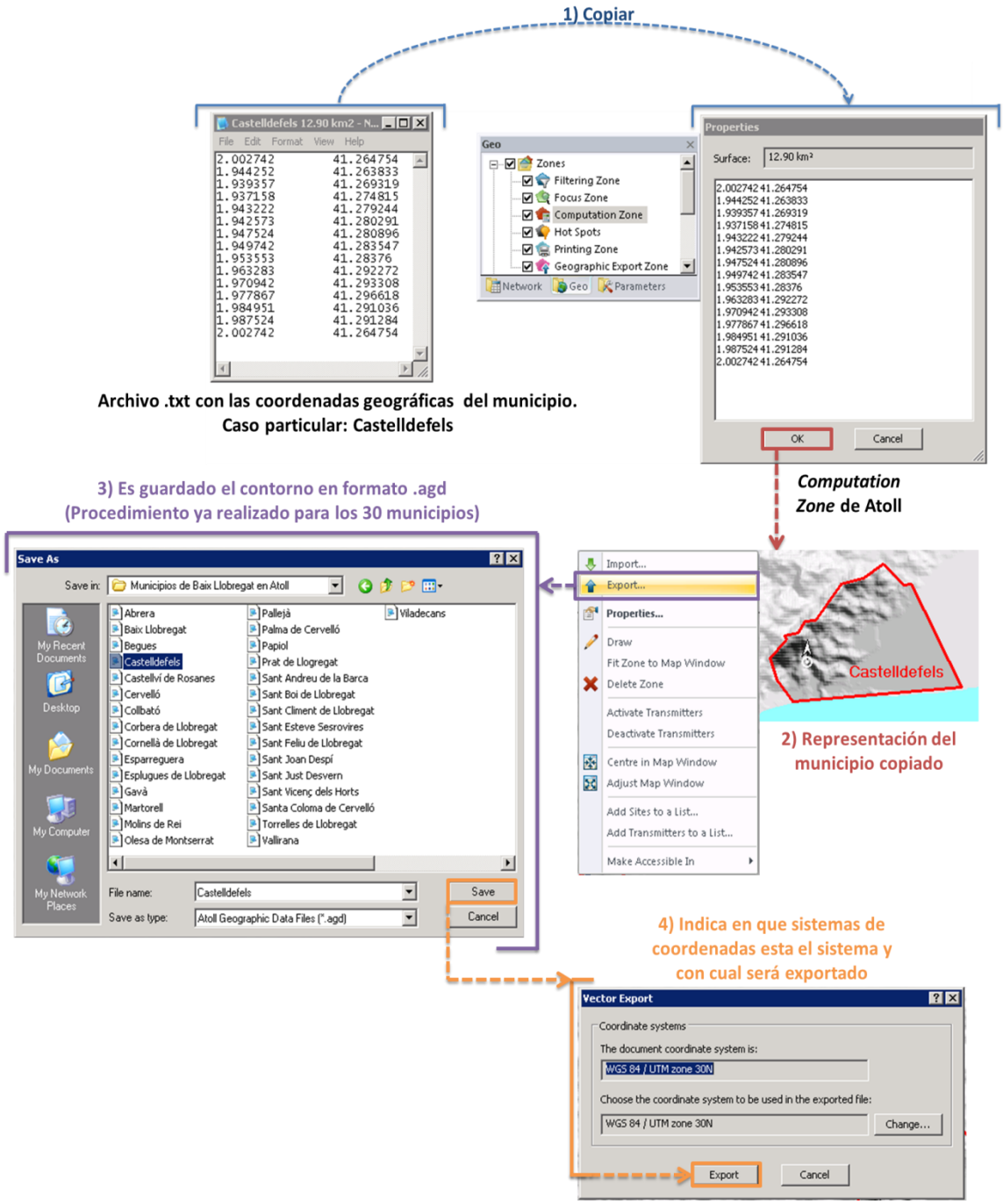


Figura 4.10: *Proceso de exportación de municipios en Atoll*

Luego, como se ilustra en la Figura 4.11, para importar documentos en Atoll se seleccionó la opción *Import a File*, aquí fueron elegidos y abiertos (al mismo tiempo) todos los archivos .agd generados anteriormente correspondientes a los contornos de los 30 municipios (paso 1). Posteriormente, al desplegar la pestaña *Import to* de la nueva ventana generada (paso 2), se eligió la opción *New folder in "Network"* para crear una nueva carpeta donde se guardaron los contornos en la pestaña *Network* en Atoll, teniendo como nombre Municipios de Baix Llobregat (paso 3). Por ultimo, la importación se realizó en un sistema de coordenadas de nombre WGS 84 / UTM zone 30N (paso 4).

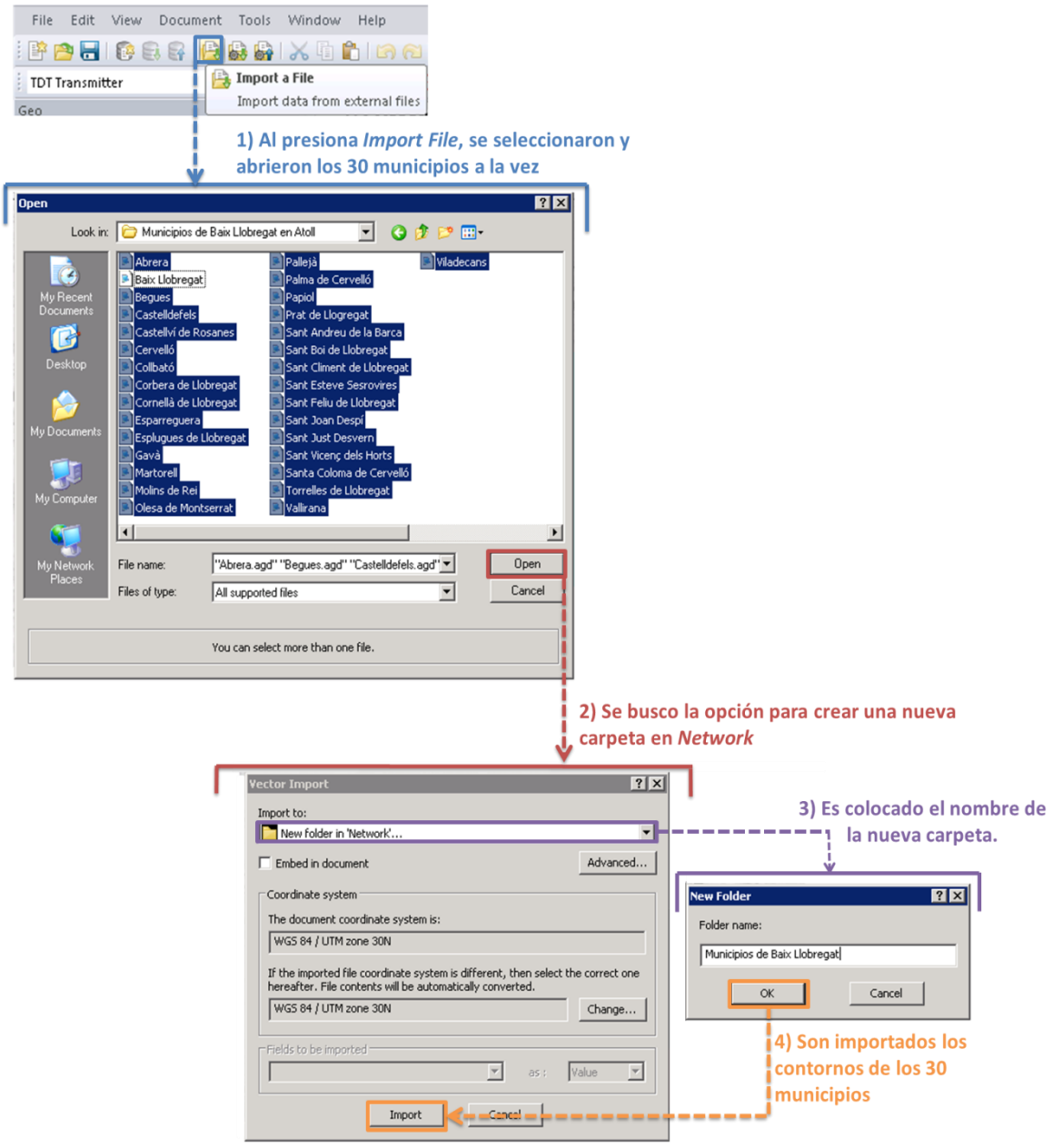


Figura 4.11: *Proceso de importación de municipios en Atoll*

Como resultado final, en la Figura 4.12 se muestra la representación de los 30 municipios que conforman la comarca de Baix Lobregat una vez importados en Atoll.

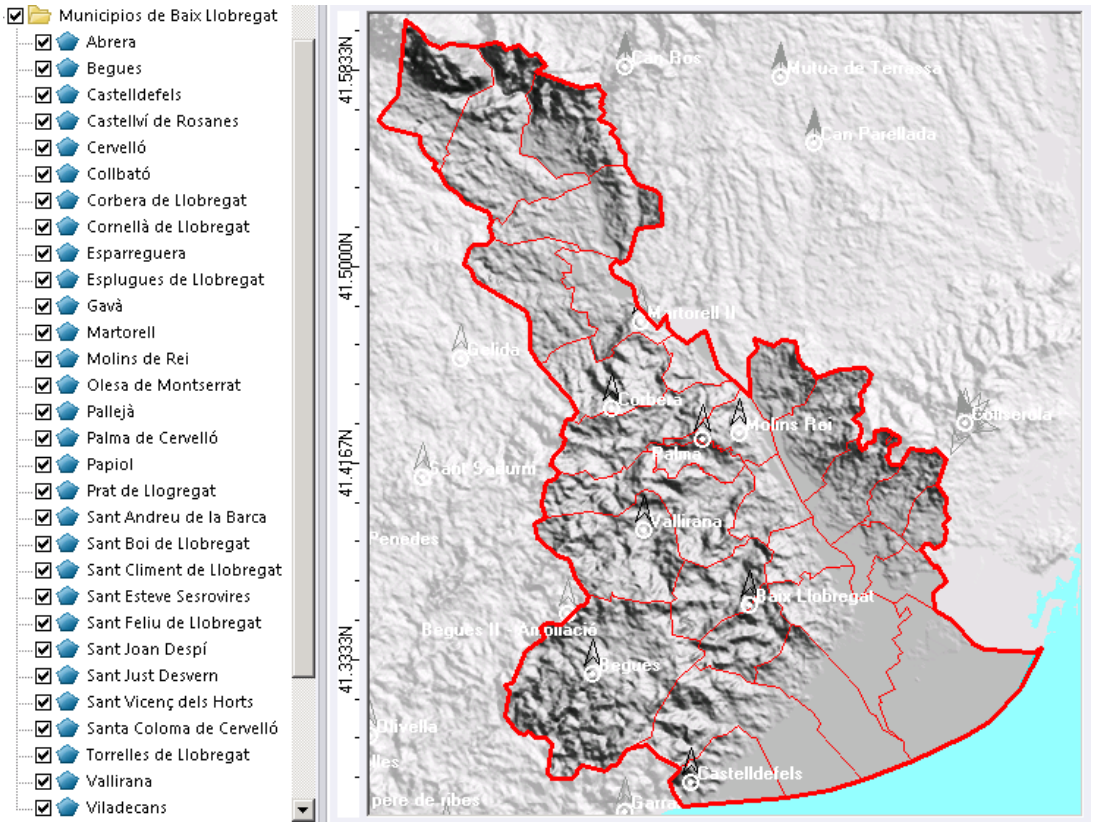


Figura 4.12: *Representación de los 30 municipios de la comarca del Baix Llobregat*

Una vez definida la zona de trabajo, ésta permitió conocer con más detalle la ubicación de los *White Spaces* en la comarca de Baix Llobregat, generando reportes más preciosos y más reales.

Gracias a [15] y los procedimientos definidos anteriormente, se podrá representar cualquier comarca de España peninsular y Baleares en Atoll, pudiendo realizar cada vez estudios más específicos en cualquier parte de país.

Por otra parte, antes de continuar con los siguientes apartados y con el fin de facilitar la lectura de esta memoria, son definidos los siguientes términos:

- Cobertura: territorio cubierto por un canal ocupado en la banda de televisión. Ejemplo: Cobertura canal 48, indica que en dicho territorio se obtiene la señal emitida por los transmisores del canal 48.
- Cobertura_WS: superficie la cual representa un mínimo tamaño de *White Space* para su uso. Ejemplo: una cobertura_WS canal 48 indica, tanto el territorio donde el canal 48 esta disponible, como un mínimo tamaño de *White Space* disponible.
- Tamaño de *White Space*: se refiere a la cantidad de MHz libres que forman un conjunto de canales consecutivos ubicados en la banda de televisión.

4.4 Representación de las Coberturas_WS

Una vez creado los transmisores trabajando sobre sus respectivos canales y definida una zona de trabajo, se obtuvieron las coberturas de los canales de televisión, marcando el comienzo de una búsqueda en la representación de las coberturas_WS en la comarca de Baix Llobregat.

Para empezar, se observó con detalle las simulaciones de coberturas de los canales de televisión y como se mostraban en el mapa de la comarca. A modo de ejemplo para el canal 33, se establecieron los siguientes parámetros de simulación y se generó una cobertura mostrada en la Figura 4.13:

- **Nombre:** Cobertura canal 33
- **Canal a simular:** 33.
- ***Resolution* de simulación:** 20m.
- ***Signal Level* (dBµV/m)** => 56 dBµV/m.
- ***Server*:** *Best Signal Level*.
- ***With a margin*:** 4 dB (valor por defecto).
- ***Display type:*** *Discrete values.*

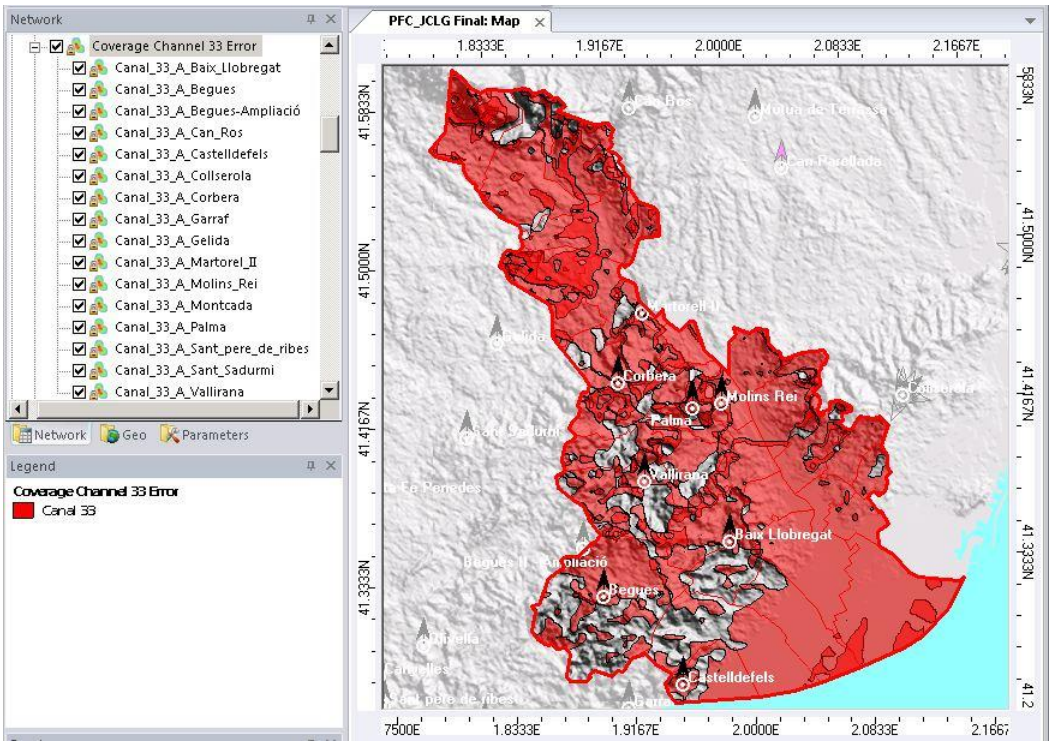


Figura 4.13: *Cobertura canal 33, display type: discrete values*

Analizando los resultados, se tiene que existen diferentes intensidades de un mismo color sobre el mapa, debido a que son varios los transmisores que emiten un mismo canal. Estas tonalidades no son de vital importancia, sabiendo que se quiere representar el territorio al que llega señal pero no la cantidad de veces, por lo tanto, se buscó otro

Display type para la cobertura, encontrándose el modo *Unique*, el cual es capaz de plasmar en el mapa un solo tono a pesar de que varios transmisores emitan sobre un mismo *pixel* una intensidad de campo mayor a 56 dBµV/m, ilustrado en la Figura 4.14, representando a su vez la unión de las coberturas de los transmisores del canal 33.

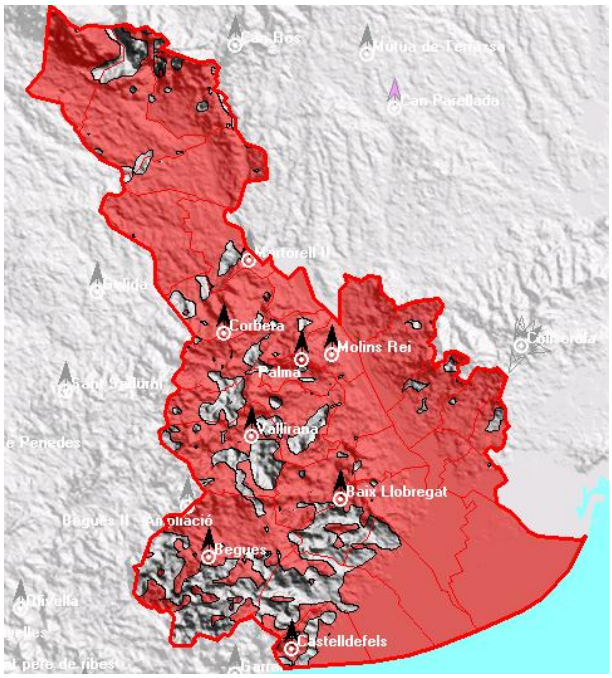


Figura 4.14: *Cobertura canal 33, display type: Unique*

Una vez obtenido este resultado, se procedió a buscar la representación de la cobertura_WS del canal 33, intentando siempre poder mostrar todo resultado bajo la herramienta de planificación de radiofrecuencia, Atoll.

Ahora bien, si se considera como cobertura_WS aquellos puntos cuya intensidad del campo sea menor a 56 dBµV/m, se tiene a su vez en la Figura 4.14 que las zonas del mapa sin colorear representan la cobertura_WS del canal 33. Además, detallando las opciones al trabajar con este tipo de simulaciones de coberturas, se plantea la posibilidad de representa un *Signal Level* no solo mayor a un valor, si no entre dos valores.

Por lo anteriormente dicho, se elaboró una nueva simulación de cobertura basada en la cobertura del canal 33 modificando los siguientes parámetros:

- **Nombre:** Cobertura_WS canal 33
- -100 dBµV/m <= ***Signal Level* (dBµV/m)** < 56 dBµV/m.
- ***With a margin*:** 4 dB (valor por defecto).

El valor de referencia -100 dBµV/m es una intensidad del campo muy pequeña, el cual garantiza cubrir cualquier punto del mapa no pintado por el color rojo, por lo tanto la

superficie de color azul ilustrado en la Figura 4.15 representa la cobertura_WS del canal 33.

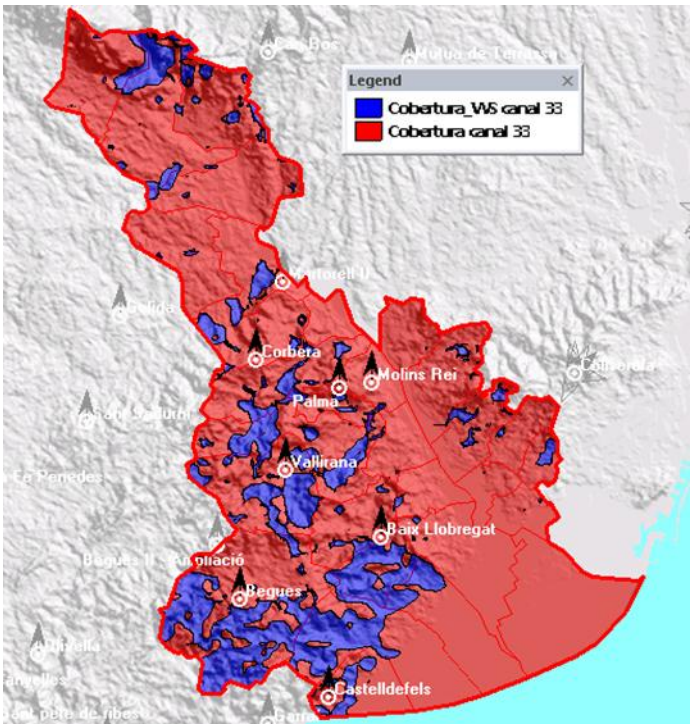


Figura 4.15: *Cobertura canal 33 y cobertura_WS canal 33*

Para obtener las características de las coberturas de la Figura 4.15, se realizó un *Generate Report,* éste proporciona la superficie medida en Km^2 y el porcentaje del área cubierta del *Computation Zone* de cada una de ellas, mostrado en la Tabla 4.3.

Nombre	**Superficie (km^2)**	***%Computation Zone***
Cobertura_WS canal 33	90.028	18,5
Cobertura canal 33	403.871	82,8
		Total = 101,3%

Tabla 4.3: *Generate Report, cobertura canal 33 y cobertura_WS canal 33*

Se observó que el porcentaje cubierto es superior al 100%, donde existe un 1,3% de solapamiento. Para saber cual podría ser la causa de esto, se usó el *Point Analysis* (herramienta de Atoll que sirve para evaluar los niveles de señales recibidas por distintos transmisores en un determinado punto) para analizar qué intensidad del campo se recibe en aquellos *pixels* en donde existe una superposición de coberturas, obteniendo como resultado lo mostrado en la Figura 4.16.

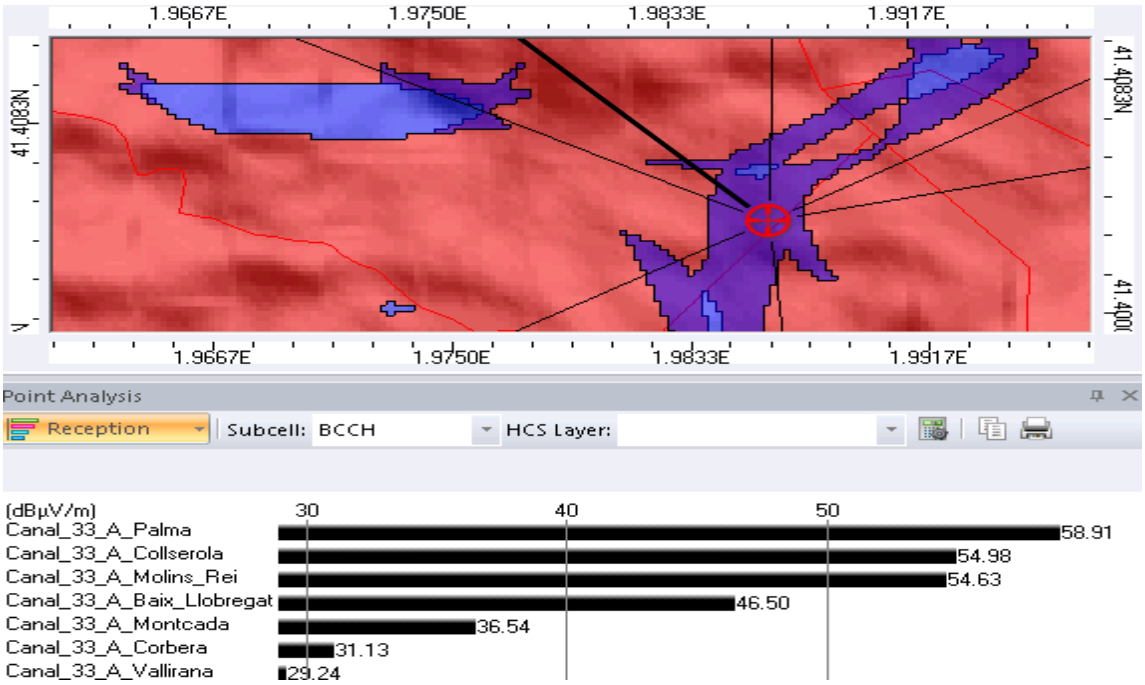


Figura 4.16: *Point Analysis sobre solapamiento, cobertura canal 33 y cobertura_WS channel 33*

Analizando el valor arrojado por el *Point Analysis*, al ser colocado en una zona de solapamiento, se obtuvo que en el *pixel* se recibe un nivel máximo de intensidad del campo de 58,91 dBµV/m. Dicho *pixel* no debería ser pintado por la simulación de la cobertura_WS canal 33 (de color azul), ya que en ella busca representar un rango de intensidad mayor igual a -100 dBµV/m y menor a 56 dBµV/m, sin embargo, por defecto se establece un margen de 4 dB y como el estudio esta basado en un servicio *Best Signal Level*, [16] Atoll dibujó aquellos *pixels* que reciban un *Signal Level* de un transmisor dentro del rango y que a su vez, sea mayor al máximo *Signal Level* recibido menos el margen establecido (este caso 4dB), teniendo así que el transmisor Canal_33_A_Collserola sea quien cumpla con estas condiciones (54,98 dBµV/m > (58,91 dBµV/m – 4 dB) y -100 dBµV/m <= 54,98 dBµV/m < 56 dBµV/m).

Por esta razón, se procedió a realizar un nuevo estudio llamado Nueva cobertura_WS canal 33, pero con un margen de 0 dB. Para comprobar que solo fue necesario modificar este parámetro se realizó, de la nueva simulación, un *Generate Report* para conocer así el nuevo porcentaje cubierto mostrado en la Tabla 4.4.

Nombre	**Superficie (km^2)**	***%Computation Zone***
Nueva cobertura_WS canal 33	83.750	17,2
Cobertura canal 33	403.871	82,8
		Total = 100%

Tabla 4.4: *Generate Report, cobertura canal 33 y Nueva cobertura_WS canal 33 con margen de 0 dB*

En este sentido, al observar que las superficies de las coberturas sumadas ocupan un 100% del *Computation Zone* correspondiente al Baix Llobregat, se demostró que los valores indicados para realizar la simulación Nueva cobertura_WS canal 33 serán capaces de representar una cobertura_WS para cualquier canal de televisión de Cataluña en la comarca.

Ahora bien, antes de realizar las simulaciones correspondientes a las cobertura_WS para cada uno de los 21 canales ocupados, en la Figura 4.17 se recuerda como es la ocupación de los mismos en la banda de televisión, en la zona de estudio.

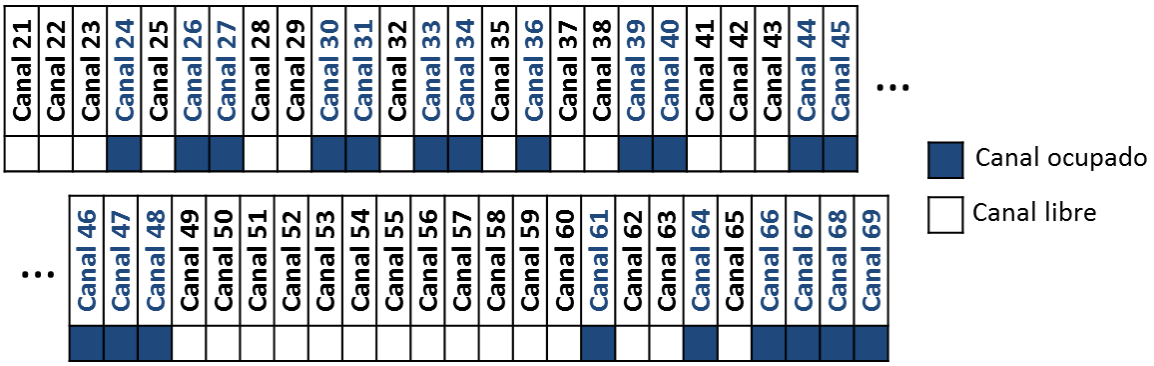


Figura 4.17: *Canales libres y ocupados de televisión en Cataluña*

En ella se observan los 21 canales ocupados (de color azul) de un total de 49 (hay 28 canales libres de color blanco), enumerados desde el 21 hasta el 69, teniéndose así 21 coberturas_WS diferentes correspondientes a cada canal ocupado, sin embargo, existen ciertos transmisores con las mismas configuraciones de salida (potencia y sistema radiante), teniendo como consecuencia simulaciones de cobertura iguales para diferentes canales, simplificando el análisis a solo 12 en vez de 21 coberturas. En la Tabla 4.5 se muestra que canales conforman las 12 coberturas.

Canales ocupados	Número de cobertura
24	1
26 y 48	2
27, 31, 34, y 47	3
30	4
33	5
36	6
39 y 45	7
40	8
44	9
46	10
61	11
64, 66, 67, 68 y 69	12

Tabla 4.5: *Canales que conforman las 12 coberturas en la banda de televisión*

4.4.1 Simulación de las Coberturas_WS en cada canal ocupado en la banda de televisión

A partir de los resultados obtenidos en el apartado anterior y dada la similitud existente en los parámetros de transmisión de diferentes canales ocupados originando solo 12 coberturas diferentes en vez de 21, se tiene como consecuencia que al representar las coberturas_WS para los canales ocupados de la banda de televisión, el número de simulaciones cobertura_WS también se ve reducido a 12.

Por lo tanto, en las siguientes figuras se ilustrará cual es la superficie cubierta para cada coberturas_WS (cada una con un color diferente) correspondiendo a cada grupo de canales ocupados en la banda de televisión de comarca, mencionados en la Tabla 4.5, a su vez, se anexara una tabla indicando el porcentaje ocupado por la cobertura de los canales para verificar que la ocupación total sea un 100% del *Computation Zone* (recordando que la superficie total abarca unos 487.621 km^2).

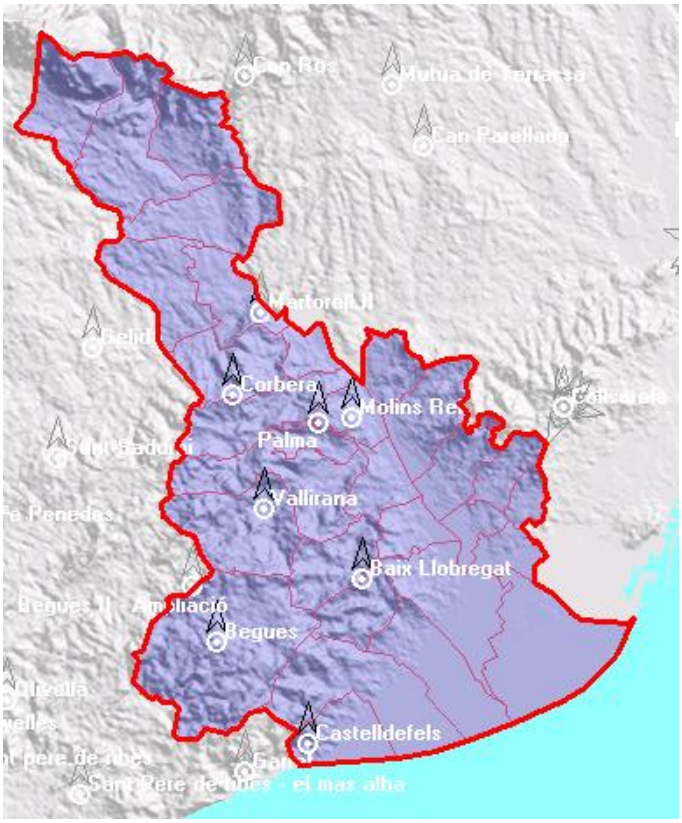


Figura 4.18: *Cobertura_WS Canal 24*

Zona	Nombre	Superficie (km^2)	*%Computation Zone*
	Cobertura_WS canal 24	487.621	100%
	Cobertura canal 24	0	0
			Total = 100%

Tabla 4.6: *Superficies cubiertas por cobertura canal 24 y cobertura_WS canal 24*

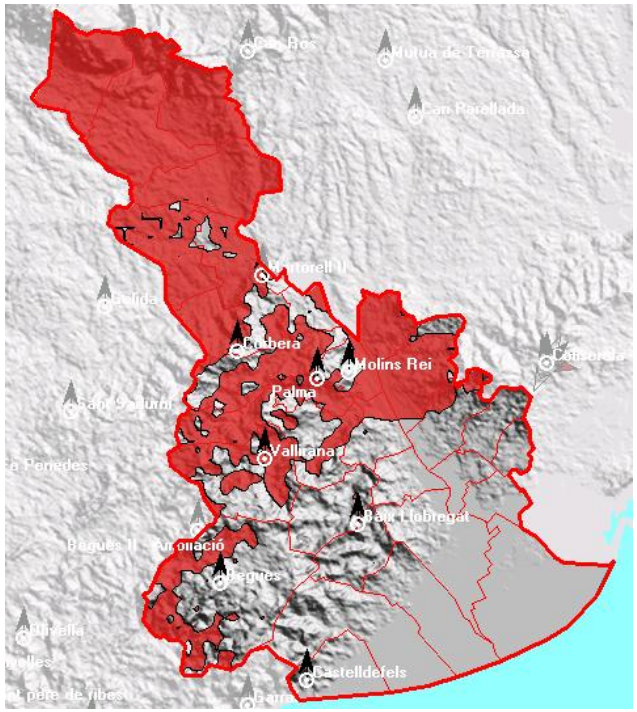
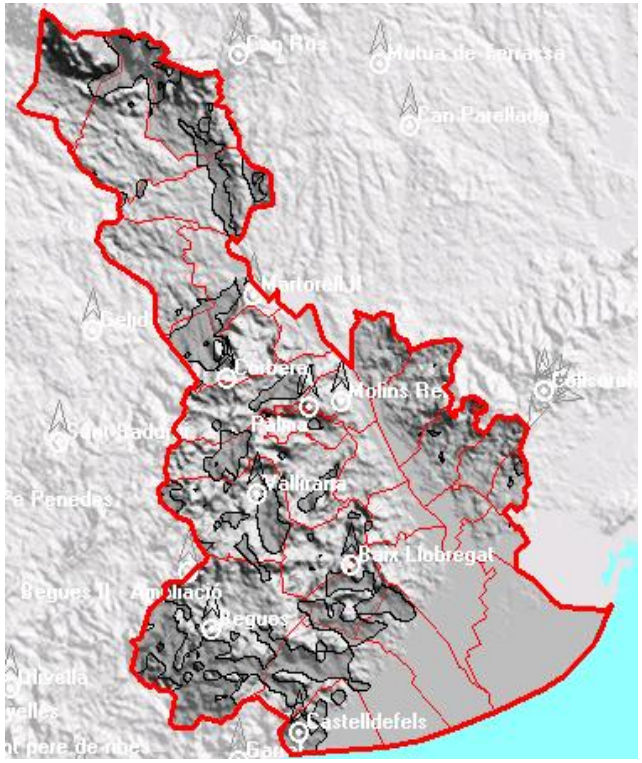


Figura 4.19: *Cobertura_WS canal 26 y 48*

Zona	Nombre	Superficie (km^2)	*%Computation Zone*
	Cobertura_WS canales 26 y 48	214.404	44
	Cobertura canales 26 y 48	273.217	56
			Total = 100%

Tabla 4.7: *Superficies cubiertas por cobertura canales 26 y 28 y cobertura_WS canales 26 y 48*



Zona	Nombre	Superficie (km^2)	*%Computation Zone*
	Cobertura_WS canales 27, 31, 34 y 47	80.555	16,5
	Cobertura canales 27, 31, 34 y 47	407.066	83,5
			Total = 100%

Tabla 4.8: *Superficies cubiertas por cobertura canales 27, 31, 34 y 47 y cobertura_WS canales 27, 31, 34 y 47*

Figura 4.20: *Cobertura_WS canales 27, 31, 34 y 47*

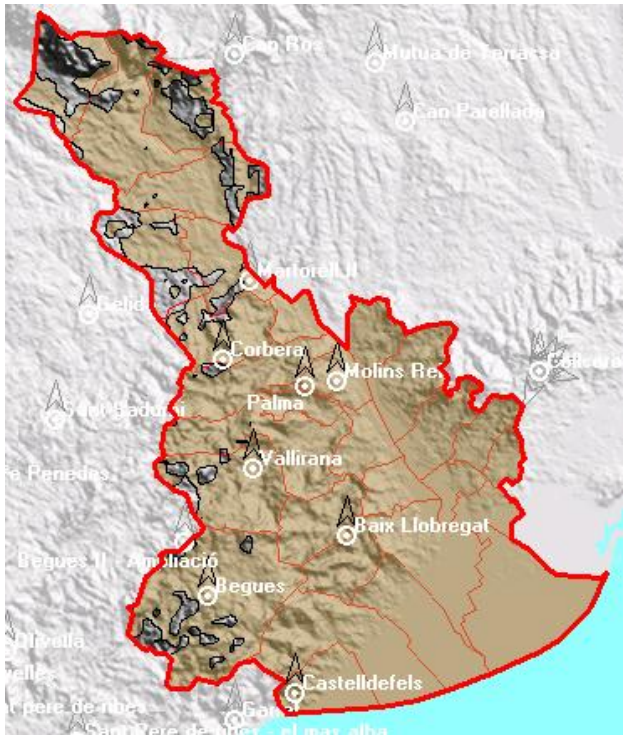


Figura 4.21: *Cobertura_WS canal 30*

Zona	Nombre	Superficie (km^2)	*%Computation Zone*
	Cobertura_WS canal 30	443.752	91
	Cobertura canal 30	43.869	9
			Total = 100%

Tabla 4.9: *Superficies cubiertas por cobertura canal 30 y cobertura_WS canal 30*

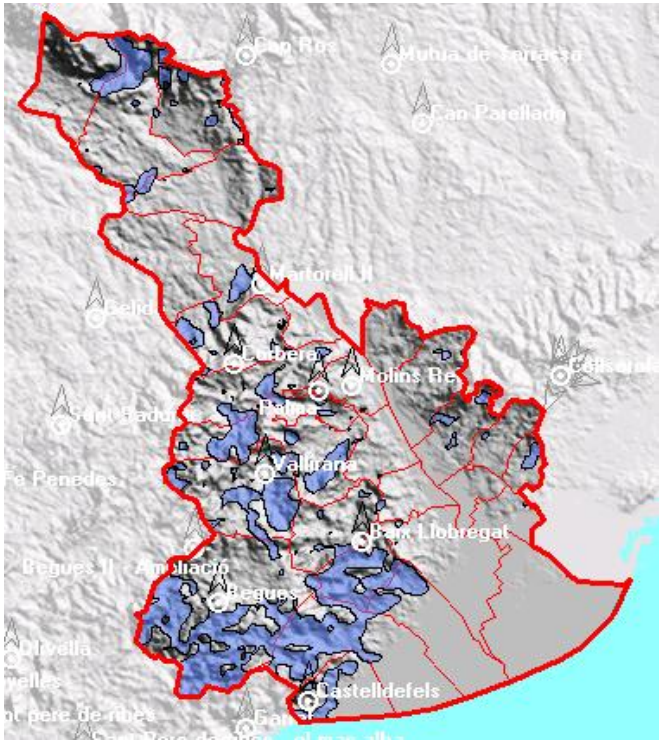


Figura 4.22: *Cobertura_WS canal 33*

Zona	Nombre	Superficie (km^2)	*%Computation Zone*
	Cobertura_WS canal 33	83.750	17,2
	Cobertura canal 33	403.871	82,8
			Total = 100%

Tabla 4.10: *Superficies cubiertas por cobertura canal 33 y cobertura_WS canal 33*

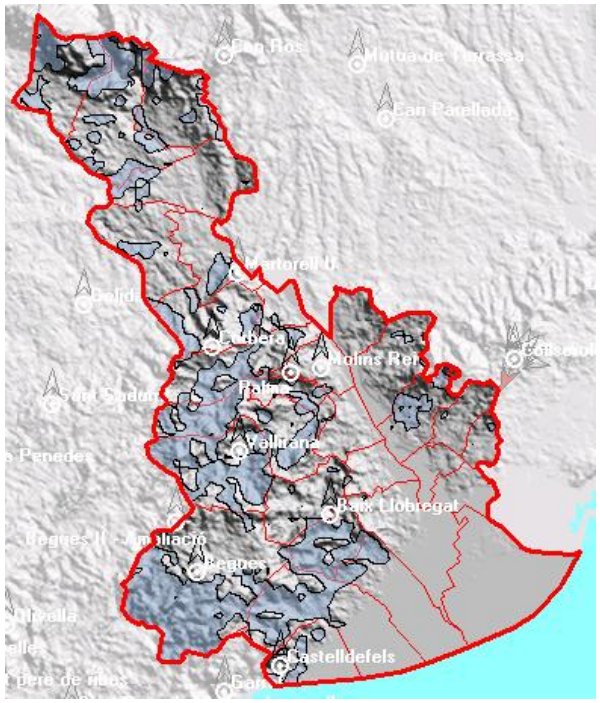


Figura 4.23: *Cobertura_WS canal 36*

Zona	Nombre	Superficie (km^2)	*%Computation Zone*
	Cobertura_WS canal 36	124.968	25,6
	Cobertura canal 36	362.653	74,4
			Total = 100%

Tabla 4.11: *Superficies cubiertas por cobertura canal 36 y cobertura_WS canal 36*

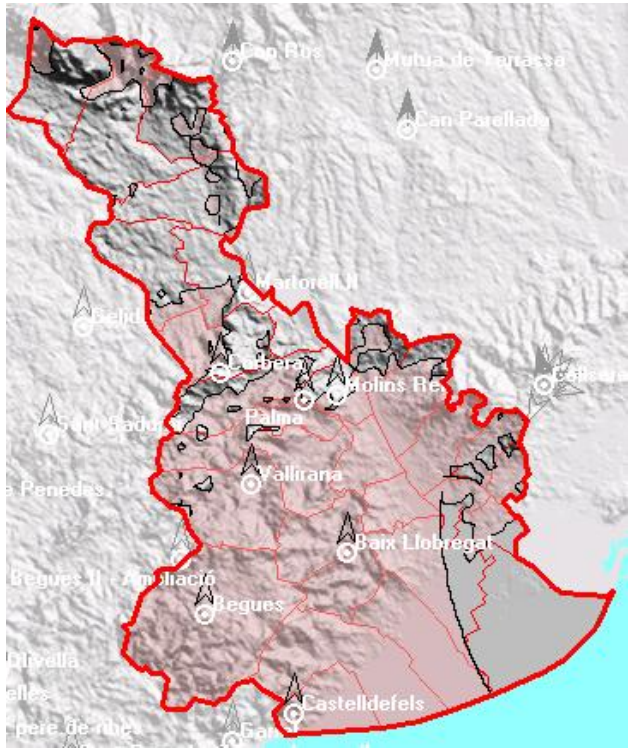


Figura 4.24: *Cobertura_WS canal 39 y 45*

Zona	Nombre	Superficie (km^2)	*%Computation Zone*
	Cobertura_WS canales 39 y 45	312.518	64,1
	Cobertura canales 39 y 45	175.103	35,9
			Total = 100%

Tabla 4.12: *Superficies cubiertas por cobertura canales 39 y 45 y cobertura_WS canal 39 y 45*

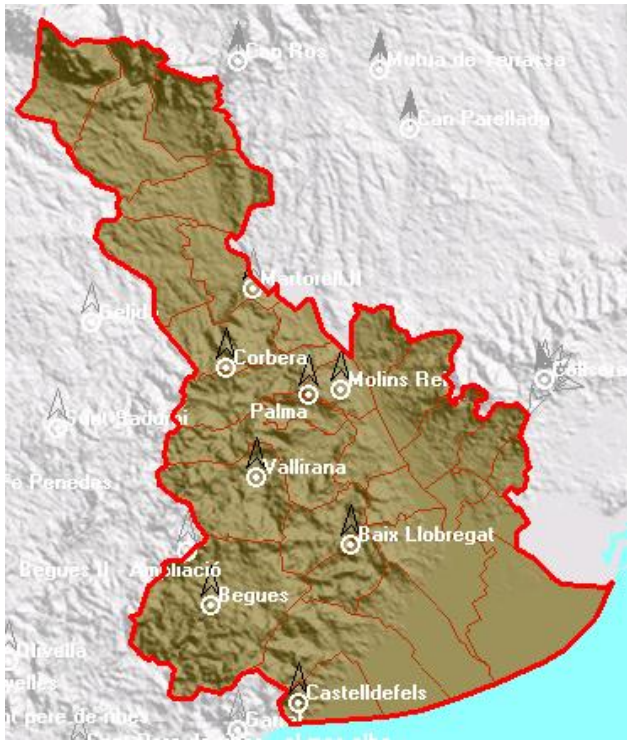


Figura 4.25: *Cobertura_WS canal 40*

Zona	Nombre	Superficie (km^2)	*%Computation Zone*
	Cobertura_WS canal 40	487.621	100%
	Cobertura canal 40	0	0
			Total = 100%

Tabla 4.13: *Superficies cubiertas por cobertura canal 40 y cobertura_WS canal 40*

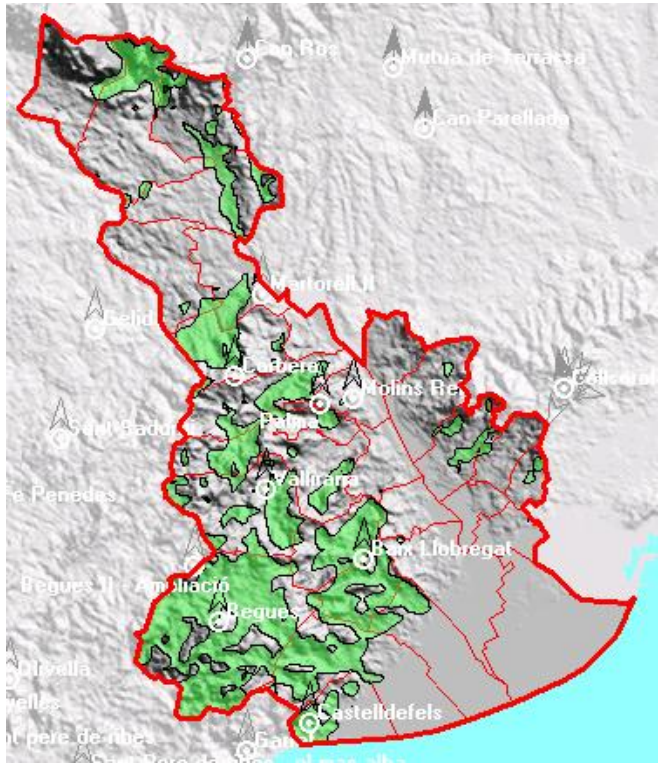


Figura 4.26: *Cobertura_WS canal 44*

Zona	Nombre	Superficie (km^2)	*%Computation Zone*
	Cobertura_WS canal 44	125.430	25,7
	Cobertura canal 44	362.191	74,3
			Total = 100%

Tabla 4.14: *Superficies cubiertas por cobertura canal 44 y cobertura_WS canal 44*

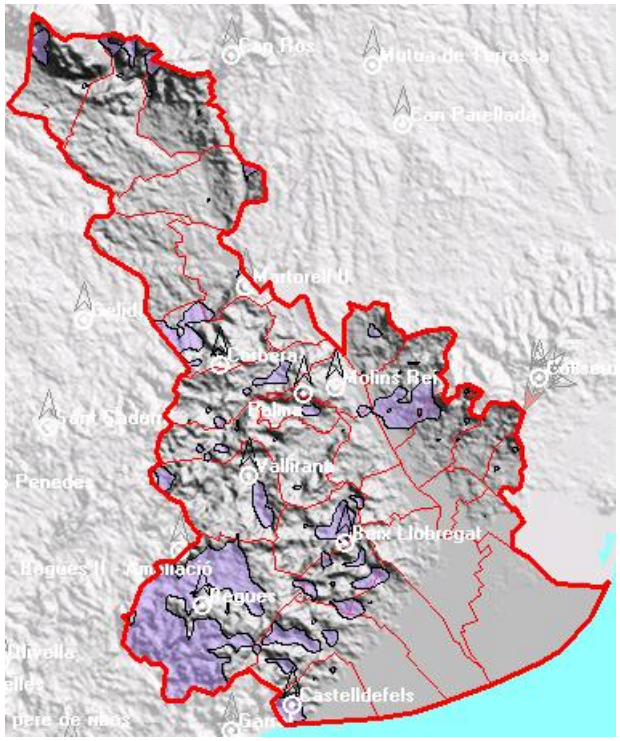


Figura 4.27: *Cobertura_WS canal 46*

Zona	Nombre	Superficie (km^2)	*%Computation Zone*
	Cobertura_WS canal 46	62.217	12,7
	Cobertura canal 46	425.404	87,3
			Total = 100%

Tabla 4.15: *Superficies cubiertas por cobertura canal 46 y Cobertura_WS canal 46*

Zona	Nombre	Superficie (km^2)	*%Computation Zone*
	Cobertura_WS Canal 61	75.646	15,5
	Cobertura Canal 61	411.975	84,5
			Total = 100%

Tabla 4.16: *Superficies cubiertas por cobertura canales 61 y cobertura_WS canal 61*

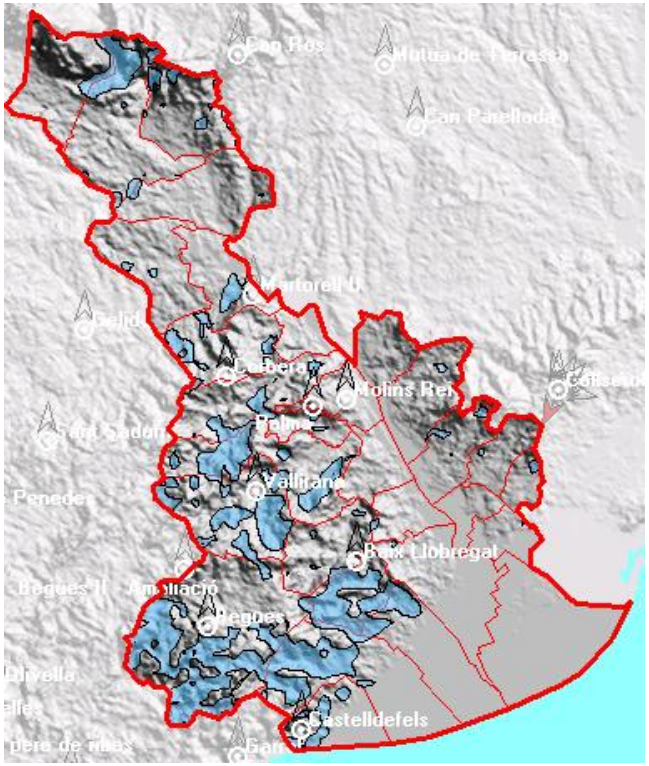


Figura 4.28: *Cobertura_WS canal 46*

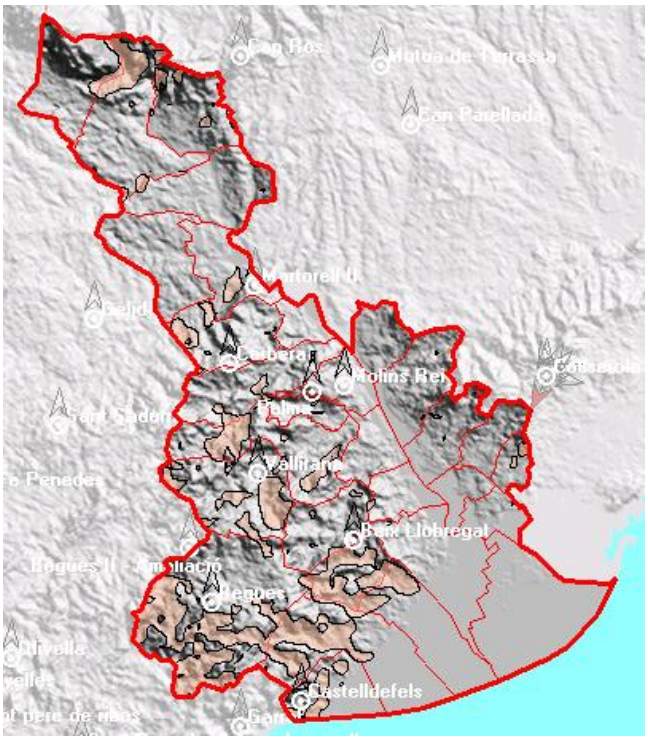


Figura 4.29: *Cobertura_WS canal* 64, 66, 67, 68 y 69

Zona	Nombre	Superficie (km^2)	*%Computation Zone*
	Cobertura_WS canales 64, 66, 67, 68 y 69	66.548	13,6
	Cobertura canales 64, 66, 67, 68 y 69	421.073	86,4
			Total = 100%

Tabla 4.17: *Superficies cubiertas por cobertura canales* 64, 66, 67, 68 y 69 *y cobertura_WS canal* 64, 66, 67, 68 y 69

Se observó que de los 12 estudios de coberturas_WS realizados, los canales 24 y 40 se encuentran totalmente disponibles o libres en la comarca de Baix Llobregat, en consecuencia para el estudio de las coberturas_WS se trabajo con 19 canales de los 21 que se encuentran ocupados en la banda de televisión de Cataluña.

Asimismo, a partir de este punto solo se trabajó con 10 coberturas_WS (las realizadas anteriormente sin incluir los canales 24 y 40), permitiendo elaborar de una manera más cómoda el estudio completo de la banda de televisión. En la Figura 4.30 se muestra el territorio cubierto en porcentaje por cada una de esta coberturas_WS en la comarca del Baix Llobregat.

Es conveniente indicar que estas coberturas_WS realizadas no son capaces, todavía, de representar un tamaño de *White Space*, los cuales pueden estar comprendidos entre 8MHz (mínimo espectro posible definido por un canal) hasta 392 MHz (espectro libre en toda la banda de televisión, desde el canal 21 hasta el canal 69).

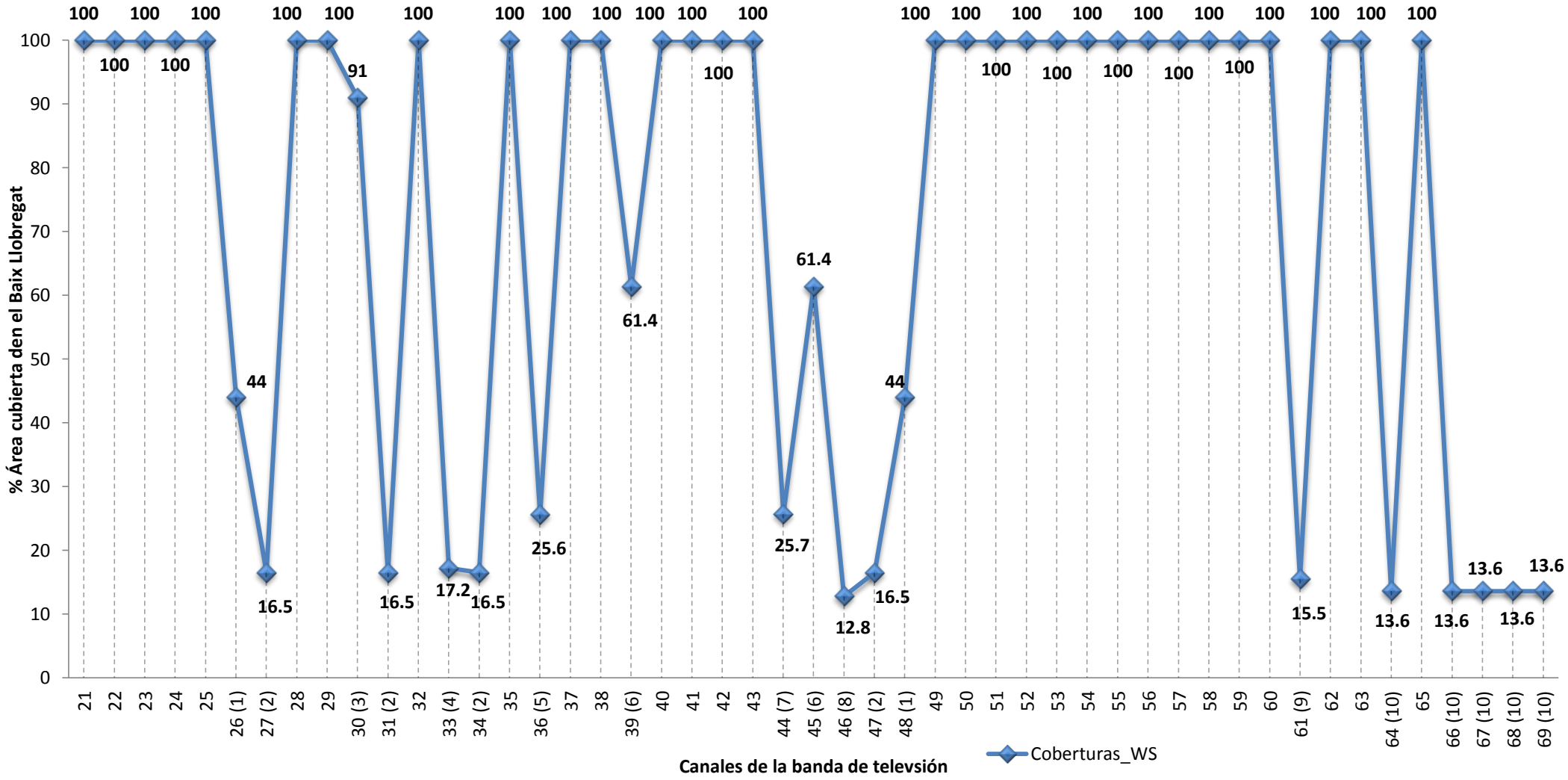


Figura 4.30: *Representación en porcentaje del territorio ocupado por las coberturas_WS de los canales de la banda de televisión*

4.4.2 Ubicaciones de los posibles tamaños de *White Spaces* en la comarca del Baix Llobregat

Con las 10 coberturas_WS simuladas en el apartado anterior, se garantiza cuales son las zonas del territorio del Baix Llobregat en donde es posible disponer de los 8 MHz de cada uno de los canales ocupados en la banda de televisión. En la Figura 4.31 se representa la ubicación de cada una de las coberturas_WS en la banda según el color asignado en el punto 4.4.1. Además se observa como algunas de estas coberturas se repiten en varias partes de la banda gracias a las mismas configuraciones de salida de los transmisores para diferentes canales.

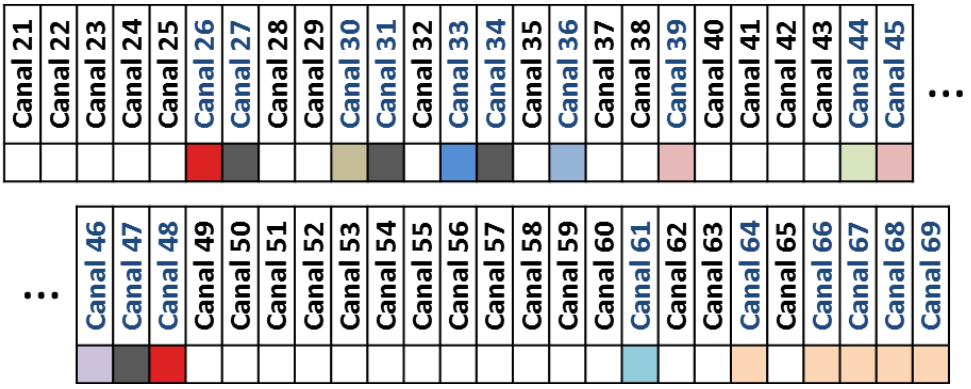


Figura 4.31: *Ubicación de las 10 coberturas_WS en la banda de televisión*

Posteriormente, para representar los diferentes tamaños de *White Spaces* en cualquier parte del Baix Llobregat, se observó que estos guardaban estrecha relación con las simulaciones de coberturas_WS, ya que, al conocerse aquellas zonas de coberturas_WS en común que presentan una cantidad de espectro libre, es posible representar los diferentes tamaños de *White Spaces* existentes.

Por ejemplo: se definió una nueva banda de televisión compuesta por los canales #1, #2 y #3, en donde el canal #2 este libre y los canales #1 y #3 estén ocupados, consiguiéndose además la cobertura_WS canal #1 y cobertura_WS canal# 3 ilustrado en la Figura 4.32, por otro lado se muestra una nueva zona de trabajo a estudiar junto con la representación de las coberturas_WS mencionadas.

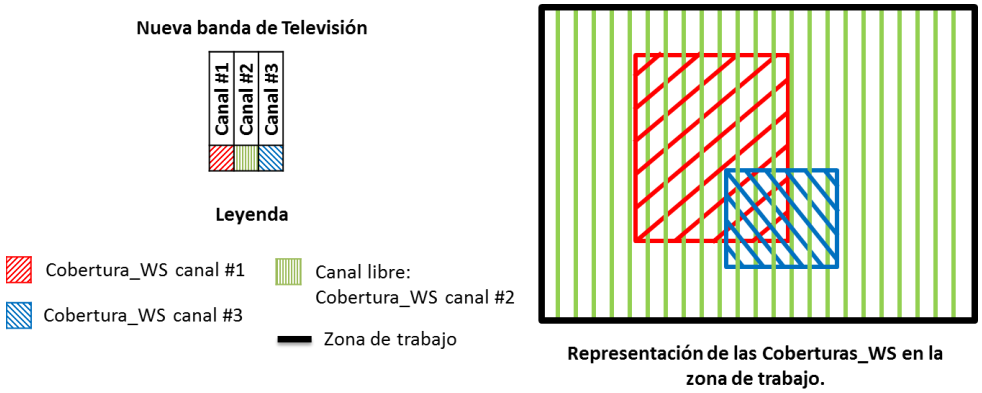


Figura 4.32: *Ejemplo de una nueva banda de televisión con sus respectivas coberturas_WS*

Ahora bien, si la cobertura_WS canal #1 y cobertura_WS canal #3 indican el territorio en donde es posible disponer de los 8 MHz de los canales #1 y #3 respectivamente, y a su vez el canal #2 brinda 8 MHz libres en toda la zona de trabajo, esto quiere decir que las zonas en común formadas por las coberturas_WS de canales consecutivos representaran, a su vez, coberturas_WS de diferentes tamaños de *White Space*, mostrados en la Figura 4.33.

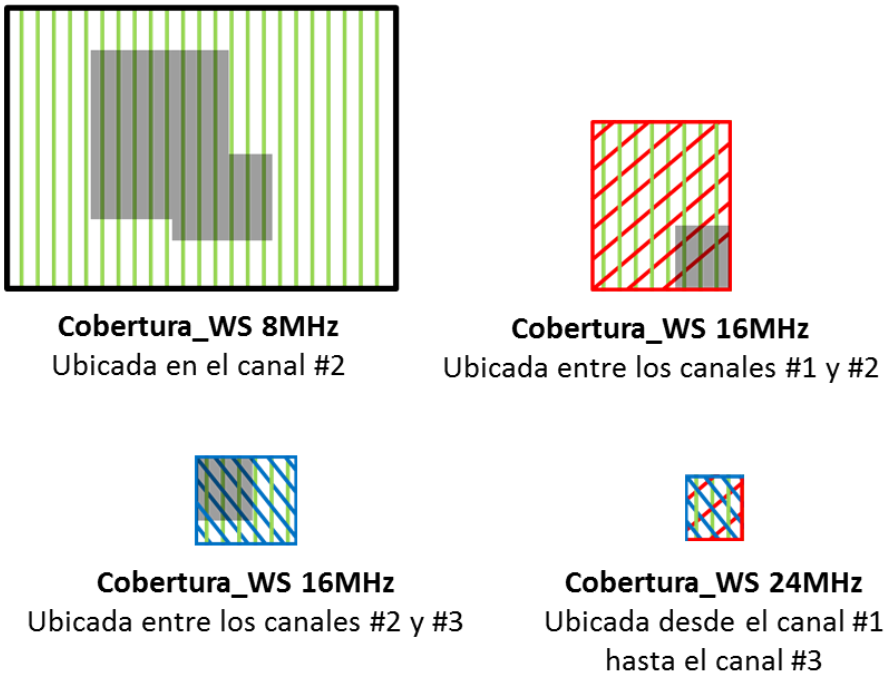


Figura 4.33: *Coberturas_WS con sus respectivos tamaños generadas en la nueva banda de televisión*

En la figura mostrada se observan tres tamaños de *White Spaces*: uno de 8MHz, dos de 16 MHz y uno de 24 MHz; los cuales son ubicados en la nueva banda de televisión según las coberturas_WS involucradas para cada tamaño, no obstante para cada una de las coberturas_WS (excepto la de 24 MHz) fue dibujada una sombra, indicando que existen algunas zonas que poseen un tamaño de *White Space* mayor, por esta razón las coberturas_WS definidas en esta memoria harán referencia siempre al mínimo tamaño de *White Space* que en ellas se pueda constituir.

En consecuencia, se definen dos criterios para englobar las posibles coberturas_WS que representen como mínimo un tamaño de *White Space* determinado, mencionadas a continuación:

1) Solo una cobertura_WS: Involucra a cualquiera de las 10 coberturas_WS, las cuales han sido enumeradas como se muestra en la Figura 4.34 (cuyo tamaño del *White Space* varia dependiendo de su ubicación en la banda de televisión, esto se explicará en el siguiente capítulo).

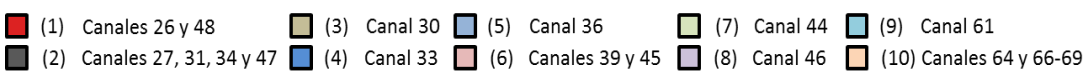


Figura 4.34: *Numeración de las 10 coberturas_WS*

Asimismo, siguiendo la numeración indicada en la Figura 4.34 entre paréntesis, los nombres de las 10 coberturas_WS fueron modificados. Por ejemplo: cobertura_WS canal 30 = cobertura_WS 3; cobertura_WS canal 39 = cobertura_WS 45 = cobertura_WS 6.

2) Intersecciones entre las 10 coberturas_WS: Para encontrar las representaciones de otros tamaños de *White Spaces* en la comarca, es necesario intersectar aquellos estudios de cobertura_WS ubicados en canales consecutivos, consiguiendo así el territorio común entre ellos, generando una nueva cobertura_WS. Por ejemplo: la cobertura_WS de 16MHz entre los canales 46 y 47 es definida por la intersección de las simulaciones de coberturas_WS de los canales mencionados, ó si se desea un cobertura_WS de 392MHz, corresponde a una intersección de todas las simulaciones de coberturas_WS hechas, 10 en total.

A continuación se explican las posibles intersecciones generadas en el caso 2, resultando en un total de 53 posibles combinaciones entre las 10 coberturas_WS, siendo la mínima una intersección de dos estudios de cobertura_WS y la máxima la intersección de todos. Fueron numeradas a partir del número 11, indicando cuales son las coberturas_WS que las conforman, como se muestra en la Tabla 4.18 y Tabla 4.19.

Identificación	Color asignado	Responsables de esta combinación
11		1; 2
12		3; 2
13		4; 2
14		7; 6
15		6; 8
16		8; 2
17		2; 5
18		5; 6
19		1; 9
20		9; 10
21		7; 6; 8
22		6; 8; 2
23		8; 2; 1
24		3; 2; 4
25		4; 2; 5
26		1; 2; 3
27		2; 5; 6
28		5; 6; 7

Tabla 4.18: *Composición e identificación numérica y cromática de las 53 nuevas coberturas_WS. Parte I*

Identificación	Color asignado	Responsables de esta combinación
29		2; 1; 9
30		10; 1; 9
31		6; 7; 8; 2
32		6; 8; 2; 1
33		1; 2; 3; 4
34		5; 2; 3; 4
35		2; 4; 5; 6
36		5; 2; 7; 6
37		5; 6; 7; 8
38		8; 2; 1; 9
39		10; 2; 1; 9
40		1; 2; 3; 4; 5
41		2; 3; 4; 5; 6
42		2; 4; 5; 6; 7
43		2; 5; 6; 7; 8
44		2; 1; 6; 7; 8
45		2; 1; 6; 9; 8
46		2; 1; 10; 9; 8
47		1; 2; 3; 4; 5; 6
48		2; 3; 4; 5; 6; 7
49		2; 4; 5; 6; 7; 8
50		2; 5; 6; 7; 8; 1
51		2; 6; 1; 8; 9; 10
52		2; 9; 6; 7; 8; 1
53		1; 2; 3; 4; 5; 6; 7
54		2; 3; 4; 5; 6; 7; 8
55		2; 1; 4; 5; 6; 7; 8
56		2; 1; 9; 5; 6; 7; 8;
57		2; 1; 9; 10; 6; 7; 8
58		1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8
59		1; 2; 9; 4; 5; 6; 7; 8;
60		1; 2; 9; 10; 5; 6; 7; 8
61		1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9
62		1; 2; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10
63		1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10

Tabla 4.19: *Composición e identificación numérica y cromática de las 53 nuevas coberturas_WS. Parte II*

Cada una de las 53 nuevas cobertura_WS se representaron en la herramienta de planificación con el mismo color mostrado en la Tabla 4.18 y Tabla 4.19. El nombre de cada una de ellas fue escrito en Atoll de la siguiente manera: Cobertura_WS + *identificación*. En la Figura 4.35 se ilustra solo un grupo de las 53 simulaciones de cobertura_WS realizadas y a su vez se muestra la cobertura_WS 62 en la comarca del Baix Llobregat.

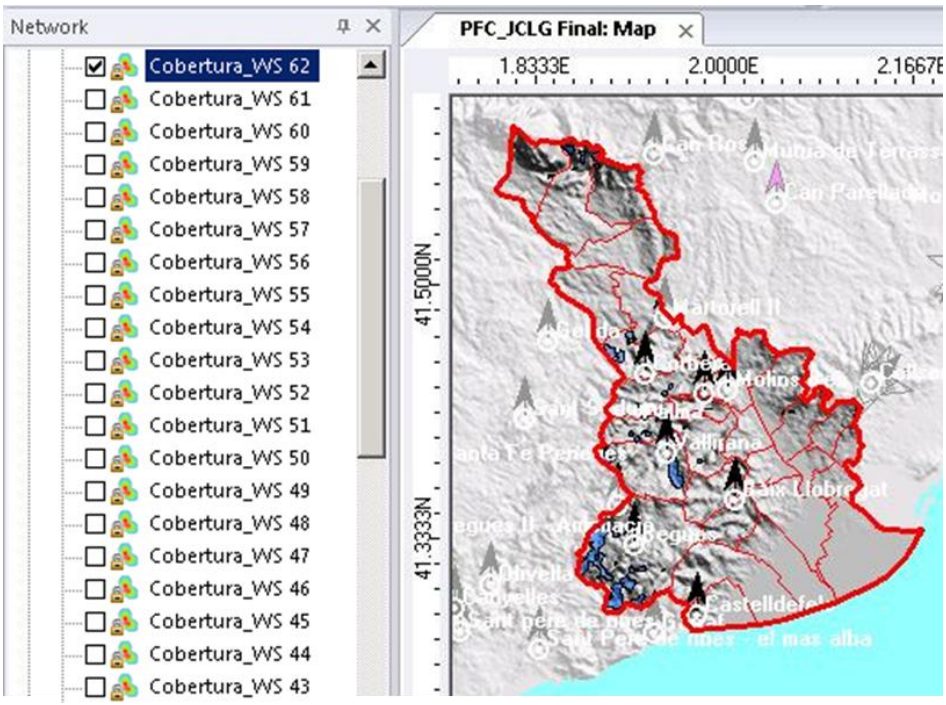


Figura 4.35: *Representación de un grupo de las 53 nuevas coberturas_WS en Atoll. Dibujada la cobertura_WS 62 en la comarca*

4.4.3 Intersección de las cobertura_WS de los canales ocupados en Atoll

Para poder representar intersecciones que forman las nuevas 53 coberturas_WS con la herramienta de planificación Atoll, se utilizó la opción *Compare With*, la cual además de intersecciones brinda opciones de dibujar en el mapa la unión y diferencias entre ellas.

Sin embargo, la opción solo trabaja con dos coberturas_WS a la vez, creando un proceso lento y laborioso si se desea conseguir intersecciones mayores, siendo el caso de las coberturas_WS identificadas con el número 21 hasta el 63 en la Tabla 4.18 y Tabla 4.19, las cuales requieren comparar más de 2 coberturas_WS. Para ejemplificar este proceso, si se desea intersectar las coberturas_WS de los canales que forman la cobertura_WS 38 (intersección de las coberturas_WS 8, 2, 1 y 9 entre si) se debe realizar primero un *Compare With* entre las coberturas_WS 8 y 2, su resultado ejecuta la opción *Compare With* pero con la cobertura_WS 1 y ese resultado ejecuta de nuevo la opción pero con la cobertura_WS 9, obteniéndose así la intersección de las 4 coberturas_WS.

Por lo tanto, se optó por otra alternativa más eficiente (para obtener la cobertura_WS 38) realizando solo una simulación con los parámetros establecidos para representar una cobertura_WS, pero activando la cantidad de canales que se quieran intersectar (los canales que se encuentran en las coberturas_WS 8, 2, 1 y 9 son los canales 46, 27 o 31 o 34 o 47, 26 o 28 y 61 respectivamente), obteniéndose el mismo resultado que la intersección de las coberturas_WS de dos en dos.

Para demostrar la veracidad de lo dicho anteriormente se realizó una comparación entre las dos alternativas, utilizando las coberturas_WS 1 y 6. Para representación de la Figura 4.36 se usó opción *Compare With* y para la Figura 4.37 se realizó una nueva simulación involucrando a los canales 26 y 39 usando los parámetros para hallar cobertura_WS, mostrados a continuación:

- ***Server*****:** *Best Signal Level*.
- -100 dBµV/m <= ***Signal Level* (dBµV/m)** < 56 dBµV/m.
- ***With a margin*****:** 0 dB.
- ***Display type:*** *Unique*

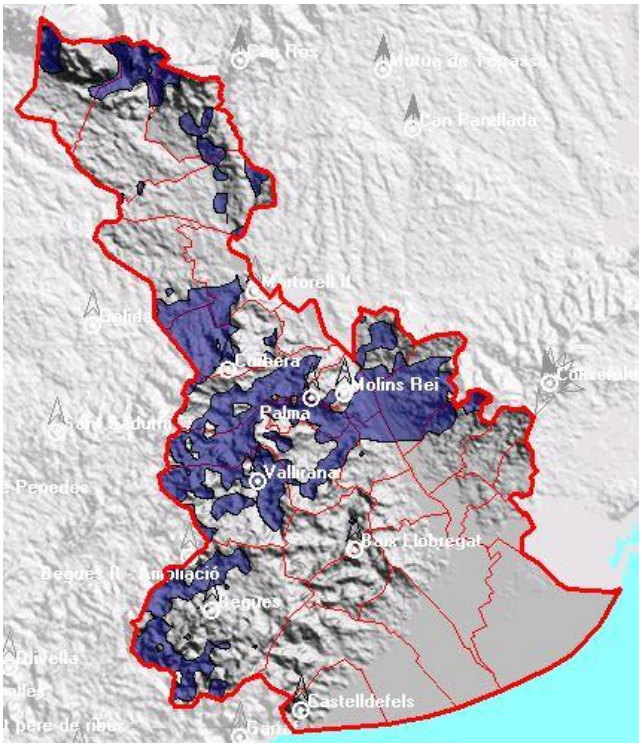


Figura 4.36: *Intersección de las coberturas_WS 1 y 9 usando la opción Compre With*

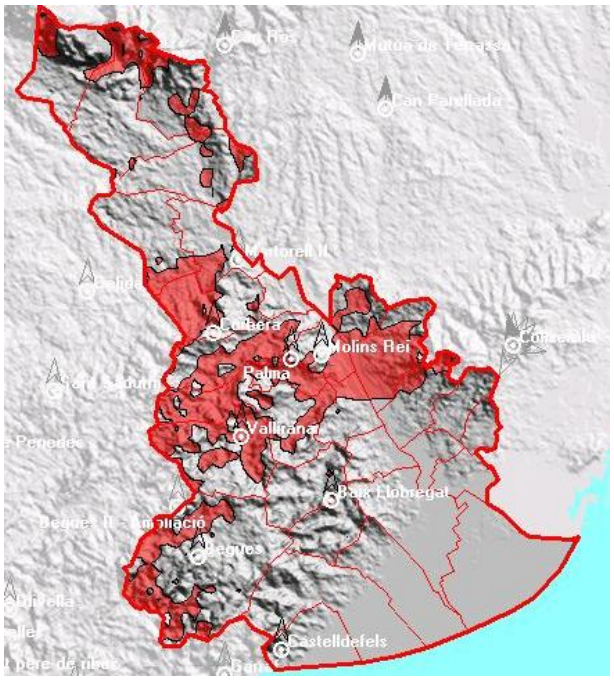


Figura 4.37: *Simulación de coberturas_WS de los canales implicados en 1 y 9 a la vez.*

Se apreció que las dos coberturas resultantes son bastantes parecidas, pero para comprobar que poseen las mismas características, se realizó un *Generate Report* para visualizar la superficie medida en Km^2 y el porcentaje del área cubierta del *Computation Zone* para cada una de ellas, donde en Tabla 4.20 se tiene el resultado aplicando la opción *Compare With* y en la Tabla 4.21 para la simulación realizada.

Zona	**Nombre**	**Superficie (km^2)**	***%Computation Zone***
	Intersección de coberturas_WS canal 26 y canal 39	**110.480**	**22,7**

Tabla 4.20: *Generate Report de la intersección de las coberturas_WS 1 y 9 usando la opción Compre With*

Zona	**Nombre**	**Superficie (km^2)**	***%Computation Zone***
	Simulación de la cobertura_WS canales 26 y 39	110.480	22,7

Tabla 4.21: *Generate Report de la Simulación de coberturas_WS 1 y 9 a la vez*

Se observó que ambos estudios arrojaron los mismos resultados, donde poseen el mismo territorio ocupado en el *Computation Zone*, resultando un método fiable realizar una simulación de cobertura_WS involucrando a los canales deseados, lográndose así conseguir las coberturas_WS enumeradas desde el 11 hasta el 63 en la herramienta de planificación de radio frecuencia Atoll.

Además, es destacable el efecto del *Display Type* cuando se selecciona en modo *Unique*, donde para la simulación de cobertura con un *Signal Level* mayor e igual a 56 dBμV/m,

resultó la unión de las coberturas de los transmisores, en cambio para el rango de estudio donde el *Signal Level* fue mayor e igual a -100 dBμV/m y menor a 56 dBμV/m resultó ser la intersección. Esta ultima se debe a que Atoll, como lo explica [16, p. 110], con un estudio *Best Signal Level*, calcula el *Signal Level* recibido en cada *pixel* por un transmisor y lo compara con el resto quedándose con el mejor, ahora bien, si dicho valor se encuentra dentro del rango anteriormente definido procederá a pintarlo, por esta razón, solo se pinta la intersección de las coberturas_WS donde son esos *pixels* los que garantizan un *Signal Level* dentro del rango (mayor e igual a -100 dBμV/m y menor a 56 dBμV/m) por parte de todos los transmisores involucrados en la simulación.

5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el siguiente capítulo se describe el procedimiento realizado para conseguir el mínimo tamaño de *White Space* que poseen las coberturas_WS encontradas en el capitulo de Desarrollo. Posteriormente se explican dos formas en la que estas puedan ser visualizadas en la herramienta de planificación Atoll, la primera consiste en mostrar las coberturas_WS para un determinado tamaño, y en la segunda se representan los diferentes tamaños de *White Spaces* presentes dada una determinada cobertura_WS; y finalmente son mostradas las coberturas_WS más interesantes, teniéndose la más extensa y la de mayor tamaño.

5.1 Tamaño de *White Space* representado por las coberturas_WS

En el capítulo de Desarrollo se definieron un grupo de coberturas_WS las cuales serán capaces de representar todos los posibles tamaños de *White Spaces* presentes en la comarca del Baix Llobregat, comprendiendo un total de 63, donde 10 corresponden a las coberturas_WS de los canales ocupados en la banda de televisión y las otras 53 fueron formadas por intersecciones entre las 10 primeras coberturas_WS ubicadas en canales consecutivos.

Por otro lado, el mínimo tamaño de *White Space* establecido para cada cobertura_WS de un canal determinado se consigue observando cuales son las coberturas_WS de los canales adyacentes a ella, donde su tamaño vendrá limitado por la presencia de otras coberturas_WS. Para un caso particular, el proceso se ilustra a continuación.

Por ejemplo, si se define una nueva banda de televisión compuesta por 6 canales (Figura 5.2), en donde los canales #1, #3, #4 y #6 están ocupados y los canales #2 y #5 están libres. Además, se definen dos cobertura_WS (color azul y rojo) para los distintos canales, definidas según las configuraciones de salida de sus transmisores (azul: canal #3 y #4, rojo: #1 y #6).

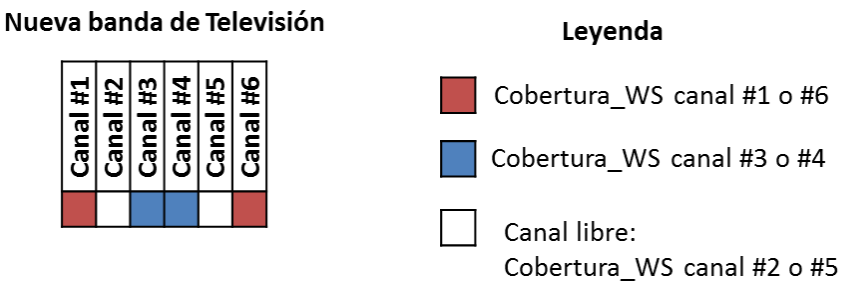


Figura 5.1: *Ejemplo de una nueva banda de televisión, indicando la ubicación de coberturas_WS en la banda de televisión*

Posteriormente se decide estudiar cuál es el mínimo tamaño de *White Space* que define la cobertura_WS canal #3, la cual está limitada a la existencia de otros tipos de coberturas_WS, en donde el tamaño de la cobertura aumentará según la máxima cantidad de canales adyacentes a ella comprendiendo las siguientes alternativas:

- Cobertura_WS canal libre: comprende 8 MHz en todo el territorio de la zona de trabajo.
- Mismo tipo a la cobertura_WS estudiada: comprende 8 MHz adicionales en el territorio estudiado.

Véase en la Figura 5.2 que el mínimo tamaño de *White Space* posible es ofrecido por la cobertura_WS canal #3 equivalente a 8 MHz (ancho de un canal). Partiendo de este hecho su tamaño aumentará tras encontrarse con el canal #4 a 16MHZ (mismo tipo de cobertura_WS), luego con el canal #5 a 24MHz (canal libre) y finalmente con el canal #2 se incrementará a un máximo de 32MHZ (canal libre), ya que esta limitado a la existencia de otro tipo cobertura_WS (color rojo en los canales 1 y 6).

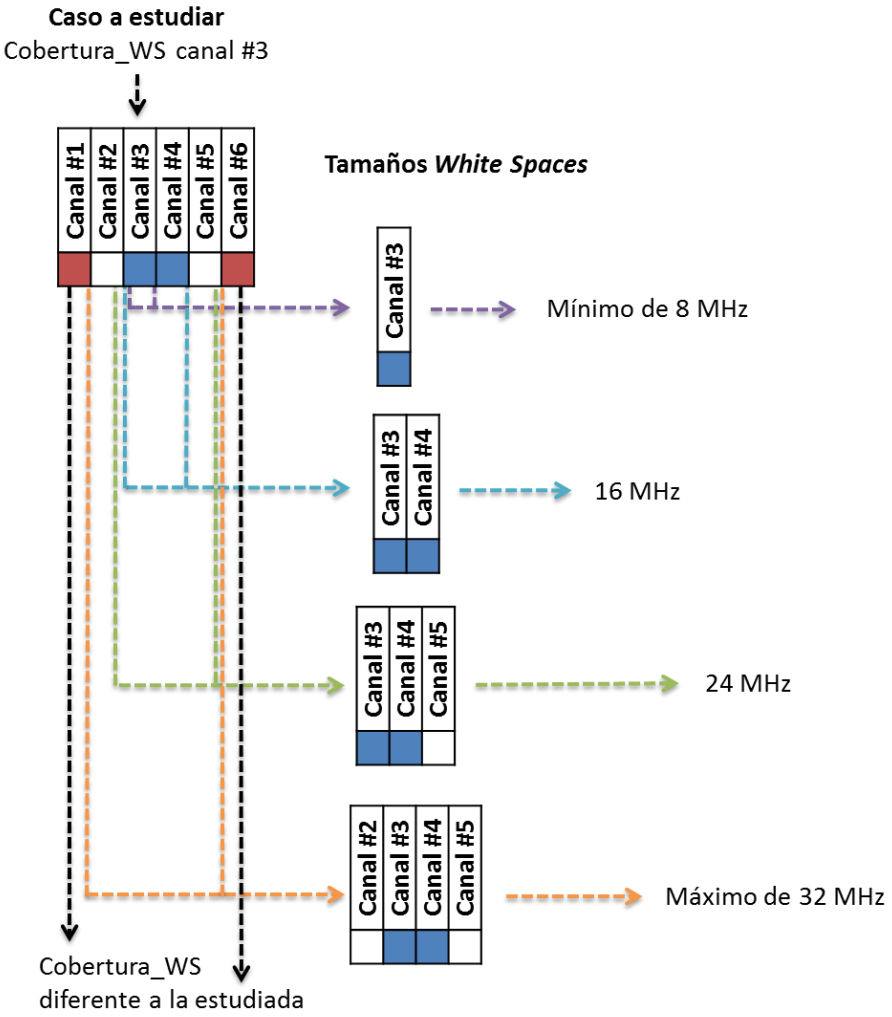


Figura 5.2: *Máximo tamaño de White Space para una cobertura_WS*

Es importante resaltar que existen diferentes caminos para aumentar el tamaño de una coberturas_WS determinada, sin embargo el resultado final será el mismo. Por ejemplo, para el ejemplo mostrado en la Figura 5.2, dado el mínimo tamaño de 8MHz para la cobertura_WS canal 3, su tamaño aumentará tras encontrarse con el canal #2 a 16MHz (canal libre), luego con el canal #4 a 24 MHz (mismo tipo de cobertura_WS) y finalmente con el canal #5 se incrementará a un máximo de 32MHZ (canal libre).

Ahora bien, si se intersectan la cobertura_WS canal 3 con la cobertura_WS canal 6 para conseguir un mayor tamaño de *White Space*, se tiene como resultado una nueva cobertura_WS de 48 MHz (32MHz por la cobertura_WS canal 3 + 16 MHz de la cobertura_WS canal 6 y 1), garantizando:

- Que la nueva cobertura_WS este en un 100% dentro de la cobertura_WS estudiada inicialmente (cobertura_WS canal 3), y por otro lado;
- Aquellas nuevas zonas donde es posible conseguir tamaños de *White Spaces* mayores al ir intersectando la nueva cobertura_WS progresivamente con sus coberturas_WS adyacentes, da como resultado que el máximo tamaño de *White Space* encontrado para la cobertura_WS canal 3 sea visto como un mínimo dada a la creación de estas nuevas coberturas_WS.

De esta forma se pudo definir el mínimo tamaño de *White Space* para cada una de las 63 coberturas_WS ubicadas en la comarca del Baix Llobregat, donde las coberturas_WS enumeradas desde el 11 hasta el 63, tras ser formadas por intersecciones, siguen el mismo procedimiento expuesto para definir el tamaño de una cobertura_WS. En las siguientes figuras se muestra la asignación del mínimo tamaño de *White Space* para 7 coberturas_WS de las 63 que existen, donde en la Figura 5.3 se trabajó con solo una cobertura_WS, en la Figura 5.4 con intersecciones de coberturas_WS y en la Figura 5.5 con una cobertura_WS pero estando ubicada en dos parte de la banda de televisión.

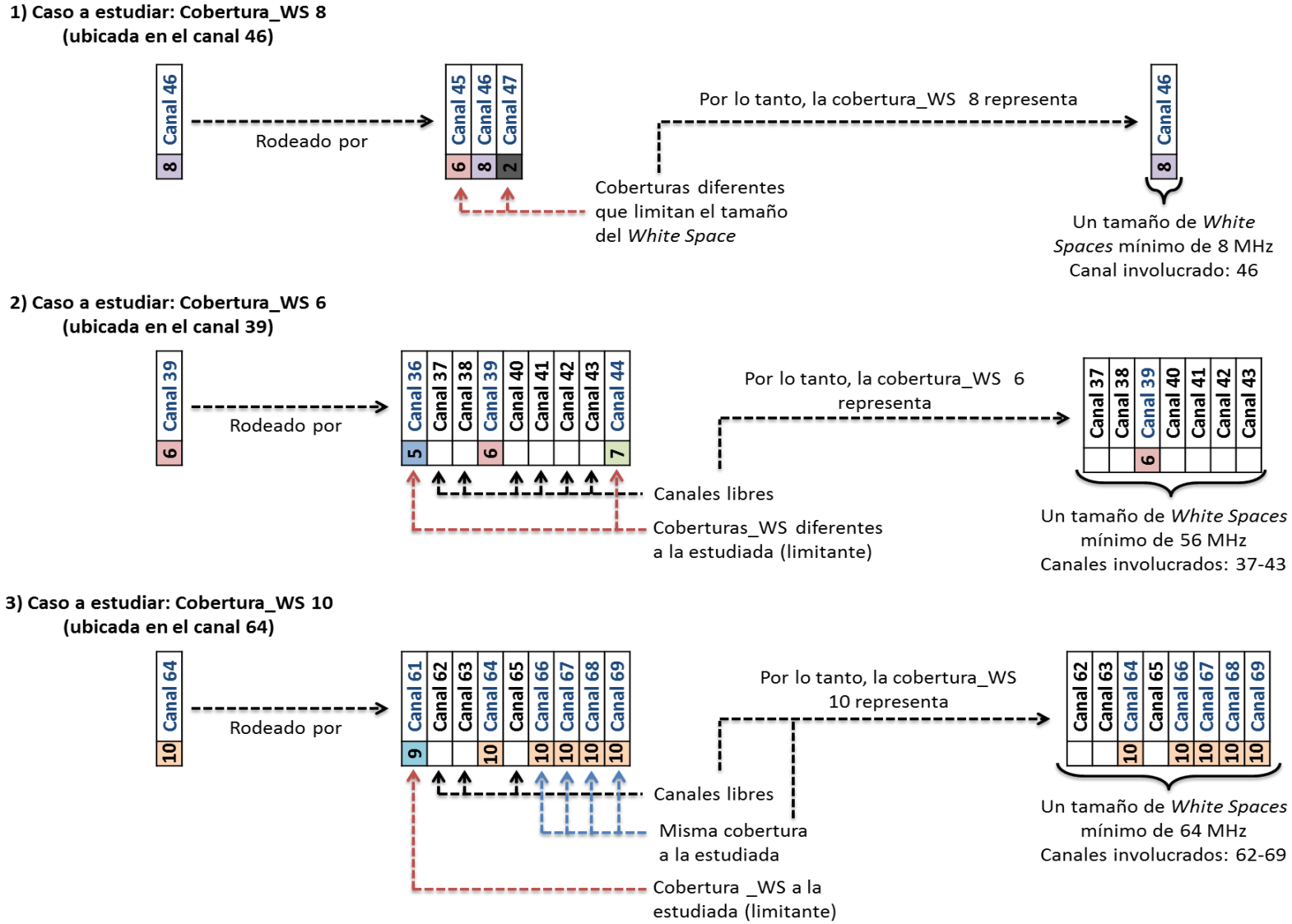


Figura 5.3: *Tamaños de White Spaces para una cobertura_WS*

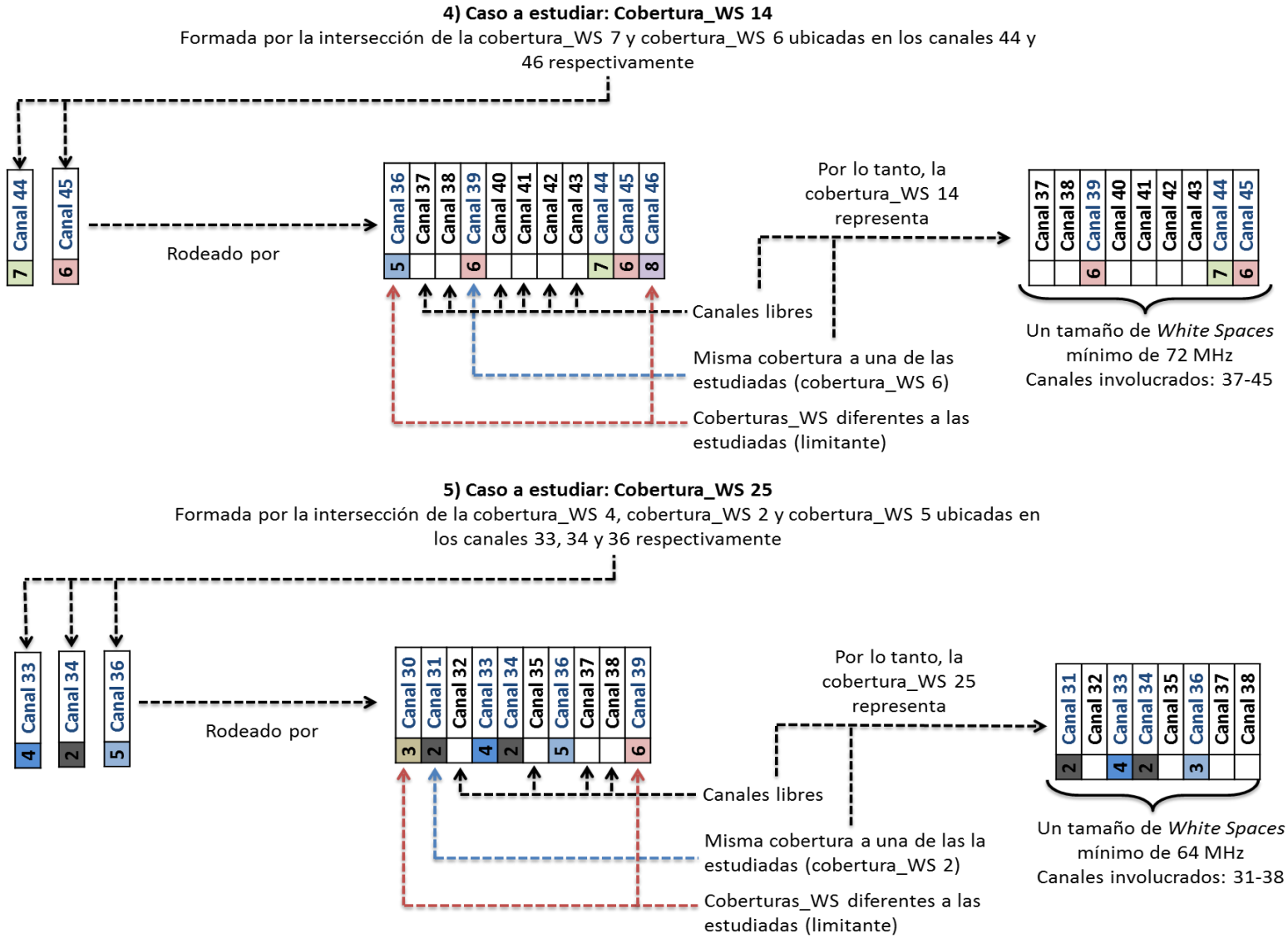


Figura 5.4: *Tamaño de White Space para coberturas_WS que involucra la intersección de varias de ellas*

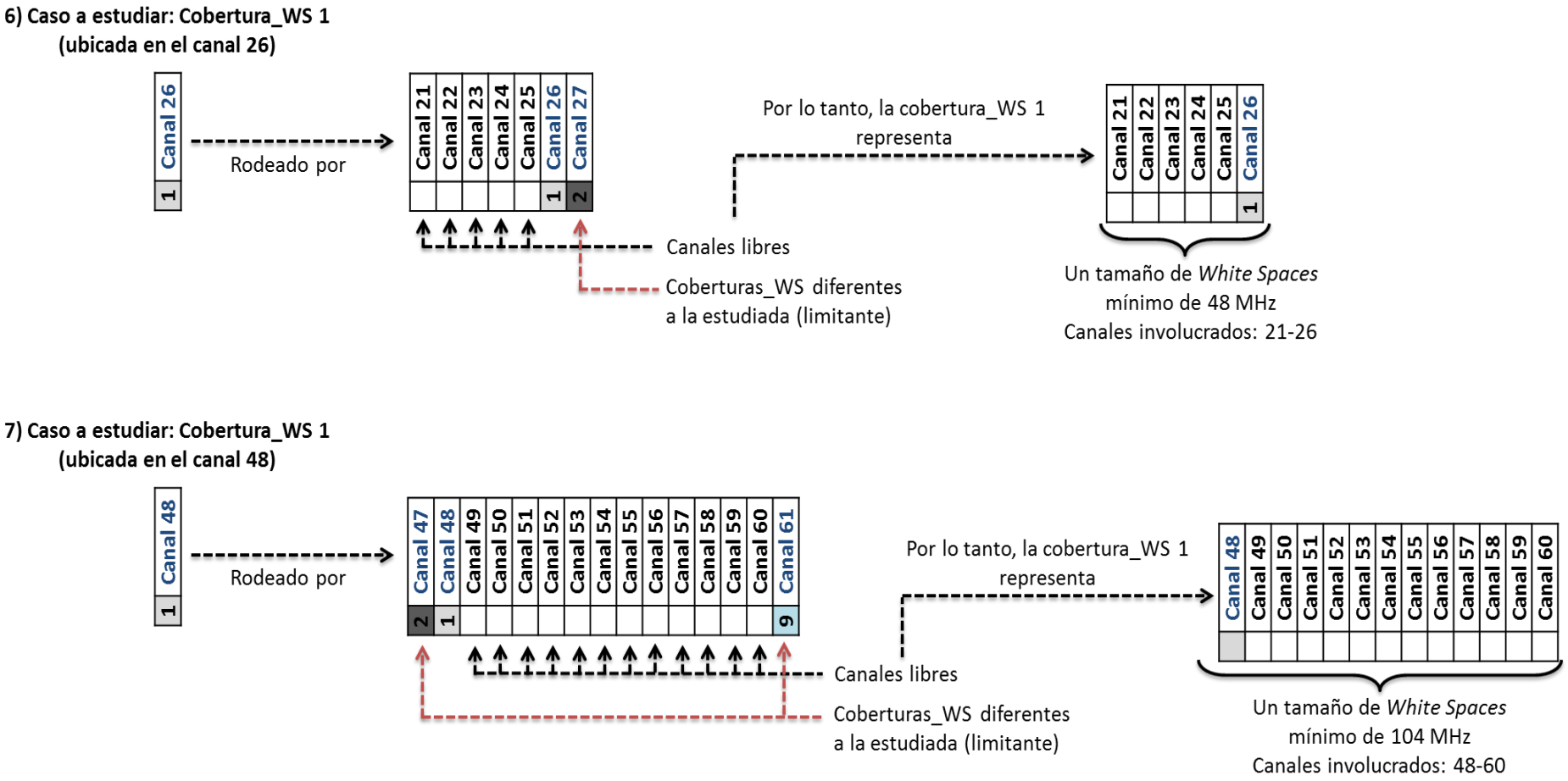


Figura 5.5: *Tamaño de White Spaces para una cobertura_WS ubicada en diferentes parte de la banda de televisión (Caso a estudiar: cobertura_WS 1)*

En las figuras anteriores se aprecia que, además de ser asignado el mínimo tamaño de *White Space*, cada una cobertura_WS se ubica en una parte especifica de la banda de televisión permitiendo de esta manera conocer donde se encuentran situadas de forma exacta en el espectro.

Por otro lado, en la Figura 5.5 se muestra que para una cobertura_WS es posible que represente varios tamaños de *White Spaces*, debido a que algunos canales (26 y 48) poseen la misma cobertura_WS en diferentes partes de la banda de televisión. Este caso se repite para otras coberturas_WS, obteniéndose de esta forma 15 diferentes tamaños entre las 10 coberturas_WS correspondientes a los canales ocupados en la banda, mostrándose en la Tabla 5.1.

Cobertura_WS	**Tamaño de *White Space***	**Ubicación en canales**
9	120 MHz	49-63
1	104 MHz	48-60
10	64 MHz	62-69
6	56 MHz	37-43
1	48 MHz	21-26
7	40 MHz	40-44
5	32 MHz	35-38
3	24 MHz	28-30
2	24 MHz	27-29
2	16 MHz	34-35
4	16 MHz	32-33
2	16 MHz	31-32
2	8 MHz	47
8	8 MHz	46
6	8 MHz	45

Tabla 5.1: *Tamaño y ubicación en la banda de las coberturas_WS de cada canal ocupado de televisión*

Al mismo tiempo, fueron tomados en cuenta aquellos tamaños de *White Spaces* que se encuentran en todo el territorio de la comarca del Baix Llobregat, estando comprendidos por un canal no ocupado (libre) o por una agrupación consecutiva de ellos ubicados en la banda de televisión (9 bloques en total) ilustrados en la Figura 5.6. Asimismo, en la Tabla 5.2 se muestra tanto el tamaño de White Space como cuales son los canales que conforman la cobertura_WS para cada bloque.

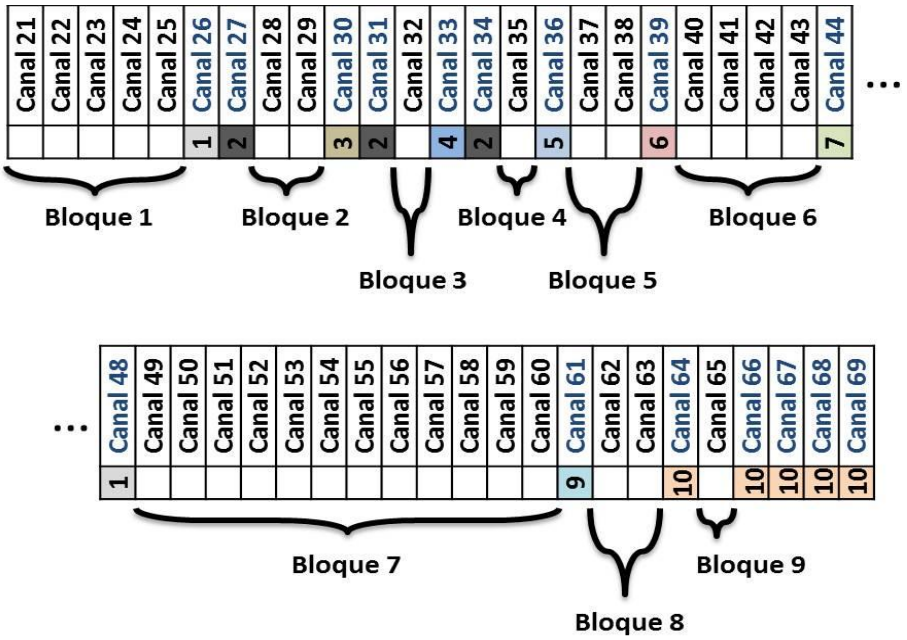


Figura 5.6: *Representación de los canales libres en la banda de televisión*

Bloque	Tamaño	Ubicación en canales
1	40 MHz	21-25
2	16 MHz	28-29
3	8 MHz	32
4	8 MHz	35
5	16 MHZ	37-38
6	32 MHZ	40-43
7	96 MHz	49-60
8	16 MHz	62-63
9	8 MHz	65

Tabla 5.2: *Tamaño y ubicación en la banda de las coberturas_WS de cada bloque de canales libres consecutivos de televisión*

De esta manera se obtuvieron un total de 77 coberturas_WS, donde cada una de ellas representa el mínimo tamaño de *White Space* existente en un territorio determinado y a su vez se conoce en que parte de la banda de televisión están ubicadas. El total esta compuesto por:

- 15 coberturas_WS que involucran a las coberturas_WS 1 hasta la 10.
- 9 coberturas_WS formadas por los canales libres consecutivos.
- 53 coberturas_WS que representan las posibles combinaciones al intersectar las coberturas_WS 1 hasta la 10.

Para las 77 coberturas_WS, con el fin de proporcionar de una manera cómoda lo que ellas representan en Atoll, fue modificado el nombre de cada una utilizando la siguiente nomenclatura: Cobertura_WS min + *tamaño de White Space* + *ubicación en canales* + (*número que las identifica*). Todas ellas son mostradas en la Figura 5.7.

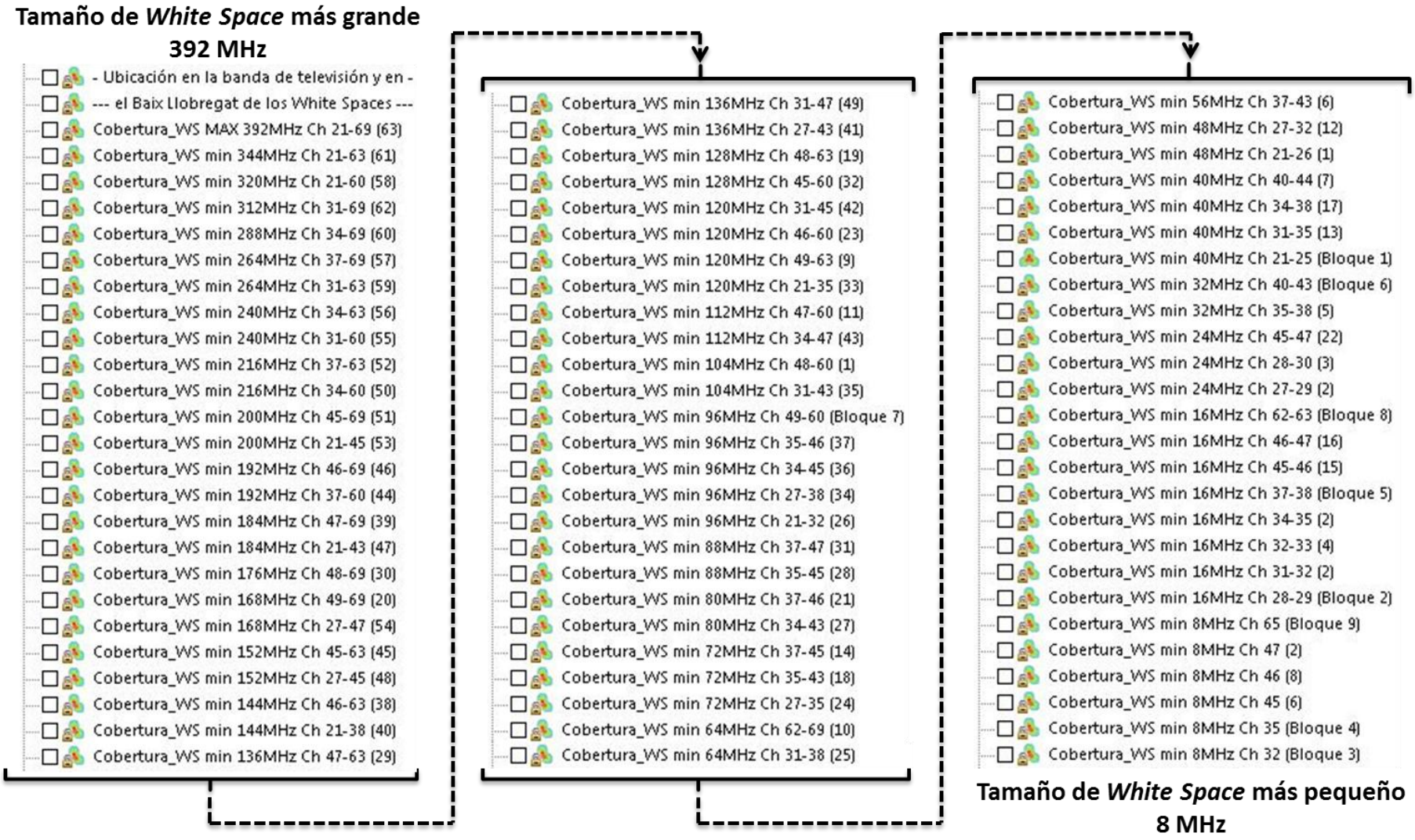


Figura 5.7: *Todos los posibles tamaños de White Spaces con su respectiva ubicación en los canales de la banda de televisión presentes en la comarca del Baix Llobregat*

Una vez organizadas las 77 coberturas_WS solo se necesita activar la que se desee visualizar en la comarca del Baix Llobregat, donde la prioridad en ser mostradas en el mapa se rige por el orden ascendente en que éstas fueron colocadas en Atoll. Como se observó en la Figura 5.7, las coberturas_WS fueron ordenadas de mayor a menor, siendo la Cobertura_WS MAX 392 MHz Ch 21-69 (63) la primera en verse y la Cobertura_WS 8 MHz Ch 32 la ultima.

5.2 Formas de visualizar las coberturas_WS en Atoll

A continuación se mencionan dos formas de visualizar las coberturas_WS conseguidas con la herramienta de planificación para lograr el mayor provecho de ellas.

5.2.1 Coberturas_WS con un mínimo tamaño de *White Space*

Para el desarrollo de este apartado, fue de utilidad la forma en que Atoll describe los estudios enseñados en la zona de trabajo, el cual muestra cuales son las coberturas_WS presentes en un punto determinado del mapa al colocar el puntero sobre él. Para ilustrar esto, solo se activó la Cobertura_WS 8 MHz Ch 45 (6) para colocar el puntero en dos puntos: el primero en donde exista cobertura_WS y el segundo en donde no haya; obteniéndose el resultado mostrado en la Figura 5.8.

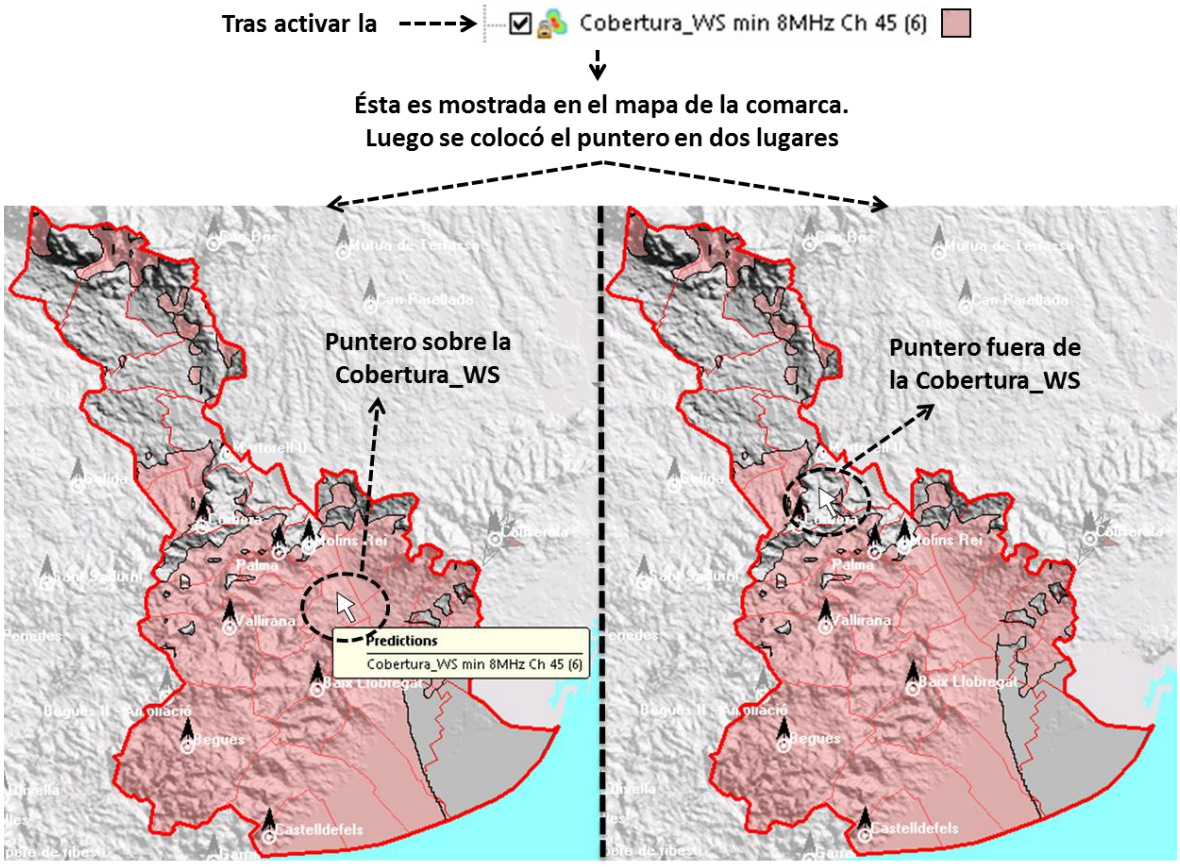


Figura 5.8: *Puntero colocado fuera y dentro de la cobertura_WS activada en el mapa de Atoll*

Véase que tras seleccionar un punto de la cobertura_WS activada, el nombre de la misma (Cobertura_WS min 8MHz Ch 45 (6)) se muestra en un recuadro próximo al puntero, en cambio para el punto que no fue pintado, al colocar el puntero sobre él no se observa ningún resultado.

Por lo tanto, la importancia de esta característica se obtiene cuando se desee conseguir cual es la disponibilidad del espectro para una determinada coordenada, indicando automáticamente (para las coberturas_WS activadas) cual es tamaño de *White Space* existente y en que parte esta ubicado en la banda de televisión, gracias a la estructura del nombre de cada cobertura_WS.

Es por ello que la información conseguida con la herramienta de planificación puede servir de arranque para la creación de una base de datos con un soporte grafico adicional, la cual contendrá la información de los tamaños de *White Space* ubicados en la banda de televisión para la comarca del Baix Llobregat y de cualquier otro territorio de España peninsular y Baleares (gracias a [15]), donde los usuarios secundarios podrán hacer consulta al enviar su ubicación a la base de datos, siendo esta técnica conocida como Geo-localización.

A continuación se plantea una situación en donde es posible ofrecerle a un usuario secundario la información de los tamaños de *White Spaces* con el apoyo de una representación gráfica, visualizando los posibles beneficios aplicados a una zona del Baix Llobregat que él desee.

El ejemplo se muestra en la Figura 5.9, el cual consistió en una solicitud de información por parte de un usuario secundario a la base de datos sobre la disponibilidad de un tamaño de *White Space* mínimo de 24 MHz en la banda de televisión, por lo tanto, para satisfacer dicha petición se necesitó la activación de aquellas coberturas_WS que representan el tamaño solicitado, dentro de las cuales se tienen:

- Cobertura_WS min 24MHz Ch 45-47 (22).
- Cobertura_WS min 24MHz Ch 27-29 (2).
- Cobertura_WS min 24MHz Ch 28-30 (3).

Adicionalmente en la Figura 5.9, se muestran los resultados obtenidos al enviar la información solicitada con un soporte gráfico al usuario secundario, donde el contenido puede ser ofrecido de la misma forma en que Atoll muestra las coberturas_WS para un punto determinado, gracias a que la base de datos maneja dicha información, lográndose así sacar el mayor provecho de esta característica.

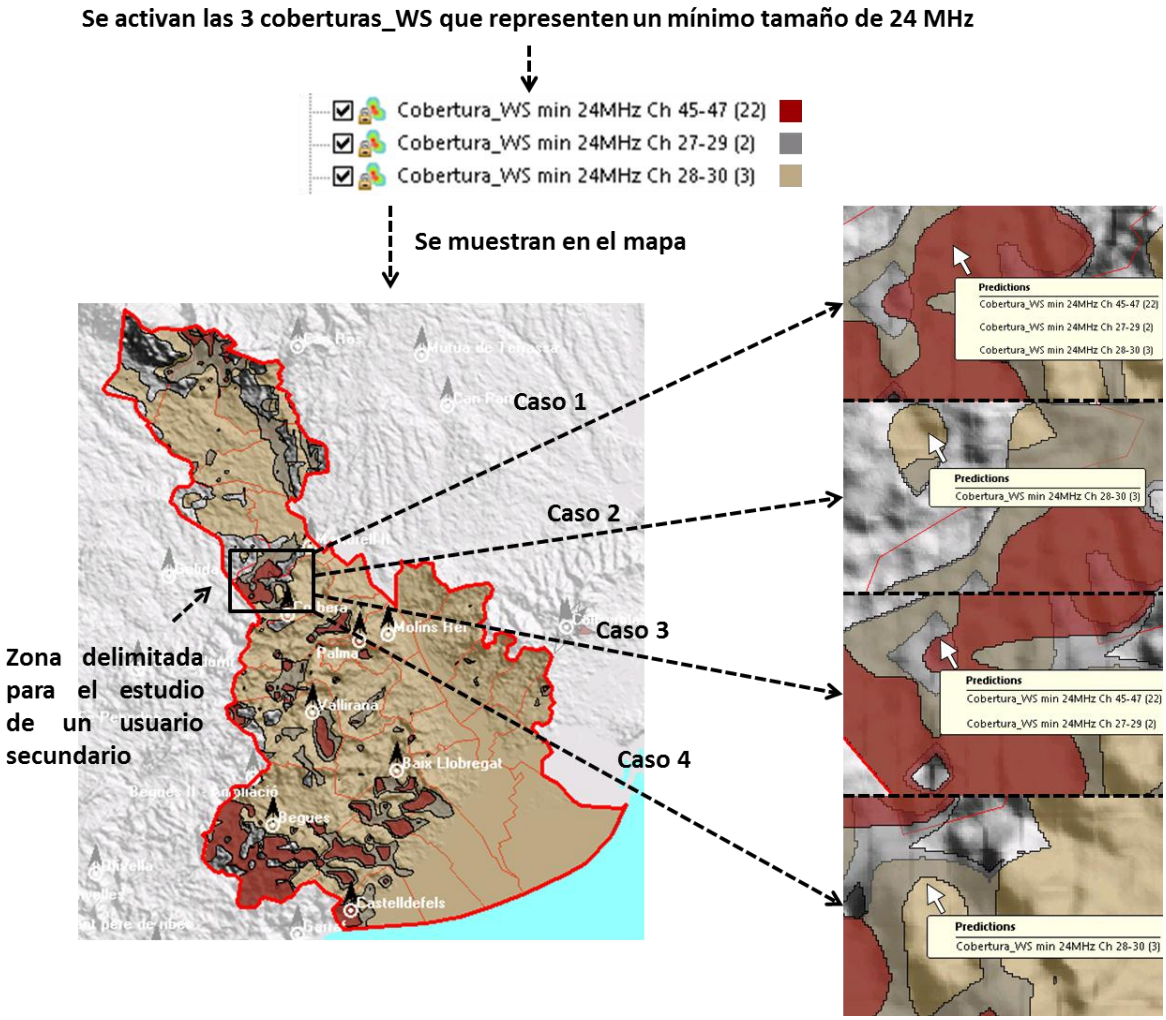


Figura 5.9: *Representación de un tamaño de White Spaces mínimo de 24 MHz en la comarca*

En la figura anterior se aprecia que gracias a la representación grafica de las coberturas_WS, brinda la posibilidad a un usuario secundario de conocer los puntos geográficos en donde puede hacer uso del tamaño de *White Space* solicitado. Además, para aquellas coordenadas geográficas que sean seleccionadas se muestra aquellas partes del espectro en donde es posible hacer uso de dicho tamaño. Para el ejemplo ilustrado en la Figura 5.9, son mostrados en los casos 1, 2, 3 y 4 donde son obtenidos 3, 1, 2 y 1 *White Space* de tamaño 24 MHz respectivamente encontrados en diversas partes de la banda de televisión.

5.2.2 Representación de distintos tamaños de *White Spaces* para una cobertura_WS

Uno de los mayores beneficios que tienen los usuarios secundarios en transmitir en una banda estática como lo es la banda de televisión, es la posibilidad de poder realizar cualquier tipo de pruebas sin el temor de la aparición de los usuarios primarios, evitando de esta manera su traslado a otras partes del espectro.

Ahora bien, hasta ahora solo ha sido planteada una situación en donde el usuario secundario realiza una solicitud a la base de datos sobre un determinado tamaño de *White Space*, ésta puede concederle la información pero, brindándole oportunidad al usuario secundario de transmitir en diferentes parte de la banda, gracias a que la base de datos conoce la ubicación de los diferentes tamaño de *White Spaces.*

Una forma de evitar la movilidad del espectro por parte de los usuarios secundarios se consiguió al trabajar con una cobertura_WS cualquiera y ampliar, en ciertas zonas, el tamaño de *White Space* que esta dispone con tan solo intersectar su cobertura con las de sus canales adyacentes, garantizado a los usuarios secundarios un desplazamiento en territorio pero no en el espectro para conseguir un tamaño de *White Space* mayor.

Es de resaltar que todos los posibles tamaños que quieran ser definidos en una determinada zona han de ser previamente encontrados y estar representados por la intersección entre las coberturas_WS formadas por los canales ocupados, siendo estas capaces de mostrar la ubicación de cualquier tamaño en la banda de televisión.

Sin embargo, la forma en que estos se muestran (Figura 5.7) no es fácil de manejar para conseguir el objetivo, es por ello que se decidió ubicar las 77 coberturas_WS encontradas en el apartado 5.1 de este capítulo en la banda de televisión, obteniendo así una visión más clara de su distribución en el espectro, ilustrado en la Figura 5.10 y Figura 5.11.

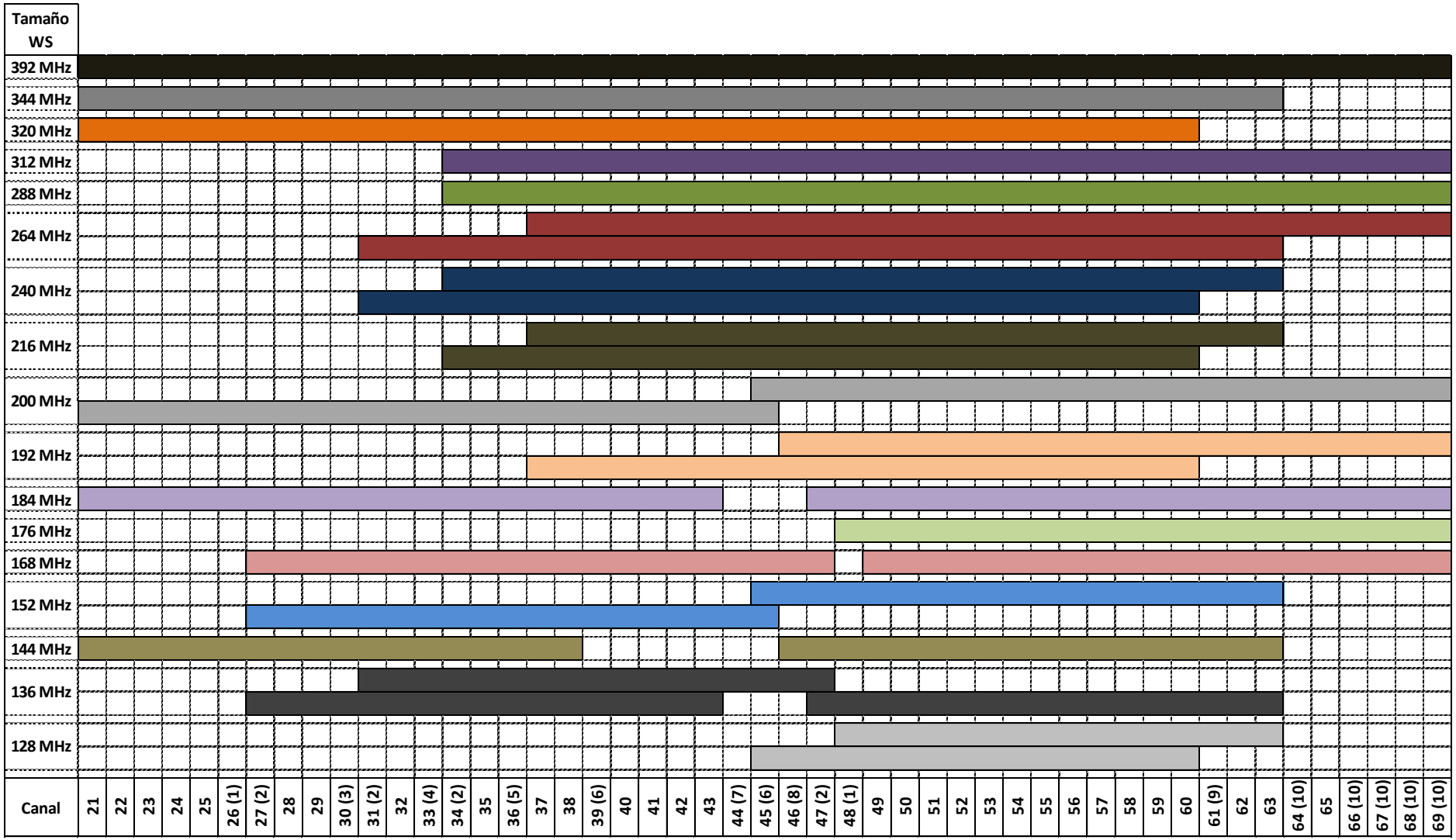


Figura 5.10: *Ubicación gráfica de los distintos tamaños de los White Spaces en la banda de televisión. Parte I*

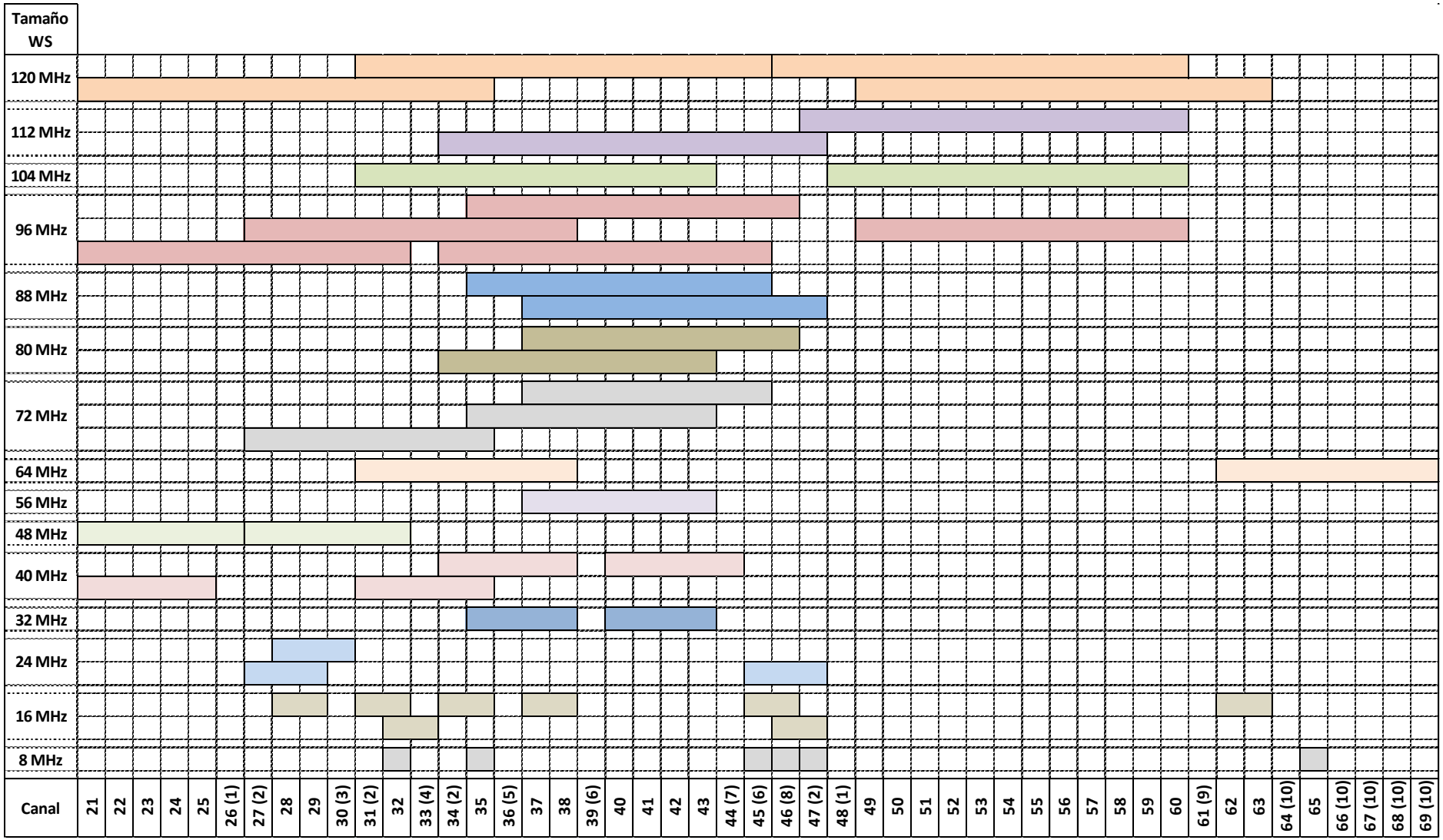


Figura 5.11: *Ubicación gráfica de los distintos tamaños de los White Spaces en la banda de televisión. Parte II*

Por lo tanto, para conocer cuales son los diferentes tamaños de *White Spaces* que se encuentran en una determinada cobertura_WS, son elegidas todas aquellas coberturas_WS generadas por intersecciones (indicadas en la Figura 5.10 y Figura 5.11 como barras horizontales a partir de los 16 MHz hasta los 392 MHz), con las siguientes características:

- Una vez escogida la cobertura_WS en donde se realizará el estudio, el próximo tamaño *White Space* que en ella se defina debe involucrar a los canales de la cobertura_WS a estudiar.
- Esta nueva cobertura_WS escogida estará dentro de la cobertura_WS estudiada en un 100%.
- El procedimiento se repite con la nueva cobertura_WS encontrada para tamaños mayores.

Por ejemplo, para los valores observados en la Figura 5.11, se selecciono un tamaño de *White Space* a estudiar (Figura 5.12: paso 1), luego se observó cuales eran las barras superiores que comprendían las de menor tamaño con una tendencia de crecimiento hacia los canales inferiores (Figura 5.12: paso 2), consiguiéndose así 4 tamaños de White Space superiores a los 32MHz de la cobertura_WS inicial, siendo estos: 56 MHz, 72 MHz, 80 MHz y 104 MHz.

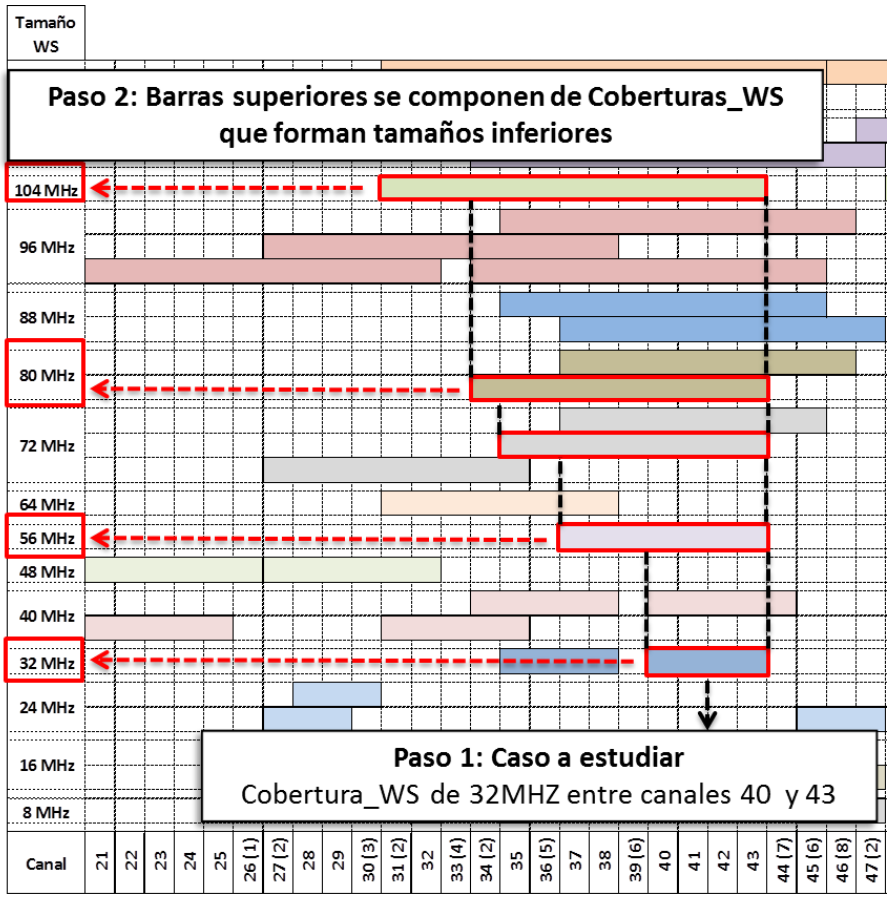


Figura 5.12: *Procedimiento para conseguir mayores tamaños de White Spaces dentro de una cobertura_WS*

Es importante destacar que el procedimiento expuesto en la Figura 5.12 es una de las varias alternativas para representar los distintos tamaños de *White Spaces* dada una cobertura_WS cualquiera.

Posteriormente, fueron activadas en la herramienta de planificación Atoll aquellas coberturas_WS las cuales representan los tamaños conseguido en la Figura 5.12 para ser mostradas en la comarca, obteniéndose de esta forma la Figura 5.13.

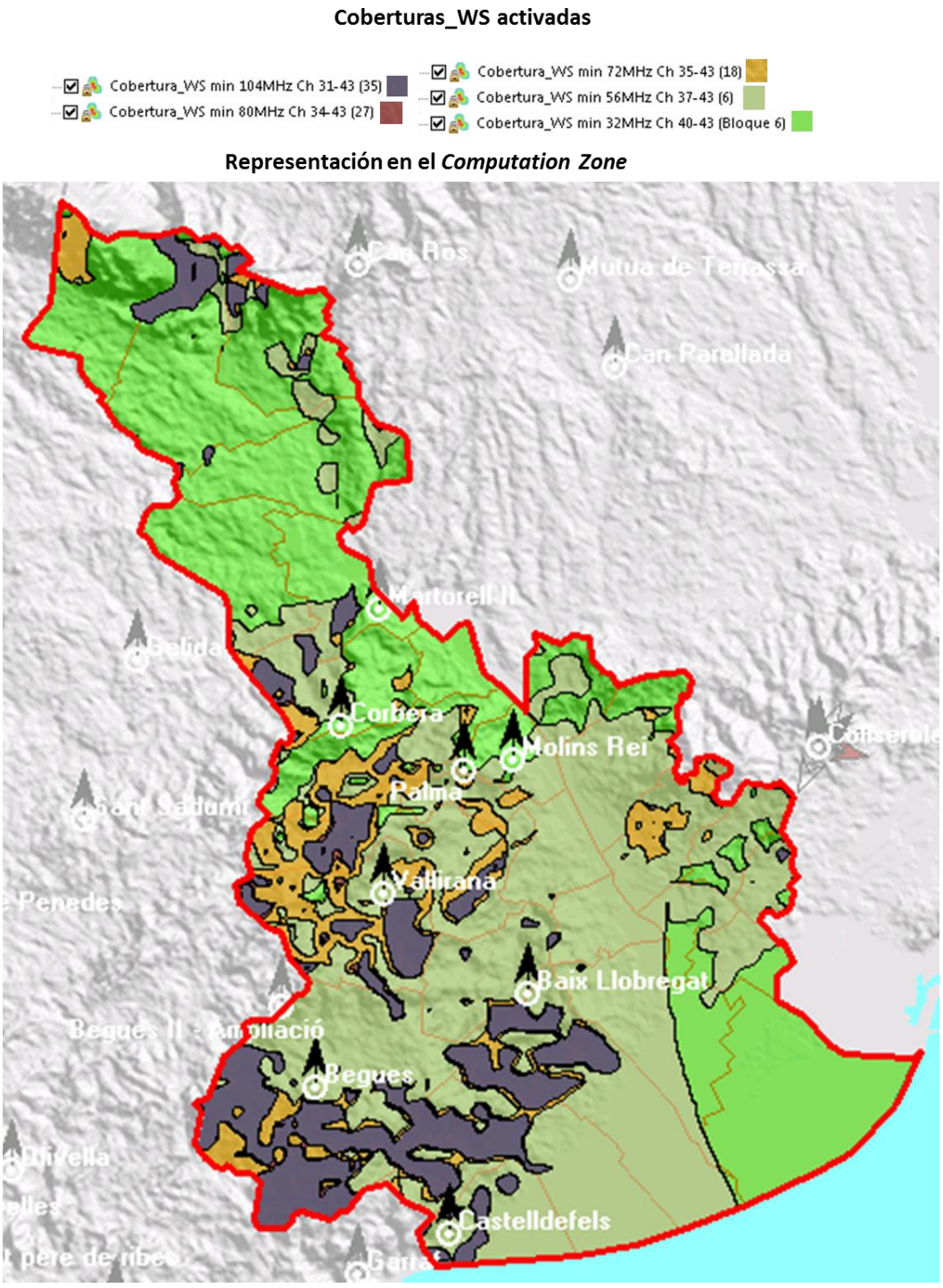


Figura 5.13: *Representación de los mayores tamaños de White Spaces dentro de una cobertura_WS*

En la figura anterior, se aprecia que para una cobertura_WS en específico es posible ubicar los tamaños de *White Spaces* mayores dentro de ella. Donde para la cobertura_WS cobertura_WS min 32MHZ se consigue la cobertura_WS min 56MHz, esta ultima a su vez contiene a la cobertura_WS min 72MHz y así sucesivamente para las más grande.

Sin embargo, se observa que la cobertura_WS min 80MHz es difícil de encontrar, por lo tanto se realizó un *Generate Report* para conocer el porcentaje cubierto por cada una de ellas en el *Computation Zone*, apreciado en la Tabla 5.3.

Cobertura_WS	***%Computation Zone***
Cobertura_WS min 32MHz Ch 40-43 (Bloque 6)	100
Cobertura_WS min 56MHz Ch 37-43 (6)	64,1
Cobertura_WS min 72MHz Ch 35-43 (18)	21,4
Cobertura_WS min 80MHz Ch 34-43 (27)	12,7
Cobertura_WS min 104MHz Ch 31-43 (35)	12,3

Tabla 5.3: *Porcentaje cubierto por las coberturas _WS de la Figura 5.13*

En la tabla anterior se observa que la cobertura_WS min 104MHz es la razón por la cual la cobertura_WS min 80MHz no se consiga con facilidad, donde el porcentaje cubierto por cada una de ellas es de 12,3% y 12,7% respectivamente. Esto quiere decir que para una cobertura_WS de un determinado tamaño limita la superficie de las cobertura_WS de tamaño inferior a ella, por lo tanto se puede conocer cual es el porcentaje exacto del territorio cubierto en la comarca del Baix Llobregat por cada cobertura de un tamaño determinado. En la Tabla 5.4 se muestra el porcentaje de superficie cubierta en el *Computation Zone* por cada cobertura_WS indicadas en la Tabla 5.3.

Cobertura_WS	***%Computation Zone***
Cobertura_WS min 32MHz Ch 40-43 (Bloque 6)	100% – 64,1% = **35,9%**
Cobertura_WS min 56MHz Ch 37-43 (6)	64,1% – 21,4% = **42,7%**
Cobertura_WS min 72MHz Ch 35-43 (18)	21,4% – 12,7% = **8,7%**
Cobertura_WS min 80MHz Ch 34-43 (27)	12,7% – 12,3% = **0,4%**
Cobertura_WS min 104MHz Ch 31-43 (35)	**12,3%**

Tabla 5.4: *Porcentaje de territorio cubierto donde solo es encontrado las coberturas _WS de la Figura 5.13*

Si los porcentajes encontrados representan la cantidad de territorio cubierto por los diferentes tamaños presentes en la cobertura_WS 32MHz Ch 40-43, la suma de todo ellos debe corresponder al territorio ocupado por la cobertura_WS de 32MHz (Tabla 5.3).La suma de los porcentajes es: 35,9% + 42,7% + 8,7% + 0,4% + 12,3% = 100% coincidiendo con el 100% que es cubierto por el territorio de 32MHz.

5.3 Coberturas_WS más interesantes

Después de representar todos los tamaños de *White Spaces* a través de las 77 coberturas_WS y analizar como deben ser visualizados en la herramienta de planificación Atoll de forma individual y conjunta, se decide hacer un *Generate Report* de cada una las 77 coberturas, con el fin de observar como es la representación de las coberturas_WS más importantes entre las cuales se tiene: *White Space* más grande y el más extenso en territorio (sin considerar a los canales libres consecutivos que nos ofrecen 96MHz libres siempre en el 100% del territorio), observándose en la Tabla 5.5.

Tamaño de *White Spaces*	**Canales**	**Territorio cubierto en la comarca**	**% Territorio cubierto en la comarca**
392 MHz	21-69	13.710 Km^2	2,8
24 MHz	28-30	443.752 Km^2	91

Tabla 5.5: *White Spaces más grande y más extenso de la comarca del Baix Llobregat*

El *White Spaces* más grande es de 392 MHz, este involucra a todos los canales de la banda de televisión y por ende la intersección de las coberturas_WS enumeradas desde el 1 hasta el 10, siendo esta la razón por la cual el territorio ocupado en el Baix Llobregat es de 13.710 Km^2 representando un 2,8% del total, ilustrado en la Figura 5.14 izquierda. En cambio, el *White Spaces* más extenso en territorio es representado por la cobertura_WS 3, que al estar adyacente a un par de canales libres (canales 28 y 29), ésta posee como mínimo un *White Space* de 24MHz en un territorio total de 443.752 Km^2 equivalente a un 91% de la superficie de la comarca, ilustrado en Figura 5.14 derecha.

El beneficio de seleccionar de seleccionar las cobertura_WS más extensa es que un usuario secundario se puede desplazar por toda la comarca sin necesidad de hacer un traspaso de frecuencias.

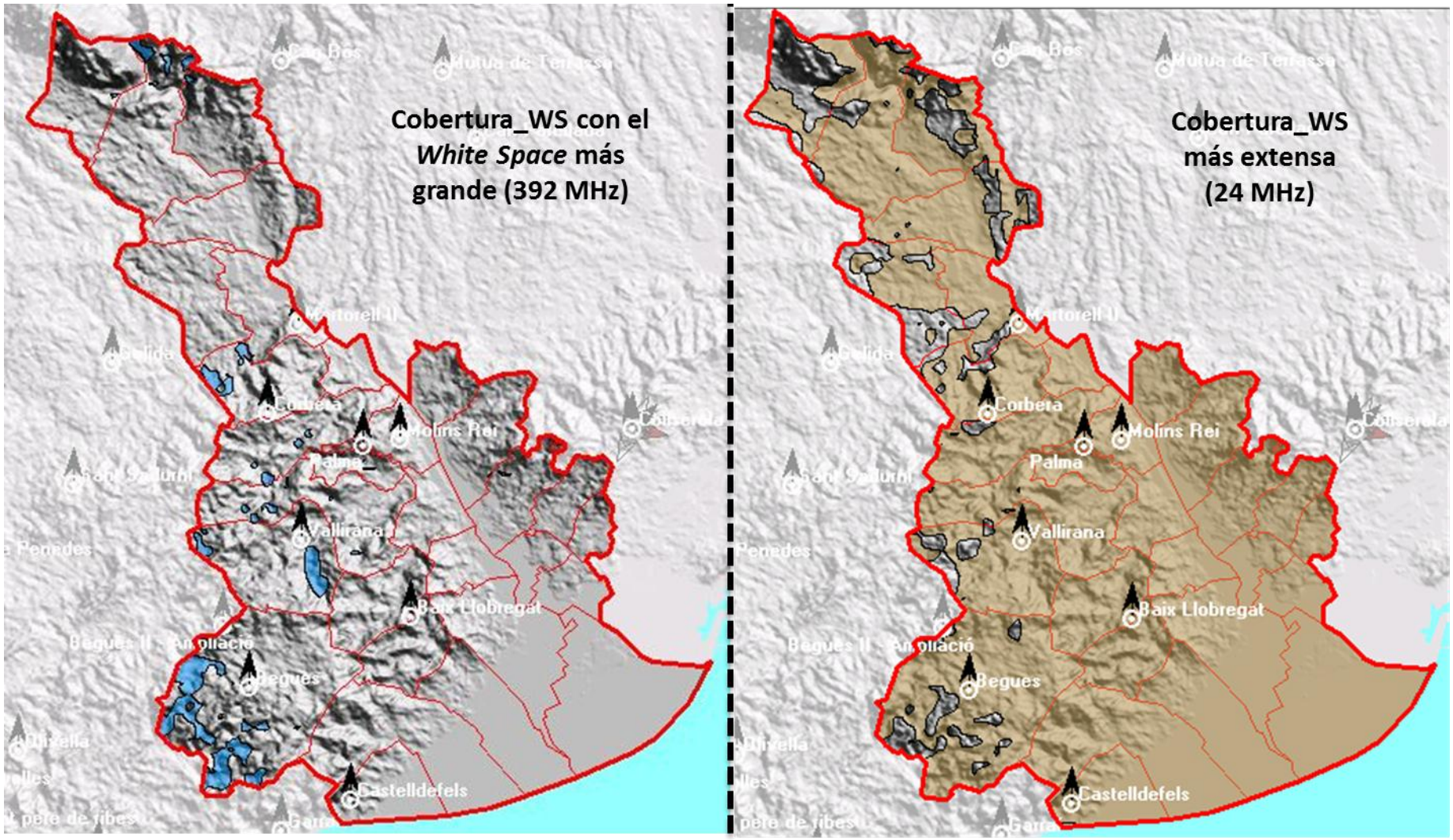


Figura 5.14: *White Space más grande (izquierda) y más extenso (derecha) de la comarca del Baix Llobregat*

5.4 Resolución de las simulaciones de cobertura

Para los estudios realizados en esta memoria se tomaron en cuenta dos valores resolución (indicados en el capítulo de Desarrollo): El primero señala cada cuanto se hizo el cálculo de la intensidad del campo para la zona de estudio, colocándose en la resolución de las simulaciones de cobertura con un valor de 20m, siendo esta la calidad de los mapas de terreno descargados de Barcelona, sin embargo, la segunda resolución se refiere al valor de atenuación usado por el modelo de propagación ITU526 por cada transmisor (tiene como nombre *Main Resolution,* observado al abrirse la tabla de transmisores en Atoll), siendo el mismo para los *pixels* encontrados cada 500m. Por lo tanto los resultados de la intensidad del campo pueden ser más exactos si se especifica una *Main Resolution* de 20m, ya que un valor de atenuación corresponderá a un *pixel* en específico.

Es por ello que se realizó un nuevo estudio modificando el *Main Resolution* a 20m para ser comparado posteriormente con uno de 500m, en donde ambos tienen una resolución de cobertura igual a 20m. Para ello se trabajó con el canal 33, el cual es usado por 34 transmisores en total. En la Figura 5.15 se ilustra las diferencias, indicando las superficies ocupadas en Km^2 y el porcentaje que representa cada una de ellas.

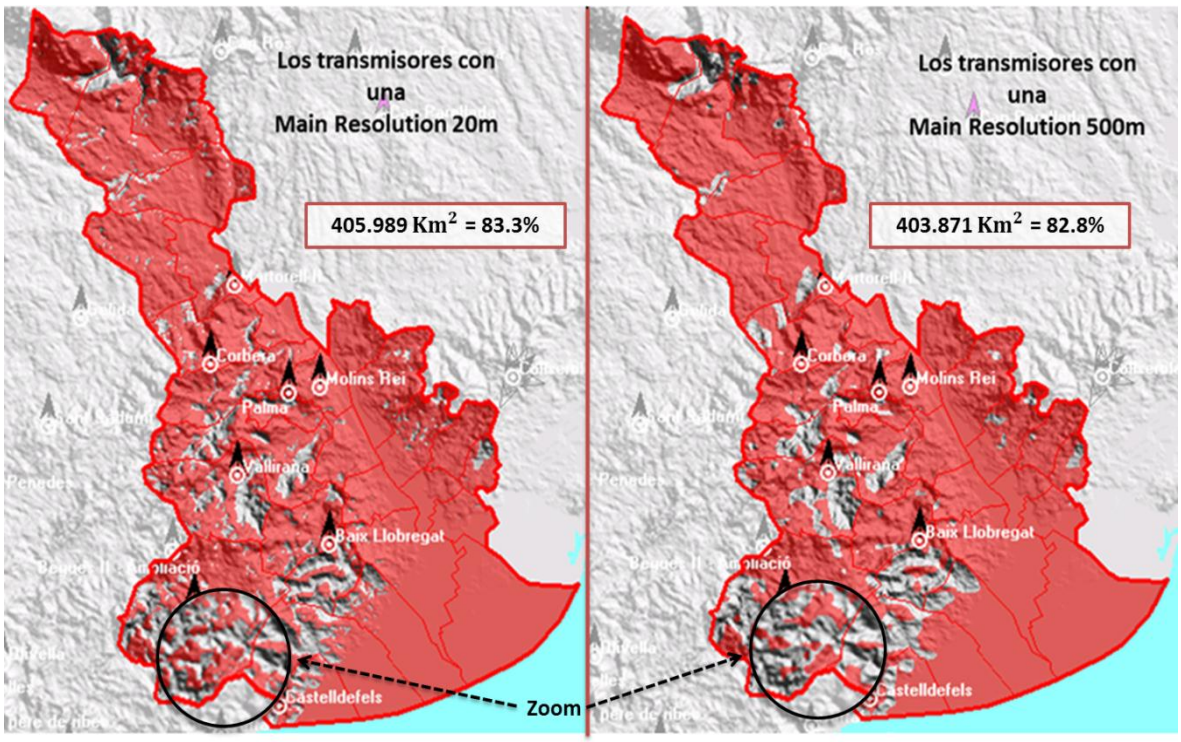


Figura 5.15: *Comparación de coberturas entre un Main Resolution de 20m y otro de 500m*

Como es de esperarse el resultado con un *Main Resolution* de 20m define con mayor detalle la cobertura de los transmisores, como se aprecia en el Zoom de la Figura 5.15, permitiendo dibujar cada vez zonas más pequeñas para los niveles de intensidad

definidos, siendo en este caso las intensidades mayores a 56 dBμV/m. Este aumento de detalle en la cobertura también muestra un incremento de la misma en Km^2, lo que significa una disminución de la cobertura_WS ubicada en dicho canal.

Sin embargo, este caso en específico necesitó más de tres horas para obtener el resultado en comparación con los 30 segundos que tarda el resultado con 500m, requiriendo un tiempo mayor para aquellas simulaciones donde se usa una cantidad considerable de transmisores (máximo en una simulación: 341). Por lo tanto, se decidió no volver a realizar los estudios de cobertura con resolución del modelo de propagación igual a 20m, dado a el tiempo que éstas necesitan para mostrar resultados y sabiendo que no es posible invertir tantas horas en estas simulaciones de cobertura cuando existe una fecha límite para entregar la memoria de este proyecto.

No obstante, para los resultados que fueron explicados en este capítulo, no es de vital importancia tanto lujo de detalle, debido a que el enfoque del proyecto se basa en el desarrollo de una metodología para la representación de los *White Spaces* con una herramienta de planificación de radiofrecuencia.

Además, en esta memoria, gracias a la forma en que fue explicada brinda la posibilidad de que cualquier persona (si desea obtener estudios con una resolución de 20m) pueda reproducir este trabajo.

6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Las políticas actuales de asignación fija del espectro radioeléctrico y el crecimiento de sistemas inalámbricos han llevado a una aparente saturación del mismo. No obstante numerosas campañas de medida del uso del espectro radioeléctrico, se ha demostrado su uso ineficiente, pues no todo el espectro asignado esta siendo utilizado todo el tiempo y en todos los lugares.

Es por ello que las técnicas de acceso dinámico al espectro y la tecnología *Cognitive Radio* plantean como solución a la escasez de frecuencias disponibles hacer un uso secundario del espectro no utilizado sin interferir a los usuarios legítimos. Para ello están estudiando diferentes métodos, donde el de mayor proyección consiste en la creación de una base de datos que contenga la información del espectro sin uso, bautizado como *White Space*, proporcionando así un servicio a usuarios secundarios que necesiten dicha información, esta técnica es conocida como Geo-localización.

Por otro lado, el paso de la televisión analógica a la televisión digital ha permitido que este servicio use más eficientemente el espectro dejando canales de la banda libres en diferentes lugares. Estos canales no usados han sido bautizados a su vez como *TV White Spaces*, y se plantean como una de las primeras bandas del espectro donde implementar sistemas *Cognitive Radio*, pues es una banda caracterizada por ser muy estática al presentar una transmisión continua de sus canales ocupados.

El presente proyecto ha conseguido diseñar e implementar una metodología capaz de representar, en un territorio determinado, todos los posibles *White Spaces* ubicados en la banda de televisión, tras adaptar y usar de manera ingeniosa una herramienta de planificación de radiofrecuencia no diseñada con esta finalidad.

El uso de la plantilla GSM GPRS EDGE de la herramienta de planificación Atoll fue fundamental en la definición de los canales en la banda de televisión, permitiendo agrupar a los transmisores en función del canal que transmitían. La facilidad de esta asignación es destacable, pues solo se necesitó fijar una banda de frecuencia que contenga a los canales de televisión (desde el 21 hasta el 69), los cuales son asignados a los transmisores definiéndoles solo un TRX a usar, indicándose sobre que canal es enviado.

Por otra parte, la creación de una zona de estudio en Atoll que comprenda el territorio delimitado por una comarca en especifico, rompe el esquema que tiene la herramienta de planificación en crear únicamente zonas de trabajo en forma de polígonos, ampliando las posibilidades de representar cualquier comarca de España peninsular y Baleares, realizando informes cada vez más precisos y más reales indicando el territorio cubierto

por las coberturas en km^2 y su porcentaje. Sin embargo, fue necesario verificar que correspondan tanto las coordenadas que definen los municipios como la forma en que son proyectados los mapas de relieve en Atoll, de lo contrario no será posible hacer dicha representación.

Cabe destacar que la definición de los términos cobertura (territorio cubierto por un canal ocupado en la banda de televisión), cobertura_WS (superficie cubierta por un *White Space*) y tamaño de *White Space* (se refiere a la cantidad de MHz libres que forman un conjunto de canales consecutivos ubicados en la banda de televisión) fueron de gran ayuda para la explicación de la metodología, ayudando de esta manera a la compresión de la memoria.

Por otro lado, tres de las opciones más valiosas de Atoll, en función de los resultados obtenidos por cada una de ellas, planteadas en el capítulo de desarrollo del proyecto, fueron: *Server Best Signal Level,* usado en las simulaciones de cobertura el cual permitió la representación de las coberturas_WS de los canales ocupados en la banda de televisión; *Generate Report*, éste permitió comprobar la veracidad del resultado obtenido tras realizar la simulación de cobertura_WS del canal 33 (canal ocupado), encontrándose un solapamiento entre la cobertura del canal 33 y cobertura_WS del mismo en un 1,3% del territorio (difícil de ser observado utilizando solo sus representaciones en el mapa) donde dicho valor se vuelve considerable para extensos territorios de estudios, éste fue corregido cambiando el *Margen with* a 0 dB en la simulación de cobertura_WS del canal 33, lográndose así su representación exacta; y por último el *Display type* modo *Unique*, usado para representar en un solo color para las coberturas_WS independientemente de la cantidad de transmisores y, aun más importante, es capaz de mostrar las coberturas_WS intersectadas.

En este sentido, después de realizadas las coberturas_WS de los canales ocupados y ubicarlas en la banda de televisión se concluye que todos los posibles tamaños de *White Spaces* son representados por las intersecciones de las coberturas_WS de los canales ocupados consecutivos, ya que la superposición de coberturas_WS equivale a sumar MHz libres en una determinada zona, destacando que en la superficie que se define un tamaño cualquiera pueden existir zonas con tamaños mayores, estableciendo que cada tamaño de *White Space* representa un mínimo para cada cobertura_WS creada.

Cabe destacar que el mínimo tamaño definido para una cobertura_WS a estudiar, se consiguió observando cuales eran los canales adyacentes a ella, donde su tamaño se favorece con la presencia de canales libres y canales con la mismas cobertura_WS estudiada, estando su tamaño limitado por la presencia de otras coberturas_WS, por otra parte los canales libres consecutivos de la banda representan un tamaño fijo de *White Space* en toda la comarca.

Como resultado final se consiguieron 77 coberturas_WS, responsables de englobar los 32 posibles tamaños de *White Spaces* posibles en la banda de TV en la comarca del Baix Llobregat, con la herramienta de planificación de radiofrecuencia Atoll, la cual es capaz de enseñar cuales son las coberturas_WS activas en una determinada coordenada geográfica del mapa. Esta última característica mencionada junto con el soporte gráfico puede servir de arranque para la creación de una base de datos, la cual contendrá la información de todos los tamaños de *White Spaces* ubicados en la banda de televisión de la comarca del Baix Llobregat y se puede extender a de cualquier otro territorio de España peninsular y Baleares, donde los usuarios secundarios podrán hacer consulta al enviar su ubicación a la base de datos, siendo esta técnica conocida como Geo-localización.

Un aspecto que se concluye a partir de los estudios obtenidos, son las formas en que la base de datos, en función de las solicitudes de los usuarios secundarios, pueda ser capaz se de suministrar dicha información. Donde para un primer escenario, los usuarios secundarios hacen una petición acerca de un tamaño de *White Space* en específico a la base de datos y ésta se las proporciona con un soporte gráfico, brindando al usuario secundario la posibilidad de conocer los puntos geográficos en donde puede hacer uso del tamaño de *White Space* solicitado en diferentes partes de la banda; en cambio en un segundo escenario, la información suministrada garantiza a los usuarios secundarios un desplazamiento en territorio más no en el espectro indicando el área dónde se dispone de un determinado *White Space*.

Finalmente se concluye que los tamaños de *White Spaces* más importantes son definidos por los canales libres consecutivos presentes en la banda de televisión, los cuales ofrecen un tamaño fijo en toda la comarca. Por otro lado, el *White Space* más extenso se extiende en un 91% de la superficie, y el *White Space* más grande, siendo este de 392MHz equivalente a toda la banda de televisión, se encuentra solo en un 2,8% del territorio.

Por ultimo, con respecto a las líneas futuras que se pueden tomar a partir de este proyecto se pueden mencionar:

- Conseguir resultados más precisos sobre la ubicación de las coberturas_WS en la comarca del Baix Llobregat, reproduciendo el trabajo con la metodología planteada pero con un *Main Resolution de 20m*.
- Trasladar los resultados obtenidos en Atoll a una base de datos que pueda ser consultable, en donde un usuario secundario realice una solicitud (por ejemplo SQL) sobre el ancho de banda mínimo que éste necesite devolviéndole así el resultado correspondiente.
- Aplicar la metodología desarrollada para conocer la ubicación de los *White Spaces* para otros territorios de España peninsular y Baleares.

7 BIBLIOGRAFÍA

[1] M. Nekovee, «Current Trends in Regulation of Secondary Access to TV white Spaces Using Cognitive Radio,» IEEE, Londres, 2011.

[2] I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee, M. C. Vuran y S. Mohanty, «NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive,» Comp. Networks J., Atlanta, 2006.

[3] L. Khalid y A. Anpalagan, «Emerging cognitive radio technology: Principles, challenges,» Elsevier, Toronto, 2009.

[4] IEEE-USA Board of Directors, «Improving Spectrum Usage Trough Cognitive Radio,» vol. 2006: IEEE, 2003.

[5] ITU-R Report SM.2152, «Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio system (CRS)».

[6] I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee, M. C. Vuran y S. Mohanty, «A Survey on Spectrum Management in Cognitive Radio Networks,» IEEE, 2008.

[7] Gobierno de España, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, «tdt televisión digital terrestre,» [En línea]. Available: http://www.televisiondigital.es/Terrestre/Paginas/Index.aspx. [Último acceso: 3 2 2012].

[8] «Electel,» [En línea]. Available: http://www.electel.es/latdt.html. [Último acceso: 4 2 2012].

[9] M. Orellana A. y J. Tisza Contreras, «Seminario Técnico "La Televisión Digital Terrestre en el Perú",» Perú, 2009.

[10] «DVB-T Digital Terrestial Terrestial Transmision Systems,» [En línea]. Available: http://com.uvigo.es/asignaturas/scvs/trabajos/curso9900/dvb/dvbt.htm. [Último acceso: 4 2 2012].

[11] M. Nekovee, «A Survey of Cognitive Radio Access to TV White Spaces,» IEEE, Londres, 2010.

[12] Electronic Communications Committee (ECC) Report 159, «Technical and Operational Requirements for the Possible Operation of Cogtinitive Radio Systems in the "White Spaces" of the Frequency Band 470-790 MHz,» CEP SE43 Working Group, 2011.

[13] M. Huidobro Manilla, «Identificación de white spaces en la Banda de Televisión para la Futura Implementación de Redes de Radio Cognitiva,» Barcelona, 2011.

[14] Forsk, Atoll, Radio Planning & Optimisation Software. User Manual Radio., Blagnac - France: Copyright by Forsk, 2011.

[15] A. Gastón, «aitorgaston.com,» 2008. [En línea]. Available: http://www.aitorgaston.com/tm.php. [Último acceso: 12 1 2012].

[16] Forsk, Atoll, Radio Planning & Optimisation Software. Technical Reference Guide., Blagnac - France: Copyright by Forsk, 2011.