Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROYECTO FINAL DE CARRERA

ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO DEL DESPLIEGUE DE REDES MÓVILES DE BANDA ANCHA PARA SERVICIOS DE SEGURIDAD PÚBLICA Y EMERGENCIAS

(TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF MOBILE BROADBAND NETWORK DEPLOYMENT FOR PUBLIC SAFETY SERVICES)

Estudios: Ingeniería de Telecomunicaciones

Autor: Javier Carretero Alfaro

Directores: Ramon Ferrús/Pere Losantos

Año: 2013

Índice general

Índice general 1
Colaboraciones 4
Agradecimientos 5
Resumen del Proyecto 6
Resum del Projecte 7
Abstract 8
Índice de tablas 9
Índice de figuras 13
Índice de ecuaciones 16
1. Introducción 17
1.1 Historia de las tecnologías móviles 17
1.2 Contexto actual 18
1.3 Objetivos del trabajo 19
1.4 Estructura del trabajo 21
2. Dimensionado de la red 23
2.1 Consideraciones previas 24
2.2 Número de estaciones base por comarca 26
3. Parametrización del modelo 30
3.1 Parámetros utilizados para el *Path Loss* 30
3.1.1 Descripción y rango de valores 30
3.1.2 Parámetros del *Path Loss* utilizados en el dimensionado de cada red 37
3.2 Parámetros utilizados en el modelo de propagación (*Okumura-Hata*) 37
3.2.1 Descripción y rango de valores 38
3.2.2 Parámetros de *Okumura-Hata* utilizados en el dimensionado de cada red 38
3.3 Modelado de tráfico 39
3.3.1 Descripción y rango de valores 39
3.4 Resumen valores diferentes para cada configuración 43
3.5 Resumen valores constantes para cada configuración 44
4. Cálculo del número de emplazamientos para cada alternativa 45
4.1 Cálculo de emplazamientos en red dedicada 45
4.1.1 Cálculo de emplazamientos para el caso urbano para red dedicada 47
4.1.2 Cálculo de emplazamientos para el caso suburbano para red dedicada 48

4.1.3 Cálculo de emplazamientos para el caso rural para red dedicada 49
4.2 Cálculo de emplazamientos en red compartida 50
4.2.1 Cálculo de emplazamientos para el caso urbano para red compartida 52
4.2.2 Cálculo de emplazamientos para el caso suburbano para red compartida..... 53
4.2.3 Cálculo de emplazamientos para el caso rural para red compartida 54
4.3 Cálculo de emplazamientos en red comercial 55
4.3.1 Cálculo de emplazamientos para el caso urbano para red comercial 57
4.3.2 Cálculo de emplazamientos para el caso suburbano para red comercial 58
4.3.3 Cálculo de emplazamientos para el caso rural para red comercial 60
4.4 Número emplazamientos totales en Cataluña 61
5. VAN (Valor Actual Neto) 63
5.1 Parámetros necesarios para el cálculo del VAN 63
5.1.1 Subscripciones y número de emplazamientos anuales 63
5.1.2 Ingresos mensuales por subscripción 65
5.1.3 Capex 65
5.1.4 Opex 66
5.1.5 Tasa de descuento 66
5.1.6 Horizonte temporal 66
5.2 VAN de cada configuración 66
5.2.1 VAN para red dedicada 67
5.2.2 VAN para red compartida 68
5.2.3 VAN para red comercial 69
5.2.4 VAN en las tres configuraciones 70
5.2.5 VAN red comercial 2100MHz 71
6. Análisis de sensibilidad 74
6.1 Análisis de impacto de la tasa de transmisión rutinaria *public safety* 74
6.1.1 Análisis tasa transmisión rutinaria *public safety* para red dedicada 74
6.1.2 Análisis tasa de transmisión rutinaria *public safety* para una red compartida . 77
6.2 Análisis de impacto de la tasa de transmisión rutinaria comercial 80
6.2.1 Análisis tasa de transmisión rutinaria comercial para una red comercial 80
6.2.2 Análisis tasa de transmisión rutinaria comercial para una red compartida 83
6.3 Análisis de impacto de la frecuencia utilizada 85
6.3.1 Análisis de sensibilidad de frecuencia para red dedicada 86
6.3.2 Análisis frecuencia para red compartida 88
6.3.3 Análisis frecuencia para red comercial 91

6.4 Análisis de impacto de potencia del terminal 93
6.4.1 Análisis de impacto de potencia del terminal para red dedicada..... 93
6.4.2 Análisis de impacto de potencia del terminal para red compartida..... 96
6.4.3 Análisis de impacto de potencia del terminal para red comercial..... 98
7. Conclusiones 101
8. Anexo 103
A. Estándar LTE 103
A.1 OFDMA y estructura genérica de trama LTE..... 103
A.2 SC-FDMA..... 105
A.3 MRC y MIMO..... 108
B. Población, superficie y efectivos de seguridad pública en Cataluña en el año 2011. 111
B.1 Población 111
B.2 Efectivos de seguridad pública 112
B.3 Superfície..... 115
9. Referencias..... 116

Colaboraciones

Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions

Plan INNOVA-TIC

Este proyecto se ha realizado conjuntamente entre Javier Carretero Alfaro y Daniel Solano Cortada. Javier se ha centrado en el dimensionado de la red, parametrización del modelo y cálculo del número de emplazamientos. Daniel se ha centrado en el cálculo del VAN (Valor Actual Neto) y Análisis de sensibilidad de los parámetros de mayor impacto en el número de emplazamientos.

Agradecimientos

Gracias a nuestros tutores del PFC Ramon Ferrús y Pere Losantos por la ayuda brindada y por darme la oportunidad de finalizar la carrera con este interesante proyecto.

Agradecer a mi amigo y compañero de proyecto Dani, el compromiso y apoyo en la realización de este proyecto final de carrera.

A mis compañeros de universidad Marc y Jarold por las largas horas de nervios y estrés vividas en la biblioteca y por haber superado este largo y duro camino juntos.

A mis amigos y a la vez compañeros de Red Walkers Edgar, Riki, Gabi, Dani, Marc, Edu y Jaume por apoyarme en todo momento.

A mis amigos de Vilassar de Mar Hector, David, Ferran, Jorge, Manu, Álvaro, Pau, Bruno, Marc, Dani y otros por estar conmigo.

A mi novia Elena por su cariño, comprensión y los grandes momentos vividos juntos.

A mi familia, a mi padre y a mi madre por el soporte y ánimos a lo largo de toda mi vida, por haberme educado y por haberme dado buenos consejos. A mi hermano David por ser la gran persona que es.

Resumen del Proyecto

Este proyecto nace de la necesidad de renovar la tecnología utilizada por los cuerpos de seguridad pública y emergencias. La banda ancha móvil dotará a los efectivos de seguridad pública de las herramientas necesarias para poder atender a la sociedad de manera más rápida y efectiva. Hoy en día los organismos de seguridad pública utilizan tecnología TETRA (*Terrestrial Trunked Radio*), tecnología que se está quedando un poco limitada en comparación con las ventajas que ofrece hoy en día la tecnología LTE (*Long Term Evolution*) y que está empezando a ser utilizada por los operadores comerciales en nuestro país. Por este motivo en este trabajo se plantean dos alternativas principales para la provisión de servicios de banda ancha y se evalúan los costes asociados. Una alternativa es realizar una red dedicada para los organismos de seguridad pública (tal y como sucede ahora mismo) y la otra realizar una red compartida entre estos organismos y un operador comercial. Este proyecto se ha centrado en la comunidad autónoma de Cataluña.

De cara a estimar el coste de despliegue de la red de ambas alternativas (que depende en gran medida del número de emplazamientos de red necesarios), en el trabajo se realiza un dimensionado, proporcionando así el número de emplazamientos necesario para cumplir con los requerimientos de los organismos de seguridad pública y al mismo tiempo cubrir toda Cataluña.

Si bien es verdad que hay dos alternativas, una red dedicada para seguridad pública y emergencias, y una red compartida entre operador comercial y organismos de seguridad pública, en este proyecto también se estudia el caso que el operador comercial pueda desplegar su propia red únicamente para usuarios comerciales.

También se va realizar un estudio de costes de las distintas configuraciones a partir del VAN (Valor Actual Neto) para analizar su rentabilidad pero sin entrar a valorar los distintos métodos de financiamiento con posibles acuerdos en el caso de realizar el despliegue de una red compartida, ya que el objetivo de esta memoria es presentar los resultados de cada una de las configuraciones.

Por último, se presenta un análisis de sensibilidad de los parámetros críticos donde se podrá valorar hasta qué punto al operador comercial le puede llegar a interesar trabajar de manera conjunta o bien de manera separada.

Resum del Projecte

Aquest projecte neix de la necessitat de renovar la tecnologia utilitzada pels cossos de seguretat pública i emergències. La banda ampla mòbil dotarà als efectius de seguretat pública de les eines necessàries per poder atendre la societat de manera més ràpida i efectiva. Actualment els organismes de seguretat pública fan servir tecnologia TETRA (Terrestrial Trunked Ràdio), tecnologia que s'està quedant una mica limitada en comparació amb els avantatges que ofereix avui en dia la tecnologia LTE (Long Term Evolution) i que està començant a ser utilitzada pels operadors comercials al nostre país . Per aquest motiu en aquest treball es plantegen dues alternatives principals per a la provisió de serveis de banda ampla i s'avaluen els costos associats. Una alternativa és realitzar una xarxa dedicada per als organismes de seguretat pública (tal com passa ara mateix) i l'altra realitzar una xarxa compartida entre aquests organismes i un operador comercial. Aquest projecte s'ha centrat en la comunitat autònoma de Catalunya.

De cara a estimar el cost de desplegament de la xarxa de les dues alternatives (que depèn en gran mesura del nombre d'emplaçaments de xarxa necessaris), al treball es realitza un dimensionat, proporcionant així el nombre d'emplaçaments necessari per complir amb els requeriments dels organismes de seguretat pública i alhora cobrir tot Catalunya.

Si bé és veritat que hi ha dues alternatives , una xarxa dedicada per seguretat pública i emergències, i una xarxa compartida entre operador comercial i organismes de seguretat pública, en aquest projecte també s'estudia el cas que l'operador comercial pugui desplegar la seva pròpia xarxa únicament per usuaris comercials.

També es realitzarà un estudi de costos de les diferents configuracions a partir del VAN (Valor Actual Net) per analitzar la seva rendibilitat però sense entrar a valorar els diferents mètodes de finançament amb possibles acords en el cas de realitzar el desplegament d'una xarxa compartida, ja que l'objectiu d'aquesta memòria és presentar els resultats de cadascuna de les configuracions.

Per últim, es presenta una anàlisi de sensibilitat dels paràmetres crítics on es podrà valorar fins a quin punt l'operador comercial li pot arribar a interessar treballar de manera conjunta o bé de manera separada.

Abstract

The aim of this project is to renew the technology used by public safety agencies. The mobile broadband will let to the public safety personnel to assist the society in both quicker and more effective way. Nowadays, the public safety organisms use TETRA (Terrestrial Trunked Radio) technology that has become a little limited if it is compared to the advantages which are offered by the LTE (Long Term Evolution) technology. This method is beginning to be used by commercial operators in our country. For this reason, this work suggests to design two alternatives in order to provide broadband services and also to evaluate the associate costs. A way to develop this strategy is, on the one hand, to carry an exclusive network for public safety agencies (as is now occurring in Catalonia) and on the other hand is to perform a shared network between this agencies and a commercial operator. This project has focused on the Autonomous Community of Catalonia.

The costs of the network roll out in both alternatives showed above depend on the network infrastructure. The objective is to create a dimensioning network for the two alternatives showed above in order to provide the number of locations needed to accomplish all the public safety agencies requirements and at the same time to cover all of Catalonia.

This project also gives special attention to the importance of the commercial operator while working exclusively for commercial users.

A cost study for the two alternatives will be carried out. The NPV (Net Present Value) has been calculated to analyze the profitability. However the financial methods of the shared network have not been valuated due to the objective of this report is to show the results of both alternatives.

Finally a sensitive analysis of all the critical parameters will be performed, and it will be able to determine the operator´s way to work, he could choose between to work together with the agencies or, conversely, he could work independently.

Índice de tablas

Tabla 2.1 Eficiencias de las modulaciones 24
Tabla 2.2 Clasificación de las comarcas según densidad de población 26
Tabla 3.1 Ancho de Banda 30
Tabla 3.2 Subportadoras utilizadas 31
Tabla 3.3 Margen de implementación 31
Tabla 3.4 Potencia del terminal según tipo de configuración 32
Tabla 3.5 Desvanecimiento rápido 32
Tabla 3.6 Ganancia de diversidad en transmisión 33
Tabla 3.7 Pérdidas de la línea en transmisión 33
Tabla 3.8 Ganancia de la antena en transmisión 33
Tabla 3.9 Ganancia adaptativa de la antena en transmisión 33
Tabla 3.10 Ruido térmico 34
Tabla 3.11 Ancho de banda de subportadora 34
Tabla 3.12 Figura de ruido 34
Tabla 3.13 Ganancia de diversidad en recepción 35
Tabla 3.14 Ganancia HARQ 35
Tabla 3.15 Ganancia antena en recepción 35
Tabla 3.16 Pérdidas de la línea en recepción 36
Tabla 3.17 Pérdidas debidas a los edificios 36
Tabla 3.18 Margen de interferencia 36
Tabla 3.19 Desvanecimiento lento 37
Tabla 3.20 Parámetros utilizados para el cálculo de *Path Loss* 37
Tabla 3.21 Frecuencia 38
Tabla 3.22 Otros valores de entrada *Hata-Model* 38
Tabla 3.23 Parámetros utilizados *Okumura-Hata* 38
Tabla 3.24 Población, superficie y densidad de población en Cataluña en el año 2011 . 39
Tabla 3.25 Clasificación según densidad de población de la comarca 40
Tabla 3.26 Agentes de seguridad pública en Cataluña y en el ámbito metropolitano 40
Tabla 3.27 Factor de densidad *public safety* 41
Tabla 3.28 Factor de densidad comercial 41
Tabla 3.29 Parámetros para el cálculo de la tasa de transmisión 41
Tabla 3.30 Tasas de transmisión por terminal 42

Tabla 3.31 Valores de entrada para el cálculo de personal de seguridad pública, número de usuarios del operador comercial y tasas de transmisión por comarca..... 42

Tabla 3.32 Personal de seguridad pública, número de usuarios del operador comercial y tasas de transmisión por comarca 42

Tabla 3.33 Capacidad requerida en una emergencia de gran escala en un sector ocupado 43

Tabla 3.34 Tasa de transmisión de pico en extremo de una celda 43

Tabla 3.35 Parámetros diferentes para cada red 44

Tabla 3.36 Parámetros constantes en las configuraciones 44

Tabla 4.1. Cálculo de emplazamientos red dedicada..... 46

Tabla 4.2 Valores de entrada cálculo de emplazamientos red dedicada 47

Tabla 4.4 Número de emplazamientos para la comarca del *Vallès Occidental* en red dedicada 48

Tabla 4.5 Número de emplazamientos para la comarca de *Vallès Oriental* para red dedicada 50

Tabla 4.6 Cálculo de emplazamientos red compartida..... 51

Tabla 4.7 Valores de entrada cálculo de emplazamientos red compartida..... 52

Tabla 4.8 Número de emplazamientos para el área del *Barcelonès* en red compartida.. 52

Tabla 4.9 Número de emplazamientos para el área del *Vallès Occidental* en red compartida 53

Tabla 4.10 Número de emplazamientos para el área del *Vallès Oriental* en red compartida 54

Tabla 4.11 Cálculo de emplazamientos red comercial 56

Tabla 4.12 Valores de entrada cálculo de emplazamientos red comercial 57

Tabla 4.13 Número de emplazamientos para el área del *Barcelonès* en red comercial .. 57

Tabla 4.14 Número de emplazamientos para el área del *Vallès Occidental* en red comercial 59

Tabla 4.15 Número de emplazamientos para el área del *Vallès Oriental* en red comercial 60

Tabla 4.16 Número de emplazamientos totales en Cataluña 62

Tabla 5.1 Subscripciones y número de emplazamientos para los primeros cinco años para red dedicada para *public safety* 64

Tabla 5.2 Subscripciones y número de emplazamientos para los segundos cinco años para red dedicada para *public safety* 64

Tabla 5.3 Subscripciones y número de emplazamientos para los primeros cinco años para red conjunta para *public safety* y operador comercial 64

Tabla 5.4 Subscripciones y número de emplazamientos para los segundos cinco años para red conjunta para *public safety* y operador comercial 64

Tabla 5.5 Subscripciones y número de emplazamientos para los primeros cinco años para red para operador comercial 65

Tabla 5.6 Subscripciones y número de emplazamientos para los segundos cinco años para red para operador comercial 65

Tabla 5.7 Ingresos mensuales por subscripción 65

Tabla 5.8 Capex para construir un nuevo emplazamiento 65

Tabla 5.9 Coste de un sector 66

Tabla 5.10 Coste de los 3 sectores sin contar la instalación 66

Tabla 5.11 Coste total del equipamiento de los 3 sectores 66

Tabla 5.12 Coste anual de operar con una estación base 66

Tabla 5.13 Valores de entrada para cálculo de VAN 67

Tabla 5.14 NPV anual y NPV acumulado red dedicada 67

Tabla 5.15 NPV anual y NPV acumulado red compartida 68

Tabla 5.16 NPV anual y NPV acumulado red comercial 70

Tabla 5.17 NPV anual y NPV acumulado red comercial 2100MHz 72

Tabla 5.18 NPV anual y NPV acumulado red compartida 800MHz 72

Tabla 6.1 Parámetros escogidos red dedicada para el análisis de tasa de transmisión rutinaria *public safety* 74

Tabla 6.2 Análisis de impacto de tasa de transmisión *public safety* en enlace de subida para red dedicada 75

Tabla 6.3 Parámetros escogidos para red compartida para el análisis de tasa de transmisión rutinaria *public safety* 77

Tabla 6.4 Análisis de impacto de tasa de transmisión en enlace de subida para red compartida 78

Tabla 6.5 Parámetros escogidos para red comercial para el análisis de tasa de transmisión rutinaria 80

Tabla 6.6 Análisis de impacto de tasa de transmisión comercial en enlace de subida para red comercial 81

Tabla 6.7 Parámetros escogidos para red compartida para el análisis de tasa de transmisión rutinaria comercial 83

Tabla 6.8 Análisis de impacto de tasa de transmisión comercial en enlace de subida para red compartida 84

Tabla 6.9 Parámetros escogidos para red dedicada en el análisis de frecuencia 86

Tabla 6.10 Análisis de impacto de frecuencia para red dedicada 87

Tabla 6.11 Parámetros escogidos para red compartida en el análisis de frecuencia 89

Tabla 6.12 Análisis de impacto de frecuencia para red compartida 90

Tabla 6.13 Parámetros escogidos para red comercial en el análisis de frecuencia 91

Tabla 6.14 Análisis de impacto de frecuencia para red comercial 92

Tabla 6.15 Parámetros escogidos para red dedicada en el análisis de potencia del terminal móvil 94

Tabla 6.16 Análisis de sensibilidad de potencia para red dedicada 95

Tabla 6.17 Parámetros escogidos para red compartida en el análisis de potencia del terminal móvil 96

Tabla 6.18 Análisis de sensibilidad de potencia para red compartida 97

Tabla 6.19 Análisis de sensibilidad de potencia para red comercial 98

Tabla 6.20 Análisis de sensibilidad de potencia para red comercial 99

Tabla B.1 Población por comarcas en Cataluña en el año 2011 111

Tabla B.2 Efectivos de *Mossos d'esquadra*..... 112

Tabla B.3 Efectivos de policía local 113

Tabla B.4 Efectivos de bomberos 114

Tabla B.5 Superficie de las comarcas de Cataluña..... 115

Índice de figuras

Figura 1 Diagrama global del trabajo 21
Figura 2.1 Dimensionado de la red 23
Figura 2.2 Dimensionado de la red con sectorización de 120º (M=3) 28
Figura 4.1 Cálculo de emplazamientos para caso de *Barcelonès* para red dedicada 48
Figura 4.2 Cálculo de emplazamientos para el caso de *Vallès Occidental* para red dedicada en la comarca del *Vallès Occidental* 49
Figura 4.3 Cálculo de emplazamientos para caso de *Vallès Oriental* para red dedicada 50
Figura 4.4 Cálculo de emplazamientos para caso *Barcelonès* para red compartida 53
Figura 4.5 Cálculo de emplazamientos para caso *Vallès Occidental* para red compartida 54
Figura 4.6 Cálculo de emplazamientos para caso *Vallès Occidental* para red compartida 55
Figura 4.7 Cálculo de emplazamientos para el caso de *Barcelonès* para red comercial . 58
Figura 4.8 Cálculo de emplazamientos para el caso de *Vallès Occidental* para red comercial 59
Figura 4.9 Cálculo de emplazamientos para el caso de *Vallès Oriental* para red comercial 60
Figura 5.1 NPV para red dedicada 68
Figura 5.2 NPV Acumulado anual para red dedicada 68
Figura 5.3 NPV para red compartida 69
Figura 5.4 NPV Acumulado anual para red compartida 69
Figura 5.5 NPV anual para red comercial 70
Figura 5.6 NPV Acumulado anual para red comercial..... 70
Figura 5.7 NPV anual para las tres configuraciones 71
Figura 5.8 NPV Acumulado anual para las tres configuraciones 71
Figura 5.9 NPV anual para red compartida 800MHz y red comercial 2100MHz 72
Figura 5.10 NPV acumulado para red comercial 2100MHz y red compartida 800MHz ... 73
Figura 6.1 Número de emplazamientos variando la tasa de transmisión *public safety* para red dedicada 76
Figura 6.2 Emplazamientos totales según tasa de transmisión *public safety* red dedicada en Cataluña..... 76
Figura 6.3 Número de emplazamientos variando la tasa de transmisión para red compartida 79

Figura 6.4 Número de emplazamientos totales según tasa de transmisión red compartida en Cataluña 79

Figura 6.5 Número de emplazamientos variando la tasa de transmisión comercial para red comercial 82

Figura 6.6 Número de emplazamientos totales según tasa de transmisión comercial red comercial en Cataluña 82

Figura 6.7 Número de emplazamientos variando la tasa de transmisión comercial para red compartida 85

Figura 6.8 Número de emplazamientos totales según tasa de transmisión comercial red compartida en Cataluña 85

Figura 6.9 Número de emplazamientos según frecuencia para red dedicada 88

Figura 6.10 Número de emplazamientos totales red dedicada variando frecuencia en Cataluña 88

Figura 6.11 Número de emplazamientos según frecuencia para red compartida 91

Figura 6.12 Número de emplazamientos totales red compartida variando frecuencia en Cataluña 91

Figura 6.13 Número de emplazamientos según frecuencia para red comercial 93

Figura 6.14 Número de emplazamientos totales red comercial variando frecuencia en Cataluña 93

Figura 6.15 Número de emplazamientos según potencia para red dedicada 96

Figura 6.16 Número de emplazamientos totales red dedicada variando potencia en Cataluña 96

Figura 6.17 Número de emplazamientos según potencia para red compartida 98

Figura 6.18 Número de emplazamientos totales red compartida variando potencia en Cataluña 98

Figura 6.19 Número de emplazamientos según potencia para red comercial 100

Figura 6.20 Número de emplazamientos totales red comercial variando potencia en Cataluña 100

Figura A.1 Estructura genérica de la trama LTE 103

Figura A.2 Rejilla de recursos LTE 104

Figura A.4 Evolución temporal de un símbolo OFDM compuesto por 3, 6 y 12 subportadoras 106

Figura A.5 Ejemplo del PAPR para un símbolo OFDM compuesto por 3, 6 y 12 107

Figura A.6 Esquema de transmisión y recepción de una modulación SC-FDMA y OFDMA 107

Figura A.7 Modo localizado y modo distribuido 108

Figura A.8 Configuración del receptor MRC/MIMO (2 antenas) 109

Figura A.9 MRC mejora la confiabilidad en presencia de ruido AWGN y *fading* de frecuencia selectiva 109

Figura A.10 Datos transmitidos simultáneamente por dos antenas (técnica MIMO) 110

Índice de ecuaciones

(Ec. 2.1) 25
(Ec. 2.2) 25
(Ec. 2.3) 25
(Ec. 2.4) 25
(Ec. 2.5) 25
(Ec. 2.6) 26
(Ec. 2.7) 26
(Ec. 2.8) 27
(Ec. 2.9) 27
(Ec. 2.10) 27
(Ec. 2.11) 28
(Ec. 2.12) 28
(Ec. 2.13) 29
(Ec. 2.14) 29
(Ec. 2.15) 29
(Ec. 2.16) 29
(Ec 3.1) 30
(Ec. 3.2) 41
(Ec. 6.1) 63

1.Introducción

1.1 Historia de las tecnologías móviles

La compañía Motorola lanzó el Handie Talkie H12-16, el cual permitía la comunicación a distancia entre las tropas, un dispositivo basado en la transmisión mediante ondas de radio que, a pesar de trabajar por aquel entonces con un espectro de 550 MHz aproximadamente, supuso una revolución de enormes proporciones.

Esta tecnología fue aprovechada a partir de los años 50 y 60 para crear una gran variedad de aparatos de radio y de comunicación a distancia (los tradicionales *Walkie-Talkies*), utilizados sobre todo por servicios públicos tales como taxis, ambulancias o bomberos.

Móviles de Primera Generación (1G)

Surgidos a partir de 1973 y con un tamaño y peso inmanejable, los móviles de primera generación funcionaban de manera analógica, es decir que la transmisión y recepción de datos se apoyaba sobre un conjunto de ondas de radio que cambiaban de modo continuo.

El hecho de que fueran analógicos traía consigo una serie de inconvenientes, tales como que solo podían ser utilizados para la transmisión de voz (el uso de mensajería instantánea era algo solo visible en un futuro “muy lejano”) o su baja seguridad, la cual hacia posible a una persona escuchar llamadas ajenas con un simple sintonizador de radio o, incluso hacer uso de las frecuencias cargando el importe de las llamadas a otras personas.

Segunda Generación (2G)

En el 1990 la denominada “segunda generación” marca el paso de la telefonía analógica a la digital, que permitió, mediante la introducción de una serie de protocolos, la mejora del manejo de llamadas, más enlaces simultáneos en el mismo ancho de banda y la integración de otros servicios adicionales al de la voz, de entre los que destaca el Servicio de Mensajes Cortos (Short Message Service).

Estándares más utilizados:

- GSM: *Global System for Mobile Communications* (Sistema Global para Comunicaciones Móviles).
- CDMA: *Code Division Multiple Access* (Acceso Múltiple por División de Código).
- GPRS: *General Packet Radio Service* (Servicio General de Radio por Paquetes).
- EDGE *Enhanced Data rates for GSM Evolution* (Velocidades de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM).

Tercera Generación (3G)

El año 2001 fue un año revolucionario en el ámbito de la telefonía móvil ya que supuso la aparición de los primeros celulares que incorporaban pantalla LCD a color, hecho que abría un inmenso abanico de posibilidades en cuanto a adaptación de nuevas funciones se refiere.

Así, pronto el usuario pudo asistir al nacimiento de dispositivos que se creían como mínimo futuristas tales como móviles con cámara fotográfica digital, posibilidad de grabar videos y mandarlos con un sistema de mensajería instantánea evolucionado, juegos 3d, sonido Mp3 o poder mantener conversaciones por videoconferencia gracias a una tasa de transferencia de datos más que aceptable y a un soporte para Internet correctamente implementado (correo electrónico, descargas, etc.).

Estándares más utilizados:

• UMTS: *Universal Mobile Telecommunications System* (Servicios Universales de Comunicaciones Móviles).

Cuarta generación (4G)

La cuarta generación se empieza a desarrollar en el año 2005. Está basada completamente en el protocolo IP, siendo un sistema de sistemas y una red de redes, que se alcanza gracias a la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas. Esta tecnología podrá ser usada por módems inalámbricos, móviles inteligentes y otros dispositivos móviles. La principal diferencia con las generaciones predecesoras es la capacidad de proveer velocidades de acceso mayores de 100 Mbit/s en movimiento y 1 Gbit/s en reposo, manteniendo una calidad de servicio (QoS) de punta a punta de alta seguridad que permitirá ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento, en cualquier lugar, con el mínimo coste posible.

Estándares más utilizados:

• LTE: *Long Term Evolution* (Evolución a Largo Plazo) [ver anexo A].

1.2 Contexto actual

Las comunicaciones móviles han multiplicado las tasas de transmisión de datos en los últimos años. Una red de banda ancha con tecnología LTE permitiría grandes ventajas respecto a la comunicación TETRA (*Terrestrial Trunked Radio*) que actualmente utilizan los agentes de seguridad pública.

Las ventajas de utilizar tecnologías de banda ancha en los organismos de seguridad pública sería permitir que las primeras personas en darse cuenta del accidente, puedan rápidamente enviar y recibir datos de voz y video fundamentales para salvar vidas, reducir lesiones y evitar actos delictivos o terroristas.

Hoy en día, no se ha utilizado el potencial de banda ancha para mejorar la seguridad pública. Personal de emergencia de las diferentes jurisdicciones y agencias no siempre se pueden comunicar durante emergencias. La mayoría de sistemas de emergencias funcionan en redes de conmutación de circuitos. De la misma forma, el gobierno suele utilizar sistemas antiguos de alerta para informar al público durante las emergencias.

En un mundo con banda ancha a gran velocidad, existe una oportunidad única de lograr una visión integral que mejore la seguridad pública de los ciudadanos. Se podría crear un sistema vanguardista de comunicaciones de seguridad pública para permitir que los primeros en responder en una emergencia, se comuniquen entre sí, envíen y reciban datos de voz y video. En caso de una emergencia, los centros que reciben las alertas podrían

enviar primero los textos, imágenes y vídeo a las personas que sean las primeras en responder. De forma similar, el gobierno podría usar las redes de banda ancha para difundir información esencial en varios formatos e idiomas para el público durante emergencias.

La banda ancha puede ayudar al personal de seguridad pública a evitar emergencias y responder con rapidez cuando ocurran. Una red de banda ancha podría proporcionar al público nuevas formas de pedir ayuda e incluso recibir información en caso de una emergencia.

Se ha tenido una motivación especial de poder realizar un proyecto en el cual puede contribuir a mejorar la calidad de vida de las personas en un futuro cercano.

1.3 Objetivos del trabajo

En este proyecto se realiza un estudio de costes para el despliegue de una red de banda ancha para dispositivos de seguridad pública.

Este proyecto surge de la necesidad de actualizar las comunicaciones entre los agentes de seguridad pública. Se pretende aprovechar todas las ventajas que dispone la sociedad para proveer con la última tecnología a los agentes de seguridad pública. Por eso se va a tomar como requerimiento utilizar la tecnología LTE, que va a suponer una innovación de producto en cuanto a la tecnología utilizada hasta el momento por los agentes de seguridad pública.

Al ser una red de banda ancha para organismos de seguridad pública se deberán cumplir requisitos de una alta fiabilidad de las comunicaciones, por lo que, se verá afectado en el coste total de la red.

En el dimensionado de una red comercial convencional, normalmente solo se tiene en cuenta el tráfico rutinario que se estima que puede haber dentro de la celda. En cambio, en una red para organismos de seguridad pública se debe hacer el dimensionado teniendo en cuenta que puede ocurrir cualquier emergencia de máxima magnitud en cualquier punto de la celda, y por tanto debe haber suficiente capacidad para poder atender a la emergencia. Por este motivo además de tener en cuenta el tráfico rutinario en el interior de la celda, se ha de tener en cuenta un tráfico de pico para emergencias que se va a imponer en el punto más alejado de la celda para poder garantizar la suficiente capacidad en cualquier punto de la celda.

La potencia de una señal en cualquier punto de una celda puede variar debido a los desvanecimientos lentos debidos a los obstáculos en el camino desde el transmisor al receptor o bien a los desvanecimientos rápidos debido a los efectos multicamino del canal. Esta incertidumbre se tiene en cuenta en los márgenes que se aplicaran en el balance de potencia para asegurar la suficiente potencia de señal disponible en toda el área de cobertura. En el dimensionado de una red para organismos de seguridad pública, se deben incrementar estos márgenes para aumentar la fiabilidad de las comunicaciones dentro del área de cobertura pero esto va a reducir el tamaño de la celda. Como se puede observar existe un compromiso entre la fiabilidad de las comunicaciones y el coste total de la red.

Como referencia se considera una disponibilidad de espectro de 10+10 MHz [Ref. 1] y se plantean dos alternativas:

• Desplegar una red dedicada para organismos de seguridad pública que utilice 5+5 MHz y considerar que el resto del espectro se asigna a un operador comercial. Esto implicaría costes de construir las estaciones base, contratar a alguien que gestione la red y poner equipamiento redundante para prevenir situaciones en las que la red se pueda caer.

• Desplegar una única red con 10+10 MHz que proporcione ambos servicios. Debería haber un acuerdo entre operador comercial y administración pública para que el operador comercial, además de ceder ancho de banda a sus usuarios, ceda tanto espectro a los organismos de seguridad pública como estos necesiten, entendiéndose éste, como un servicio. Por este motivo, se debería dar la robustez necesaria a la red para que pueda garantizar el trabajo efectivo de los cuerpos de seguridad pública. Esta alternativa de red compartida (en inglés joint use) supondría una innovación de servicio ya que hasta ahora los organismos de seguridad pública tenían su propia red.

El operador comercial debería valorar si le sale a cuenta participar en la red compartida o bien le da más beneficio trabajar por separado. Por eso en este trabajo también se va a tener en cuenta la configuración del operador comercial trabajando por separado.

En este estudio se pretende analizar cómo afecta cada uno de los parámetros implicados en el cálculo de las estaciones base viendo la importancia de cada uno de ellos. También se verá cómo afectan éstos al resultado final de emplazamientos y se determinará cuáles de ellos son parámetros críticos.

Se definirá el modelo utilizado para dimensionar una red para *public safety*, donde aparecerán todos los parámetros que intervienen.

Más adelante se detallarán que valor o rango de valores debe tener cada parámetro del modelo utilizado. A continuación, se generará un escenario. Se entiende como generación de escenario la asignación de un valor concreto (dentro de los rangos definidos) a cada uno de los parámetros implicados en el modelo utilizado o inputs.

Se calculará el número de emplazamientos en Cataluña para cada configuración a partir del escenario generado anteriormente.

Se calculará el VAN (Valor Actual Neto) (NPV en inglés *Net Present Value*) para desplegar la red de banda ancha de cada configuración a partir del escenario generado anteriormente. Se comentarán las distintas consideraciones tomadas (plazo en el despliegue de la red, costes de cada estación base, etc.).

Se hará un análisis de sensibilidad a partir de la generación de nuevos escenarios y se hará una comparativa de los resultados obtenidos en función de cada escenario.

A continuación se presenta el diagrama global del trabajo:

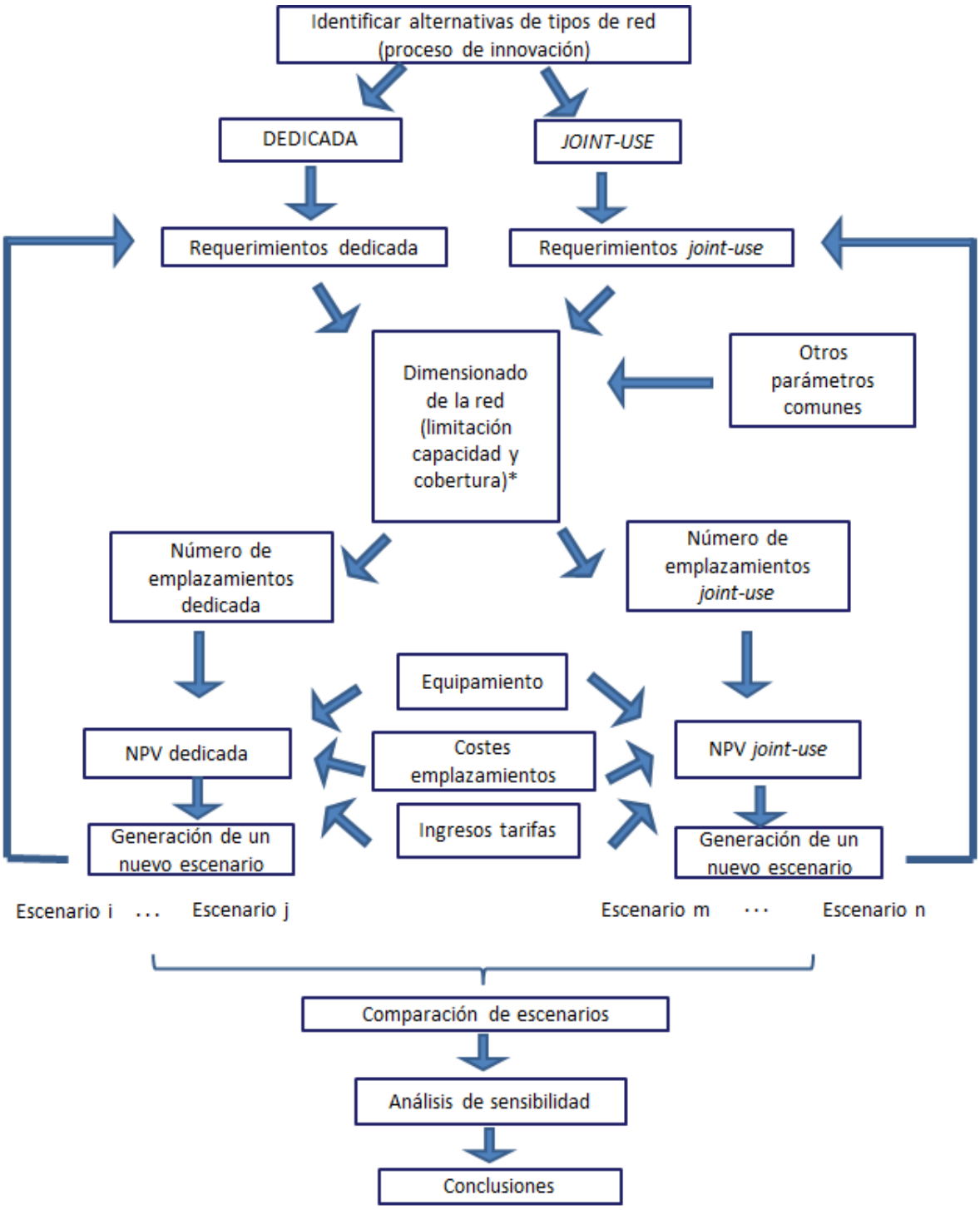


Figura 1 Diagrama global del trabajo

1.4 Estructura del trabajo

El trabajo contiene los siguientes apartados:

- Apartado 2, describe el modelo utilizado a la hora de calcular el número de emplazamientos.
- Apartado 3, se da valores a los parámetros que influyen en el modelo utilizado en el apartado 2.

- Apartado 4, se presentan los resultados, es decir, el número de emplazamientos necesarios en cada configuración.
- Apartado 5, se calcula el VAN para las tres configuraciones.
- Apartado 6, se presentan y se comparan los diferentes escenarios. A partir de un análisis de sensibilidad se comentan los parámetros críticos que influyen en el número de emplazamientos.

2.Dimensionado de la red

La estimación de costes de las tres redes depende de los requerimientos de diseño. A continuación, en este apartado se detallan los requerimientos que se han tenido en cuenta en el dimensionado de la red. En la figura inferior se muestran los diferentes *inputs* que afectan número final de emplazamientos, hay que tener en cuenta que estos *inputs* son diferentes para el caso de red dedicada y para el caso de red *joint-use* (es por eso que en la figura 1 se separan los requerimientos en dos bloques antes de entrar en el dimensionado de la red).

Figura 2.1 Dimensionado de la red

2.1 Consideraciones previas

Para realizar el dimensionado de cada una de las configuraciones de red se ha realizado la misma metodología. En este apartado se pretende explicar el modelo que se ha utilizado para encontrar el número de emplazamientos independientemente de si se trata de una red dedicada para PS, de una red dedicada para uso comercial o de una red compartida para PS y operador comercial. En los siguientes apartados se obtendrán los *outputs* de este modelo particularizando con los *inputs* de las configuraciones anteriormente nombradas.

Para realizar el dimensionado de la red se ha tenido en cuenta el enlace ascendente, ya que es el enlace más restrictivo debido a que la potencia del terminal es inferior a la potencia de la estación base, por lo que el radio de la celda vendrá determinado por el enlace de subida. Se parte de la hipótesis de que los emplazamientos tienen sectorización. Además, se han considerado diferentes anillos dentro de la celda circular (ver figura 2.2), cada uno con una eficiencia diferente. Si el usuario se encuentra cerca de la estación base se podrá utilizar una modulación superior y por tanto dispondrá de mayor eficiencia que si el usuario se encuentra lejos de la estación base. A continuación se presenta la tabla de eficiencias [Ref. 2] para cada índice MCS (*Modulation and Coding Scheme)* detallando también la mínima SNR requerida.

MCS Index	Uplink			
	Modulation	Coding rate	SNR, dB	Eficiencia (e_i)
0	QPSK	0,1000	-7,2310	0,200
1	QPSK	0,1250	-6,1640	0,250
2	QPSK	0,1550	-5,1130	0,310
3	QPSK	0,2050	-3,7010	0,410
4	QPSK	0,2500	-2,6580	0,500
5	QPSK	0,3100	-1,4800	0,620
6	QPSK	0,3650	-0,5440	0,730
7	QPSK	0,4300	0,4400	0,860
8	QPSK	0,4900	1,2630	0,980
9	QPSK	0,5550	2,0850	1,110
10	QPSK	0,6150	2,7940	1,230
11	16QAM	0,3075	2,7940	1,230
12	16QAM	0,3525	3,7890	1,410
13	16QAM	0,4000	4,7710	1,600
14	16QAM	0,4500	5,7480	1,800
15	16QAM	0,5025	6,7270	2,010
16	16QAM	0,5350	7,3130	2,140
17	16QAM	0,5700	7,9310	2,280
18	16QAM	0,6300	8,9630	2,520
19	16QAM	0,6925	10,0100	2,770
20	16QAM	0,7525	10,9940	3,010
21	64QAM	0,5017	10,9940	3,010
22	64QAM	0,5417	11,9610	3,250
23	64QAM	0,5850	12,9950	3,510
24	64QAM	0,6283	14,0170	3,770
25	64QAM	0,6700	14,9910	4,020
26	64QAM	0,7100	15,9200	4,260
27	64QAM	0,7417	16,6520	4,450
28	64QAM	0,7717	17,343	4,630

Tabla 2.1 Eficiencias de las modulaciones

Para calcular el radio de cada uno de los anillos, primeramente se ha calculado la pérdida de propagación (*Path Loss*) utilizando la SNR requerida para cada eficiencia contenida dentro del anillo. Para ello se ha utilizado la siguiente expresión (Ecuación 2.1):

$$PL = TX_{EIRP} - RX_{EFS} - L_{BV} - M_{interference} - M_{SF}$$
(Ec. 2.1)

TX_{EIRP}: Potencia EIRP transmitida (dBm)
RX_{EFS}: Sensibilidad efectiva recibida (dBm)
L_{BV}: Pérdidas de los edificios (dB)
$M_{interference}$: Margen de interferencia (dB)
M_{SF}: Margen log normal (desvanecimiento lento) (dB)

Donde la potencia transmitida EIRP transmitida se calcula de esta manera (Ecuación 2.2):

$$TX_{EIRP} = P + G_{TXDG} - L_{TX_LL} + G_{TX} + G_{AA}$$
(Ec. 2.2)

P: Potencia RF transmitida (dBm)
G_{TXDG}: Ganancia de diversidad en transmisión (dB)
L_{TX_LL}: Pérdidas de la línea RF en transmisión (dB)
G_{TX}: Ganancia de la antena en transmisión (dBi)
G_{AA}: Ganancia de la antena adaptativa de transmisión (dB)

Y la sensibilidad efectiva recibida se calcula de la siguiente manera (Ecuación 2.3):

$$RX_{EFS} = k \cdot T + 10 \cdot \log(SC_{BW} \cdot SC_O) + NF + SNR + FF - G_{RXDG} - HARQ - G_{RX} + L_{RX_LL}$$
(Ec. 2.3)

k·T: Ruido térmico (dBm/Hz)
SC_{BW}: Ancho de banda de subportadora (Hz)
SC_O: Subportadoras ocupadas
NF: Figura de ruido (dB)
SNR: Relación señal a ruido (dB)
FF: Margen de desvanecimiento rápido (dB)
G_{RXDG}: Ganancia de diversidad en recepción (dB)
HARQ: Ganancia HARQ (dB)
G_{Rx}: Ganancia de la antena en recepción (dBi)
L_{Rx_LL}: Pérdidas de la línea RF en recepción (dB)

Una vez obtenida esta pérdida, utilizando el modelo de propagación de Okumura-Hata (Ecuación 2.4) se obtiene el radio del anillo para esa eficiencia:

$$PL = 69.55 + 26.16 \cdot \log f - 13.82 \cdot \log h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \cdot \log h_b) \cdot \log r - K$$
(Ec. 2.4)

Dónde:
Ajuste del terminal (Ecuación 2.5):

$$a(h_m) = (1.1 \cdot logf - 0.7) \cdot h_m - (1.56 \cdot logf - 0.8)$$
(Ec. 2.5)

Ajuste urbano (Ecuaciones 2.6):

$$K = \begin{cases} 4.78 \cdot (logf)^2 - 18.33 \cdot logf + 40.94; & \text{Rural} \\ 2 \cdot (\log\left(\frac{f}{28}\right))^2 + 5.4; & \text{Suburbano} \\ 0; & \text{Urbano} \end{cases}$$

(Ec. 2.6)

f: frecuencia utilizada (Hz)
h_b: altura de la estación base (m)
h_m: altura a la que se encuentra el terminal cuando se está utilizando (m)
r: distancia a la que se encuentra el terminal de la estación base (m)

Como se puede observar los radios de los anillos variarán en función de si se analiza zona rural, suburbana o urbana, por este motivo se ha decidido abordar el dimensionado de la red por comarcas. En comarcas rurales los radios de los anillos de la celda serán mayores que en comarcas urbanas debido a que la señal se encontrará con menos obstáculos. Según [Ref. 3] se ha clasificado cada comarca según el siguiente criterio:

$$\text{Densidad de población de la comarca} \begin{cases} 0 - 750\ \text{hab/km}^2 & \text{Rural} \\ 750 - 5000\ \text{hab/km}^2 & \text{Suburbano} \\ > 5000\ \text{hab/km}^2 & \text{Urbano} \end{cases}$$

Tabla 2.2 Clasificación de las comarcas según densidad de población

2.2 Número de estaciones base por comarca

Para realizar el dimensionado de la red en cada una de las comarcas se van a seguir los siguientes pasos:

En el extremo de cada sector se va requerir de una tasa mínima de transmisión de pico en el enlace ascendente para garantizar que en el punto más alejado de la estación base hayan suficientes recursos para atender a cualquier incidente o emergencia para los organismos de seguridad pública. Esta tasa se impondrá en el anillo más lejano, que corresponderá al que trabaje con una modulación de menos eficiencia. A partir de esta eficiencia y tasa de transmisión, se obtendrá el ancho de banda necesario para ello con la siguiente expresión (Ecuación 2.7):

$$B_{ext} = \frac{R_{ext}}{e_{ext}}$$

(Ec. 2.7)

B_{ext}: Ancho de banda para satisfacer una emergencia en el extremo del sector (Hz)
R_{ext}: Tasa de transmisión de pico en el extremo del sector (bps)
e_{ext}: Eficiencia de la modulación en el extremo del sector (bps/Hz)

Cuando se analice la red comercial esta tasa en el extremo del sector no se tendrá en cuenta con lo que no será necesario obtener este ancho banda de banda en el extremo del sector.

Se obtendrá la tasa de transmisión media ofrecida en el interior del sector para tráfico rutinario utilizando la siguiente expresión (Ecuación 2.8):

$$R_{int} = B_{int} \cdot e_{int}$$

(Ec. 2.8)

R_{int}: Tasa de transmisión ofrecida en el interior del sector (bps)
B_{int}: Ancho de banda en el interior del sector (Hz)
e_{int}: Eficiencia promedio en el sector (bps/Hz)

Donde el ancho de banda en el interior del sector será la diferencia entre el ancho de banda total del sector (parte proporcional del ancho de banda total en el emplazamiento) y el ancho de banda utilizado en el extremo de la celda para emergencias de seguridad pública que se ha comentado anteriormente en la ecuación 3.7. Así pues, el ancho de banda en el interior del sector será (Ecuación 2.9):

$$B_{int} = \frac{B_{TOT}}{M} - B_{ext}$$

(Ec. 2.9)

B_{int}: Ancho de banda en el interior del sector (Hz)
B_{TOT}: Ancho de banda total en el sector (Hz)
B_{ext}: Ancho de banda en el extremo del sector (Hz)
M: Número de sectores en el emplazamiento

Como eficiencia se utilizará la eficiencia promedio de la celda. Se calculará con la siguiente ecuación (Ecuación 2.10):

$$e_{int} = \frac{\sum e_i \cdot a_i}{A_{TOT}}$$

(Ec. 2.10)

e_{int}: Eficiencia de la modulación en el interior del sector (bps/Hz)
e_i: Eficiencia en el anillo i (bps/Hz)
a_i: Área del anillo i (km^2)
A_{TOT}**:** Área total de la celda (km^2)

A partir de la tasa de transmisión media ofrecida por sector para tráfico rutinario, se obtendrá la tasa de transmisión media ofrecida por el emplazamiento para tráfico rutinario multiplicando por el número de sectores en el emplazamiento.

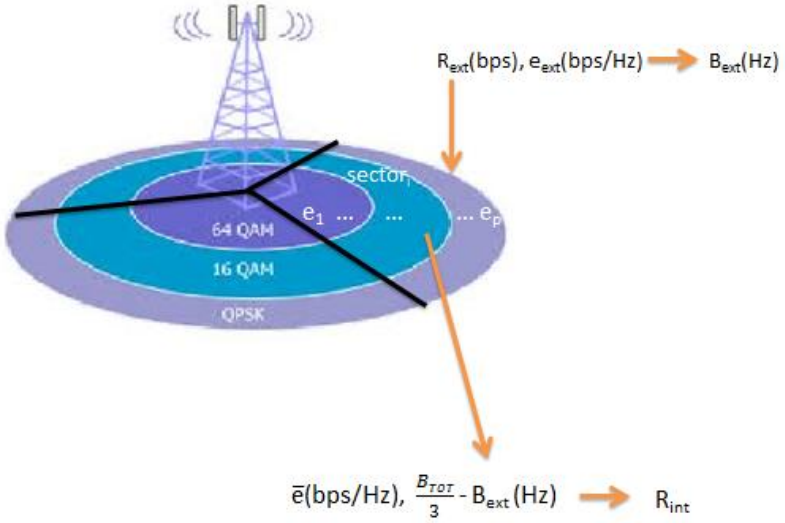


Figura 2.2 Dimensionado de la red con sectorización de 120º (M=3)

Habrá dos limitaciones a la hora de encontrar el número de estaciones base en el interior de cada comarca, la limitación que requiera un mayor número de estaciones base será la más restrictiva y por tanto la que determinará el número de estaciones base en la comarca:

Limitación según tráfico rutinario: Esta limitación vendrá dada por la necesidad de satisfacer la tasa de transmisión debida al tráfico rutinario demandado en el interior de la comarca. Esta tasa de transmisión se calcula con la ecuación (Ecuación 2.11):

$$R_{d,c} = R_{d,u} \cdot U$$

(Ec. 2.11)

$R_{d,c}$: Tasa de transmisión demandada en la comarca
$R_{d,u}$: Tasa de transmisión demandada por un usuario
U: Número de usuarios que van a utilizar la red en cuestión dentro de la comarca

Donde el número de usuarios que van a utilizar la red se calcula con (Ecuación 2.12):

$$U = P \cdot F$$

(Ec. 2.12)

P: Población total en la comarca
F: Factor de usuarios que van a utilizar la red en cuestión dentro de la comarca

El número de estaciones base encontrado según esta limitación será el cociente de la división de la tasa de transmisión demandada en el interior de la comarca entre la tasa de transmisión ofrecida por un emplazamiento encontrada con la ecuación 2.8 anteriormente. De esta manera, este número se encontrará de la siguiente manera (Ecuación 2.13):

$$N_{rut} = \frac{R_{d,c}}{R_{int}}$$

(Ec. 2.13)

N_{rut}: Número de estaciones base según la limitación de tráfico rutinario

Limitación según cobertura: Esta limitación vendrá dada por la necesidad de cubrir el cien por cien del área de la comarca. Así pues, el número de estaciones base encontrado según esta limitación será el cociente del área de la comarca entre el área de un emplazamiento como se puede observar a continuación (Ecuación 2.14):

$$N_{cob} = \frac{A_{com}}{A_{TOT}}$$

(Ec. 2.14)

N_{cob}: Número de estaciones base según la limitación de cobertura
A_{com}: Área de la comarca
A_{TOT}: Área total del emplazamiento

Como se ha comentado anteriormente, el número de estaciones base más restrictivo será el máximo de las dos limitaciones, ya que de esta manera se cumplirán ambas (Ecuación 2.15):

$$N_i = \max(N_{rut}, N_{cob})$$

(Ec. 2.15)

N_i: Número de estaciones base en la comarca utilizando emplazamiento con i anillos

Se repetirá este procedimiento empezando por emplazamientos de un único anillo y se irá incrementando el número de anillos uno a uno hasta llegar al anillo que trabaja con una modulación de eficiencia menor de la tabla 2.1. Para cada contexto se encontrará un número de estaciones base N_i. El número de estaciones base definitivo que se va a desplegar en la comarca será el mínimo N_i debido a que ese contexto conseguirá satisfacer los requerimientos con un menor coste al necesitar menos estaciones base (Ecuación 2.16). De esta manera los emplazamientos utilizados en esa comarca contendrán tantos anillos como anillos tenga el contexto con menor N_i.

$$N = \min(N_1 \dots N_i \dots N_M)$$

(Ec. 2.16)

N: Número de estaciones base en la comarca
N_1: Número de estaciones base utilizando emplazamientos de un anillo
N_M: Número de estaciones base utilizando emplazamientos de M anillos

3.Parametrización del modelo

En la sección anterior se han presentado las ecuaciones utilizadas en el modelo. En ésta sección se definen los valores numéricos utilizados para cada uno de los parámetros de las distintas ecuaciones, ya sea un valor concreto o rango de valor aproximados para cada uno de ellos.

Se trata de tener unos valores de referencia que sirvan para sustentar una primera estimación y que permitan llevar a cabo el análisis de sensibilidad, es decir un estudio del impacto de cada parámetro en el cálculo de emplazamientos.

3.1 Parámetros utilizados para el *Path Loss*

En este apartado primero se va a describir los parámetros que influyen en el *Path Loss* con los rangos de valores que pueden tomar y a continuación se mostrará una tabla con los valores utilizados en el dimensionado de cada una de las redes.

3.1.1 Descripción y rango de valores

El *Path Loss* depende de los siguientes parámetros, cuyos valores pueden tomar varios rangos en función del tipo de red.

3.1.1.1 Ancho de banda

El primer parámetro que definiremos es el ancho de banda utilizado para cada una de las tres redes. Éste puede tener diferentes valores [Ref. 1] según la red que estemos estudiando (ver Tabla 3.1 Ancho de Banda).

El ancho de banda utilizado está relacionado con la eficiencia espectral y con la tasa de transmisión, tal y como se ha visto en el apartado 2. También implicará tener un mayor número de subportadoras, ya que como se ha comentado anteriormente, cada subportadora tiene un ancho de canal de 15KHz.

Ancho de Banda (MHz)	Tipo de red	Descripción
5	Dedicada	Se asignan 5MHz para una red dedicada *public safety*.
10	Compartida	Al ser una red *joint-use* donde hay comercial y *public safety*.
5	Comercial	Para poder comparar con la dedicada correctamente, se le asignan también 5MHz.

Tabla 3.1 Ancho de Banda

En la red dedicada y la red comercial se utilizan 300 subportadoras, tal como se puede ver en la siguiente expresión (Ecuación 3.1):

$$5\ resource\ blocks\ x\ 12\ \frac{subcarriers}{resource\ block} = 300\ subportadoras$$

(Ec 3.1)

Además, se deja un margen de guarda, por lo que no se utilizan la totalidad de los 5 MHz de ancho de banda.

Para el caso de red compartida, como se utiliza el doble de ancho de banda, 10MHz, se disponen de 600 subportadoras.

Subportadoras ocupadas	Tipo de configuración	Descripción
300	Dedicada y Comercial	Para estos tipos de configuración se disponen de 5MHz de ancho de banda.
600	Compartida	Para la red compartida se dispone de 10 MHz.

Tabla 3.2 Subportadoras utilizadas

3.1.1.2 Eficiencia espectral

Los valores escogidos para las eficiencias espectrales se muestran en la Tabla 2.1.

3.1.1.3 Índices MCS

La modulación que se usa en LTE depende del MCS (*Modulation Coding Scheme*) que se esté trabajando, ver Tabla 2.1.

3.1.1.4 SNR

La relación señal a ruido está directamente relacionada con la eficiencia espectral que se esté trabajando. También se puede observar en la Tabla 2.1. Como hemos comentado anteriormente, se tiene en cuenta para el enlace ascendente.

3.1.1.5 Margen de implementación de SNR

Es usado para incluir los efectos recibidos no ideales tales como los errores de estimación del canal, errores de seguimiento, errores de cuantificación, y ruido de fase. Se ha considerado un valor de 2,5 dB [Ref. 4] para todas las modulaciones.

Margen de implementación (dB)	Tipo de configuración	Descripción
2.5	Dedicada, compartida y comercial	Margen de implementación idéntico para todas las configuraciones.

Tabla 3.3 Margen de implementación

3.1.1.6 SNR Neta

La SNR neta es la SNR más el margen de implementación.

3.1.1.7 Potencia isotrópica radiada efectiva

La potencia radiada efectiva está determinada por la resta de las pérdidas y la suma de las ganancias encontradas entre el amplificador de potencia y la antena a la salida de potencia real de un transmisor. Para la mayoría de sistemas de microondas, se suele usar como antena de referencia una antena isotrópica no direccional. Para determinar una antena teórica isotrópica, se utilizan las siglas EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) en

inglés, o PIRE (Potencia isotrópica radiada efectiva) en castellano, mientras que la expresión ERP es relativa a una antena dipolo de media onda.

La potencia del terminal, P, según [Ref. 2] escogida para cada configuración es:

Potencia del terminal (dBm)	Tipo de configuración	Descripción
25-28	Dedicada	Los terminales móviles de los agentes de seguridad pública tienen unos 3 dB más que los convencionales.
22-25	Compartida	Son más restrictivos los valores de potencia de los terminales comerciales.
22-25	Comercial	Valores típicos de potencia de terminales móviles convencionales.

Tabla 3.4 Potencia del terminal según tipo de configuración

La potencia transmitida de los dispositivos móviles para los organismos de seguridad pública se considera que es algo superior que la de los dispositivos móviles de las operadoras comerciales. La potencia del dispositivo móvil está directamente relacionada con la duración de la batería. Los dispositivos móviles para seguridad pública disponen de mayores baterías para aumentar su autonomía aun usando potencias mayores.

3.1.1.8 Desvanecimiento rápido

Desvanecimiento rápido, se produce cuando el tiempo de coherencia del canal es pequeño en relación a la restricción de retardo del canal. En este régimen, la amplitud y el cambio de fase impuesto por el canal varía considerablemente durante el período de uso.

Según [Ref. 2] para el margen de desvanecimiento rápido se ha cogido un valor de 4.5 dB en la red dedicada y en la red compartida. Para la red comercial el valor es de 3 dB.

Desvanecimiento rápido (dB)	Tipo de configuración	Descripción
4.5	Dedicada y compartida	Margen más restrictivo para agentes de seguridad pública.
3	Comercial	Dimensionado para usuarios comerciales, especificaciones menos restrictivas que para *public safety*.

Tabla 3.5 Desvanecimiento rápido

3.1.1.9 Ganancia de diversidad en transmisión

Los dispositivos móviles de los agentes de seguridad pública y de los usuarios comerciales sólo dispondrán de una antena transmisora. Y por tanto, dado que los dispositivos móviles disponen de una antena, no se dispondrá de ganancia de diversidad en transmisión en el canal de subida.

Ganancia de diversidad en transmisión (dB)	Tipo de configuración	Descripción
0	Dedicada, compartida y comercial	Solo una antena transmisora en el enlace de subida.

Tabla 3.6 Ganancia de diversidad en transmisión

3.1.1.10 Pérdidas de la línea en transmisión

No se han considerado pérdidas de la línea en transmisión en el enlace ascendente.

Pérdidas de la línea en transmisión (dB)	Tipo de configuración	Descripción
0	Dedicada, compartida y comercial	No se consideran pérdidas.

Tabla 3.7 Pérdidas de la línea en transmisión

3.1.1.11 Ganancia de la antena en transmisión

Según [Ref. 2] ha asumido 7 dB de ganancia de la antena en transmisión en el canal ascendente.

Ganancia de la antena en transmisión (dBi)	Tipo de configuración	Descripción
7	Dedicada, compartida y comercial	Ganancia de la antena en transmisión.

Tabla 3.8 Ganancia de la antena en transmisión

3.1.1.12 Ganancia adaptativa de la antena en transmisión

La ganancia adaptativa de la antena en transmisión se asocia con una red adaptativa de antenas. Este parámetro se considera sólo para las estaciones base en enlace descendente [Ref. 2].

Ganancia adaptativa de la antena en transmisión (dB)	Tipo de configuración	Descripción
0	Dedicada, compartida y comercial	No se considera ganancia adaptativa de la antena en transmisión.

Tabla 3.9 Ganancia adaptativa de la antena en transmisión

3.1.1.13 Ruido térmico

El Ruido térmico está comprendido por los siguientes dos parámetros:

- K: constante de Botzmann = 1.38x10-23 W/(Hz•K)
- T: temperatura en grados Kelvin = 290 K

El ruido térmico, k•T, tiene un valor de -174 dBm/Hz.

Ruido térmico (dB/Hz)	Tipo de configuración	Descripción
-174	Dedicada, compartida y comercial	Ruido térmico.

Tabla 3.10 Ruido térmico

3.1.1.14 Ancho de banda de subportadora

El ancho de banda de cada subportadora LTE es de 15KHz. Como se ha comentado en el apartado 3.1.1.1 habrá 300 subportadoras en el caso de que se disponga 5MHz de ancho de banda, y 600 subportadoras en el caso que se disponga de 10 MHz.

Ancho de banda de subportadora (Hz)	Tipo de configuración	Descripción
15000	Dedicada, compartida y comercial	Ancho de banda de subportadora LTE.

Tabla 3.11 Ancho de banda de subportadora

3.1.1.15 Figura de ruido

El valor de la figura de ruido para una estación base suele estar en el intervalo de 3 a 8 dB. Se ha utilizado un valor de 4dB para dedicada y comercial [Ref.2].

Figura de ruido (dB)	Tipo de configuración	Descripción
4	Dedicada, compartida y comercial	Figura de ruido.

Tabla 3.12 Figura de ruido

3.1.1.16 Ganancia de diversidad en recepción

Debido a que se utilizarán dos antenas para recepción, habrá una ganancia de diversidad en recepción de 3 dB.

Ganancia de diversidad en transmisión (dB)	Tipo de configuración	Descripción
3	Dedicada, compartida y comercial	Solo una antena transmisora en el enlace de subida.

Tabla 3.13 Ganancia de diversidad en recepción

3.1.1.17 Ganancia HARQ

Este parámetro se refiere a cualquier combinación de FEC+ARQ, en cuyo caso las tramas erradas que no puedan ser corregidas por FEC no se descartan, sino que se guardan para ser combinadas con sucesivas tramas erradas y producir una trama correcta. HARQ es muy efectivo en ambientes ruidosos donde la cantidad de errores supera lo que el FEC puede corregir. Aquellos paquetes que después del FEC sigan con errores, deben solicitarse su retransmisión y las nuevas versiones son combinadas con las anteriores para tener mayor probabilidad de obtener un paquete sin errores. La idea general del HARQ es que en dos paquetes sucesivos que transporten la misma información, la probabilidad de tener los mismos bits errados es baja, entonces al tener dos o más copias del mismo paquete errado hay una alta probabilidad de poder reconstruir un paquete sin errores a partir de varios errados. No se ha considerado ganancia HARQ debido a que se quiere realizar el cálculo del radio de la celda en el peor caso.

Ganancia HARQ (dB)	Tipo de configuración	Descripción
0	Dedicada, compartida y comercial	No se considera ganancia HARQ.

Tabla 3.14 Ganancia HARQ

3.1.1.18 Ganancia de la antena en recepción

Se ha asumido 17 dB de ganancia de la antena de la estación base en recepción en el canal ascendente dado que consideramos tres sectores.

Ganancia antena en recepción (dB)	Tipo de configuración	Descripción
17	Dedicada, compartida y comercial	Se considera misma ganancia de la antena en recepción para todas las configuraciones.

Tabla 3.15 Ganancia antena en recepción

3.1.1.19 Pérdidas de la línea en recepción

Se ha considerado 1 dB como pérdida de la línea en recepción en el enlace ascendente.

Pérdidas de la línea en recepción (dB)	Tipo de configuración	Descripción
1	Dedicada, compartida y comercial	Se considera un 1 dB de pérdidas de línea de recepción.

Tabla 3.16 Pérdidas de la línea en recepción

3.1.1.20 Pérdidas debidas a los edificios

Según [Ref. 2] Se ha considerado 10 dB como pérdidas de la señal debidas a los edificios.

Pérdidas debidas a los edificios (dB)	Tipo de configuración	Descripción
10	Dedicada, compartida y comercial	Se considera la misma pérdida debidas a los edificios para todas las configuraciones.

Tabla 3.17 Pérdidas debidas a los edificios

3.1.1.21 Margen de interferencia

El margen de interferencia se considera como un aumento en el nivel de ruido causado por emplazamientos cercanos que utilizan las mismas frecuencias. Según [Ref. 2] se ha considerado un margen de interferencia de 2 dB para la configuración de red dedicada y compartida. Para la red comercial el valor es de 1 dB dado que es menos restrictivo.

Margen de interferencia (dB)	Tipo de configuración	Descripción
2	Dedicada y compartida	Margen más restrictivo para agentes de seguridad pública.
1	Comercial	Dimensionado para usuarios comerciales, especificaciones menos restrictivas que para *public safety* .

Tabla 3.18 Margen de interferencia

3.1.1.22 Desvanecimiento lento

El desvanecimiento lento o margen Log Normal son las pérdidas por la configuración del terreno (ondulación del terreno y la interposición de objetos entre las antenas). El área de cobertura deseada se consigue ajustando el margen de desvanecimiento lento.

Para el margen de desvanecimiento lento se ha cogido un valor de 6.5 dB en la red dedicada y en la red compartida. Para la red comercial el valor es de 5.5 dB ya que es menos restrictivo [Ref. 2].

Desvanecimiento lento (dB)	Tipo de configuración	Descripción
6.5	Dedicada y compartida	Margen más restrictivo para agentes de seguridad pública.
5.5	Comercial	Dimensionado para usuarios comerciales, especificaciones menos restrictivas que para *public safety*.

Tabla 3.19 Desvanecimiento lento

3.1.2 Parámetros del *Path Loss* utilizados en el dimensionado de cada red

Los parámetros utilizados para hacer el apartado 4 (obtención de número de emplazamientos) y 5 (Valor Actual Neto) se presentan a continuación:

TX EIRP		RED DEDICADA	RED COMPARTIDA	RED COMERCIAL
Parameter	**Value**	**UPLINK**	**UPLINK**	**UPLINK**
Tx RF Power (dBm)	P	25	22	22
Tx Diversity Gain (dB)	GtxDG	0	0	0
Tx RF line loss(dB)	Ltx_LL	0	0	0
Tx Antenna Gain(dBi)	Gtx	7	7	7
Tx Adaptative Antenna Gain (dB)	G_{AA}	0	0	0
RX Effective Faded Sensitivity				
Parameter	**Value**	**UPLINK**	**UPLINK**	**UPLINK**
Thermal Noise (dBm/Hz)	k·T	-174	-174	-174
Subcarrier Bandwidth (Hz)	SC_{BW}	15000	15000	15000
Occupied Subcarriers	SC_O	300	600	300
Noise Figure (dB)	NF	4	4	4
MCS		*	*	*
SNR (dB)	SNR	*	*	*
Implementation margin (dB)	IM	2,5	2,5	2,5
Net SNR (dB)	SNR	*	*	*
Fast Fade Margin (dB)	FF	4,5	4,5	3
Rx Diversity Gain (dB)	G_{RxDG}	3	3	3
HARQ Gain (dB)	HARQ	0	0	0
Rx Antenna Gain (dBi)	G_{Rx}	17	17	17
Rx RF Line Loss (dB)	L_{Rx_LL}	1	1	1
Building Loss (dB)	LBV	10	10	10
Interference Margin (dB)	Minterference	2	2	1
Log Normal Margin (slow fade) (dB)	MSF	6,5	6,5	5,5

Tabla 3.20 Parámetros utilizados para el cálculo de *Path Loss*

*Depende de la eficiencia utilizada en cada caso

3.2 Parámetros utilizados en el modelo de propagación (*Okumura-Hata*)

En este apartado primero se va a describir los parámetros que influyen en el modelo de propagación de *Okumura-Hata* con los rangos de valores que pueden tomar y a continuación se mostrará una tabla con los valores utilizados en el dimensionado de cada una de las redes.

3.2.1 Descripción y rango de valores

El modelo de propagación de *Okumura-Hata* [Ref. 5] depende de los siguientes parámetros, cuyos valores no dependen de la configuración, únicamente de la frecuencia.

3.2.1.1 Banda de frecuencia

Dependiendo del ancho de banda necesario y de otros varios factores, como la repartición de espectro, podría ser que las frecuencias disponibles estuvieran en una banda u otra.

Este trabajo se centra en la banda de 800MHz, 900MHz y en la de 2100MHz [Ref. 1] para los tres tipos de configuraciones. En el posterior estudio de impacto de la frecuencia veremos cómo afecta la trabajar en una banda u en otra en el número final de emplazamientos.

Frecuencia (MHz)	Tipo de configuración	Descripción
800	Dedicada, Compartida y Comercial	Se consideran mismas franjas frecuenciales para los 3 tipos de configuraciones.
900		
2100		

Tabla 3.21 Frecuencia

3.2.1.2 Otros parámetros utilizados en *Okumura-Hata*

Los valores seleccionados en el modelo de propagación *Hata-Model* [Ref. 5] para realizar los cálculos de los emplazamientos son:

	Frecuencia (MHz)		
	800	900	2100
Kurbana	0	0	0
Ksuburbana	9,64	9,94	12,43
Krural	28,01	28,51	32,80
Altura antena base, hb (m)	50		
Altura humano, hm (m)	1,5		

Tabla 3.22 Otros valores de entrada *Hata-Model*

3.2.2 Parámetros de *Okumura-Hata* utilizados en el dimensionado de cada red

Según [Ref. 5] los parámetros de *Hata-Model* utilizados para hacer el apartado 4 (obtención de número de emplazamientos) y 5 (Valor Actual Neto) se presentan a continuación:

Frecuencia (MHz)	800
Altura antena base, hb (m)	50
Altura humano, hm (m)	1,5
Kurbana	0
Ksuburbana	9,64
Krural	28,01

Tabla 3.23 Parámetros utilizados *Okumura-Hata*

3.3 Modelado de tráfico

En este apartado primero se va a describir otros parámetros que influyen en el dimensionado con los rangos de valores que pueden tomar y a continuación se mostrará una tabla con los valores utilizados en el dimensionado de cada una de las redes.

3.3.1 Descripción y rango de valores

Los siguientes parámetros pueden tomar varios rangos en función del tipo de red.

3.3.1.1 Población, superficie y densidad de población de las comarcas

En este apartado se muestran datos estadísticos [ver anexo B], referentes a la población, superficie y densidad de población para cada comarca del territorio catalán en el año 2011. En la tabla inferior, Tabla 3.24, se observan estos datos:

Densidad de población. 2011 Comarcas, ámbitos y provincias	Población total en la comarca P	Superfície Acom (km2)	Densidad (habitantes/km2)
Alt Camp	45189	538,0	84,0
Alt Empordà	140428	1357,5	103,4
Alt Penedès	105670	592,7	178,3
Alt Urgell	22008	1447,5	15,2
Alta Ribagorça	4284	426,9	10,0
Anoia	118509	866,3	136,8
Bages	185865	1299,1	143,1
Baix Camp	191947	697,2	275,3
Baix Ebre	82634	1002,7	82,4
Baix Empordà	133116	701,7	189,7
Baix Llobregat	803705	486,0	1653,7
Baix Penedès	101115	296,5	341,1
Barcelonès	2246280	145,8	15411,9
Berguedà	41540	1185,3	35,0
Cerdanya	18783	546,7	34,4
Conca de Barberà	21290	650,2	32,7
Garraf	146469	185,1	791,3
Garrigues	20306	797,7	25,5
Garrotxa	55597	734,6	75,7
Gironès	182916	575,6	317,8
Maresme	434897	398,5	1091,3
Montsià	72261	735,4	98,3
Noguera	40231	1784,1	22,6
Osona	154204	1260,3	122,4
Pallars Jussà	14374	1343,1	10,7
Pallars Sobirà	7548	1377,9	5,5
Pla d'Urgell	37265	305,1	122,1
Pla de l'Estany	31169	262,8	118,6
Priorat	10087	498,6	20,2
Ribera d'Ebre	23889	827,3	28,9
Ripollès	26393	956,6	27,6
Segarra	23191	722,7	32,1
Segrià	207633	1396,7	148,7
Selva	172280	995,0	173,1
Solsonès	13808	1001,2	13,8
Tarragonès	250142	319,4	783,2
Terra Alta	12847	743,0	17,3
Urgell	37396	579,7	64,5
Val d'Aran	10192	633,6	16,1
Vallès Occidental	892260	583,1	1530,1
Vallès Oriental	399900	851,0	469,9
TOTAL	7539618	32108,2	234,8

Tabla 3.24 Población, superficie y densidad de población en Cataluña en el año 2011

Se ha considerado la siguiente distinción entre comarcas urbanas, suburbanas y rurales [Ref. 3]:

Urbano	+5000hab/km2
Suburbano	750-5000hab/km2
Rural	0-750hab/km2

Tabla 3.25 Clasificación según densidad de población de la comarca

3.3.1.2 Factor de densidad *public safety*

El factor de densidad de seguridad publica, es decir, el tanto por ciento de efectivos de seguridad pública en relación con la población total, se ha escogido como referencia el tanto por ciento total de Cataluña y el tanto por ciento total del ámbito metropolitano a partir de los datos que aparecen en el apartado A.2 del anexo. El ámbito metropolitano está comprendido por las comarcas siguientes: *Barcelonès, Baix Llobregat, Maresme, Vallès Occidental y Vallès Oriental*.

De la tabla del anexo A.1, se observa que el ámbito metropolitano tiene una población de 4.777.042 habitantes y Cataluña tiene una población total de 7.539.618 habitantes.

De la tabla del anexo A.2 se observa que la cantidad de *mossos d'esquadra* en el ámbito metropolitano es de 8.105 mientras que en Cataluña es de 16.654.

De la tabla del anexo A.3 se observa que la cantidad de policías locales en el ámbito metropolitano es de 7.399 mientras que en Cataluña es de 10.894.

De la tabla del anexo A.4 se observa que la cantidad de bomberos en el ámbito metropolitano es de 1.489 mientras que en Cataluña es de 5.058.

Con estas estadísticas, se puede obtener el tanto por ciento de agentes de seguridad pública respecto a la población total en Cataluña y en el ámbito metropolitano:

	En Cataluña	En ámbito metropolitano
Población	7.539.618	4.777.042
Agentes de seguridad pública		
Mossos d'esquadra	16.654	8.105
Policía Local	10.894	7.399
Bomberos	5.058	1.489
Total agentes seguridad pública	32.606	16.993
Factor de densidad *public safety*	0,432%	0,356%

Tabla 3.26 Agentes de seguridad pública en Cataluña y en el ámbito metropolitano

En el territorio catalán hay un factor de densidad de *public safety* de 0,00432, y en el ámbito metropolitano 0,00356. Para simplificar el cálculo el valor escogido en este trabajo para el parámetro factor de densidad de seguridad pública es de 0,004 para cualquiera de las comarcas en el estudio de red dedicada y red compartida.

Factor de densidad *public safety*	Tipo de configuración	Descripción
0,004	Dedicada y compartida	Valor utilizado para la red dedicada y para la red compartida.
-	Comercial	En la red comercial no se opera con efectivos de seguridad pública.

Tabla 3.27 Factor de densidad *public safety*

3.3.1.3 Factor de densidad comercial

Para el análisis se ha escogido un nuevo operador en el mercado de telefonía móvil comercial que se encuentra en el estado de implementación de una red inalámbrica de banda ancha para todo el país. Se ha supuesto que la penetración de mercado va a ser del 10,26% [Ref. 5]. Alternativamente, se va a variar este parámetro hasta el 40% para ver la influencia que tiene en el incremento del número de estaciones base.

Factor de densidad comercial	Tipo de configuración	Descripción
-	Dedicada	En la red dedicada no se opera con usuarios del operador comercial.
0,1026	Comercial y compartida	Valor utilizado para la red comercial y para la red

Tabla 3.28 Factor de densidad comercial

3.3.1.4 Número de usuarios y tasa de transmisión

La tasa de transmisión de un terminal se puede calcular con la siguiente expresión (Ecuación 3.2):

$$R_{d,u=}\frac{T_up}{1h\ activa}\cdot\frac{H\ h\ activas}{1\ semana}\cdot\frac{1\ \ semana}{168\ h}\cdot\frac{1h}{3600\ seg}\cdot\frac{8bits}{1B}\cdot K$$

(Ec. 3.2)

Dónde:

T_up: Tráfico en el enlace de subida del usuario por hora trabajada
H: horas trabajadas por un agente en una semana
K: Factor de gran actividad

Parámetro	Usuario comercial	Usuario de seguridad pública
T_up	2 MB	2 MB
H	112-168 h	40h
K	2--6	4--25

Tabla 3.29 Parámetros para el cálculo de la tasa de transmisión

La tasa de transmisión por usuario, ya sea efectivo de seguridad pública o comercial, puede tomar los siguientes valores:

Tasa de transmisión rutinario *public safety* por agente $R_{d,ups}$	4,10,15,20,25	kbps/*first responder*
Tasa de transmisión comercial por usuario $R_{d,uc}$	6,10,15,20,25	kbps/*first responder*

Tabla 3.30 Tasas de transmisión por terminal

En la tabla 3.32 se muestra la tasa de transmisión por comarcas. Para ello, se han tomado como valores de referencia de entrada los siguientes:

Tasa de transmisión rutinario *public safety* por agente $R_{d,ups}$	25	kbps/*first responder*
Tasa de transmisión comercial por usuario $R_{d,uc}$	10	kbps/*first responder*
Factor densidad *public safety FPS*	0,004	
Factor densidad comercial FC	0,1026	

Tabla 3.31 Valores de entrada para el cálculo de personal de seguridad pública, número de usuarios del operador comercial y tasas de transmisión por comarca

Densidad de población. 2011 Comarcas, ámbitos y provincias	Personal public safety en la comarca Ups	Tasa de transmisión de public safety en la comarca Rd,cps(kbps)	Usuarios comercial en la comarca Uc	Tasa de transmisión comercial en la comarca Rd,cc (kbps)	Tasa de transmisión total en la comarca Rd,c (kbps)
Alt Camp	181	4519,20	4637	46366,99	50886,19
Alt Empordà	561	14036,55	14402	144015,00	158051,55
Alt Penedès	423	10567,84	10843	108426,05	118993,89
Alt Urgell	88	2200,20	2257	22574,05	24774,25
Alta Ribagorça	17	426,90	438	4379,99	4806,89
Anoia	474	11850,98	12159	121591,10	133442,08
Bages	744	18590,12	19073	190734,64	209324,76
Baix Camp	768	19193,92	19693	196929,58	216123,49
Baix Ebre	330	8262,25	8477	84770,66	93032,91
Baix Empordà	532	13311,25	13657	136573,41	149884,66
Baix Llobregat	3215	80369,82	82459	824594,35	904964,17
Baix Penedès	405	10113,62	10377	103765,69	113879,30
Barcelonès	8988	224705,50	230548	2305478,45	2530183,95
Berguedà	166	4148,55	4256	42564,12	46712,67
Cerdanya	75	1880,65	1930	19295,45	21176,10
Conca de Barberà	85	2126,15	2181	21814,34	23940,49
Garraf	586	14646,96	15028	150277,84	164924,80
Garrigues	81	2034,14	2087	20870,23	22904,36
Garrotxa	222	5560,92	5706	57055,06	62615,98
Gironès	732	18292,57	18768	187681,75	205974,32
Maresme	1740	43488,31	44619	446190,01	489678,31
Montsià	289	7228,98	7417	74169,36	81398,34
Noguera	161	4032,07	4137	41369,00	45401,06
Osona	617	15426,07	15827	158271,50	173697,57
Pallars Jussà	57	1437,12	1474	14744,82	16181,94
Pallars Sobirà	30	757,85	778	7775,49	8533,33
Pla d'Urgell	149	3725,27	3822	38221,28	41946,55
Pla de l'Estany	125	3116,81	3198	31978,45	35095,26
Priorat	40	1007,17	1033	10333,58	11340,76
Ribera d'Ebre	96	2390,90	2453	24530,60	26921,50
Ripollès	106	2640,22	2709	27088,62	29728,83
Segarra	93	2319,87	2380	23801,84	26121,70
Segrià	831	20768,93	21309	213089,21	233858,14
Selva	689	17223,45	17671	176712,60	193936,05
Solsonès	55	1381,66	1418	14175,79	15557,45
Tarragonès	1001	25015,41	25666	256658,09	281673,49
Terra Alta	51	1285,39	1319	13188,10	14473,49
Urgell	150	3739,07	3836	38362,81	42101,87
Val d'Aran	41	1020,10	1047	10466,18	11486,28
Vallès Occidental	3569	89220,13	91540	915398,54	1004618,68
Vallès Oriental	1600	39988,49	41028	410281,91	450270,40

Tabla 3.32 Personal de seguridad pública, número de usuarios del operador comercial y tasas de transmisión por comarca

3.3.1.5 Tasa de transmisión de pico en caso de emergencia de gran escala

Para el caso de red dedicada y red compartida la tasa de transmisión de pico, R_{ext}, es de 1447 kbps en el enlace de subida [Ref. 6]. Para determinar la tasa de transmisión total se ha tomado como referencia un estudio realizado en el cual se estima la capacidad requerida en el caso de que ocurra una emergencia a gran escala.

Aplicación	Tráfico requerido (Kbps)	Número de usuarios	Fracción de usuarios activos	Usuarios activos	Capacidad requerida (Kbps)
Sensores	12	28	0,04	1,1	13
Video	360	240	0,01	2,4	865
Localización	6	28	0,05	1,4	8
Web	6	170	0,05	8,5	51
Email	60	170	0,05	8,5	510
TOTAL	**444**	**636**	**0,2**	**21,9**	**1447**

Tabla 3.33 Capacidad requerida en una emergencia de gran escala en un sector ocupado

En el caso de red comercial está tasa de transmisión será cero.

Tasa de transmisión (R_{ext})	Tipo de red	Descripción
1447 kbps	Dedicada	Ha de poder satisfacer la tasa de transmisión de pico.
1447 kbps	Compartida	La red compartida también debe poder satisfacer la R_{ext} en caso de una emergencia de gran escala.
0	Comercial	No se dimensiona la red comercial teniendo en cuenta esta tasa de transmisión.

Tabla 3.34 Tasa de transmisión de pico en extremo de una celda

3.3.1.6 Sectorización

Se ha considerado una sectorización de 120º, con lo que habrá 3 sectores por emplazamiento.

3.4 Resumen valores diferentes para cada configuración

Se puede observar en la tabla inferior, Tabla 3.35, el resumen de valores que pueden diferir para cada configuración. Se muestra, para algunos parámetros el rango de valores utilizado en este estudio.

Parámetros para cada configuración	Red dedicada PS	Red compartida	Red comercial
Ancho de Banda (BW)	5	10	5
Frecuencias utilizadas (Hz)	800M, 900M y 2,1G	800M, 900M y 2,1G	800M, 900M y 2,1G
Total tráfico rutinario (kbps/us)	4--25	4--25	6--25
Factor densidad *public safety*	0,004	0,004	-
Factor densidad Comercial	-	0,1026	0,1026
Tasa de transmisión de pico (kbps)	1447	1447	-
Tx RF Power (dBm)	25-28	22-25	22-25
Occupied Subcarriers	300	600	300
Fast Fade Margin (dB)	4,5	4,5	3
Interference Margin (dB)	2	2	1
Log Normal Margin (slow fade) (dB)	6,5	6,5	5,5

Tabla 3.35 Parámetros diferentes para cada red

La frecuencia utilizada de 800 MHz o bien de 2,1 GHz, influye de manera significativa en el modelo de propagación utilizado, *Hata Model*, por el cual el radio de la celda es menor en el caso de 2,1GHz y por tanto tiene una gran influencia en el cálculo final de emplazamientos tal como se ve en el apartado 7, donde se hace estudio de impacto de este parámetro.

3.5 Resumen valores constantes para cada configuración

En la tabla 3.36 se muestran aquellos parámetros constantes en las tres configuraciones y su valor.

Parámetros constantes en las tres configuraciónes	Valor	Red dedicada, comercial y compartida
Tx Diversity Gain (dB)	$G_{TX}DG$	0
Tx RF line loss(dB)	$L_{TX_}LL$	0
Tx Antenna Gain(dBi)	G_{TX}	7
Tx Adaptative Antenna Gain (dB)	G_{AA}	0
Thermal Noise (dBm/Hz)	K·T	-174
Subcarrier Bandwidth (Hz)	SC_{BW}	15000
Noise Figure (dB)	NF	4
Implementation margin (dB)	IM	2,5
Rx Diversity Gain (dB)	G_{RxDG}	3
HARQ Gain (dB)	HARQ	0
Rx Antenna Gain (dBi)	G_{Rx}	17
Rx RF Line Loss (dB)	L_{Rx_LL}	1
Building Loss (dB)	LBV	10
Antenna height (m)	h_b	50
Human height (m)	h_m	15
Number sectors	Ns	3

Tabla 3.36 Parámetros constantes en las configuraciones

4. Cálculo del número de emplazamientos para cada alternativa

Se detalla en este capítulo, los cálculos realizados para encontrar el número de emplazamientos para cada una de las tres configuraciones. Además, como se puede ver en las tablas mostradas en los subcapítulos siguientes se muestran también los cálculos intermedios para la obtención del cálculo final del número de emplazamientos.

En los siguientes puntos se analizan tres comarcas para los tres tipos de red. Para el caso urbano, el *Barcelonès*, para el caso suburbano el *Vallès Occidental* y para el caso rural el *Vallès Oriental*.

4.1 Cálculo de emplazamientos en red dedicada

En la tabla inferior, Tabla 4.1, se muestra para cada una de las eficiencias: el *Path Loss*, el radio del anillo, Ri, la superficie del sector i-ésimo, S_{secti}, el ancho de banda necesario en caso de emergencia en el extremo de la celda, B_{ext}, la eficiencia media en el interior de la celda, e_{int}, y la tasa de transmisión media ofrecida en el interior de la celda, R_{int}.

	Limitación por cobertura	PATH LOSS (dB)	Ri (km)	Ssecti (Km^2)	B_{ext}(KHz)	e_{int} (bps/Hz)	R_{int} (kbps)
MCS 28	Urbano	111,62	0,23	0,06	312,51	4,630	6270,00
SNR	Suburbano		0,55	0,31		4,630	6270,00
17,343	Rural		2,19	5,02		4,630	6270,00
MCS 27	Urbano	112,32	0,25	0,06	325,15	4,614	6189,76
SNR	Suburbano		0,57	0,34		4,614	6189,76
16,652	Rural		2,30	5,52		4,614	6189,76
MCS 26	Urbano	113,05	0,26	0,07	339,67	4,580	6078,15
SNR	Suburbano		0,60	0,38		4,580	6078,15
15,920	Rural		2,41	6,10		4,580	6078,15
MCS 25	Urbano	113,98	0,27	0,08	359,95	4,514	5898,13
SNR	Suburbano		0,64	0,43		4,514	5898,13
14,991	Rural		2,57	6,92		4,514	5898,13
MCS 24	Urbano	114,95	0,29	0,09	383,84	4,421	5671,61
SNR	Suburbano		0,69	0,49		4,421	5671,61
14,017	Rural		2,75	7,90		4,421	5671,61
MCS 23	Urbano	115,97	0,31	0,10	412,25	4,303	5397,31
SNR	Suburbano		0,73	0,56		4,303	5397,31
12,995	Rural		2,95	9,08		4,303	5397,31
MCS 22	Urbano	117,01	0,34	0,12	445,20	4,164	5086,47
SNR	Suburbano		0,79	0,65		4,164	5086,47
11,961	Rural		3,16	10,46		4,164	5086,47
MCS 21	Urbano	117,97	0,36	0,14	480,70	4,022	4769,58
SNR	Suburbano		0,84	0,74		4,022	4769,58
10,994	Rural		3,38	11,93		4,022	4769,58
MCS 20	Urbano	117,97	0,36	0,14	480,73	4,022	4769,45
SNR	Suburbano		0,84	0,74		4,022	4769,45
10,994	Rural		3,38	11,93		4,022	4769,45
MCS 19	Urbano	118,96	0,39	0,16	522,38	3,865	4422,09
SNR	Suburbano		0,90	0,85		3,865	4422,09
10,010	Rural		3,61	13,65		3,865	4422,09
MCS 18	Urbano	120,00	0,41	0,18	574,21	3,686	4026,40
SNR	Suburbano		0,97	0,98		3,686	4026,40
8,963	Rural		3,88	15,74		3,686	4026,40
MCS 17	Urbano	121,04	0,44	0,21	634,65	3,501	3613,20
SNR	Suburbano		1,04	1,13		3,501	3613,20
7,931	Rural		4,16	18,12		3,501	3613,20
MCS 16	Urbano	121,65	0,46	0,23	676,17	3,391	3358,88
SNR	Suburbano		1,08	1,23		3,391	3358,88
7,313	Rural		4,34	19,72		3,391	3358,88
MCS 15	Urbano	122,24	0,48	0,24	719,90	3,285	3110,16
SNR	Suburbano		1,13	1,33		3,285	3110,16
6,727	Rural		4,52	21,36		3,285	3110,16
MCS 14	Urbano	123,22	0,52	0,28	803,89	3,099	2674,14
SNR	Suburbano		1,20	1,52		3,099	2674,14
5,748	Rural		4,83	24,41		3,099	2674,14
MCS 13	Urbano	124,20	0,55	0,32	904,38	2,912	2220,11
SNR	Suburbano		1,29	1,73		2,912	2220,11
4,771	Rural		5,16	27,88		2,912	2220,11
MCS 12	Urbano	125,18	0,59	0,36	1026,24	2,724	1744,60
SNR	Suburbano		1,38	1,98		2,724	1744,60
3,789	Rural		5,52	31,88		2,724	1744,60
MCS 11	Urbano	126,17	0,63	0,42	1176,42	2,535	1242,55
SNR	Suburbano		1,47	2,27		2,535	1242,55
2,794	Rural		5,90	36,51		2,535	1242,55
MCS 10	Urbano	126,17	0,63	0,42	1176,42	2,535	1242,55
SNR	Suburbano		1,47	2,27		2,535	1242,55
2,794	Rural		5,90	36,51		2,535	1242,55
MCS 9	Urbano	126,88	0,66	0,46	1303,60	2,403	872,54
SNR	Suburbano		1,55	2,50		2,403	872,54
2,085	Rural		6,20	40,22		2,403	872,54
MCS 8	Urbano	127,70	0,70	0,51	1476,53	2,252	428,25
SNR	Suburbano		1,63	2,80		2,252	428,25
1,263	Rural		6,55	44,99		2,252	428,25
MCS 7	Urbano	128,53	0,74	0,57	1682,56	2,105	-33,44
SNR	Suburbano		1,73	3,13		2,105	-33,44
0,440	Rural		6,93	50,33		2,105	-33,44
MCS 6	Urbano	129,51	0,79	0,66	1982,19	1,932	-609,58
SNR	Suburbano		1,85	3,58		1,932	-609,58
-0,544	Rural		7,41	57,56		1,932	-609,58
MCS 5	Urbano	130,45	0,84	0,75	2333,87	1,775	-1184,12
SNR	Suburbano		1,97	4,07		1,775	-1184,12
-1,480	Rural		7,90	65,39		1,775	-1184,12
MCS 4	Urbano	131,63	0,91	0,88	2894,00	1,586	-1946,03
SNR	Suburbano		2,14	4,78		1,586	-1946,03
-2,658	Rural		8,56	76,79		1,586	-1946,03
MCS 3	Urbano	132,67	0,98	1,01	3529,27	1,430	-2663,01
SNR	Suburbano		2,29	5,50		1,430	-2663,01
-3,701	Rural		9,19	88,52		1,430	-2663,01
MCS 2	Urbano	134,08	1,08	1,23	4667,74	1,267	-3802,04
SNR	Suburbano		2,52	6,67		1,267	-3802,04
-5,113	Rural		10,12	107,32		1,267	-3802,04
MCS 1	Urbano	135,13	1,16	1,41	5788,00	1,152	-4749,76
SNR	Suburbano		2,71	7,70		1,152	-4749,76
-6,164	Rural		10,88	123,86		1,152	-4749,76
MCS 0	Urbano	136,20	1,25	1,64	7235,00	1,038	-5782,17
SNR	Suburbano		2,92	8,91		1,038	-5782,17
-7,231	Rural		11,70	143,26		1,038	-5782,17

Tabla 4.1. Cálculo de emplazamientos red dedicada

Para el rango de eficiencias, del MCS 7 al 0, el ancho de banda por sector, Bext, requerido en el extremo de la celda es mayor que 1667KHz, que es el valor máximo que se asigna a cada sector (el ancho de banda asignado por celda es de 5MHz, y se tienen 3 sectores por celda). Por tanto, para todos estos casos la tasa de tráfico medio es negativa por lo que no se tiene en cuenta estas eficiencias para el cálculo de emplazamientos para la red dedicada.

En los apartados siguientes se mostrará un ejemplo de cálculo para cada uno de los tipos de comarca, urbano, suburbano y rural. Los valores de entrada utilizados para los tres casos son:

Tasa de transmisión rutinario *public safety* por agente $R_{d,ups}$	25	kbps/*first responder*
Ancho de banda B_{TOT}	5000	Hz
Potencia del terminal P	25	dBm
Frecuencia f	800	MHz
Número de sectores M	3	
Factor de densidad *public safety* FPS	0,004	

Tabla 4.2 Valores de entrada cálculo de emplazamientos red dedicada

4.1.1 Cálculo de emplazamientos para el caso urbano para red dedicada

Para determinar el número de emplazamientos se escoge el mínimo de emplazamientos posible que cumpla el máximo de las dos restricciones, rutinaria y cobertura. Se observa en la tabla inferior, Tabla 4.3, que en la comarca del *Barcelonès* el valor mínimo de emplazamientos es 35 para el caso MCS 13.

	Ri (km)	B_{ext} (kHz)	e_{int} (bps/Hz)	R_{int} (kbps)	Núm sectores según rutinaria total $N_{rut,sect}$	Núm sectores según cobertura $N_{cob,sect}$	$N_{i,sect}$ = Max ($N_{rut,sect}$,$N_{cob,sect}$)	Núm emplazamientos N_i
MCS 28	0,49	312,51	4,63	6270,00	35,84	573,30	573,30	192
MCS 27	0,52	325,15	4,61	6189,76	36,30	521,74	521,74	174
MCS 26	0,54	339,67	4,58	6078,15	36,97	472,18	472,18	158
MCS 25	0,58	359,95	4,51	5898,13	38,10	416,00	416,00	139
MCS 24	0,62	383,84	4,42	5671,61	39,62	364,26	364,26	122
MCS 23	0,66	412,25	4,30	5397,31	41,63	316,87	316,87	106
MCS 22	0,71	445,20	4,16	5086,47	44,18	275,20	275,20	92
MCS 21	0,76	480,70	4,02	4769,58	47,11	241,20	241,20	81
MCS 20	0,76	480,73	4,02	4769,45	47,11	241,20	241,20	81
MCS 19	0,81	522,38	3,86	4422,09	50,81	210,92	210,92	71
MCS 18	0,87	574,21	3,69	4026,40	55,81	182,86	182,86	61
MCS 17	0,94	634,65	3,50	3613,20	62,19	158,85	158,85	53
MCS 16	0,98	676,17	3,39	3358,88	66,90	146,01	146,01	49
MCS 15	1,02	719,90	3,29	3110,16	72,25	134,80	134,80	45
MCS 14	1,09	803,89	3,10	2674,14	84,03	117,95	117,95	40
MCS 13	1,16	904,38	2,91	2220,11	101,21	103,24	103,24	35
MCS 12	1,24	1026,24	2,72	1744,60	128,80	90,30	128,80	43
MCS 11	1,33	1176,42	2,53	1242,55	180,84	78,84	180,84	61
MCS10	1,33	1176,42	2,53	1242,55	180,84	78,84	180,84	61
MCS 9	1,39	1303,60	2,40	872,54	257,53	71,58	257,53	86
MCS 8	1,48	1476,53	2,25	428,25	524,70	63,99	524,70	175
MCS 7	1,56	1682,56	2,10	-33,44	-6718,78	57,20	57,20	20
MCS 6	1,67	1982,19	1,93	-609,58	-368,62	50,01	50,01	17
MCS 5	1,78	2333,87	1,77	-1184,12	-189,77	44,02	44,02	15
MCS 4	1,93	2894,00	1,59	-1946,03	-115,47	37,49	37,49	13
MCS 3	2,07	3529,27	1,43	-2663,01	-84,38	32,52	32,52	11
MCS 2	2,28	4667,74	1,27	-3802,04	-59,10	26,82	26,82	9
MCS 1	2,45	5788,00	1,15	-4749,76	-47,31	23,24	23,24	8
MCS 0	2,63	7235,00	1,04	-5782,17	-38,86	20,09	20,09	7

Tabla 4.3 Número de emplazamientos para el área del Barcelonès en red dedicada

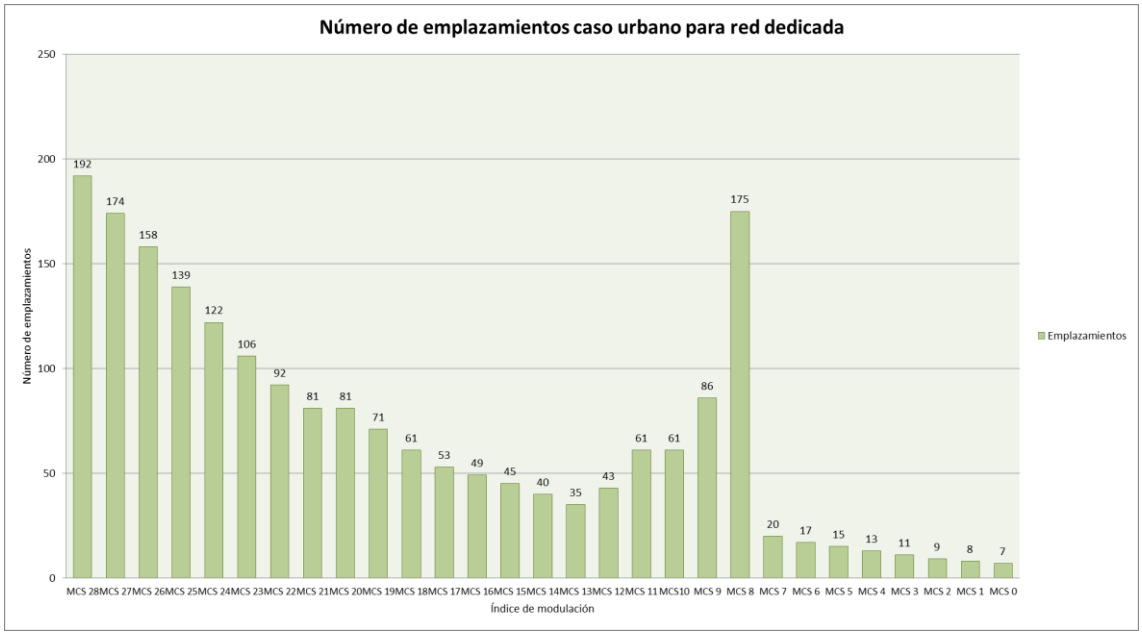


Figura 4.1 Cálculo de emplazamientos para caso de *Barcelonès* para red dedicada

4.1.2 Cálculo de emplazamientos para el caso suburbano para red dedicada

En este caso se escoge la comarca de *Vallès Occidental* como ejemplo de cálculo de emplazamientos para el caso de una comarca suburbana.

	Ri (km)	B_{ext} (kHz)	e_{int} (bps/Hz)	R_{int} (kbps)	Núm sectores según rutinaria total $N_{rut,sect}$	Núm sectores según cobertura $N_{cob,sect}$	$N_{i,sect}$ = Max ($N_{rut,sect}$,$N_{cob,sect}$)	Núm emplazamientos N_i
MCS 28	0,95	312,51	4,63	6270,00	14,23	615,89	615,89	206
MCS 27	1,00	325,15	4,61	6189,76	14,41	560,51	560,51	187
MCS 26	1,05	339,67	4,58	6078,15	14,68	507,26	507,26	170
MCS 25	1,12	359,95	4,51	5898,13	15,13	446,91	446,91	149
MCS 24	1,19	383,84	4,42	5671,61	15,73	391,32	391,32	131
MCS 23	1,28	412,25	4,30	5397,31	16,53	340,42	340,42	114
MCS 22	1,37	445,20	4,16	5086,47	17,54	295,65	295,65	99
MCS 21	1,47	480,70	4,02	4769,58	18,71	259,13	259,13	87
MCS 20	1,47	480,73	4,02	4769,45	18,71	259,13	259,13	87
MCS 19	1,57	522,38	3,86	4422,09	20,18	226,59	226,59	76
MCS 18	1,68	574,21	3,69	4026,40	22,16	196,44	196,44	66
MCS 17	1,81	634,65	3,50	3613,20	24,69	170,65	170,65	57
MCS 16	1,88	676,17	3,39	3358,88	26,56	156,86	156,86	53
MCS 15	1,96	719,90	3,29	3110,16	28,69	144,82	144,82	49
MCS 14	2,10	803,89	3,10	2674,14	33,36	126,72	126,72	43
MCS 13	2,24	904,38	2,91	2220,11	40,19	110,91	110,91	37
MCS 12	2,40	1026,24	2,72	1744,60	51,14	97,01	97,01	33
MCS 11	2,56	1176,42	2,53	1242,55	71,80	84,70	84,70	29
MCS 10	2,56	1176,42	2,53	1242,55	71,80	84,70	84,70	29
MCS 9	2,69	1303,60	2,40	872,54	102,25	76,90	102,25	35
MCS 8	2,85	1476,53	2,25	428,25	208,33	68,74	208,33	70
MCS 7	3,01	1682,56	2,10	-33,44	-2667,72	61,45	61,45	21
MCS 6	3,22	1982,19	1,93	-609,58	-146,36	53,73	53,73	18
MCS 5	3,43	2333,87	1,77	-1184,12	-75,35	47,29	47,29	16
MCS 4	3,72	2894,00	1,59	-1946,03	-45,85	40,27	40,27	14
MCS 3	3,99	3529,27	1,43	-2663,01	-33,50	34,93	34,93	12
MCS 2	4,40	4667,74	1,27	-3802,04	-23,47	28,82	28,82	10
MCS 1	4,72	5788,00	1,15	-4749,76	-18,78	24,97	24,97	9
MCS 0	5,08	7235,00	1,04	-5782,17	-15,43	21,59	21,59	8

Tabla 4.4 Número de emplazamientos para la comarca del *Vallès Occidental* en red dedicada

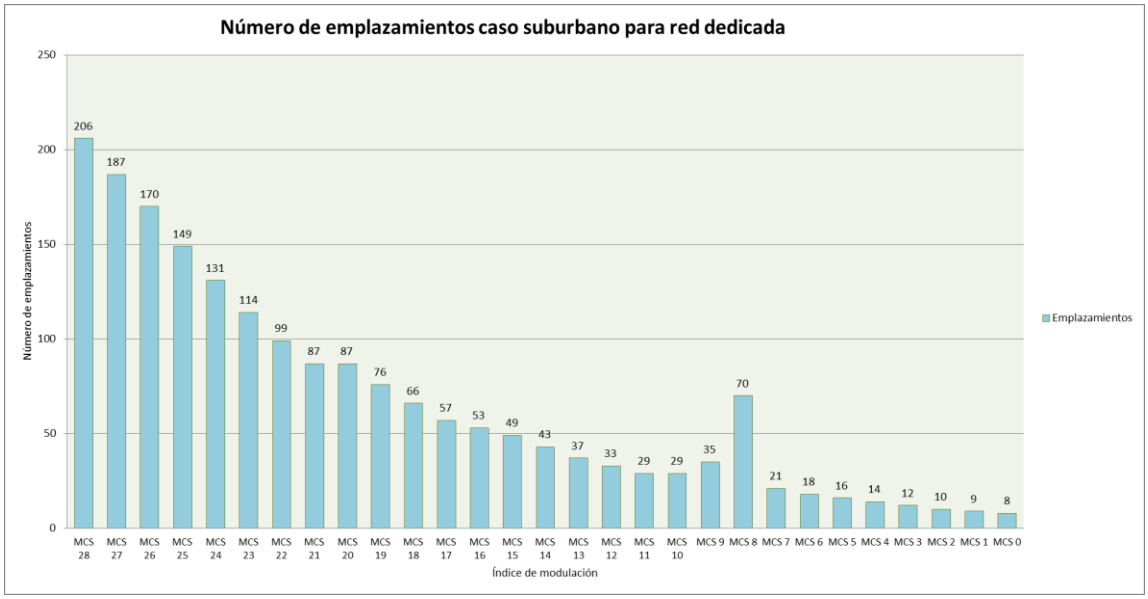


Figura 4.2 Cálculo de emplazamientos para el caso de *Vallès Occidental* para red dedicada en la comarca del *Vallès Occidental*

Para los valores de entrada Tabla 4.2, en la comarca de *Vallès Occidental* el mínimo de emplazamientos es de 29 tal como se observa en el gráfico superior.

4.1.3 Cálculo de emplazamientos para el caso rural para red dedicada

En este apartado se escoge el caso de *Vallès Oriental* como ejemplo de cálculo de emplazamientos en una red dedicada para el caso rural.

	Ri (km)	B_{ext} (kHz)	e_{int} (bps/Hz)	R_{int} (kbps)	Núm sectores según rutinaria total $N_{rut,sect}$	Núm sectores según cobertura $N_{cob,sect}$	$N_{i,sect}$ = Max ($N_{rut,sect}$,$N_{cob,sect}$)	Núm emplazamientos N_i
MCS 28	3,33	312,51	4,63	6270,00	6,38	73,39	73,39	25
MCS 27	3,49	325,15	4,61	6189,76	6,46	66,79	66,79	23
MCS 26	3,67	339,67	4,58	6078,15	6,58	60,45	60,45	21
MCS 25	3,91	359,95	4,51	5898,13	6,78	53,26	53,26	18
MCS 24	4,17	383,84	4,42	5671,61	7,05	46,63	46,63	16
MCS 23	4,48	412,25	4,30	5397,31	7,41	40,57	40,57	14
MCS 22	4,80	445,20	4,16	5086,47	7,86	35,23	35,23	12
MCS 21	5,13	480,70	4,02	4769,58	8,38	30,88	30,88	11
MCS 20	5,13	480,73	4,02	4769,45	8,38	30,88	30,88	11
MCS 19	5,49	522,38	3,86	4422,09	9,04	27,00	27,00	10
MCS 18	5,89	574,21	3,69	4026,40	9,93	23,41	23,41	8
MCS 17	6,32	634,65	3,50	3613,20	11,07	20,34	20,34	7
MCS 16	6,59	676,17	3,39	3358,88	11,91	18,69	18,69	7
MCS 15	6,86	719,90	3,29	3110,16	12,86	17,26	17,26	6
MCS 14	7,34	803,89	3,10	2674,14	14,95	15,10	15,10	6
MCS 13	7,84	904,38	2,91	2220,11	18,01	13,22	18,01	7
MCS 12	8,38	1026,24	2,72	1744,60	22,92	11,56	22,92	8
MCS 11	8,97	1176,42	2,53	1242,55	32,18	10,09	32,18	11
MCS 10	8,97	1176,42	2,53	1242,55	32,18	10,09	32,18	11
MCS 9	9,42	1303,60	2,40	872,54	45,83	9,16	45,83	16
MCS 8	9,96	1476,53	2,25	428,25	93,38	8,19	93,38	32
MCS 7	10,53	1682,56	2,10	-33,44	-1195,67	7,32	7,32	3
MCS 6	11,27	1982,19	1,93	-609,58	-65,60	6,40	6,40	3
MCS 5	12,01	2333,87	1,77	-1184,12	-33,77	5,64	5,64	2
MCS 4	13,01	2894,00	1,59	-1946,03	-20,55	4,80	4,80	2
MCS 3	13,97	3529,27	1,43	-2663,01	-15,02	4,16	4,16	2
MCS 2	15,38	4667,74	1,27	-3802,04	-10,52	3,43	3,43	2
MCS 1	16,53	5788,00	1,15	-4749,76	-8,42	2,98	2,98	1
MCS 0	17,77	7235,00	1,04	-5782,17	-6,92	2,57	2,57	1

Tabla 4.5 Número de emplazamientos para la comarca de *Vallès Oriental* para red dedicada

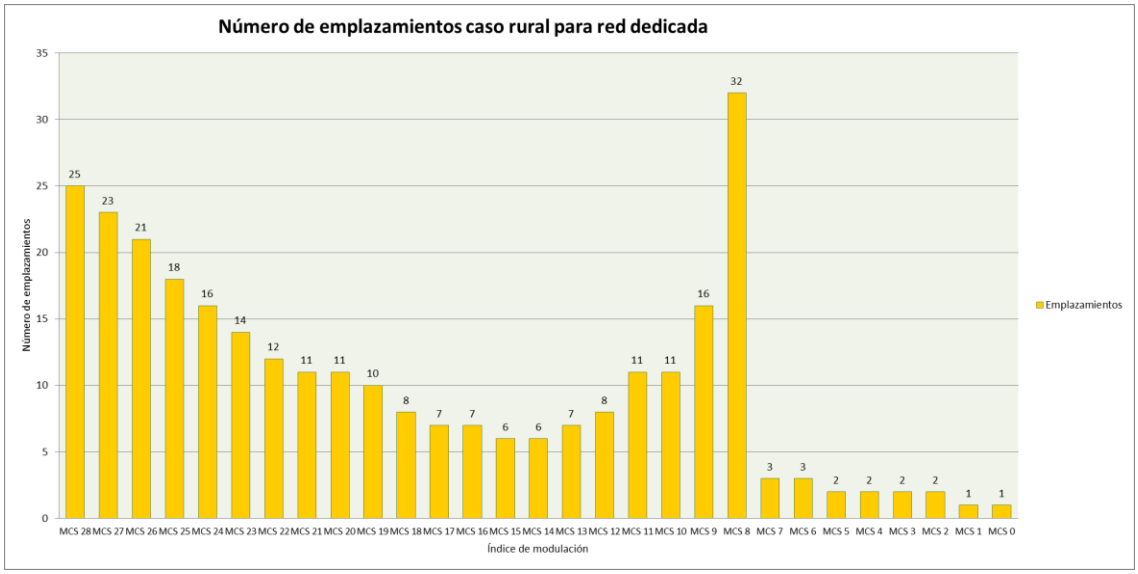


Figura 4.3 Cálculo de emplazamientos para caso de *Vallès Oriental* para red dedicada

Para el caso de *Vallès Oriental*, son necesarios 6 emplazamientos.

4.2 Cálculo de emplazamientos en red compartida

Se muestra para el caso de red compartida para cada una de las eficicencias: el *Path Loss*, el radio del anillo, Ri, la superficie del sector i-ésimo, S_{secti}, el ancho de banda

necesario en caso de emergencia en el extremo de la celda, B_{ext}, la eficiencia media en el interior de la celda, e_{int}, y la tasa de transmisión media ofrecida en el interior de la celda, R_{int}.

	Limitación por cobertura	PATH LOSS (dB)	Ri (km)	Ssecti (km^2)	B_{ext}(KHz)	e_{int} (bps/Hz)	R_{int} (kbps)
MCS 28	Urbano	105,61	0,33	0,11	312,51	4,630	13987,00
SNR	Suburbano		0,63	0,42		4,630	13987,00
17,343	Rural		2,21	5,11		4,630	13987,00
MCS 27	Urbano	106,31	0,34	0,12	325,15	4,614	13879,78
SNR	Suburbano		0,66	0,46		4,614	13879,78
16,652	Rural		2,32	5,61		4,614	13879,78
MCS 26	Urbano	107,04	0,36	0,14	339,67	4,580	13712,12
SNR	Suburbano		0,70	0,51		4,580	13712,12
15,920	Rural		2,43	6,20		4,580	13712,12
MCS 25	Urbano	107,97	0,38	0,15	359,95	4,514	13420,98
SNR	Suburbano		0,74	0,57		4,514	13420,98
14,991	Rural		2,59	7,04		4,514	13420,98
MCS 24	Urbano	108,94	0,41	0,18	383,84	4,421	13040,25
SNR	Suburbano		0,79	0,66		4,421	13040,25
14,017	Rural		2,77	8,04		4,421	13040,25
MCS 23	Urbano	109,96	0,44	0,20	412,25	4,060	11858,46
SNR	Suburbano		0,85	0,75		4,060	11858,46
12,995	Rural		2,97	9,24		4,060	11858,46
MCS 22	Urbano	111,00	0,47	0,23	445,20	4,164	12026,88
SNR	Suburbano		0,91	0,87		4,164	12026,88
11,961	Rural		3,19	10,64		4,164	12026,88
MCS 21	Urbano	111,96	0,50	0,27	480,70	4,022	11472,37
SNR	Suburbano		0,97	0,99		4,022	11472,37
10,994	Rural		3,41	12,14		4,022	11472,37
MCS 20	Urbano	111,96	0,50	0,27	480,73	4,022	11472,24
SNR	Suburbano		0,97	0,99		4,022	11472,24
10,994	Rural		3,41	12,14		4,022	11472,24
MCS 19	Urbano	112,95	0,54	0,30	522,38	3,865	10862,94
SNR	Suburbano		1,04	1,13		3,865	10862,94
10,010	Rural		3,64	13,89		3,865	10862,94
MCS 18	Urbano	113,99	0,58	0,35	574,21	3,686	10169,11
SNR	Suburbano		1,12	1,31		3,686	10169,11
8,963	Rural		3,91	16,02		3,686	10169,11
MCS 17	Urbano	115,03	0,62	0,40	634,65	3,501	9448,38
SNR	Suburbano		1,20	1,51		3,501	9448,38
7,931	Rural		4,20	18,44		3,501	9448,38
MCS 16	Urbano	115,64	0,65	0,44	676,17	3,391	9010,72
SNR	Suburbano		1,25	1,64		3,391	9010,72
7,313	Rural		4,38	20,06		3,391	9010,72
MCS 15	Urbano	116,23	0,67	0,48	719,90	3,285	8585,22
SNR	Suburbano		1,30	1,77		3,285	8585,22
6,727	Rural		4,56	21,73		3,285	8585,22
MCS 14	Urbano	117,21	0,72	0,54	803,89	3,099	7839,89
SNR	Suburbano		1,39	2,03		3,099	7839,89
5,748	Rural		4,87	24,83		3,099	7839,89
MCS 13	Urbano	118,19	0,77	0,62	904,38	2,912	7074,15
SNR	Suburbano		1,49	2,32		2,912	7074,15
4,771	Rural		5,20	28,37		2,912	7074,15
MCS 12	Urbano	119,17	0,82	0,71	1026,24	2,724	6284,81
SNR	Suburbano		1,59	2,65		2,724	6284,81
3,789	Rural		5,57	32,44		2,724	6284,81
MCS 11	Urbano	120,16	0,88	0,81	1176,42	2,535	5466,80
SNR	Suburbano		1,70	3,03		2,535	5466,80
2,794	Rural		5,96	37,15		2,535	5466,80
MCS 10	Urbano	120,16	0,88	0,81	1176,42	2,535	5466,80
SNR	Suburbano		1,70	3,03		2,535	5466,80
2,794	Rural		5,96	37,15		2,535	5466,80
MCS 9	Urbano	120,87	0,93	0,90	1303,60	2,403	4878,00
SNR	Suburbano		1,79	3,34		2,403	4878,00
2,085	Rural		6,25	40,92		2,403	4878,00
MCS 8	Urbano	121,69	0,98	1,00	1476,53	2,252	4182,18
SNR	Suburbano		1,89	3,74		2,252	4182,18
1,263	Rural		6,61	45,77		2,252	4182,18
MCS 7	Urbano	122,52	1,04	1,12	1682,56	2,105	3474,14
SNR	Suburbano		2,00	4,18		2,105	3474,14
0,440	Rural		6,99	51,21		2,105	3474,14
MCS 6	Urbano	123,50	1,11	1,28	1982,19	1,932	2610,34
SNR	Suburbano		2,14	4,78		1,932	2610,34
-0,544	Rural		7,48	58,56		1,932	2610,34
MCS 5	Urbano	124,44	1,18	1,46	2333,87	1,775	1773,79
SNR	Suburbano		2,28	5,43		1,775	1773,79
-1,480	Rural		7,97	66,54		1,775	1773,79
MCS 4	Urbano	125,62	1,28	1,71	2894,00	1,586	696,60
SNR	Suburbano		2,47	6,38		1,586	696,60
-2,658	Rural		8,64	78,13		1,586	696,60
MCS 3	Urbano	126,66	1,37	1,98	3529,27	1,430	-280,13
SNR	Suburbano		2,65	7,35		1,430	-280,13
-3,701	Rural		9,27	90,07		1,430	-280,13
MCS 2	Urbano	128,07	1,51	2,40	4667,74	1,234	-1646,15
SNR	Suburbano		2,92	8,92		1,234	-1646,15
-5,113	Rural		10,21	109,20		1,234	-1646,15
MCS 1	Urbano	129,12	1,62	2,76	5788,00	1,102	-2705,74
SNR	Suburbano		3,13	10,29		1,102	-2705,74
-6,164	Rural		10,97	126,02		1,102	-2705,74
MCS 0	Urbano	130,19	1,75	3,20	7235,00	0,980	-3824,05
SNR	Suburbano		3,37	11,90		0,980	-3824,05
-7,231	Rural		11,80	145,76		0,980	-3824,05

Tabla 4.6 Cálculo de emplazamientos red compartida

En la red compartida para el rango de eficiencias, del MCS 3 al 0, el ancho de banda por sector, Bext, requerido en el extremo de la celda es mayor que 3334KHz, que es el valor máximo que se asigna a cada sector. Por tanto, para todos estos casos la tasa de tráfico medio es negativa por lo que no se tienen en cuenta estas eficiencias para el cálculo de emplazamientos.

Igual que para red dedicada, en los apartados siguientes se muestra un ejemplo de cálculo de emplazamientos para red compartida para cada uno de los tipos de comarca, urbano, suburbano y rural. Los valores de entrada utilizados para los tres casos son:

Tasa de transmisión rutinario *public safety* por agente $R_{d,ups}$	25	kbps/first responder
Tasa de transmisión comercial por usuario $R_{d,uc}$	10	kbps/us.comercial
Ancho de banda B_{TOT}	10000	Hz
Potencia del terminal P	22	dBm
Frecuencia f	800	MHz
Número de sectores M	3	
Factor densidad *public safety FPS*	0,004	
Factor densidad comercial FC	0,1026	

Tabla 4.7 Valores de entrada cálculo de emplazamientos red compartida

4.2.1 Cálculo de emplazamientos para el caso urbano para red compartida

En este apartado, se realiza el cálculo de emplazamientos para la comarca del *Barcelonès*.

	Ri (km)	B_{ext} (KHz)	e_{int} (bps/Hz)	R_{int} (kbps)	Núm sectores según rutinaria total $N_{rut,sect}$	Núm sectores según cobertura $N_{cob,sect}$	$N_{i,sect}$ = Max ($N_{rut,sect}$,$N_{cob,sect}$)	Num emplazamientos N_i
MCS 28	0,33	312,51	4,63	13987,00	180,90	1301,12	1301,12	434
MCS 27	0,34	325,15	4,61	13879,78	182,29	1184,12	1184,12	395
MCS 26	0,36	339,67	4,58	13712,12	184,52	1071,63	1071,63	358
MCS 25	0,38	359,95	4,51	13420,98	188,52	944,12	944,12	315
MCS 24	0,41	383,84	4,42	13040,25	194,03	826,70	826,70	276
MCS 23	0,44	412,25	4,06	11858,46	213,37	719,16	719,16	240
MCS 22	0,47	445,20	4,16	12026,88	210,38	624,58	624,58	209
MCS 21	0,50	480,70	4,02	11472,37	220,55	547,42	547,42	183
MCS 20	0,50	480,73	4,02	11472,24	220,55	547,42	547,42	183
MCS 19	0,54	522,38	3,86	10862,94	232,92	478,68	478,68	160
MCS 18	0,58	574,21	3,69	10169,11	248,81	415,00	415,00	139
MCS 17	0,62	634,65	3,50	9448,38	267,79	360,52	360,52	121
MCS 16	0,65	676,17	3,39	9010,72	280,80	331,38	331,38	111
MCS 15	0,67	719,90	3,29	8585,22	294,71	305,93	305,93	102
MCS 14	0,72	803,89	3,10	7839,89	322,73	267,70	322,73	108
MCS 13	0,77	904,38	2,91	7074,15	357,67	234,31	357,67	120
MCS 12	0,82	1026,24	2,72	6284,81	402,59	204,94	402,59	135
MCS 11	0,88	1176,42	2,53	5466,80	462,83	178,94	462,83	155
MCS 10	0,88	1176,42	2,53	5466,80	462,83	178,94	462,83	155
MCS 9	0,93	1303,60	2,40	4878,00	518,69	162,45	518,69	173
MCS 8	0,98	1476,53	2,25	4182,18	604,99	145,22	604,99	202
MCS 7	1,04	1682,56	2,10	3474,14	728,29	129,81	728,29	243
MCS 6	1,11	1982,19	1,93	2610,34	969,29	113,51	969,29	324
MCS 5	1,18	2333,87	1,77	1773,79	1426,43	99,91	1426,43	476
MCS 4	1,28	2894,00	1,59	696,60	3632,20	85,08	3632,20	1211
MCS 3	1,37	3529,27	1,43	-280,13	-9032,07	73,80	73,80	25
MCS 2	1,51	4667,74	1,23	-1646,15	-1537,03	60,88	60,88	21
MCS 1	1,62	5788,00	1,10	-2705,74	-935,12	52,75	52,75	18
MCS 0	1,75	7235,00	0,98	-3824,05	-661,65	45,61	45,61	16

Tabla 4.8 Número de emplazamientos para el área del *Barcelonès* en red compartida

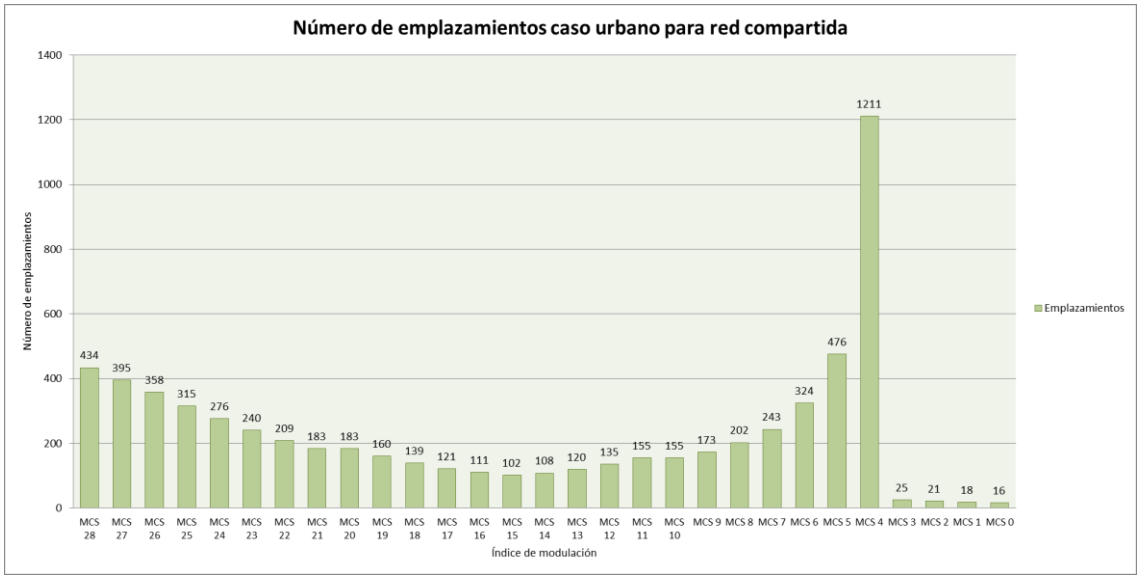


Figura 4.4 Cálculo de emplazamientos para caso *Barcelonès* para red compartida

4.2.2 Cálculo de emplazamientos para el caso suburbano para red compartida

Se analiza la comarca del *Vallès Occidental*. El número mínimo de emplazamientos es de 65.

	Ri (km)	B_{ext} (kHz)	e_{int} (bps/Hz)	R_{int} (kbps)	Núm sectores según rutinaria total $N_{rut,sect}$	Núm sectores según cobertura $N_{cob,sect}$	$N_{i,sect}$ = Max ($N_{rut,sect}$,$N_{cob,sect}$)	Núm emplazamientos N_i
MCS 28	0,63	312,51	4,63	13987,00	71,83	1397,79	1397,79	466
MCS 27	0,66	325,15	4,61	13879,78	72,38	1272,10	1272,10	425
MCS 26	0,70	339,67	4,58	13712,12	73,27	1151,25	1151,25	384
MCS 25	0,74	359,95	4,51	13420,98	74,85	1014,27	1014,27	339
MCS 24	0,79	383,84	4,42	13040,25	77,04	888,12	888,12	297
MCS 23	0,85	412,25	4,06	11858,46	84,72	772,59	772,59	258
MCS 22	0,91	445,20	4,16	12026,88	83,53	670,99	670,99	224
MCS 21	0,97	480,70	4,02	11472,37	87,57	588,09	588,09	197
MCS 20	0,97	480,73	4,02	11472,24	87,57	588,09	588,09	197
MCS 19	1,04	522,38	3,86	10862,94	92,48	514,25	514,25	172
MCS 18	1,12	574,21	3,69	10169,11	98,79	445,83	445,83	149
MCS 17	1,20	634,65	3,50	9448,38	106,33	387,30	387,30	130
MCS 16	1,25	676,17	3,39	9010,72	111,49	356,00	356,00	119
MCS 15	1,30	719,90	3,29	8585,22	117,02	328,66	328,66	110
MCS 14	1,39	803,89	3,10	7839,89	128,14	287,59	287,59	96
MCS 13	1,49	904,38	2,91	7074,15	142,01	251,72	251,72	84
MCS 12	1,59	1026,24	2,72	6284,81	159,85	220,17	220,17	74
MCS 11	1,70	1176,42	2,53	5466,80	183,77	192,24	192,24	65
MCS 10	1,70	1176,42	2,53	5466,80	183,77	192,24	192,24	65
MCS 9	1,79	1303,60	2,40	4878,00	205,95	174,52	205,95	69
MCS 8	1,89	1476,53	2,25	4182,18	240,21	156,01	240,21	81
MCS 7	2,00	1682,56	2,10	3474,14	289,17	139,45	289,17	97
MCS 6	2,14	1982,19	1,93	2610,34	384,86	121,94	384,86	129
MCS 5	2,28	2333,87	1,77	1773,79	566,37	107,33	566,37	189
MCS 4	2,47	2894,00	1,59	696,60	1442,18	91,40	1442,18	481
MCS 3	2,65	3529,27	1,43	-280,13	-3586,21	79,29	79,29	27
MCS 2	2,92	4667,74	1,23	-1646,15	-610,28	65,40	65,40	22
MCS 1	3,13	5788,00	1,10	-2705,74	-371,29	56,67	56,67	19
MCS 0	3,37	7235,00	0,98	-3824,05	-262,71	48,99	48,99	17

Tabla 4.9 Número de emplazamientos para el área del *Vallès Occidental* en red compartida

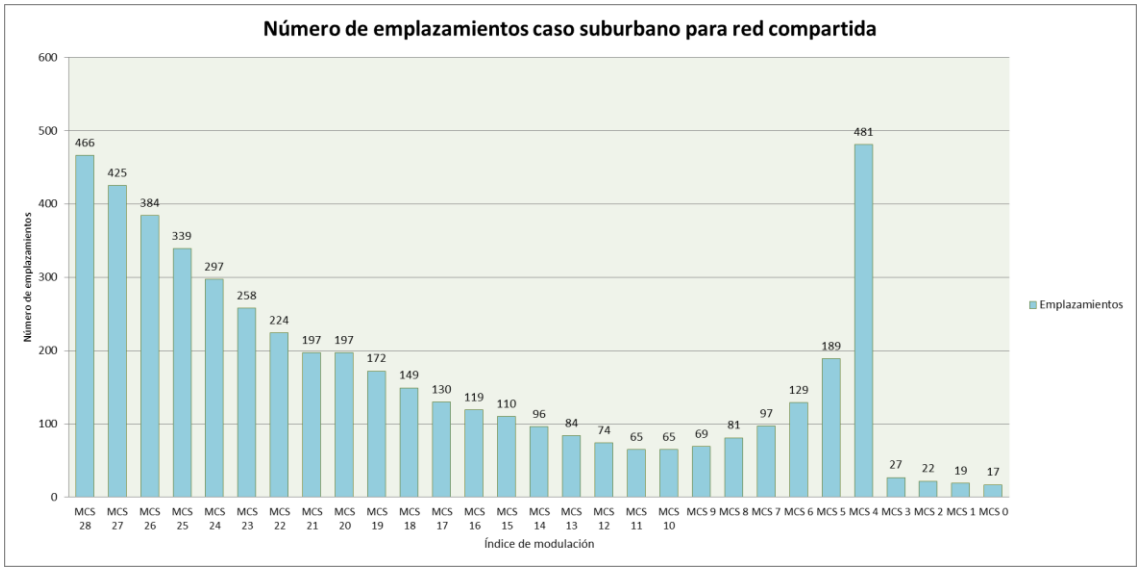


Figura 4.5 Cálculo de emplazamientos para caso *Vallès Occidental* para red compartida

4.2.3 Cálculo de emplazamientos para el caso rural para red compartida

Para el caso rural de red compartida también se analiza la comarca de *Vallès Oriental*. El número de emplazamientos necesarios es de 16.

	Ri (km)	B_{ext} (kHz)	e_{int} (bps/Hz)	R_{int} (kbps)	Núm sectores según rutinaria total $N_{rut,sect}$	Núm sectores según cobertura $N_{cob,sect}$	$N_{i,sect}$ = Max ($N_{rut,sect}$,$N_{cob,sect}$)	Núm emplazamientos N_i
MCS 28	2,21	0,00	4,63	13987,00	32,19	166,57	166,57	56
MCS 27	2,32	185,90	4,61	13879,78	32,44	151,59	151,59	51
MCS 26	2,43	194,20	4,58	13712,12	32,84	137,19	137,19	46
MCS 25	2,59	205,80	4,51	13420,98	33,55	120,87	120,87	41
MCS 24	2,77	219,45	4,42	13040,25	34,53	105,83	105,83	36
MCS 23	2,97	235,70	4,06	11858,46	37,97	92,07	92,07	31
MCS 22	3,19	254,54	4,16	12026,88	37,44	79,96	79,96	27
MCS 21	3,41	274,83	4,02	11472,37	39,25	70,08	70,08	24
MCS 20	3,41	274,85	4,02	11472,24	39,25	70,08	70,08	24
MCS 19	3,64	298,66	3,86	10862,94	41,45	61,28	61,28	21
MCS 18	3,91	328,29	3,69	10169,11	44,28	53,13	53,13	18
MCS 17	4,20	362,85	3,50	9448,38	47,66	46,15	47,66	16
MCS 16	4,38	386,59	3,39	9010,72	49,97	42,42	49,97	17
MCS 15	4,56	411,59	3,29	8585,22	52,45	39,17	52,45	18
MCS 14	4,87	459,61	3,10	7839,89	57,43	34,27	57,43	20
MCS 13	5,20	517,06	2,91	7074,15	63,65	30,00	63,65	22
MCS 12	5,57	362,85	2,72	6284,81	71,64	26,24	71,64	24
MCS 11	5,96	386,59	2,53	5466,80	82,36	22,91	82,36	28
MCS 10	5,96	411,59	2,53	5466,80	82,36	22,91	82,36	28
MCS 9	6,25	459,61	2,40	4878,00	92,31	20,80	92,31	31
MCS 8	6,61	517,06	2,25	4182,18	107,66	18,59	107,66	36
MCS 7	6,99	362,85	2,10	3474,14	129,61	16,62	129,61	44
MCS 6	7,48	386,59	1,93	2610,34	172,50	14,53	172,50	58
MCS 5	7,97	411,59	1,77	1773,79	253,85	12,79	253,85	85
MCS 4	8,64	459,61	1,59	696,60	646,39	10,89	646,39	216
MCS 3	9,27	517,06	1,43	-280,13	-1607,34	9,45	9,45	4
MCS 2	10,21	362,85	1,23	-1646,15	-273,53	7,79	7,79	3
MCS 1	10,97	386,59	1,10	-2705,74	-166,41	6,75	6,75	3
MCS 0	11,80	411,59	0,98	-3824,05	-117,75	5,84	5,84	2

Tabla 4.10 Número de emplazamientos para el área del *Vallès Oriental* en red compartida

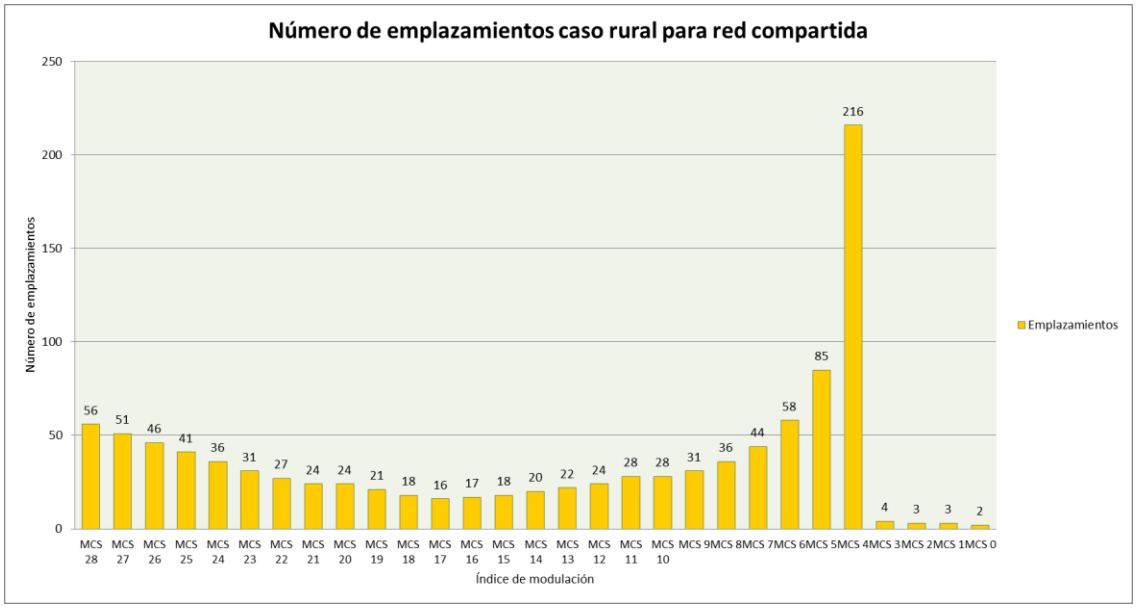


Figura 4.6 Cálculo de emplazamientos para caso *Vallès Occidental* para red compartida

4.3 Cálculo de emplazamientos en red comercial

Al igual que en los dos tipos de red anteriores (dedicada y compartida) se muestra para el caso de red comercial para cada una de las eficiencias: se muestra para cada una de las eficiencias: el *Path Loss*, el radio del anillo, Ri, la superficie del sector i-ésimo, S_{secti}, el ancho de banda necesario en caso de emergencia en el extremo de la celda, B_{ext}, la eficiencia media en el interior de la celda, e_{int}, y la tasa de transmisión media ofrecida en el interior de la celda, R_{int}.

Como ya se ha comentado a lo largo de la memoria, para el caso de red comercial, el Bext requerido es 0 dado que no se tiene en cuenta que la red tenga que satisfacer el tráfico generado en caso de una emergencia, por lo que todo el ancho de banda disponible, 5MHz, del emplazamiento es para satisfacer el tráfico rutinario generado por los usuarios comerciales que hayan dentro del radio de la celda.

	Limitación por cobertura	PATH LOSS (dB)	Ri (km)	Ssecti (Km^2)	B_{ext}(kHz)	e_{int} (bps/Hz)	R_{int} (kbps)
MCS 28	Urbano	115,12	0,51	0,27	0,00	4,630	7717,00
SNR	Suburbano		0,98	1,01		4,630	7717,00
17,343	Rural		3,44	12,41		4,630	7717,00
MCS 27	Urbano	115,82	0,53	0,30	0,00	4,614	7690,02
SNR	Suburbano		1,03	1,11		4,614	7690,02
16,652	Rural		3,61	13,64		4,614	7690,02
MCS 26	Urbano	116,55	0,56	0,33	0,00	4,580	7633,97
SNR	Suburbano		1,08	1,23		4,580	7633,97
15,920	Rural		3,79	15,07		4,580	7633,97
MCS 25	Urbano	117,48	0,60	0,38	0,00	4,514	7522,84
SNR	Suburbano		1,15	1,40		4,514	7522,84
14,991	Rural		4,04	17,11		4,514	7522,84
MCS 24	Urbano	118,45	0,64	0,43	0,00	4,421	7368,64
SNR	Suburbano		1,23	1,60		4,421	7368,64
14,017	Rural		4,32	19,54		4,421	7368,64
MCS 23	Urbano	119,47	0,69	0,49	0,00	4,303	7171,09
SNR	Suburbano		1,32	1,83		4,303	7171,09
12,995	Rural		4,63	22,46		4,303	7171,09
MCS 22	Urbano	120,51	0,74	0,57	0,00	4,164	6940,41
SNR	Suburbano		1,42	2,11		4,164	6940,41
11,961	Rural		4,97	25,86		4,164	6940,41
MCS 21	Urbano	121,47	0,79	0,65	0,00	4,022	6702,79
SNR	Suburbano		1,52	2,41		4,022	6702,79
10,994	Rural		5,31	29,50		4,022	6702,79
MCS 20	Urbano	121,47	0,79	0,65	0,00	4,022	6702,79
SNR	Suburbano		1,52	2,41		4,022	6702,79
10,994	Rural		5,31	29,50		4,022	6702,79
MCS 19	Urbano	122,46	0,84	0,74	0,00	3,865	6440,84
SNR	Suburbano		1,62	2,75		3,865	6440,84
10,010	Rural		5,68	33,74		3,865	6440,84
MCS 18	Urbano	123,50	0,90	0,85	0,00	3,686	6142,71
SNR	Suburbano		1,74	3,18		3,686	6142,71
8,963	Rural		6,10	38,92		3,686	6142,71
MCS 17	Urbano	124,54	0,97	0,98	0,00	3,501	5835,18
SNR	Suburbano		1,87	3,66		3,501	5835,18
7,931	Rural		6,54	44,80		3,501	5835,18
MCS 16	Urbano	125,15	1,01	1,07	0,00	3,391	5651,84
SNR	Suburbano		1,95	3,98		3,391	5651,84
7,313	Rural		6,82	48,74		3,391	5651,84
MCS 15	Urbano	125,74	1,05	1,16	0,00	3,285	5475,06
SNR	Suburbano		2,03	4,31		3,285	5475,06
6,727	Rural		7,10	52,79		3,285	5475,06
MCS 14	Urbano	126,72	1,12	1,32	0,00	3,099	5165,75
SNR	Suburbano		2,17	4,93		3,099	5165,75
5,748	Rural		7,59	60,33		3,099	5165,75
MCS 13	Urbano	127,70	1,20	1,51	0,00	2,912	4854,03
SNR	Suburbano		2,32	5,63		2,912	4854,03
4,771	Rural		8,11	68,93		2,912	4854,03
MCS 12	Urbano	128,68	1,28	1,73	0,00	2,724	4540,21
SNR	Suburbano		2,48	6,43		2,724	4540,21
3,789	Rural		8,67	78,81		2,724	4540,21
MCS 11	Urbano	129,67	1,37	1,98	0,00	2,535	4224,25
SNR	Suburbano		2,65	7,37		2,535	4224,25
2,794	Rural		9,28	90,26		2,535	4224,25
MCS 10	Urbano	129,67	1,37	1,98	0,00	2,535	4224,25
SNR	Suburbano		2,65	7,37		2,535	4224,25
2,794	Rural		9,28	90,26		2,535	4224,25
MCS 9	Urbano	130,38	1,44	2,18	0,00	2,403	4005,46
SNR	Suburbano		2,78	8,12		2,403	4005,46
2,085	Rural		9,74	99,42		2,403	4005,46
MCS 8	Urbano	131,20	1,53	2,44	0,00	2,252	3753,93
SNR	Suburbano		2,94	9,08		2,252	3753,93
1,263	Rural		10,31	111,21		2,252	3753,93
MCS 7	Urbano	132,03	1,61	2,73	0,00	2,105	3507,58
SNR	Suburbano		3,11	10,16		2,105	3507,58
0,440	Rural		10,90	124,42		2,105	3507,58
MCS 6	Urbano	133,01	1,73	3,12	0,00	1,932	3219,92
SNR	Suburbano		3,33	11,62		1,932	3219,92
-0,544	Rural		11,66	142,29		1,932	3219,92
MCS 5	Urbano	133,95	1,84	3,55	0,00	1,775	2957,91
SNR	Suburbano		3,55	13,20		1,775	2957,91
-1,480	Rural		12,42	161,66		1,775	2957,91
MCS 4	Urbano	135,13	1,99	4,16	0,00	1,586	2642,63
SNR	Suburbano		3,85	15,50		1,586	2642,63
-2,658	Rural		13,46	189,83		1,586	2642,63
MCS 3	Urbano	136,17	2,14	4,80	0,00	1,430	2382,88
SNR	Suburbano		4,13	17,87		1,430	2382,88
-3,701	Rural		14,46	218,84		1,430	2382,88
MCS 2	Urbano	137,58	2,36	5,82	0,00	1,234	2056,03
SNR	Suburbano		4,55	21,66		1,234	2056,03
-5,113	Rural		15,92	265,31		1,234	2056,03
MCS 1	Urbano	138,63	2,53	6,72	0,00	1,102	1837,14
SNR	Suburbano		4,89	25,00		1,102	1837,14
-6,164	Rural		17,10	306,19		1,102	1837,14
MCS 0	Urbano	139,70	2,72	7,77	0,00	0,980	1633,51
SNR	Suburbano		5,25	28,92		0,980	1633,51
-7,231	Rural		18,39	354,15		0,980	1633,51

Tabla 4.11 Cálculo de emplazamientos red comercial

Se muestra en los apartados siguientes un ejemplo de cálculo de emplazamientos para red comercial para cada uno de los tipos de comarca, urbano, suburbano y rural. Los valores de entrada utilizados para los tres casos son:

Tasa de transmisión comercial por usuario $R_{d,uc}$	10	kbps/first responder
Ancho de banda B_{TOT}	5000	Hz
Potencia del terminal P	22	dBm
Frecuencia f	800	MHz
Número de sectores M	3	
Factor de densidad comercial FC	0,1026	

Tabla 4.12 Valores de entrada cálculo de emplazamientos red comercial

4.3.1 Cálculo de emplazamientos para el caso urbano para red comercial

En este apartado, se realiza el cálculo de emplazamientos para la comarca del *Barcelonès*.

	Ri (km)	e_{int} (bps/Hz)	R_{int} (kbps)	Núm sectores según rutinaria total $N_{rut,sect}$	Núm sectores según cobertura $N_{cob,sect}$	$N_{i,sect}$ = Max ($N_{rut,sect}$,$N_{cob,sect}$)	Núm emplazamientos N_i
MCS 28	0,51	4,630	7717,00	298,753	535,512	535,512	179
MCS 27	0,53	4,614	7690,02	299,801	487,357	487,357	163
MCS 26	0,56	4,580	7633,97	302,002	441,060	441,060	148
MCS 25	0,60	4,514	7522,84	306,464	388,581	388,581	130
MCS 24	0,64	4,421	7368,64	312,877	340,251	340,251	114
MCS 23	0,69	4,303	7171,09	321,496	295,989	321,496	108
MCS 22	0,74	4,164	6940,41	332,182	257,064	332,182	111
MCS 21	0,79	4,022	6702,79	343,958	225,307	343,958	115
MCS 20	0,79	4,022	6702,79	343,958	225,307	343,958	115
MCS 19	0,84	3,865	6440,84	357,947	197,016	357,947	120
MCS 18	0,90	3,686	6142,71	375,320	170,803	375,320	126
MCS 17	0,97	3,501	5835,18	395,100	148,382	395,100	132
MCS 16	1,01	3,391	5651,84	407,917	136,390	407,917	136
MCS 15	1,05	3,285	5475,06	421,087	125,915	421,087	141
MCS 14	1,12	3,099	5165,75	446,301	110,179	446,301	149
MCS 13	1,20	2,912	4854,03	474,961	96,437	474,961	159
MCS 12	1,28	2,724	4540,21	507,792	84,350	507,792	170
MCS 11	1,37	2,535	4224,25	545,772	73,648	545,772	182
MCS 10	1,37	2,535	4224,25	545,772	73,648	545,772	182
MCS 9	1,44	2,403	4005,46	575,584	66,861	575,584	192
MCS 8	1,53	2,252	3753,93	614,151	59,771	614,151	205
MCS 7	1,61	2,105	3507,58	657,285	53,426	657,285	220
MCS 6	1,73	1,932	3219,92	716,006	46,718	716,006	239
MCS 5	1,84	1,775	2957,91	779,428	41,120	779,428	260
MCS 4	1,99	1,586	2642,63	872,418	35,018	872,418	291
MCS 3	2,14	1,430	2382,88	967,518	30,375	967,518	323
MCS 2	2,36	1,234	2056,03	1121,326	25,055	1121,326	374
MCS 1	2,53	1,102	1837,14	1254,927	21,710	1254,927	419
MCS 0	2,72	0,980	1633,51	1411,362	18,770	1411,362	471

Tabla 4.13 Número de emplazamientos para el área del *Barcelonès* en red comercial

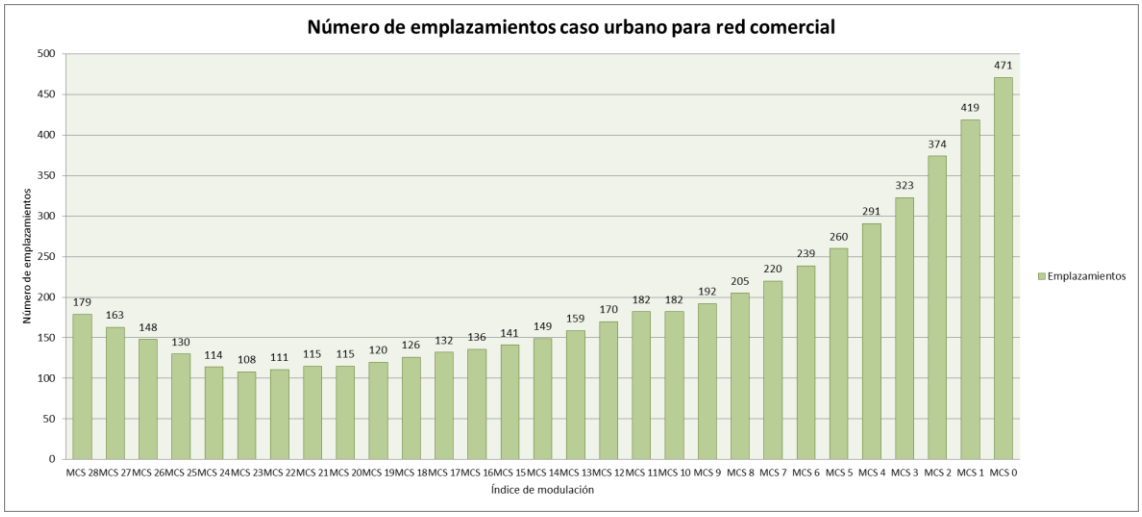


Figura 4.7 Cálculo de emplazamientos para el caso de *Barcelonès* para red comercial

El número mínimo de emplazamientos necesario es de 108 para esta comarca.

4.3.2 Cálculo de emplazamientos para el caso suburbano para red comercial

Para el caso suburbano se analiza la comarca del *Vallès Occidental*. El número mínimo de emplazamientos en este caso es de 54.

	Ri (km)	e_{int} (bps/Hz)	R_{int} (kbps)	Núm sectores según rutinaria total $N_{rut,sect}$	Núm sectores según cobertura $N_{cob,sect}$	$N_{i,sect}$ = Max ($N_{rut,sect}$,$N_{cob,sect}$)	Núm emplazamientos N_i
MCS 28	0,98	4,630	7717,00	118,621	575,300	575,300	192
MCS 27	1,03	4,614	7690,02	119,037	523,567	523,567	175
MCS 26	1,08	4,580	7633,97	119,911	473,830	473,830	158
MCS 25	1,15	4,514	7522,84	121,682	417,452	417,452	140
MCS 24	1,23	4,421	7368,64	124,229	365,532	365,532	122
MCS 23	1,32	4,303	7171,09	127,651	317,981	317,981	106
MCS 22	1,42	4,164	6940,41	131,894	276,164	276,164	93
MCS 21	1,52	4,022	6702,79	136,570	242,047	242,047	81
MCS 20	1,52	4,022	6702,79	136,570	242,047	242,047	81
MCS 19	1,62	3,865	6440,84	142,124	211,654	211,654	71
MCS 18	1,74	3,686	6142,71	149,022	183,494	183,494	62
MCS 17	1,87	3,501	5835,18	156,876	159,406	159,406	54
MCS 16	1,95	3,391	5651,84	161,965	146,523	161,965	54
MCS 15	2,03	3,285	5475,06	167,194	135,271	167,194	56
MCS 14	2,17	3,099	5165,75	177,205	118,366	177,205	60
MCS 13	2,32	2,912	4854,03	188,585	103,602	188,585	63
MCS 12	2,48	2,724	4540,21	201,620	90,617	201,620	68
MCS 11	2,65	2,535	4224,25	216,701	79,120	216,701	73
MCS 10	2,65	2,535	4224,25	216,701	79,120	216,701	73
MCS 9	2,78	2,403	4005,46	228,538	71,829	228,538	77
MCS 8	2,94	2,252	3753,93	243,851	64,212	243,851	82
MCS 7	3,11	2,105	3507,58	260,977	57,396	260,977	87
MCS 6	3,33	1,932	3219,92	284,293	50,189	284,293	95
MCS 5	3,55	1,775	2957,91	309,475	44,175	309,475	104
MCS 4	3,85	1,586	2642,63	346,397	37,620	346,397	116
MCS 3	4,13	1,430	2382,88	384,157	32,632	384,157	129
MCS 2	4,55	1,234	2056,03	445,227	26,917	445,227	149
MCS 1	4,89	1,102	1837,14	498,273	23,323	498,273	167
MCS 0	5,25	0,980	1633,51	560,386	20,165	560,386	187

Tabla 4.14 Número de emplazamientos para el área del *Vallès Occidental* en red comercial

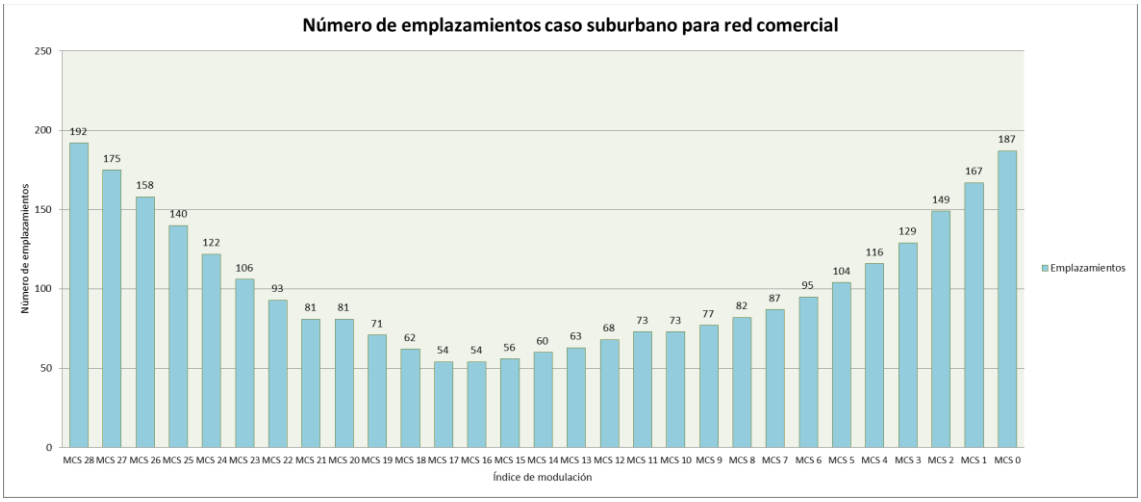


Figura 4.8 Cálculo de emplazamientos para el caso de *Vallès Occidental* para red comercial

4.3.3 Cálculo de emplazamientos para el caso rural para red comercial

Para el caso rural de red comercial se analiza la comarca de *Vallès Oriental*. El número de emplazamientos necesarios es de 19.

	Ri (km)	e_{int} (bps/Hz)	R_{int} (kbps)	Núm sectores según rutinaria total $N_{rut,sect}$	Núm sectores según cobertura $N_{cob,sect}$	$N_{i,sect}$ = Max ($N_{rut,sect}$,$N_{cob,sect}$)	Núm emplazamientos N_i
MCS 28	3,44	4,630	7717,00	53,17	68,56	68,56	23
MCS 27	3,61	4,614	7690,02	53,35	62,39	62,39	21
MCS 26	3,79	4,580	7633,97	53,74	56,46	56,46	19
MCS 25	4,04	4,514	7522,84	54,54	49,75	54,54	19
MCS 24	4,32	4,421	7368,64	55,68	43,56	55,68	19
MCS 23	4,63	4,303	7171,09	57,21	37,89	57,21	20
MCS 22	4,97	4,164	6940,41	59,11	32,91	59,11	20
MCS 21	5,31	4,022	6702,79	61,21	28,84	61,21	21
MCS 20	5,31	4,022	6702,79	61,21	28,84	61,21	21
MCS 19	5,68	3,865	6440,84	63,70	25,22	63,70	22
MCS 18	6,10	3,686	6142,71	66,79	21,87	66,79	23
MCS 17	6,54	3,501	5835,18	70,31	19,00	70,31	24
MCS 16	6,82	3,391	5651,84	72,59	17,46	72,59	25
MCS 15	7,10	3,285	5475,06	74,94	16,12	74,94	25
MCS 14	7,59	3,099	5165,75	79,42	14,11	79,42	27
MCS 13	8,11	2,912	4854,03	84,52	12,35	84,52	29
MCS 12	8,67	2,724	4540,21	90,37	10,80	90,37	31
MCS 11	9,28	2,535	4224,25	97,13	9,43	97,13	33
MCS 10	9,28	2,535	4224,25	97,13	9,43	97,13	33
MCS 9	9,74	2,403	4005,46	102,43	8,56	102,43	35
MCS 8	10,31	2,252	3753,93	109,29	7,65	109,29	37
MCS 7	10,90	2,105	3507,58	116,97	6,84	116,97	39
MCS 6	11,66	1,932	3219,92	127,42	5,98	127,42	43
MCS 5	12,42	1,775	2957,91	138,71	5,26	138,71	47
MCS 4	13,46	1,586	2642,63	155,26	4,48	155,26	52
MCS 3	14,46	1,430	2382,88	172,18	3,89	172,18	58
MCS 2	15,92	1,234	2056,03	199,55	3,21	199,55	67
MCS 1	17,10	1,102	1837,14	223,33	2,78	223,33	75
MCS 0	18,39	0,980	1633,51	251,17	2,40	251,17	84

Tabla 4.15 Número de emplazamientos para el área del *Vallès Oriental* en red comercial

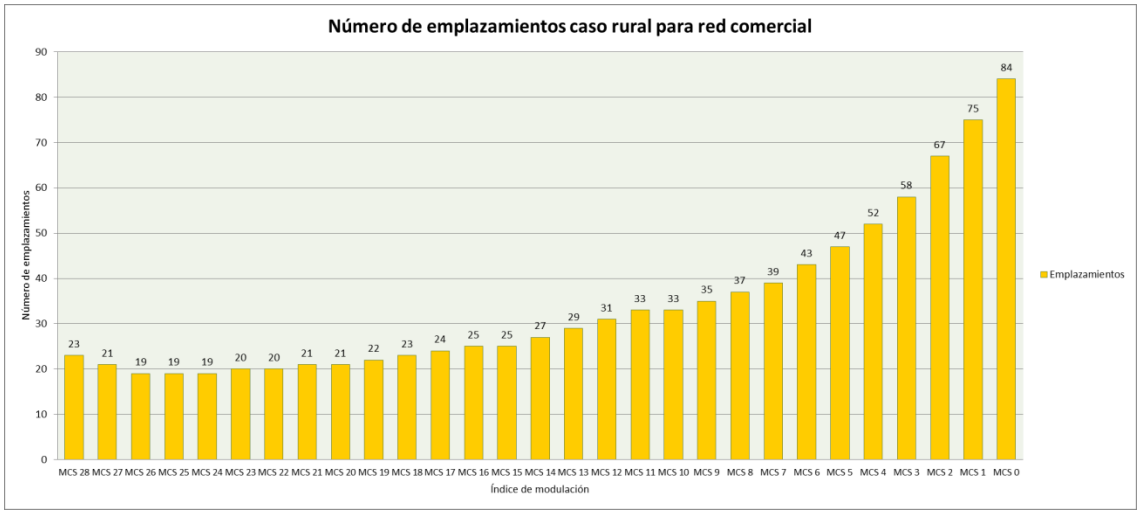


Figura 4.9 Cálculo de emplazamientos para el caso de *Vallès Oriental* para red comercial

4.4 Número emplazamientos totales en Cataluña

Se muestran los emplazamientos totales en Cataluña para los valores de entrada:

	RED DEDICADA				RED COMPARTIDA				RED COMERCIAL			
Càlculo de emplazamientos para las comarcas de Cataluña	$R_{d,ups}$ 25kbps FPS 0,004 P 25dBm f 800MHz				$R_{d,ups}$ 25 kbps FPS 0,004 FC 0,1026 f 800MHz $R_{d,uc}$ 10 kbps P 22 dBm				$R_{d,uc}$ 10kbps FC 0,1026 P 22dBm f 800MHz			
	Número de emplazamientos	MCS	Tráfico promedio soportado por los emplazamientos (kbps)	Radio de los emplazamientos (km)	Número de emplazamientos	MCS	Tráfico promedio soportado por los emplazamientos (kbps)	Radio de los emplazamientos (km)	Número de emplazamientos	MCS	Tráfico promedio soportado por los emplazamientos (kbps)	Radio de los emplazamientos (km)
Alt Camp	2	9	873	9,42	5	8	4182	6,61	3	14	5166	4,99
Alt Empordà	6	9	873	9,42	12	9	4878	6,25	9	15	5475	4,67
Alt Penedès	3	10	1243	8,97	7	12	6285	5,57	6	19	6441	3,74
Alt Urgell	5	8	428	9,96	8	6	2610	7,48	3	4	2643	8,86
Alta Ribagorça	2	8	428	9,96	3	5	1774	7,97	1	3	2383	9,51
Anoia	4	10	1243	8,97	9	10	5467	5,96	7	17	5835	4,30
Bages	6	10	1243	8,97	13	10	5467	5,96	11	17	5835	4,30
Baix Camp	4	12	1745	8,38	10	14	7840	4,87	10	22	6940	3,27
Baix Ebre	4	9	873	9,42	8	8	4182	6,61	6	14	5166	4,99
Baix Empordà	4	10	1243	8,97	8	12	6285	5,57	8	19	6441	3,74
Baix Llobregat	24	10	1243	2,56	56	10	5467	1,70	48	17	5835	1,07
Baix Penedès	2	12	1745	8,38	5	15	8585	4,56	5	23	7171	3,05
Barcelonès	35	13	2220	1,16	102	15	8585	0,67	108	23	7171	0,33
Berguedà	4	8	428	9,96	7	6	2610	7,48	4	8	3754	6,78
Cerdanya	2	8	428	9,96	4	6	2610	7,48	2	8	3754	6,78
Conca de Barberà	3	8	428	9,96	4	6	2610	7,48	2	8	3754	6,78
Garraf	9	9	873	2,69	16	7	3474	2,00	11	13	4854	1,33
Garrigues	3	8	428	9,96	5	5	1774	7,97	3	8	3754	6,78
Garrotxa	3	9	873	9,42	6	8	4182	6,61	4	13	4854	5,34
Gironès	3	10	1243	8,97	9	14	7840	4,87	9	23	7171	3,05
Maresme	18	9	873	2,69	40	8	4182	1,89	29	14	5166	1,25
Montsià	3	9	873	9,42	6	9	4878	6,25	5	15	5475	4,67
Noguera	6	8	428	9,96	9	5	1774	7,97	5	6	3220	7,67
Osona	5	10	1243	8,97	12	10	5467	5,96	10	16	5652	4,49
Pallars Jussà	5	8	428	9,96	7	5	1774	7,97	3	3	2383	9,51
Pallars Sobirà	5	8	428	9,96	6	4	697	8,64	2	1	1837	11,25
Pla d'Urgell	2	10	1243	8,97	3	10	5467	5,96	3	16	5652	4,49
Pla de l'Estany	2	10	1243	8,97	3	10	5467	5,96	2	16	5652	4,49
Priorat	2	8	428	9,96	3	5	1774	7,97	2	5	2958	8,18
Ribera d'Ebre	3	8	428	9,96	5	6	2610	7,48	3	7	3508	7,17
Ripollès	4	8	428	9,96	6	6	2610	7,48	3	7	3508	7,17
Segarra	3	8	428	9,96	5	6	2610	7,48	3	8	3754	6,78
Segrià	6	10	1243	8,97	15	10	5467	5,96	12	18	6143	4,01
Selva	5	10	1243	8,97	11	10	5467	5,96	10	18	6143	4,01
Solsonès	4	8	428	9,96	6	5	1774	7,97	2	4	2643	8,86
Tarragonès	15	9	873	2,69	27	7	3474	2,00	19	12	4540	1,40
Terra Alta	3	8	428	9,96	4	5	1774	7,97	2	5	2958	8,18
Urgell	3	9	873	9,42	5	7	3474	6,99	10	13	4854	5,34
Val d'Aran	3	8	428	9,96	4	5	1774	7,97	2	5	2958	8,18
Vallès Occidental	29	10	1243	2,56	64	10	5467	1,70	54	17	5835	1,07
Vallès Oriental	6	10	1243	8,97	16	17	9448	4,20	19	25	7523	2,66
TOTAL	260				554				460			

Tabla 4.16 Número de emplazamientos totales en Cataluña

5.VAN (Valor Actual Neto)

El VAN (Valor Actual Neto) es el valor presente de los flujos de caja esperados que se originan por una inversión. El VAN es útil, ya que nos permite comparar diferentes proyectos con diferentes flujos de efectivo futuros en diferentes horizontes temporales utilizando un solo número que sigue representando el valor temporal del dinero. Los proyectos que se van a evaluar va a ser el de una red dedicada para seguridad pública, el de una red compartida entre un operador comercial y seguridad pública y el de una red comercial. De esta manera se va a poder decidir si a organismos de seguridad pública y a operador comercial les vale la pena participar en un acuerdo entre ellos o por el contrario es más beneficioso que trabajen por separado. En este estudio se calcula el NPV [Ref. 7] con la siguiente expresión (Ecuación 6.1):

$$NPV = \sum_{i=0}^{n} \frac{(12 \cdot (Sub_{PS,i} \cdot R_{PS} + Sub_{COMM,i} \cdot R_{COMM}) - (c_i \cdot capex + c_{TOT,i} \cdot opex))}{(1+D)^i}$$

(Ec. 6.1)

NPV: *Net Present Value* (Valor Actual Neto)
$Sub_{ps,i}$: Número total de subscripciones de *public safety* el año i-ésimo
$Sub_{COMM,i}$: Número total de subscripciones comerciales el año i-ésimo
R_{PS}: Ingresos mensuales por subscripción de p*ublic pafety*
R_{COMM}: Ingresos mensuales por subscripción comercial
c_i: Número de emplazamientos desplegados el año i-ésimo
$c_{TOT,i}$: Total número de emplazamientos operando el año i-ésimo
capex: Coste inicial de desplegar un emplazamiento
opex: Coste anual de operar con un emplazamiento
D: tasa de descuento
n: Horizonte temporal

5.1 Parámetros necesarios para el cálculo del VAN

En este apartado se van a describir y a definir los valores numéricos utilizados para el cálculo del VAN.

5.1.1 Subscripciones y número de emplazamientos anuales

Para poder calcular el VAN, se ha tenido que hacer una estimación de la cantidad de suscriptores de seguridad pública y comerciales que se van incorporando año por año y además del número de antenas que se van desplegando cada año. Se ha supuesto que se va a empezar cubriendo las comarcas más urbanas con mayor población hasta finalizar por las comarcas más rurales con menor población.

Se ha supuesto constante la penetración de los usuarios de *public safety* dentro de la población cubierta a lo largo de los años. En cambio, la penetración de los usuarios comerciales va incrementando año tras año ya que se supone un operador comercial nuevo en proceso de expansión. A partir de estas penetraciones se obtienen el número de suscriptores anuales de *public safety* y de usuarios comerciales. Se ha supuesto una

penetración al cabo de los 10 años del 0,4% y del 10,26% para usuarios de seguridad pública y de usuarios del operador comercial respectivamente.

Año	1	2	3	4	5
Nueva población cubierta año i	2,25E+06	1,70E+06	1,29E+06	8,87E+05	6,44E+05
Población total cubierta año i	2,25E+06	3,94E+06	5,23E+06	6,12E+06	6,77E+06
Suscriptores totales año i	8,99E+03	1,58E+04	2,09E+04	2,45E+04	2,71E+04
Penetración *public safety* (%)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Comarcas cubiertas el año i, número de emplazamientos	Barcelonès 35 2220	Vallès Occidenta 29 Baix llobregat 24	Maresme 18 Vallès Oriental 6 Tarragonès 15 Segrià 6	Baix Camp 4 Bages 6 Gironès 3 Selva 5 Osona 5	Garraf 9 Alt Empordà 6 Baix Empordà 4 Anoia 4 Alt Penedès 3
Número antenas anuales	35	53	45	23	26
Número antenas totales	35	88	133	156	182
Capacidad ofertada año i (kbps)	77700	65879	43725	30597	26768
Capacidad ofertada total (kbps)	77700	143579	187304	217901	244669

Tabla 5.1 Subscripciones y número de emplazamientos para los primeros cinco años para red dedicada para *public safety*

Año	6	7	8	9	10
Nueva población cubierta año i	3,57E+05	1,88E+05	1,17E+05	8,01E+04	3,21E+04
Población total cubierta año i	7,12E+06	7,31E+06	7,43E+06	7,51E+06	7,54E+06
Suscriptores totales año i	2,85E+04	2,92E+04	2,97E+04	3,00E+04	3,02E+04
Penetración *public safety* (%)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Comarcas cubiertas el año i, número de emplazamientos	Baix Penedès 2 Baix Ebre 4 Montsià 3 Garrotxa 3 Alt Camp 2	Berguedà 4 Noguera 6 Urgell 3 Pla d'Urgell 2 Pla de l'Estany 2	Ripollès 4 Ribera d'Ebre 3 Segarra 3 Alt Urgell 5 Conca de Barberà 3	Garrigues 3 Cerdanya 2 Pallars Jussà 5 Solsonès 4 Terra Alta 3	Val d'Aran 3 Priorat 2 Pallars Sobirà 5 Alta Ribagorça 2
Número antenas anuales	14	17	18	17	12
Número antenas totales	196	213	231	248	260
Capacidad ofertada año i (kbps)	13966	11871	7704	7276	5136
Capacidad ofertada total (kbps)	258635	270506	278210	285486	290622

Tabla 5.2 Subscripciones y número de emplazamientos para los segundos cinco años para red dedicada para *public safety*

Año	1	2	3	4	5
Nueva población cubierta año i	2,25E+06	1,70E+06	1,29E+06	8,87E+05	6,44E+05
Población total cubierta año i	2,25E+06	3,94E+06	5,23E+06	6,12E+06	6,77E+06
Suscriptores totales *public safety* año i	8,99E+03	1,58E+04	2,09E+04	2,45E+04	2,71E+04
Suscriptores totales comerciales año i	2,30E+04	8,09E+04	1,61E+05	2,51E+05	3,47E+05
Penetración *public safety* (%)	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
Penetración comercial (%)	1,026	2,052	3,078	4,104	5,130
Comarcas cubiertas el año i, número de emplazamientos	Barcelonès 102	Vallès Occidental 64 Baix llobregat 56	Maresme 40 Vallès Oriental 16 Tarragonès 27 Segrià 15	Baix Camp 10 Bages 13 Gironès 9 Selva 11 Osona 12	Garraf 16 Alt Empordà 12 Baix Empordà 8 Anoia 9 Alt Penedès 7
Número antenas anuales	102	120	98	55	52
Número antenas totales	102	222	320	375	427
Capacidad ofertada año i (kbps)	875670	656040	494251	345772	257598
Capacidad ofertada total (kbps)	875670	1531710	2025961	2371733	2629331

Tabla 5.3 Subscripciones y número de emplazamientos para los primeros cinco años para red conjunta para *public safety* y operador comercial

Año	6	7	8	9	10
Nueva población cubierta año i	3,57E+05	1,88E+05	1,17E+05	8,01E+04	3,21E+04
Población total cubierta año i	7,12E+06	7,31E+06	7,43E+06	7,51E+06	7,54E+06
Suscriptores totales *public safety* año i	2,85E+04	2,92E+04	2,97E+04	3,00E+04	3,02E+04
Suscriptores totales comerciales año i	4,38E+05	5,25E+05	6,10E+05	6,93E+05	7,74E+05
Penetración *public safety* (%)	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
Penetración comercial (%)	6,156	7,182	8,208	9,234	10,260
Comarcas cubiertas el año i, número de emplazamientos	Baix Penedès 5 Baix Ebre 8 Montsià 6 Garrotxa 6 Alt Camp 5	Berguedà 7 Noguera 9 Urgell 5 Pla d'Urgell 3 Pla de l'Estany 3	Ripollès 6 Ribera d'Ebre 5 Segarra 5 Alt Urgell 8 Conca de Barberà 4	Garrigues 5 Cerdanya 4 Pallars Jussà 7 Solsonès 6 Terra Alta 4	Val d'Aran 4 Priorat 3 Pallars Sobirà 6 Alta Ribagorça 3
Número antenas anuales	30	27	28	26	16
Número antenas totales	457	484	512	538	554
Capacidad ofertada año i (kbps)	151651	84408	73080	49468	21922
Capacidad ofertada total (kbps)	2780982	2865390	2938470	2987938	3009860

Tabla 5.4 Subscripciones y número de emplazamientos para los segundos cinco años para red conjunta para *public safety* y operador comercial

Año	1	2	3	4	5
Nueva población cubierta año i	2,25E+06	1,70E+06	1,29E+06	8,87E+05	6,44E+05
Población total cubierta año i	2,25E+06	3,94E+06	5,23E+06	6,12E+06	6,77E+06
Suscriptores totales año i	2,30E+04	8,09E+04	1,61E+05	2,51E+05	3,47E+05
Penetración comercial (%)	1,026	2,052	3,078	4,104	5,130
Comarcas cubiertas el año i, número de emplazamientos	Barcelonès 108	Vallès Occidental 54 Baix llobregat 48	Maresme 29 Vallès Oriental 19 Tarragonès 19 Segrià 12	Baix Camp 10 Bages 11 Gironès 9 Selva 10 Osona 10	Garraf 11 Alt Empordà 9 Baix Empordà 8 Anoia 7 Alt Penedès 6
Número antenas anuales	108	102	79	50	41
Número antenas totales	108	210	289	339	380
Capacidad ofertada año i (kbps)	774468	595170	420655	316074	233688
Capacidad ofertada total (kbps)	774468	1369638	1790293	2106367	2340055

Tabla 5.5 Subscripciones y número de emplazamientos para los primeros cinco años para red para operador comercial

Año	6	7	8	9	10
Nueva población cubierta año i	3,57E+05	1,88E+05	1,17E+05	8,01E+04	3,21E+04
Población total cubierta año i	7,12E+06	7,31E+06	7,43E+06	7,51E+06	7,54E+06
Suscriptores totales año i	4,38E+05	5,25E+05	6,10E+05	6,93E+05	7,74E+05
Penetración comercial (%)	6,156	7,182	8,208	9,234	10,260
Comarcas cubiertas el año i, número de emplazamientos	Baix Penedès 5 Baix Ebre 6 Montsià 5 Garrotxa 4 Alt Camp 3	Berguedà 4 Noguera 5 Urgell 10 Pla d'Urgell 3 Pla de l'Estany 2	Ripollès 3 Ribera d'Ebre 3 Segarra 3 Alt Urgell 3 Conca de Barberà 2	Garrigues 3 Cerdanya 2 Pallars Jussà 3 Solsonès 2 Terra Alta 2	Val d'Aran 2 Priorat 2 Pallars Sobirà 2 Alta Ribagorça 1
Número antenas anuales	23	24	14	12	7
Número antenas totales	403	427	441	453	460
Capacidad ofertada año i (kbps)	129140	107916	47747	37121	17889
Capacidad ofertada total (kbps)	2469195	2577111	2624858	2661979	2679868

Tabla 5.6 Subscripciones y número de emplazamientos para los segundos cinco años para red para operador comercial

5.1.2 Ingresos mensuales por subscripción

En este apartado se especifican las tarifas que van a tener que pagar los subscriptores de seguridad pública y los subscriptores del operador comercial, y que por tanto van a suponer ingresos a recibir por parte de los constructores de la red:

R_{PS}	20 €
R_{COMM}	25 €

Tabla 5.7 Ingresos mensuales por subscripción

5.1.3 Capex

El capex representa el coste capital para construir una estación base nueva. El coste total se desglosa según la siguiente tabla [Ref. 8].

Producto/Servicio	Total construir nueva estación base en red dedicada y compartida	Total construir nueva estación base en red comercial
Fortalecimiento (baterías adicionales y mejoras en la estructura)	70.000 €	-
Equipo de microondas	45.000 €	45.000 €
Adquisición de la zona	57.400 €	57.400 €
Construcción	90.000 €	90.000 €
Equipamiento e instalación de 3 sectores	98.896 €	98.896 €
TOTAL	361.296 €	291.296 €

Tabla 5.8 Capex para construir un nuevo emplazamiento

A modo de ejemplo, el coste del equipamiento e instalación de 3 sectores se desglosaría en los componentes indicadores en las siguientes tablas:

Producto/Servicio	Coste unidad	Coste por sector
Conectores de fibra	3,50€/conector	14 €
Cable de fibra	0,30€/0,304m	142 €
Alargo de coaxial	58€/alargo	232 €
Antena MIMO	2.250 €	2.250 €
Cabezal de radio remoto (RRH)	4.875 €	4.875 €
Cable de alimentación	0,05€/0,304m	11 €
Mordaza para unir coaxiales	11€/paquete	22 €
SUBTOTAL 1		7.546 €

Tabla 5.9 Coste de un sector

Producto/Servicio	Coste unidad	Coste de los 3 sectores (sin contar la instalación)
Coste de tres sectores por estación base	7546,84€/sector	22.641 €
Terminación de la fibra Ethernet del Nodo	3.000 €	3.000 €
Nodo B	45.000 €	45.000 €
SUBTOTAL 2		70.641 €

Tabla 5.10 Coste de los 3 sectores sin contar la instalación

Producto/Servicio	Coste total del equipamiento e instalación de los 3 sectores
Coste de los 3 sectores (sin contar la instalación)	70.641 €
Instalación (40% del coste anterior)	28.256 €
SUBTOTAL 3	98.897 €

Tabla 5.11 Coste total del equipamiento de los 3 sectores

5.1.4 Opex

El opex representa el coste de mantenimiento anual para que una estación base pueda operar. Este coste se puede desglosar de la siguiente manera [Ref. 8].

Producto/Servicio	Coste anual de operar con una estación base en red dedicada y compartida	Coste anual de operar con una estación base en red comercial
Operaciones, administración y gestión (OA&M) incluyendo cargos de gestión de servicio de transporte	30.000 €	30.000 €
Cargo anual de servicios de gestión de acceso radio a la red	10.000 €	10.000 €
Costes adicionales en las zonas rurales (*backhaul* de microondas, costes de arrendamiento de zonas adicionales o gastos operativos de despliegue)	10.000 €	-
TOTAL	50.000 €	40.000 €

Tabla 5.12 Coste anual de operar con una estación base

5.1.5 Tasa de descuento

La tasa de descuento es una medida financiera que se aplica para determinar el valor actual de un pago futuro. Se ha estimado una tasa de descuento del 8% [Ref. 5].

5.1.6 Horizonte temporal

Se ha considerado un horizonte temporal para el despliegue de la red de 10 años [Ref. 5].

5.2 VAN de cada configuración

En este apartado se va a calcular el valor actual neto para cada una de las configuraciones, de esta manera se podrá comparar las configuraciones entre ellas y valorar hasta qué punto al operador comercial le puede llegar a interesar gestionar una red con el

doble de ancho de banda a cambio de dar servicio a los organismos de seguridad pública cuando estos lo necesiten, o si por el contrario esto le puede llegar a suponer tener que construir muchas más antenas de las que construiría si trabajara de forma separada. También se debería analizar si a la administración pública le saldría más a cuenta construir sus propias antenas para los organismos de seguridad pública en contraposición con ceder ancho de banda al operador comercial que esté dispuesto a participar en el acuerdo.

A continuación se muestra el VAN para las tres configuraciones tomando como *inputs* una penetración de un 0,4% para usuarios de *public safety* y una penetración de un 10,26% para usuarios del operador comercial como se ha comentado anteriormente. Se puede ver en la tabla inferior todos los *inputs* escogidos para realizar el cálculo.

Tasa de transmisión rutinario *public safety* por agente $R_{d,ups}$	25	kbps/first responder
Tasa de transmisión comercial por usuario $R_{d,uc}$	10	kbps/us.comercial
Ancho de banda B_{TOT}	10000	Hz
Potencia del terminal P	22	dBm
Frecuencia f	800	MHz
Número de sectores M	3	
Factor densidad *public safety FPS*	0,004	
Factor densidad comercial FC	0,1026	

Tabla 5.13 Valores de entrada para cálculo de VAN

5.2.1 VAN para red dedicada

Se empieza mostrando el VAN para la red dedicada para los agentes de seguridad pública:

Año	NPV anual dedicada	NPV Acumulado dedicada
1	-11.332.344 €	-11.332.344 €
2	-16.944.558 €	-28.276.902 €
3	-14.196.019 €	-42.472.921 €
4	-7.521.311 €	-49.994.232 €
5	-8.165.721 €	-58.159.953 €
6	-5.053.990 €	-63.213.944 €
7	-5.702.941 €	-68.916.885 €
8	-5.901.376 €	-74.818.260 €
9	-5.670.235 €	-80.488.495 €
10	-4.677.105 €	-85.165.600 €

Tabla 5.14 NPV anual y NPV acumulado red dedicada

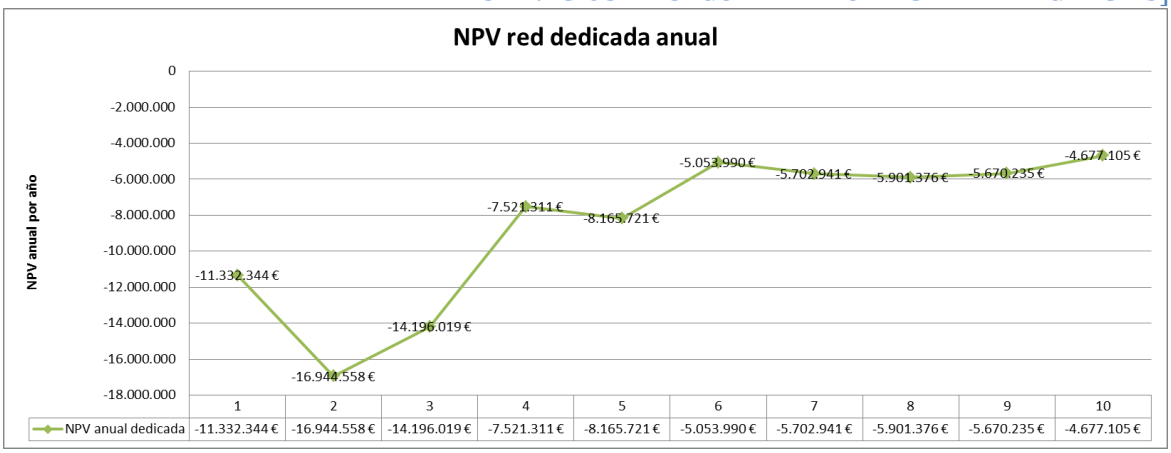


Figura 5.1 NPV para red dedicada

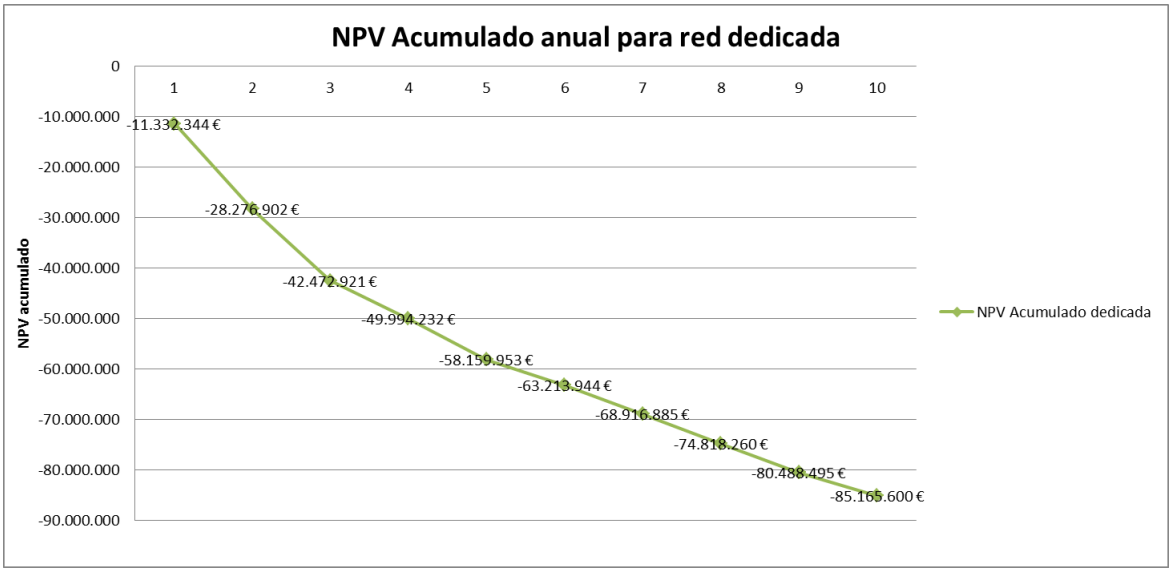


Figura 5.2 NPV Acumulado anual para red dedicada

5.2.2 VAN para red compartida

A continuación, se muestra el VAN para la red compartida entre *public safety* y el operador comercial:

Año	NPV anual compartida	NPV Acumulado compartida
1	-30.446.031 €	-30.446.031 €
2	-22.663.581 €	-53.109.612 €
3	1.541.776 €	-51.567.835 €
4	31.330.702 €	-20.237.133 €
5	47.970.979 €	27.733.846 €
6	65.973.643 €	93.707.489 €
7	76.187.836 €	169.895.325 €
8	83.363.931 €	253.259.256 €
9	89.485.163 €	342.744.419 €
10	95.335.190 €	438.079.609 €

Tabla 5.15 NPV anual y NPV acumulado red compartida

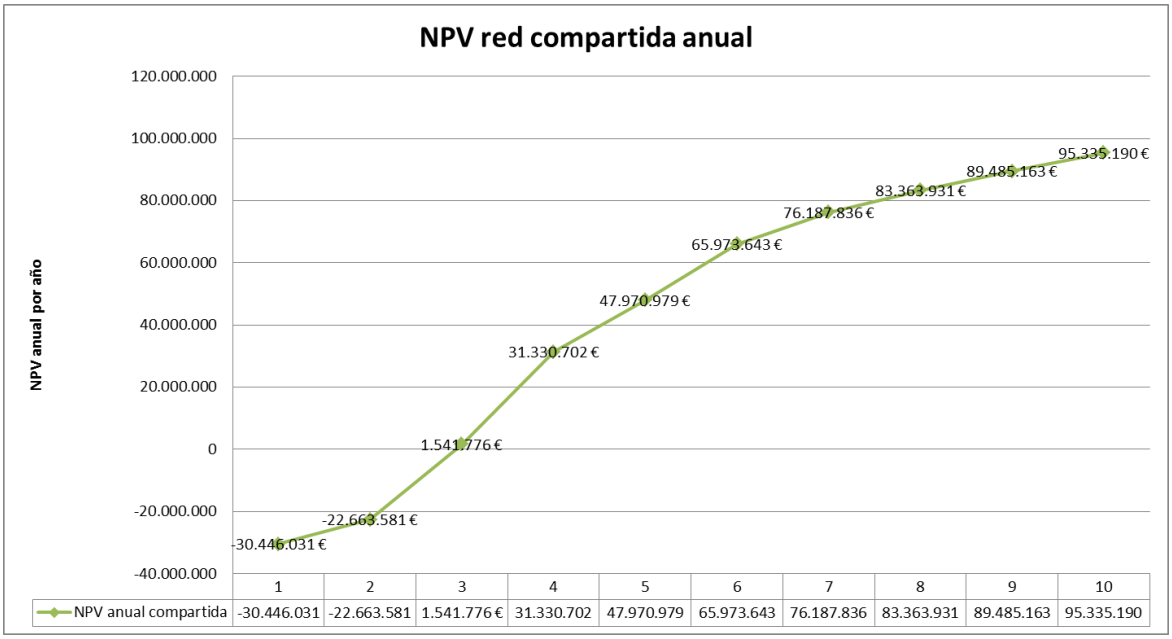


Figura 5.3 NPV para red compartida

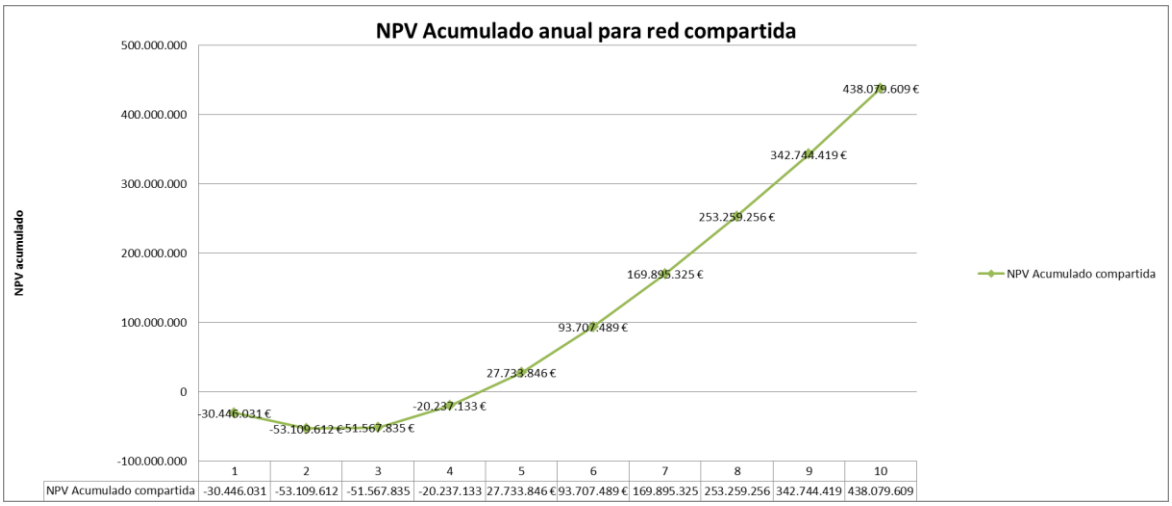


Figura 5.4 NPV Acumulado anual para red compartida

5.2.3 VAN para red comercial

En la tabla inferior, Tabla 5.16, se muestra el VAN anual y acumulado para la red comercial:

Año	NPV anual comercial	NPV Acumulado comercial
1	-26.727.702 €	-26.727.702 €
2	-11.868.769 €	-38.596.471 €
3	10.927.828 €	-27.668.643 €
4	34.729.882 €	7.061.239 €
5	52.397.423 €	59.458.663 €
6	68.517.127 €	127.975.790 €
7	77.862.984 €	205.838.774 €
8	87.077.234 €	292.916.008 €
9	93.225.100 €	386.141.108 €
10	98.025.809 €	484.166.917 €

Tabla 5.16 NPV anual y NPV acumulado red comercial

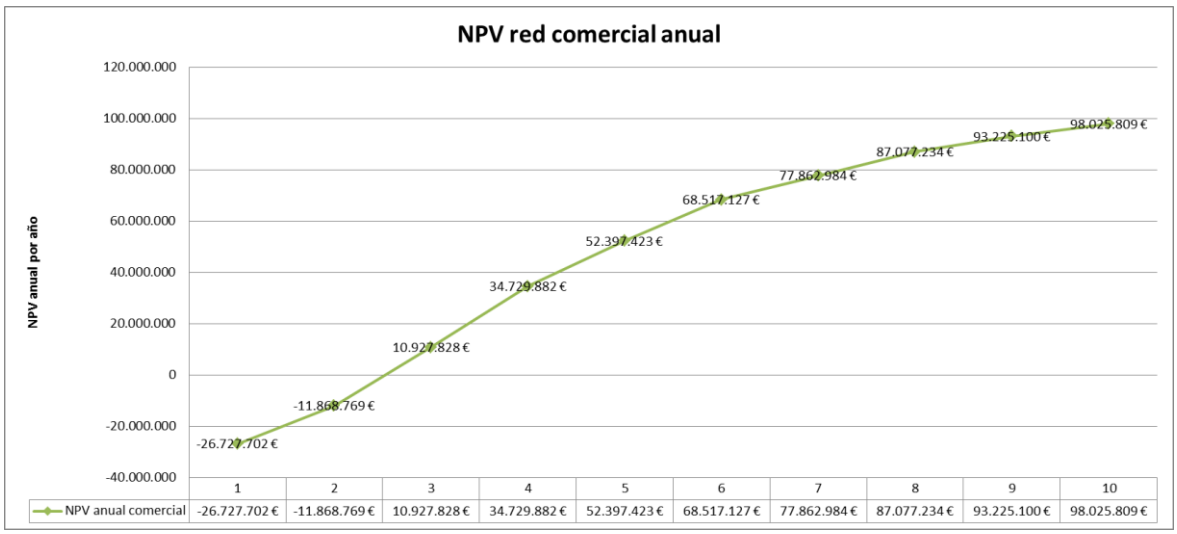


Figura 5.5 NPV anual para red comercial

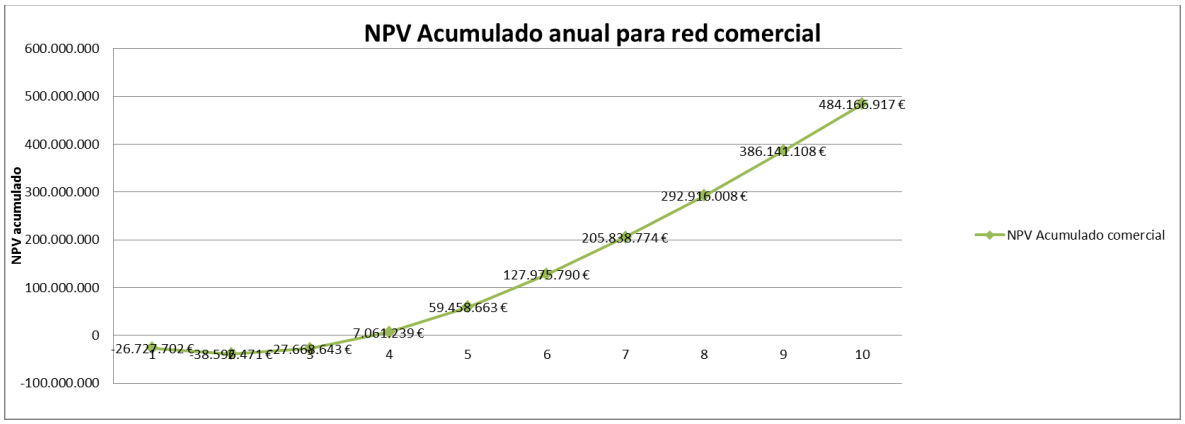
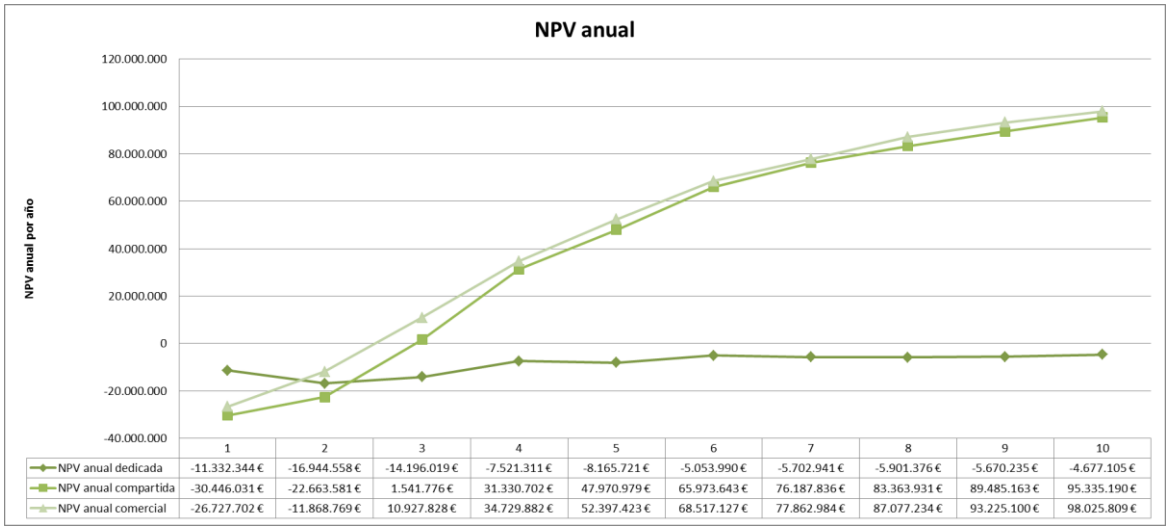


Figura 5.6 NPV Acumulado anual para red comercial

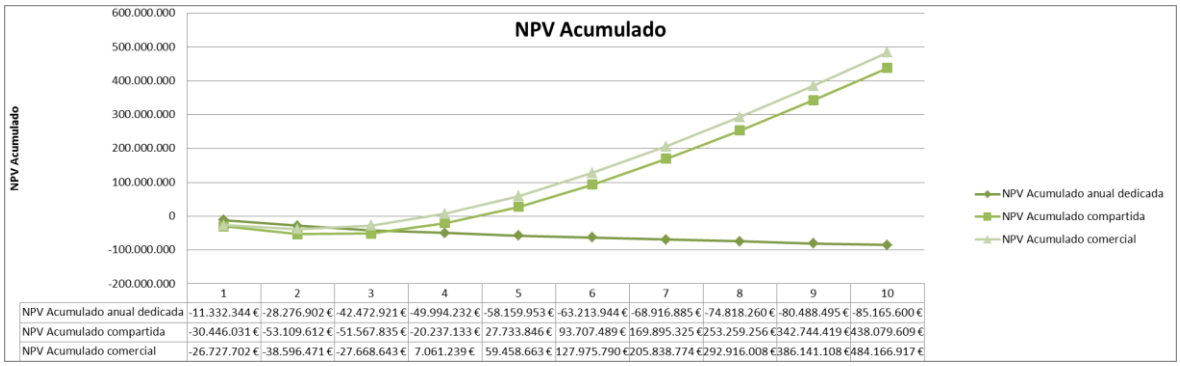
5.2.4 VAN en las tres configuraciones

Una vez calculado el NPV para las tres configuraciones se muestran en una única gráfica de NPV anual, Figura 6.7, y NPV Acumulado, Figura 5.8. Como se puede observar la red compartida y la comercial son mucho más rentables que la red dedicada debido a que hay pocos efectivos de seguridad pública por lo que los ingresos son reducidos en comparación con las otras dos configuraciones.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NPV anual dedicada	-11.332.344 €	-16.944.558 €	-14.196.019 €	-7.521.311 €	-8.165.721 €	-5.053.990 €	-5.702.941 €	-5.901.376 €	-5.670.235 €	-4.677.105 €
NPV anual compartida	-30.446.031 €	-22.663.581 €	1.541.776 €	31.330.702 €	47.970.979 €	65.973.643 €	76.187.836 €	83.363.931 €	89.485.163 €	95.335.190 €
NPV anual comercial	-26.727.702 €	-11.868.769 €	10.927.828 €	34.729.882 €	52.397.423 €	68.517.127 €	77.862.984 €	87.077.234 €	93.225.100 €	98.025.809 €

Figura 5.7 NPV anual para las tres configuraciones



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NPV Acumulado anual dedicada	-11.332.344 €	-28.276.902 €	-42.472.921 €	-49.994.232 €	-58.159.953 €	-63.213.944 €	-68.916.885 €	-74.818.260 €	-80.488.495 €	-85.165.600 €
NPV Acumulado compartida	-30.446.031 €	-53.109.612 €	-51.567.835 €	-20.237.133 €	27.733.846 €	93.707.489 €	169.895.325 €	253.259.256 €	342.744.419 €	438.079.609 €
NPV Acumulado comercial	-26.727.702 €	-38.596.471 €	-27.668.643 €	7.061.239 €	59.458.663 €	127.975.790 €	205.838.774 €	292.916.008 €	386.141.108 €	484.166.917 €

Figura 5.8 NPV Acumulado anual para las tres configuraciones

5.2.5 VAN red comercial 2100MHz

También se debe tener en cuenta que los cálculos anteriores se han realizado para la banda frecuencial de 800MHz en todas las configuraciones; pero podría ser que la red comercial no pudiera estar en esa banda frecuencial y tuviera desplegarse en la banda de 2100MHz, lo que implicaría un número más elevado de emplazamientos lo que reduciría considerablemente el NPV acumulado. Además, como se muestra en la figura 5.10, el operador comercial debería asumir el coste de los primeros dos años, 67.9 millones de euros, más que los 53 millones de euros en el caso de red compartida, figura 5.4.

Año	NPV anual comercial 2100MHz	NPV Acumulado comercial 2100 MHz
1	-42.372.235 €	-42.372.235 €
2	-25.547.123 €	-67.919.358 €
3	84.969 €	-67.834.389 €
4	27.704.361 €	-40.130.028 €
5	45.511.184 €	5.381.156 €
6	62.831.949 €	68.213.105 €
7	72.582.181 €	140.795.286 €
8	82.372.693 €	223.167.979 €
9	89.080.446 €	312.248.425 €
10	94.574.417 €	406.822.842 €

Tabla 5.17 NPV anual y NPV acumulado red comercial 2100MHz

Año	NPV anual compartida 800MHz	NPV Acumulado compartida 800MHz
1	-30.446.031 €	-30.446.031 €
2	-22.663.581 €	-53.109.612 €
3	1.541.776 €	-51.567.835 €
4	31.330.702 €	-20.237.133 €
5	47.970.979 €	27.733.846 €
6	65.973.643 €	93.707.489 €
7	76.187.836 €	169.895.325 €
8	83.363.931 €	253.259.256 €
9	89.485.163 €	342.744.419 €
10	95.335.190 €	438.079.609 €

Tabla 5.18 NPV anual y NPV acumulado red compartida 800MHz

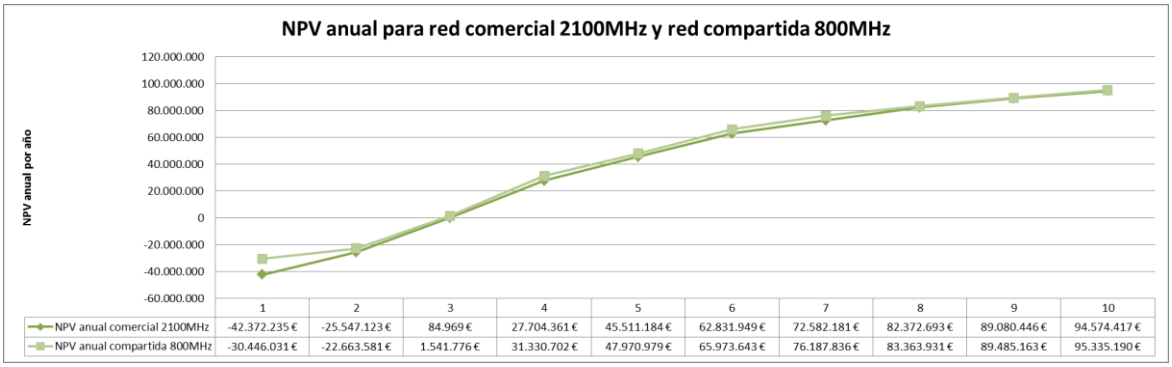
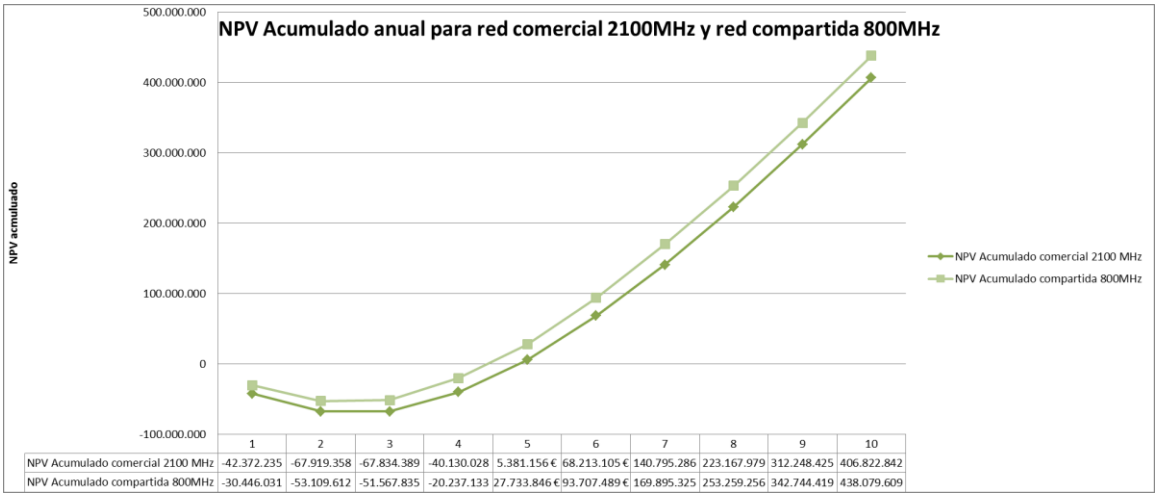


Figura 5.9 NPV anual para red compartida 800MHz y red comercial 2100MHz



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NPV Acumulado comercial 2100 MHz	-42.372.235	-67.919.358	-67.834.389	-40.130.028	5.381.156 €	68.213.105 €	140.795.286	223.167.979	312.248.425	406.822.842
NPV Acumulado compartida 800MHz	-30.446.031	-53.109.612	-51.567.835	-20.237.133	27.733.846 €	93.707.489 €	169.895.325	253.259.256	342.744.419	438.079.609

Figura 5.10 NPV acumulado para red comercial 2100MHz y red compartida 800MHz

Además, al cabo de los 10 años, el NPV acumulado de la red compartida en la banda frecuencial de 800MHz es superior a el NPV acumulado de la red comercial 2100MHz; hay una diferencia de 31,2 millones de euros (Figura 5.10).

Con los datos expuestos anteriormente tanto para la red dedicada como para la red comercial podría darse el caso que fuera beneficioso llegar a un acuerdo para realizar el despliegue de una red compartida.

6.Análisis de sensibilidad

Se presentan y se comparan diferentes escenarios realizando el análisis de sensibilidad para los parámetros críticos detectados que influyen en el número final de emplazamientos calculados. Se muestra para cada caso el rango de valores tomados, así como la diferencia de emplazamientos al utilizar un valor u otro.

6.1 Análisis de impacto de la tasa de transmisión rutinaria *public safety*

El primer parámetro que se analiza en este trabajo es la tasa de transmisión rutinaria *public safety* en el enlace de subida. Se realiza el análisis para la red dedicada y la red compartida ya que la red comercial no dispone de este parámetro.

6.1.1 Análisis tasa transmisión rutinaria *public safety* para red dedicada

En este apartado, se centra el análisis de sensibilidad de la tasa de transmisión rutinaria para la red dedicada. Los valores analizados de la tasa de transmisión son 4, 10, 15, 20 y 25 kbps.

Tasa de transmisión rutinario *public safety* por agente $R_{d,ups}$	4,10,15,20,25	kbps/*first responder*
Ancho de banda B_{TOT}	5000	Hz
Potencia del terminal P	25	dBm
Frecuencia f	800	MHz
Número de sectores M	3	
Factor de densidad *public safety* FPS	0,004	

Tabla 6.1 Parámetros escogidos red dedicada para el análisis de tasa de transmisión rutinaria *public safety*

En la tabla inferior se puede observar el número de emplazamientos calculados para una red dedicada de *public safety* variando tan sólo la tasa de transmisión en el enlace de subida manteniendo el resto de parámetros constantes.

Se puede ver en la tabla inferior, Tabla 6.2, el número de emplazamientos para cada comarca y el número de emplazamientos totales.

Análisis de sensibilidad tasa de transmisión *public safety*	NÚMERO DE EMPLAZAMIENTOS RED DEDICADA N				
	$R_{d,ups}$ 4kbps FPS 0,004 P 25dBm f 800MHz	$R_{d,ups}$ 10kbps FPS 0,004 P 25dBm f 800MHz	$R_{d,ups}$ 15kbps FPS 0,004 P 25dBm f 800MHz	$R_{d,ups}$ 20kbps FPS 0,004 P 25dBm f 800MHz	$R_{d,ups}$ 25kbps FPS 0,004 P 25dBm f 800MHz
Alt Camp	2	2	2	2	2
Alt Empordà	5	5	5	5	6
Alt Penedès	2	3	3	3	3
Alt Urgell	5	5	5	5	5
Alta Ribagorça	2	2	2	2	2
Anoia	3	4	4	4	4
Bages	5	5	5	6	6
Baix Camp	3	3	4	4	4
Baix Ebre	4	4	4	4	4
Baix Empordà	3	3	3	3	4
Baix Llobregat	20	22	22	24	24
Baix Penedès	2	2	2	2	2
Barcelonès	24	27	31	35	35
Berguedà	4	4	4	4	4
Cerdanya	2	2	2	2	2
Conca de Barberà	3	3	3	3	3
Garraf	8	8	8	9	9
Garrigues	3	3	3	3	3
Garrotxa	3	3	3	3	3
Gironès	3	3	3	3	3
Maresme	16	16	18	18	18
Montsià	3	3	3	3	3
Noguera	6	6	6	6	6
Osona	5	5	5	5	5
Pallars Jussà	5	5	5	5	5
Pallars Sobirà	5	5	5	5	5
Pla d'Urgell	1	1	1	1	2
Pla de l'Estany	1	2	2	2	2
Priorat	2	2	2	2	2
Ribera d'Ebre	3	3	3	3	3
Ripollès	4	4	4	4	4
Segarra	3	3	3	3	3
Segrià	5	6	6	6	6
Selva	4	4	4	4	5
Solsonès	4	4	4	4	4
Tarragonès	13	13	13	15	15
Terra Alta	3	3	3	3	3
Urgell	2	2	2	3	3
Val d'Aran	3	3	3	3	3
Vallès Occidental	23	26	26	28	29
Vallès Oriental	4	4	5	5	6
TOTAL	**221**	**233**	**241**	**254**	**260**

Tabla 6.2 Análisis de impacto de tasa de transmisión *public safety* en enlace de subida para red dedicada

A continuación, se puede observar el gráfico con los diferentes valores de tasa de transmisión rutinaria en enlace de subida.

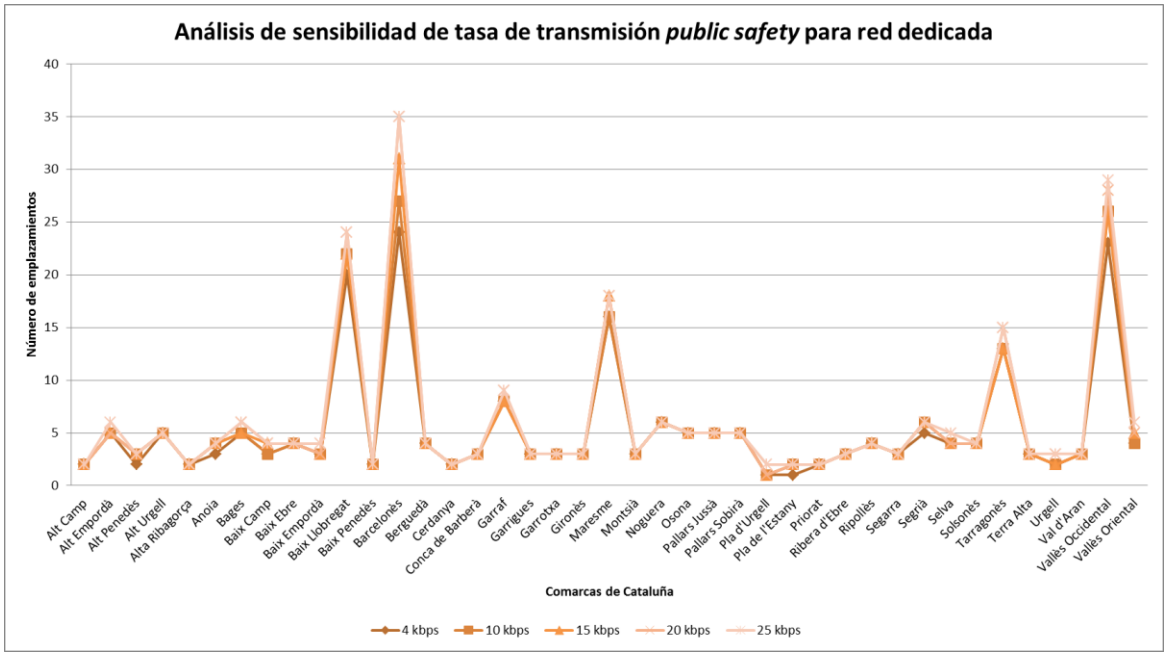


Figura 6.1 Número de emplazamientos variando la tasa de transmisión *public safety* para red dedicada

Si se analizan los emplazamientos totales en Cataluña, se obtiene la Figura resultante 6.2:

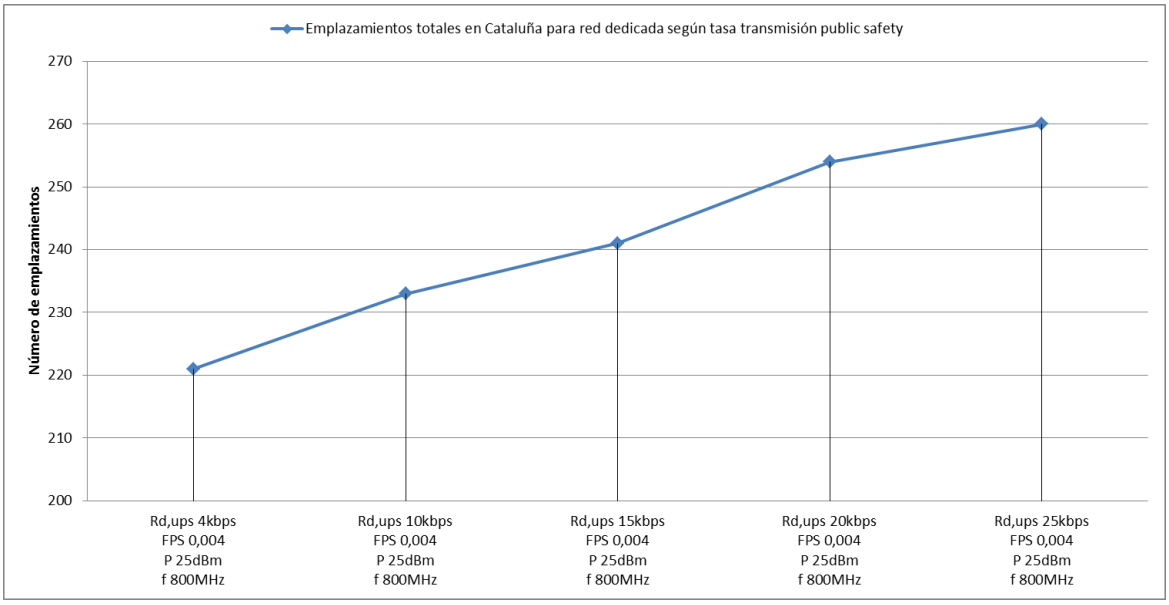


Figura 6.2 Emplazamientos totales según tasa de transmisión *public safety* red dedicada en Cataluña

La variación final de emplazamientos al coger la tasa de transmisión *public safety* de 4 kbps o bien 25 kbps es de 39 emplazamientos.

6.1.2 Análisis tasa de transmisión rutinaria *public safety* para una red compartida

Los valores que se han cogido para realizar el análisis de sensibilidad de la tasa de transmisión rutinaria *public safety* para una red *joint-use* es:

Tasa de transmisión rutinario *public safety* por agente $R_{d,ups}$	4,10,15,20,25	kbps/*first responder*
Tasa de transmisión comercial por usuario $R_{d,uc}$	10	kbps/*first responder*
Ancho de banda B_{TOT}	10000	Hz
Potencia del terminal P	22	dBm
Frecuencia f	800	MHz
Número de sectores M	3	
Factor densidad *public safety FPS*	0,004	
Factor densidad comercial FC	0,1026	

Tabla 6.3 Parámetros escogidos para red compartida para el análisis de tasa de transmisión rutinaria *public safety*

Debajo se puede observar el número de los emplazamientos calculados para cada comarca de Catalunya para una red compartida variando la tasa de transmisión *public safety* de 4 a 25 kbps/*first responder*.

Análisis de sensibilidad tasa de transmisión *public safety*	NÚMERO DE EMPLAZAMIENTOS RED COMPARTIDA N				
	$R_{d,ups}$ 4 kbps FPS 0,004 FC 0,1026 f 800MHz $R_{d,uc}$ 10 kbps P 22 dBm	$R_{d,ups}$ 10 kbps FPS 0,004 FC 0,1026 f 800MHz $R_{d,uc}$ 10 kbps P 22 dBm	$R_{d,ups}$ 15 kbps FPS 0,004 FC 0,1026 f 800MHz $R_{d,uc}$ 10 kbps P 22 dBm	$R_{d,ups}$ 20 kbps FPS 0,004 FC 0,1026 f 800MHz $R_{d,uc}$ 10 kbps P 22 dBm	$R_{d,ups}$ 25 kbps FPS 0,004 FC 0,1026 f 800MHz $R_{d,uc}$ 10 kbps P 22 dBm
Alt Camp	4	4	4	4	5
Alt Empordà	12	12	12	12	12
Alt Penedès	7	7	7	7	7
Alt Urgell	8	8	8	8	8
Alta Ribagorça	3	3	3	3	3
Anoia	8	8	8	8	9
Bages	12	13	13	13	13
Baix Camp	10	10	10	10	10
Baix Ebre	8	8	8	8	8
Baix Empordà	8	8	8	8	8
Baix Llobregat	54	54	54	55	56
Baix Penedès	5	5	5	5	5
Barcelonès	100	102	102	102	102
Berguedà	7	7	7	7	7
Cerdanya	4	4	4	4	4
Conca de Barberà	4	4	4	4	4
Garraf	15	15	16	16	16
Garrigues	4	5	5	5	5
Garrotxa	6	6	6	6	6
Gironès	9	9	9	9	9
Maresme	37	37	38	39	40
Montsià	6	6	6	6	6
Noguera	9	9	9	9	9
Osona	12	12	12	12	12
Pallars Jussà	7	7	7	7	7
Pallars Sobirà	6	6	6	6	6
Pla d'Urgell	3	3	3	3	3
Pla de l'Estany	3	3	3	3	3
Priorat	3	3	3	3	3
Ribera d'Ebre	5	5	5	5	5
Ripollès	6	6	6	6	6
Segarra	5	5	5	5	5
Segrià	14	14	14	15	15
Selva	11	11	11	11	11
Solsonès	6	6	6	6	6
Tarragonès	25	26	26	27	27
Terra Alta	4	4	4	4	4
Urgell	4	4	4	4	5
Val d'Aran	4	4	4	4	4
Vallès Occidental	64	64	64	64	64
Vallès Oriental	16	16	16	16	16
TOTAL	**538**	**543**	**545**	**549**	**554**

Tabla 6.4 Análisis de impacto de tasa de transmisión en enlace de subida para red compartida

La representación gráfica de la Tabla 6.4 se observa en el Figura 6.3.

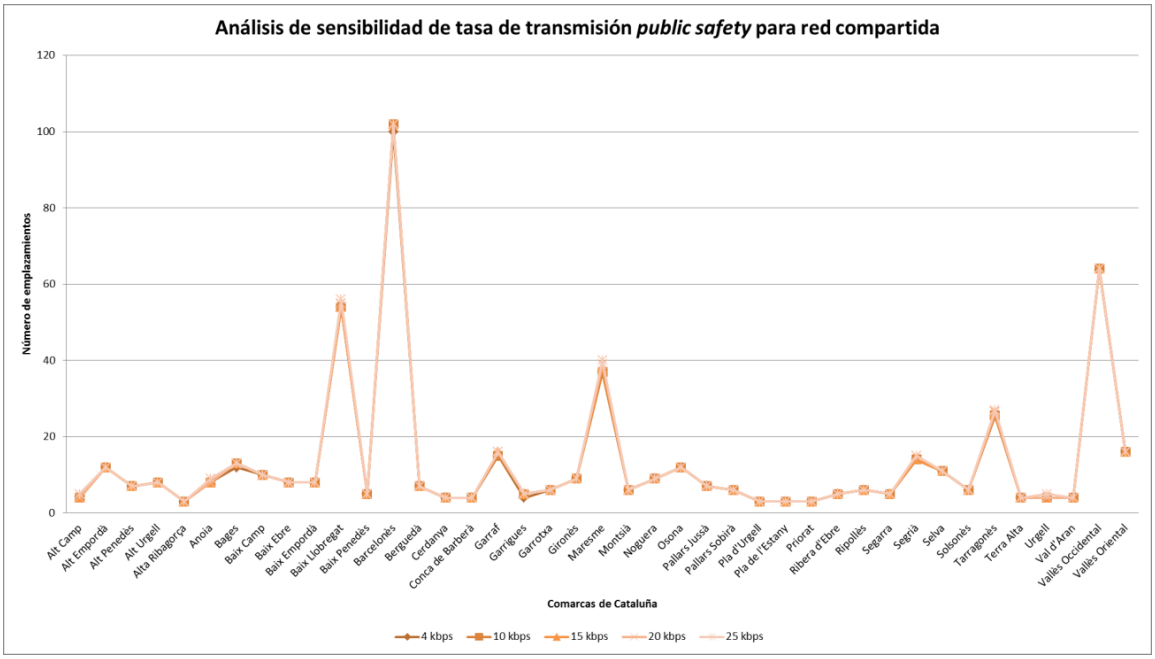


Figura 6.3 Número de emplazamientos variando la tasa de transmisión para red compartida

Del mismo modo que se ha realizado en el punto anterior con la red dedicada, en el siguiente gráfico se observan los emplazamientos totales en red compartida en Cataluña para las distintas tasas de transmisión *public safety*.

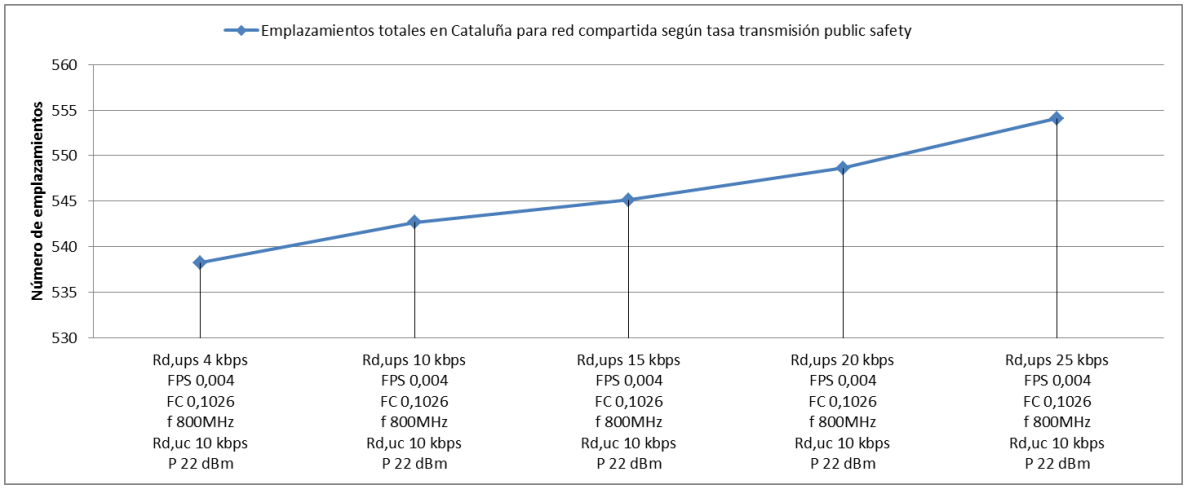


Figura 6.4 Número de emplazamientos totales según tasa de transmisión red compartida en Cataluña

En este caso no hay una gran diferencia a la hora de variar la tasa de transmisión *public safety* de 4 a 25 kbps en el cálculo final de emplazamientos, tan solo hay 16 emplazamientos de diferencia. Esto es debido a que el factor comercial de seguridad pública es del 0,4% por lo que este parámetro, tasa de seguridad pública, no tiene un gran impacto sobre el resultado final de emplazamientos.

6.2 Análisis de impacto de la tasa de transmisión rutinaria comercial

En este caso se analiza la tasa de transmisión rutinaria comercial en el enlace de subida. Se realiza el análisis para la configuración de red compartida y de red comercial. Veremos que esta tasa de transmisión tiene un mayor impacto que la tasa *public safety* debido a que el factor de densidad comercial es mayor que el factor de densidad *public safety.*

6.2.1 Análisis tasa de transmisión rutinaria comercial para una red comercial

Para una red comercial, se ha realizado el estudio de impacto para el parámetro tasa de transmisión con los siguientes valores:

Tasa de transmisión comercial por usuario $R_{d,uc}$	6,10,15,20,25	kbps/*first responder*
Ancho de banda B_{TOT}	5000	Hz
Potencia del terminal	22	dBm
Frecuencia	800	MHz
Número de sectores M	3	
Factor de densidad comercial	0,1026	

Tabla 6.5 Parámetros escogidos para red comercial para el análisis de tasa de transmisión rutinaria

A continuación, en la Tabla 6.6, se detallan los emplazamientos para cada comarca.

Análisis de sensibilidad tasa de transmisión comercial	NÚMERO DE EMPLAZAMIENTOS RED COMERCIAL N				
	$R_{d,uc}$ 6kbps FC 0,1026 P 22dBm f 800MHz	$R_{d,uc}$ 10kbps FC 0,1026 P 22dBm f 800MHz	$R_{d,uc}$ 15kbps FC 0,1026 P 22dBm f 800MHz	$R_{d,uc}$ 20kbps FC 0,1026 P 22dBm f 800MHz	$R_{d,uc}$ 25kbps FC 0,1026 P 22dBm f 800MHz
Alt Camp	3	3	5	6	6
Alt Empordà	7	9	12	15	18
Alt Penedès	4	6	8	11	13
Alt Urgell	3	3	4	5	5
Alta Ribagorça	1	1	1	1	2
Anoia	5	7	10	12	15
Bages	8	11	15	19	23
Baix Camp	7	10	14	18	22
Baix Ebre	5	6	8	10	11
Baix Empordà	5	8	10	13	16
Baix Llobregat	33	48	65	80	96
Baix Penedès	4	5	7	9	12
Barcelonès	72	108	152	200	249
Berguedà	3	4	6	6	7
Cerdanya	2	2	3	3	4
Conca de Barberà	2	2	3	4	4
Garraf	8	11	15	18	21
Garrigues	2	3	3	4	4
Garrotxa	3	4	6	7	8
Gironès	6	9	13	17	21
Maresme	21	29	39	49	56
Montsià	4	5	7	8	10
Noguera	4	5	6	7	8
Osona	7	10	13	16	19
Pallars Jussà	2	3	3	4	4
Pallars Sobirà	2	2	2	3	3
Pla d'Urgell	2	3	4	4	5
Pla de l'Estany	2	2	3	4	4
Priorat	1	2	2	2	3
Ribera d'Ebre	2	3	4	4	5
Ripollès	2	3	4	5	5
Segarra	2	3	3	4	4
Segrià	9	12	16	21	25
Selva	7	10	13	17	20
Solsonès	2	2	3	3	4
Tarragonès	14	19	25	30	35
Terra Alta	2	2	2	3	3
Urgell	7	10	13	17	20
Val d'Aran	1	2	2	2	3
Vallès Occidental	38	54	72	92	107
Vallès Oriental	12	19	27	36	45
TOTAL	**326**	**460**	**623**	**789**	**945**

Tabla 6.6 Análisis de impacto de tasa de transmisión comercial en enlace de subida para red comercial

En la siguiente figura 6.5 se observa el cálculo de número de emplazamientos para una red comercial.

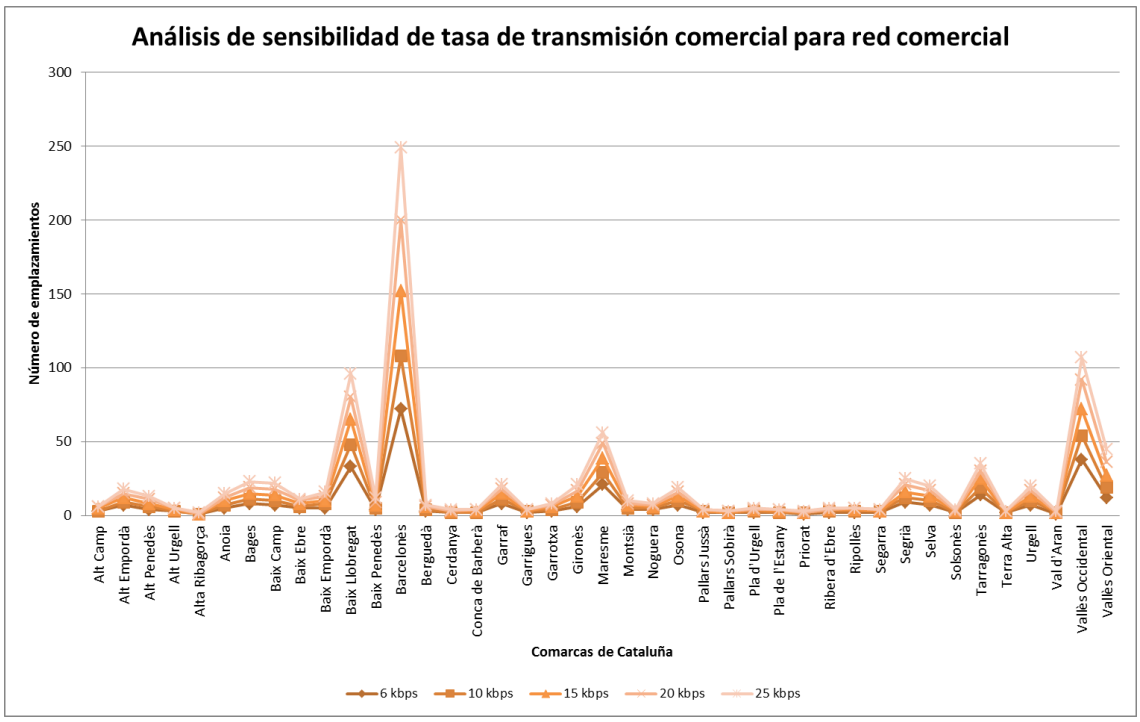


Figura 6.5 Número de emplazamientos variando la tasa de transmisión comercial para red comercial

En la figura inferior se analiza el número de emplazamientos totales de red comercial en Cataluña.

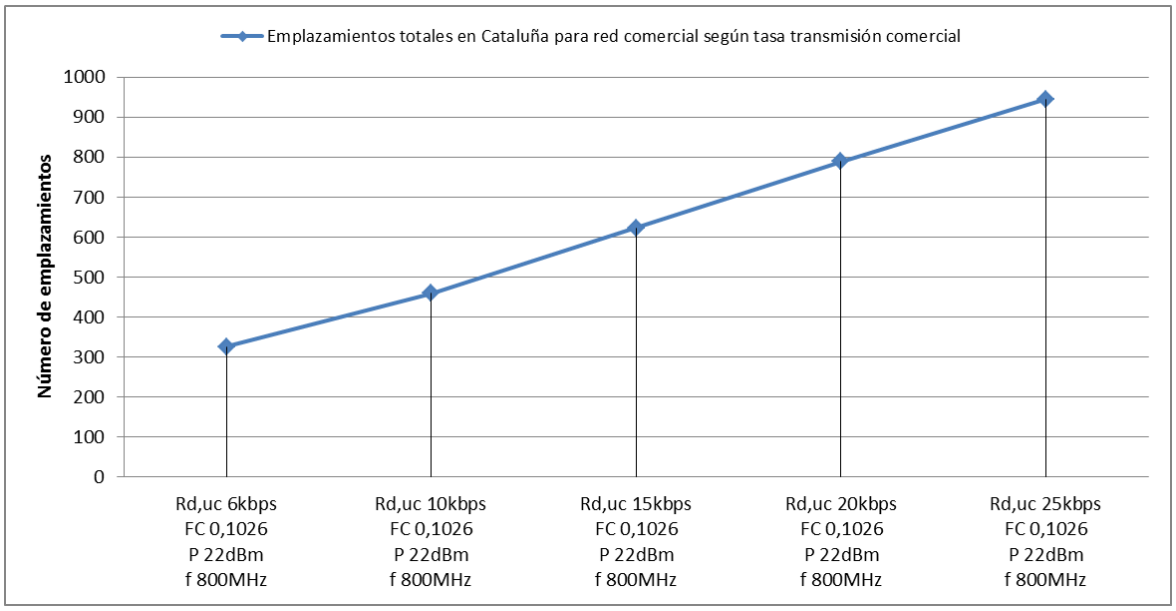


Figura 6.6 Número de emplazamientos totales según tasa de transmisión comercial red comercial en Cataluña

En una red comercial al variar la tasa de transmisión de 6 kbps a 25 kbps hay un gran impacto en el valor final de emplazamientos como se puede ver en la figura superior, Figura

6.6. La diferencia del número final de emplazamientos entre los dos extremos es casi tres veces más grande, 619 emplazamientos.

6.2.2 Análisis tasa de transmisión rutinaria comercial para una red compartida

Los valores de entrada escogidos para la tasa de transmisión rutinaria comercial son los que se muestran en la tabla de abajo:

Tasa de transmisión rutinario *public safety* por agente $R_{d,ups}$	25	kbps/*first responder*
Tasa de transmisión comercial por usuario $R_{d,uc}$	6,10,15,20,25	kbps/*first responder*
Ancho de banda B_{TOT}	10000	Hz
Potencia del terminal P	22	dBm
Frecuencia f	800	MHz
Número de sectores M	3	
Factor densidad *public safety FPS*	0,004	
Factor densidad comercial FC	0,1026	

Tabla 6.7 Parámetros escogidos para red compartida para el análisis de tasa de transmisión rutinaria comercial

Análisis de sensibilidad tasa de transmisión comercial	NÚMERO DE EMPLAZAMIENTOS RED COMPARTIDA N				
	$R_{d,uc}$ 6 kbps $R_{d,ups}$ 25 kbps FPS 0,004 FC 0,1026 f 800MHz P 22 dBm	$R_{d,uc}$ 10 kbps $R_{d,ups}$ 25 kbps FPS 0,004 FC 0,1026 f 800MHz P 22 dBm	$R_{d,uc}$ 15 kbps $R_{d,ups}$ 25 kbps FPS 0,004 FC 0,1026 f 800MHz P 22 dBm	$R_{d,uc}$ 20 kbps $R_{d,ups}$ 25 kbps FPS 0,004 FC 0,1026 f 800MHz P 22 dBm	$R_{d,uc}$ 25 kbps $R_{d,ups}$ 25 kbps FPS 0,004 FC 0,1026 f 800MHz P 22 dBm
Alt Camp	4	5	5	6	7
Alt Empordà	10	12	14	16	18
Alt Penedès	6	7	8	10	11
Alt Urgell	8	8	8	9	9
Alta Ribagorça	2	3	3	3	3
Anoia	7	9	11	12	14
Bages	11	13	16	18	20
Baix Camp	8	10	12	15	17
Baix Ebre	7	8	9	11	12
Baix Empordà	7	8	10	12	13
Baix Llobregat	46	56	70	80	92
Baix Penedès	4	5	6	8	9
Barcelonès	79	102	130	159	183
Berguedà	6	7	8	9	9
Cerdanya	3	4	4	4	4
Conca de Barberà	4	4	5	5	5
Garraf	14	16	19	21	24
Garrigues	4	5	5	6	6
Garrotxa	5	6	7	8	8
Gironès	7	9	11	13	15
Maresme	32	40	44	51	58
Montsià	5	6	8	9	10
Noguera	9	9	11	12	12
Osona	10	12	14	16	18
Pallars Jussà	6	7	7	7	8
Pallars Sobirà	6	6	6	7	7
Pla d'Urgell	3	3	4	4	5
Pla de l'Estany	2	3	3	4	4
Priorat	3	3	3	3	4
Ribera d'Ebre	5	5	6	6	7
Ripollès	5	6	6	7	7
Segarra	4	5	5	5	6
Segrià	12	15	17	20	22
Selva	9	11	14	16	17
Solsonès	5	6	6	6	6
Tarragonès	23	27	32	35	40
Terra Alta	4	4	4	5	5
Urgell	4	5	5	6	6
Val d'Aran	4	4	4	4	4
Vallès Occidental	52	64	78	90	101
Vallès Oriental	13	16	21	26	30
TOTAL	**458**	**554**	**658**	**765**	**856**

Tabla 6.8 Análisis de impacto de tasa de transmisión comercial en enlace de subida para red compartida

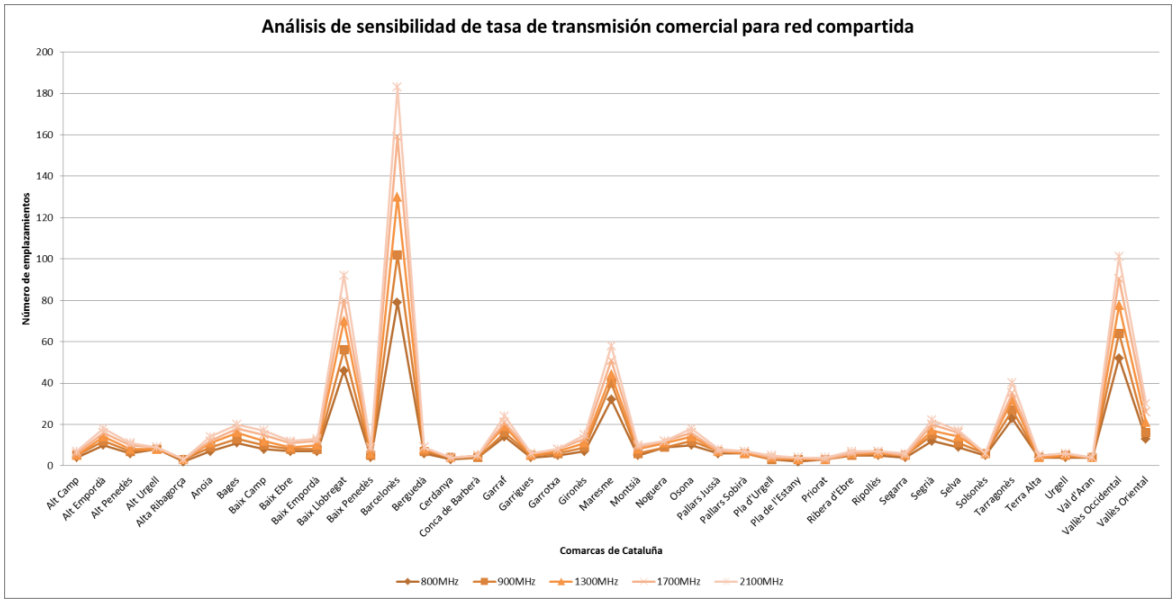


Figura 6.7 Número de emplazamientos variando la tasa de transmisión comercial para red compartida

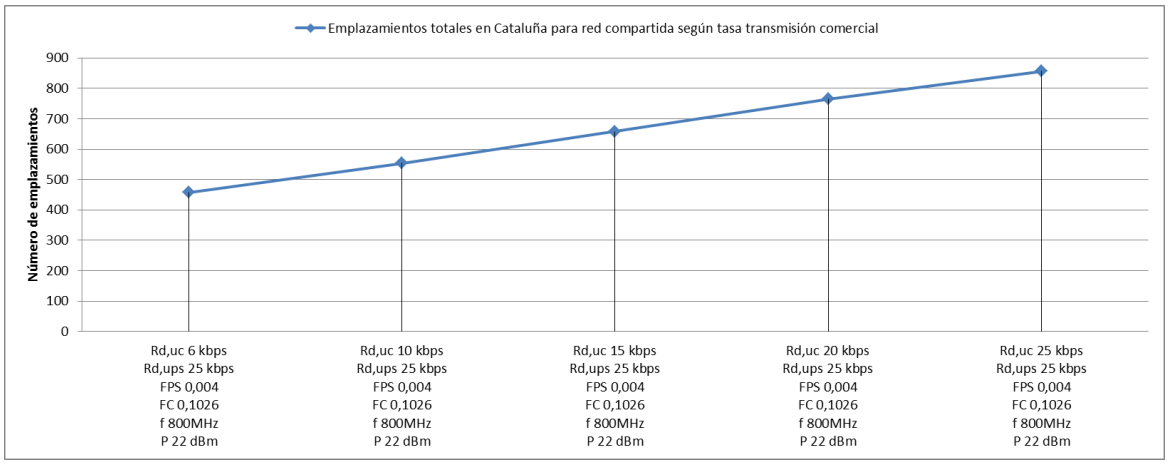


Figura 6.8 Número de emplazamientos totales según tasa de transmisión comercial red compartida en Cataluña

En este caso, al variar la tasa de transmisión comercial en una red compartida el impacto es menor que al variar en una red comercial, la diferencia de variar de 6 a 25 kbps la tasa es casi el doble de emplazamientos, concretamente de 398 emplazamientos.

6.3 Análisis de impacto de la frecuencia utilizada

En el Apartado 4.2 Frecuencia, dentro del Apartado 4 Valores del modelo utilizado, se especifica que las frecuencias que se barajan para proveer de banda ancha a los agentes de seguridad pública sean o bien las de 800, 900 o 2100MHz.

A la hora de realizar el estudio de impacto para este parámetro, y poder mostrar una mejor visión se escogen valores intermedios, por lo que se analizan también las frecuencias de 1300 y 1700MHz.

En este apartado se ve como poder desplegar la red a una banda frecuencial u otra tiene un papel determinante, ya que la diferencia de escoger la frecuencia mínima y la máxima puede tener un impacto de necesitar el doble de emplazamientos.

6.3.1 Análisis de sensibilidad de frecuencia para red dedicada

Los valores escogidos para el análisis de frecuencia para una red dedicada se observan en la tabla inferior.

Frecuencia f	800,900,1300,1700,2100	MHz
Tasa de transmisión rutinario *public safety* por agente $R_{d,ups}$	25	kbps/*first responder*
Ancho de banda B_{TOT}	5000	Hz
Potencia del terminal P	25	dBm
Número de sectores M	3	
Factor de densidad *public safety* FPS	0,004	

Tabla 6.9 Parámetros escogidos para red dedicada en el análisis de frecuencia

Análisis de sensibilidad de frecuencia	NÚMERO DE EMPLAZAMIENTOS RED DEDICADA N				
	f 800MHz $R_{d,ups}$ 25kbps FPS 0,004 P 25dBm	f 900MHz $R_{d,ups}$ 25kbps FPS 0,004 P 25dBm	f 1300MHz $R_{d,ups}$ 25kbps FPS 0,004 P 25dBm	f 1700MHz $R_{d,ups}$ 25kbps FPS 0,004 P 25dBm	f 2100MHz $R_{d,ups}$ 25kbps FPS 0,004 P 25dBm
Alt Camp	2	3	4	4	4
Alt Empordà	6	6	8	10	11
Alt Penedès	3	3	4	5	5
Alt Urgell	5	6	8	10	11
Alta Ribagorça	2	2	3	3	4
Anoia	4	4	5	7	8
Bages	6	6	8	10	11
Baix Camp	4	4	5	6	7
Baix Ebre	4	5	6	7	8
Baix Empordà	4	4	5	6	6
Baix Llobregat	24	28	38	52	63
Baix Penedès	2	2	3	3	3
Barcelonès	35	42	61	85	106
Berguedà	4	5	6	8	9
Cerdanya	2	2	3	4	5
Conca de Barberà	3	3	4	5	5
Garraf	9	10	13	18	23
Garrigues	3	3	5	6	6
Garrotxa	3	3	5	5	6
Gironès	3	4	5	5	6
Maresme	18	21	31	38	48
Montsià	3	3	5	6	6
Noguera	6	7	9	12	14
Osona	5	6	8	9	11
Pallars Jussà	5	5	7	9	10
Pallars Sobirà	5	5	7	9	11
Pla d'Urgell	2	2	2	2	3
Pla de l'Estany	2	2	2	3	3
Priorat	2	2	3	4	4
Ribera d'Ebre	3	3	5	6	7
Ripollès	4	4	5	7	8
Segarra	3	3	4	5	6
Segrià	6	7	8	10	12
Selva	5	5	7	8	9
Solsonès	4	4	6	7	8
Tarragonès	15	17	23	31	39
Terra Alta	3	3	4	5	6
Urgell	3	3	3	4	5
Val d'Aran	3	3	4	4	5
Vallès Occidental	29	33	46	62	70
Vallès Oriental	6	6	7	8	9
TOTAL	**260**	**289**	**395**	**508**	**601**

Tabla 6.10 Análisis de impacto de frecuencia para red dedicada

Se obtiene la figura siguiente de la tabla anterior.

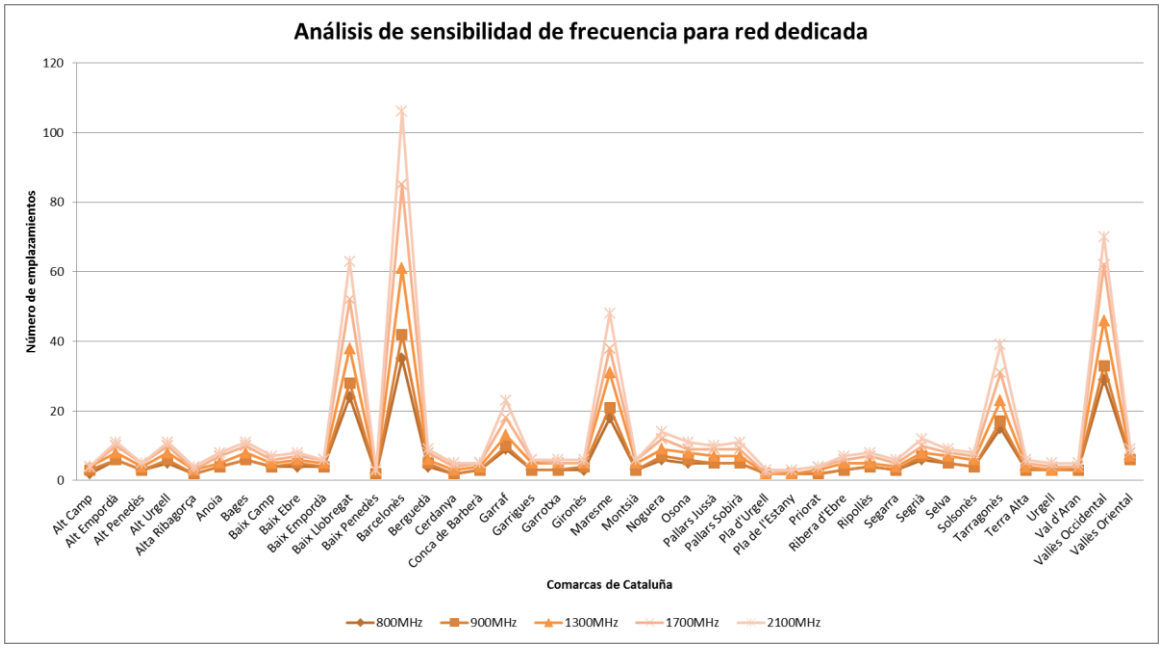


Figura 6.9 Número de emplazamientos según frecuencia para red dedicada

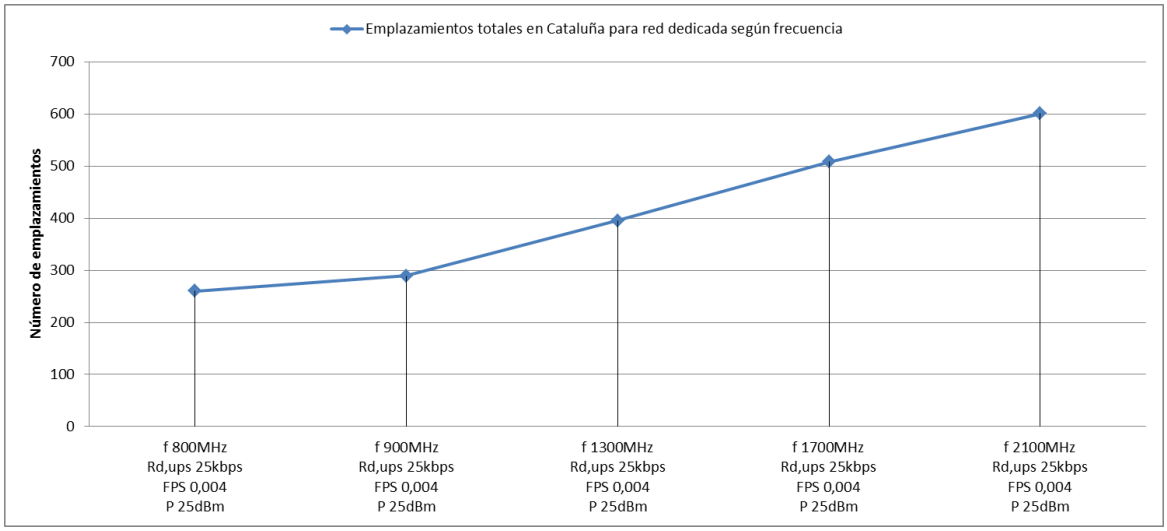


Figura 6.10 Número de emplazamientos totales red dedicada variando frecuencia en Cataluña

La diferencia de emplazamientos totales de 800MHz a 2100MHz en una red dedicada es de 341 emplazamientos. Implica más del doble de emplazamientos finales entre poder desplegar la red sobre una frecuencia u otra.

6.3.2 Análisis frecuencia para red compartida

Valores de entrada para análisis de frecuencia para red compartida:

Frecuencia f	800,900,1300,1700,2100	MHz
Tasa de transmisión rutinario *public safety* por agente $R_{d,ups}$	25	kbps/*first responder*
Tasa de transmisión comercial por usuario $R_{d,uc}$	10	kbps/*first responder*
Ancho de banda B_{TOT}	10000	Hz
Potencia del terminal P	22	dBm
Número de sectores M	3	
Factor densidad *public safety FPS*	0,004	
Factor densidad comercial FC	0,1026	

Tabla 6.11 Parámetros escogidos para red compartida en el análisis de frecuencia

Análisis de sensibilidad de frecuencia	NÚMERO DE EMPLAZAMIENTOS RED COMPARTIDA N				
	f 800MHz $R_{d,ups}$ 25 kbps FPS 0,04 FC 0,1026 $R_{d,uc}$ 10 kbps P 22 dBm	f 900MHz $R_{d,ups}$ 25 kbps FPS 0,04 FC 0,1026 $R_{d,uc}$ 10 kbps P 22 dBm	f 1300MHz $R_{d,ups}$ 25 kbps FPS 0,04 FC 0,1026 $R_{d,uc}$ 10 kbps P 22 dBm	f 1700MHz $R_{d,ups}$ 25 kbps FPS 0,04 FC 0,1026 $R_{d,uc}$ 10 kbps P 22 dBm	f 2100MHz $R_{d,ups}$ 25 kbps FPS 0,04 FC 0,1026 $R_{d,uc}$ 10 kbps P 22 dBm
Alt Camp	5	5	6	7	8
Alt Empordà	12	13	16	18	21
Alt Penedès	7	7	9	10	10
Alt Urgell	8	9	12	13	15
Alta Ribagorça	3	3	3	4	5
Anoia	9	9	11	13	14
Bages	13	14	17	19	21
Baix Camp	10	11	12	14	15
Baix Ebre	8	9	11	12	14
Baix Empordà	8	9	10	12	12
Baix Llobregat	56	62	77	93	116
Baix Penedès	5	5	6	7	7
Barcelonès	102	108	145	174	215
Berguedà	7	8	10	12	14
Cerdanya	4	4	5	6	7
Conca de Barberà	4	5	6	7	8
Garraf	16	17	23	31	35
Garrigues	5	5	7	8	10
Garrotxa	6	6	8	9	10
Gironès	9	9	11	12	13
Maresme	40	41	57	67	85
Montsià	6	7	8	10	11
Noguera	9	11	15	18	21
Osona	12	12	15	17	19
Pallars Jussà	7	8	9	12	14
Pallars Sobirà	6	7	10	12	14
Pla d'Urgell	3	3	4	5	5
Pla de l'Estany	3	3	4	4	4
Priorat	3	3	4	5	6
Ribera d'Ebre	5	6	7	9	10
Ripollès	6	6	8	10	12
Segarra	5	5	6	8	9
Segrià	15	15	18	20	23
Selva	11	12	14	16	17
Solsonès	6	6	8	9	10
Tarragonès	27	29	39	53	59
Terra Alta	4	5	6	7	8
Urgell	5	5	6	7	8
Val d'Aran	4	4	5	6	7
Vallès Occidental	64	69	92	111	128
Vallès Oriental	16	17	20	22	24
TOTAL	**554**	**592**	**760**	**909**	**1065**

Tabla 6.12 Análisis de impacto de frecuencia para red compartida

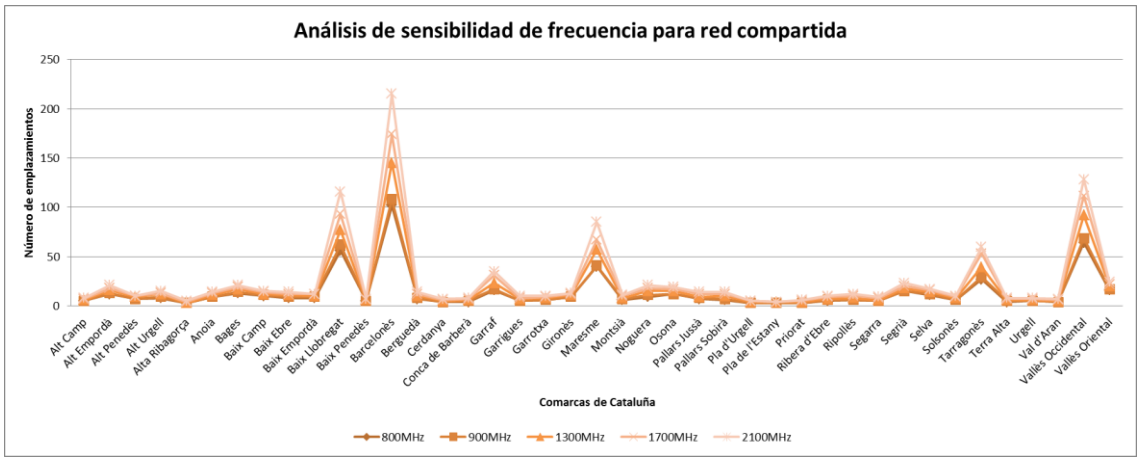


Figura 6.11 Número de emplazamientos según frecuencia para red compartida

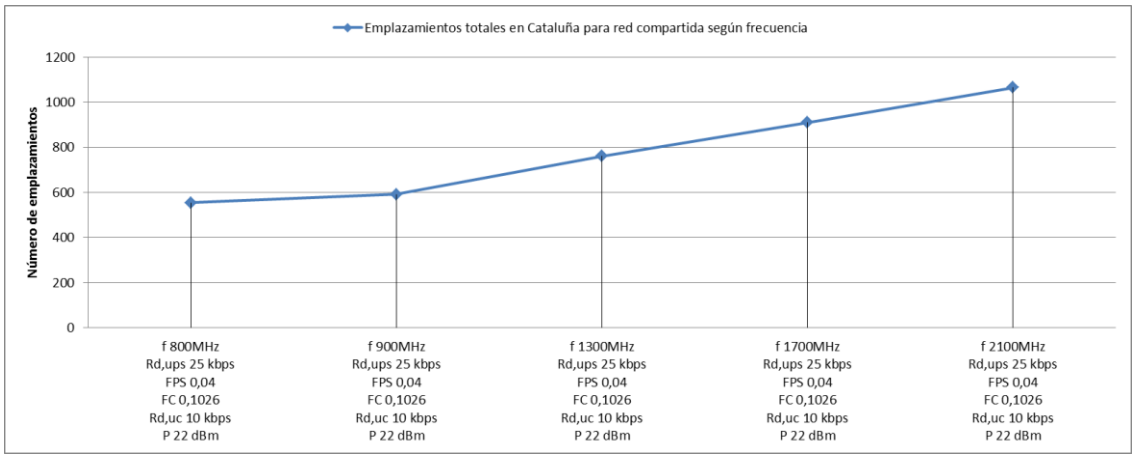


Figura 6.12 Número de emplazamientos totales red compartida variando frecuencia en Cataluña

Al igual que para red dedicada, para la red compartida también hay una diferencia del doble de emplazamientos finales entre la frecuencia mínima y la máxima, como se puede observar de la Tabla 6.12 de 511 emplazamientos.

6.3.3 Análisis frecuencia para red comercial

Se detallan a continuación los valores de entrada utilizados para este análisis de sensibilidad.

Frecuencia f	800,900,1300,1700,2100	MHz
Tasa de transmisión comercial por usuario $R_{d,uc}$	10	kbps/*first responder*
Ancho de banda B_{TOT}	5000	Hz
Potencia del terminal P	22	dBm
Número de sectores M	3	
Factor de densidad comercial FC	0,1026	

Tabla 6.13 Parámetros escogidos para red comercial en el análisis de frecuencia

Análisis de sensibilidad de frecuencia	NÚMERO DE EMPLAZAMIENTOS RED COMERCIAL N				
	f 800MHz $R_{d,uc}$ 10kbps FC 0,1026 P 22dBm	f 900MHz $R_{d,uc}$ 10kbps FC 0,1026 P 22dBm	f 1300MHz $R_{d,uc}$ 10kbps FC 0,1026 P 22dBm	f 1700MHz $R_{d,uc}$ 10kbps FC 0,1026 P 22dBm	f 2100MHz $R_{d,uc}$ 10kbps FC 0,1026 P 22dBm
Alt Camp	3	4	4	4	5
Alt Empordà	9	10	11	12	12
Alt Penedès	6	6	7	7	8
Alt Urgell	3	3	4	4	5
Alta Ribagorça	1	1	1	1	1
Anoia	7	8	8	9	9
Bages	11	11	13	14	15
Baix Camp	10	10	11	12	12
Baix Ebre	6	6	7	8	8
Baix Empordà	8	8	9	9	9
Baix Llobregat	48	49	57	61	67
Baix Penedès	5	5	6	6	6
Barcelonès	108	111	126	141	159
Berguedà	4	4	5	5	6
Cerdanya	2	2	3	3	3
Conca de Barberà	2	3	3	3	3
Garraf	11	12	14	15	17
Garrigues	3	3	3	3	3
Garrotxa	4	4	5	5	6
Gironès	9	10	10	11	11
Maresme	29	31	36	40	43
Montsià	5	5	6	6	7
Noguera	5	5	6	6	7
Osona	10	10	11	12	13
Pallars Jussà	3	3	3	3	4
Pallars Sobirà	2	2	3	3	3
Pla d'Urgell	3	3	3	3	3
Pla de l'Estany	2	2	3	3	3
Priorat	2	2	2	2	2
Ribera d'Ebre	3	3	3	4	4
Ripollès	3	3	4	4	4
Segarra	3	3	3	3	4
Segrià	12	13	14	15	16
Selva	10	10	11	12	13
Solsonès	2	2	3	3	3
Tarragonès	19	20	23	26	28
Terra Alta	2	2	2	3	3
Urgell	10	10	11	12	13
Val d'Aran	2	2	2	2	2
Vallès Occidental	54	56	63	73	77
Vallès Oriental	19	19	20	21	22
TOTAL	460	476	539	589	639

Tabla 6.14 Análisis de impacto de frecuencia para red comercial

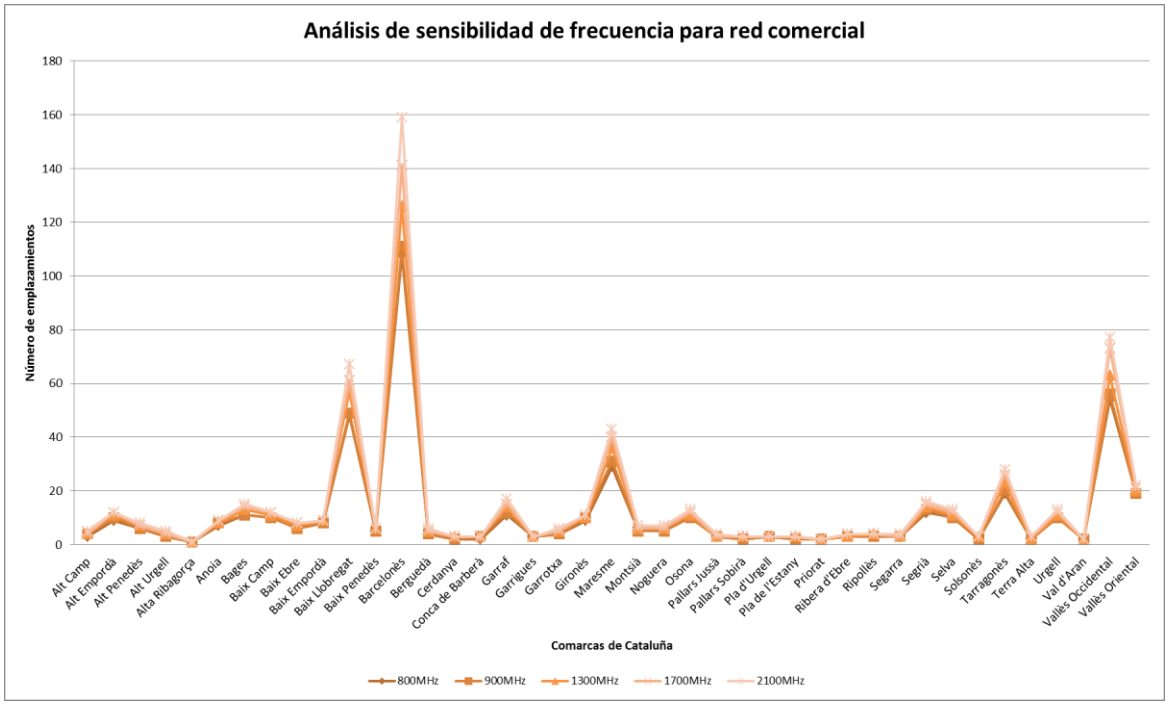


Figura 6.13 Número de emplazamientos según frecuencia para red comercial

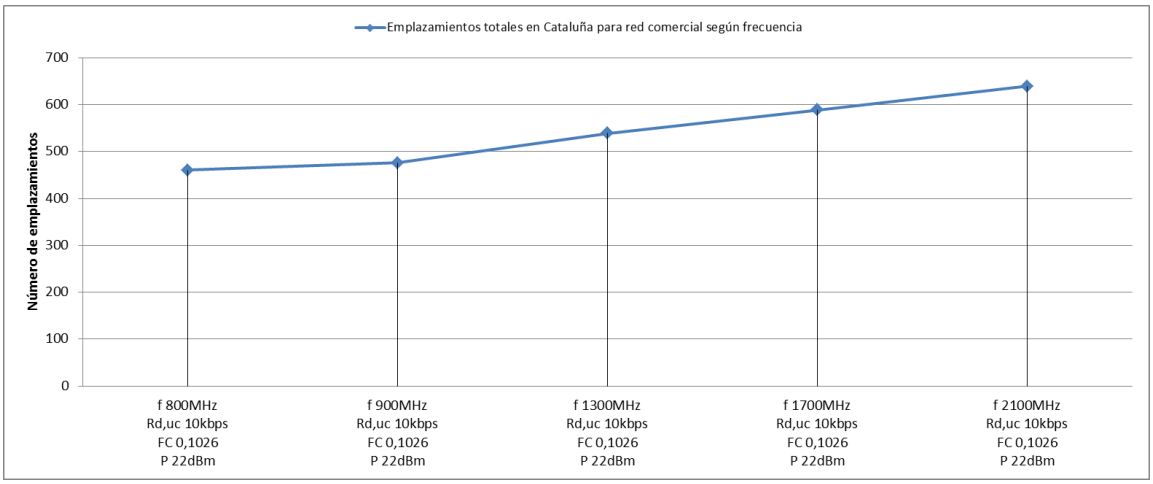


Figura 6.14 Número de emplazamientos totales red comercial variando frecuencia en Cataluña

La diferencia entre ambos extremos en este caso es de 179 emplazamientos.

6.4 Análisis de impacto de potencia del terminal

Se realiza el análisis de sensibilidad de la potencia del terminal para las tres opciones de red. Para la red dedicada la potencia varia de 25 a 28 dB. Para la red comercial y compartida varia de 22 a 25 dB, tal como se detalla en el apartado 4.12.

6.4.1 Análisis de impacto de potencia del terminal para red dedicada

Se detallan a continuación los valores de entrada utilizados para el análisis de sensibilidad de potencia para red dedicada.

Potencia del terminal P	25,28	dBm
Frecuencia f	800	MHz
Tasa de transmisión rutinario *public safety* por agente $R_{d,ups}$	25	kbps/*first responder*
Ancho de banda B_{TOT}	5000	Hz
Número de sectores M	3	
Factor de densidad *public safety* FPS	0,004	

Tabla 6.15 Parámetros escogidos para red dedicada en el análisis de potencia del terminal móvil

Análisis de sensibilidad de potencia del terminal móvil	NÚMERO DE EMPLAZAMIENTOS RED DEDICADA N	
	P 28dBm f 800MHz FPS 0,004 $R_{d,ups}$ 15kbps	P 25dBm f 800MHz FPS 0,004 $R_{d,ups}$ 15kbps
Alt Camp	2	2
Alt Empordà	4	6
Alt Penedès	3	3
Alt Urgell	4	5
Alta Ribagorça	1	2
Anoia	3	4
Bages	4	6
Baix Camp	3	4
Baix Ebre	3	4
Baix Empordà	3	4
Baix Llobregat	18	24
Baix Penedès	2	2
Barcelonès	29	35
Berguedà	3	4
Cerdanya	2	2
Conca de Barberà	2	3
Garraf	6	9
Garrigues	2	3
Garrotxa	2	3
Gironès	3	3
Maresme	13	18
Montsià	2	3
Noguera	4	6
Osona	4	5
Pallars Jussà	3	5
Pallars Sobirà	3	5
Pla d'Urgell	1	2
Pla de l'Estany	1	2
Priorat	2	2
Ribera d'Ebre	2	3
Ripollès	3	4
Segarra	2	3
Segrià	5	6
Selva	4	5
Solsonès	3	4
Tarragonès	10	15
Terra Alta	2	3
Urgell	2	3
Val d'Aran	2	3
Vallès Occidental	22	29
Vallès Oriental	5	6
TOTAL	194	260

Tabla 6.16 Análisis de sensibilidad de potencia para red dedicada

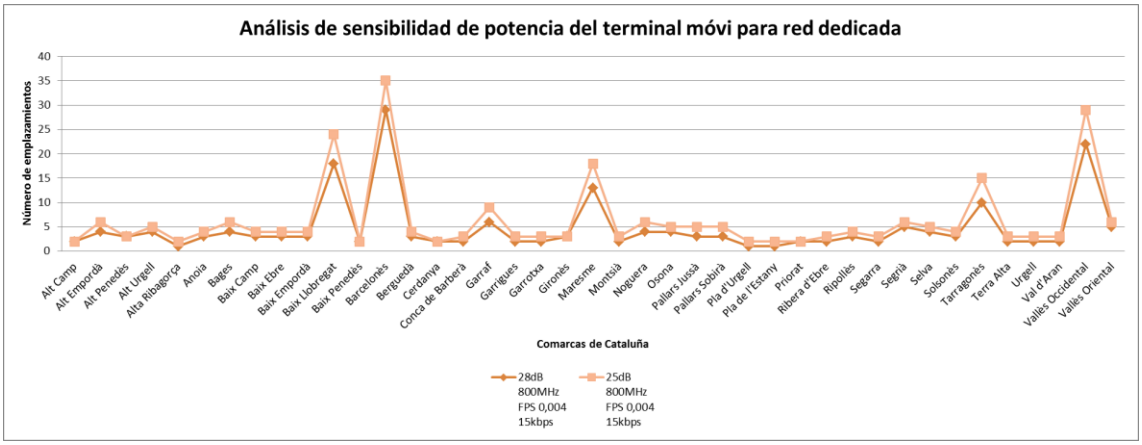


Figura 6.15 Número de emplazamientos según potencia para red dedicada

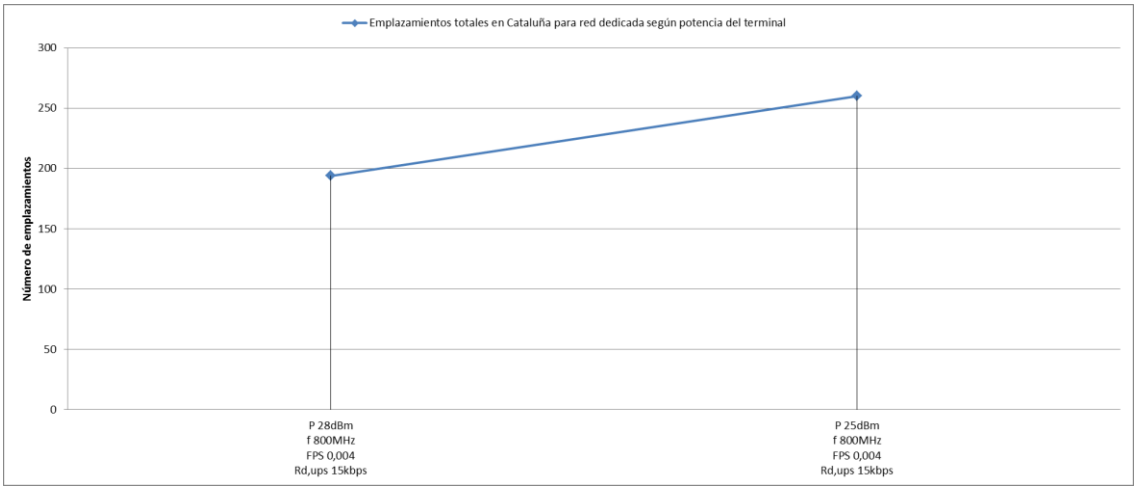


Figura 6.16 Número de emplazamientos totales red dedicada variando potencia en Cataluña

Hay una diferencia de 66 emplazamientos si se utilizan terminales de 28 o de 25 dB

6.4.2 Análisis de impacto de potencia del terminal para red compartida

Se detallan a continuación los valores de entrada utilizados para el análisis de sensibilidad de potencia para el caso de red compartida.

Potencia del terminal P	22,25	dBm
Frecuencia f	800	MHz
Tasa de transmisión rutinario *public safety* por agente $R_{d,ups}$	25	kbps/*first responder*
Tasa de transmisión comercial por usuario $R_{d,uc}$	10	kbps/*first responder*
Ancho de banda B_{TOT}	10000	Hz
Número de sectores M	3	
Factor densidad *public safety FPS*	0,004	
Factor densidad comercial FC	0,1026	

Tabla 6.17 Parámetros escogidos para red compartida en el análisis de potencia del terminal móvil

Análisis de sensibilidad de potencia del terminal móvil	NÚMERO DE EMPLAZAMIENTOS RED COMPARTIDA N	
	P 25 dBm $R_{d,uc}$ 10 kbps $R_{d,ups}$ 25 kbps FPS 0,004 FC 0,1026 f 800MHz	P 22 dBm $R_{d,uc}$ 10 kbps $R_{d,ups}$ 25 kbps FPS 0,004 FC 0,1026 f 800MHz
Alt Camp	4	5
Alt Empordà	10	12
Alt Penedès	6	7
Alt Urgell	5	8
Alta Ribagorça	2	3
Anoia	7	9
Bages	11	13
Baix Camp	8	10
Baix Ebre	6	8
Baix Empordà	7	8
Baix Llobregat	47	56
Baix Penedès	5	5
Barcelonès	90	102
Berguedà	6	7
Cerdanya	3	4
Conca de Barberà	3	4
Garraf	13	16
Garrigues	4	5
Garrotxa	5	6
Gironès	8	9
Maresme	30	40
Montsià	5	6
Noguera	7	9
Osona	10	12
Pallars Jussà	5	7
Pallars Sobirà	5	6
Pla d'Urgell	3	3
Pla de l'Estany	2	3
Priorat	2	3
Ribera d'Ebre	4	5
Ripollès	4	6
Segarra	4	5
Segrià	12	15
Selva	9	11
Solsonès	4	6
Tarragonès	21	27
Terra Alta	3	4
Urgell	4	5
Val d'Aran	3	4
Vallès Occidental	53	64
Vallès Oriental	14	16
TOTAL	454	554

Tabla 6.18 Análisis de sensibilidad de potencia para red compartida

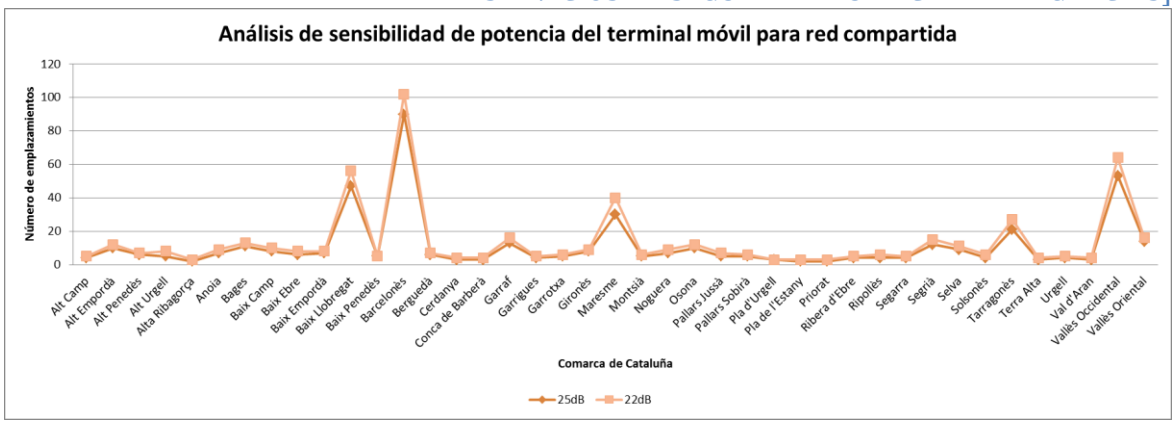


Figura 6.17 Número de emplazamientos según potencia para red compartida

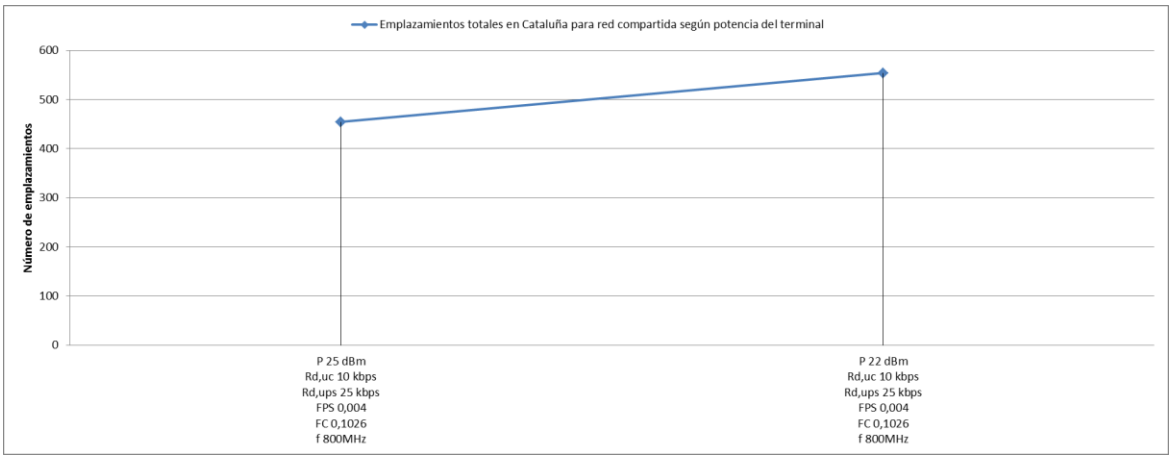


Figura 6.18 Número de emplazamientos totales red compartida variando potencia en Cataluña

En red compartida si se utilizan terminales de 25 o 22 dB hay una diferencia de 100 emplazamientos.

6.4.3 Análisis de impacto de potencia del terminal para red comercial

Se detallan a continuación los valores de entrada utilizados para el análisis de sensibilidad de potencia para el caso de red compartida.

Potencia del terminal P	22,25	dBm
Frecuencia f	800	MHz
Tasa de transmisión comercial por usuario $R_{d,uc}$	10	kbps/*first responder*
Ancho de banda B_{TOT}	5000	Hz
Número de sectores M	3	
Factor de densidad comercial FC	0,1026	

Tabla 6.19 Análisis de sensibilidad de potencia para red comercial

Análisis de sensibilidad de potencia del terminal móvil	NÚMERO DE EMPLAZAMIENTOS RED COMERCIAL N	
	P 25dBm f 800MHz FC 0,1026 $R_{d,uc}$ 15kbps	P 22dBm f 800MHz FC 0,1026 $R_{d,uc}$ 15kbps
Alt Camp	3	3
Alt Empordà	8	9
Alt Penedès	6	6
Alt Urgell	3	3
Alta Ribagorça	1	1
Anoia	7	7
Bages	10	11
Baix Camp	9	10
Baix Ebre	5	6
Baix Empordà	7	8
Baix Llobregat	43	48
Baix Penedès	5	5
Barcelonès	101	108
Berguedà	4	4
Cerdanya	2	2
Conca de Barberà	2	2
Garraf	10	11
Garrigues	2	3
Garrotxa	4	4
Gironès	9	9
Maresme	26	29
Montsià	5	5
Noguera	4	5
Osona	9	10
Pallars Jussà	2	3
Pallars Sobirà	2	2
Pla d'Urgell	3	3
Pla de l'Estany	2	2
Priorat	1	2
Ribera d'Ebre	3	3
Ripollès	3	3
Segarra	2	3
Segrià	11	12
Selva	9	10
Solsonès	2	2
Tarragonès	17	19
Terra Alta	2	2
Urgell	9	10
Val d'Aran	2	2
Vallès Occidental	48	54
Vallès Oriental	18	19
TOTAL	**421**	**460**

Tabla 6.20 Análisis de sensibilidad de potencia para red comercial

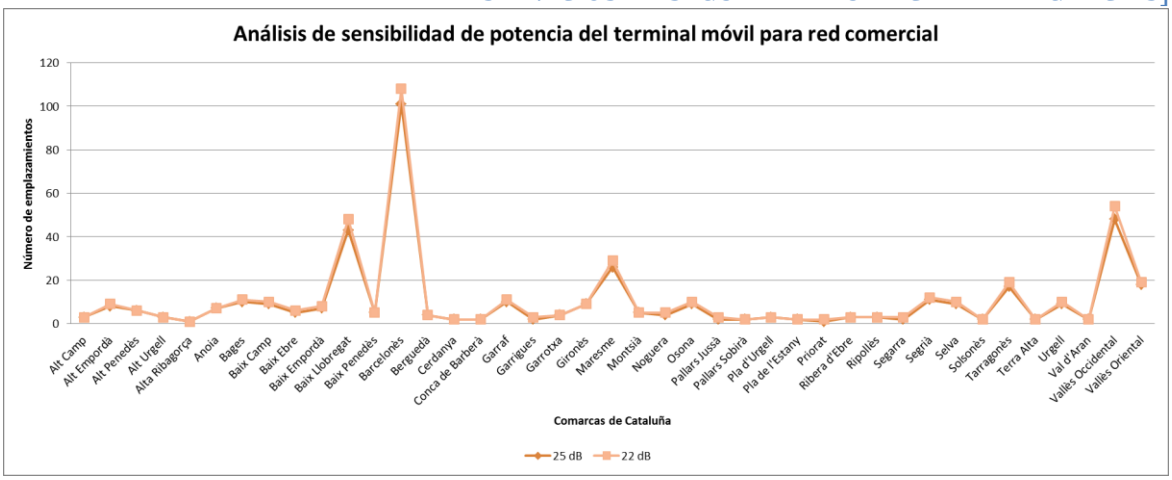


Figura 6.19 Número de emplazamientos según potencia para red comercial

Figura 6.20 Número de emplazamientos totales red comercial variando potencia en Cataluña

En red comercial hay una diferencia de 39 emplazamientos en el caso de dimensionar la red para operar con 25 dB o 22 dB.

7.Conclusiones

La tecnología LTE está en plena fase de desarrollo en Cataluña, pero los efectivos de seguridad pública aún trabajan con tecnología TETRA. Para la seguridad pública catalana es importante de disponer de las ventajas que conlleva la tecnología LTE. La banda ancha puede ayudar al personal de seguridad pública a evitar emergencias y responder con rapidez cuando estas ocurran. Con la tecnología LTE se podría enviar imágenes y grabaciones de video de cualquier incidente al momento, también permitiría realizar conferencias de audio y video a tiempo real con personal sanitario. Además de estas ventajas, con la banda ancha se podrán desarrollar otras aplicaciones en el futuro.

En este proyecto se presenta el estudio de costes a la hora de desplegar una red de banda ancha para los dispositivos de seguridad pública y se realiza el análisis de sensibilidad de los parámetros críticos detectados donde se observa como afectan en el resultado final de emplazamientos. Estos emplazamientos han sido calculados para satisfacer los requerimientos restrictivos de la red de seguridad pública. Esta red ha sido pensada para satisfacer las necesidades de los efectivos de seguridad pública y, además, para que cubra el territorio. También se ha dimensionado con márgenes más restrictivos que aseguren la comunicación, y se ha tenido en cuenta fortalecimiento de los emplazamientos (baterías adicionales, y mejoras en toda la estructura de para que pueda soportar condiciones muy desfavorables de viento y temporales). Todo esto hace que el coste del despliegue de la red se vea incrementado en relación al despliegue de una red comercial, donde podría no cubrir toda la superficie (se centra en las zonas más rentables) y no tiene requerimientos de dimensionado tan estrictos.

En esta memoria se ha realizado un análisis de sensibilidad de los parámetros críticos en el dimensionado de la red para cada una de las tres configuraciones, y se concluye que la banda frecuencial a la cual se esté desplegando la red y la tasa de transmisión por usuario comercial son parámetros que al variar tienen un alto impacto en el resultado final de emplazamientos necesarios.

Todo lo comentado anteriormente hace que en este trabajo se hayan dimensionado de manera muy diferente las tres configuraciones (red dedicada, red compartida y red comercial) y se obtengan valores diferentes de Valor Actual Neto (VAN) para cada una de las tres opciones.

Podría ser que la red comercial no pudiera operar en la banda frecuencial de 800MHz y tuviera desplegarse en la banda de 2100MHz, lo que implicaría un número más elevado de emplazamientos lo que reduciría considerablemente el NPV acumulado. En este caso, tanto para la red dedicada como para la red comercial podría ser beneficioso llegar a un acuerdo para realizar el despliegue de una red compartida en la banda de los 800MHz. Esta red compartida que cumple los requisitos de dimensionado más restrictivos de los agentes de seguridad pública puede atender toda la capacidad de tráfico demandada tanto por los agentes de seguridad público como los usuarios comerciales. Además, esta red ha sido

dimensionada para satisfacer la tasa de transmisión en el extremo de la celda generada por los *first responders* en caso de una emergencia a gran escala.

.

8.Anexo

A. Estándar LTE

En este análisis, cuando se necesitan valores numéricos dependientes de la tecnología, se usan números característicos del estándar LTE (*Long Term Evolution*). El estándar LTE se está empezando a desarrollar y a desplegar en muchos países para la 4G, lo que indica que sería un buen candidato para un sistema de tecnología de banda ancha inalámbrica en toda la comunidad.

OFDMA (Orthogonal Frecuency Division Multiple Access) se emplea en el esquema de multiplexación en el enlace descendente de LTE, mientras que en el enlace ascendente se utiliza SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Domain Multiple Access).

A.1 OFDMA y estructura genérica de trama LTE

En OFDMA, a los usuarios se les asigna un número específico de subportadoras para una cantidad de tiempo determinada, estas subportadoras se agrupan en Physical Resource Blocks (PRB) tal y como aparece en las especificaciones de LTE. Por lo tanto, los Resource Blocks tienen tanto dimensión de tiempo como de frecuencia. La asignación de PRBs es manejada por la función de scheduling de la estación base (Nodo B).

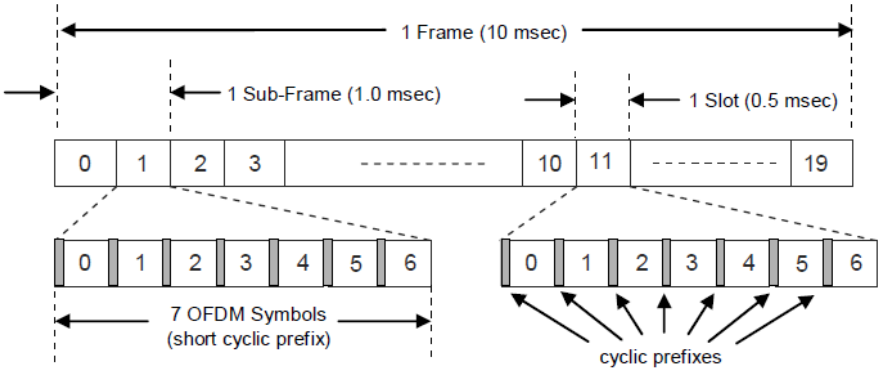


Figura A.1 Estructura genérica de la trama LTE

Como se muestra en la figura A.1, las tramas LTE tienen duración de 10 mseg. Están divididas en 10 subtramas de 1 mseg cada una. Cada subtrama está dividida en dos slots de 0.5 mseg cada uno. Los slots consisten en 6 o 7 símbolos OFDM, dependiendo de si se utiliza prefijo cíclico normal o extendido.

En OFDMA, el ancho de banda de una subportadora es de $\Delta f = 15\,KHz$. Las subportadoras se agrupan en bloques de 12 subportadoras consecutivas, con un ancho de banda resultante de 180 KHz, constituyendo cada uno de estos bloques un recurso en el dominio frecuencial, o equivalentemente la unidad mínima de asignación de recursos a un usuario. Estos bloques, son los denominados *Resource Blocks.* A partir de aquí, el número total de subportadoras ocupadas por una portadora LTE en el enlace descendente es de $N_S = 12N_B + 1$siendo N_B el número de bloques de 12 subportadoras utilizdos. En esta última expresión, hay que tener en cuenta que la subportadora en el centro de la banda no se utiliza en ninguno de los bloques, en tanto que puede ser altamente interferida por el oscilador local en recepción.

La flexibilidad en el ancho de banda ocupado viene dada por el número de bloques N_B utilizados, que puede tomar valores de {6, 15, 25, 50, 75, 100}, correspondiente a anchuras de banda de transmisión de $BW = (12N_B + 1)\Delta f = \{1.095, 2.715,\ 4.515,\ 9{,}015,\ 13{,}515,\ 18.015\}$ MHz. De acuerdo con estos valores, se pueden configurar diferentes espaciados entre canales LTE, correspondientes a {1.4, 3, 5, 10, 15, 20} MHz, en los que, como puede observarse, la anchura de banda ocupada es aproximadamente un 90% del espaciado entre canales (excepto para el caso de 1.4 MHz, que es del 78%).

Bandwith (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Subcarrier bandwith (KHz)	15					
Physical resource block (PRB) bandwith (KHz)	180					
Number of available PRBs	6	15	25	50	75	100

Tabla A.1 Ancho de banda en el enlace de bajada está dividido en Resource Blocks

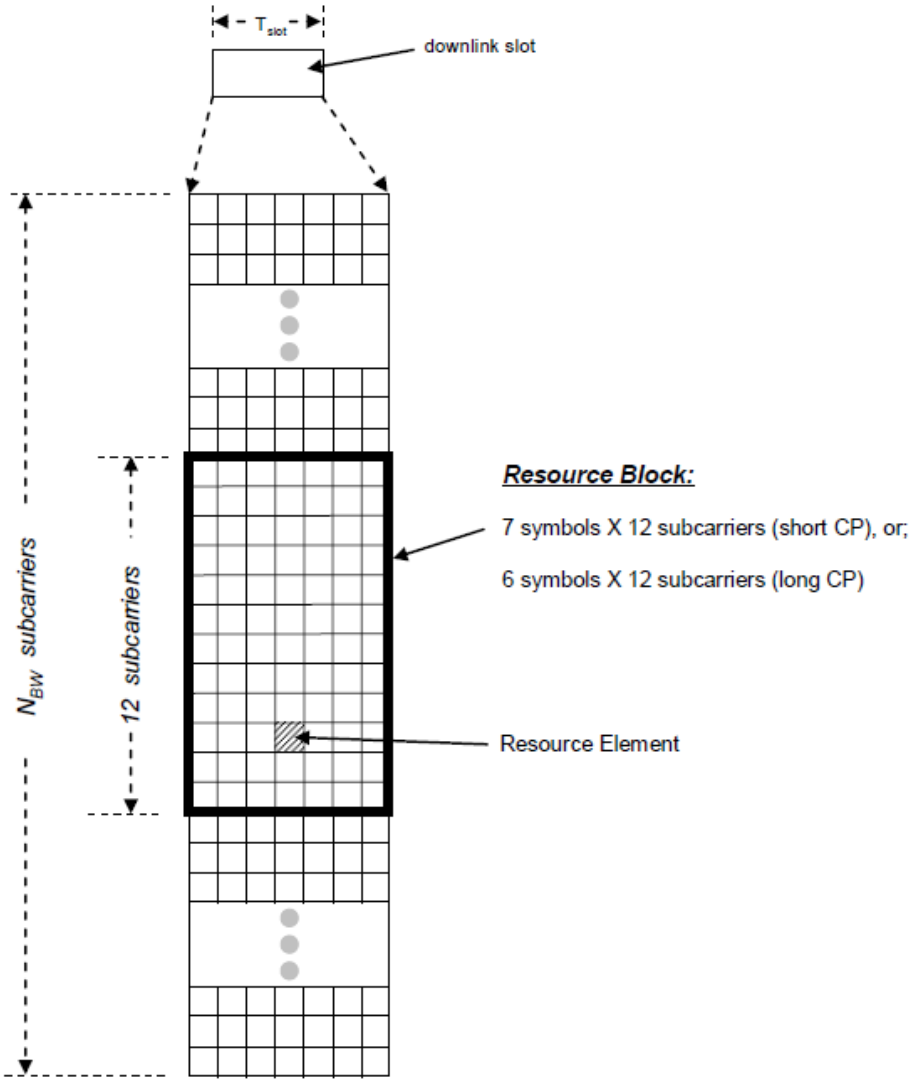


Figura A.2 Rejilla de recursos LTE

La señal transmitida por el enlace descendente consta de N_{BW} subportadoras de la duración de N_{symb} símbolos OFDM. Esto puede representarse por una rejilla de recursos tal y como se muestra en la figura A.2. Cada cuadro dentro de la cuadrícula representa una subportadora única para un periodo de símbolo y se conoce como *Resource Element.* Si se utilizan técnicas MIMO, habrá una rejilla de recursos para cada antena de transmisión.

En contraste con las redes orientadas a paquetes de estándares anteriores, LTE no utiliza un preámbulo PHY para facilitar la estimación de desviación de portadora, estimación de canal o sincronización de la temporización. En vez de esto, utiliza señales de referencia especiales que se encuentran en los PRBs tal y como se muestra en la figura A.3. Las señales de referencia se transmiten durante los símbolos OFDM primero y quinto de cada ranura (cuando se utiliza CP corto) o durante los símbolos OFDM primero y cuarto (cuando se utiliza CP largo).

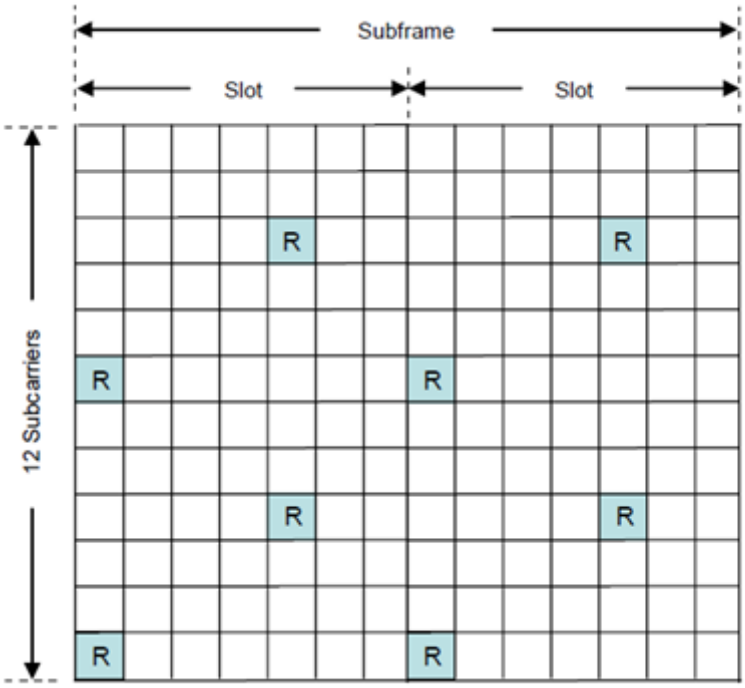


Figura A.3 Señales de referencia dentro de cada ranura

Las señales de referencia se transmiten cada seis subportadoras. Estos símbolos de referencia están escalonados tanto en tiempo como en frecuencia. La respuesta del canal en subportadoras que llevan los símbolos de referencia se puede calcular directamente. En el resto de subportadoras, la respuesta del canal se puede estimar con la interpolación.

A.2 SC-FDMA

Uno de los aspectos importantes a tener en cuenta en la elección de una modulación para un sistema de comunicaciones es la variación en la potencia instantánea de la señal transmitida, en tanto que si es muy grande la eficiencia de los amplificadores de potencia se reduce. Una métrica para caracterizar esta variación es el denominado factor de cresta o PAPR (Peak-to-Average-Power Ratio), que en definitiva mide la relación entre la potencia instantánea de la señal transmitida respecto de la potencia media, y que se define matemáticamente como (Ec. A.1):

$$PAPR = \frac{|s(t)|^2}{E\{|s(t)|^2\}} \qquad \text{(Ec. A.1)}$$

Señales con un valor de PAPR muy grande requieren amplificadores de potencia altamente lineales para evitar la distorsión asociada a la intermodulación. Para conseguir esta elevada linealidad, el amplificador debe operar bastante por debajo de su potencia de pico, lo que se traduce finalmente en una eficiencia reducida, entendida dicha eficiencia como la relación entre la potencia transmitida respecto de la potencia consumida.

En el caso de modulaciones multi-portadora, como ocurre con OFDM (y por extensión con OFDMA), el PAPR se incrementa al incrementar el número de subportadoras utilizadas. Este efecto se ilustra gráficamente en la Figura A.4 y en la Figura A.5, que muestran, respectivamente, la evolución temporal de un símbolo OFDM y del PAPR resultante cuando se emplean 3, 6 y 12 subportadoras, moduladas por una secuencia de símbolos alternados +1 y -1. Como puede apreciarse, el incremento en el número de subportadoras se traduce en un incremento en el valor máximo del PAPR que puede llegar a existir.

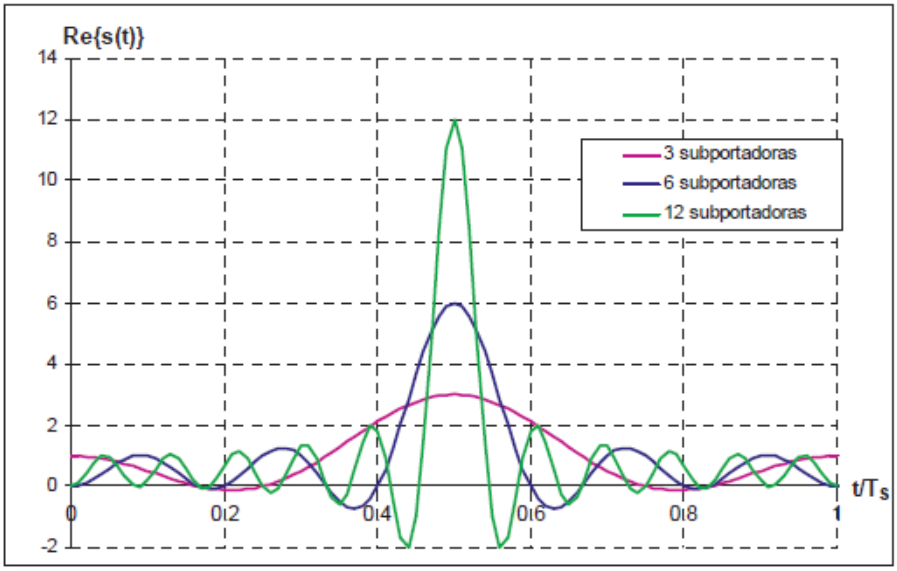


Figura A.4 Evolución temporal de un símbolo OFDM compuesto por 3, 6 y 12 subportadoras

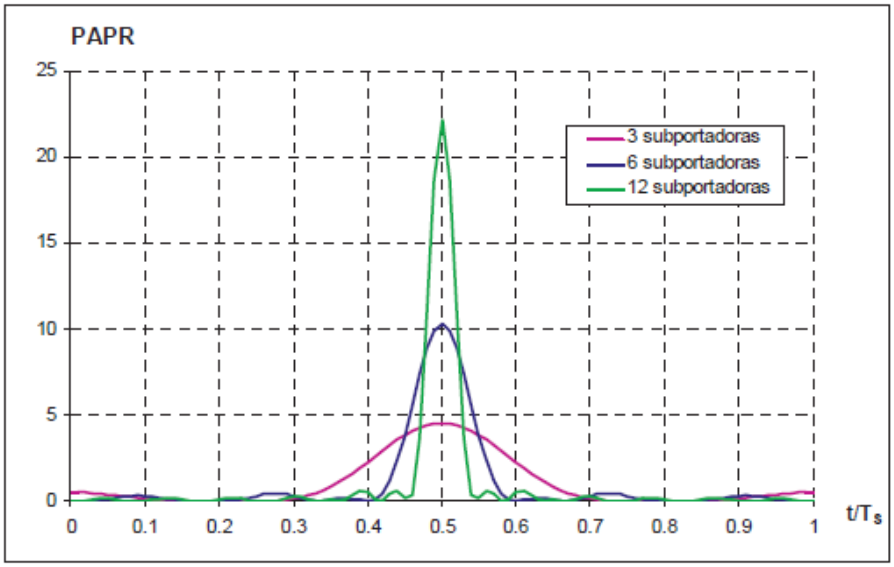


Figura A.5 Ejemplo del PAPR para un símbolo OFDM compuesto por 3, 6 y 12

También es importante remarcar que, en el caso de OFDMA, el PAPR no es muy sensible al hecho de que los símbolos enviados correspondan a una modulación u otra, a diferencia de los esquemas de transmisión que no emplean múltiples portadoras, en los que por ejemplo el empleo de 16-QAM ocasiona un PAPR superior al empleo de QPSK.

Conseguir una eficiencia elevada es algo crítico para los amplificadores de los terminales móviles, en tanto que esto permite reducir tanto el consumo de potencia del terminal (y consecuentemente incrementar la duración de las baterías) como su coste.

Por este motivo, en el sistema LTE, la técnica de acceso múltiple OFDMA se emplea únicamente en el enlace descendente, en tanto que en la estación de base no son tan críticos ni la eficiencia ni el coste de los amplificadores. Por el contrario, en el enlace ascendente, se ha optado por utilizar una técnica de acceso de portadora única (single carrier), la denominada SC-FDMA.

La técnica de acceso múltiple SC-FDMA de se basa en unos principios de transmisión muy similares a los de OFDM, pero efectuando una precodificación de los símbolos a transmitir previa al proceso de transmisión OFDM, lo que permite reducir las variaciones en la potencia instantánea. El esquema de transmisión y recepción resultante es el siguiente:

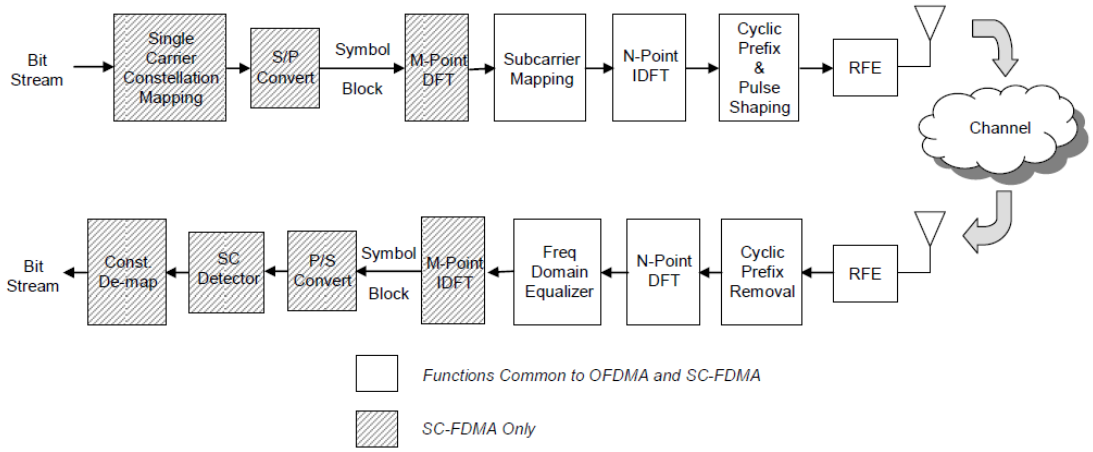


Figura A.6 Esquema de transmisión y recepción de una modulación SC-FDMA y OFDMA

Como se puede observar la mayoría de bloques funcionales son comunes tanto en SC-FDMA como en OFDMA. En consecuencia, hay un alto grado de parecido entre la funcionalidad en el enlace de bajada y en el enlace de subida. Los bloques funcionales en la cadena de transmisión son los siguientes:

1. **Mapeado de la constelación**: convierte el flujo de bits de entrada en símbolos para portadora única (BPSK, QPSK o 16QAM dependiendo de las condiciones de canal).
2. **Convertidor serie-paralelo:** convierte los símbolos de portadora única del dominio del tiempo en bloques para la entrada de la FFT.
3. **DFT M-puntos:** convierte el bloque de símbolos de portadora única en dominio del tiempo en M tonos discretos.
4. **Mapeado de subportadora:** mapea los tonos de salida de la DFT en subportadoras para la transmisión. Como se puede observar en la figura A.7, los sistemas SC-FDMA pueden utilizar o tonos contiguos (localizados) o tonos espaciados uniformemente (distribuidos). El estándar LTE utiliza subportadoras localizadas.
5. **IDFT N-puntos:** convierte al dominio del tiempo las subportadoras mapeadas anteriormente para prepararlas para la transmisión.
6. **Prefijo cíclico y pulso conformador:** Se le añade el prefijo cíclico al símbolo SC-FDMA para protegerlo de los efectos del multicamino (de la misma manera que en OFDM). El pulso conformador es utilizado para prevenir los productos de intermodulación.
7. **RFE:** convierte la señal digital a analógica y a RF para la transmisión.

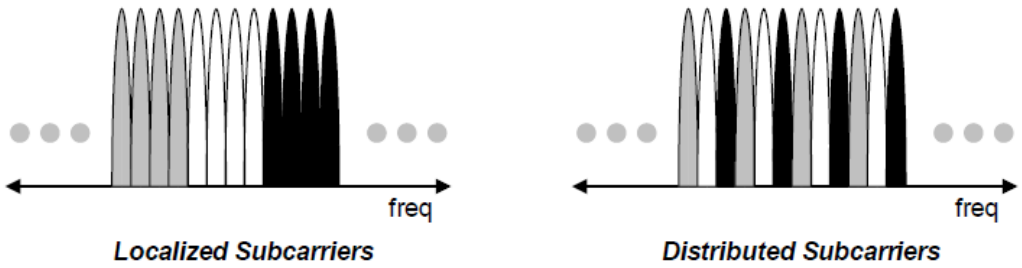


Figura A.7 Modo localizado y modo distribuido

A.3 MRC y MIMO

En LTE opcionalmente, se pueden utilizar múltiples transceptores tanto en la estación base como en el equipamiento del usuario con el fin de mejorar la robustez del enlace y aumentar las tasas de datos para el enlace descendente LTE. En particular, la ratio de combinación máxima (MRC) se utiliza para mejorar la confiabilidad del enlace en difíciles condiciones de propagación cuando la señal es baja o cuando aparecen múltiples trayectorias de la señal. MIMO (*Multiple Input Multiple Output)* es una técnica parecida que se utiliza para aumentar las tasas de datos del sistema.

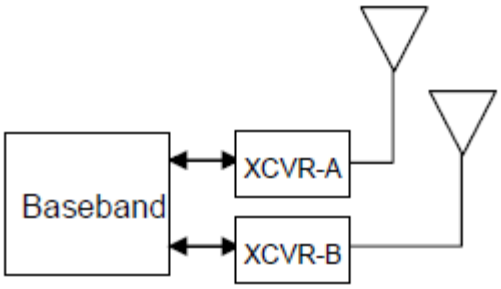


Figura A.8 Configuración del receptor MRC/MIMO (2 antenas)

Utilizando MRC, la señal es recibida por dos o más pares de antenas/transceptores separados. Como las antenas están físicamente separadas, tienen diferentes respuestas impulsionales. Se aplica la compensación del canal a cada señal recibida por separado dentro del procesador de banda base antes de combinarse linealmente para crear la combinación de la señal recibida.

Hay que tener en cuenta que el ruido térmico de cada transceptor no está correlacionado. Por lo tanto, la combinación lineal de las señales con el canal compensado, hará aumentar en 3 dB la SNR para un receptor MRC de dos canales.

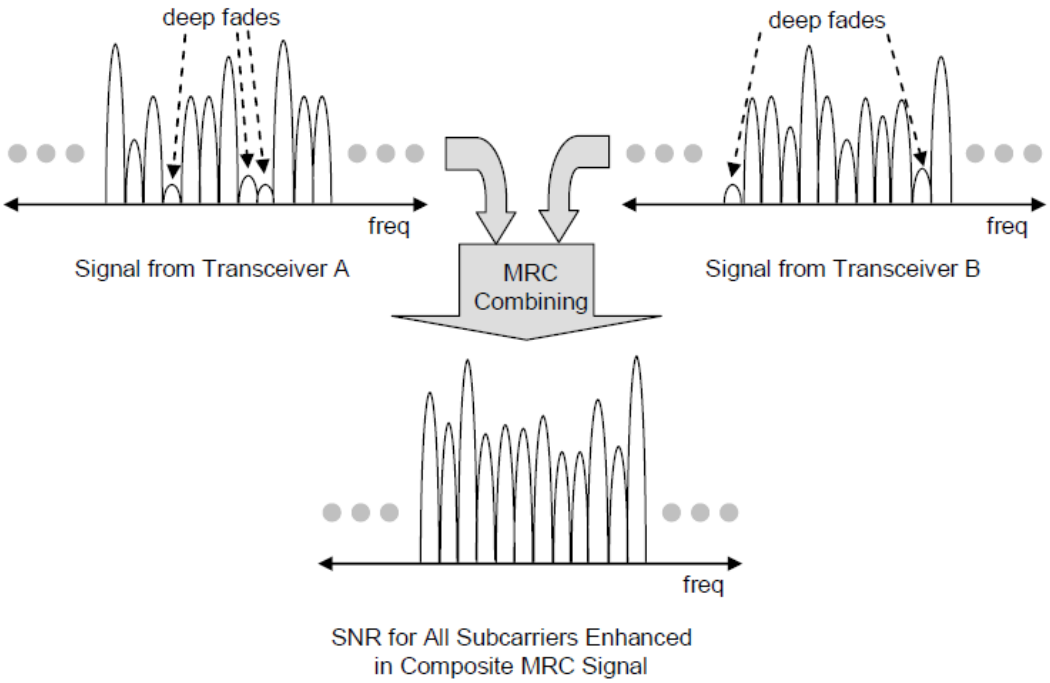


Figura A.9 MRC mejora la confiabilidad en presencia de ruido AWGN y *fading* de frecuencia selectiva

Aparte de la mejora de la SNR debida a la combinación de las dos o más señales, los receptores MRC son robustos en presencia fading de frecuencia selectiva. Se ha de recordar que la separación física de las antenas del receptor, da diferentes respuestas impulsionales del canal para cada receptor. En presencia de desvanecimiento selectivo de frecuencia, es estadísticamente improbable que una subportadora tenga un gran desvanecimiento en ambos canales receptores. Por lo tanto, la posibilidad de que haya un desvanecimiento importante en la señal compuesta es pequeña.

MRC mejora la confiabilidad del enlace, pero no aumenta la tasa nominal de datos. Esto se debe, a que en MRC los datos se transmiten por una sola antena y se procesa en el receptor a través de dos o más receptores.

En MIMO, sin embargo, se logra un aumento de las tasas de datos del sistema, debido a que usa múltiples antenas tanto en transmisión como en la recepción.

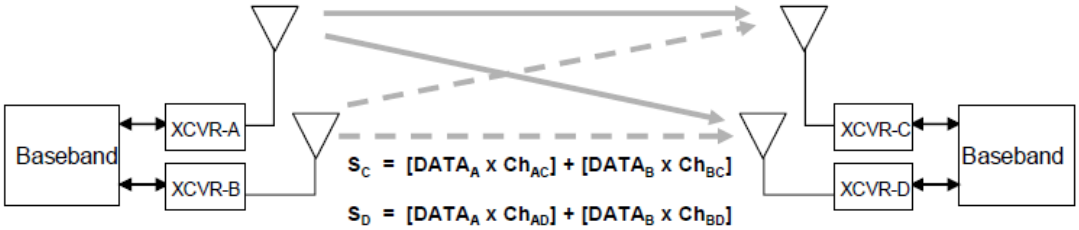


Figura A.10 Datos transmitidos simultáneamente por dos antenas (técnica MIMO)

En la figura A.6 se observa un sistema 2x2 MIMO. En total hay cuatro respuestas impulsionales del canal. Mientras una antena transmisora está enviando la señal de referencia, la otra antena se encuentra en estado *idle*, y al revés. Una vez las respuestas impulsionales del canal son conocidas, los datos pueden ser transmitidos por ambas antenas simultáneamente.

B. Población, superficie y efectivos de seguridad pública en Cataluña en el año 2011

B.1 Población

En este apartado se muestran datos estadísticos [Ref. 9] de la población de Cataluña en el año 2011 separados por comarcas.

Número de municipios y población. 2011
Comarcas

Comarca	Capital de comarca	Provincias a que pertenecen los municipios	Número de municipios	Población
Alt Camp	Valls	Tarragona	23	45.189
Alt Empordà	Figueres	Girona	68	140.428
Alt Penedès	Vilafranca del Penedès	Barcelona	27	105.670
Alt Urgell	Seu d'Urgell, la	Lleida	19	22.008
Alta Ribagorça	Pont de Suert, el	Lleida	3	4.284
Anoia	Igualada	Barcelona	33	118.509
Bages	Manresa	Barcelona	35	185.865
Baix Camp	Reus	Tarragona	28	191.947
Baix Ebre	Tortosa	Tarragona	14	82.634
Baix Empordà	Bisbal d'Empordà, la	Girona	36	133.116
Baix Llobregat	St. Feliu de Llobregat	Barcelona	30	803.705
Baix Penedès	Vendrell, el	Tarragona	14	101.115
Barcelonès	Barcelona	Barcelona	5	2.246.280
Berguedà	Berga	Barcelona/Lleida (1)	31	41.540
Cerdanya	Puigcerdà	Girona/Lleida (2)	17	18.783
Conca de Barberà	Montblanc	Tarragona	22	21.290
Garraf	Vilanova i la Geltrú	Barcelona	6	146.469
Garrigues	Borges Blanques, les	Lleida	24	20.306
Garrotxa	Olot	Girona	21	55.597
Gironès	Girona	Girona	27	182.916
Maresme	Mataró	Barcelona	30	434.897
Montsià	Amposta	Tarragona	12	72.261
Noguera	Balaguer	Lleida	30	40.231
Osona	Vic	Barcelona/Girona (3)	51	154.204
Pallars Jussà	Tremp	Lleida	14	14.374
Pallars Sobirà	Sort	Lleida	15	7.548
Pla d'Urgell	Mollerussa	Lleida	16	37.265
Pla de l'Estany	Banyoles	Girona	11	31.169
Priorat	Falset	Taragona	23	10.087
Ribera d'Ebre	Móra d'Ebre	Tarragona	14	23.889
Ripollès	Ripoll	Girona	19	26.393
Segarra	Cervera	Lleida	21	23.191
Segrià	Lleida	Lleida	38	207.633
Selva	Sta. Coloma de Farners	Girona/Barcelona (4)	26	172.280
Solsonès	Solsona	Lleida	15	13.808
Tarragonès	Tarragona	Tarragona	22	250.142
Terra Alta	Gandesa	Tarragona	12	12.847
Urgell	Tàrrega	Lleida	20	37.396
Val d'Aran	Vielha e Mijaran	Lleida	9	10.192
Vallès Occidental	Sabadell i Terrassa	Barcelona	23	892.260
Vallès Oriental	Granollers	Barcelona	43	399.900
Cataluña			**947**	**7.539.618**

Fuente: Institut Cartogràfic de Catalunya e Idescat. Padrón municipal de habitantes.

Tabla B.1 Población por comarcas en Cataluña en el año 2011

B.2 Efectivos de seguridad pública

A continuación, se muestran tres tablas que engloban la seguridad pública en Cataluña. Se muestran los agentes de policía local, *Mossos d'esquadra* y bomberos de la Generalidad.

Policía de la Generalidad. Mossos d'esquadra. 2011
Efectivos. Por sexo y graduación. Ámbitos

	Comisario	Intendente	Inspector	Sub-inspector	Sargento	Cabo	Agente	Total
Hombres	15	42	122	346	809	2.192	9.632	**13.158**
Mujeres	1	4	12	27	77	363	3.012	**3.496**
Total	**16**	**46**	**134**	**373**	**886**	**2.555**	**12.644**	**16.654**
Àmbit Metropolità	3	20	54	168	384	1.080	6.396	**8.105**
Comarques Gironines	1	2	12	41	81	271	1.420	**1.828**
Camp de Tarragona	0	3	7	25	65	181	984	**1.265**
Terres de l'Ebre	0	1	2	10	38	85	338	**474**
Ponent	1	2	10	20	50	147	715	**945**
Comarques Centrals	1	2	4	16	41	129	620	**813**
Alt Pirineu i Aran	0	1	3	6	35	106	325	**476**
Penedès	0	0	6	9	40	88	441	**584**
No comarcalizados (1)	10	15	36	78	152	468	1.405	**2.164**

Fuente: Departament d'Interior. Direcció General de la Policia.

(1) Incluye los efectivos de los servicios centrales

Tabla B.2 Efectivos de *Mossos d'esquadra*

Policía local. 2011
Efectivos. Por graduación. Comarcas y ámbitos

	Super-intendente	Intendente mayor	Intendente	Inspector	Subinspector	Sargento	Cabo	Agente	Total
Alt Camp	0	0	0	0	1	2	2	30	**35**
Alt Empordà	0	0	0	5	5	7	28	160	**205**
Alt Penedès	0	0	0	1	3	6	19	84	**113**
Alt Urgell	0	0	0	1	0	2	2	13	**18**
Alta Ribagorça	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Anoia	0	0	0	1	0	6	20	109	**136**
Bages	0	0	1	1	0	10	25	187	**224**
Baix Camp	0	0	0	1	4	16	36	225	**282**
Baix Ebre	0	0	0	1	3	1	11	97	**113**
Baix Empordà	0	0	0	3	7	15	36	208	**269**
Baix Llobregat	0	0	3	16	18	56	153	914	**1.160**
Baix Penedès	0	0	0	2	4	10	27	158	**201**
Barcelonès	2	9	24	24	26	105	292	3.236	**3.718**
Berguedà	0	0	0	0	0	1	3	20	**24**
Cerdanya	0	0	0	0	0	0	2	13	**15**
Conca de Barberà	0	0	0	0	0	0	1	12	**13**
Garraf	0	0	0	4	2	8	36	200	**250**
Garrigues	0	0	0	0	0	0	1	6	**7**
Garrotxa	0	0	0	0	1	3	8	33	**45**
Gironès	0	0	1	1	5	13	21	174	**215**
Maresme	0	1	0	15	12	30	112	640	**810**
Montsià	0	0	0	0	2	3	13	86	**104**
Noguera	0	0	0	1	0	0	1	17	**19**
Osona	0	0	0	3	1	6	10	115	**135**
Pallars Jussà	0	0	0	0	0	0	0	3	**3**
Pallars Sobirà	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Pla d'Urgell	0	0	0	1	0	1	3	13	**18**
Pla de l'Estany	0	0	0	1	0	1	4	21	**27**
Priorat	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Ribera d'Ebre	0	0	0	0	0	0	0	1	**1**
Ripollès	0	0	0	0	1	0	3	14	**18**
Segarra	0	0	0	0	0	1	1	8	**10**
Segrià	0	0	1	2	2	13	15	212	**245**
Selva	0	0	0	3	3	9	32	207	**254**
Solsonès	0	0	0	0	0	0	1	10	**11**
Tarragonès	0	3	0	2	8	13	57	380	**463**
Terra Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Urgell	0	0	0	0	0	1	2	19	**22**
Val d'Aran	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Vallès Occidental	0	0	2	10	18	51	132	895	**1.108**
Vallès Oriental	0	0	0	10	8	25	91	469	**603**
Cataluña	**2**	**13**	**32**	**109**	**134**	**415**	**1.200**	**8.989**	**10.894**
Àmbit Metropolità	2	10	29	75	82	267	780	6.154	**7.399**
Comarques Gironines	0	0	1	13	22	48	132	817	**1.033**
Camp de Tarragona	0	3	0	3	13	31	96	647	**793**
Terres de l'Ebre	0	0	0	1	5	4	24	184	**218**
Ponent	0	0	1	4	2	16	23	275	**321**
Comarques Centrals	0	0	1	4	1	17	39	332	**394**
Alt Pirineu i Aran	0	0	0	1	0	2	4	29	**36**
Penedès	0	0	0	8	9	30	102	551	**700**

Fuente: Departament d'Interior. Direcció General d'Administració de Seguretat.

Tabla B.3 Efectivos de policía local

Bomberos de la Generalidad. 2011
Efectivos. Comarcas y ámbitos

	Funcionarios	Voluntarios	Total
Alt Camp	26	54	**80**
Alt Empordà	101	75	**176**
Alt Penedès	37	48	**85**
Alt Urgell	50	115	**165**
Alta Ribagorça	0	36	**36**
Anoia	55	75	**130**
Bages	112	74	**186**
Baix Camp	138	57	**195**
Baix Ebre	65	3	**68**
Baix Empordà	120	10	**130**
Baix Llobregat	216	134	**350**
Baix Penedès	34	27	**61**
Barcelonès	129	36	**165**
Berguedà	49	39	**88**
Cerdanya	0	87	**87**
Conca de Barberà	22	47	**69**
Garraf	33	32	**65**
Garrigues	0	58	**58**
Garrotxa	39	6	**45**
Gironès	90	36	**126**
Maresme	84	105	**189**
Montsià	47	8	**55**
Noguera	42	105	**147**
Osona	78	1	**79**
Pallars Jussà	32	85	**117**
Pallars Sobirà	25	128	**153**
Pla d'Urgell	27	1	**28**
Pla de l'Estany	22	1	**23**
Priorat	21	39	**60**
Ribera d'Ebre	54	44	**98**
Ripollès	22	40	**62**
Segarra	25	70	**95**
Segrià	103	101	**204**
Selva	118	68	**186**
Solsonès	22	43	**65**
Tarragonès	82	18	**100**
Terra Alta	22	50	**72**
Urgell	27	41	**68**
Val d'Aran	0	107	**107**
Vallès Occidental	282	268	**550**
Vallès Oriental	118	117	**235**
Cataluña	**2.569**	**2.489**	**5.058**
Àmbit Metropolità	829	660	**1.489**
Comarques Gironines	512	236	**748**
Camp de Tarragona	289	215	**504**
Terres de l'Ebre	188	105	**293**
Ponent	224	376	**600**
Comarques Centrals	261	157	**418**
Alt Pirineu i Aran	107	558	**665**
Penedès	159	182	**341**

Fuente: Departament d'Interior.

Tabla B.4 Efectivos de bomberos

B.3 Superfície

Superficie. 2012
Por zonas altimétricas. Comarcas, ámbitos y provincias

	Zonas altimétricas (m)					
	hasta 200	201-600	601-1.000	1.001-2.000	más de 2000	Superficie
Alt Camp	57,5	348,9	129,7	1,8	0,0	**538,0**
Alt Empordà	871,3	361,7	105,7	18,8	0,0	**1.357,5**
Alt Penedès	127,4	424,2	41,2	0,0	0,0	**592,7**
Alt Urgell	0,0	99,0	341,4	925,2	82,0	**1.447,5**
Alta Ribagorça	0,0	0,0	20,4	247,2	159,3	**426,9**
Anoia	11,3	503,6	350,6	0,8	0,0	**866,3**
Bages	17,9	985,6	293,3	2,3	0,0	**1.299,1**
Baix Camp	264,9	301,9	114,1	16,1	0,0	**697,1**
Baix Ebre	611,6	278,8	63,7	48,6	0,0	**1.002,7**
Baix Empordà	598,3	103,3	0,0	0,0	0,0	**701,7**
Baix Llobregat	295,2	184,9	5,1	0,5	0,0	**486,0**
Baix Penedès	146,6	142,1	7,6	0,0	0,0	**296,4**
Barcelonès	122,7	22,1	0,0	0,0	0,0	**145,8**
Berguedà	0,0	202,0	443,6	500,2	39,1	**1.185,2**
Cerdanya	0,0	0,0	4,6	424,7	117,2	**546,7**
Conca de Barberà	0,0	273,8	367,8	8,7	0,0	**650,2**
Garraf	132,5	52,8	0,0	0,0	0,0	**185,1**
Garrigues	1,2	707,9	88,4	0,1	0,0	**797,7**
Garrotxa	27,4	444,6	222,6	40,7	0,0	**734,6**
Gironès	384,9	177,0	13,1	0,0	0,0	**575,6**
Maresme	251,2	145,2	2,5	0,0	0,0	**398,5**
Montsià	452,1	195,7	46,2	41,3	0,0	**735,4**
Noguera	17,2	1.220,5	461,9	84,5	0,0	**1.784,1**
Osona	0,0	373,0	783,8	103,4	0,0	**1.260,1**
Pallars Jussà	0,0	182,4	558,1	510,9	91,7	**1.343,1**
Pallars Sobirà	0,0	1,7	110,9	807,6	457,7	**1.377,9**
Pla d'Urgell	34,7	270,4	0,0	0,0	0,0	**305,1**
Pla de l'Estany	163,4	97,1	2,4	0,0	0,0	**262,8**
Priorat	39,8	321,7	122,9	14,1	0,0	**498,6**
Ribera d'Ebre	398,2	411,3	17,8	0,0	0,0	**827,3**
Ripollès	0,0	8,2	275,5	568,2	104,2	**956,6**
Segarra	0,0	480,2	242,6	0,0	0,0	**722,7**
Segrià	520,8	875,8	0,0	0,0	0,0	**1.396,7**
Selva	460,6	345,4	166,1	23,1	0,0	**995,0**
Solsonès	0,0	102,8	660,7	219,9	17,7	**1.001,2**
Tarragonès	306,0	12,9	0,0	0,0	0,0	**319,4**
Terra Alta	29,8	645,2	56,8	11,6	0,0	**743,0**
Urgell	0,0	534,6	45,1	0,0	0,0	**579,7**
Val d'Aran	0,0	0,2	33,5	328,6	271,3	**633,6**
Vallès Occidental	217,3	315,7	49,6	0,5	0,0	**583,1**
Vallès Oriental	206,8	401,9	200,3	42,0	0,0	**851,0**
Cataluña	**6.768,6**	**12.556,1**	**6.449,6**	**4.991,4**	**1.340,2**	**32.108,0**
Metropolità	1.093,2	1.069,8	257,5	43,0	0,0	**2.464,4**
Comarques Gironines	2.505,9	1.537,3	785,4	650,8	104,2	**5.583,9**
Camp de Tarragona	668,2	1.259,2	734,5	40,7	0,0	**2.703,3**
Terres de l'Ebre	1.491,7	1.531,0	184,5	101,5	0,0	**3.308,4**
Ponent	573,9	4.089,4	838,0	84,6	0,0	**5.586,0**
Comarques Centrals	17,9	1.663,4	2.181,4	825,8	56,8	**4.745,6**
Alt Pirineu i Aran	0,0	283,3	1.068,9	3.244,2	1.179,2	**5.775,6**
Penedès	417,8	1.122,7	399,4	0,8	0,0	**1.940,5**
Barcelona	1.407,0	3.617,8	2.115,1	553,2	32,6	**7.725,7**
Girona	2.481,5	1.530,5	840,4	903,0	150,0	**5.905,5**
Lleida	573,9	4.475,4	2.567,7	3.392,9	1.157,7	**12.167,7**
Tarragona	2.306,5	2.932,4	926,7	142,2	0,0	**6.307,8**

Unidades: kilómetros cuadrados.

Fuente: Institut Cartogràfic de Catalunya.

Tabla B.5 Superficie de las comarcas de Cataluña

9.Referencias

Bibliografía

[1] J. Scott Marcus [et al.], PPDR Spectrum Harmonisation in Germany, Europe and Globally, wik-consolut, 6 December 2010.

[2] Motorola, LTE RF Planning Guide, Version: 1.2

[3] Stagg Newman, Public Safety Interoperable Communications and the 700 MHz D Block Proceeding FCC

[4] Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker, LTE, The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice

[5] Ryan Hallahan and Jon M. Peha, Carnegie Mellon University, The Business Case of a Network that Serves both Public Safety and Commercial Subscribers

[6] R.Hallahan, J.M.Peha, Quantifying the Costs of a Nationwide Broadband Public Safety Wireless Network

[7] Making hard decisions with DecisionTools, Clemen and Reilly, 2001

[8] Federal Communications Commission, Paper 2: A broadband network cost model, May 2010

[9] Generalitat de Catalunya, Institut d'Estadística de Catalunya, Anuario estadístico de Cataluña. [Consulta: 20 de enero de 2013] Disponible en: http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=933&lang=es

[10] Dennis Roberson, A Responsible Way Forward, 07/2011.

[11] Alcatel Lucent, Interoperable Mission Critical Broadband/Narrowband Solution for Public Safety Communications

[12] Andrew M.Seybold, A Broadband Network Cost Model: A Basis for Public Funding Essential to Bringing Nationwide Interoperable Communications to America's First Responders, FCC, April 26,2010

[13] Jon M.Peha, The Public Safety Nationwide Interoperable Broadband Network: A New Model for Capacity, Performance and Cost, FCC, June 2010

[14] The Public Safety Broadband Wireless Network: 21st Century Communications for First Responders Public Safety Homeland Security Bureau, FCC, March 2010

[15] Ryan Hallahan and Jon M.Peha, Policies for Public Safety Use of Commercial Wireless Networks, 38th Telecommunications Policy Research Conference, Oct 2010

[16] Linda K. Moore, Funding Emergency Communications: Technology and Policy Considerations, January 5, 2012.

[17] J.Salo, M. Nur-Alam, K. Chang, Practical Introduction to LTE Radio Planning

[18] Jon M.Peha, How America's Fragmented Approach to Public Safety Wastes Money and Spectrum, Sept. 2005

[19] Ryan Hallahan and Jon M. Peha, The Business Case of a Nationwide Wireless Network that Serves both Public Safety and Commercial

[20] LTE Resource Guide, Anritsu

[21] 3GPP TS 36.213 V8.7.0 (2009-05)

[22] Ramon Agustí [et al.], LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles, Fundación Vodafone España