

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA

**Efecto del sistema UWB sobre sistemas de telecomunicaciones
móviles de segunda y tercera generación**

Sergio Rico Arias

Septiembre 2007

Efecto del sistema UWB sobre sistemas de telecomunicaciones
móviles de segunda y tercera generación

AUTOR: Sergio Rico Arias
TUTOR: Bazil Taha Ahmed

Grupo de sistemas de radiocomunicaciones y comunicaciones ópticas
Dpto. de Ingeniería Informática
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid

Septiembre de 2007

PROYECTO FIN DE CARRERA

Autor: Sergio Rico Arias

Título: *Efecto del sistema UWB sobre sistemas de telecomunicaciones móviles de segunda y tercera generación*

Tutor: Bazil Taha Ahmed

Tribunal:

Presidente: Antonio Aguilar Morales

Vocal: Ángel Ferreiro

Secretario: Bazil Taha Ahmed

Fecha de lectura:

Calificación:

Palabras clave

Efecto UWB sobre sistemas de 2ª generación, GSM-900, GSM-1800, UMTS-450, UMTS-2100, UMTS-2600, IS-136.

UWB effect on 2nd and 3rd generation systems: GSM-900, GSM-1800, UMTS-450, UMTS-2100, UMTS-2600, IS-136.

Resumen

El objetivo del presente proyecto es analizar la influencia que tienen los emisores UWB en presencia de estaciones móviles receptoras de segunda y tercera generación como los dispositivos GSM, UMTS e IS-136.

Las interferencias producidas por el UWB no se dan directamente en la banda de funcionamiento de dicha tecnología sino en las bandas laterales, debido principalmente a la no idealidad de los sistemas usados. Por ello hay que utilizar filtros que atenúen la señal fuera de la zona de trabajo para que el resto de sistemas puedan funcionar correctamente.

El análisis se lleva a cabo con los sistemas mencionados y en distintas situaciones. Primero se observan los cambios y rango de funcionamiento bajo la acción de un solo emisor UWB en varios entornos. Se vuelve a repetir el estudio bajo el efecto de varios transmisores UWB en los mismos entornos. También se observan los cambios a lo largo del tiempo. Y finalmente las pequeñas variaciones que se producen al variar la frecuencia de funcionamiento.

Con el resumen de los datos recogidos durante el proceso podemos obtener una máscara de emisión UWB en la zona de funcionamiento de las tecnologías de segunda generación para que se dé un funcionamiento con una calidad mínima.

Abstract

The aim of this project is to analyse the influence of UWB transmitters on second and third generation mobile receivers such as GSM, UMTS and IS-136.

Interference is not due to the main working bandwidth of UWB. It is due to the lower side of the secondary bandwidth (below 3.1 GHz). This is mainly the consequence of non ideality of the systems' transmitters. Therefore, filters must be used to attenuate the undesired signal out of working bandwidth, so as to make other systems work properly. The analysis will be undertaken recreating the previous systems under several scenarios. First of all, the working range and the system capacity are studied considering only one UWB transmitter. Then, the same methodology is repeated under the presence of several UWB transmitters where capacity and range are given in time domain. In the above study the effect of changing frequency of operation has been obtained.

Getting the simulation results for different study scenarios, a new UWB mask is proposed. The effect of the UWB transmitter on the second and third mobile generation will be very small whenever the UWB transmitter fulfils the proposed mask.

Agradecimientos

Llegar hasta este punto de mi carrera universitaria no habría sido posible sin la presencia de muchas personas en mi vida. En primer lugar querría dar las gracias a mi tutor Bazil Taha Ahmed por darme la oportunidad de elegir uno de sus proyectos ofertados y por ayudarme durante todo el desarrollo del mismo. En segundo lugar tengo que dar las gracias a todos los profesores que de alguna forma u otra han ayudado a mi formación y que han inculcado en mí esa forma de pensar tan típica de ingeniero. A todos mis compañeros por su apoyo moral durante los últimos 5 años, especialmente a aquellos que me han ayudado en los momentos más difíciles. No podría faltar una mención especial a mis padres y familiares que siempre han estado ahí ayudando en las situaciones más duras, facilitando las cosas para que pudiese cumplir uno de mis sueños.

Sergio Rico Arias

Septiembre 2007

Índice

Página

PORTADA	I
SEPTIEMBRE 2007	I
SEPTIEMBRE DE 2007	III
PROYECTO FIN DE CARRERA	V
PALABRAS CLAVE	VII
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
AGRADECIMIENTOS	IX
CAPÍTULO 0: INTRODUCCIÓN	1
0.1. MOTIVACIÓN	1
0.2. OBJETIVOS.....	1
0.3. ESTRUCTURA	2
CAPÍTULO 1: SISTEMAS UWB	5
1.1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.2. BENEFICIOS Y APLICACIONES	7
1.3. OTRAS MÁSCARAS	8
1.4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	9
1.4.1. Modulación	9
1.4.2. Capacidad de canal	9
1.4.3. Diseño de la antena	10
1.4.4. Sincronización.....	10
CAPÍTULO 2: PROPAGACIÓN	11
2.1. INTRODUCCIÓN	11
2.2. TIPOS DE CANALES	12
2.3. FACTORES DE PÉRDIDAS	12
2.3.1. Pérdidas interiores:.....	13
2.3.2. Pérdidas exteriores:.....	13
2.4. MODELOS DE PROPAGACIÓN.....	15
2.4.1. Modelo empírico de banda estrecha.....	15
2.4.1.1. Modelo de pendiente única (One-Slope model)	15
2.4.1.2. Modelo multipared (Multi-wall model).....	15
2.4.1.3. Modelo de atenuación lineal (Linear attenuation model)	16
2.4.2. Modelo empírico de banda ancha	16
2.4.3. Modelo de fluctuaciones del tiempo	16
2.4.4. Modelo determinístico	17
2.4.4.1. Modelos de rayos (Ray launching model)	17
2.4.4.2. Método de acercamiento por imágenes (Image approach method).....	17
2.4.5. Modelo de HATA	18
2.4.5.1. HATA.....	18
2.4.5.2. HATA-COST231	18
2.4.5.3. COST231-Walfish-Ikegama.....	18
CAPÍTULO 3: EFECTO DE UWB SOBRE GSM	19
3.1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS GSM	19
3.2. SERVICIOS OFRECIDOS POR GSM.....	20
3.3. FACTORES QUE PUEDEN INFLUIR EN LA COMUNICACIÓN GSM	21
3.3.1. Interferencia cocanal.....	21
3.3.2. Ruido térmico	21
3.3.3. Interferencia entre canales adyacentes	21

3.4. FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS GSM	22
3.5. COEXISTENCIA DE SISTEMAS UWB CON GSM	22
3.6. PROCEDIMIENTO GENERAL PARA TODOS LOS CASOS	24
3.6.1. Señal GSM.....	24
3.6.1.1. Potencia de transmisión de la antena GSM.....	25
3.6.1.2. Pérdidas de la señal GSM.....	25
3.6.1.3. Potencia de ruido.....	25
3.6.1.4. Sensibilidad.....	26
3.6.1.5. Pérdidas de la señal GSM.....	26
3.6.2. Pérdidas de la señal UWB.....	26
3.6.2.1. Pérdidas de la señal UWB	26
3.6.3. Radio de trabajo real	27
3.6.4. Radio de trabajo normalizado	27
3.7. EFECTO DEL SISTEMA UWB SOBRE GSM-900.....	27
3.7.1. Zona rural.....	28
3.7.1.1. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -41,3 dBm/MHz	29
3.7.1.2. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -70dBm/MHz	30
3.7.1.3. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -91,8 dBm/MHz	32
3.7.2. Zona suburbana.....	34
3.7.2.1. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -41,3 dBm/MHz	35
3.7.2.2. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -70 dBm/MHz	36
3.7.2.3. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -91,8 dBm/MHz	37
3.7.3. Ciudad mediana-pequeña	39
3.7.3.1. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -41,3 dBm/MHz	40
3.7.3.2. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -70 dBm/MHz	41
3.7.3.3. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -91,8 dBm/MHz	42
3.7.4. Ciudad grande	44
3.7.4.1. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -41,3 dBm/MHz	44
3.7.4.2. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -70 dBm/MHz	46
3.7.4.3. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -91,8 dBm/MHz	47
3.7.4.4. Conclusiones de la variación de frecuencia y entorno	49
3.7.5. Efecto de la variación de la frecuencia de funcionamiento.....	49
3.7.5.1. Entorno rural; densidad espectral de potencia = -91,9dBm/MHz	49
3.7.6. Resultados bajo la acción de varios transmisores UWB	52
3.7.6.1. Entorno rural	52
3.7.6.2. Entorno suburbano	54
3.7.6.3. Ciudad mediana-pequeña	57
3.7.6.4. Ciudad grande	60
3.7.6.5. Conclusiones de multi transmisor UWB	62
3.7.7. Variación de la capacidad del canal descendente con el tiempo	62
3.8. EFECTO DEL SISTEMA UWB SOBRE GSM-1800.....	65
3.8.1. Zona rural.....	66
3.8.1.1. Densidad de potencia de transmisión UWB = -53,3 dBm/MHz	66
3.8.1.2. Densidad de potencia de transmisión UWB = -70 dBm/MHz	67
3.8.1.3. Densidad de potencia de transmisión UWB = -86 dBm/MHz	67
3.8.2. Zona suburbana.....	68
3.8.2.1. Densidad de potencia de transmisión UWB = -53,3 dBm/MHz	69
3.8.2.2. Densidad de potencia de transmisión UWB = -70 dBm/MHz	69
3.8.2.3. Densidad de potencia de transmisión UWB = -86 dBm/MHz	70
3.8.3. Ciudad mediana-pequeña.....	71
3.8.3.1. Densidad de potencia de transmisión UWB = -53,3 dBm/MHz	71
3.8.3.2. Densidad de potencia de transmisión UWB = -70 dBm/MHz	72
3.8.3.3. Densidad de potencia de transmisión UWB = -86dBm/MHz	73
3.8.4. Ciudad grande	74
3.8.4.1. Densidad de potencia de transmisión UWB = -53,3 dBm/MHz	74
3.8.4.2. Densidad de potencia de transmisión UWB = -70 dBm/MHz	75
3.8.4.3. Densidad de potencia de transmisión UWB = -86dBm/MHz	75
3.8.5. Resultados bajo la acción de varios transmisores UWB	76
3.8.5.1. Entorno rural	77
3.8.5.2. Entorno suburbano	78
3.8.5.3. Ciudad mediana-pequeña	79
3.8.5.4. Ciudad grande	80
3.8.6. Variación de la capacidad del canal descendente con el tiempo	81
3.8.7. Conclusiones GSM-1800	83

CAPÍTULO 4: EFECTO DE UWB SOBRE UMTS	85
4.1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS UMTS	85
4.1.1. Mercado de la tecnología UMTS	86
4.1.2. Servios ofrecidos.....	86
4.1.3. Estructura de la red UMTS	88
4.2. FUNDAMENTOS DE UMTS	88
4.3. COEXISTENCIA DE UMTS CON UWB	89
4.4. PROCEDIMIENTOS GENERALES.....	90
4.4.1. Datos relativos a la propagación UWB.....	91
4.4.1.1. Potencia de UWB	91
4.4.1.2. Pérdida de propagación UWB	91
4.4.2. Datos relativos a la propagación UMTS	91
4.4.2.1. Potencia de UMTS	91
4.4.2.2. Pérdida de propagación UMTS	92
4.4.3. Método HATA-COST231.....	92
4.4.4. Radio normalizado	93
4.4.5. Radio real.....	93
4.4.6. Capacidad del canal	93
4.5. EFECTO DEL SISTEMA UWB SOBRE UMTS-2100	93
4.5.1. Efecto de un transmisor UWB sobre UMTS-2100 para el servicio de datos	94
4.5.1.1. Demostración gráfica	94
4.5.1.2. Entorno rural	96
4.5.1.3. Entorno suburbano	97
4.5.1.4. Ciudad mediana-pequeña	98
4.5.1.5. Ciudad grande	99
4.5.2. Efecto de 18 transmisores UWB sobre UMTS-2100 para el servicio de datos.....	100
4.5.2.1. Entorno rural	100
4.5.2.2. Entorno suburbano	101
4.5.2.3. Ciudad mediana-pequeña	102
4.5.2.4. Ciudad grande	103
4.5.3. Efecto de un transmisor UWB sobre UMTS-2100 para el servicio de Voz.....	104
4.5.3.1. Entorno rural	105
4.5.3.2. Entorno suburbano	106
4.5.3.3. Ciudad mediana-pequeña	107
4.5.3.4. Ciudad grande	108
4.5.4. Efecto de 18 transmisores UWB sobre UMTS-2100 para el servicio de voz	109
4.5.4.1. Entorno rural	110
4.5.4.2. Entorno suburbano	111
4.5.4.3. Ciudad mediana-pequeña	112
4.5.4.4. Ciudad grande	113
4.5.5. Conclusiones sobre el efecto de UWB sobre UMTS-2100	114
4.6. EFECTO DEL SISTEMA UWB SOBRE UMTS-2600 PARA EL SERVICIO DE DATOS.....	115
4.6.1. Efecto de un transmisor UWB	115
4.6.2. Efecto de 18 transmisores UWB.....	116
4.6.3. Conclusiones sobre el efecto de UWB sobre UMTS-2600	117
4.7. EFECTO DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE UMTS-450 PARA EL SERVICIO DE DATOS	118
4.7.1. Entorno rural.....	119
4.7.2. Entorno suburbano	120
4.7.3. Ciudad mediana-pequeña.....	121
4.7.4. Ciudad grande	122
4.8. EFECTO DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE UMTS-450 PARA EL SERVICIO DE VOZ	123
4.8.1. Entorno rural	123
4.8.2. Entorno suburbano	124
4.8.3. Ciudad mediana-pequeña.....	125
4.8.4. Ciudad grande	126
4.8.5. Conclusiones sobre el efecto de UWB sobre UMTS-450.....	127
CAPÍTULO 5: EFECTO DE UWB SOBRE IS-136.....	129
5.1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS IS-136	129
5.2. ASPECTOS TÉCNICOS DE IS-136.....	130
5.3. COEXISTENCIA DE IS-136 CON UWB	130
5.4. CÁLCULOS GENERALES PARA TODOS LOS CASOS	131

5.4.1. Cálculos relativos a la antena UWB.....	132
5.4.1.1. Potencia emitida por el transmisor UWB	132
5.4.1.2. Pérdidas de propagación de la señal UWB	132
5.4.1.3. Potencia recibida en el receptor IS-136	132
5.4.2. Cálculos relativos a la antena IS-136	132
5.4.2.1. Potencia emitida por la estación base IS-136	133
5.4.2.2. Pérdidas sufridas por la señal IS-136.....	133
5.4.2.3. Modelos de propagación HATA y HATA-COST231	133
5.4.3. Radio de trabajo	133
5.4.3.1. Radio normalizado	134
5.4.3.2. Radio real de trabajo.....	134
5.5. EFECTO DE UN TRANSMISOR UWB SOBRE IS-136 EN LA BANDA INFERIOR.....	134
5.5.1. Entorno rural	135
5.5.2. Entorno suburbano	136
5.5.3. Ciudad mediana-pequeña.....	137
5.5.4. Ciudad grande.....	138
5.5.5. Conclusiones sobre el efecto de un transmisor UWB sobre IS-136 en la banda inferior.....	139
5.6. EFECTO DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE IS-136 EN LA BANDA INFERIOR.....	140
5.6.1. Entorno rural	140
5.6.2. Entorno suburbano	141
5.6.3. Ciudad mediana-pequeña.....	142
5.6.4. Ciudad grande.....	143
5.6.5. Conclusiones sobre el efecto de 18 transmisores UWB sobre IS-136 en la banda inferior	144
5.7. EFECTO DE UN TRANSMISOR UWB SOBRE IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR	145
5.7.1. Entorno rural	145
5.7.2. Entorno suburbano	146
5.7.3. Ciudad mediana-pequeña.....	147
5.7.4. Ciudad grande.....	148
5.7.5. Conclusiones sobre el efecto de un transmisor UWB sobre IS-136 en la banda superior.....	149
5.8. EFECTO DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR	149
5.8.1. Entorno rural	149
5.8.2. Entorno suburbano	150
5.8.3. Ciudad mediana-pequeña.....	151
5.8.4. Ciudad grande.....	152
5.8.5. Conclusiones sobre el efecto de 18 transmisores UWB sobre IS-136 en la banda superior	153
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES.....	155
BIBLIOGRAFÍA.....	159
ANEXO I: CÓDIGO GSM E IS-136	163
ANEXO II: CÓDIGO UMTS.....	172

Índice de Tablas

	Página
TABLA 2.1. FACTORES DE PÉRDIDAS SEGÚN EL TIPO DE EDIFICIO	13
TABLA 2.2. FACTORES DE PÉRDIDAS SEGÚN EL TIPO DE MATERIAL EMPLEADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO.....	14
TABLA 2.3. FACTORES DE PÉRDIDAS SEGÚN EL NÚMERO DE PLANTAS DE DISTANCIA EN LA COMUNICACIÓN ENTRE TRANSMISOR Y RECEPTOR.....	14
TABLA 2.4. FACTORES DE PÉRDIDAS SEGÚN LA FRECUENCIA DE TRABAJO.....	15
TABLA 3.1. BANDAS DE FRECUENCIAS GSM	23
TABLA 3.2. VARIACIÓN DEL RADIO DE TRABAJO EN GSM-900 BAJO LA INTERFERENCIA DE UN ÚNICO TRANSMISOR UWB EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO	51
TABLA 3.3. RADIOS DE TRABAJO DE GSM-900 PARA EL ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA ANTE LA INTERFERENCIA DE UN TRANSMISOR UWB EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE POTENCIA	59
TABLA 3.4. RADIOS DE TRABAJO DE GSM-900 PARA EL ENTORNO DE CIUDAD GRANDE ANTE LA INTERFERENCIA DE UN TRANSMISOR UWB EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE POTENCIA	61
TABLA 4.1. BANDAS DE FRECUENCIAS PARA UMTS-2100	89
TABLA 4.2. BANDAS DE FRECUENCIAS PARA UMTS-2600	90
TABLA 4.3. BANDAS DE FRECUENCIAS PARA UMTS-450	90
TABLA 4.4. RADIO DE TRABAJO DE SISTEMAS UMTS-2600 PARA 4 ENTORNOS ANTE LA INTERFERENCIA DE UN TRANSMISOR UWB CUANDO LA DISTANCIA ENTRE ÉSTE Y EL RECEPTOR UMTS-2600 ES DE UN METRO.	115
TABLA 4.5. RADIO DE TRABAJO DE SISTEMAS UMTS-2600 PARA 4 ENTORNOS ANTE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB CUANDO LA DISTANCIA ENTRE ÉSTOS Y EL RECEPTOR UMTS-2600 ES DE UN METRO.	116
TABLA 5.1. BANDAS DE FRECUENCIAS DE TRABAJO DE IS-136.....	130
TABLA 6.1. RESUMEN CON TODAS LAS BANDAS Y FRECUENCIAS UTILIZADAS, DENSIDADES ESPECTRALES DE POTENCIA FCC Y RECOMENDADA Y RADIOS OBTENIDOS CON AMBAS DENSIDADES PARA TODOS LOS CASOS.	155

Índice de Figuras

	Página
FIGURA 1.1. MÁSCARA DE DENSIDAD DE POTENCIA DE EMISIÓN RECOMENDADA POR LA FCC PARA INTERIORES.....	5
FIGURA 1.2. MÁSCARA DE DENSIDAD DE POTENCIA DE EMISIÓN RECOMENDADA POR LA FCC PARA EXTERIORES.....	6
FIGURA 1.3. NUEVAS MÁSCARAS DE EMISIÓN DE DENSIDAD DE POTENCIA PARA UWB PARA INTERIORES Y EXTERIORES RECOMENDADAS POR LA CEPT.....	8
FIGURA 1.4. DIVISIÓN DEL ESPECTRO EN CANALES PARA LA MODULACIÓN OFDM.....	9
FIGURA 2.1. REFLEXIÓN.....	11
FIGURA 2.2. DISPERSIÓN.....	11
FIGURA 2.3. ABSORCIÓN.....	11
FIGURA 2.4. DIFRACCIÓN.....	11
FIGURA 2.5. DIFRACCIÓN MÚLTIPLE.....	11
FIGURA 2.6. EFECTOR GUÍA DE ONDA.....	11
FIGURA 2.7. MODELO DE RAYOS.....	17
FIGURA 3.1. EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE USUARIOS GSM.....	20
FIGURA 3.2. ESCENARIO DE INTERFERENCIA UWB SOBRE GSM.....	24
FIGURA 3.3. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -41.3$ dBM/MHz).....	29
FIGURA 3.4. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -41.3$ dBM/MHz).....	29
FIGURA 3.5. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBM/MHz).....	30
FIGURA 3.6. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBM/MHz).....	31
FIGURA 3.7. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -91.8$ dBM/MHz).....	32
FIGURA 3.8. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -91.8$ dBM/MHz).....	32
FIGURA 3.9. GRÁFICA AMPLIADA DEL EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -91.8$ dBM/MHz).....	33
FIGURA 3.10. GRÁFICA AMPLIADA DEL EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -91.8$ dBM/MHz).....	33
FIGURA 3.11. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -41.3$ dBM/MHz).....	35
FIGURA 3.12. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -41.3$ dBM/MHz).....	35
FIGURA 3.13. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBM/MHz).....	36
FIGURA 3.14. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBM/MHz).....	36
FIGURA 3.15. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -91.8$ dBM/MHz).....	37

FIGURA 3.16. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8$ dBM/MHz)	38
FIGURA 3.17. GRÁFICA AMPLIADA DEL EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8$ dBM/MHz)	38
FIGURA 3.18. GRÁFICA AMPLIADA DEL EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8$ dBM/MHz)	39
FIGURA 3.19. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -41,3$ dBM/MHz)	40
FIGURA 3.20. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -41,3$ dBM/MHz)	40
FIGURA 3.21. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBM/MHz)	41
FIGURA 3.22. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBM/MHz)	41
FIGURA 3.23. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8$ dBM/MHz)	42
FIGURA 3.24. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8$ dBM/MHz)	42
FIGURA 3.25. GRÁFICA AMPLIADA DEL EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8$ dBM/MHz)	43
FIGURA 3.26. GRÁFICA AMPLIADA DEL EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8$ dBM/MHz)	43
FIGURA 3.27. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -41,3$ dBM/MHz)	44
FIGURA 3.28. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -41,3$ dBM/MHz)	45
FIGURA 3.29. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBM/MHz)	46
FIGURA 3.30. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBM/MHz)	46
FIGURA 3.31. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8$ dBM/MHz)	47
FIGURA 3.32. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8$ dBM/MHz)	47
FIGURA 3.33. GRÁFICA AMPLIADA DEL EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8$ dBM/MHz)	48
FIGURA 3.34. GRÁFICA AMPLIADA DEL EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8$ dBM/MHz)	48
FIGURA 3.35. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 PARA 3 FRECUENCIAS DE LA BANDA ($P_{UWB} = -91,9$ dBM/MHz)	50

FIGURA 3.36. GRÁFICA AMPLIADA DEL EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 PARA 3 FRECUENCIAS DE LA BANDA ($P_{UWB} = -91,9$ dBm/MHz)	50
FIGURA 3.37. GRÁFICA AMPLIADA DEL EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 PARA 3 FRECUENCIAS DE LA BANDA ($P_{UWB} = -120$ dBm/MHz)	51
FIGURA 3.38. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -41,3$ dBm/MHz)	52
FIGURA 3.39. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBm/MHz)	53
FIGURA 3.40. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -93,6$ dBm/MHz)	53
FIGURA 3.41. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -93,6$ dBm/MHz)	54
FIGURA 3.42. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -41,3$ dBm/MHz)	55
FIGURA 3.43. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBm/MHz)	55
FIGURA 3.44. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -93,6$ dBm/MHz)	56
FIGURA 3.45. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -93,6$ dBm/MHz)	56
FIGURA 3.46. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -41,3$ dBm/MHz)	57
FIGURA 3.47. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBm/MHz)	58
FIGURA 3.48. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -93,6$ dBm/MHz)	58
FIGURA 3.49. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -93,6$ dBm/MHz)	59
FIGURA 3.50. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -41,3$ dBm/MHz)	60
FIGURA 3.51. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBm/MHz)	60
FIGURA 3.52. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -93,6$ dBm/MHz)	61
FIGURA 3.53. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-900 ($P_{UWB} = -93,6$ dBm/MHz)	62
FIGURA 3.54. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE LA CAPACIDAD DEL CANAL DESCENDENTE DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO RURAL A LO LARGO DEL TIEMPO ($P_{UWB} = -93,6$ dBm/MHz)	63
FIGURA 3.55. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE LA CAPACIDAD DEL CANAL DESCENDENTE DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO SUBURBANO A LO LARGO DEL TIEMPO ($P_{UWB} = -93,6$ dBm/MHz)	63

FIGURA 3.56. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE LA CAPACIDAD DEL CANAL DESCENDENTE DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA A LO LARGO DEL TIEMPO ($P_{UWB} = -93,6$ dBM/MHz).....	64
FIGURA 3.57. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE LA CAPACIDAD DEL CANAL DESCENDENTE DE SISTEMAS GSM-900 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE A LO LARGO DEL TIEMPO ($P_{UWB} = -93,6$ dBM/MHz).....	64
FIGURA 3.58. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -53,3$ dBM/MHz).....	66
FIGURA 3.59. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -70$ dBM/MHz).....	67
FIGURA 3.60. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -86$ dBM/MHz).....	67
FIGURA 3.61. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -86$ dBM/MHz).....	68
FIGURA 3.62. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -53,3$ dBM/MHz).....	69
FIGURA 3.63. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -70$ dBM/MHz).....	69
FIGURA 3.64. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -86$ dBM/MHz).....	70
FIGURA 3.65. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -86$ dBM/MHz).....	70
FIGURA 3.66. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -53,3$ dBM/MHz).....	71
FIGURA 3.67. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -70$ dBM/MHz).....	72
FIGURA 3.68. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -86$ dBM/MHz).....	73
FIGURA 3.69. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -86$ dBM/MHz).....	73
FIGURA 3.70. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -53,3$ dBM/MHz).....	74
FIGURA 3.71. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -70$ dBM/MHz).....	75
FIGURA 3.72. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -86$ dBM/MHz).....	75
FIGURA 3.73. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -86$ dBM/MHz).....	76
FIGURA 3.74. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -53,3$ dBM/MHz).....	77
FIGURA 3.75. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -87,8$ dBM/MHz).....	77

FIGURA 3.76. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -53,3$ dBM/MHz).....	78
FIGURA 3.77. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -87,8$ dBM/MHz).....	78
FIGURA 3.78. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -53,3$ dBM/MHz)	79
FIGURA 3.79. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -87,8$ dBM/MHz)	79
FIGURA 3.80. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -53,3$ dBM/MHz)	80
FIGURA 3.81. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL USUARIO GSM-1800 ($P_{UWB} = -87,8$ dBM/MHz)	80
FIGURA 3.82. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE LA CAPACIDAD DEL CANAL DESCENDENTE DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO RURAL A LO LARGO DEL TIEMPO ($P_{UWB} = -87,8$ dBM/MHz)	81
FIGURA 3.83. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE LA CAPACIDAD DEL CANAL DESCENDENTE DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO SUBURBANO A LO LARGO DEL TIEMPO ($P_{UWB} = -87,8$ dBM/MHz).....	82
FIGURA 3.84. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE LA CAPACIDAD DEL CANAL DESCENDENTE DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA A LO LARGO DEL TIEMPO ($P_{UWB} = -87,8$ dBM/MHz).....	82
FIGURA 3.85. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE LA CAPACIDAD DEL CANAL DESCENDENTE DE SISTEMAS GSM-1800 EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE A LO LARGO DEL TIEMPO ($P_{UWB} = -87,8$ dBM/MHz).....	83
FIGURA 4.1. ASIGNACIÓN Y USO DE BANDAS DE FRECUENCIA EN EUROPA, EE.UU. Y JAPÓN.....	85
FIGURA 4.2. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE LA CAPACIDAD DEL CANAL NORMALIZADO DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3$ dBM/MHz)	95
FIGURA 4.3. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO NORMALIZADO DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3$ dBM/MHz)	95
FIGURA 4.4. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	96
FIGURA 4.5. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3$ dBM/MHz)	96
FIGURA 4.6. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	97
FIGURA 4.7. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3$ dBM/MHz)	97
FIGURA 4.8. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	98
FIGURA 4.9. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3$ dBM/MHz)	98
FIGURA 4.10. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	99

FIGURA 4.11. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3$ dBM/MHz)	99
FIGURA 4.12. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	100
FIGURA 4.13. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -88$ dBM/MHz)	101
FIGURA 4.14. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	101
FIGURA 4.15. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -88$ dBM/MHz)	102
FIGURA 4.16. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz).....	102
FIGURA 4.17. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -88$ dBM/MHz).....	103
FIGURA 4.18. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	103
FIGURA 4.19. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA DATOS EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -88$ dBM/MHz)	104
FIGURA 4.20. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA VOZ EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	105
FIGURA 4.21. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA VOZ EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3$ dBM/MHz)	106
FIGURA 4.22. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA VOZ EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	106
FIGURA 4.23. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA VOZ EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3$ dBM/MHz)	107
FIGURA 4.24. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA VOZ EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	107
FIGURA 4.25. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA VOZ EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3$ dBM/MHz)	108
FIGURA 4.26. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA VOZ EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	108
FIGURA 4.27. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA VOZ EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3$ dBM/MHz)	109
FIGURA 4.28. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA VOZ EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	110
FIGURA 4.29. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA VOZ EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -88$ dBM/MHz)	110
FIGURA 4.30. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA VOZ EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	111

FIGURA 4.31. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA VOZ EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -88$ dBM/MHz)	111
FIGURA 4.32. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA VOZ EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz).....	112
FIGURA 4.33. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA VOZ EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -88$ dBM/MHz).....	112
FIGURA 4.34. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA VOZ EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	113
FIGURA 4.35. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2100 PARA VOZ EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-2100 ($P_{UWB} = -88$ dBM/MHz)	113
FIGURA 4.36. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2600 PARA DATOS PARA LOS 4 ENTORNOS EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE POTENCIA DEL EMISOR UWB	116
FIGURA 4.37. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-2600 PARA DATOS PARA LOS 4 ENTORNOS EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE POTENCIA DEL EMISOR UWB.....	117
FIGURA 4.38. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-450 PARA DATOS EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-450 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	119
FIGURA 4.39. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-450 PARA DATOS EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-450 ($P_{UWB} = -101,4$ dBM/MHz)	119
FIGURA 4.40. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-450 PARA DATOS EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-450 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	120
FIGURA 4.41. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-450 PARA DATOS EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-450 ($P_{UWB} = -101,4$ dBM/MHz)	120
FIGURA 4.42. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-450 PARA DATOS EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-450 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz).....	121
FIGURA 4.43. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-450 PARA DATOS EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-450 ($P_{UWB} = -101,4$ dBM/MHz).....	121
FIGURA 4.44. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-450 PARA DATOS EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-450 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	122
FIGURA 4.45. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-450 PARA DATOS EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-450 ($P_{UWB} = -101,4$ dBM/MHz)	122
FIGURA 4.46. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-450 PARA VOZ EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-450 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	123
FIGURA 4.47. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-450 PARA VOZ EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-450 ($P_{UWB} = -101,4$ dBM/MHz)	124
FIGURA 4.48. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-450 PARA VOZ EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-450 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	124
FIGURA 4.49. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-450 PARA VOZ EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-450 ($P_{UWB} = -101,4$ dBM/MHz)	125
FIGURA 4.50. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-450 PARA VOZ EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-450 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz).....	125

FIGURA 4.51. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-450 PARA VOZ EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-450 ($P_{UWB} = -101,4$ dBM/MHz).....	126
FIGURA 4.52. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-450 PARA VOZ EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-450 ($P_{UWB} = -51,3$ dBM/MHz)	126
FIGURA 4.53. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS UMTS-450 PARA VOZ EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO UMTS-450 ($P_{UWB} = -101,4$ dBM/MHz)	127
FIGURA 5.1. ESCENARIO BÁSICO DE INTERFERENCIA DE TRANSMISORES UWB SOBRE RECEPTORES IS-136 EN INTERIORES	131
FIGURA 5.2. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -41,3$ dBM/MHz).....	135
FIGURA 5.3. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -92,5$ dBM/MHz).....	135
FIGURA 5.4. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -41,3$ dBM/MHz).....	136
FIGURA 5.5. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -92,5$ dBM/MHz).....	136
FIGURA 5.6. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -41,3$ dBM/MHz)	137
FIGURA 5.7. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -92,5$ dBM/MHz)	137
FIGURA 5.8. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -41,3$ dBM/MHz)	138
FIGURA 5.9. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -92,5$ dBM/MHz).....	138
FIGURA 5.10. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN FUNCIÓN DEL ENTORNO ($P_{UWB} = -41,3$ dBM/MHz)	139
FIGURA 5.11. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -41,3$ dBM/MHz).....	140
FIGURA 5.12. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -94,3$ dBM/MHz).....	140
FIGURA 5.13. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -41,3$ dBM/MHz).....	141
FIGURA 5.14. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -94,3$ dBM/MHz)	141
FIGURA 5.15. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -41,3$ dBM/MHz)	142
FIGURA 5.16. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -94,3$ dBM/MHz)	142
FIGURA 5.17. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -41,3$ dBM/MHz)	143

FIGURA 5.18. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -94,3$ dBM/MHz)	143
FIGURA 5.19. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA INFERIOR EN FUNCIÓN DEL ENTORNO ($P_{UWB} = -41,3$ dBM/MHz).....	144
FIGURA 5.20. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -53,3$ dBM/MHz).....	145
FIGURA 5.21. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -85,5$ dBM/MHz).....	145
FIGURA 5.22. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -53,3$ dBM/MHz).....	146
FIGURA 5.23. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -85,5$ dBM/MHz).....	146
FIGURA 5.24. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -53,3$ dBM/MHz).....	147
FIGURA 5.25. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -85,5$ dBM/MHz).....	147
FIGURA 5.26. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -53,3$ dBM/MHz).....	148
FIGURA 5.27. EFECTO DE LA INTERFERENCIA UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -85,5$ dBM/MHz).....	148
FIGURA 5.28. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -53,3$ dBM/MHz).....	149
FIGURA 5.29. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR EN ENTORNO RURAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -87,3$ dBM/MHz).....	150
FIGURA 5.30. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -53,3$ dBM/MHz).....	150
FIGURA 5.31. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR EN ENTORNO SUBURBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -87,3$ dBM/MHz).....	151
FIGURA 5.32. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -53,3$ dBM/MHz).....	151
FIGURA 5.33. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR EN ENTORNO DE CIUDAD MEDIANA-PEQUEÑA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -87,3$ dBM/MHz).....	152
FIGURA 5.34. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -53,3$ dBM/MHz).....	152
FIGURA 5.35. EFECTO DE LA INTERFERENCIA DE 18 TRANSMISORES UWB SOBRE EL RADIO DE TRABAJO REAL DE SISTEMAS IS-136 EN LA BANDA SUPERIOR EN ENTORNO DE CIUDAD GRANDE EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL USUARIO IS-136 ($P_{UWB} = -87,3$ dBM/MHz).....	153
FIGURA 6.1. MÁSCARA DE EMISIÓN DE DENSIDAD DE POTENCIA UWB RECOMENDADA TRAS LA FINALIZACIÓN DE NUESTRO ESTUDIO	157

Glosario

AM (Amplitud Modulada) modulación consistente en variar la amplitud de la señal portadora en función de la señal que se quiere transmitir.

AMPS (Advanced Mobile Phone System) Sistema Telefónico Móvil Avanzado. Se usó por primera vez en los EE.UU. en las comunicaciones móviles de primera generación analógicas.

D-AMPS (Digital AMPS) es una evolución digital para adaptar los terminales y recursos existentes a las nuevas generaciones digitales.

CEPT (Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications) es un organismo internacional dónde se reúnen las entidades responsables de cada país de las comunicaciones postales y telecomunicaciones.

EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) es un paso intermedio entre los sistemas de 2ª generación y los de 3ª como UMTS. Introduce un nuevo esquema de modulación, 8 PSK y diferentes formas de codificación de datos por la protección contra errores.

FAF (Floor Attenuation Factor) Factor de Atenuación entre Pisos. Es el factor que nos define cuántas pérdidas vamos a tener al atravesar desde un piso a otro en un edificio con la comunicación desde emisor a receptor.

FCC (Federal Communications Commission) Comisión Federal de las Comunicaciones. Es el organismo internacional encargado de asignar y regular el espectro radioeléctrico.

FDMA (Frequency Division Multiple Access) Acceso múltiple por división de frecuencias. Es una técnica usada principalmente en GSM que divide el ancho de banda por frecuencias uniformemente.

GPRS (General Packet Radio Service) es un servicio general de paquetes por radio con una técnica de conmutación de paquetes que emplea una codificación reducida del canal para alcanzar una velocidad neta de 14,4 kbit/s por ranura de tiempo, consiguiendo un caudal máximo de 115 kbit/s.

GSM (Global System for Mobile Communication) Sistema digital de comunicaciones móviles de 2ª generación. En un principio desarrollado para las comunicaciones en Europa, pero hoy en día está extendido por todo el mundo.

HSCSD (High Speed Circuit-Switched Data) es un desarrollo de conmutación de circuitos de alta velocidad que proporciona mayor velocidad en la transmisión de datos desde el móvil. El aumento de velocidad se consigue utilizando simultáneamente varios intervalos temporales de la portadora y permite conseguir un flujo de datos cercano a los 100 kbit/s.

IS-136 (Interim Standard 136) estándar móvil dual basado en tecnología TDMA. Fue una mejora del estándar existente IS-54 para equiparar los servicios ofrecidos por GSM en otros continentes.

ISDN (Integrated Services Digital Network) o también conocido como RDSI: Red Digital de Servicios Integrados, es una red más evolucionada de la red original telefónica que permite comunicaciones digitales entre extremos.

LOS (Line of Sight) Utilizado en las comunicaciones, es una forma de decir que tenemos visión directa desde el receptor al transmisor y que no hay elementos de por medio.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales. Es un tipo de modulación basado en la modulación QAM y PSK.

OPM (Orthogonal Pulse Modulation) Modulación de Pulsos Ortogonales. Método de modulación muy usado en transmisiones UWB basado en el uso de formas de pulsos ortogonales entre si.

PCM (Pulse-Code Modulation) Modulación por impulsos codificados. Es una de las modulaciones utilizadas para hacer la digitalización en bits de señales analógicas.

PCTH (Pseudo Chaotic Time Hopping) Es una forma de modulación pseudo caótica a través de saltos en el tiempo; muy usada en tecnología UWB.

RF (Radiofrecuencia) hace referencia a la parte del espectro electromagnético en el que se pueden transmitir ondas electromagnéticas para las comunicaciones.

Sistemas de segunda generación conocidos como sistemas 2G, es el conjunto de protocolos que dio paso a los sistemas digitales dejando a parte los existentes analógicos de 1ª generación. Entre ellos se pueden incluir: GSM, DCS-1800, PCS-1900, iDEN, D-AMPS, CDMAone, PDC

Sistemas 2,5G es el conjunto de protocolos intermedios creados para pasar de los sistemas 2G a los 3G. Los dos principales son: GPRS y EDGE.

Sistemas de tercera generación, son los sistemas mejorados con ayuda de los sistemas 2,5G que permiten transmisión tanto de voz como de datos. Hoy en día tenemos: W-CDMA (UMTS y FOMA), DCMA2000, TD-SCDMA.

Servicio de telecomunicación es un conjunto de medios (físicos y lógicos) operados y gestionados por un operador de red o proveedor del servicio, a disposición de los usuarios, con unas normas de acceso y utilización, que satisfagan las necesidades de telecomunicación del cliente.

SMS (Short Message Service) es el servicio ampliamente conocido de mensajería corta para móviles.

SNR (Signal to Noise Ratio) es la relación entre la potencia de la señal y aquella del ruido que nos llega. Nos define el valor mínimo de la señal que tenemos que recibir para que se pueda separar correctamente del ruido.

TDMA (Time Division Multiple Access) Acceso múltiple por división en el tiempo, consiste en dividir el espectro frecuencial en ranuras temporales para permitir que más usuarios puedan comunicarse a la vez o para dar más velocidad a una misma comunicación.

VoIP (Voice over Internet Protocol) Es el grupo de recursos que permiten establecer comunicaciones de voz sobre Internet utilizando el protocolo IP.

VPN (Virtual Private Network), en términos básicos, la Red Privada Virtual, es una extensión de la red local a través de Internet, proveyendo seguridad en las redes no controladas.

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) Sistema de 3^a generación creado con el objetivo de sustituir a los sistemas anteriores de 2^a generación. Permite la conexión a Internet desde el terminal remoto a gran velocidad.

UWB (Ultra Wide Band) Frecuencia de modulación radio basada en la transmisión de cortos impulsos. El ancho de banda utilizado tiene que ser mayor al 25 % de la frecuencia central de trabajo o mayor de 500 MHz.

Capítulo 0: Introducción

0.1. Motivación

La aparición de nuevas tecnologías surge de manera consecuente con los cambios y necesidades que tiene la sociedad para poder transmitir la información. A lo largo de la historia se ha cambiado muchas veces del tipo, tecnología y protocolos de transmisión usados. A veces el cambio se ha dado porque se quería transmitir una mayor cantidad de información en el menor tiempo posible, y otras veces porque se deseaba crear una forma más adaptada al entorno. De esta forma ha surgido la tecnología UWB (Ultra Wide Band). En ella se pretende conseguir un transmisor y receptor móvil lo más discretos posible y con un consumo de potencia mínimo. Utilizando la banda de frecuencias asignada se consigue transmitir gran cantidad de información.

Las mejoras que trae implícitas el nuevo sistema hará que en pocos años otras de las tecnologías hoy en día en uso desaparezcan y den paso a la más nueva, como es el caso del Bluetooth, uno de los candidatos con más puntos para desaparecer.

0.2. Objetivos

El principal objetivo de este proyecto es hacer un estudio de la variación del radio de trabajo cuando se produce una interferencia por otras tecnologías sobre la misma banda de radiofrecuencia.

Cuando tenemos varios emisores y receptores en zonas de influencia cercanas, comprobamos que los resultados obtenidos no son los esperados en los cálculos teóricos. Tendremos que tener en cuenta, por lo tanto, los distintos factores que pueden hacer que nuestra señal se deteriore. Por ejemplo, a parte de todos los condicionantes atmosféricos, tenemos también fuentes radioeléctricas como las estaciones eléctricas, antenas de televisión y en general cualquier fuente que pueda distorsionar el campo electromagnético el cual vamos a usar para poder transmitir nuestra señal. En nuestro caso nos va a importar más la potencia con la que emiten varios dispositivos en la misma frecuencia que el resto de interferencias.

El estudio se puede hacer desde dos puntos de vista principalmente; para el caso cercano y lejano, es decir, en interiores y exteriores. Dado que los sistemas de UWB se diseñan para poder transmitir ráfagas de información esporádicamente a lo largo del

tiempo, nos va a interesar que en los elementos que se instalen los dispositivos emisores no sean notorios respecto al cuerpo donde se unan y además que la fuente de energía que usen dure el mayor tiempo posible de forma autónoma. Viendo el estudio desde un punto de vista práctico nos interesa estudiar el caso de interiores que será donde se instalen todo tipo de sensores, ya sea de movimiento, de variables atmosféricas (temperatura, humedad, etc.). Nos interesa también el caso de movernos en un vehículo ya que este caso nos aporta información de forma inalámbrica de las variables exteriores como podría ser la distancia. Pero incluso este caso lo podemos considerar de interior, pues la visión desde el transmisor UWB al receptor sobre el que se hace interferencia es una distancia de visión directa y muy corta.

El estudio en interiores de edificios y vehículos nos limita la variable distancia a unos pocos metros. En ningún caso nos interesa hacer un estudio de la influencia que tiene una antena UWB a más de diez metros porque esto significaría que la antena UWB emite con mucha potencia. En general, vamos a estudiar todo el entorno a 2 metros de distancia desde el emisor UWB y veremos como a medida que nos alejamos de dicho emisor la atenuación producida sobre los otros emisores, que nos interesan, disminuye. Las interferencias respecto al emisor deseado estarán agravadas por los muros y obstáculos presentes en interiores de edificios, tanto de viviendas como de oficinas o superficies comerciales. Estos obstáculos junto con la potencia máxima de emisión de la tecnología deseada (GSM, UMTS, IS-136) nos obligan a restringir la densidad potencia de emisión de la antena UWB fuera de la banda permitida.

El estudio en interiores incluye la recepción de la señal en el interior de edificios de grandes urbes, de zonas suburbanas, zonas de baja densidad de población y zonas rurales.

El estudio en vehículos no contendría tales atenuaciones producidas por los muros, pero entrarían en juego otras atenuaciones producidas por el rápido movimiento y la baja potencia que se puede recibir en zonas poco habitadas, por lo tanto este caso no se va a ver.

0.3. Estructura

El proyecto se divide en 6 capítulos. El primero de ellos es una introducción a la tecnología UWB para tener conocimiento de sus principios de funcionamiento y funcionalidades prácticas para las que se ha desarrollado. No entramos en detalle puesto que su funcionamiento no es el objetivo. En el capítulo 2 se introducen los conceptos de propagación junto con las pérdidas que la gobiernan y los varios modelos de cálculo de

propagación de señales. Seguidamente, en el capítulo 3 empiezan los cálculos de interferencia con un sistema bajo estudio, el GSM. Se estudia el efecto sobre sistemas GSM, tanto GSM-900 como GSM-1800 en los distintos entornos. En el capítulo 4 se muestran los mismos cálculos para UMTS-450, UMTS-2100 y UMTS-2600, para voz y para datos, haciendo hincapié en UMTS-2100 dado que es el considerado más importante. En el siguiente capítulo número 5 se continúa con el estudio de IS-136 de la misma manera que en los anteriores. Y por último, en el capítulo 6 se sacan las conclusiones precisas que nos permiten dibujar la nueva máscara con la máxima densidad espectral de potencia con la que deberían emitir los transmisores UWB en presencia de otros receptores móviles.

En cada uno de los casos se estudia el efecto producido por un solo transmisor y también bajo el efecto de 18 transmisores emitiendo simultáneamente. Asimismo, en el caso de GSM-900 se muestra el efecto que tiene trabajar en la frecuencia más baja y alta de la banda posible de funcionamiento.

Adjunto, al final se pueden encontrar los anexos con el código escrito en MATLAB para la generación de la mayoría de las gráficas y obtención de los radios de trabajo.

Capítulo 1: Sistemas UWB

1.1. Introducción

Cuando la Comisión Federal de las Comunicaciones (FCC: Federal Communications Commission) concedió el uso de un fragmento del espectro de banda para transmisiones tipo UWB sin licencia, también impuso dos condiciones simples que tenían que cumplir todos los dispositivos que usasen esta banda con la tecnología indicada.

1. Los dispositivos no deben causar interferencias dañinas.¹
2. Estos dispositivos deben aceptar cualquier interferencia recibida incluyendo las interferencias que pueda causar un mal funcionamiento.²

A parte de estas dos reglas generales se considera además una tercera para los dispositivos UWB:

3. Baja emisión de potencia con el objetivo de optimizar el uso del espectro y no molestar a los canales o comunicaciones adyacentes.

La banda de la que hablamos está alojada entre los 3,1GHz y los 10,6GHz, siendo el total de 7,5GHz de ancho de espectro, la cual después de muchos años de intentos, fue concedida en febrero de 2002 por la mencionada FCC.

En las siguientes figuras vemos la máscara inicialmente propuesta por la comisión.

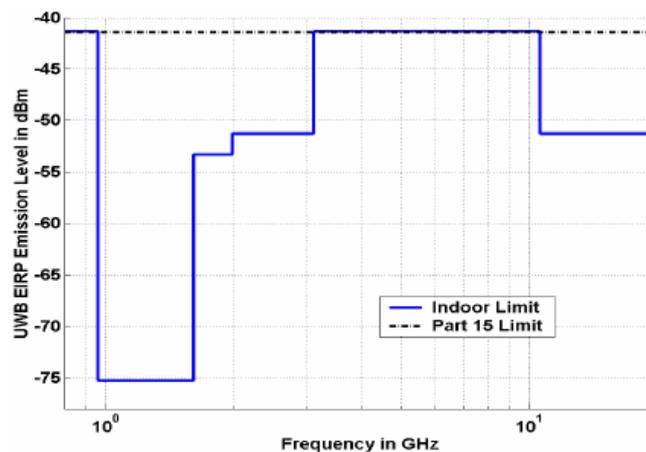


Figura 1.1. Máscara de densidad de potencia de emisión recomendada por la FCC para interiores

¹ Las interferencias dañinas se definen como aquellas que pueden degradar, obstruir o interrumpir repetidamente un servicio de comunicación por radio.

² Se quiere decir con ello que todo dispositivo creado para trabajar en una región de espectro libre tienen que estar preparados para coexistir en un medio incontrolado y fácilmente alterable.

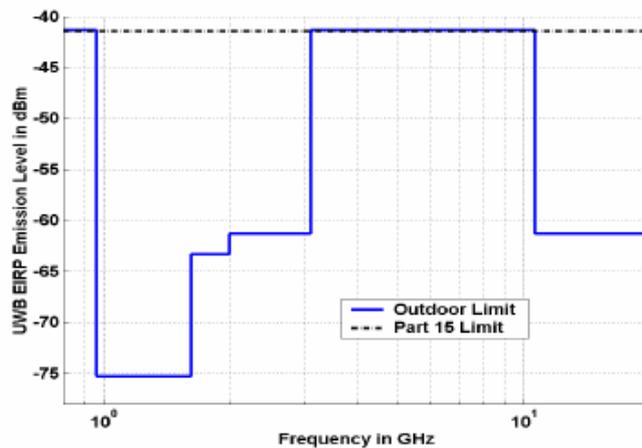


Figura 1.2. Máscara de densidad de potencia de emisión recomendada por la FCC para exteriores

UWB está definido por la FCC como cualquier esquema de comunicaciones inalámbricas que ocupa una parte fraccional del ancho de banda superior al 20 % respecto a la frecuencia central, es decir:

$$\frac{BW}{f_c} \geq 20\% \text{ o que ocupe más de 500 MHz de ancho de banda absoluto.}$$

banda absoluto.

Las razones principales por las que se adoptó un esquema multibanda fueron:

- ❖ Flexibilidad y agilidad en el espectro que permiten la coexistencia con otros servicios existentes.
- ❖ La energía recibida en el RAKE aumenta con pulsos más anchos, por lo que se requieren menos ramas en el RAKE
- ❖ El reducido ancho de banda obtenido después de la conversión a baja frecuencia hace que la potencia consumida sea menor y los requisitos del receptor no sean tan estrictos.
- ❖ Las soluciones totalmente digitales para el procesamiento de la señal son más factibles que las soluciones en banda única considerando el mismo ancho de banda.
- ❖ Los pulsos largos son más fáciles de sintetizar y sufren menor distorsión en los circuitos integrados y antenas.
- ❖ Es capaz de utilizar el modo FDMA en los entornos más duros de comunicación.

Aunque, como en toda nueva tecnología, la implementación de un esquema de pulsos multibanda fue un gran reto, principalmente por el desarrollo de circuitos analógicos y de RF y también por los conversores analógicos digitales para procesar la señal que resultaban en un alto consumo de energía. Obtener la energía suficiente en entornos multitrayecto requiere un gran número de ramas para el RAKE. También los esquemas OFDM multibanda usados, aunque mejoran la recepción de energía en los módulos del RAKE, necesitan la implementación de una transformada inversa de Fourier (IFFT) en el transmisor haciéndolos más complicados de diseñar.

1.2. Beneficios y Aplicaciones

La tecnología UWB presenta muchas ventajas entre los que encontramos:

- ❖ Alta velocidad de transmisión
- ❖ Disponibilidad de transmisores y receptores de bajo coste
- ❖ Baja potencia de transmisión
- ❖ Baja interferencia

Además puede operar con la potencia suministrada por otros dispositivos que pueden hacer uso de ella como los ordenadores portátiles, las PDA y otros dispositivos móviles.

Con este conjunto de beneficios podemos pensar en múltiples usos de la tecnología. Por un lado pensaríamos en la comunicación de muchos dispositivos con uno central que los interconecte o que recoja sus datos para procesarlos y enviar órdenes. Éste podría ser el caso de un ordenador conectado a un teclado, un ratón, una impresora, un escáner, altavoces, etc. El flujo de datos con todos estos dispositivos no es muy alto, pero también podríamos tener un módem con el que nos conectásemos a Internet para la transferencia de archivos a alta velocidad. Incluso en ese caso también se podría aplicar.

Otra situación que se nos ocurre al pensar en la baja potencia consumida en la transmisión podría ser el uso en dispositivos de emergencia y sensores, los cuales no tienen que transmitir gran flujo de datos continuamente, sino que periódicamente envían la información recogida o los cambios notados de forma puntual y en ráfagas de pulsos. Esta forma de enviar información en ráfagas simula un ruido para el resto de sistemas por lo que lo hace propenso a ser usado en sistemas de alta seguridad.

Los campos de aplicación son por lo tanto muy variados: aplicaciones médicas, militares, comunicaciones entre personas, dispositivos de identificación y salvamento,

aplicaciones de domótica, logística y trazabilidad, aplicaciones de seguridad pasiva, localización y posicionamiento preciso, etc.

1.3. Otras máscaras

En un intento por regularizar las interferencias producidas por los transmisores UWB en aquellos países con tecnologías que hacían uso de frecuencias próximas a la de UWB, la CEPT (Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications) hizo un estudio de la compatibilidad existente entre la máscara propuesta por la FCC y la que realmente se debería usar. Tras las interferencias producidas sobre otros sistemas, decidieron que la potencia emitida fuera de la banda de trabajo era demasiado alta, lo que hacía disminuir el radio de trabajo de dichos sistemas de telecomunicaciones. Se decidió por tanto reducir la potencia de emisión en los laterales de una forma bastante simple. En la siguiente gráfica podemos ver las nuevas máscaras propuestas para los casos de interior y exterior.

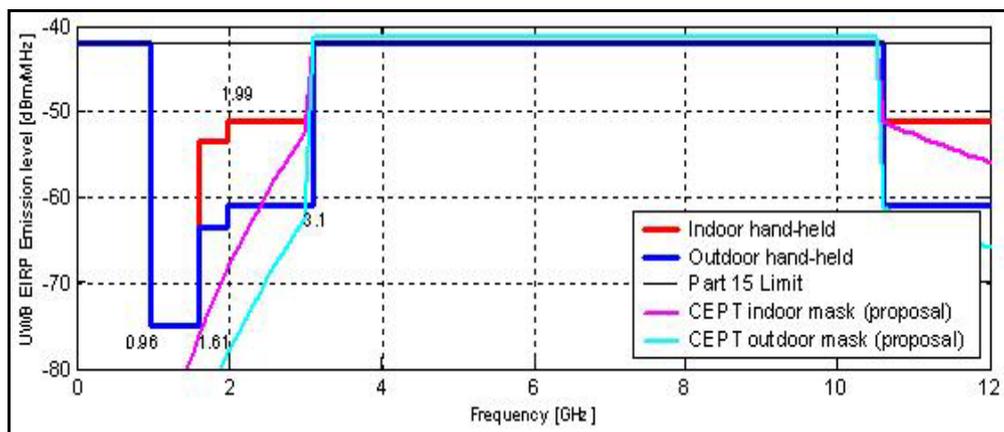


Figura 1.3. Nuevas máscaras de emisión de densidad de potencia para UWB para interiores y exteriores recomendadas por la CEPT

Las máscaras de color rojo y azul oscuro son las propuestas inicialmente por la FCC y las de color morado y azul claro las nuevas propuestas por la CEPT y aprobadas por la FCC en 2005.

Sin embargo, tras finalizar nuestro análisis particular del espectro y la interferencia producida, veremos que estos valores no son suficientes y deberían reducirse aun más.

1.4. Características técnicas

A continuación se muestra brevemente las características técnicas de la tecnología UWB.

1.4.1. Modulación

La modulación utilizada en UWB puede ser de dos tipos. Primeramente se empezó utilizando la modulación de banda única en la que cada símbolo viene representado por una serie de impulsos. Más adelante se mejoró esta técnica para dar paso a la modulación multibanda que se consigue con modulaciones multiportadora tipo OFDM. Pero también hay otras modulaciones usadas en UWB como la modulación en amplitud (AM), modulación de pulso ortogonal (OPM) y modulación de saltos pseudo caótica (PCTH). En la modulación OFDM el espectro se divide de la siguiente manera:

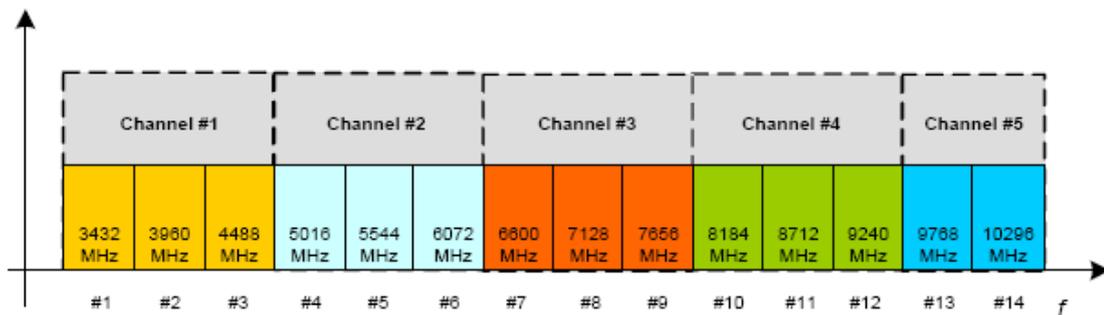


Figura 1.4. División del espectro en canales para la modulación OFDM

Habiendo un total de 14 canales OFDM de 528MHz cada uno. Los canales 2, 4 y 5 están reservados para futuras aplicaciones y el canal 1 es para los dispositivos de primera generación.

1.4.2. Capacidad de canal

El gran ancho de banda de las señales UWB incrementa el ancho teórico de manera lineal. Basándonos en el teorema de Shannon vemos que la capacidad de canal depende del ancho de la señal (BW) y de la relación señal-ruido (SNR):

$$C = BW \log_2(1 + SNR)$$

En los casos reales se puede incluir también el efecto que tiene la interferencia de otras señales. La fórmula queda entonces:

$$C = BW \log_2 \left(\frac{E}{N + \frac{N_j}{BW}} \right), \text{ siendo}$$

- N_j la densidad espectral de potencia de la señal interferente

1.4.3. Diseño de la antena

El diseño de la antena se hace bastante complicado debido al gran ancho de banda de la señal a transmitir y la linealidad requerida en la transmisión. Se pueden usar antenas existentes como: dipolos elípticos planares, Vivaldi antipodal balanceada, D-dot, TEM horn, etc. U otras que no tienen dependencia de la frecuencia, tales como: bicónica, discone, bowtie, horn, log-spiral y trapezoidal. Pero en algunas de ellas hay que corregir la dispersión de la señal debido a la variación de fase que producen.

1.4.4. Sincronización

Los cortos pulsos emitidos junto con la baja potencia utilizada dificultan la captación e identificación de la señal deseada. Para detectar correctamente la señal deseada se usa primeramente una señal piloto que nos va a indicar que la señal que se está transmitiendo proviene de nuestro emisor. A partir de esa señal se estiman de manera aproximada la ganancia, el retardo y la fase del canal con ayuda de diferentes esquemas.

La detección se puede hacer con esquemas coherentes, los cuales requieren saber la fase de canal. O también con no coherentes que no requieren saber nada más.

Capítulo 2: Propagación

2.1. Introducción

La propagación en interiores difiere de la comunicación radio tradicional en que la distancia de radio de cobertura es mucho menor y la variación en el entorno de trabajo es mayor con un pequeño cambio de posición. Esto es debido a la influencia que tienen los muros y paredes, los materiales usados, la forma del edificio y el tipo; pues no será lo mismo un edificio antiguo donde los muros son gruesos y en el que viven pocas personas o un edificio inteligente lleno de oficinas, gran cantidad de elemento radiantes y radioeléctricamente interferentes en el que trabajan muchas personas y el flujo de objetos es muy variable.

Incluso existiendo diferencias notables en el cálculo en interiores respecto al cálculo tradicional de propagación, los efectos influyentes siguen siendo los mismos:

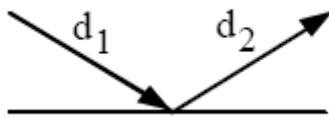


Figura 2.1. Reflexión

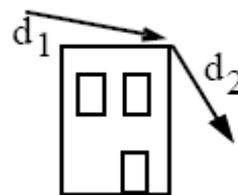


Figura 2.4 Difracción

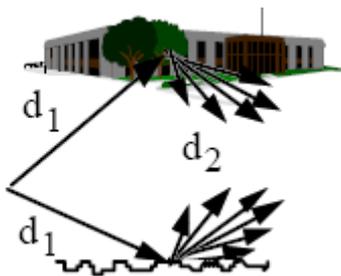


Figura 2.2. Dispersión

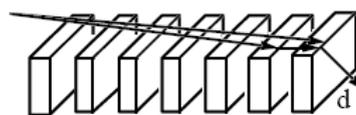


Figura 2.5. Difracción múltiple



Figura 2.3. Absorción

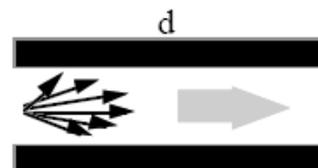


Figura 2.6. Efecto guía de onda

No sigue siendo válida, sin embargo, la forma de variar de cada uno, pues los elementos móviles dentro y fuera del edificio pueden cambiar todos los modelos. Además tenemos otros parámetros como:

Atenuación temporal: debido al movimiento de las personas y/o de los receptores.

Retardo de propagación multitrayecto: depende del tipo de edificio, del tamaño, altura y materiales empleados en su construcción. Este retardo es bastante pequeño debido a la distancia recorrida entre transmisor y receptor.

Pérdida del trayecto, suele venir dada por la siguiente fórmula y suele ser un valor pequeño dado que la distancia recorrida no es muy grande.

$$PL(d)[dBm] = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X\sigma, \text{ donde}$$

- n y σ dependen del tipo de edificio
- d es la distancia

Dirección de la antena. Dado que normalmente no son antenas ideales e isotrópicas, vamos a tener pérdidas.

2.2. Tipos de canales

Existen dos tipos de canales dentro y fuera de los edificios:

Line-of-sight (LOS), es decir, visión directa entre emisor y receptor, no hay obstáculos físicos. Las únicas atenuaciones se deben a las interferencias producidas por otras fuentes electromagnéticas o provenientes de fuentes que funcionan en la misma frecuencia.

Obstruido (OBS), con distintos tipos de obstaculización. En este caso sí que puede haber obstáculos físicos como paredes, muebles, ventanas o el suelo y techo entre plantas.

2.3. Factores de pérdidas

En las comunicaciones por radio siempre se producen pérdidas debido a muchos factores, pero no siempre nos van a afectar todas. Tenemos que ponernos siempre en la peor situación para llegar a resultados lo más fiable posible. En nuestro caso siempre vamos a establecer una comunicación con la antena base estando situados en el interior de un edificio dónde podemos encontrar los siguientes tipos de pérdidas:

2.3.1. Pérdidas interiores:

Debidas a muros y paredes

Debidas a la diferencia entre plantas

De la señal al atravesar dentro del edificio

Causadas por el mobiliario y el movimiento de las personas

Debidas al tipo de edificio

2.3.2. Pérdidas exteriores:

Por la propagación en campo abierto

Por la interferencia electromagnética de otros dispositivos

Por los condicionantes atmosféricos

En nuestro estudio no vamos a hacer un cálculo de las pérdidas que se producen, sino que vamos a tomar estos valores de experimentos hechos en otros estudios.

En las siguientes tablas se muestran algunos de los valores de pérdidas para que se pueda tener una idea más aproximada de las causas que nos limitan el radio de trabajo en los resultados de las secciones sucesivas.

Según el tipo de edificio y la frecuencia de funcionamiento:

Tabla 2.1. Factores de pérdidas según el tipo de edificio

Tipo de edificio	Frecuencia (MHz)	n	σ (dB)
Grandes superficies	914	2.2	8.7
Tienda alimentación	914	1.8	5.2
Oficina con paredes	1500	3.0	7.0
Oficina con biombos	900	2.4	9.6
Oficina con biombos	1900	2.6	14.1
Casa suburbana	900	3.0	7.0

De los primeros datos vemos como al variar el tipo de edificio la desviación típica (σ) varía considerablemente.

Según el tipo de material empleado tenemos las siguientes pérdidas:

Tabla 2.2. Factores de pérdidas según el tipo de material empleado en la construcción del edificio

Material	Pérdidas (dB)	Frecuencia (MHz)
Todo de metal	26	815
Aluminio	20.4	815
Una pared	3.9	1300
Entre plantas	20-30	1300
Esquinas de pasillos	10-15	1300
Una planta	10	1300

El tipo de material empleado en los edificios o incluso la posición dónde nos encontremos en el momento de recibir y enviar la señal, nos va a limitar la distancia de trabajo. Cuanto menos directa sea la visión entre emisor-receptor más corto será el radio de alcance.

Según el número de plantas que atravesemos:

Tabla 2.3. Factores de pérdidas según el número de plantas de distancia en la comunicación entre transmisor y receptor

Nº Plantas	FAF (dB)	Sigma (dB)
1	12.9	7.0
2	18.7	2.8
3	14.4	1.7
4	27.0	1.5

El número de plantas de distancia con la antena base es lo mismo que tener un mayor número de paredes o tener materiales más densos que no nos permiten la recepción de la señal. Con un mayor número de plantas aumenta el factor de atenuación por planta (FAF: Floor Attenuation Factor).

Según la frecuencia a la que trabajemos:

Tabla 2.4. Factores de pérdidas según la frecuencia de trabajo

Frecuencia (MHz)	Pérdida (dB)
441	16.4
896.5	11.6
1400	7.6

Aumentando la frecuencia de trabajo y encontrarnos en el mismo tipo de entorno nos provoca un aumento de pérdidas.

2.4. Modelos de propagación

2.4.1. Modelo empírico de banda estrecha

2.4.1.1. Modelo de pendiente única (One-Slope model)

Es el modelo de propagación más simple que presenta una dependencia lineal entre la pérdida de propagación y la distancia. Es un método muy fácil de usar y de implementar y las pérdidas vienen dadas por:

$$L = L_0 + 10n \cdot \log(d), \text{ donde}$$

- L_0 son las pérdidas a 1 metro de distancia del transmisor UWB
- n es el índice de propagación
- d es la distancia entre transmisor y receptor

2.4.1.2. Modelo multipared (Multi-wall model)

Este otro modelo da la pérdida en espacio libre (LOS) más la pérdida introducida por las paredes y obstáculos. La pérdida introducida por el número de plantas que se atraviesan en la comunicación no es una función lineal y viene dada por un factor b :

$$L = L_{FS} + L_C + \sum_{i=1}^I k_{wi} L_{wi} + k_f \left[\frac{k_f + 2}{k_f + 1} - b \right] L_f, \text{ donde}$$

- L_{FS} son las pérdidas de espacio libre entre transmisor y receptor
- L_C es una constante de pérdidas
- K_{wi} es el número de paredes que se atraviesan

- K_f es el número de plantas distantes
- L_{wi} es la pérdida de la pared tipo i
- L_f es la pérdida entre plantas consecutivas
- b es un parámetro empírico
- I es el número de tipos de paredes

2.4.1.3. Modelo de atenuación lineal (Linear attenuation model)

Es un modelo que asume que el exceso de pérdida depende linealmente con la distancia. Viene dado por:

$$L = L_{FS} + \alpha \cdot d, \text{ donde}$$

- α es el coeficiente de atenuación dado en (dB/m)

2.4.2. Modelo empírico de banda ancha

Los modelos de propagación de banda ancha se suelen utilizar para evaluar el retardo de propagación y el perfil del retardo de energía media (PDP), también son usados normalmente junto con las características Doppler para hacer simulaciones.

El retardo de propagación depende fuertemente de la densidad del medio, teniendo más retardo en ambientes abiertos y menos en ambientes densos.

Por otro lado, el PDP aunque depende de muchos factores suele tener un comportamiento bastante regular. En ambientes densos sigue una función potencial o exponencial y en ambiente abierto tiene un comportamiento de función potencial.

2.4.3. Modelo de fluctuaciones del tiempo

Las variaciones temporales de los canales en interiores dependen de tres mecanismos principalmente:

Posición de la antena receptora

Orientación de la antena

Movimiento de objetos

Cuanto más aislada esté la antena, mejor transmitirá. La alineación entre con el receptor también es un factor importante porque en la realidad no hay antenas que puedan transmitir en todas las direcciones por igual.

2.4.4. Modelo determinístico.

Los modelos determinísticos se usan para simular la propagación de ondas de radio. En este caso los parámetros se deben elegir de una forma más precisa que en los modelos empíricos. Existen varios modelos, pero de entre ellos el más conocido y el que vamos a usar en nuestro análisis es el modelo de HATA junto con su variación HATA-COST231 para frecuencias superiores.

2.4.4.1. Modelos de rayos (Ray launching model)

En el modelo se utilizan varios rayos en distintas direcciones lanzados desde la antena transmisora. Cada uno se divide en un rayo incidente y el rayo reflejado al incidir en la pared. A su vez, cada uno de los dos sigue distintas trayectorias y se vuelve a repetir el proceso hasta que la energía disminuye por debajo de un umbral que hemos definido con anterioridad.

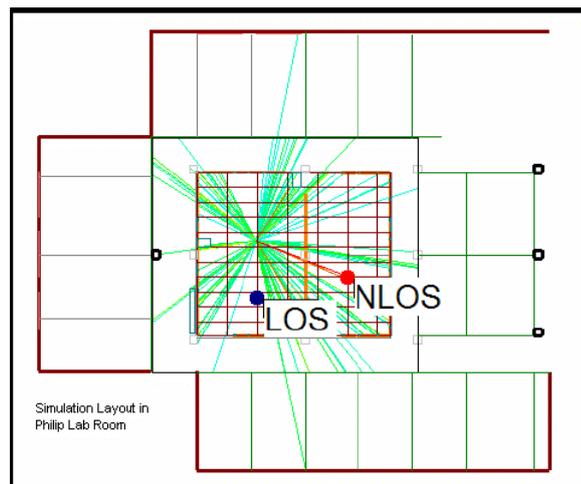


Figura 2.7. Modelo de rayos

2.4.4.2. Método de acercamiento por imágenes (Image approach method)

En el acercamiento por imágenes, se usan las imágenes de la antena transmisora que se forman en todas las superficies del entorno. Se calculan las coordenadas de todas las superficies y la trayectoria de los rayos hacia éstas. Los rayos de primer y segundo orden se pueden calcular muy rápidamente, pero cuando aumentamos el orden de rayos, el tiempo crece de forma exponencial. Es un método muy apropiado para modelos semideterminísticos.

2.4.5. Modelo de HATA

Es el modelo más utilizado cuando no se pueden determinar los parámetros del terreno de una forma precisa ni el resto de parámetros necesarios en los modelos determinísticos. Solamente 4 parámetros son necesarios: frecuencia, distancia entre transmisor y receptor, altura de la estación base y altura a la que se encuentra el receptor. Existen varias modalidades del modelo dependiendo de la frecuencia de funcionamiento principalmente. Tenemos:

2.4.5.1. HATA

Este primer modelo tiene validez dentro de los siguientes rangos:

- ✓ Frecuencia: 150... 1500 MHz
- ✓ Altura estación base: 30... 200 m
- ✓ Altura estación móvil: 1... 10 m
- ✓ Distancia: 1...20 Km.

2.4.5.2. HATA-COST231

Tiene que cumplir las mismas restricciones que el anterior salvo que la frecuencia de funcionamiento es mayor:

- ✓ Frecuencia: 1500 ... 2000 MHz

2.4.5.3. COST231-Walfish-Ikegama

A parte de todas las restricciones marcadas en HATA y HATA-COST231 hay que añadir:

- ✓ Altura de los edificios
- ✓ Anchura de las calles
- ✓ Separación entre edificios
- ✓ Orientación de la calle en relación con la dirección de propagación

Capítulo 3: Efecto de UWB sobre GSM

3.1. Introducción a los sistemas GSM

Las siglas GSM proceden originalmente de: “Groupe Spécial Mobile”, es decir “Grupo Especial Móvil”, pero hoy en día han tomado otro valor haciendo referencia a “Global System for Mobile communications”, o lo que es lo mismo “Sistema Global para las comunicaciones Móviles”.

El GSM es un estándar de carácter digital creado en 1982 con el objetivo de servir de base para las comunicaciones móviles en Europa y de ahí saltar a todo el mundo. Este objetivo se ha cumplido con creces, dado que la tecnología ha llegado a más de 212 países y territorios alrededor del planeta dando servicio a más de 2.000 millones de usuarios.

Entre las características que debía cumplir el nuevo sistema debían estar:

- ❖ Buena calidad de voz
- ❖ Interoperabilidad internacional (roaming)
- ❖ Eficiencia espectral
- ❖ Bajo coste de servicio y terminales
- ❖ Ampliable a nuevos servicios y estructuras
- ❖ Compatibilidad con ISDN
- ❖ ...

Una de las principales ventajas que ha hecho tan extenso dicho servicio es la interoperabilidad ofrecida por las compañías telefónicas a través de “roaming”. Pero esta extensión de tecnología no hubiese sido posible sin la calidad de voz digital que se ofrece así como el servicio de mensajería SMS (Short Message Service). El hecho de que las nuevas tecnologías desarrolladas acepten las ya existentes ha sido crucial para el desarrollo de nuevas prestaciones y que se pueda extender hoy en día a través de nuevas fronteras.

En la siguiente gráfica podemos ver una evolución del número de usuarios desde su aparición en 1991 hasta la previsión que se alcanzará en 2010:

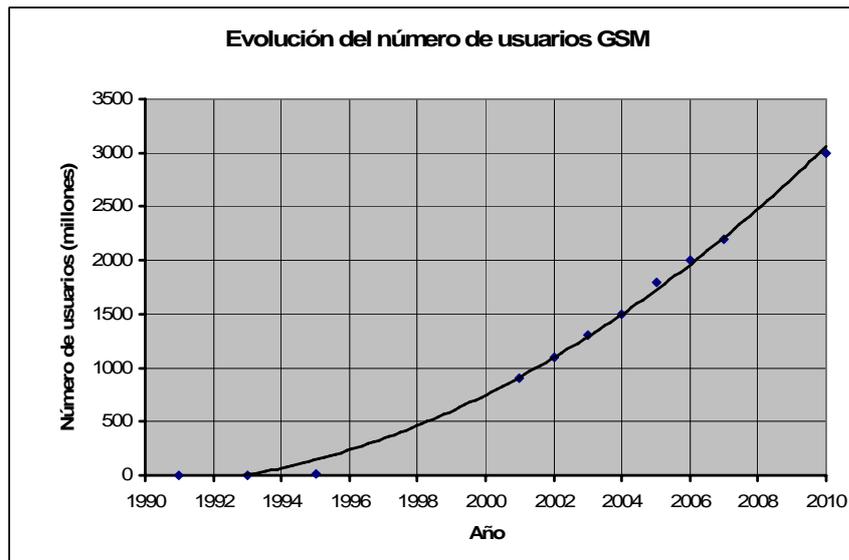


Figura 3.1. Evolución del número de usuarios GSM

A pesar de la versatilidad y potencia de la red GSM, no todo son ventajas. Desde el punto de vista de la red de transporte es un sistema con fuertes limitaciones impuestas por la tecnología de red empleada, la conmutación de circuitos. Esto hace que el caudal de bajada máximo sea de 9,6 kbit/s haciéndose ineficaz la transferencia de grandes masas de datos.

3.2. Servicios ofrecidos por GSM

GSM proporciona múltiples servicios clasificados en tres grandes grupos:

- ✓ Servicios portadores de voz y datos, entre los que se incluyen los servicios de canal vocal y canales de datos, tanto de forma transparente (caudal máximo de 9,6 kbit/s y retardo ida y vuelta en interfaz aérea de 330 ms) como no transparentes (tasa de error de bit inferior a una parte por millón)
- ✓ Servicios telemáticos: servicio telefónico, servicio de mensajes cortos SMS (Short Message Service)
- ✓ Servicios suplementarios: enriquecen los servicios anteriores, actuando sobre llamadas salientes, entrantes, terminal ocupado, control de llamada entrante, control de destino, facturación, multiconferencia y grupo cerrado de usuarios.

3.3. Factores que pueden influir en la comunicación GSM

Al igual que el resto de comunicaciones a través de un medio compartido, el estándar GSM sufre alteraciones e interferencias por parte de las condiciones circundantes como del resto de usuarios y tecnologías que se estén empleando en el área de funcionamiento. Este medio cambiante nos va a dificultar en gran parte las comunicaciones y por consiguiente tendremos que tener un sistema bien definido capaz de soportar, atenuar y eliminar toda interferencia.

Debemos tener en cuenta que el espectro electromagnético es limitado y no puede utilizarse única y exclusivamente para un solo tipo de comunicaciones. Por lo que durante las transmisiones en uno u otro estándar no se puede “molestar” a los canales vecinos.

Nos vemos obligados a tener en cuenta la banda utilizada, GSM-900 o DCS-1800 (GSM-1800), la potencia de transmisión y el medio en el que estemos.

3.3.1. Interferencia cocanal

Es la interferencia que se produce debido a la reutilización de la misma frecuencia en distintas células cercanas entre sí. La única forma de evitar esta interferencia es dejar suficiente espacio entre las estaciones base para que la atenuación del medio disminuya la señal y no llegue con intensidad fuera de su dominio.

3.3.2. Ruido térmico

Es la interferencia producida por la atmósfera en la señal que se emite, ya sea debido a las temperaturas, radiaciones electromagnéticas, lluvias, etc. La forma más fácil de superar esta interferencia es aumentar la relación señal-ruido (SNR)

3.3.3. Interferencia entre canales adyacentes

La causa de este fenómeno es básicamente debido a la no idealidad de los filtros usados en los terminales receptores. Al no tener una atenuación infinita fuera de la banda deseada, la señal del canal adyacente pasa atenuada y causa la interferencia mencionada. La mejor forma de evitarlo es hacer una asignación bien estudiada de frecuencias y no emplear frecuencias muy cercanas en celdas próximas entre sí.

3.4. Fundamentos de los sistemas GSM

Dado que toda la transmisión se va a hacer en formato digital y nuestra fuente de datos es de tipo analógica tiene que existir una conversión Analógico/Digital, la cual no puede ser muy lenta, principalmente porque nos daríamos cuenta de que algo falla y uno de los principales objetivos es sustituir la telefonía fija con la móvil pero dando más servicios y de mejor calidad. Las líneas de voz se multiplexan utilizando multiplexación de pulsos codificados (PCM) lo que nos da una tasa de 64 kbps, bastante alta para la información que se desea transmitir, pero que resulta muy fácil de implementar.

El método usado en la tecnología GSM es una combinación de TDMA (Acceso Múltiple por División en el Tiempo) y FDMA (Acceso múltiple por división en frecuencia) Con la división en frecuencia conseguimos dividir el ancho de banda usado por GSM de 25 MHz en 124 portadoras útiles de 200 KHz más una de guarda. Cada una de estas frecuencias se asigna a una o más estaciones bases y a su vez cada portadora, a través de división en frecuencia, se divide en 8 ranuras de tiempo; lo que significa tener 992 canales para la comunicación. Esta división en el tiempo nos va a permitir no enviar y recibir al mismo tiempo sino usar diferentes ranuras de tiempo para la comunicación facilitando los cálculos e instrumentación a utilizar.

La modulación empleada es GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) permitiendo una transmisión de hasta 270.833 kbps por lo que a cada slot de tiempo le corresponde 33.854 kbps, aunque en la realidad la tasa máxima alcanzada es de 27,4 kbps por usuario.

No todos los canales se usan para transmitir información; hay canales de tráfico que llevan los datos, ya sean de voz o no, y los canales de control que llevan los comandos de señalización entre la estación base y la móvil.

3.5. Coexistencia de sistemas UWB con GSM

En GSM podemos tener dos frecuencias de funcionamiento bien diferenciadas. La primera de ellas, la GSM-900 es la banda que se propuso originalmente y que se empezó a usar y cuyas redes de comunicación se extienden por más de medio planeta, exceptuando EE.UU., donde se utiliza otro tipo de comunicación que veremos más adelante. La segunda de ellas, la GSM-1800 también conocida como DCS-1800 o PCN, es una red que opera en Europa y en la zona pacífico de Asia. Existen otras dos frecuencias secundarias que se utilizaron en países donde las frecuencias principales ya estaban en uso por otras

tecnologías como en EEUU y Canadá. Las bandas son la GSM-850 y la GSM-1900. Por último, una banda de GSM muy antigua usada en los países de Europa del este, Rusia y países nórdicos se encuentra en dos bandas más de GSM-400.

Las bandas que tienen cada una de ellas tanto de bajada (downlink) como de subida (uplink) se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.1. Bandas de frecuencias GSM

Banda	Subida (uplink)	Bajada (downlink)
GSM-900	890-915 MHz	935-960 MHz
GSM-1800	1710-1785 MHz	1805-1880 MHz
GSM-850	824-849 MHz	869-894 MHz
GSM-1900	1850-1910 MHz	1930-1990 MHz
GSM-400	450,4-457,6 MHz	460,4-467,6 MHz
GSM-400	478,8-486,0 MHz	488,8-496,0 MHz

Para nuestro estudio nos interesa solamente el canal de bajada. Para los cálculos por comodidad usamos la frecuencia media de toda la banda de bajada dado que el cambio que se produce en los resultado al cambiar de la frecuencia media a la máxima o mínima no son significativos.

De todas las frecuencias dadas nos vamos a centrar en las 2 principales, GSM-900 y GSM-1800.

Por lo tanto para GSM-900 tenemos una frecuencia de:

$$f_{GSM-900} = \frac{f_{\max} + f_{\min}}{2} = \frac{960 + 935}{2} = 947,5MHz$$

Y para la frecuencia de GSM-1800 se hará de la misma forma:

$$f_{GSM-1800} = \frac{f_{\max} + f_{\min}}{2} = \frac{1880 + 1805}{2} = 1842,5MHz$$

Observando las bandas de funcionamiento de UWB y GSM podemos ver que no se solapan en ningún momento y esto sería así de no ser porque los sistemas utilizados no son ideales. Por tanto vamos a tener un pequeño solapamiento fuera de la banda UWB que influye negativamente en nuestra comunicación GSM. Viendo la máscara de emisión de UWB podemos ver la potencia con que se emite a la frecuencia de funcionamiento de GSM.

Por lo tanto, podemos considerar en todos los cálculos y procedimientos al UWB como una interferencia para el GSM. En los siguientes puntos vemos más detenidamente el procedimiento empleado para el cálculo y los resultados obtenidos en cada caso.

3.6. Procedimiento general para todos los casos

Observando el dibujo notamos que nuestra emisión deseada es aquella proveniente de la antena GSM.

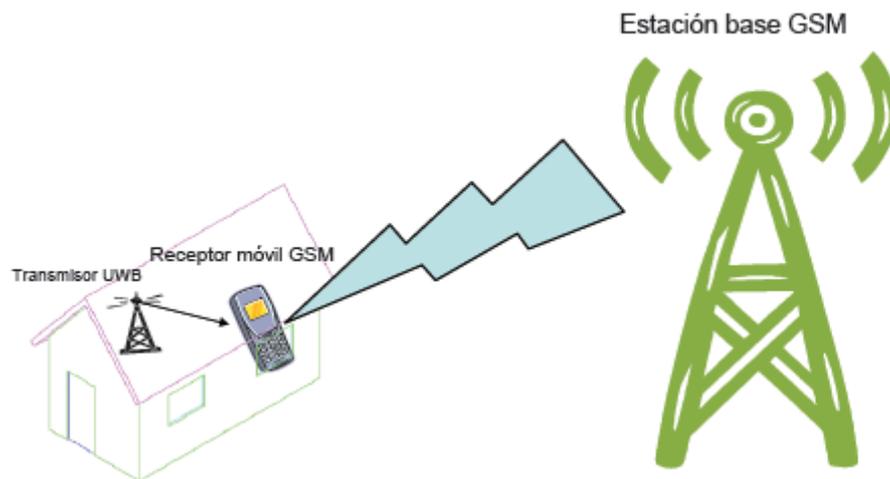


Figura 3.2. Escenario de interferencia UWB sobre GSM

Nuestro objetivo con los cálculos que vamos a hacer a continuación, es obtener la potencia máxima de emisión UWB recomendable para obtener un radio de cobertura que dé servicio en el 99.9% del campo de acción con una capacidad del 99%. Así, vamos a hacer la representación del radio normalizado y radio total real a partir de una potencia fija.

Para llegar a conseguir la fórmula y los datos del radio normalizado de trabajo necesitamos hacer más cálculos previos que se explican en los siguientes pasos.

3.6.1. Señal GSM

La señal GSM que llega al receptor depende de la potencia con que se llega a transmitir en la estación base GSM, las pérdidas producidas en el canal y el factor de ruido (NF). Pero esta señal no puede tener cualquier valor, ha de llegar con una potencia mínima que será igual a la sensibilidad del receptor. De lo contrario la comunicación no será efectiva y tendremos más ruido que señal.

3.6.1.1. Potencia de transmisión de la antena GSM

Primeramente se calcula la potencia de emisión de la antena en la cual influye la potencia de salida del generador, las pérdidas del cable desde el generador hasta la antena y la ganancia que existe en el sistema emisor. Matemáticamente se muestra como:

$$P_t = P_{antena} - L_{cable} + G_{antena}, \quad \text{donde}$$

- P_{antena} es la potencia del sistema
- L_{cable} son las pérdidas del cable
- G_{antena} es la ganancia del sistema transmisor

3.6.1.2. Pérdidas de la señal GSM

Las pérdidas de la señal GSM vienen dadas por las pérdidas de propagación y las pérdidas de “shadowing” o debidas a las sombras. Éstas últimas se pueden obtener a partir de estudios ya realizados y las pérdidas de propagación se calculan como:

$$L_{propagación} = P_{t_GSM} - P_n - SNR, \quad \text{donde}$$

- P_{t_GSM} es la potencia de emisión de la antena
- P_n es la potencia de ruido que se calcula a continuación
- SNR es la relación señal-ruido que se establece para tener una buena comunicación y que la potencia de la señal que llega sea superior a aquella del ruido.

3.6.1.3. Potencia de ruido

La potencia de ruido depende del ancho de banda, del factor de ruido y de un margen que ponemos para simular con más autenticidad la potencia de ruido:

$$P_n[dBm] = -114 + 10 \cdot \log_{10}(BW_{MHz}) + NF[dBm] + M[dBm], \quad \text{siendo}$$

- BW el ancho de banda de nuestro canal
- NF la figura de ruido debida a las interferencias del medio
- M un margen de interferencia para hacer los cálculos de forma más real

3.6.1.4. Sensibilidad

La potencia de ruido junto con la relación señal-ruido nos da la sensibilidad del sistema, que equivale a la mínima potencia que puede recibir el sistema para que todo funcione correctamente.

$$S[dBm] = P_n[dBm] + SNR[dB]$$

3.6.1.5. Pérdidas de la señal GSM

Y así podemos conseguir las pérdidas de la señal GSM que llega al receptor:

$$L_p[dBm] = P_t[dBm] - S[dBm] - L_{shadowing}[dBm]$$

3.6.2. Pérdidas de la señal UWB

Por otro lado hacemos los cálculos correspondientes de las pérdidas de la señal UWB, en las que influye el ancho de banda, la frecuencia de funcionamiento y la distancia en la que nos movemos.

3.6.2.1. Pérdidas de la señal UWB

En este caso hacemos uso de las pérdidas del caso LOS que vienen dadas por la fórmula anteriormente expuesta:

$$L_{uwb}(d)[dBm] = L_{1m}(d_0) + 10n \log(d) + X\sigma, \text{ siendo}$$

- $L_{1m}(d_0)$ las pérdidas obtenidas a un metro de distancia del transmisor y que dependen de la frecuencia a la que hacemos los cálculos.
- d es la distancia
- X y σ son la representación de la desviación típica

Una vez obtenidas las pérdidas y demás datos podemos despejar de la fórmula de HATA la distancia hasta la que podemos llegar para que se cumplan los requisitos de sensibilidad en la presente situación. Dado que el modelo usado va a tener variaciones de constantes para cada caso, la variable distancia se presenta en cada uno de los apartados.

3.6.3. Radio de trabajo real

Ya con todos los datos podemos llegar a calcular el radio de trabajo real que vamos a tener. Pero antes necesitamos conseguir el radio de trabajo normalizado porque el radio real tiene la siguiente dependencia:

$$R_{total} = r_{normalizado} \cdot r, \text{ siendo}$$

- r es la distancia despejada de la fórmula de HATA

3.6.4. Radio de trabajo normalizado

El radio de trabajo normalizado se representa en todos los apartados para ver si los resultados son correctos, dado que debe ser igual en los mismos entornos para las distintas potencias de transmisión. Se calcula como:

$$r_n = n_{noudoor} \sqrt{\frac{P_n}{P_n + P_{uwb}}}, \text{ donde}$$

- P_{uwb} es la potencia transmitida por el emisor UWB menos las pérdidas L_{uwb}
- P_n es la potencia de ruido

A partir de aquí empiezan los procedimientos específicos para cada frecuencia determinada de funcionamiento. Pues dependiendo de la frecuencia usada tendremos que usar un modelo de propagación u otro (HATA o HATA-COST231).

3.7. Efecto del sistema UWB sobre GSM-900

Respecto a los cálculos vamos a utilizar el modelo de propagación HATA porque la frecuencia máxima de funcionamiento no va a exceder nunca los 1500 MHz, siempre estará en la banda indicada en la tabla entre 935 y 960 MHz.

Para poder utilizar el modelo de HATA tenemos que limitar los valores indicados en el apartado anterior.

La fórmula general del modelo de HATA se representa por:

$$L_b = A + B \log d - \{C / D / E\}$$

Donde A y B son parámetros fijos que vienen dados por la frecuencia de funcionamiento (f) y la altura de la antena transmisora GSM (h_t)

$$A = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log h_t$$

$$B = 44,9 - 6,55 \log h_t$$

El resto de parámetros (C/D/E) dependerán del tipo de ciudad en el que nos encontremos, y se dan en cada uno de los siguientes apartados.

En nuestro caso tenemos que igualar la pérdida L_b a la pérdida que habíamos calculado antes L_{t_GSM} para poder despejar la distancia máxima de funcionamiento.

Datos escogidos para todos los cálculos:

- $h_r = 1,6m$ es la altura media en la que se supone que va a estar el móvil durante la comunicación.
- $b = 1$ porque d es siempre inferior a 20 Km.

3.7.1. Zona rural

Parámetro específico de la zona rural:

$$D = 4,78(\log f)^2 + 18,33 \log f + 40,94$$

La zona rural es una zona con baja densidad de habitantes, edificios bajos que casi no producen sombras y pocos factores que atenúen a parte de la atenuación por la distancia.

Aplicando este dato a la fórmula de pérdidas general:

$$L_b = A + B \log d - D$$

Podemos sacar la relación final que dependa de la distancia a la antena UWB

$$L_b = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log h_t + (44,9 - 6,55 \log h_t) (\log d)^b - (4,78(\log f)^2 + 18,33 \log f + 40,94)$$

Por lo que la igualando a las pérdidas GSM calculadas en los procedimientos generales y despejando la distancia obtenemos:

$$d = 10^{\frac{L_{t_GSM} - 69,55 - 26,16 \log f + 13,82 \log h_t + 4,78(\log f)^2 + 18,33 \log f + 10,94}{44,9 - 6,55 \log h_t}}$$

Que nos da el radio máximo por el que tenemos que multiplicar el radio normalizado anteriormente expuesto para obtener el radio real de trabajo.

3.7.1.1. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -41,3 dBm/MHz

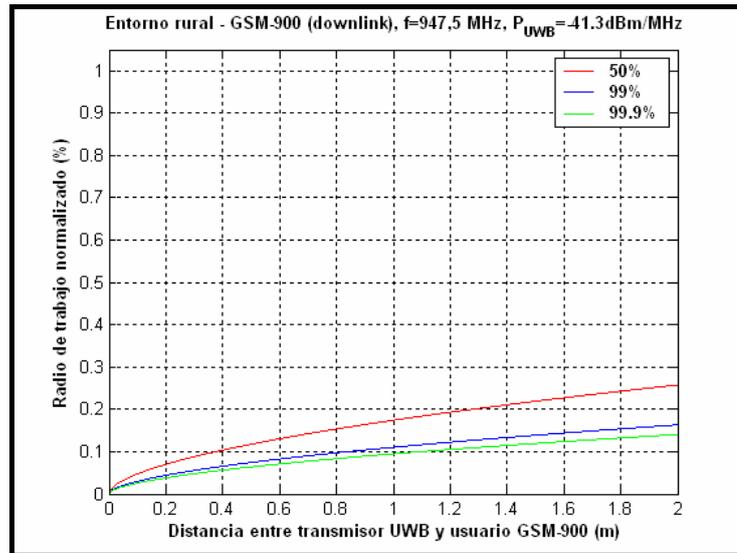


Figura 3.3. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -41.3 \text{ dBm/MHz}$)

En esta primera gráfica podemos observar el radio de trabajo normalizado. Éste no llega a sobrepasar en ninguno de los casos el 10 % a la distancia de 1 metro y para el 99,9% del campo de acción, lo que significa que con la potencia que estamos emitiendo en UWB nos va a producir muchísimas interferencias y nos va a bloquear el servicio ofrecido por GSM. Esto influye de una manera muy negativa en nuestro sistema porque el radio de trabajo efectivo que conseguimos es muy reducido.

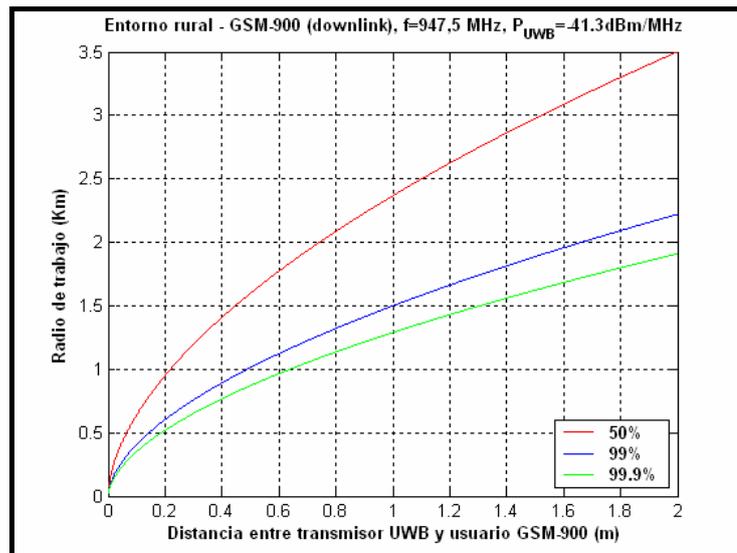


Figura 3.4. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -41.3 \text{ dBm/MHz}$)

El radio de trabajo real de alcance respecto a la antena GSM lo podemos observar en la segunda gráfica.

Si lo que nos interesa es dar un buen servicio en el 99.9% del campo de acción (línea verde en todos los casos) vamos a tener que reducir mucho la densidad espectral de potencia de emisión de la antena UWB. Haciendo sucesivas pruebas conseguimos llegar a un valor que nos permita dar un buen servicio.

La distancia en la que nos vamos a fijar será la de 1 metro desde la antena UWB. En muy pocos casos vamos a estar a menos de un metro de distancia de ésta porque estará colocada en lo alto de las paredes o encima de un mueble. De las tres curvas que tenemos la que más nos interesa es la de color verde, pues es la más restrictiva de las tres.

Para la densidad espectral de potencia de -41.3 dBm/Mhz y a una distancia de 1 metro de la antena transmisora UWB tenemos una radio máximo de alcance de 1,28 Km.

3.7.1.2. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -70dBm/MHz

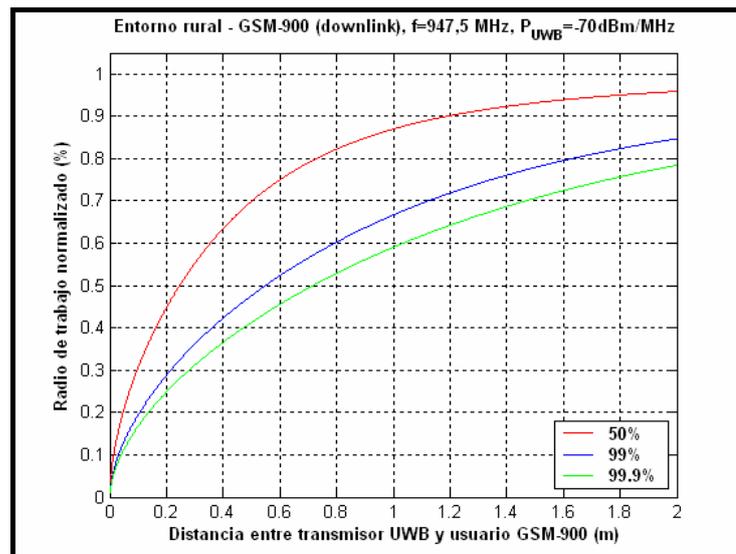


Figura 3.5. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBm/MHz)

El radio normalizado nos indica ahora que llegamos a un 60% del total para dando servicio en el 99,9% de los puntos. Es el doble de la situación anterior en la que alcanzábamos solamente un 30%, pero hay que reducir más la potencia para llegar al objetivo del 99% del radio máximo.

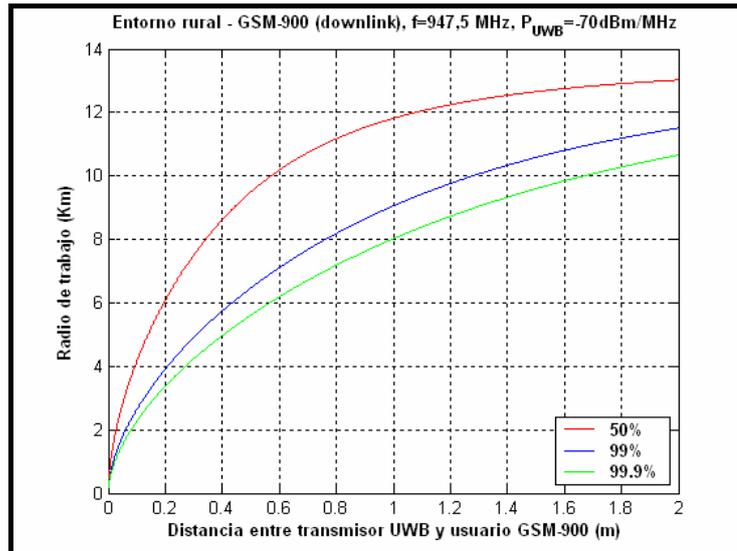


Figura 3.6. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBm/MHz)

Reduciendo la densidad espectral de potencia de emisión de la antena a un valor aproximadamente 30 dBm/MHz menor hemos conseguido aumentar de forma significativa el radio de cobertura y poder ofrecer el mismo servicio en una zona más extensa, o viéndolo desde otro punto de vista, en el mismo radio hemos conseguido dar servicio en un mayor número de puntos.

Pero aún así el servicio no llega a ser satisfactorio para poder decir que es bueno, por lo que tenemos que seguir reduciéndolo hasta llegar a un valor para que se pueda dar un buen servicio en el 99.9% del campo de acción en el 99% del área máxima de alcance.

Para la densidad espectral de potencia de -70 dBm/MHz y a una distancia de 1 metro de la antena transmisora UWB tenemos un radio de alcance de 8 km.

Disminuir la densidad de potencia en 28,7 dBm ha supuesto aumentar el radio en 6,7 km.

3.7.1.3. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -91,8 dBm/MHz

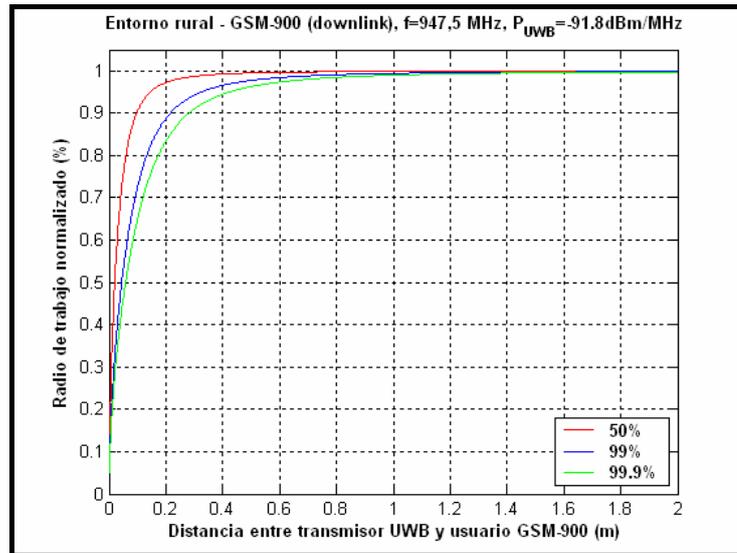


Figura 3.7. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -91.8$ dBm/MHz)

Se ve que la curva verde llega casi a rozar la línea del 100% cumpliéndose nuestro objetivo de cobertura. Por supuesto si sólo queremos dar servicio en el 50% del campo de acción (línea roja) con la densidad espectral de potencia propuesta sobrepasamos los límites.

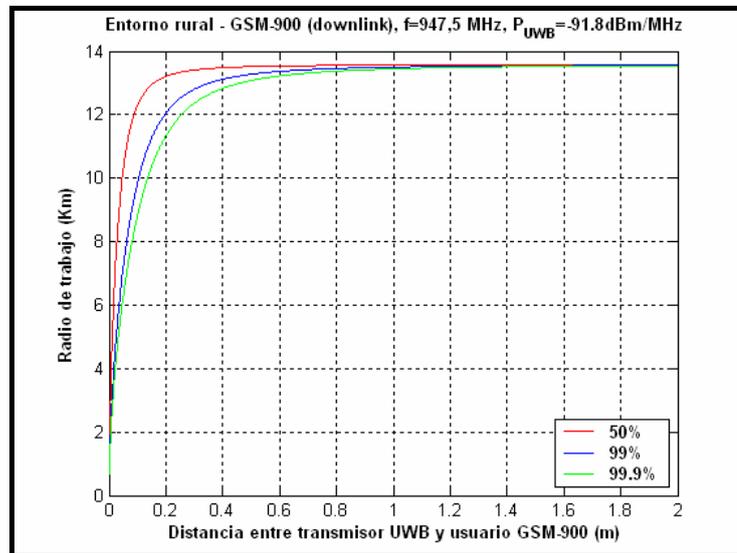


Figura 3.8. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -91.8$ dBm/MHz)

Cuanto menor es la densidad espectral de potencia menos interferencia se produce y más cobertura GSM tenemos. Para $-91,8 \text{ dBm/MHz}$ conseguimos cubrir el 99% del radio máximo y dar servicio en el 99,9% del campo de acción.

Podemos mostrar las mismas gráficas pero detallando la parte interesante:

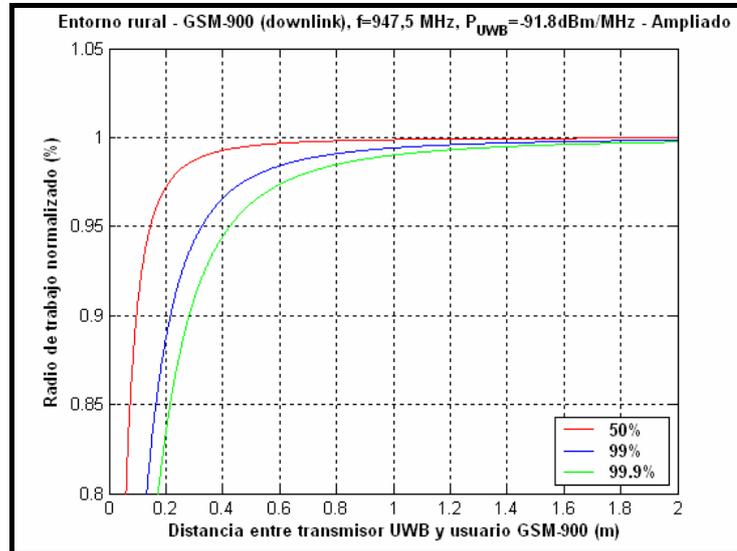


Figura 3.9. Gráfica ampliada del efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{\text{UWB}} = -91,8 \text{ dBm/MHz}$)

Se aprecia más claramente que la curva verde estaría en el 99,9 % del total.

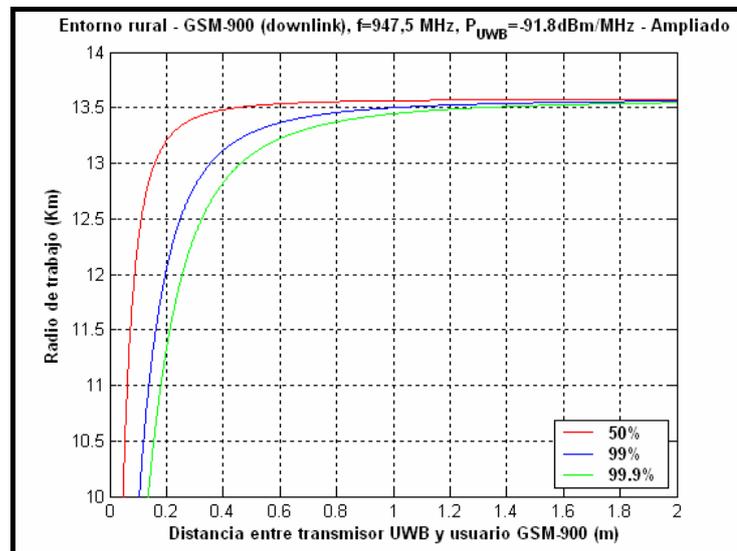


Figura 3.10. Gráfica ampliada del efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{\text{UWB}} = -91,8 \text{ dBm/MHz}$)

Vemos como **para la densidad espectral de potencia de -91,8 dBm/Mhz** y a una distancia de 1 metro de la antena transmisora UWB tenemos un **radio de alcance de 13,44 km**. Este radio supone un poco más del 99% del radio máximo que podríamos alcanzar.

3.7.2. Zona suburbana

Parámetros específicos para zona suburbana:

$$C = 2\left(\log\left(\frac{f}{28}\right)\right)^2 + 5,4$$

En la zona suburbana empezamos a tener edificios más altos que producen sombras en la propagación y hay un mayor número de habitantes. La influencia que esto tiene se refleja directamente en el radio de trabajo reduciéndolo considerablemente. A través de la fórmula de las pérdidas:

$$L_b = A + B \log d - C$$

Conseguimos la relación completa sustituyendo todos los valores y constantes:

$$L_b = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log h_t + (44,9 - 6,55 \log h_t) (\log d)^b - \left(2\left(\log\left(\frac{f}{28}\right)\right)^2 + 5,4 \right)$$

Igualando a las pérdidas GSM y despejando la distancia conseguimos:

$$d = 10^{\frac{L_{t_GSM} - 69,55 - 26,16 \log f + 13,82 \log h_t + \left(2\left(\log\left(\frac{f}{28}\right)\right)^2 + 5,4 \right)}{44,9 - 6,55 \log h_t}}$$

3.7.2.1. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -41,3 dBm/MHz

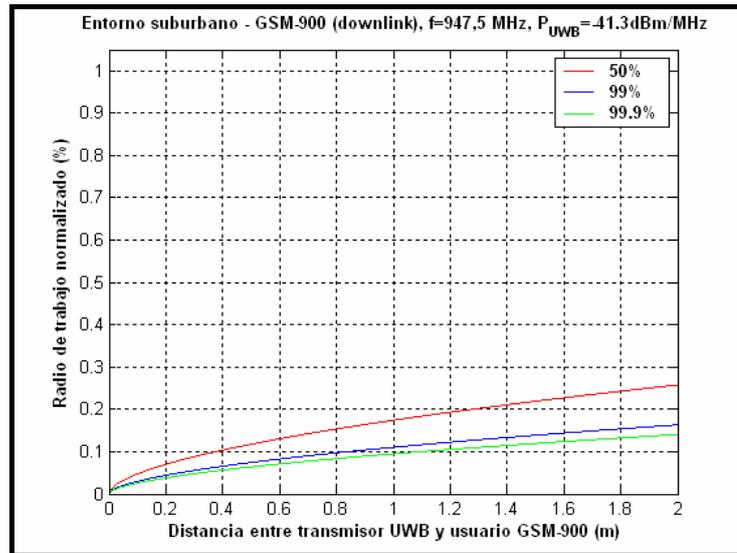


Figura 3.11. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -41.3$ dBm/MHz)

Para hacer la comparativa y ver que estamos haciendo los cálculos correctamente y cumplimos los objetivos con la potencia propuesta, se sigue mostrando en todos los apartados el radio normalizado. A 1 metro de la antena UWB conseguimos un 10% de cobertura máxima en el 99,9% del campo de acción.

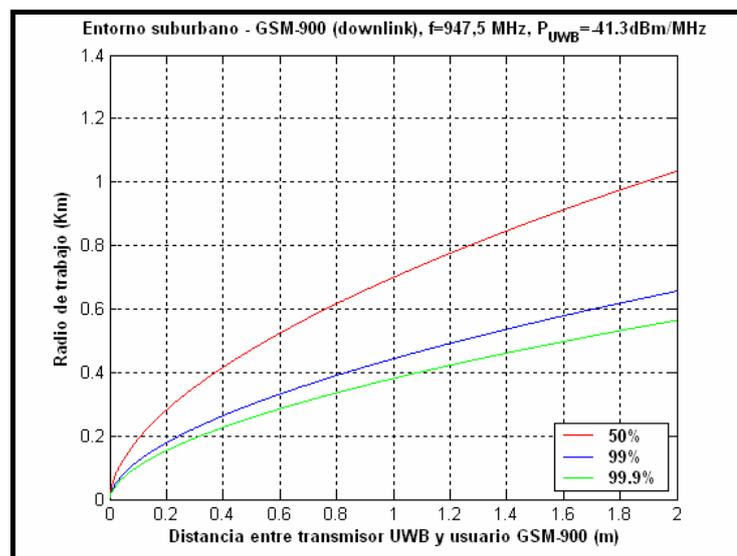


Figura 3.12. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -41.3$ dBm/MHz)

La distancia real en este caso ha disminuido considerablemente respecto al caso rural. La distancia máxima posible en la que se da un servicio al 99.9% de los puntos llega a los 380 metros, notándose las interferencias producidas por los edificios.

Para la densidad espectral de potencia de -41.3 dBm/Mhz y a una distancia de 1 metro de la antena transmisora UWB tenemos un radio de alcance de 380 m

3.7.2.2. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -70 dBm/MHz

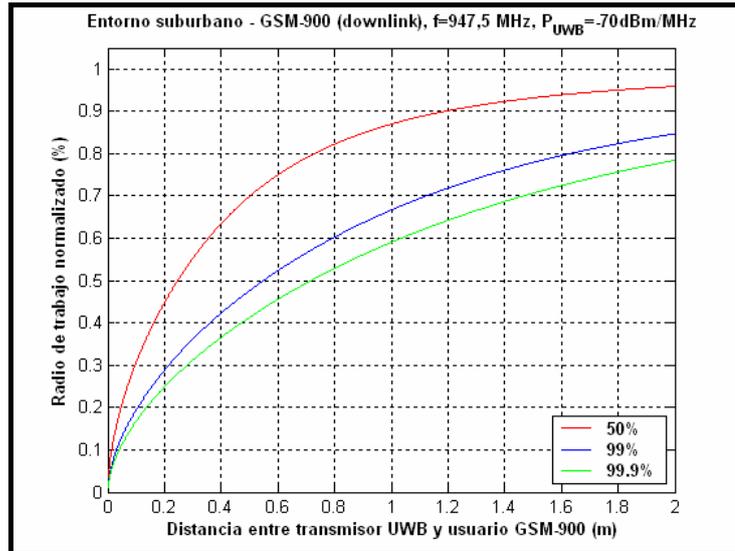


Figura 3.13. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBm/MHz)

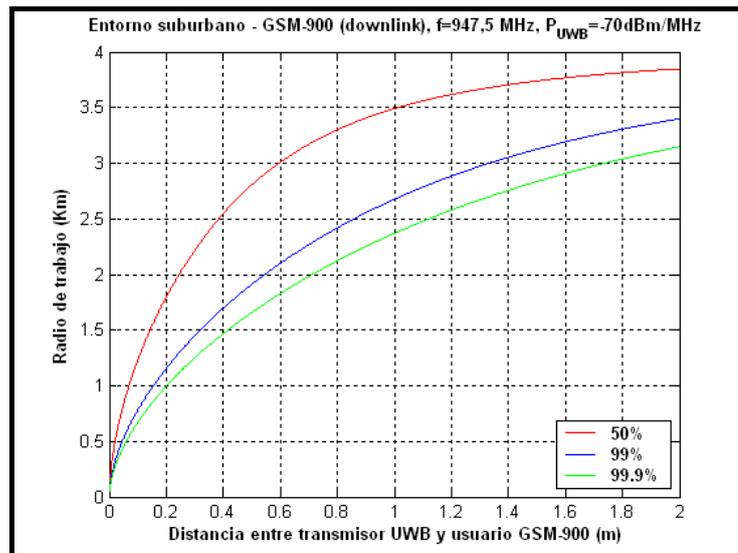


Figura 3.14. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBm/MHz)

Disminuyendo la potencia de transmisión UWB conseguimos la mejora del radio. **Para la densidad espectral de potencia de -70 dBm/MHz** y a una distancia de 1 metro de la antena transmisora UWB tenemos un **radio de alcance de 2,36 Km.**, pero incluso así no conseguimos visualizar un valor estable al que tienda el radio.

3.7.2.3. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -91,8 dBm/MHz

Se muestran las gráficas para la potencia estimada, tanto radio normalizado como real. Y luego las mismas pero ampliando la parte significativa.

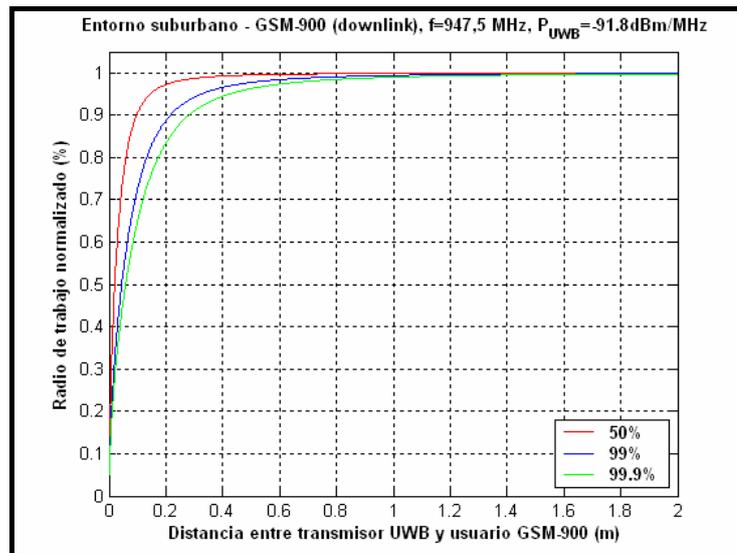


Figura 3.15. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -91.8$ dBm/MHz)

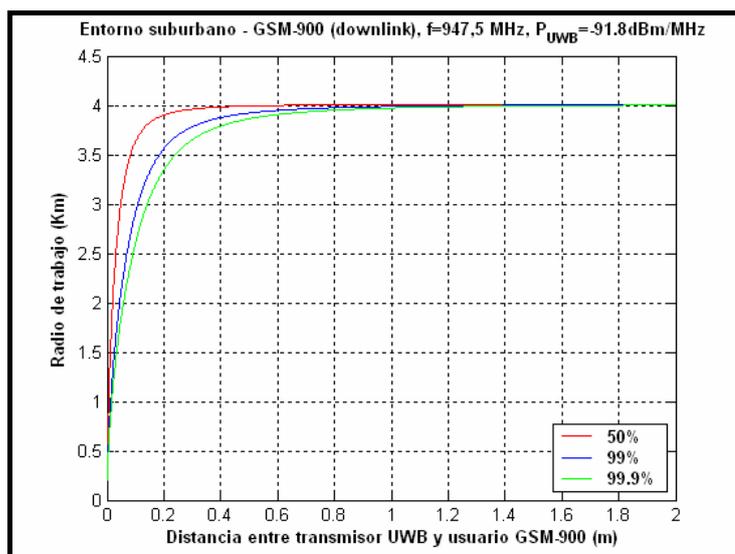


Figura 3.16. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8$ dBm/MHz)

Viendo la parte más significativa de las gráficas vemos como para un metro de distancia conseguimos nuestro objetivo.

Para la densidad espectral de potencia de **-91,8 dBm/Mhz** y a una distancia de 1 metro de la antena transmisora UWB tenemos un **radio de alcance de 3,97 Km.**, siendo más del 99% del radio máximo que se sitúa a 4 km.

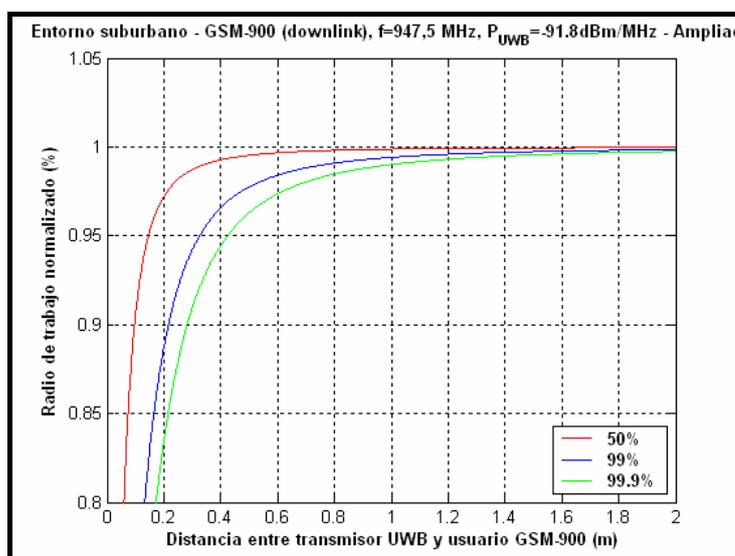


Figura 3.17. Gráfica ampliada del efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8$ dBm/MHz)

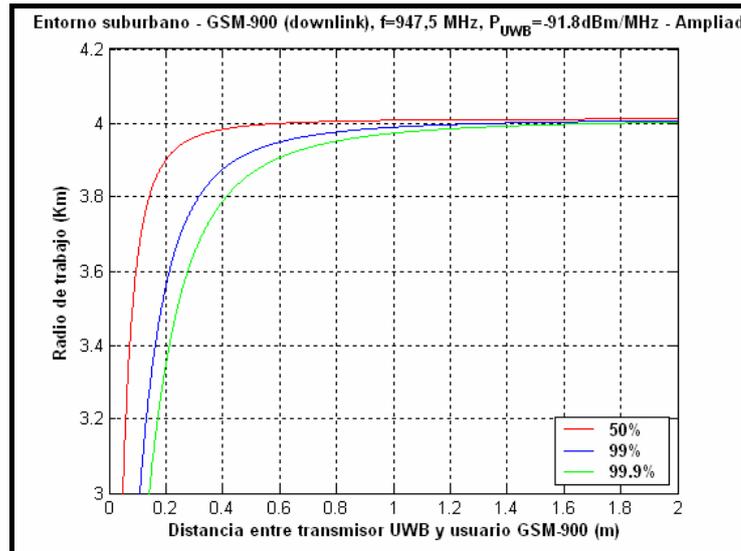


Figura 3.18. Gráfica ampliada del efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8 \text{ dBm/MHz}$)

Comparándolo con el entorno rural tenemos un radio tres veces menor, lo que demuestra la existencia de mayores pérdidas en este entorno.

3.7.3. Ciudad mediana-pequeña

Parámetros específicos para una ciudad mediana-pequeña:

$$E = (1,11 \log f - 0,7)h_r - 1,56 \log f + 0,8$$

La situación de una ciudad agrava más el número de pérdidas. En este caso tenemos más densidad de población que en una zona suburbana y los edificios van a ser aún más altos. Las sombras serán mayores y el alcance por lo tanto menor. Usando la fórmula de las pérdidas:

$$L_b = A + B \log d - E$$

Podemos completarla con todos los valores:

$$L_b = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log h_t + (44,9 - 6,55 \log h_t) (\log d)^b - ((1,11 \log f - 0,7)h_r - 1,56 \log f + 0,8)$$

Igualando a las pérdidas GSM y despejando la distancia:

$$d = 10^{\frac{L_{r_GSM} - 69,55 - 26,16 \log f + 13,82 \log h_t + ((1,11 \log f - 0,7)h_r - 1,56 \log f + 0,8)}{44,9 - 6,55 \log h_t}}$$

3.7.3.1. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -41,3 dBm/MHz

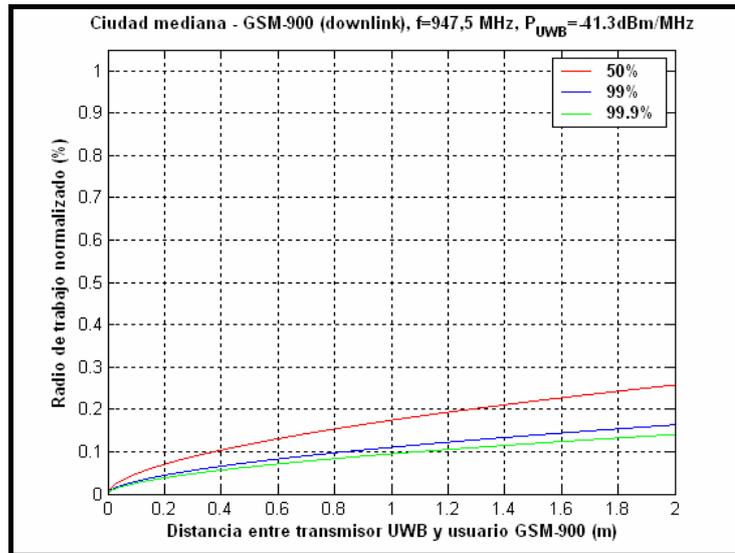


Figura 3.19. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -41.3$ dBm/MHz)

Siempre el radio de trabajo normalizado sigue siendo el mismo, apenas un 10% de área máxima de cobertura para dar servicio en el 99,9% del área cubierta.

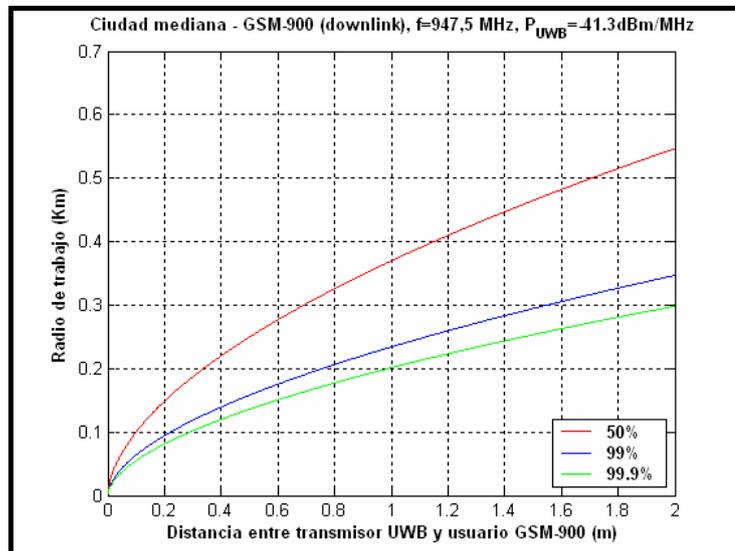


Figura 3.20. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -41.3$ dBm/MHz)

La distancia de cobertura a 1 metro de la antena UWB se reduce todavía más, alcanzando solamente 200 m con la densidad espectral de potencia de $-41,3$ dBm/MHz.

3.7.3.2. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -70 dBm/MHz

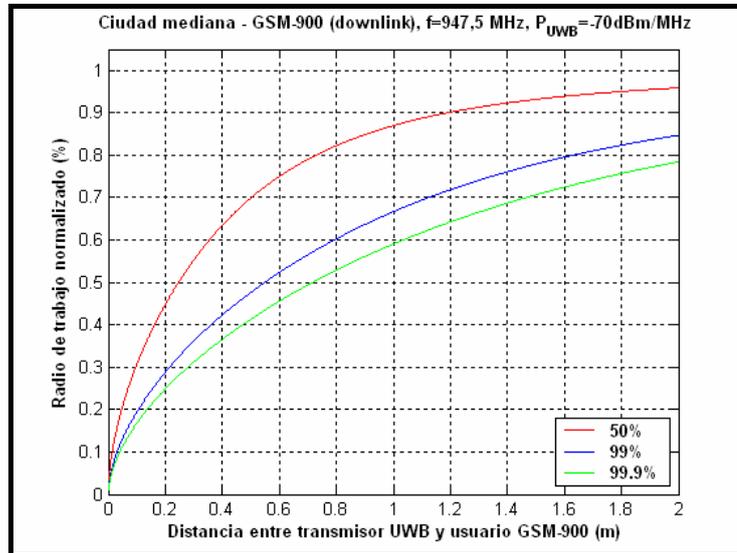


Figura 3.21. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBm/MHz)

Con -70 dBm/MHz llegamos a tener un 60% de cobertura del área total.

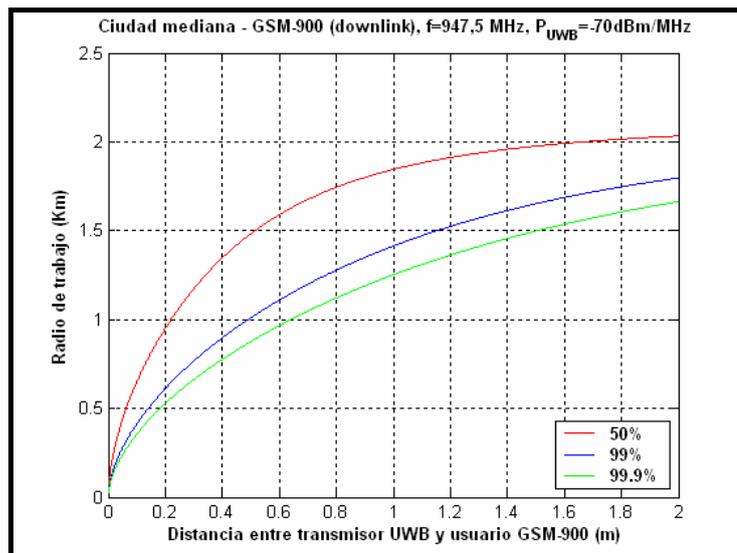


Figura 3.22. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBm/MHz)

Como en todos los casos, al disminuir la densidad de potencia UWB aumentamos nuestro radio de trabajo. **Alcanzamos los 1,25 Km.** a un metro de distancia del emisor UWB.

3.7.3.3. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -91,8 dBm/MHz

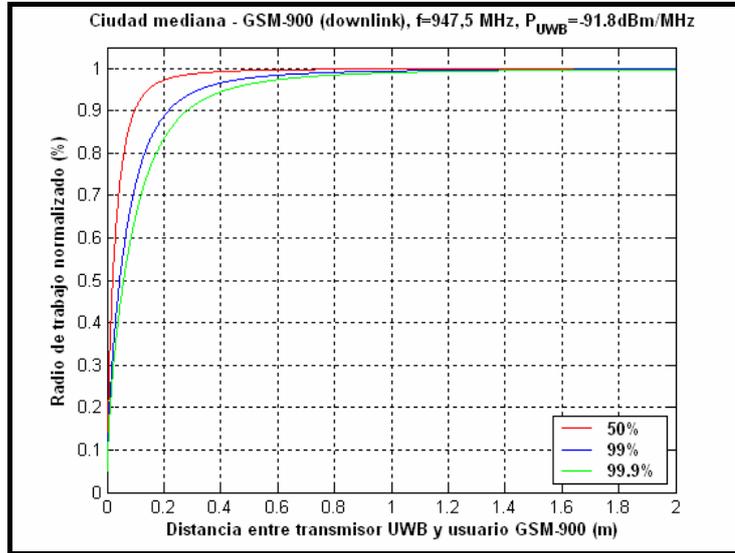


Figura 3.23. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8 \text{ dBm/MHz}$)

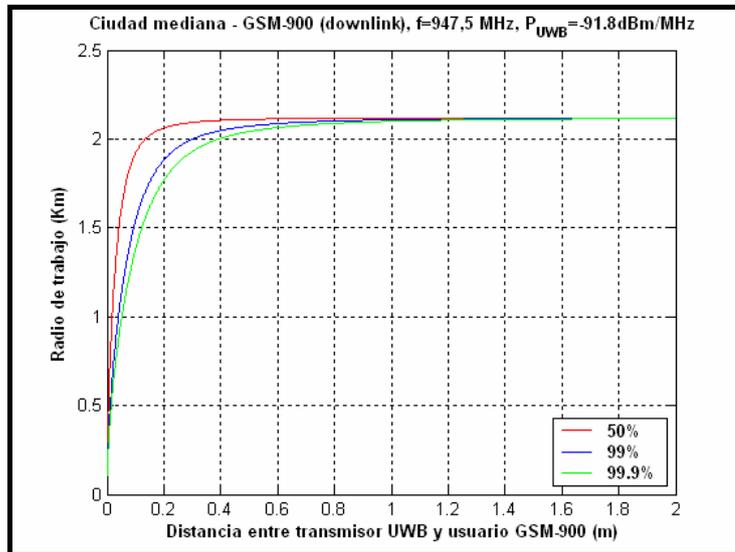


Figura 3.24. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8 \text{ dBm/MHz}$)

Para nuestra potencia recomendada se alcanza la máxima distancia posible. Esto lo podemos concluir a partir de la gráfica en la que se alcanza un valor estable desde antes de 1 metro de distancia. Aunque disminuyésemos más la potencia no conseguiríamos aumentar el radio de trabajo.

Viendo la parte significativa más ampliada podemos compararlo con los casos anteriores

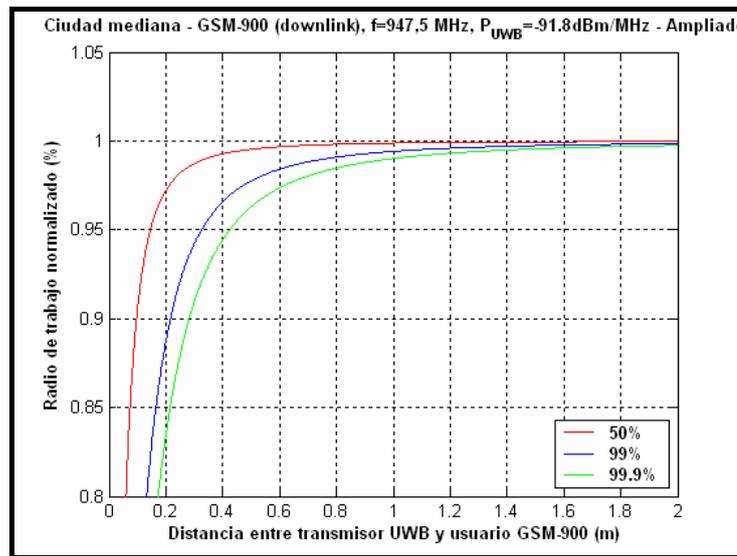


Figura 3.25. Gráfica ampliada del efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8 \text{ dBm/MHz}$)

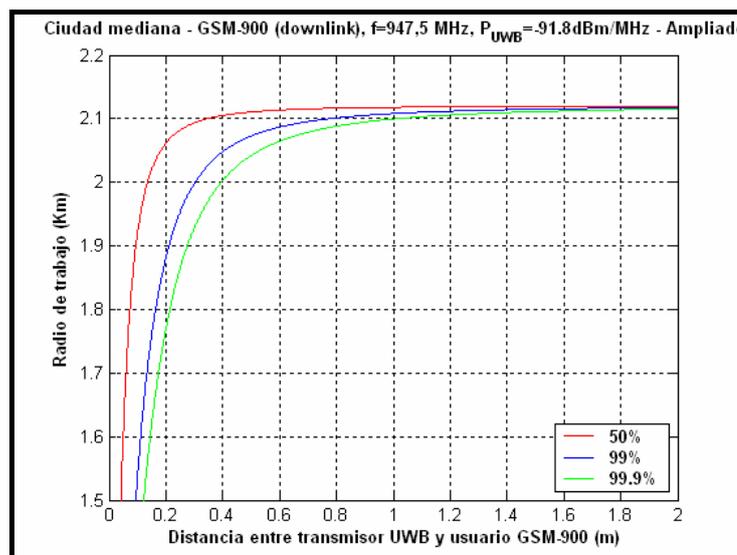


Figura 3.26. Gráfica ampliada del efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -91.8 \text{ dBm/MHz}$)

Para la densidad espectral de potencia de **-91,8 dBm/MHz** y a una distancia de 1 metro de la antena transmisora UWB tenemos **una radio de alcance de 2,1 Km.** siendo el radio máximo de trabajo de 2,1 km.

3.7.4. Ciudad grande

Parámetros específicos para ciudad grande:

$$E = 3,2(\log(11,75h_r))^2 - 4,97 \text{ para } f > 300\text{MHz}$$

En el caso más habitual y en el que más interesados estamos, es la ciudad grande, un escenario con edificios muy altos y gran densidad de población. Utilizando la misma fórmula que en apartados anteriores podemos completarla con el nuevo dato y obtener:

$$L_b = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log h_t + (44,9 - 6,55 \log h_t) (\log d)^b - (3,2(\log(11,75h_r))^2 - 4,97)$$

Para después igualar a las pérdidas GSM y despejar la distancia:

$$d = 10^{\frac{L_{t_GSM} - 69,55 - 26,16 \log f + 13,82 \log h_t + (3,2(\log(11,75h_r))^2 - 4,97)}{44,9 - 6,55 \log h_t}}$$

3.7.4.1. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -41,3 dBm/MHz

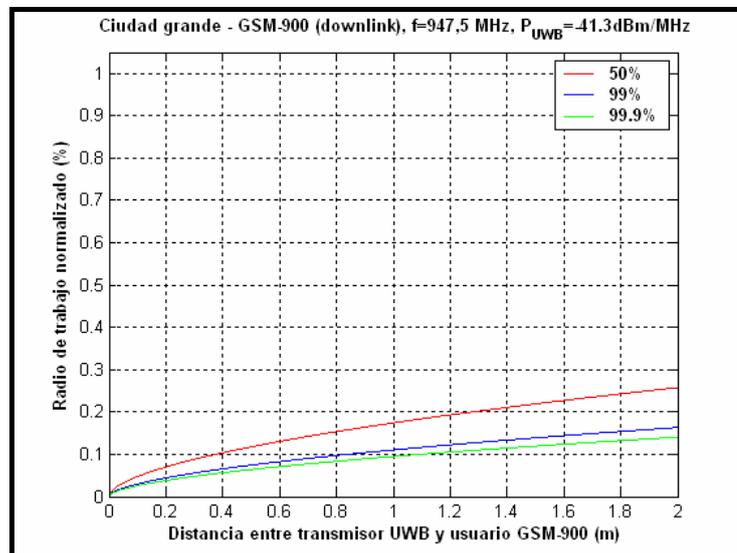


Figura 3.27. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -41.3 \text{ dBm/MHz}$)

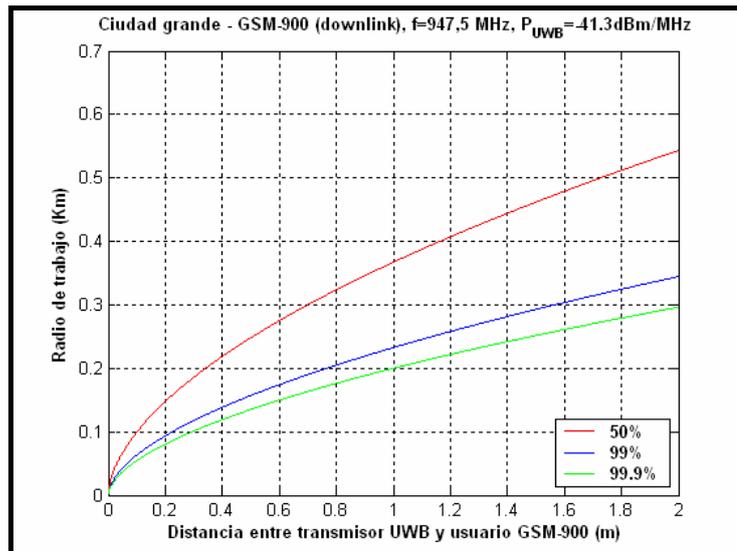


Figura 3.28. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -41.3$ dBm/MHz)

Hallándonos en el peor de los casos, en la gran ciudad será donde más pérdidas tengamos. Por lo tanto vemos que **para la densidad espectral de potencia de -41.3 dBm/Mhz** y a una distancia de 1 metro de la antena transmisora UWB tenemos un **radio de alcance de 200 m** como en la pequeña ciudad. Esto denota que no va a haber grandes diferencias entre ciudad grande y pequeña para GSM-900. Puede ser debido en gran parte al modelo utilizado, en el que las variables entre uno y otro no representan grandes cambios.

Cogiendo un número más preciso, en el caso de ciudad pequeña tenemos 201,2 metros y ahora 199,9 metros, por lo que la diferencia es de 1,3 metros. Siendo un valor casi despreciable que puede variar a causa de cualquier factor externo.

3.7.4.2. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -70 dBm/MHz

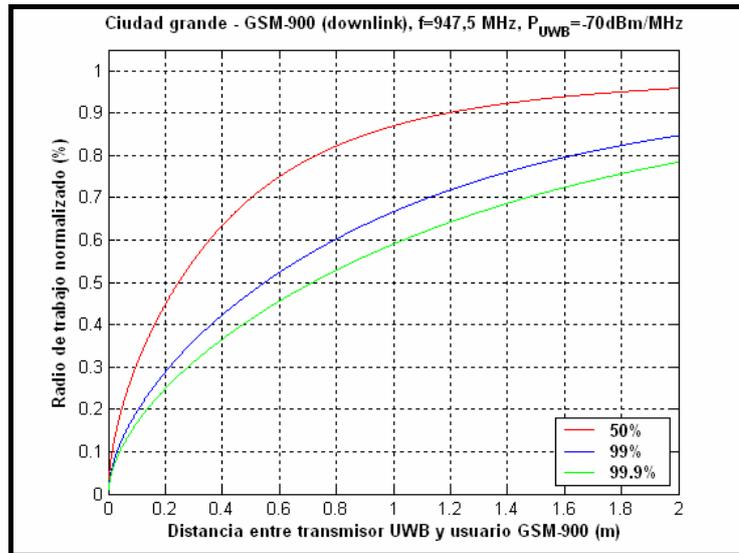


Figura 3.29. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBm/MHz)

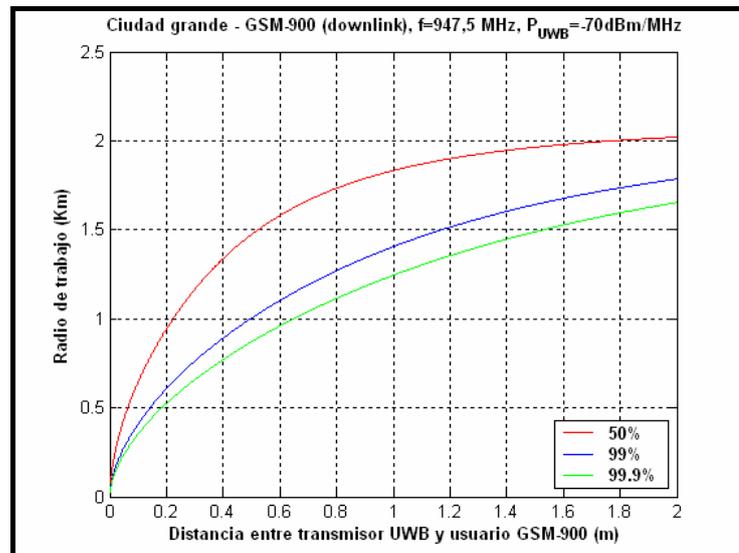


Figura 3.30. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBm/MHz)

Para la **densidad de potencia de -70 dBm/Mhz** y a una distancia de 1 metro de la antena transmisora UWB tenemos un **radio de alcance de 1,24 Km.**

3.7.4.3. Densidad espectral de potencia de la antena UWB = -91,8 dBm/MHz

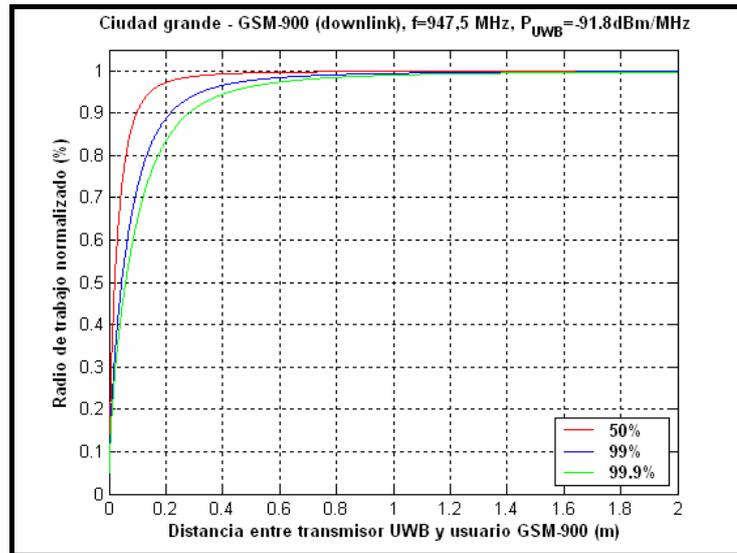


Figura 3.31. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8$ dBm/MHz)

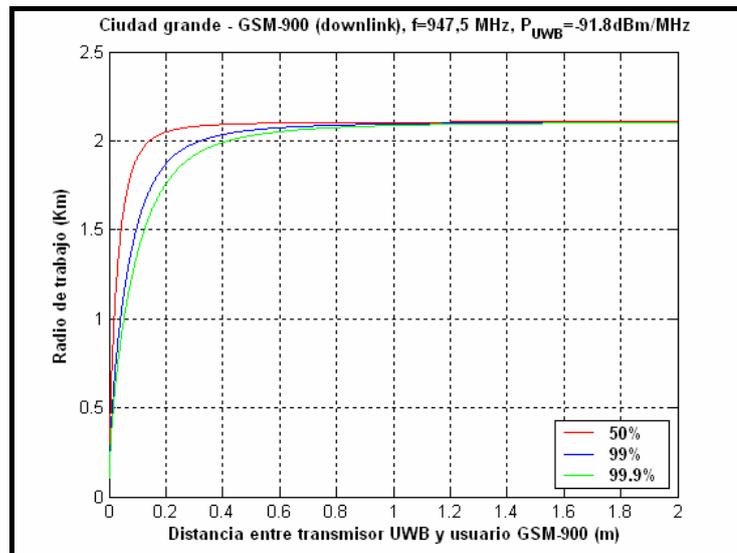


Figura 3.32. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8$ dBm/MHz)

Llegando al último de las situaciones, preferimos verlo más ampliado el resultado, pero incluso con la gráfica presente vemos que el radio ha disminuido considerablemente, aunque respecto al caso anterior la diferencia es mínima.

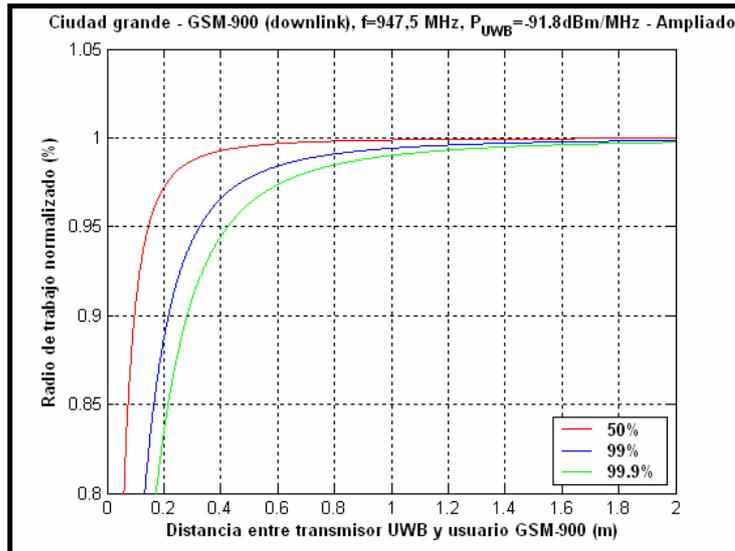


Figura 3.33. Gráfica ampliada del efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8 \text{ dBm/MHz}$)

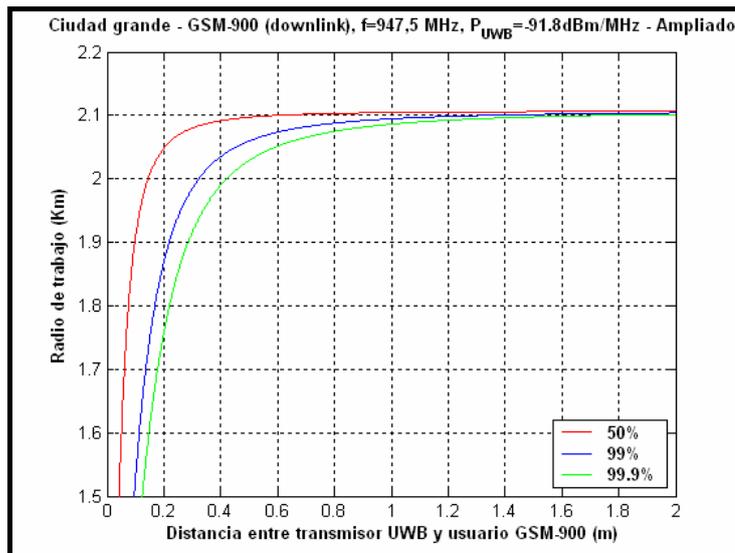


Figura 3.34. Gráfica ampliada del efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -91,8 \text{ dBm/MHz}$)

Para la densidad espectral de potencia de $-91,8 \text{ dBm/MHz}$ y a una distancia de 1 metro de la antena transmisora UWB tenemos un **radio de alcance de 1,9 km**. Siendo el máximo radio de alcance de 2 km.

3.7.4.4. Conclusiones de la variación de frecuencia y entorno

A partir de estos primeros resultados gráficos concluimos, por un lado, que al variar el entorno y meternos en una situación con un mayor número de pérdidas, el radio útil de trabajo disminuye rápidamente, pasando en un entorno abierto rural de 12 Km. a tan solo 2 Km. en un gran ciudad.

Por otro lado, fijándonos sólo en la densidad de potencia de transmisión de la antena UWB, vemos como al disminuir ésta, la interferencia con la señal GSM se reduce lo que nos permite dar un servicio con más calidad y en una mayor zona de cobertura.

Tenemos que jugar con las 2 variables, entorno y densidad de potencia de transmisión para llegar a un punto que nos ofrezca buenas cualidades con un coste mínimo.

Tomamos el primer valor de nuestro estudio para la máscara de propagación. A la **frecuencia de 947,5 MHz** tenemos que limitar la **densidad de potencia UWB a -91,8 dBm/MHz**

3.7.5. Efecto de la variación de la frecuencia de funcionamiento

La variación de la frecuencia supone un cambio mínimo que no vamos a tener en cuenta. Para poder demostrar que no nos va a afectar, vamos a ver en algunas gráficas el efecto citado.

3.7.5.1. Entorno rural; densidad espectral de potencia = -91,9dBm/MHz

De todas las densidades de potencia distintas, tenemos que buscar una inferior a la más baja de todas las anteriores. Para -91,9 dBm/MHz, conseguimos un 99% del radio total, dando servicio en el 99,9% del campo de acción. Hacemos la representación de 3 frecuencias de funcionamiento. Éstas son la mínima de la banda, la intermedia que habíamos representado en los casos anteriores y la superior de la banda. Sabiendo que cuanto menor sea la frecuencia mayor alcance tenemos, podemos estudiar analíticamente las siguientes gráficas.

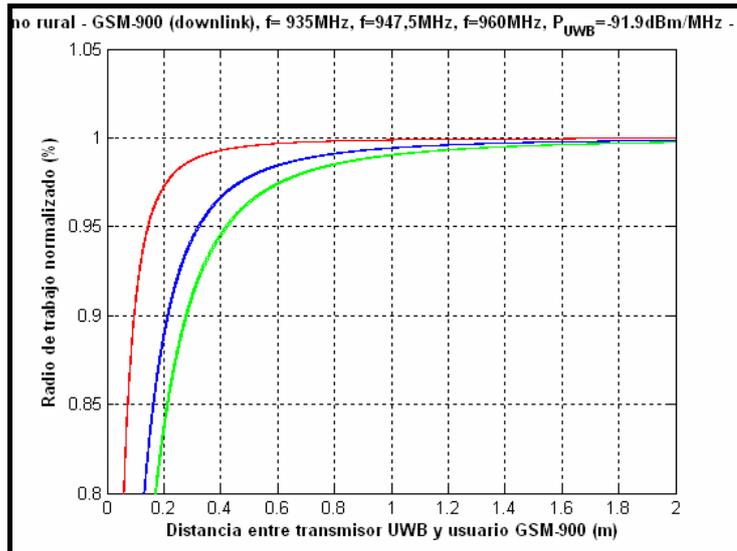


Figura 3.35. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-900 para 3 frecuencias de la banda ($P_{UWB} = -91,9 \text{ dBm/MHz}$)

En esta gráfica van representadas 9 curvas. A primera vista sólo podemos apreciar 3 curvas gruesas. Cada uno de ellas es el conjunto con el porcentaje de campo de acción en el que se da servicio. La línea roja representa el 50% de campo de acción. La línea azul el 90% y la verde, la que más nos interesa, el 99.9% del total. Lo que sí podemos observar es que llegamos al 99% del radio máximo con la línea verde, lo que significa cumplir los objetivos con la densidad de potencia dada, de $-91,9 \text{ dBm/MHz}$.

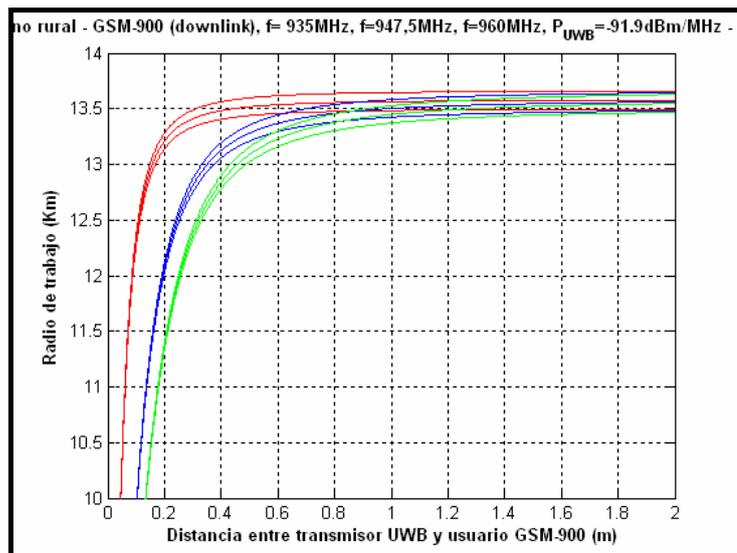


Figura 3.36. Gráfica ampliada del efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-900 para 3 frecuencias de la banda ($P_{UWB} = -91,9 \text{ dBm/MHz}$)

En la segunda gráfica, donde se muestra el radio real, vemos que en cada grupo de colores las curvas se separan entre sí ligeramente.

Para poder conseguir esa diferencia de valores entre las 3 curvas en cada grupo, nos interesa analizarlas en una región estable. Para ello obtenemos una nueva gráfica donde la densidad de potencia de transmisión UWB se ha disminuido hasta -120 dBm/MHz. Un valor muy por debajo de los límites.

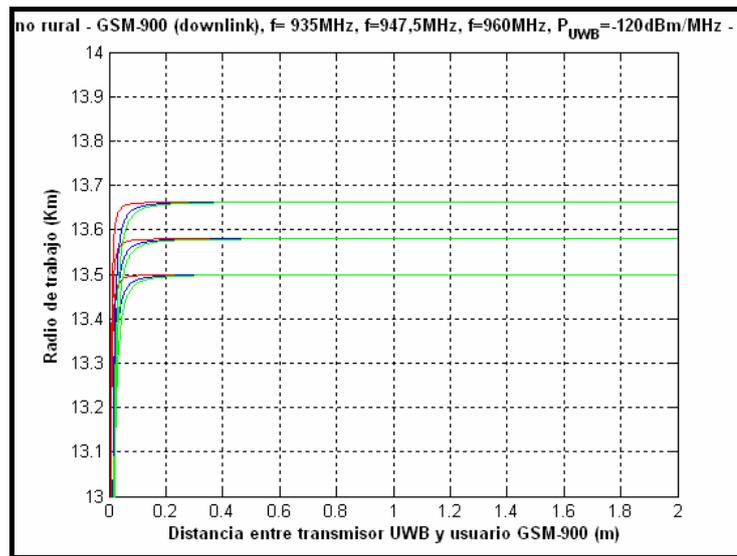


Figura 3.37. Gráfica ampliada del efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-900 para 3 frecuencias de la banda ($P_{UWB} = -120$ dBm/MHz)

A la distancia de un metro desde el transmisor UWB los radios de cobertura que se obtienen para cada una de las frecuencias son:

Tabla 3.2. Variación del radio de trabajo en GSM-900 bajo la interferencia de un único transmisor UWB en función de la frecuencia de funcionamiento

Frecuencia	Distancia
935,0 MHz	13,66 Km.
947,5 MHz	13,58 Km.
960,0 MHz	13,50 Km.

La diferencia entre la mayor y la menor distancia es de **160 metros**. Aunque esta diferencia parezca significativa a primera vista, no lo va ser, sin embargo, dado que nuestro estudio se está basando en situaciones muy extremas, con grandes atenuaciones y suponiendo que se utilice un radio de trabajo del 99% o más. En la realidad, ninguna

compañía va a utilizar el 99% del radio sino un 80% o incluso menos, lo que nos va a llevar a poder permitirnos márgenes muy grandes.

3.7.6. Resultados bajo la acción de varios transmisores UWB

El mismo estudio realizado en el apartado con un transmisor, en el que se muestran todos los casos del efecto de la emisión UWB sobre el campo de acción de antenas GSM, se podría repetir para situaciones en las que no solamente influye un solo transmisor GSM, sino hasta 18 de ellos simultáneamente.

Para que no quede una simulación tan repetitiva, se van a mostrar sólo los casos más representativos. Por ejemplo, se omiten todas las gráficas de radio normalizado que tan sólo nos aportan la información relativa al porcentaje del radio de cobertura efectivo que tenemos. También se omite la gráfica en el caso de la potencia que hemos elegido para tener la situación más deseable.

3.7.6.1. Entorno rural

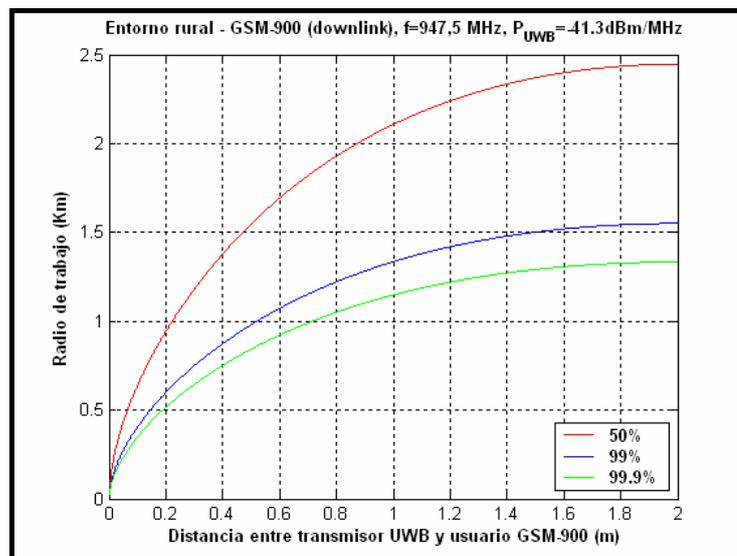


Figura 3.38. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -41,3 \text{ dBm/MHz}$)

Con la densidad de potencia recomendada por la FCC, tan solo alcanzamos los 1,14 Km.

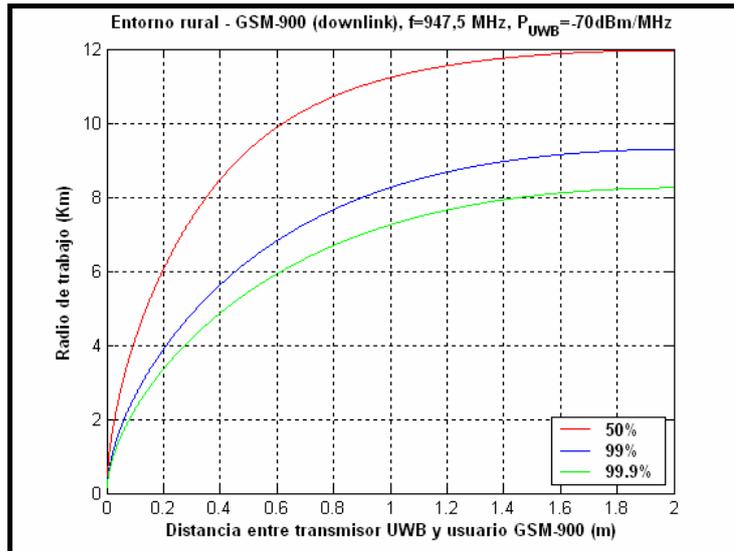


Figura 3.39. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -70$ dBm/MHz)

Al disminuir a -70 dBm/MHz pasamos a tener un radio de $7,24$ Km., que va siendo un valor más aceptable, pero no del todo válido.

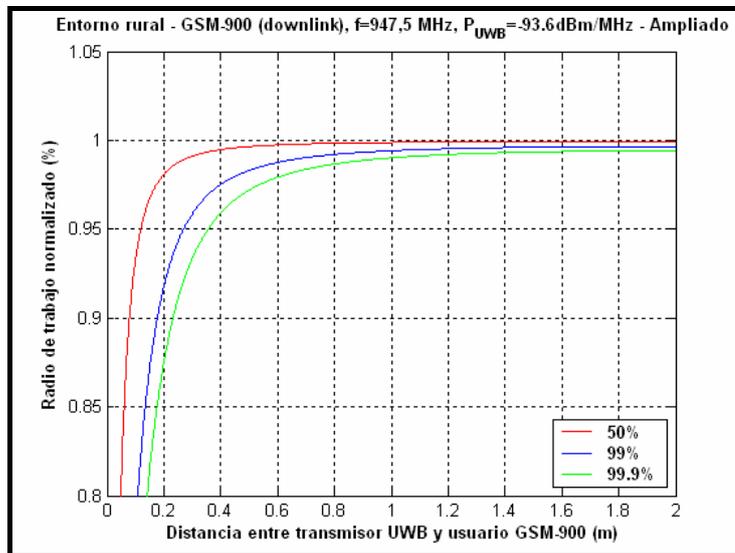


Figura 3.40. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -93,6$ dBm/MHz)

En la gráfica del radio normalizado alcanzamos el 99% del radio deseado. Mirando en la siguiente gráfica encontraremos el radio deseado.

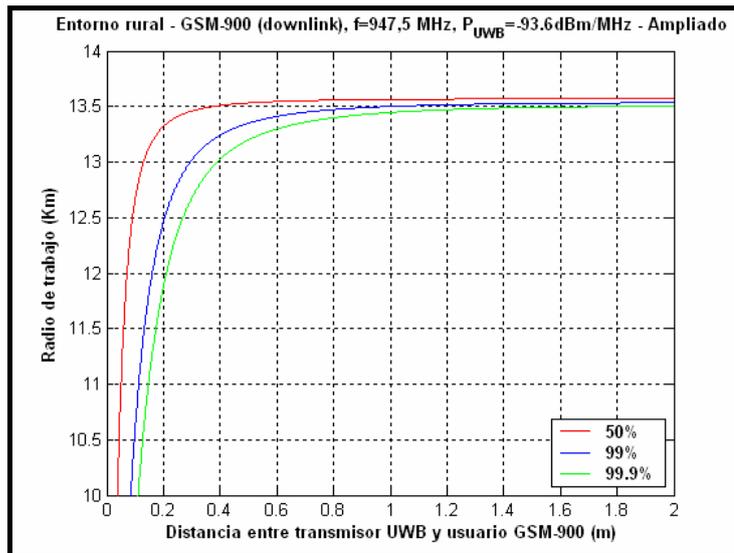


Figura 3.41. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -93,6$ dBm/MHz)

De la última gráfica, en la que se muestra el radio de trabajo normalizado, vemos que llegamos como siempre hasta un 99% de cobertura. Y para ello se ha necesitado emplear una **densidad de potencia máxima de -93,6 dBm/MHz** en el transmisor UWB. Por lo tanto esta es la densidad de potencia máxima en el caso de tener varios transmisores UWB.

El radio máximo alcanzado en esta situación es de 13,44 Km.

3.7.6.2. Entorno suburbano

Observando la variación de los radios de cobertura con la disminución de la densidad de potencia podemos hacer algunos comentarios al final de todas las gráficas

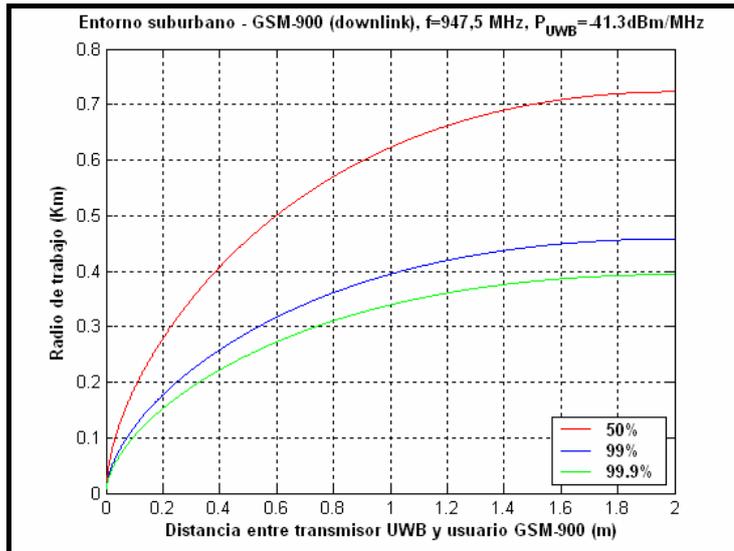


Figura 3.42. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -41,3 \text{ dBm/MHz}$)

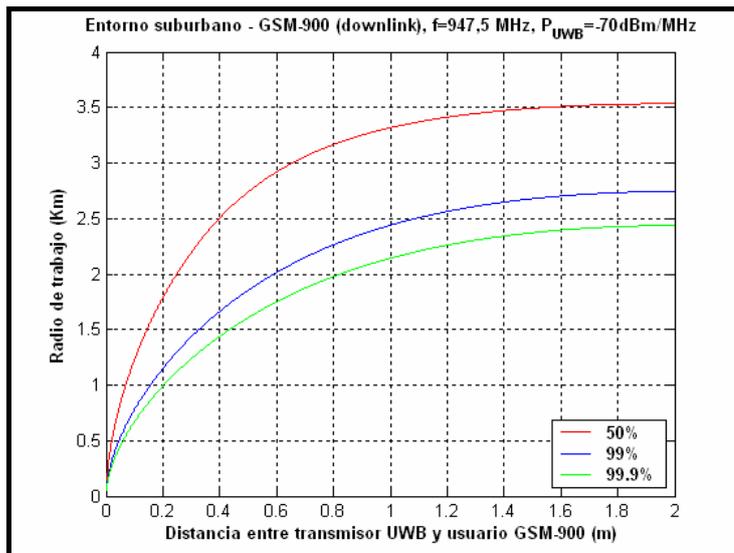


Figura 3.43. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -70 \text{ dBm/MHz}$)

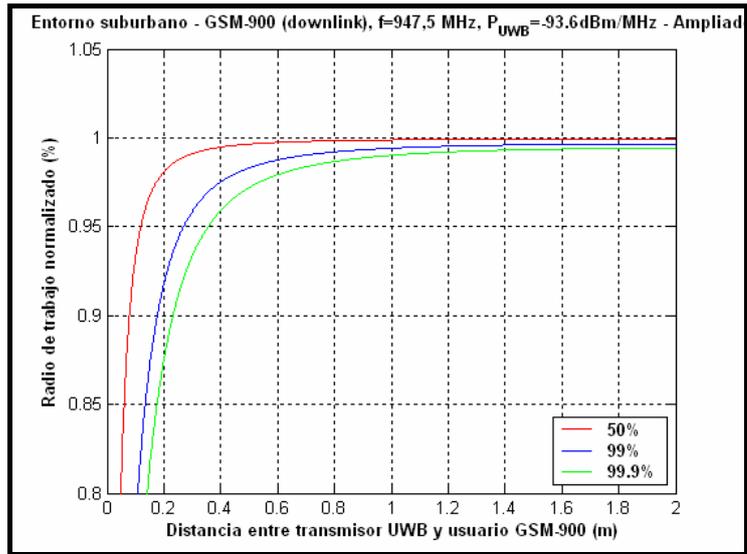


Figura 3.44. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -93,6 \text{ dBm/MHz}$)

Igual que en el caso anterior, comprobamos que el radio normalizado supera, a la distancia de 1 metro del transmisor UWB, el 99% del radio máximo alcanzable con la densidad de potencia utilizada.

En este caso la densidad de potencia a la que vamos a limitar el sistema tendrá que ser de: $-93,6 \text{ dBm/MHz}$.

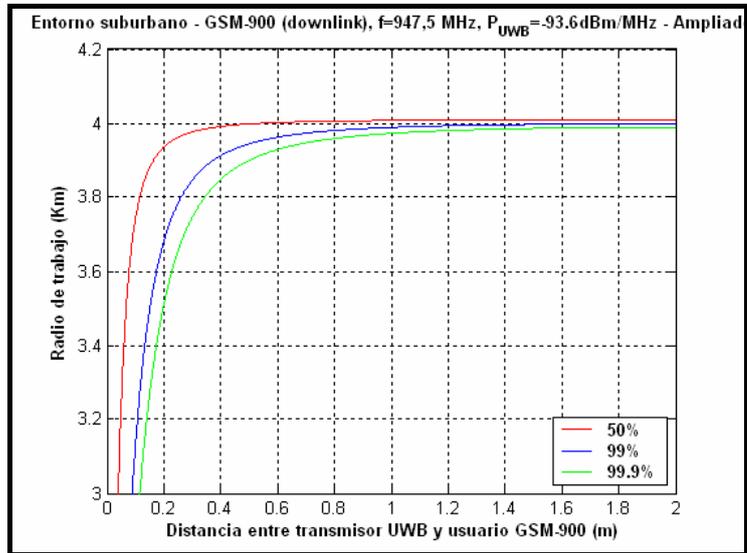


Figura 3.45. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -93,6 \text{ dBm/MHz}$)

El radio alcanzado varía de: 340m, el primero caso, 2,2 Km. en el segundo caso y 3,97 Km. en el tercer caso, siendo la distancia de máxima cobertura de 3,98 km.

Comparando con el entorno rural, hemos disminuido la distancia 3 veces. Antes eran 12 Km. aproximadamente y ahora no llegamos a 4 km.

3.7.6.3. Ciudad mediana-pequeña

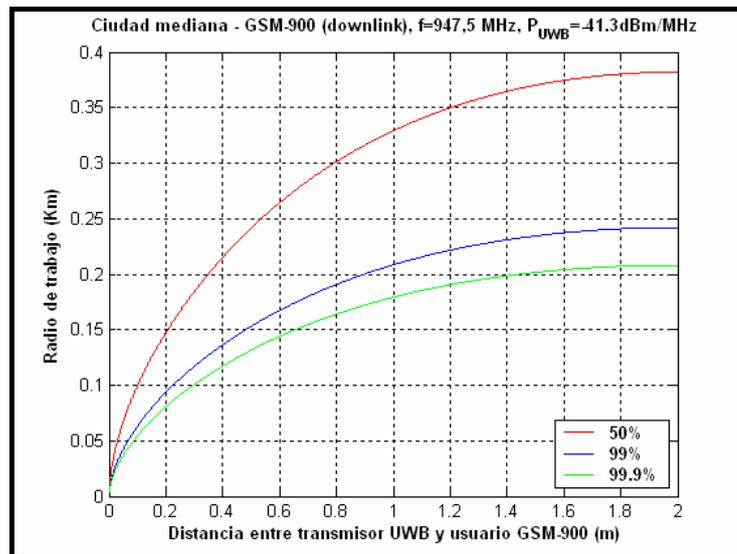


Figura 3.46. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -41,3 \text{ dBm/MHz}$)

En la primera gráfica ya notamos el descenso en el radio de cobertura.

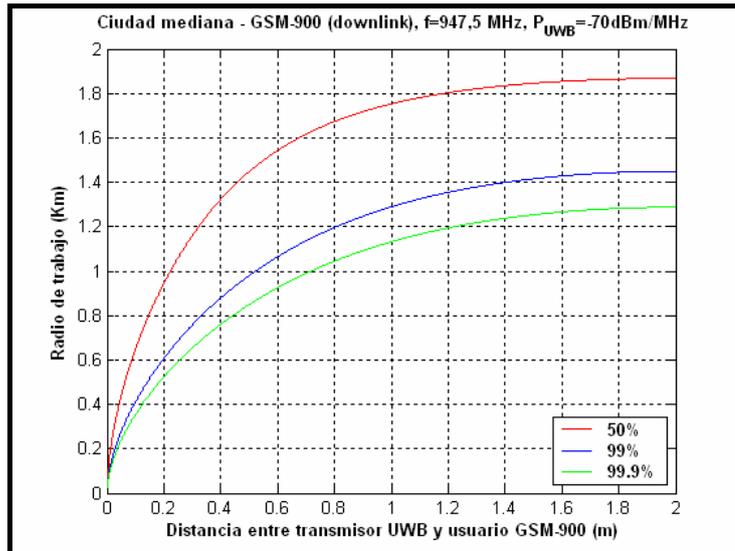


Figura 3.47. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -70 \text{ dBm/MHz}$)

Pasamos de 179 metros con $-41,3 \text{ dBm/MHz}$ a 1,13 Km. con la segunda densidad de potencia.

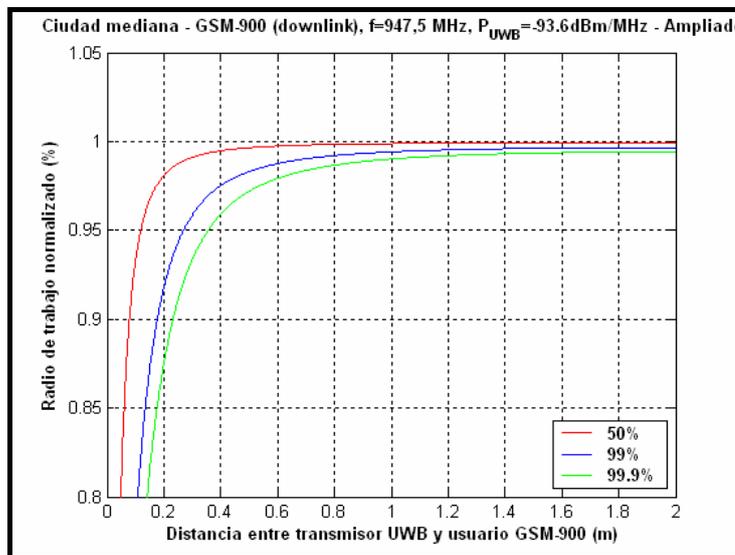


Figura 3.48. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -93,6 \text{ dBm/MHz}$)

También en entorno de ciudad pequeña-mediana la densidad de potencia máxima a la que deberíamos limitar el sistema sigue siendo de $-93,6 \text{ dBm/MHz}$ para alcanzar el máximo radio de trabajo que podemos sacar de la siguiente gráfica.

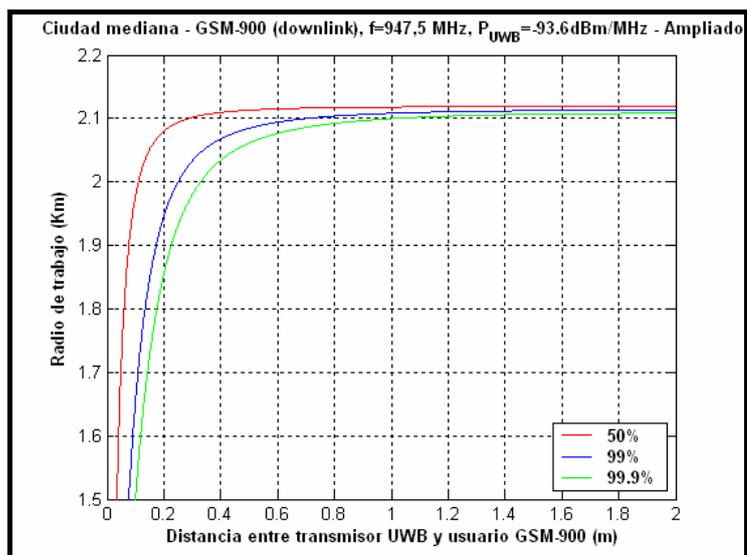


Figura 3.49. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -93,6 \text{ dBm/MHz}$)

En el caso de ciudad mediana-pequeña, los valores que vamos teniendo son lo siguientes:

Tabla 3.3. Radios de trabajo de GSM-900 para el entorno de ciudad mediana-pequeña ante la interferencia de un transmisor UWB en función de la densidad de potencia

Densidad de potencia	Distancia máxima
-41,3 dBm/MHz	0,18 Km.
-70,0 dBm/MHz	1,13 Km.
-93,6 dBm/MHz	2,10 Km.

A un metro de distancia del transmisor UWB el radio máximo de trabajo de GSM es de 2,1 Km. en ciudad pequeña-mediana con una densidad de potencia de -93,6 dBm/MHz.

3.7.6.4. Ciudad grande

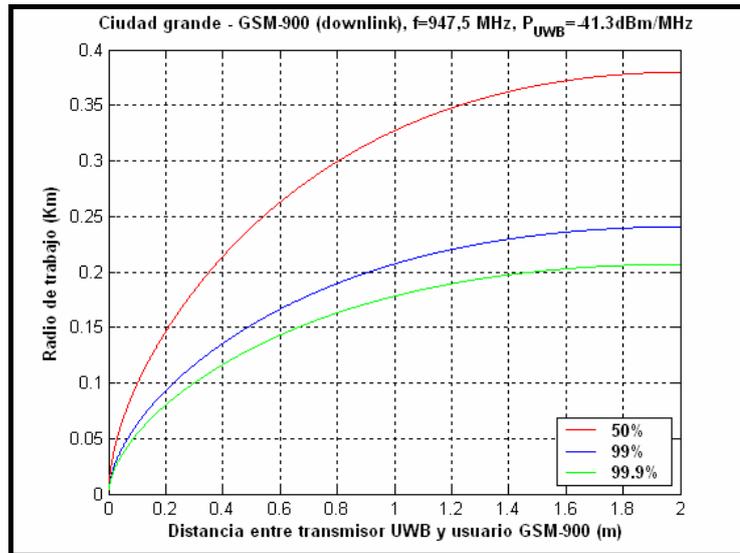


Figura 3.50. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -41,3 \text{ dBm/MHz}$)

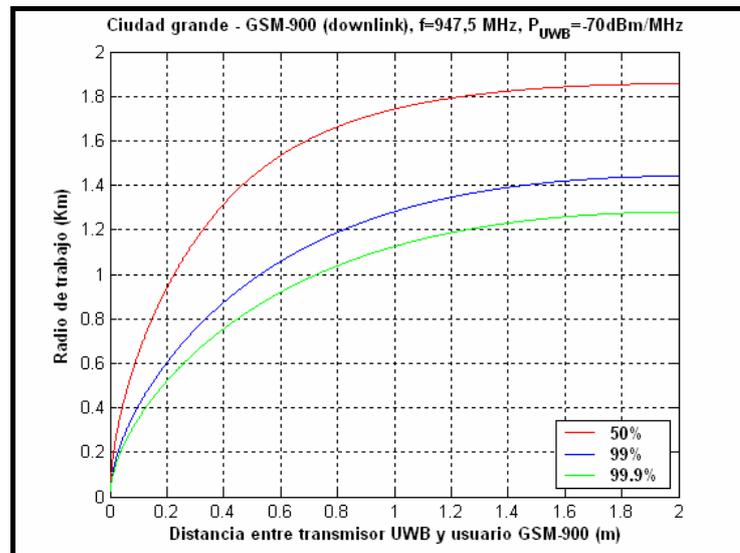


Figura 3.51. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -70 \text{ dBm/MHz}$)

Por último tenemos el caso de una ciudad grande. Aquí se presente muy poca variación respecto al caso de ciudad mediana-pequeña. Esto, como se ha comentado con anterioridad, puede ser debido a las variables del modelo de HATA empleado.

Junto con las gráficas a continuación tenemos los siguientes valores:

Tabla 3.4. Radios de trabajo de GSM-900 para el entorno de ciudad grande ante la interferencia de un transmisor UWB en función de la densidad de potencia

Densidad de potencia	Radio máximo
-41,3 dBm/MHz	0,18 Km.
-70,0 dBm/MHz	1,12 Km.
-93,6 dBm/MHz	2,08 Km.

La diferencia con el entorno de ciudad pequeña es de muy pocos metros. Tomando valores exactos para -93,6 dBm/MHz tenemos una diferencia de: 12 m.

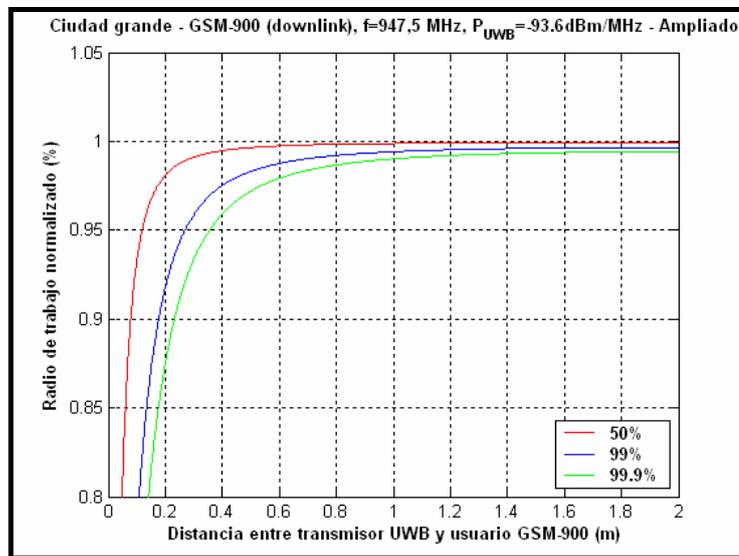


Figura 3.52. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -93,6$ dBm/MHz)

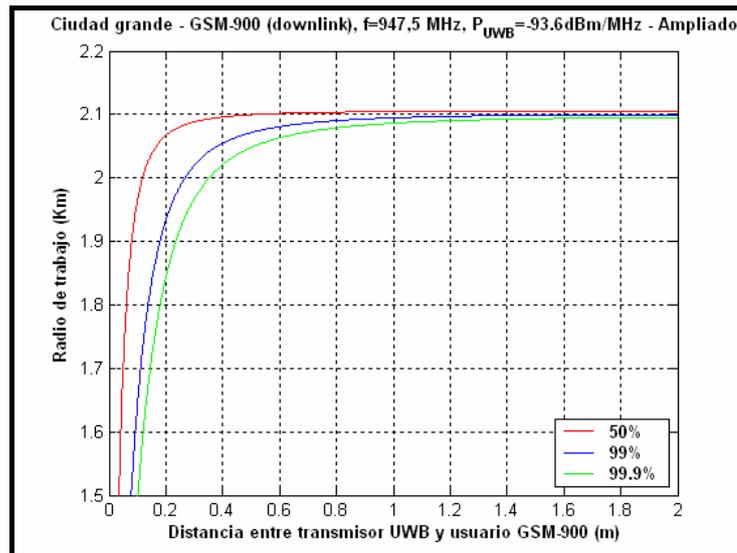


Figura 3.53. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-900 ($P_{UWB} = -93,6 \text{ dBm/MHz}$)

3.7.6.5. Conclusiones de multi transmisor UWB

Cuando estamos ante varios transmisores UWB, tenemos que disminuir la potencia de cada uno de ellos. Hay que tener en cuenta que la potencia obtenida se obtiene considerando que no todos los transmisores UWB van a estar funcionando a la vez. Si éste fuera el caso, habría que reducirla para que no interfirieran tanto. Por lo tanto la **densidad de potencia que obtenemos es de -93,6 dBm/Mhz para una frecuencia de 947,5 MHz.**

3.7.7. Variación de la capacidad del canal descendente con el tiempo

En situaciones de la vida diaria es muy difícil que todos los transmisores estén emitiendo a la vez. Por ello vamos a representar la variación que iría sufriendo la capacidad del canal a lo largo del tiempo.

El funcionamiento de cada uno de los 18 transmisores es aleatorio, y así se ha simulado en el código MATLAB. Además, en esta situación también se tiene en cuenta que se quiere dar un servicio en el 99.9% del campo de acción del 99% del radio total.

La densidad de potencia necesaria por lo tanto es de -93,6 dBm/MHz en los 4 entornos.

Las gráficas se muestran a continuación:

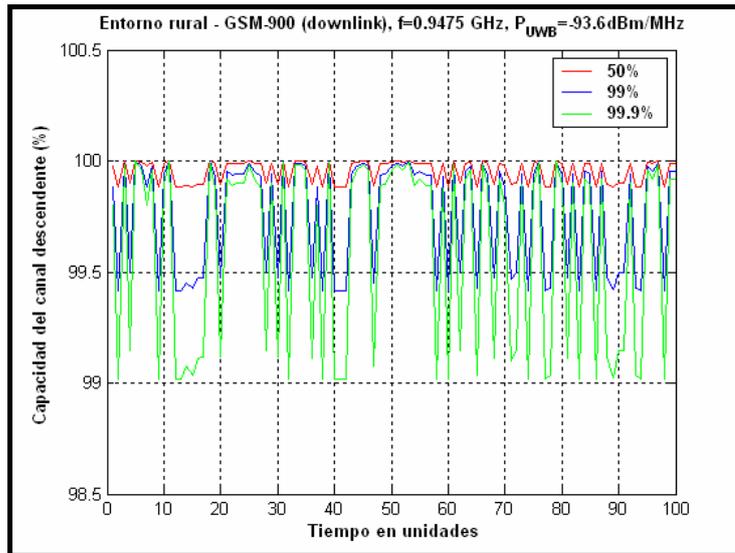


Figura 3.54. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre la capacidad del canal descendente de sistemas GSM-900 en entorno rural a lo largo del tiempo ($P_{UWB} = -93,6$ dBm/MHz)

La curva roja que nos representa el servicio ofrecido para el 50% del campo de acción se mantiene muy cerca del 100%. La azul y verde bajan bastante, pero siempre están por encima del 99% de la capacidad. Esto significa, que con la densidad de potencia elegida de $-93,6$ dBm/MHz la capacidad siempre va a estar al máximo, no va a bajar por debajo del límite establecido y el servicio a los usuarios siempre estará garantizado.

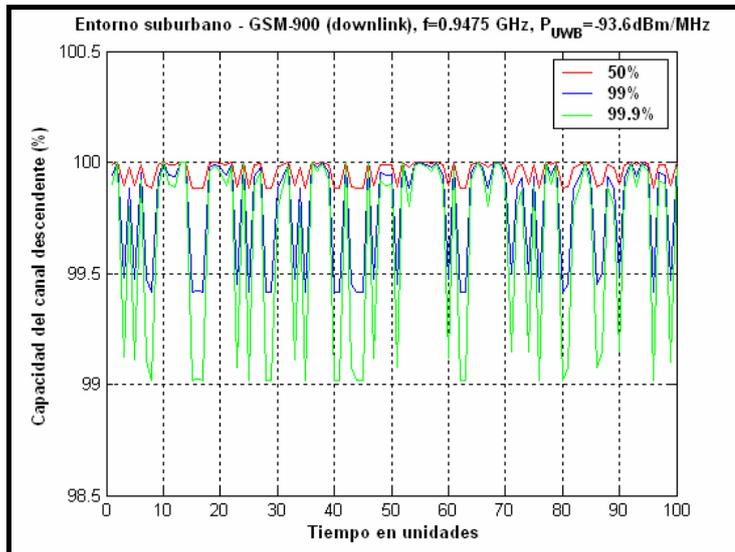


Figura 3.55. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre la capacidad del canal descendente de sistemas GSM-900 en entorno suburbano a lo largo del tiempo ($P_{UWB} = -93,6$ dBm/MHz)

Como se puede comprobar, para el caso del entorno suburbano la situación es parecida.

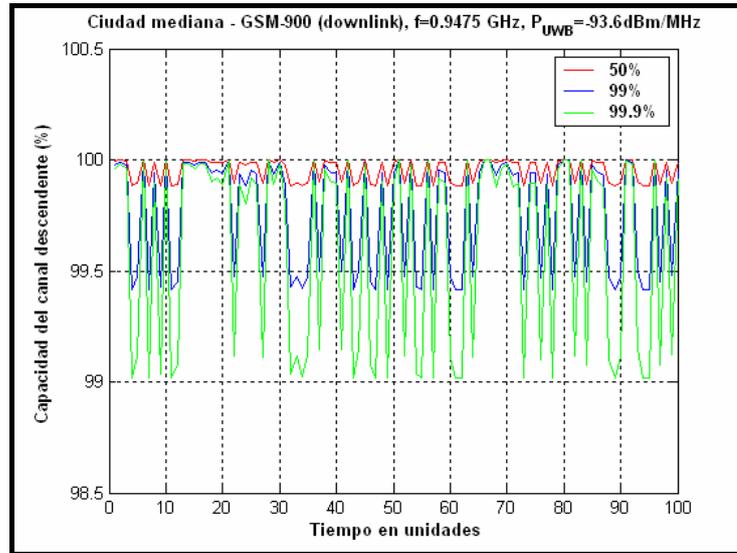


Figura 3.56. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre la capacidad del canal descendente de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad mediana-pequeña a lo largo del tiempo ($P_{UWB} = -93,6 \text{ dBm/MHz}$)

Al igual sucede estando en una ciudad mediana-pequeña

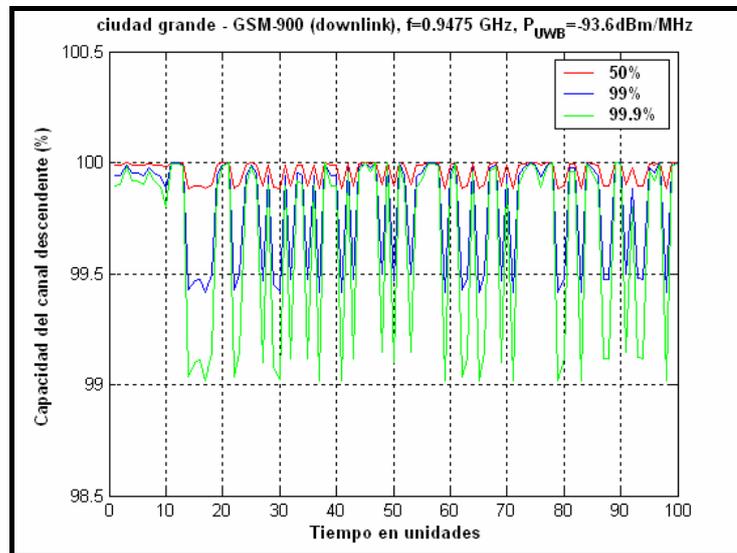


Figura 3.57. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre la capacidad del canal descendente de sistemas GSM-900 en entorno de ciudad grande a lo largo del tiempo ($P_{UWB} = -93,6 \text{ dBm/MHz}$)

Incluso en el peor de los casos, en la situación en la que más interferencias se producen y menos alcance se consigue, la capacidad se mantiene por encima del 99% de total.

De esta forma hemos conseguido simular la situación en la que los transmisores UWB se activan de forma aleatoria y no siempre están en emisión como se ha representado en el apartado anterior.

3.8. Efecto del sistema UWB sobre GSM-1800

Para GSM-1800 el modelo de HATA ya no vale porque está limitado a 1500 MHz, pero se puede utilizar una versión modificada: HATA-COST231 que llega hasta los 2000 MHz.

El procedimiento es exactamente igual al anterior con las pequeñas modificaciones del modelo. Por ejemplo en los casos de ciudad pequeña y grande se introduce un nuevo parámetro, c_m , que simula nuevas pérdidas en los entornos de ciudad pequeña-mediana y grande. En los otros casos es cero.

Las restricciones siguen siendo las mismas que antes salvo la frecuencia para la que aplicamos el modelo:

- ❖ **Frecuencia de funcionamiento** tiene que estar entre los siguientes rangos de frecuencia: $150 \text{ MHz} < f < 2000 \text{ MHz}$,
- ❖ **Altura de la antena emisora GSM** debe variar entre: $30 \text{ m} < h_b < 200 \text{ m}$
- ❖ **Altura del receptor GSM** puede estar entre: $1 \text{ m} < h_t < 10 \text{ m}$.

La fórmula general del modelo de HATA-COST231 es igual a la de HATA más el nuevo término de pérdidas, se representa por:

$$L_b = A + B \log d - \{C / D / E\} + c_m$$

Donde A y B son los parámetros fijos que vienen dados por la frecuencia de funcionamiento (f) y la altura de la antena transmisora GSM (h_t)

$$A = 46,3 + 33,9 \log f - 13,82 \log h_t$$

$$B = 44,9 - 6,55 \log h_t$$

C/D/E se dan en cada subapartado y c_m sólo se da en ciudades mediana y grande.

La fórmula de pérdidas HATA-COST231 quedaría de la siguiente manera:

$$L_b = 46,3 + 33,9 \log f_{\text{MHz}} - 13,82 \log h_t + (44,9 - 6,55 \log h_t) \log d - \{C / D / E\} + c_m$$

Datos escogidos para todos los cálculos:

- $h_r = 1,6 \text{ m}$ es la altura media en la que se supone que va a estar el móvil durante la comunicación.
- $b = 1$ porque d es siempre inferior a 20km

3.8.1. Zona rural

Parámetro específico de la zona rural:

$$D = 4,78(\log f)^2 - 18,33 \log f + 40,94$$

Aplicando los datos de zona rural a la fórmula general nos queda:

$$L_b = A + B \log d - D$$

Podemos igualarla a las pérdidas de GSM-1800 y despejar la distancia:

$$d = 10^{\frac{L_{GSM-1800} - A + D}{B}} = 10^{\frac{L_{GSM-1800} - (46,3 + 33,9 \log(f) - 13,82 \log(h_t)) + (4,78(\log f)^2 - 18,33 \log f + 40,94)}{44,9 - 6,55 \log(h_t)}}$$

3.8.1.1. Densidad de potencia de transmisión UWB = -53,3 dBm/MHz

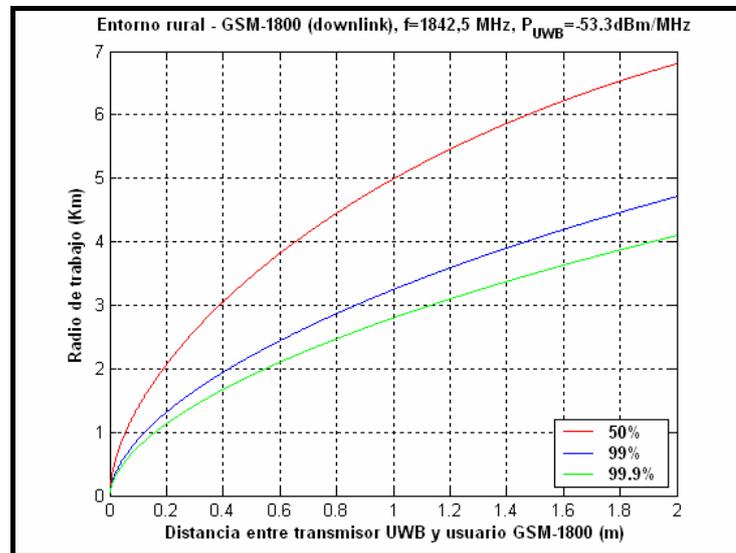


Figura 3.58. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-1800 (P_{UWB} = -53,3 dBm/MHz)

El primer cambio que observamos respecto a GSM-900 es la frecuencia recomendada por la FCC. A la frecuencia de 1800 MHz la recomendación es transmitir con -53,3 dBm/MHz. Es por esto que aunque la frecuencia de funcionamiento sea mayor, el radio de cobertura es mayor que en el caso anterior.

3.8.1.2. Densidad de potencia de transmisión UWB = -70 dBm/MHz

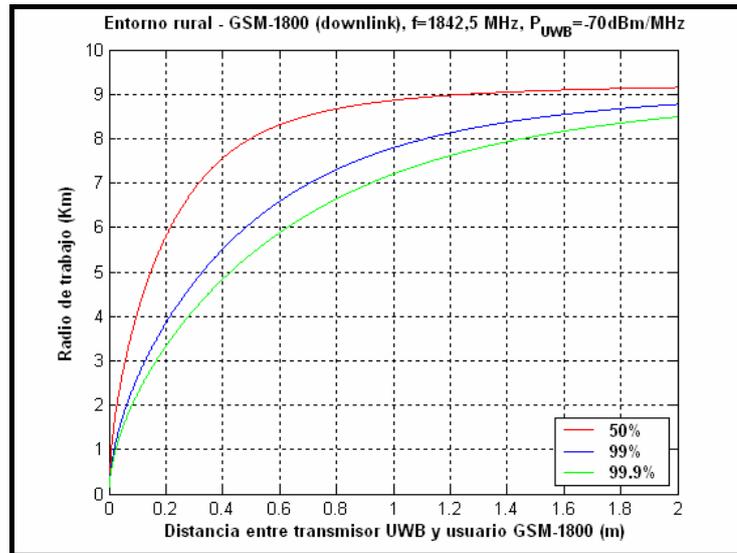


Figura 3.59. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -70$ dBm/MHz)

3.8.1.3. Densidad de potencia de transmisión UWB = -86 dBm/MHz

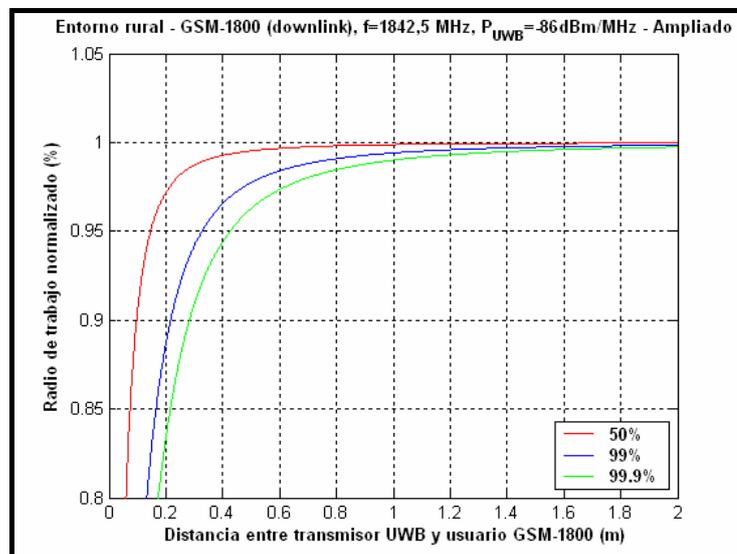


Figura 3.60. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-1800 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -86$ dBm/MHz)

Al cambiar de situación nos obligamos a tener que hacer repeticiones y comprobar que con la nueva densidad de potencia elegida se alcanza el 99% del radio máximo. Esto lo vemos en la gráfica del radio normalizado. Al llegar a 0,99 cuando nos encontramos a 1

metro de la antena UWB transmisora, paramos y nos quedamos con esa densidad de potencia.

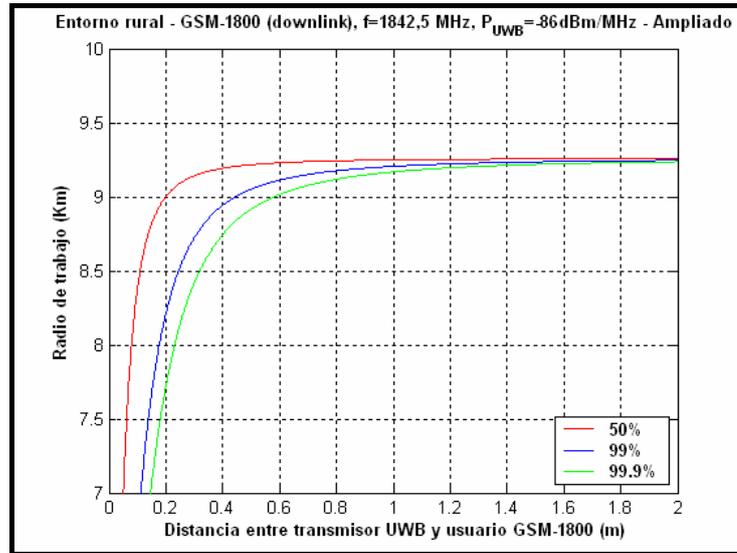


Figura 3.61. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -86$ dBm/MHz)

A la distancia de 1 metro del transmisor UWB, emitiendo a -86 dBm/MHz, el radio de cobertura GSM llega a 9,16 Km. Lo que disminuye el área de cobertura en unos 4 Km. respecto a GSM-900.

3.8.2. Zona suburbana

Parámetros específicos para zona suburbana:

$$C = 2\left(\log\left(\frac{f}{28}\right)\right)^2 + 5,4$$

A través de la fórmula de las pérdidas:

$$L_b = A + B \log d - C$$

Conseguimos la relación completa:

$$L_b = 46,3 + 33,9 \log f - 13,82 \log h_t + (44,9 - 6,55 \log h_t) (\log d)^b - \left(2\left(\log\left(\frac{f}{28}\right)\right)^2 + 5,4\right)$$

Despejando la distancia tenemos:

$$d = 10^{\frac{L_{GSM-1800} - 46,3 - 33,9 \log f + 13,82 \log h_t + \left(2\left(\log\left(\frac{f}{28}\right)\right)^2 + 5,4\right)}{44,9 - 6,55 \log h_t}}$$

3.8.2.1. Densidad de potencia de transmisión UWB = -53,3 dBm/MHz

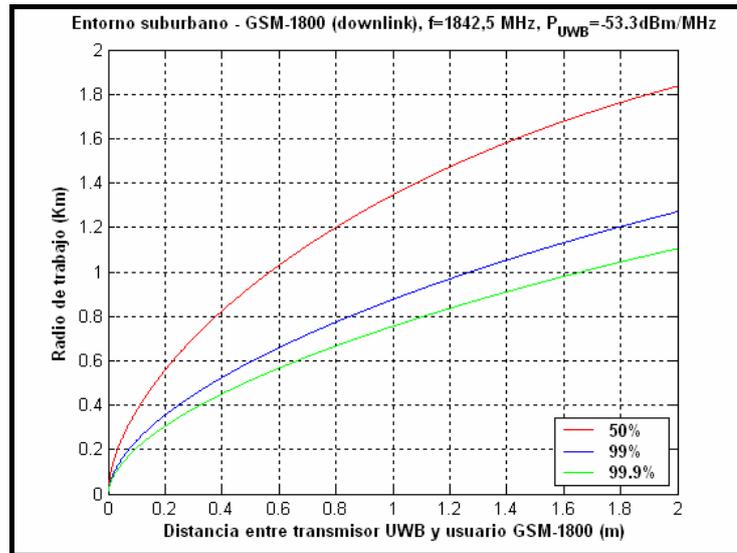


Figura 3.62. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -53,3$ dBm/MHz)

3.8.2.2. Densidad de potencia de transmisión UWB = -70 dBm/MHz

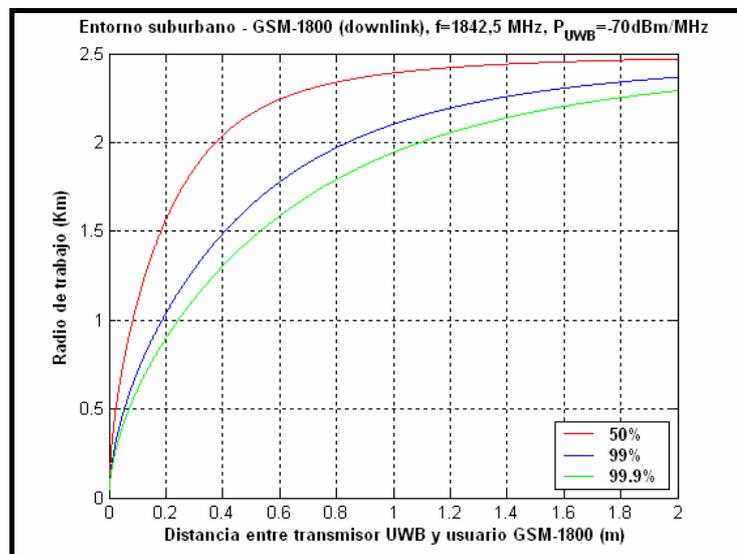


Figura 3.63. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -70$ dBm/MHz)

Al cambiar de entorno y movernos a uno con más obstáculos el radio de trabajo disminuye pasando de un máximo asintótico de 9,5 Km. a 2,5 Km., lo que significa un radio casi 4 veces menor. En la gráfica de la potencia recomendada esto no puede observarse, lo único que vemos es la disminución a un radio de 800 m.

3.8.2.3. Densidad de potencia de transmisión UWB = -86 dBm/MHz

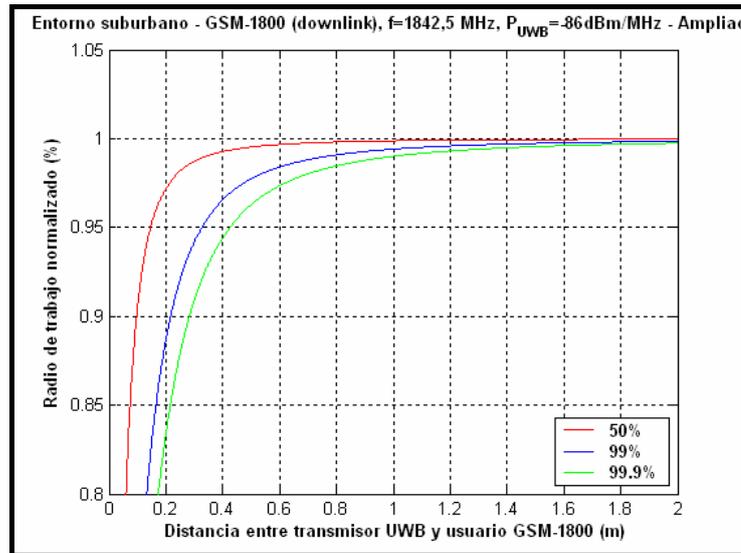


Figura 3.64. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-1800 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-1800 (P_{UWB} = -86 dBm/MHz)

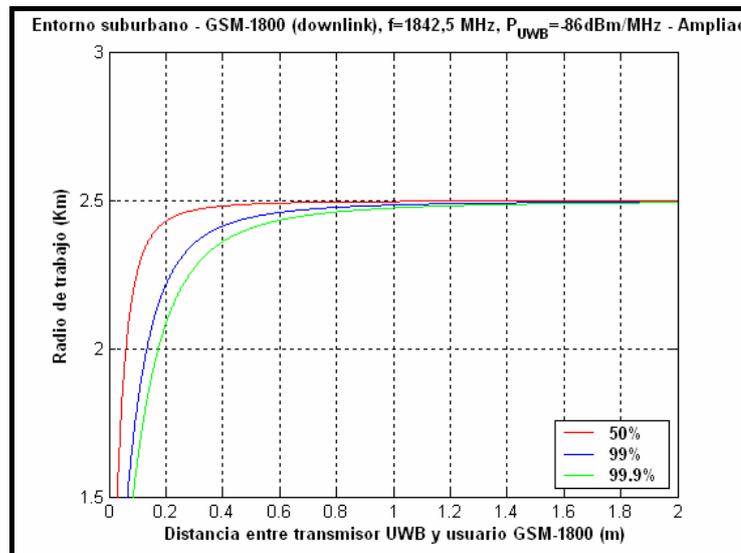


Figura 3.65. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-1800 (P_{UWB} = -86 dBm/MHz)

Con nuestra potencia de emisión recomendada y a la distancia habitual el radio de trabajo que se consigue es de 2,47 km.

3.8.3. Ciudad mediana-pequeña

Parámetros específicos para una ciudad mediana-pequeña:

$$E_p = (1,11 \log f - 0,7)h_r - 1,56 \log f + 0,8$$

$$c_m = 0 \text{ dB}$$

Aplicando a la fórmula general todas las variables para este entorno tenemos:

$$L_b = A + B \log d - E_p + c_m$$

Podemos completarla con todos los valores:

$$L_b = 46,3 + 33,9 \log f - 13,82 \log h_t + (44,9 - 6,55 \log h_t) (\log d)^b - ((1,11 \log f - 0,7)h_r - 1,56 \log f + 0,8) + c_m$$

Y obtener la distancia despejando de la fórmula:

$$d = 10^{\frac{L_{GSM-1800} - 46,3 - 33,9 \log f + 13,82 \log h_t + ((1,11 \log f - 0,7)h_r - 1,56 \log f + 0,8) - c_m}{44,9 - 6,55 \log h_t}}$$

3.8.3.1. Densidad de potencia de transmisión UWB = -53,3 dBm/MHz

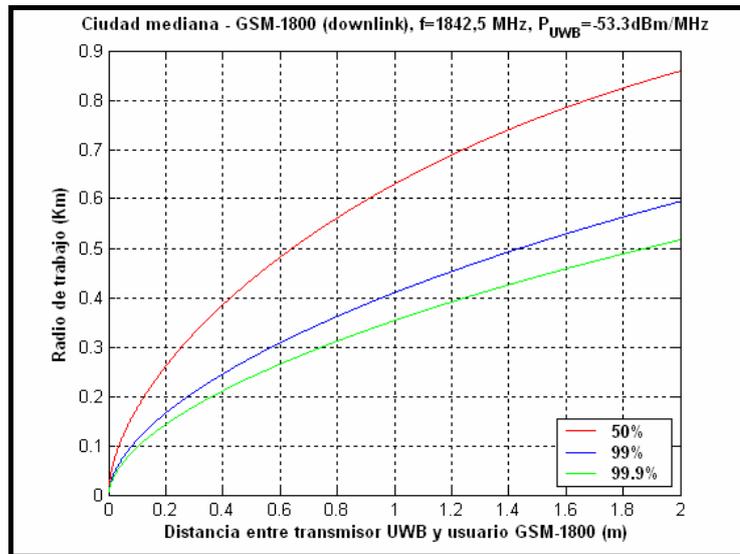


Figura 3.66. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -53,3 \text{ dBm/MHz}$)

3.8.3.2. Densidad de potencia de transmisión UWB = -70 dBm/MHz

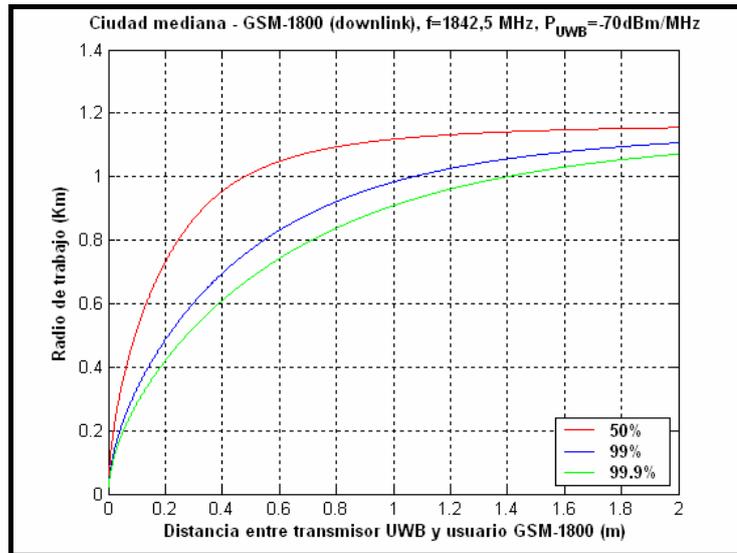


Figura 3.67. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -70$ dBm/MHz)

Ahora el valor asintótico del radio máximo que podríamos conseguir se sitúa en 1,1 Km. aproximadamente. Esto supone tener un radio de unos 350 metros con la potencia recomendada por la FCC y un radio de 900 metros con una potencia intermedia entre la recomendada y la nuestra.

3.8.3.3. Densidad de potencia de transmisión UWB = -86dBm/MHz

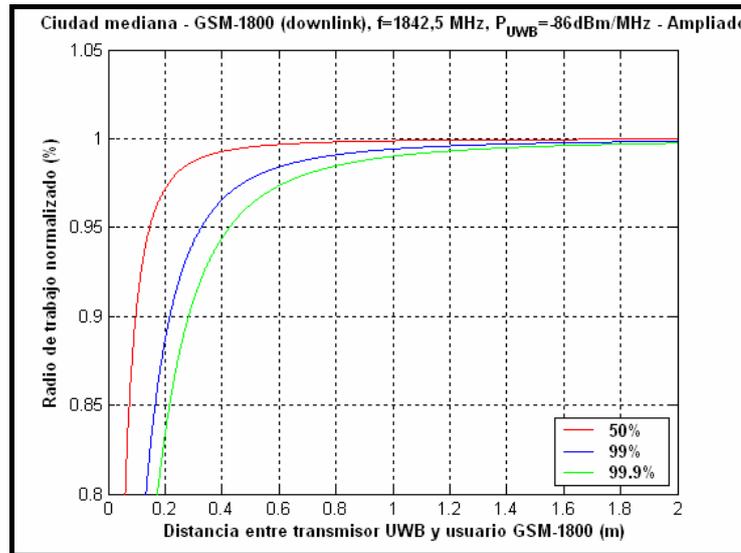


Figura 3.68. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-1800 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -86$ dBm/MHz)

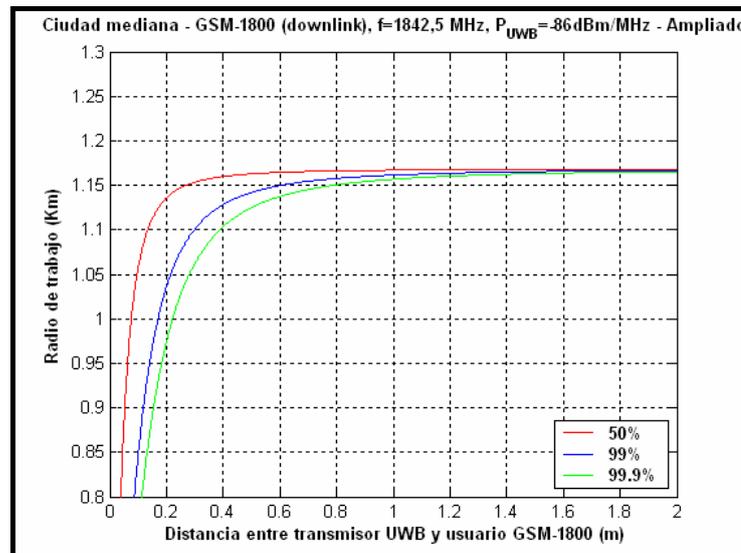


Figura 3.69. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -86$ dBm/MHz)

En la gráfica del radio normalizado podemos apreciar que el radio llega a cubrir el 99% del terreno, lo que en unidades reales llega a los 1,15 Km. con una potencia en el transmisor UWB de -86 dBm/MHz.

3.8.4. Ciudad grande

Parámetros específicos para la ciudad grande:

$$E_g = 3,2(\log(11,75h_r))^2 - 4,97 \text{ para } f > 300\text{MHz}$$

$$c_m = 3\text{dB}$$

Utilizando la misma fórmula que en apartado anterior podemos completarla con el nuevo dato y obtener:

$$L_b = 46,3 + 33,9 \log f - 13,82 \log h_t + (44,9 - 6,55 \log h_t) (\log d)^b - (3,2(\log(11,75h_r))^2 - 4,97) + c_m$$

Para después despejar la distancia y obtener:

$$d = 10^{\frac{L_{GSM-1800} - 69,55 - 26,16 \log f + 13,82 \log h_t + (3,2(\log(11,75h_r))^2 - 4,97) - c_m}{44,9 - 6,55 \log h_t}}$$

3.8.4.1. Densidad de potencia de transmisión UWB = -53,3 dBm/MHz

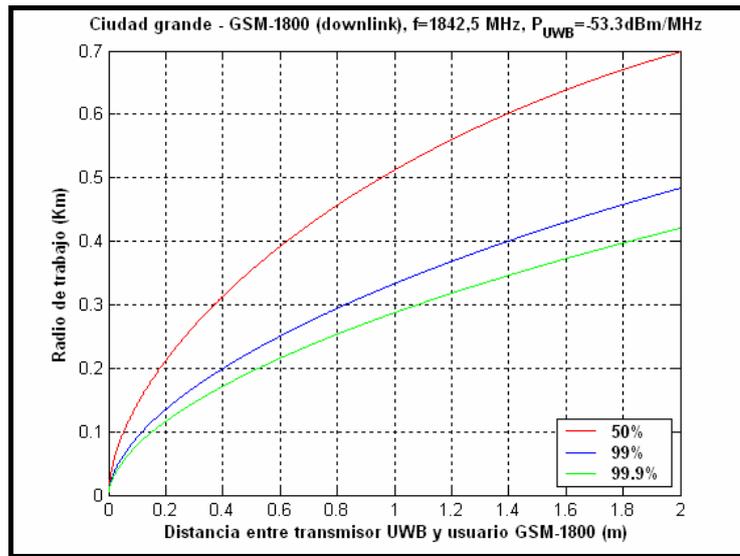


Figura 3.70. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -53,3$ dBm/MHz)

Llegando al último apartado con un transmisor haciendo interferencia, observamos nuevamente el mismo comportamiento que antes. Con la densidad de potencia dada no conseguimos llegar ni al 50% del área máxima de trabajo.

3.8.4.2. Densidad de potencia de transmisión UWB = -70 dBm/MHz

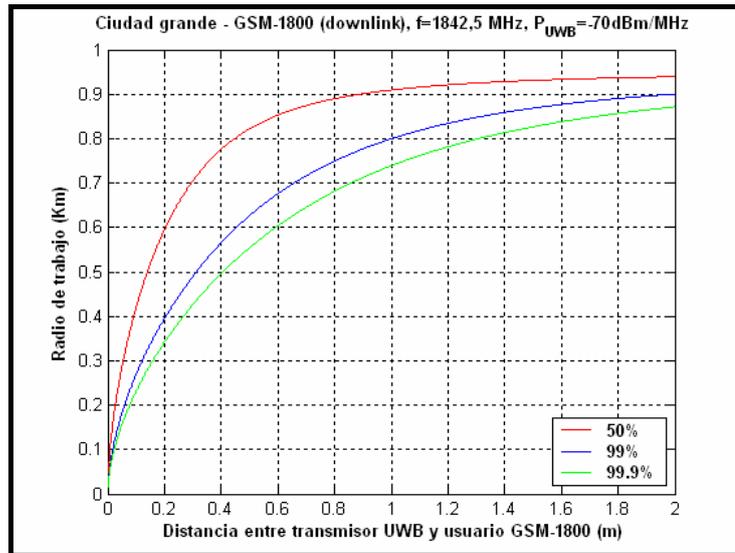


Figura 3.71. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -70 \text{ dBm/MHz}$)

Al disminuir la densidad de potencia el radio va aumentando poco a poco.

3.8.4.3. Densidad de potencia de transmisión UWB = -86dBm/MHz

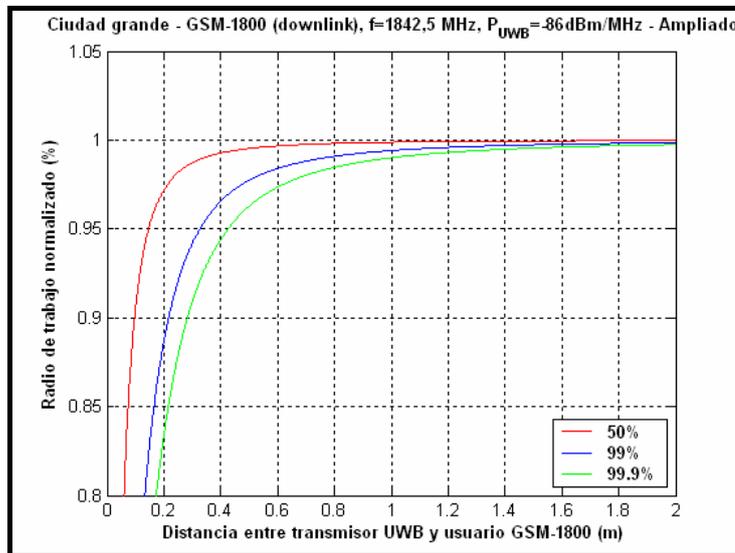


Figura 3.72. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas GSM-1800 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -86 \text{ dBm/MHz}$)

Al llegar al 99% del radio máximo normalizado paramos de reducir la densidad de potencia del transmisor UWB.

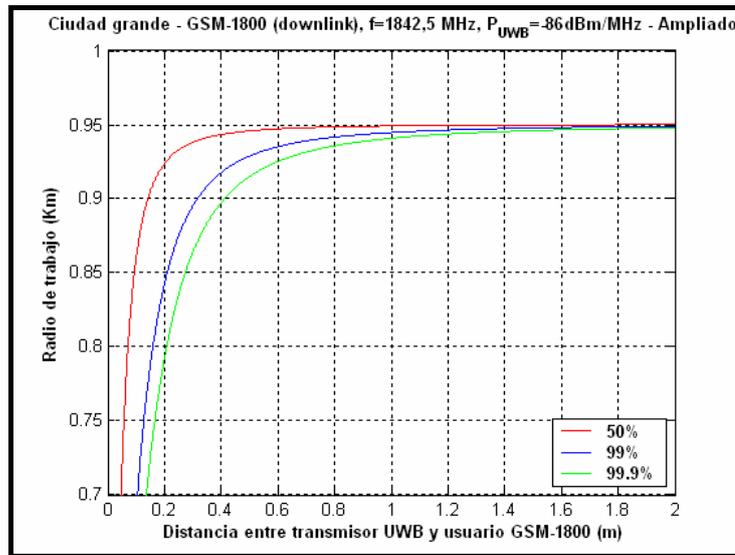


Figura 3.73. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -86$ dBm/MHz)

En el caso con más pérdidas, en la gran ciudad el radio máximo alcanzado es de 940 m. Comparándolo con GSM-900 en el que se alcanzaban los 2 Km.; esto significa reducir nuestro campo efectivo en más de un 50%. En la práctica esto supondría poner más antenas por toda la ciudad incrementando el precio del servicio y de la red.

3.8.5. Resultados bajo la acción de varios transmisores UWB

El efecto de introducir hasta 18 transmisores UWB en nuestra zona de trabajo es evidentemente una disminución del radio de trabajo efectivo. Por lo tanto tenemos 2 opciones. O bien disminuir la potencia de emisión de los transmisores UWB o bien aceptar el nuevo radio de trabajo.

En nuestro cálculo se ha preferido la primera opción para tener una igualdad entre el caso de tener un solo transmisor o tener varios presentes.

Comparamos para los distintos entornos la diferencia que tendríamos con la potencia recomendada por la FCC y la nuestra calculada para dar servicio en el 99% de la zona de cobertura y en ella tener un campo de acción del 99,9%.

3.8.5.1. Entorno rural

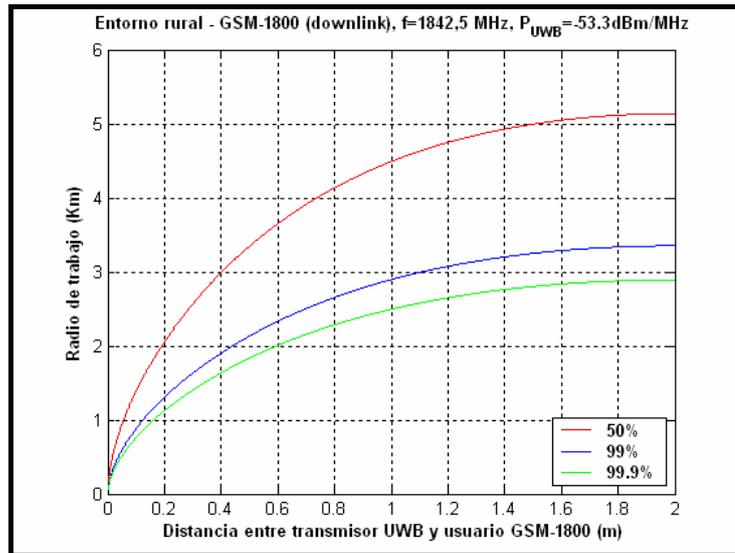


Figura 3.74. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -53,3 \text{ dBm/MHz}$)

Sucede que con la potencia recomendada el radio de trabajo parece aumentar al aumentar la frecuencia, pero esto no es el efecto real que tiene que suceder, pues al aumentar la frecuencia de funcionamiento tenemos un mayor número de pérdidas. Y así se puede comprobar al utilizar la potencia que nosotros calculamos.

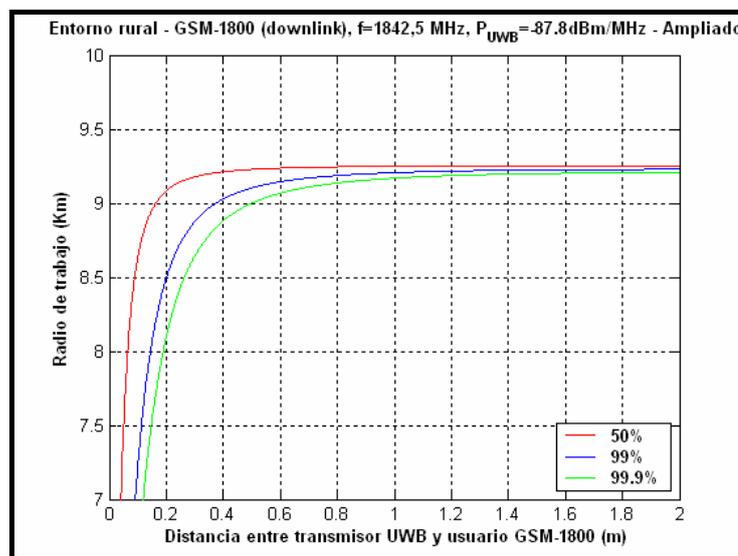


Figura 3.75. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno rural en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -87,8 \text{ dBm/MHz}$)

Al emitir con $-87,8$ dBm/MHz y dar cobertura en el 99% de la zona de trabajo, pasamos de cubrir un área de $13,5$ Km. a $9,4$ Km., viéndose el cambio de frecuencia mencionado.

3.8.5.2. Entorno suburbano

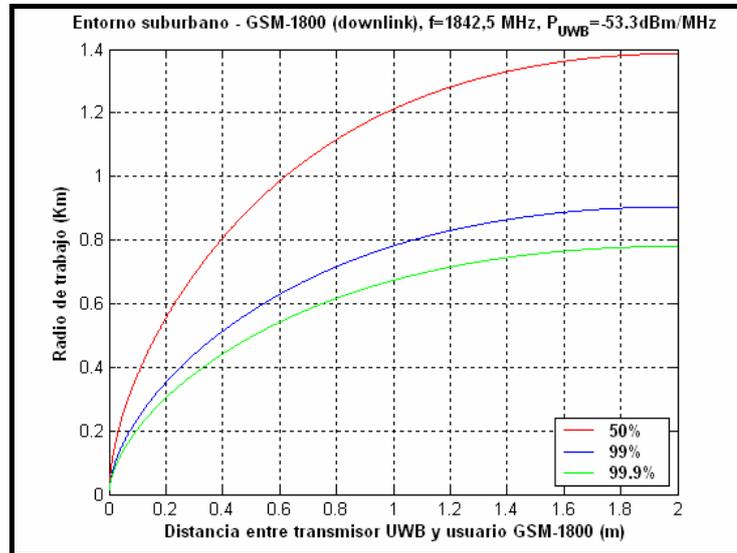


Figura 3.76. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -53,3$ dBm/MHz)

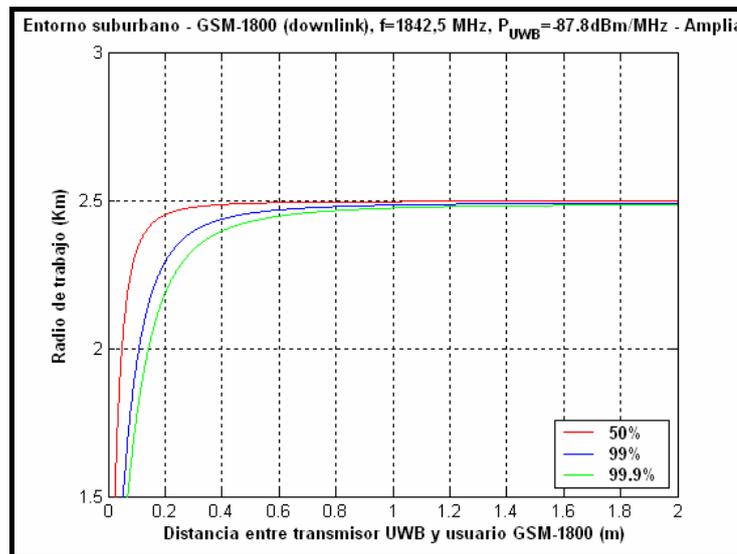


Figura 3.77. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno suburbano en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -87,8$ dBm/MHz)

En el entorno suburbano es lo mismo, pasamos de cubrir 4 Km. de radio en GSM-900 a la mitad aproximadamente, 2,5 km.

3.8.5.3. Ciudad mediana-pequeña

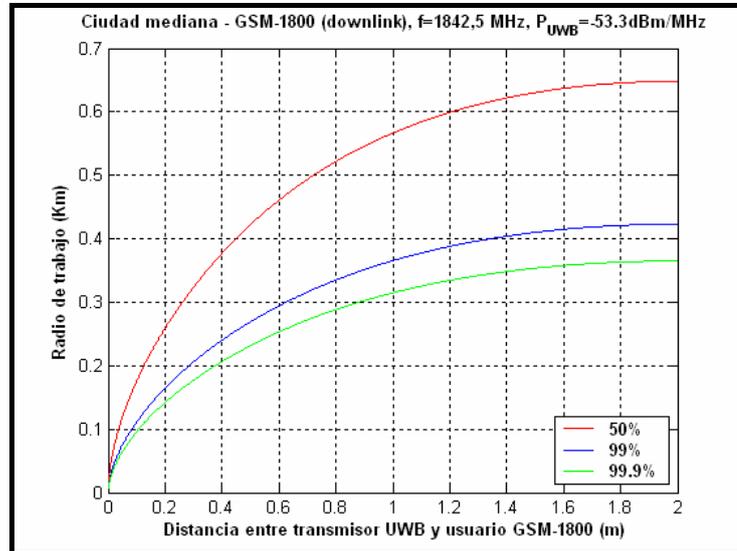


Figura 3.78. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -53,3 \text{ dBm/MHz}$)

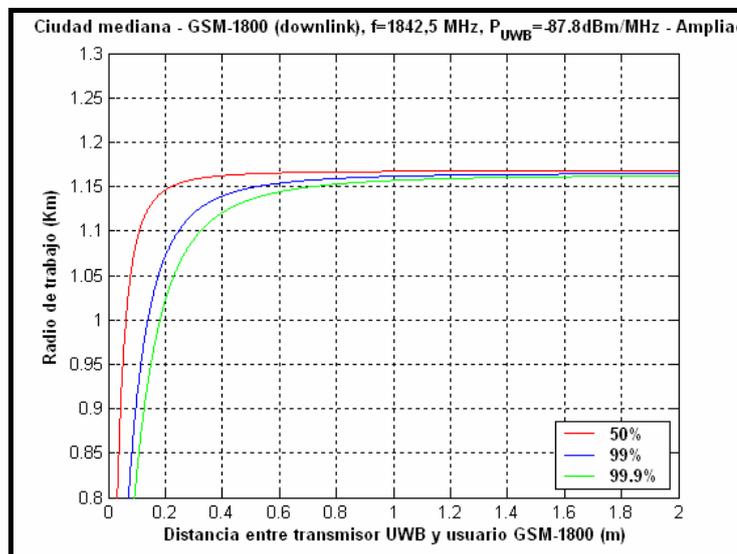


Figura 3.79. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -87,8 \text{ dBm/MHz}$)

En la ciudad mediana-pequeña el cambio en porcentaje es aún mayor, pasando de 2,1 Km. a 1,15 km. Una reducción de área de un 50%.

3.8.5.4. Ciudad grande

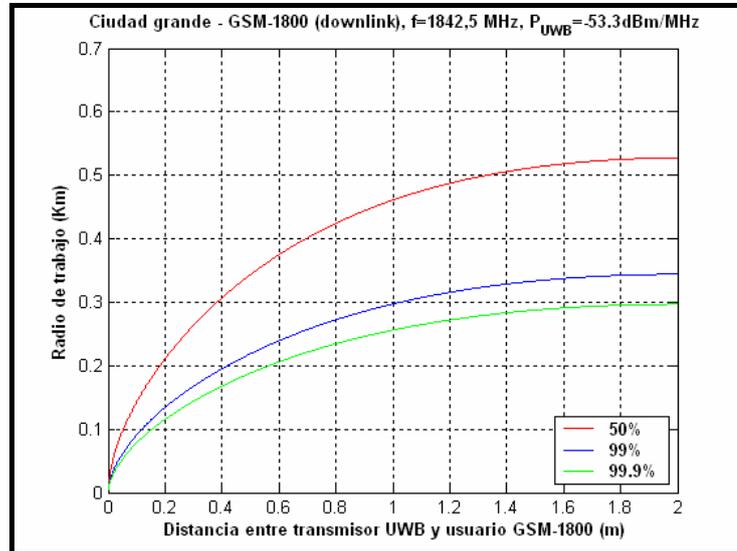


Figura 3.80. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -53,3$ dBm/MHz)

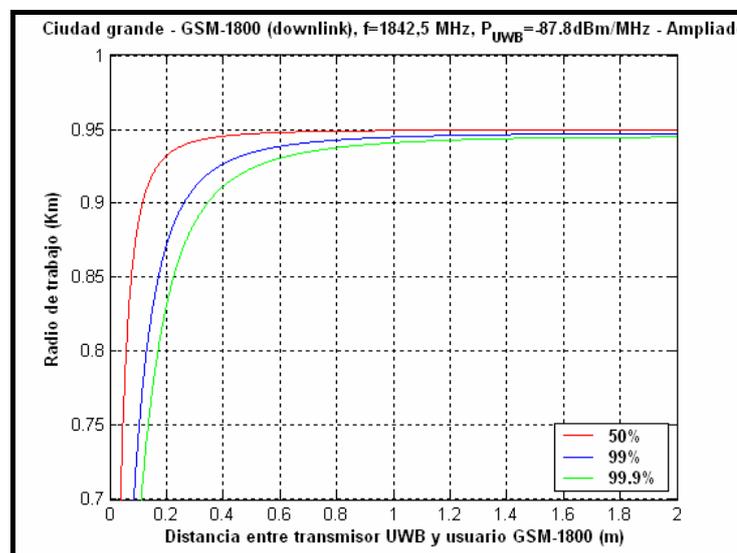


Figura 3.81. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas GSM-1800 en entorno de ciudad grande en función de la posición del usuario GSM-1800 ($P_{UWB} = -87,8$ dBm/MHz)

Entre ciudad grande y ciudad mediana-pequeña el cambio no es muy significativo. Ahora tenemos un radio de aproximadamente 940 metros. En GSM-900 teníamos un poco más de 2 Km. de radio.

Para la **densidad de potencia de -87,8 dBm/MHz conseguimos un radio de trabajo de 940 metros.**

3.8.6. Variación de la capacidad del canal descendente con el tiempo

Dado que todos los transmisores UWB no emiten a la misma vez, podemos ver la variación del radio de cobertura. Los efectos y conclusiones son los mismos que en el caso anterior. La capacidad del canal nunca va a bajar del 99% con la potencia elegida, lo que supone dar un buen servicio en el 99,9 % del campo de acción en todo el radio de trabajo.

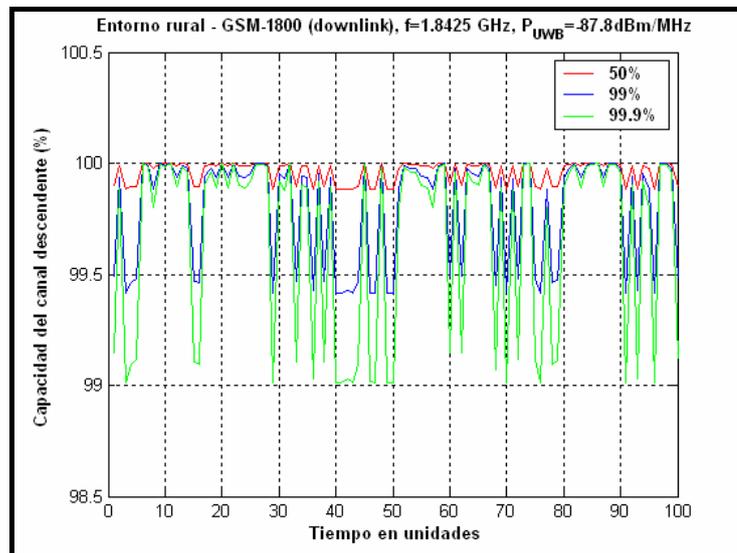


Figura 3.82. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre la capacidad del canal descendente de sistemas GSM-1800 en entorno rural a lo largo del tiempo ($P_{UWB} = -87,8$ dBm/MHz)

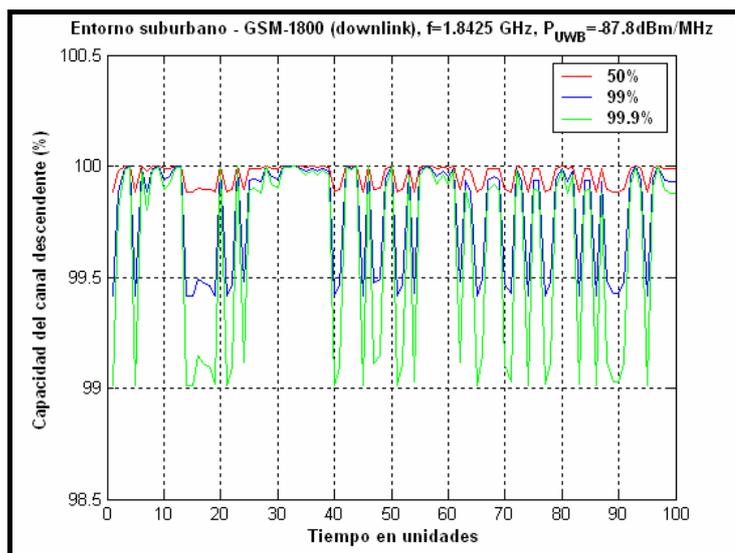


Figura 3.83. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre la capacidad del canal descendente de sistemas GSM-1800 en entorno suburbano a lo largo del tiempo ($P_{UWB} = -87,8$ dBm/MHz)

Los picos nos indican cuanto tiempo están actuando todos a la vez y cuando solo actúan unos pocos. Cuando más bajo sea el pico más transmisores UWB estarán emitiendo al mismo tiempo.

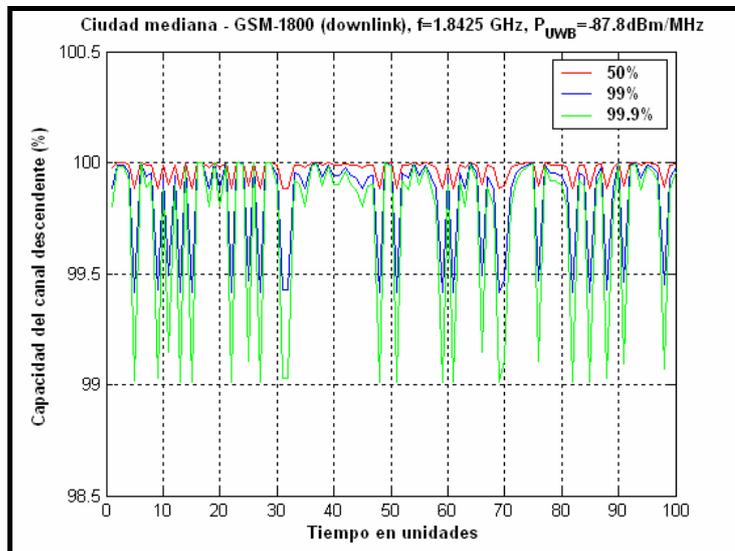


Figura 3.84. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre la capacidad del canal descendente de sistemas GSM-1800 en entorno de ciudad mediana-pequeña a lo largo del tiempo ($P_{UWB} = -87,8$ dBm/MHz)

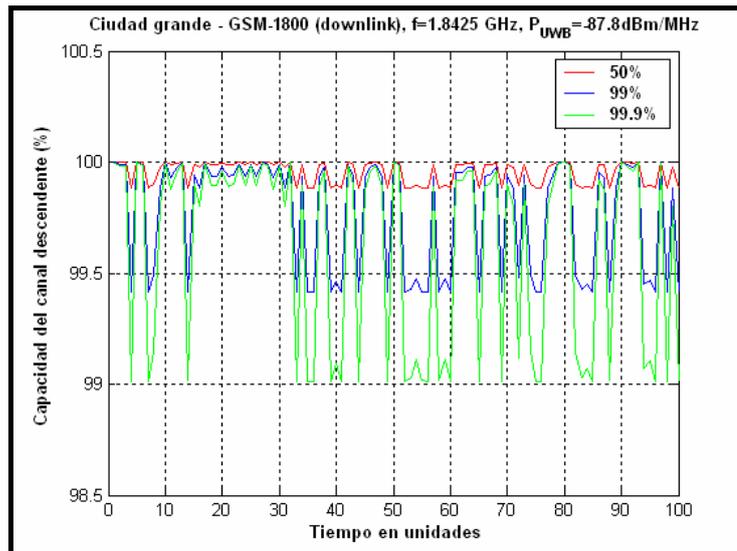


Figura 3.85. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre la capacidad del canal descendente de sistemas GSM-1800 en entorno de ciudad grande a lo largo del tiempo ($P_{UWB} = -87,8$ dBm/MHz)

3.8.7. Conclusiones GSM-1800

La potencia recomendada por la FCC de nuevo no nos vale. Tenemos que emitir con menos potencia. En el estudio con un solo transmisor necesitamos una densidad de potencia de -86 dBm/MHz, pero aún sigue siendo demasiado si queremos cubrir todos los casos y poner más transmisores.

Entonces concluimos que para dar servicio en el 99.9% de los puntos en el 99% de radio máximo de trabajo y permaneciendo a una distancia de 1 metro del transmisor UWB, tenemos que limitarlo a **$-87,8$ dBm/MHz trabajando a 1842,5 MHz.**

Capítulo 4: Efecto de UWB sobre UMTS

4.1. Introducción a los sistemas UMTS

Internacionalmente conocido como IMT-2000 (International Mobile Communications) y como UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) en Europa, este sistema de 3ª generación se compone de un interfaz aéreo y componentes radio, combinando de forma modular los componentes de redes fijas existentes de forma evolucionada y nuevos componentes de red específicamente diseñados para esta tecnología.

Ofrece prestaciones mejoradas y permite una itinerancia global apoyándose en los sistemas anteriores de 2ª generación. Dicha itinerancia global se refiere tanto a la movilidad en el espacio físico como al cambio de terminales. Es decir, vamos a tener comunicación incluso mientras nos movemos o desplazamos pasando de una célula a otra sin perder la comunicación y vamos a poder ver lo mismo y tener la misma interfaz y servicios cambiando de terminal. Otra característica bastante importante es la de poder acceder a los servicios contratados independientemente de la red en la que nos encontremos.

UMTS comprende tanto comunicaciones terrenales como por satélite. Para ambas se ha asignado parte del espectro existente, pero no de forma secuencial porque éste ya estaba ocupado anteriormente por otras tecnologías. A continuación podemos ver un gráfico con la asignación de la banda para las distintas regiones mundiales:

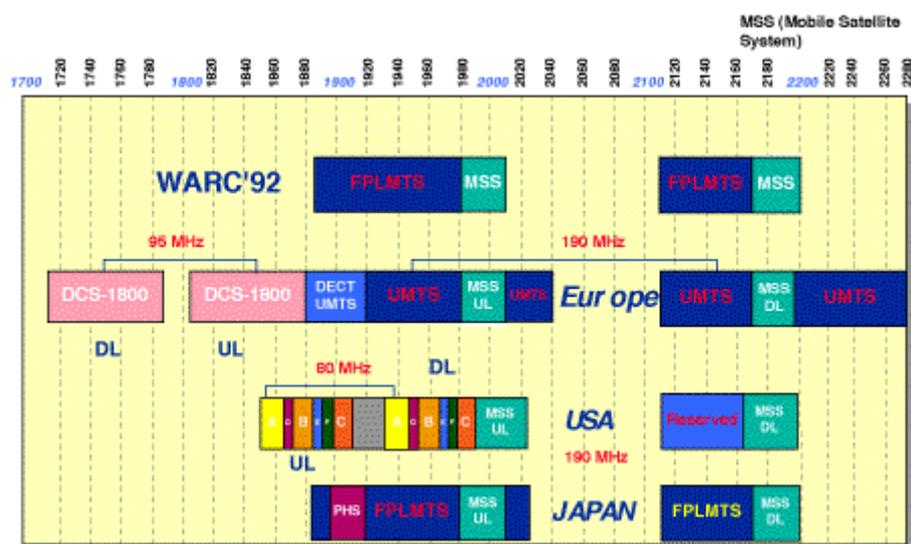


Figura 4.1. Asignación y uso de bandas de frecuencia en Europa, EE.UU. y Japón

Para que la tecnología UMTS pueda haberse metido en el mercado ha sido necesario una ampliación de las capacidades GSM ya existentes. Entre ellas se han incluido:

- ❖ **Conmutación de circuitos a alta velocidad** (HSCSD: High Speed Circuit Switched Data)
- ❖ **Conmutación de paquetes** (GPRS: General Packet Radio Service)
- ❖ **Operación de datos a alta velocidad** (EDGE: Enhanced Data rates for Global Evolution)

Las ventajas de GPRS posibilitan que hasta 7 usuarios puedan compartir un único intervalo temporal de la portadora radio, o lo que es lo mismo que un usuario pueda utilizar los 8 intervalos temporales y aumentar la velocidad de transmisión hasta 171 kbit/s.

4.1.1. Mercado de la tecnología UMTS

En cuanto al mercado abierto por UMTS se diferencia tres sectores que podrán actuar independientemente dando paso a la creación de nuevas empresas en:

- **Operadores de red:** manejando parte o toda la red de telecomunicaciones
- **Proveedores de servicios:** como punto de contacto con el abonado
- **Proveedores de servicios de valor añadido:** incluyendo también a los proveedores de contenido, ofertando al usuario servicios basados en información adicional

4.1.2. Servios ofrecidos

Los servicios que se ofrecen en UMTS son aquellos que se venían ofreciendo en las generaciones anteriores de GSM y otros nuevos. También basados en conmutación de circuitos y conmutación de paquetes, dependiendo del servicio en concreto, tenemos:

Servicios básicos creados en la primera fase:

- ✓ Transmisión de voz
- ✓ Servicio de mensajes cortos
- ✓ Fax
- ✓ Servicio de voz para grupos
- ✓ Llamadas de emergencia

Servicios avanzadas adicionales:

- ✓ Acceso móvil a Internet: Acceso a Internet, Transferencia de ficheros, e-mail, audio y vídeo streaming
- ✓ Acceso móvil a Intranet y Extranet: acceso a LAN corporativas, redes privadas virtuales (VPN: Virtual Private Network) e Internet
- ✓ Información + Entretenimiento a medida (Infotainment): acceso a contenidos personalizados
- ✓ Mensajería multimedia
- ✓ Servicios basados en localización: localización de personas, vehículos, servicios, máquinas, etc.
- ✓ Voz enriquecida: Voz sobre IP (VoIP), acceso a Internet o llamadas activadas en páginas Web.
- ✓ Acceso a Internet a alta velocidad
- ✓ Servicios de ocio: imágenes de vídeo, juegos interactivos.
- ✓ Servicios financieros: trámites bancarios, compra de valores
- ✓ Realización de trámites administrativos
- ✓ Comercio electrónico

Estos servicios se tienen que dar con una mínima calidad de servicio, pero no hace falta que sea la misma para todos, dado que no es lo mismo mantener una conversación de voz que enviar un e-mail. Por lo tanto se crean 4 categorías de calidad de servicio:

- **Conversacional** – Muy sensible al retardo, recomendada para las conversaciones de voz
- **Streaming** – No es importante el retardo pero sí que sea constante, se aplica en las descargas de música y vídeo en tiempo real
- **Interactiva** – Se aplica en situaciones en las que tenemos una comunicación con una máquina, es decir, esperamos una respuesta. Lo más importante en este caso es la tasa de error de bit.
- **Background** – Ni el retardo, ni tiempo de respuesta se consideran. Lo único importante es la integridad de los datos. Se aplica en el envío de SMS, e-mails...

4.1.3. Estructura de la red UMTS

La red UMTS está compuesta por 4 niveles.

- 1) **Equipo Terminal** – tanto simples como multimodo tienen que ser capaces de acceder a las redes. Por si solos sólo podrán prestar los servicios de emergencia.
- 2) **Red de acceso** – se utilizará para proporcionar acceso a los servicios de aplicación a través de las redes centrales.
- 3) **Red central de transporte** – su papel principal es conectar redes de acceso entre sí, proporcionar acceso al dominio de servicio y soportar características y servicios de red.
- 4) **Aplicación de servicios** – se definen como aplicaciones alcanzables mediante el equipo Terminal conectado a la red GMM. Las limitaciones estarán marcadas por los terminales y el contrato de suscripción.

4.2. Fundamentos de UMTS

Al ser UMTS una tecnología de tipo “blanda”, vamos a tener variaciones en la capacidad del canal dependiendo del número de usuarios que se conecten a la vez. Esto significa que si sólo hay un usuario conectado a la red se le podrán asignar todos los recursos y por lo tanto su comunicación será excelente. Al incrementar el número de usuarios demandantes en la red, los recursos se van compartiendo por igual entre todos, disminuyendo el ancho de banda de cada uno.

Este tipo de tecnología tiene que tener ciertas limitaciones. No podemos permitir que se conecten gran cantidad de usuarios y que la calidad de todos se vea reducida significativamente. Siempre tendremos que cumplir los requisitos mínimos establecidos para tener un servicio de calidad. Tendremos que considerar, por otro lado, dos posibles situaciones: voz y datos.

Siempre que estemos hablando de dar servicio voz hay que considerar el escenario básico. Al realizarse una llamada se establece un circuito entre ambos puntos. El ancho de banda utilizado en la comunicación es bastante pequeño en comparación con el disponible. Además en una comunicación normal no se va a enviar información continuamente, sino que tenemos silencios en las conversaciones. Lo que significa que no se llega a utilizar todo el canal disponible. Por lo tanto podemos llegar a tener un gran número de usuarios conectados a la vez.

Por otro lado tenemos la situación de datos. En este caso el envío de datos sí que es continuo, se utiliza la banda al máximo. Junto con la velocidad mínima de envío que se garantiza en UMTS el número de usuarios de datos que se pueden conectar a la vez es mucho menor. Pero al poder reenviarse los datos una y otra vez la relación señal-ruido también puede ser menor.

4.3. Coexistencia de UMTS con UWB

Casualmente, la máscara proporcionada por la FCC en cuanto a la potencia máxima permitida por transmisores UWB es la misma en las 3 frecuencias de funcionamiento de UMTS. La diferencia dada en las tres bandas va a ser debida a la frecuencia que se está utilizando. Cuando mayor sea ésta más pérdidas se presentarán.

Presentamos en las siguientes tablas la distribución de frecuencias UMTS en las tres bandas y con las frecuencias de bajada y subida.

En primer lugar tenemos la banda de 2100 MHz, considerada la más importante y la primera sobre la que se desarrollaron los sistemas.

Tabla 4.1. Bandas de frecuencias para UMTS-2100

Banda - 2100	Subida (uplink)	Bajada (downlink)
UMTS – Total	1900-2025 MHz	2110-2200 MHz
UMTS – Satélite	1980-2010 MHz	2170-2200 MHz
UMTS – Terrestre – FDD	1920-1980 MHz	2110-2170 MHz
UMTS – Terrestre – TDD	División en timeslots (no se usa todavía)	

De todas las frecuencias presentes la única que nos interesa es UMTS-Terrestre FDD de bajada.

Como tenemos una banda y no una única frecuencia tomamos el valor intermedio para poder desarrollar el estudio de una forma más fácil y rápida.

$$f_{2100} = \frac{2110 + 2170}{2} = 2140 \text{ MHz}$$

La siguiente banda presentada es la superior de UMTS-2600. En esta banda el modelo utilizado para el análisis sigue siendo el mismo que en UMTS-2100, el modelo de HATA-COST231. Aunque este modelo está diseñado para simular hasta frecuencias de 2000 MHz, los resultados siguen siendo válidos sabiendo que se introduce un pequeño error.

Tabla 4.2. Bandas de frecuencias para UMTS-2600

Banda – 2600	Subida (uplink)	Bajada (downlink)
UMTS – Terrestre – FDD	2500-2570 MHz	2620-2690 MHz

Para la banda de 2600 MHz tenemos una frecuencia media de:

$$f_{2600} = \frac{2620 + 2690}{2} = 2655 \text{ MHz}$$

La última banda y la más reciente es la de UMTS-450, en realidad es CDMA-450 y es la banda con frecuencia más baja que se utiliza en comunicaciones móviles de alta velocidad.

Tabla 4.3. Bandas de frecuencias para UMTS-450

Banda – 450	Bajada (downlink)
UMTS – Terrestre – FDD	450-470 MHz

Por supuesto, la frecuencia media es de:

$$f_{450} = \frac{450 + 470}{2} = 460 \text{ MHz}$$

En todas las bandas las frecuencias medias son la misma para voz y para datos.

4.4. Procedimientos generales

Dado que el procedimiento de cálculos es muy similar a GSM, se va a presentar a continuación el caso multi transmisor. En el que influyen a la vez hasta 18 transmisores UWB.

El objetivo, sin embargo, sigue siendo el mismo, calcular el radio máximo de cobertura de la estación base UMTS cuando el receptor está bajo el campo de acción de un transmisor UWB. La distancia a la que queremos conseguir unos buenos resultados es a la de 1 metro desde el transmisor UWB.

Los entornos en los que se presentan los resultados son los mismos 4: rural, suburbano, ciudad pequeña-mediana y ciudad grande. En UMTS además de las distintas frecuencias de funcionamiento tenemos también que distinguir entre Voz y Datos.

4.4.1. Datos relativos a la propagación UWB

Por un lado hay que calcular la potencia que se emite desde la antena UWB y ver la potencia de la señal que realmente llega al receptor.

4.4.1.1. Potencia de UWB

Dado que nos dan la densidad de potencia de la antena transmisora, tendremos que ver con cuánto ancho de banda nos estamos solapando para que nos dé la potencia total transmitida. En número naturales multiplicaríamos la densidad de potencia por el ancho de banda, lo que se traduce en números logarítmicos en una suma:

$$P_{UWB} = P_{d_UWB} + 10 \log(BW), \text{ donde}$$

- P_{d_UWB} es la densidad de potencia del emisor UWB
- BW es el ancho de banda en que

4.4.1.2. Pérdida de propagación UWB

La potencia que llega al receptor será la emitida menos las pérdidas que se producen por el camino. En este caso estamos bajo visión directa desde la antena y utilizamos la fórmula de las pérdidas LOS.

$$L_{p_UWB} = L_{1m} + 10n \log(d) - Z, \text{ siendo}$$

- L_{1m} : las pérdidas a un metro de distancia
- D : la distancia a la que estamos de la antena
- Z : un margen extra que simula la desviación típica

4.4.2. Datos relativos a la propagación UMTS

Por otro lado tenemos la estación base UMTS emitiendo la señal que llega a nuestro receptor móvil. Ahora estamos en la situación externa al edificio y tenemos que considerar otro tipo de pérdidas.

4.4.2.1. Potencia de UMTS

En primer lugar calculamos la potencia que se emite desde la estación base, para ello añadimos a la potencia base la ganancia de la antena y restamos las pérdidas del cable.

$$P_{UMTS} = P_{antena} + G_{antena} - L_{cable}$$

En UMTS siempre vamos a calcular la potencia efectiva total porque estamos en una tecnología tipo “blando” (influye el número de usuarios en el sistema).

$$P_{antena} = \frac{P_{total}}{N\alpha} \cdot 2, \text{ donde}$$

- N es el número total de usuarios
- α es la utilización de la red por usuario

4.4.2.2. Pérdida de propagación UMTS

En las pérdidas que se producen en el caso de exteriores hay que considerar, a parte de las pérdidas de camino, las pérdidas de las sombras producidas por los edificios y las debidas a las paredes.

$$L_{UMTS} = L_{propagación} - L_{shadowing} - L_{pared}$$

Se puede despejar la pérdida total de propagación como la resta de la potencia total menos la potencia de ruido, la relación señal-ruido y la suma de la ganancia de proceso.

$$L_{propagación} = P_{UMTS} - P_n - SNR + G_p$$

4.4.3. Método HATA-COST231

Para conseguir la distancia máxima de trabajo que podemos alcanzar con todas las pérdidas calculadas, se puede utilizar cualquier método de propagación como el modelo de HATA-COST231, e igualándolo a las pérdidas máximas de propagación, despejar la distancia r.

$$L_{HATA} = A - B \log(r) - \{C / D / E\} + c_m$$

A y B son parámetros genéricos para todos los casos. C, D, E_p y E_g son específicos para los entornos: rural, suburbano, ciudad mediana-pequeña y ciudad grande.

$$A = 46,3 + 33,9 \cdot \log_{10} f_{UMTS} - 13,83 \cdot \log_{10} h_t$$

$$B = 44,9 - 6,55 \cdot \log_{10} h_t$$

$$D = 4,78(\log_{10} f_{UMTS})^2 - 18,33 \cdot \log_{10} f_{UMTS} + 40,94, \text{ para entorno rural}$$

$$C = 2 \cdot \left(\log_{10} \frac{f_{UMTS}}{28} \right)^2 + 5,4, \text{ para entorno suburbano}$$

$$E_p = (1,11 \cdot \log_{10} f_{UMTS} - 0,7) \cdot 0h_r - 1,56 \cdot \log_{10} f_{UMTS} + 0,8, \text{ para ciudad pequeña}$$

$$E_g = 3,2 \cdot (\log_{10} (11,75 \cdot h_r))^2 - 4,97, \text{ para ciudad grande}$$

4.4.4. Radio normalizado

El último paso es calcular el radio normalizado que nos sirve para comprobar que con la potencia utilizada llegamos a todo el rango solicitado, es decir, el 99% del terreno.

$$r_n = \sqrt[n]{\frac{P_n}{P_n + P_{uwb}}}$$

4.4.5. Radio real

El radio normalizado junto con el radio máximo despejado del modelo de HATA-COST231 nos da el radio real de trabajo.

$$R = r_n \cdot r$$

4.4.6. Capacidad del canal

Dado que la tecnología UMTS es de tipo soft, es decir, depende del número de usuarios que haya conectados al sistema vamos a ir probando distintas densidades de potencia para llegar a tener una capacidad de canal del 99%, en vez de calcularlo con el radio normalizado. Los resultados van a ser aún mejores, dado que al tener una capacidad del 99% el radio normalizado que tenemos será de más del 99,7% siendo casi el total máximo alcanzable.

La forma de calcular la capacidad del canal se obtiene por la siguiente fórmula:

$$C_n = \frac{I_{UMTS}}{I_{UMTS} + I_{UWB}}, \text{ o lo que es lo mismo, siguiendo la nomenclatura usada en todo el}$$

desarrollo, es la parte de debajo de la raíz del radio normalizado, es decir:

$$C_n = \frac{P_n}{P_n + P_{uwb}}$$

4.5. Efecto del sistema UWB sobre UMTS-2100

Empezamos con el caso de UMTS-2100 dado que es el más conocido y para el primero que se desarrolló todo el sistema. Dentro de esta frecuencia tenemos 4 casos más; 2 de ellos con datos y otros 2 con voz.

4.5.1. Efecto de un transmisor UWB sobre UMTS-2100 para el servicio de datos

La primera situación a la que nos enfrentamos en UMTS, es el caso de transmisión de datos bajo la acción de un único transmisor UWB.

Para cada uno de los distintos entornos se presenta la gráfica con el radio alcanzado utilizando la densidad de potencia recomendada por la FCC y otra con nuestra densidad de potencia calculada para obtener una capacidad de canal del 99% del máximo alcanzable. Lo que nos va a llevar a tener un radio normalizado mucho mayor. Después de cada bloque de 4 entornos se harán los comentarios oportunos.

En cuanto a los números utilizados para datos, tenemos un máximo de 9 usuarios con ocupación total de la banda asignada. La relación señal ruido se ha considerado de 3 dB, puesto que se puede retransmitir en caso de no recibirse los datos correctamente y por lo tanto la ganancia de proceso no hace falta que sea elevada.

Vamos a mostrar gráficamente como al conseguir una capacidad mayor del 99% el radio de trabajo alcanzado también supera el 99% llegando a superar el 99,7%.

4.5.1.1. Demostración gráfica

En la siguiente gráfica que ha sido ampliada en la zona de interés, vemos que cuando estamos en 1 metro en el eje horizontal, cuando estamos a un metro de distancia del transmisor UWB, la capacidad del canal supera el 99%.

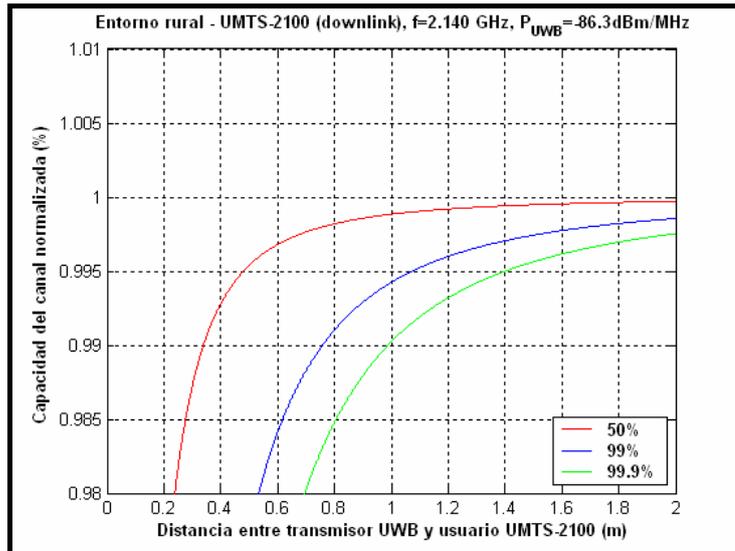


Figura 4.2. Efecto de la interferencia UWB sobre la capacidad del canal normalizado de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno rural en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3$ dBm/MHz)

La siguiente gráfica del radio normalizado se ha obtenido a la vez que la anterior con el mismo valor de densidad de potencia. Observando en el valor de 1 metro en el eje horizontal estamos muy por encima del 99% de radio total.

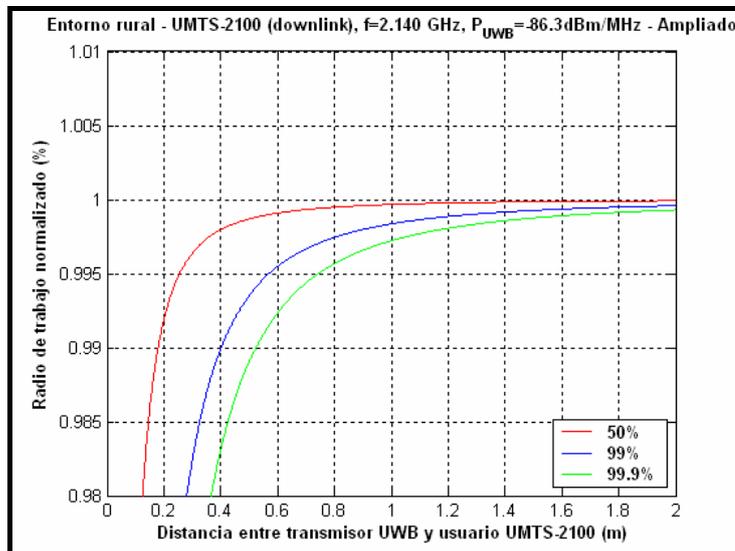


Figura 4.3. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo normalizado de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno rural en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3$ dBm/MHz)

Ambos datos han sido tomados de los cálculos en el entorno rural, pero los resultados serían análogos en los demás casos.

4.5.1.2. Entorno rural

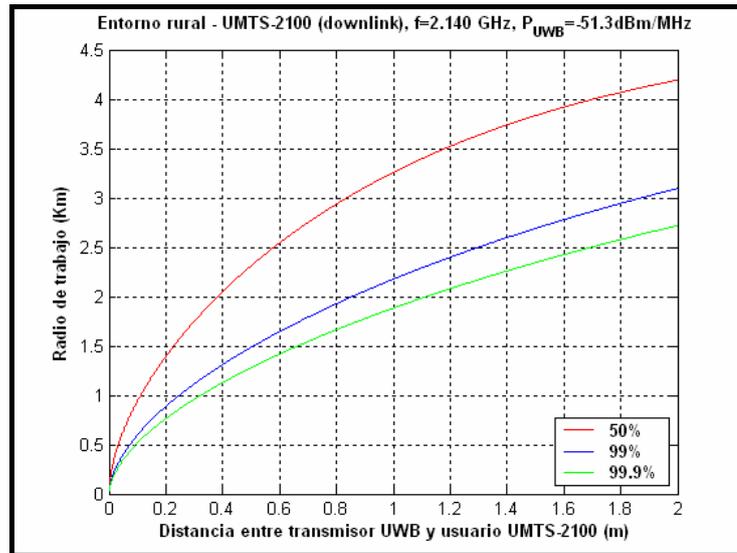


Figura 4.4. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno rural en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 1,88 Km.

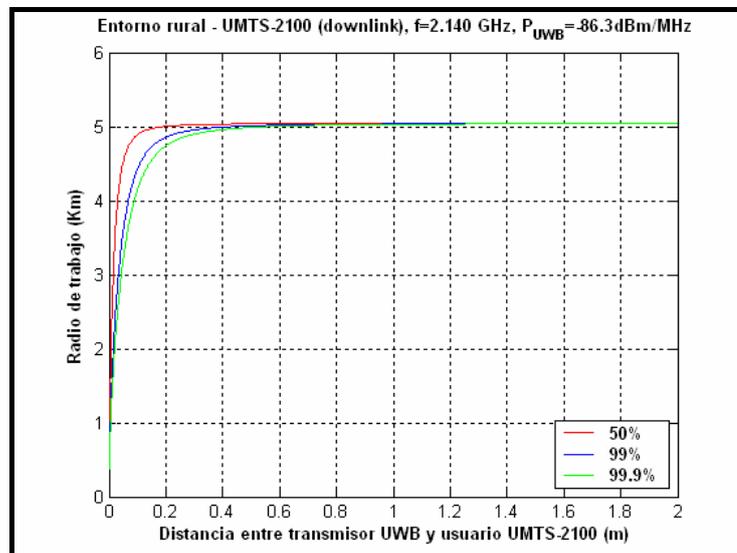


Figura 4.5. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno rural en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 5,03 Km.

$$\text{Relación de mejora del radio de trabajo: } \frac{5,03}{1,88} = 2,68$$

4.5.1.3. Entorno suburbano

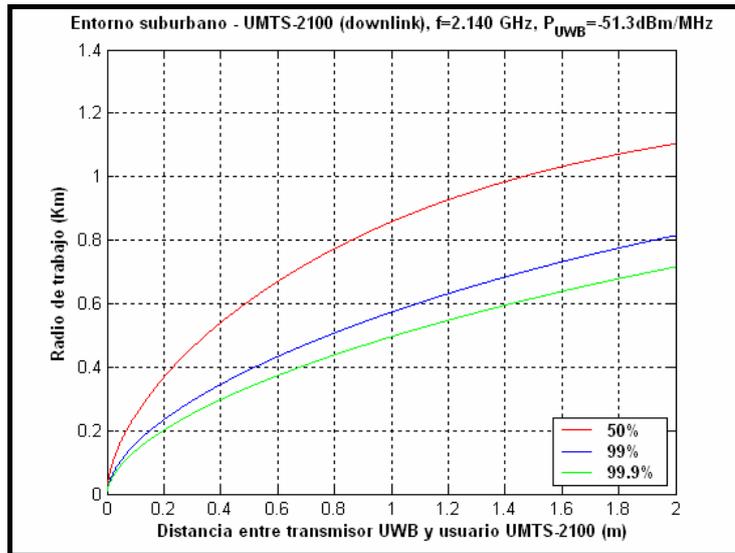


Figura 4.6. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno suburbano en función de la distancia del usuario UMTS-2100 (P_{UWB} = -51,3 dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 495 m

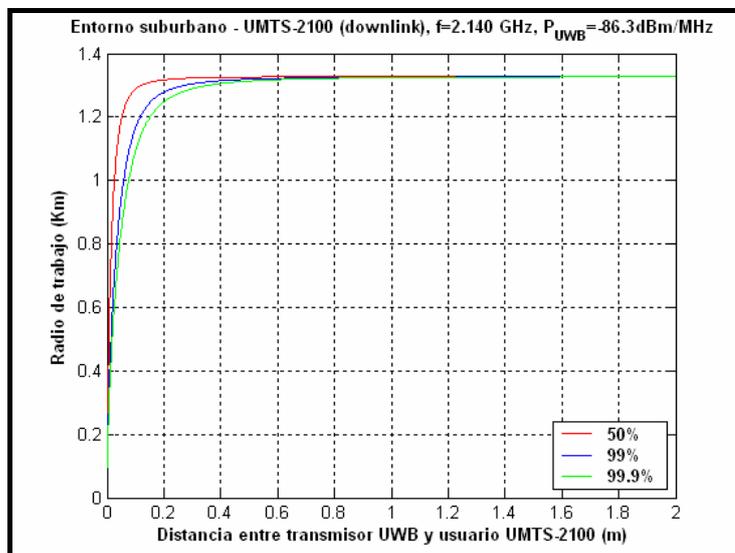


Figura 4.7. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno suburbano en función de la distancia del usuario UMTS-2100 (P_{UWB} = -86,3 dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 1,32 Km.

$$\text{Relación de mejora del radio de trabajo: } \frac{1,32}{0,49} = 2,67$$

4.5.1.4. Ciudad mediana-pequeña

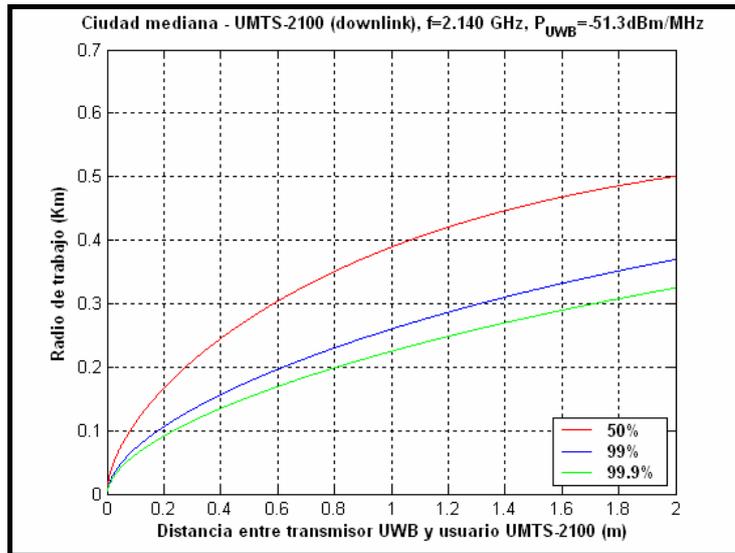


Figura 4.8. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 225 m

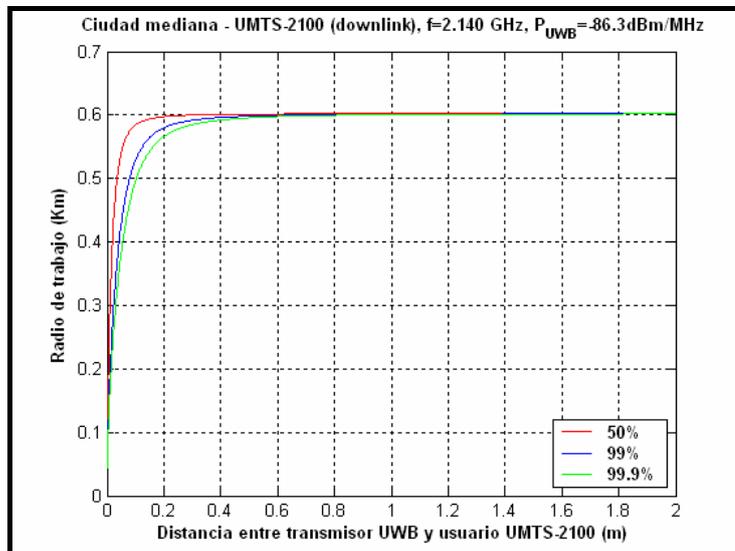


Figura 4.9. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 600 m

$$\text{Relación de mejora del radio de trabajo: } \frac{0,60}{0,22} = 2,72$$

4.5.1.5. Ciudad grande

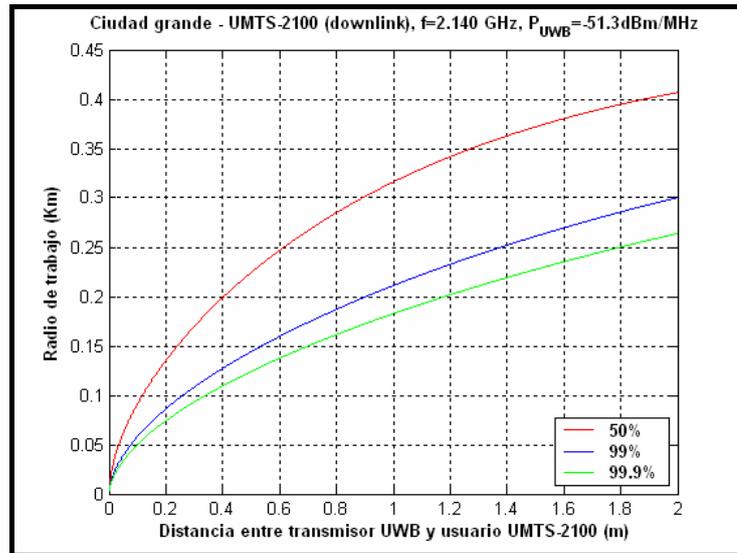


Figura 4.10. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 182 m

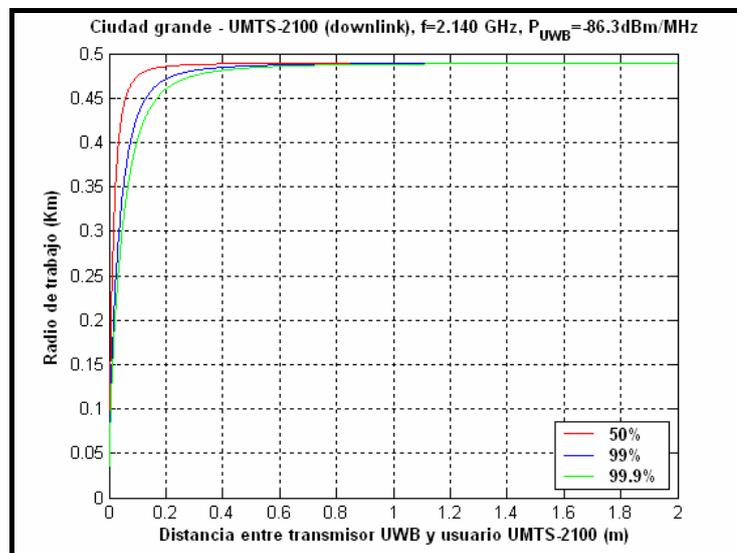


Figura 4.11. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 488 m

$$\text{Relación de mejora del radio de trabajo: } \frac{0,48}{0,18} = 2,67$$

En todos los casos con la densidad de potencia recomendada por la FCC es demasiado y nos limita el radio de trabajo por debajo del 10% del radio normalizado. Al disminuir la densidad a un valor más razonable, vemos la mejora producida es superior a 2,5 veces, es decir, el radio conseguido es más de 2 veces el que teníamos.

4.5.2. Efecto de 18 transmisores UWB sobre UMTS-2100 para el servicio de datos

La situación en una oficina u otro entorno con 18 transmisores UWB transmitiendo al mismo tiempo puede llegar a ser un tanto improbable, aunque no imposible. Por lo tanto el análisis se realiza para el peor de los casos y para saber hasta dónde podemos llegar.

Al tener más fuentes interferentes veremos que la densidad de potencia debe ser menor para alcanzar el mismo radio de cobertura.

Se presentan los 4 entornos con 2 gráficas cada uno. La primera con la densidad de potencia recomendada por la FCC y la segunda con aquella estimada en nuestro cálculo.

Nuevamente los comentarios se ofrecen al final.

4.5.2.1. Entorno rural

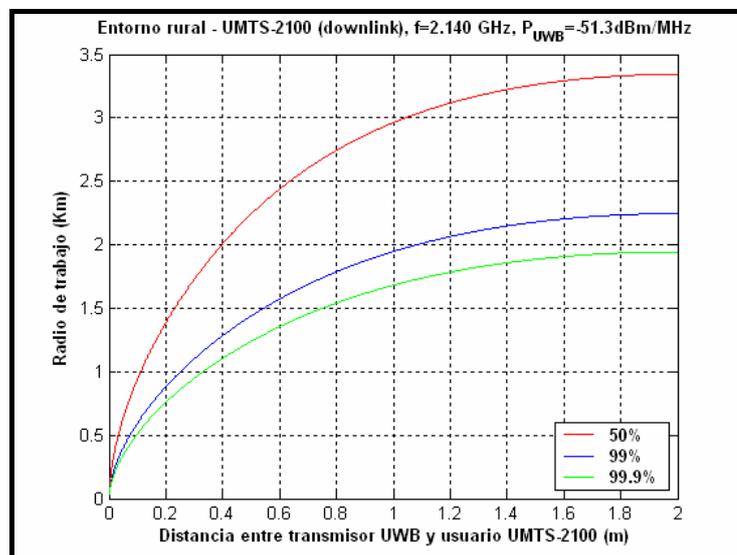


Figura 4.12. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno rural en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 1,68 Km.

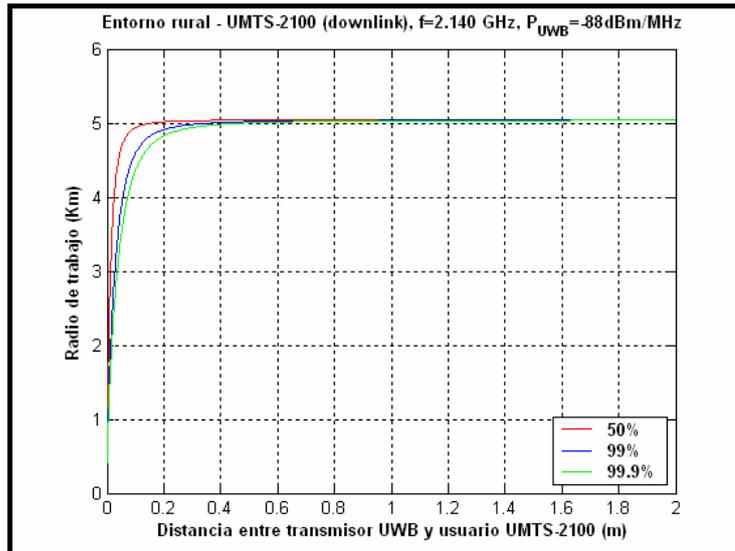


Figura 4.13. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno rural en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -88 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 5,03 Km.

$$\text{Relación de mejora del radio de trabajo: } \frac{5,03}{1,68} = 2,99$$

4.5.2.2. Entorno suburbano

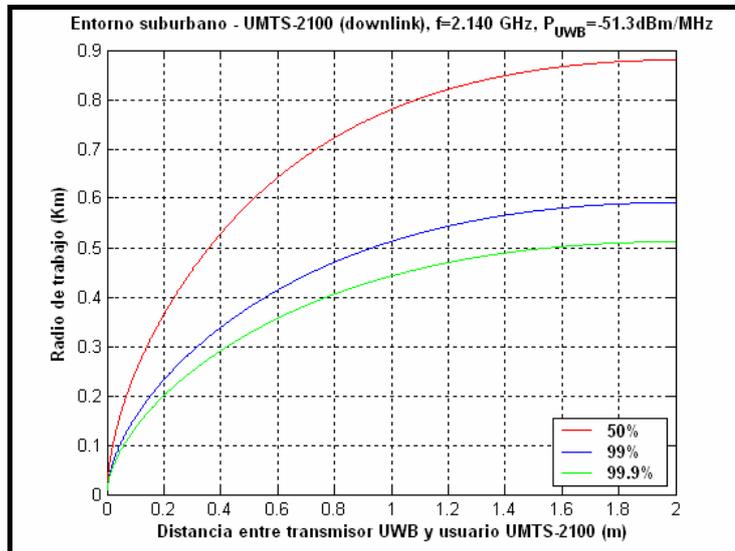


Figura 4.14. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno suburbano en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 442 m

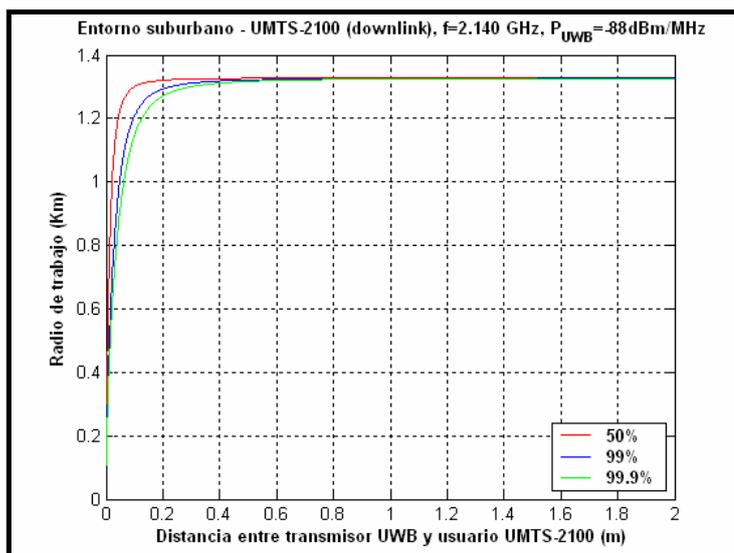


Figura 4.15. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno suburbano en función de la distancia del usuario UMTS-2100 (P_{UWB} = -88 dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 1,32 Km.

$$\text{Relación de mejora del radio de trabajo: } \frac{1,32}{0,44} = 3$$

4.5.2.3. Ciudad mediana-pequeña

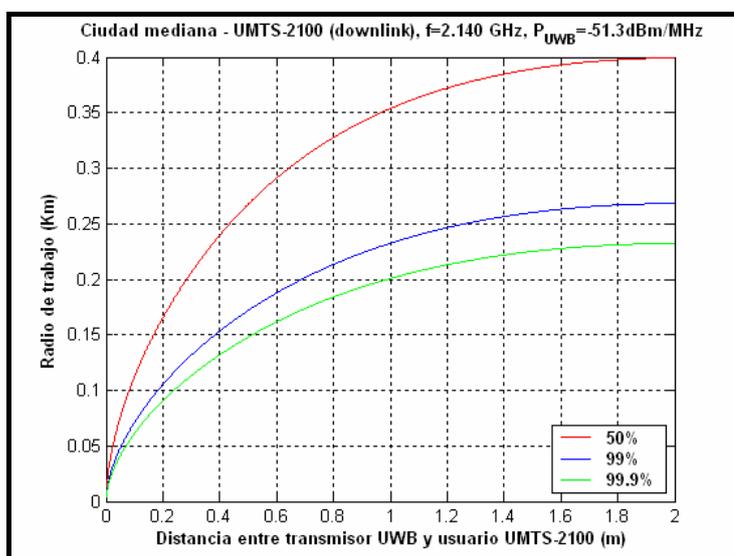


Figura 4.16. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario UMTS-2100 (P_{UWB} = -51,3 dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 200 m

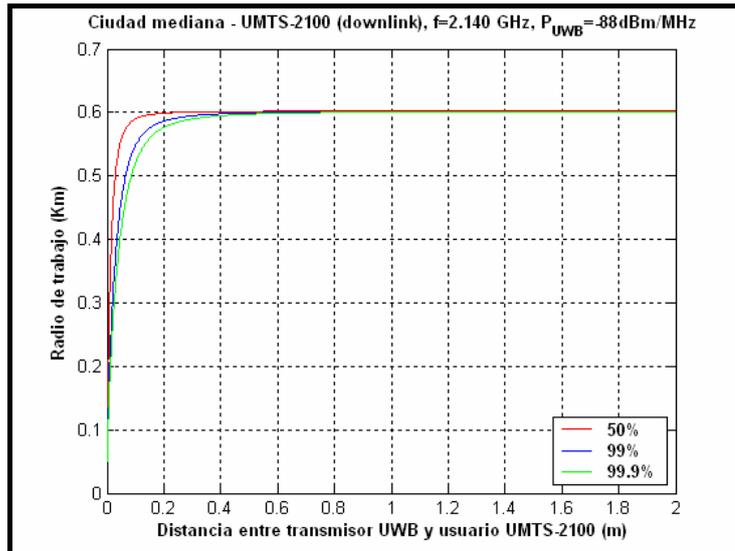


Figura 4.17. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -88$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 600 m

$$\text{Relación de mejora del radio de trabajo: } \frac{0,6}{0,2} = 3$$

4.5.2.4. Ciudad grande

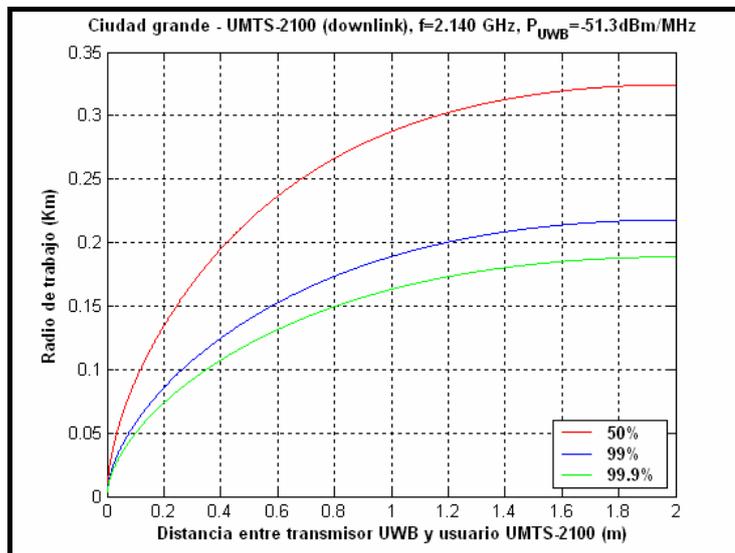


Figura 4.18. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 163 m

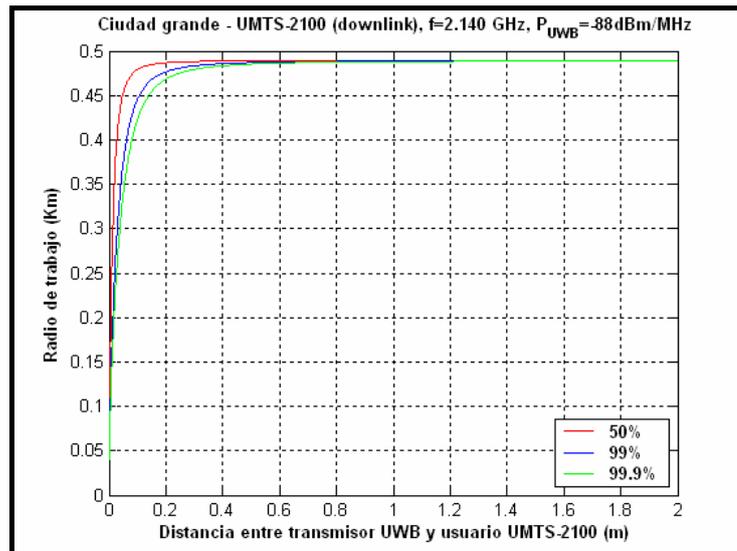


Figura 4.19. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para datos en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -88 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 488 m

$$\text{Relación de mejora del radio de trabajo: } \frac{0,48}{0,16} = 3$$

Al tener varios transmisores haciendo interferencia tenemos que limitarlos aún más que en el caso de tener uno solo y la densidad de potencia usada en cada uno tendrá que ser menor. Al reducir más la densidad de potencia y conseguir el mismo radio de trabajo, hemos conseguido que la relación de mejora sea mucho mejor.

4.5.3. Efecto de un transmisor UWB sobre UMTS-2100 para el servicio de Voz

Los datos de partida en el caso de voz no son los mismos que en datos. Ahora el número de usuarios a la vez es superior llegando a tener cerca de 90 usuarios por celda; un número mucho más elevado que en el caso de transmisión de datos donde el número de usuarios es entorno a 10.

La tasa de utilización de red por usuarios se estima en un 66% del tiempo de ocupación, que junto con el ancho de banda ocupado para la comunicación justifica tal número de usuarios.

En cuanto a la relación señal-ruido, ésta tiene que ser superior que la de datos, porque al influir directamente los sentidos de una persona, no se deben notar los cortes,

interferencias y pérdidas de información en la red. Esto exige que la ganancia de proceso tenga que ser del orden de unos 25 dB.

El procedimiento para calcular la densidad de potencia es el mismo en todo UMTS. Se va variando el valor hasta que la capacidad de canal alcanza el 99% del total. Con esto nos aseguramos que el radio de trabajo cumpla el mismo requisito con un gran margen.

4.5.3.1. Entorno rural

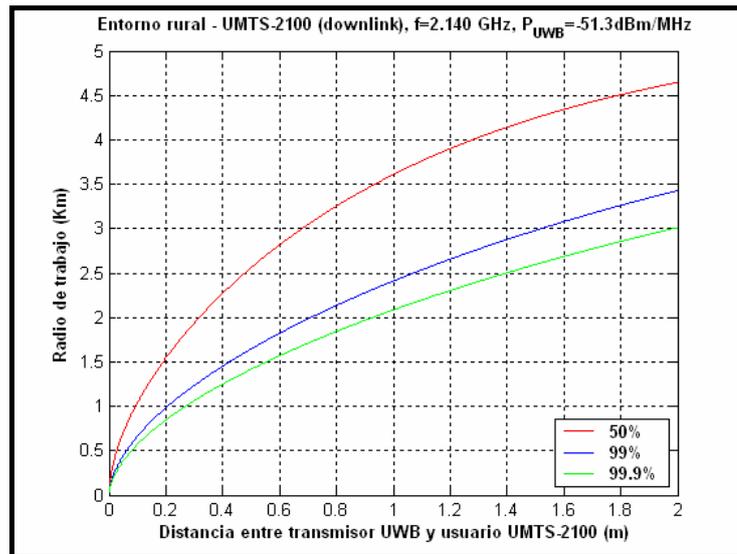


Figura 4.20. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para voz en entorno rural en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 2,08 Km.

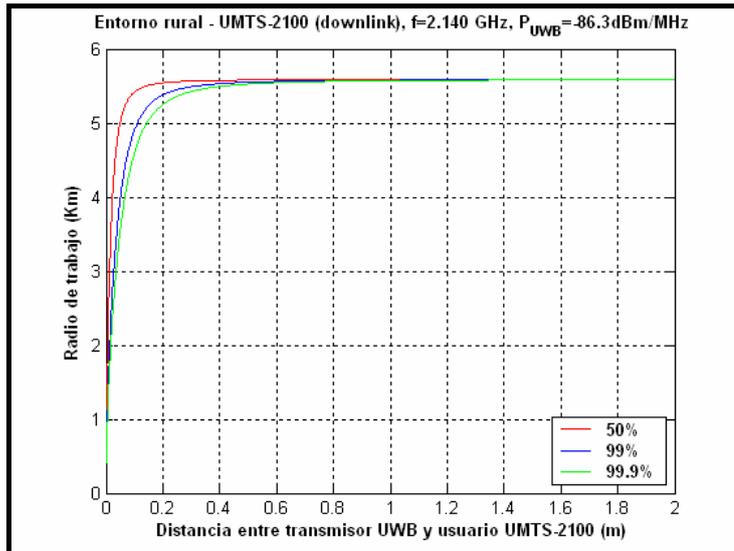


Figura 4.21. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para voz en entorno rural en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 5,57 Km.

$$\text{Relación de mejora del radio de trabajo: } \frac{5,57}{2,08} = 2,67$$

4.5.3.2. Entorno suburbano

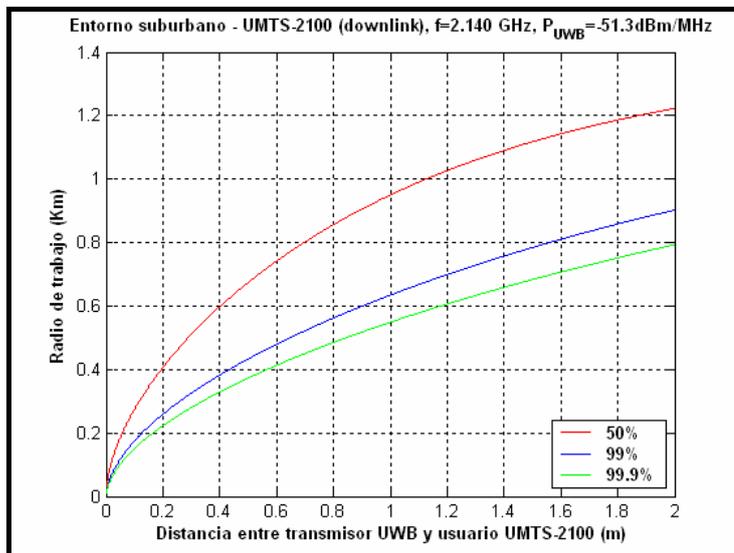


Figura 4.22. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para voz en entorno suburbano en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 0,55 Km.

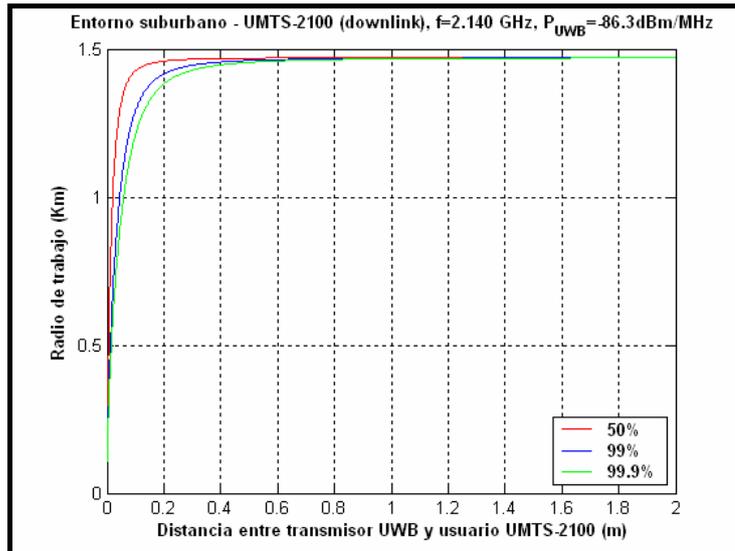


Figura 4.23. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para voz en entorno suburbano en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 1,46 Km.

$$\text{Relación de mejora del radio de trabajo: } \frac{1,46}{0,55} = 2,65$$

4.5.3.3. Ciudad mediana-pequeña

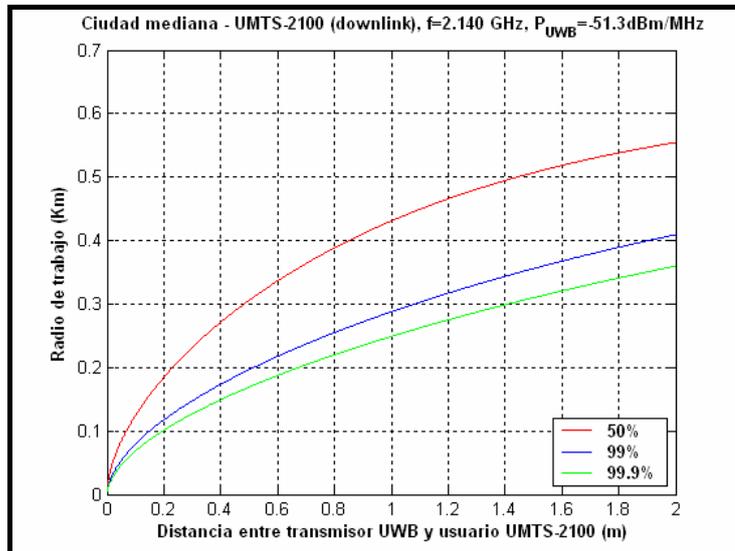


Figura 4.24. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para voz en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 249 m

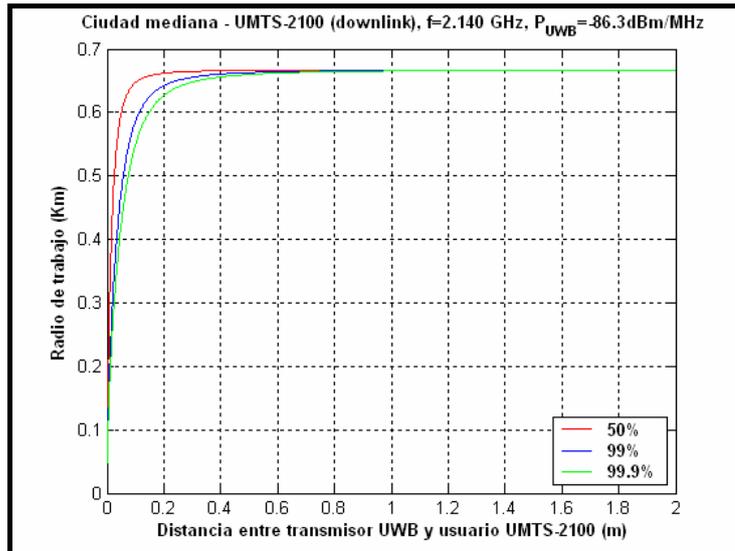


Figura 4.25. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para voz en entornos de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 665 m

$$\text{Relación de mejora del radio de trabajo: } \frac{0,66}{0,25} = 2,64$$

4.5.3.4. Ciudad grande

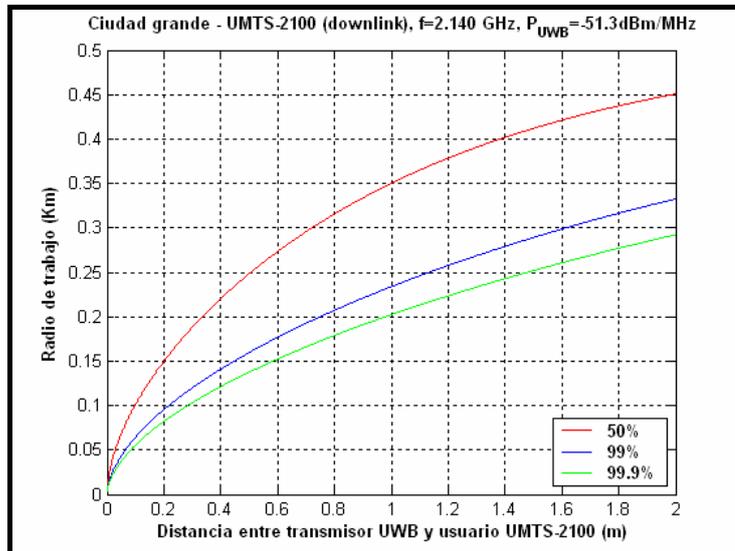


Figura 4.26. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para voz en entornos de ciudad grande en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 200 m

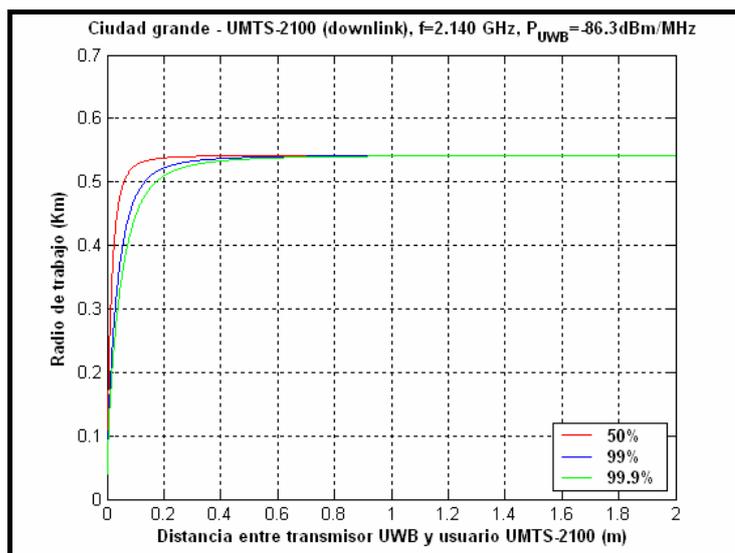


Figura 4.27. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para voz en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -86,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 540 m

$$\text{Relación de mejora del radio de trabajo: } \frac{0,54}{0,20} = 2,7$$

4.5.4. Efecto de 18 transmisores UWB sobre UMTS-2100 para el servicio de voz

Al ser la relación SNR mayor en comunicaciones voz que en datos habrá que tener más cuidado y ser selectivos a la hora de elegir una densidad de potencia máxima. Para el caso de 18 transmisores interfiriendo, partimos de la densidad de potencia recomendada y vamos disminuyendo hasta que consigamos llegar al 99% de la capacidad total de utilización.

Para los distintos entornos se muestra el radio máximo alcanzado.

4.5.4.1. Entorno rural

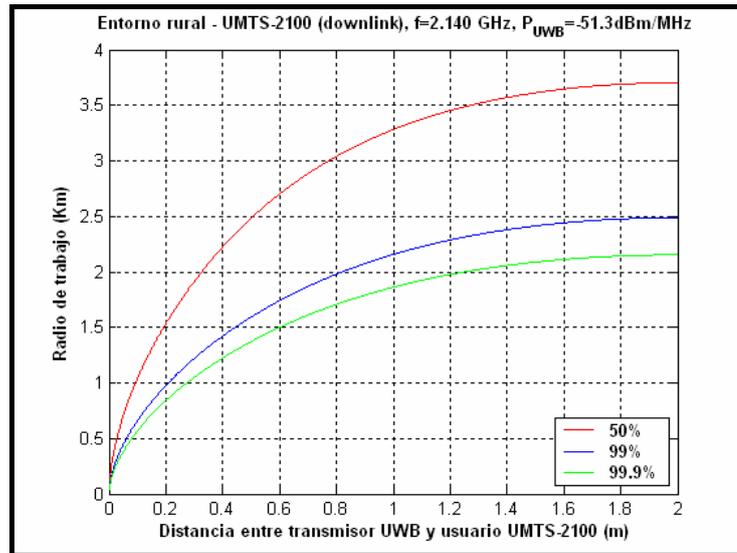


Figura 4.28. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para voz en entorno rural en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 1,86 Km.

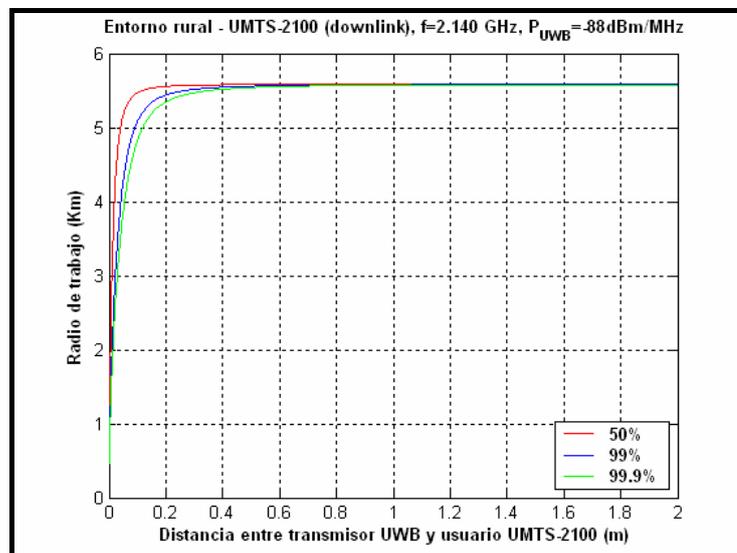


Figura 4.29. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para voz en entorno rural en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -88 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 5,57 Km.

$$\text{Relación de mejora del radio de trabajo: } \frac{5,57}{1,86} = 2,9$$

4.5.4.2. Entorno suburbano

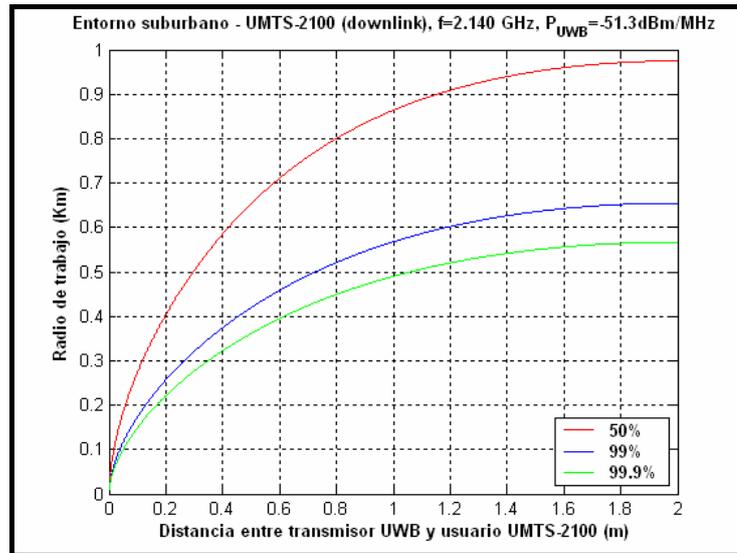


Figura 4.30. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para voz en entorno suburbano en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 490m

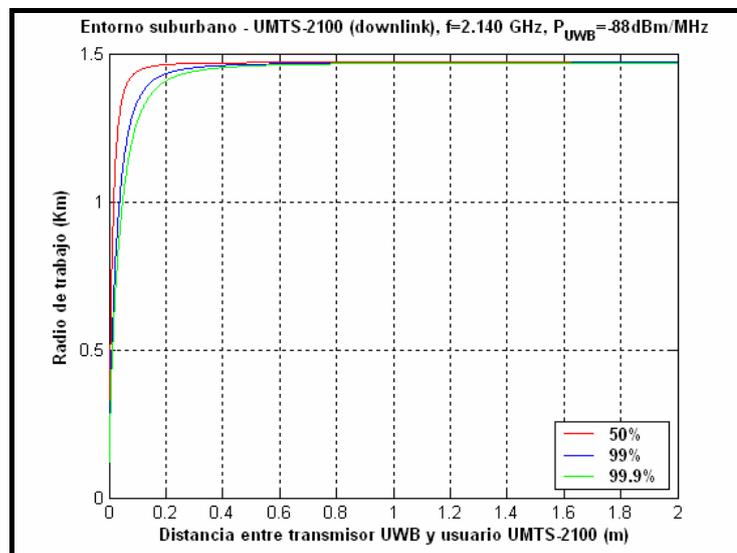


Figura 4.31. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para voz en entorno suburbano en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -88 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 1,47 m

$$\text{Relación de mejora del radio de trabajo: } \frac{1,47}{0,49} = 3$$

4.5.4.3. Ciudad mediana-pequeña

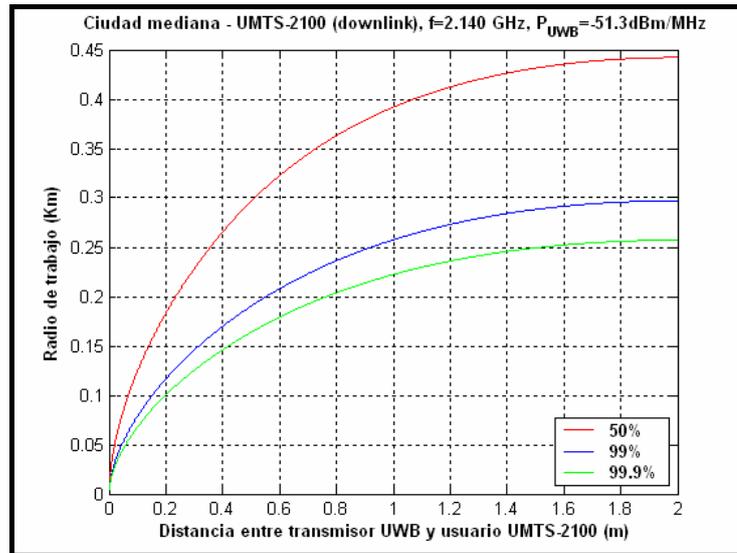


Figura 4.32. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para voz en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 222 m

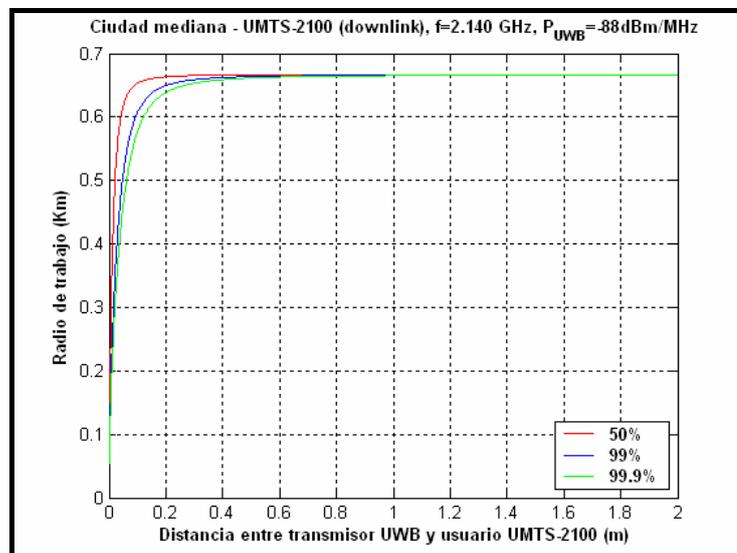


Figura 4.33. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para voz en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -88 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 665 m

$$\text{Relación de mejora del radio de trabajo: } \frac{0,66}{0,22} = 3$$

4.5.4.4. Ciudad grande

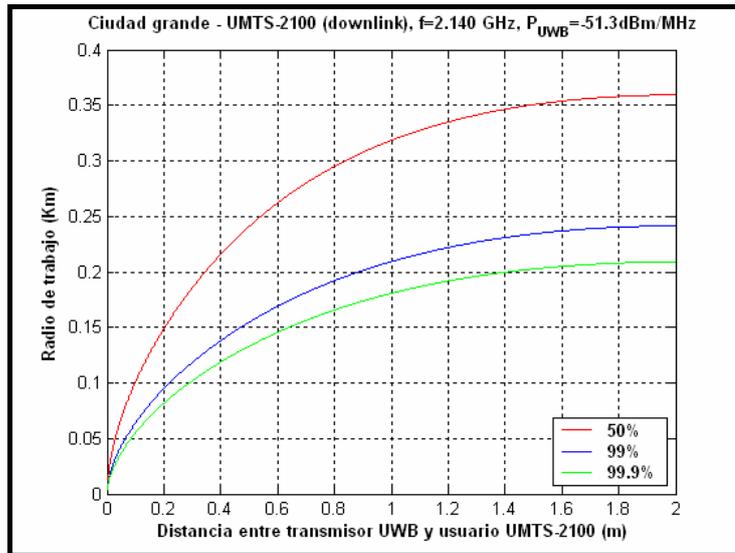


Figura 4.34. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para voz en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -51,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 180 m

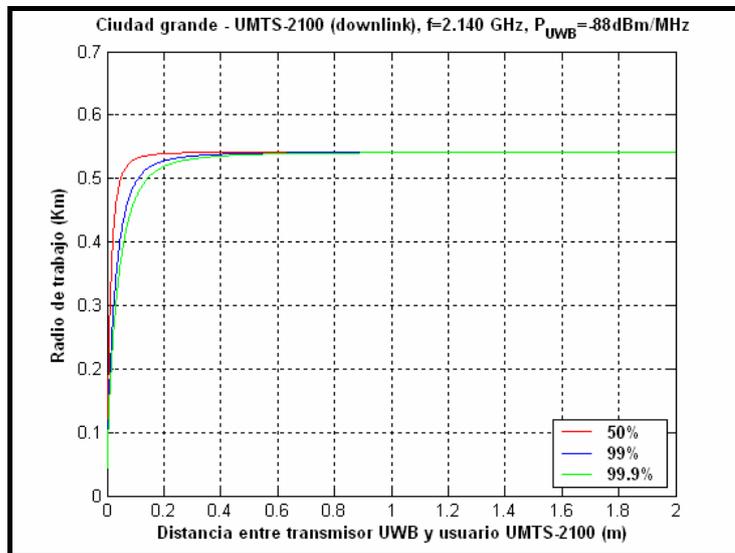


Figura 4.35. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2100 para voz en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario UMTS-2100 ($P_{UWB} = -88 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo a 1 metro del transmisor UWB = 540 m

$$\text{Relación de mejora del radio de trabajo: } \frac{0,54}{0,18} = 3$$

Como en el caso de UMTS-2100, en ambos casos, la relación de mejora que obtenemos al disminuir la densidad de potencia es superior a 2 veces y media para un solo transmisor interferente y de 3 veces para 18 transmisores.

4.5.5. Conclusiones sobre el efecto de UWB sobre UMTS-2100

El valor de densidad de potencia al que llegamos tanto en Voz como en Datos es exactamente el mismo. Por lo tanto, para dar un valor que cubra todos los casos escogemos el que más interferencias tiene, es decir, la situación de 18 transmisores UWB.

Concluimos que **para la frecuencia de 2140 MHz, la densidad de potencia máxima con la que deberían emitir los transmisores UWB es de -88 dBm/MHz.**

4.6. Efecto del sistema UWB sobre UMTS-2600 para el servicio de datos

UMTS-2600 aunque podría utilizarse para voz y datos, se utiliza de momento sólo para la transmisión de datos. Esto no quiere decir que la tecnología no sea capaz de transmitir la voz, tan solo es un uso actual.

Para este apartado vamos a ver la evolución que tendría el radio de trabajo al ir variando la densidad espectral de potencia en los 4 entornos de trabajo. Primero vemos el efecto producido por un solo transmisor UWB y luego por el efecto de 18 transmisores.

En cada uno de los dos apartados se muestran los datos recogidos de las gráficas obtenidas de forma similar a los apartados anteriores, pero que en este caso no se muestran. En cambio, se han hecho más medidas para poder observar con más precisión la evolución que va teniendo el radio.

4.6.1. Efecto de un transmisor UWB

A partir de la potencia máxima recomendada se va disminuyendo paulatinamente la densidad espectral de potencia de la antena UWB hasta llegar a un valor que nos dé una capacidad de canal superior al 99%

Tabla 4.4. Radio de trabajo de sistemas UMTS-2600 para 4 entornos ante la interferencia de un transmisor UWB cuando la distancia entre éste y el receptor UMTS-2600 es de un metro.

Densidad espectral de potencia (dBm/MHz)	Entorno Rural (Km.)	Entorno Suburbano (Km.)	Ciudad Mediana (Km.)	Ciudad Grande (Km.)
-51,30	1,87	0,48	0,21	0,17
-60,00	3,07	0,78	0,34	0,27
-68,00	4,03	1,02	0,44	0,36
-75,00	4,36	1,11	0,48	0,39
-84,50	4,45	1,12	0,49	0,40

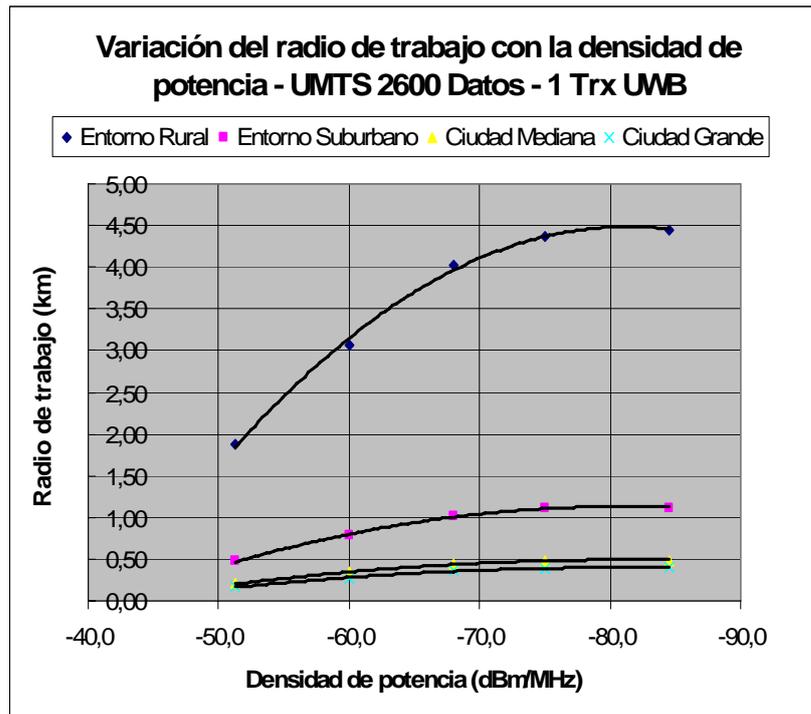


Figura 4.36. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2600 para datos para los 4 entornos en función de la densidad de potencia del emisor UWB

Los radios se han conseguido como se han indicado con anterioridad, variando la densidad de potencia hasta conseguir que la capacidad de canal sea superior al 99%. En ese momento se coge el radio máximo de trabajo que nos ofrece el sistema.

En la evolución vemos que en todos los entornos el radio alcanzado en nuestro estudio es más del doble del que se consigue con la densidad de potencia recomendada. Nuestra densidad de potencia en este caso es de **-84,5 dBm/MHz**.

4.6.2. Efecto de 18 transmisores UWB

Tabla 4.5. Radio de trabajo de sistemas UMTS-2600 para 4 entornos ante la interferencia de 18 transmisores UWB cuando la distancia entre éstos y el receptor UMTS-2600 es de un metro.

Densidad espectral de potencia (dBm/MHz)	Entorno Rural (Km.)	Entorno Suburbano (Km.)	Ciudad Mediana (Km.)	Ciudad Grande (Km.)
-51,30	1,68	0,43	0,18	0,15
-58,00	2,52	0,64	0,28	0,22
-66,00	3,65	0,92	0,40	0,33
-75,00	4,31	1,09	0,47	0,38
-86,20	4,45	1,13	0,49	0,40

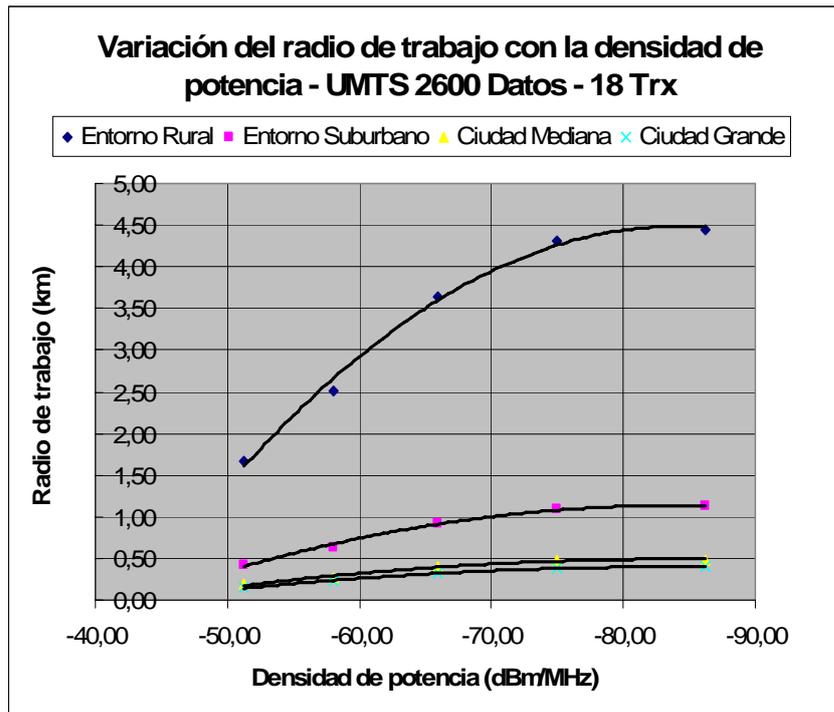


Figura 4.37. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-2600 para datos para los 4 entornos en función de la densidad de potencia del emisor UWB

Ante múltiples transmisores UWB la relación de distancias conseguidas con la nueva densidad de potencia sigue siendo más del doble del radio que se consigue con la recomendada.

Viendo ambas tablas de datos a la vez, hay que notar que la distancia conseguida es la misma dado que sólo estamos variando la densidad de potencia, y esto es lo que ajustamos para conseguir la mayor capacidad y por tanto el mayor radio.

En este segundo caso la densidad **de potencia recomendada sería de -86,2 dBm/MHz.**

4.6.3. Conclusiones sobre el efecto de UWB sobre UMTS-2600

Para hacer la elección más adecuada de la densidad de potencia recomendada hay que ponerse siempre en la situación más crítica de todas. Ésa se da cuando los 18 transmisores UWB están funcionando a la vez, una situación que se podría dar momentáneamente con una probabilidad casi nula, pero existente.

Por lo tanto para la frecuencia de downlink de UMTS-2600, **frecuencia de 2.655 MHz, la densidad de potencia recomendada por nuestro estudio es de -86,2 dBm/MHz.**

4.7. Efecto de 18 transmisores UWB sobre UMTS-450 para el servicio de datos

UMTS-450 es una tecnología que utiliza la banda de GSM-450, una tecnología que empezó su funcionamiento en los años 70 en los países nórdicos, el este de Europa y Rusia, y en la que principalmente se desarrollaron modelos de primera generación móvil. Por decirlo de alguna manera, fue el nacimiento de la tecnología móvil actual.

Los primeros terminales del mercado capaces de funcionar a 450 MHz, salieron a la luz en 2005. Estos terminales ofrecían la posibilidad de trabajar a 3 tasas de velocidad de chip distintas: 1,28 Mcps, 2,56 Mcps, 3,84 Mcps y también eran compatibles con otras bandas para poderse difundir en el sector más rápidamente y de esta forma alentar a los usuarios de tecnologías de primera generación pasar directamente a sistemas de tercera generación. En cuanto a la velocidad inicial de transmisión, en bajada es de 7,5 Mbps y en subida de 3,6 Mbps, esperando que aumenten con las nuevas mejoras.

En entornos reducidos UMTS-450 es la competencia de sistemas WiMAX, pero en grandes áreas es una tecnología prometedora, pues aprovecha el espectro al máximo basándose en TDD-CDMA, un nuevo método por duplexación de la división en el tiempo.

De la experiencia de apartados anteriores y para simplificar los resultados, en UMTS-450 sólo se van a mostrar los resultados bajo la acción de múltiples transmisores interferentes. A continuación podemos ver los radios máximos alcanzados cuando la capacidad de canal llega a ser del 99%.

4.7.1. Entorno rural

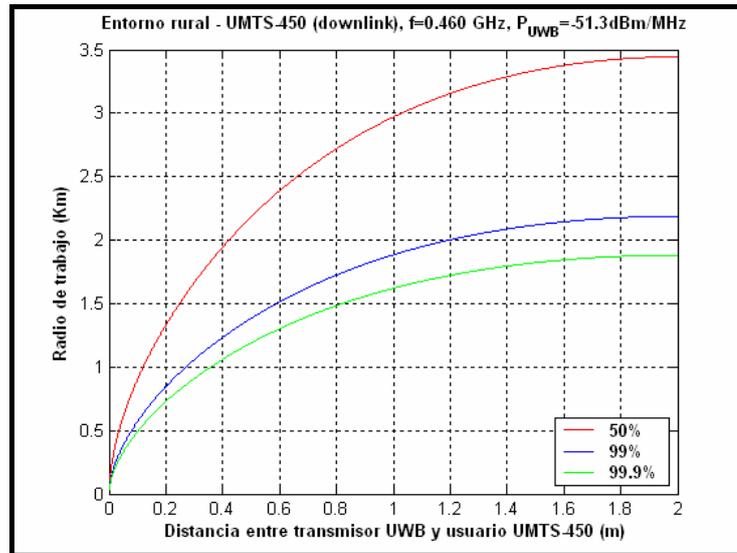


Figura 4.38. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-450 para datos en entorno rural en función de la distancia del usuario UMTS-450 ($P_{UWB} = -51,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 1,62 Km.

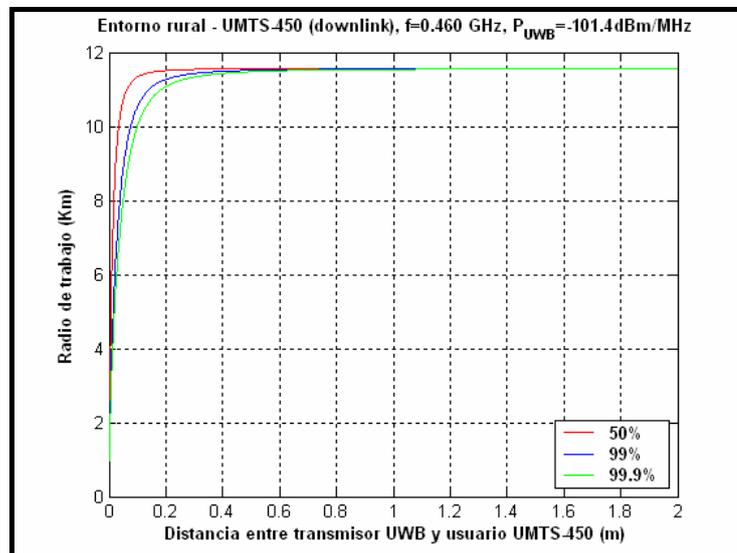


Figura 4.39. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-450 para datos en entorno rural en función de la distancia del usuario UMTS-450 ($P_{UWB} = -101,4 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 11,54 Km.

4.7.2. Entorno suburbano

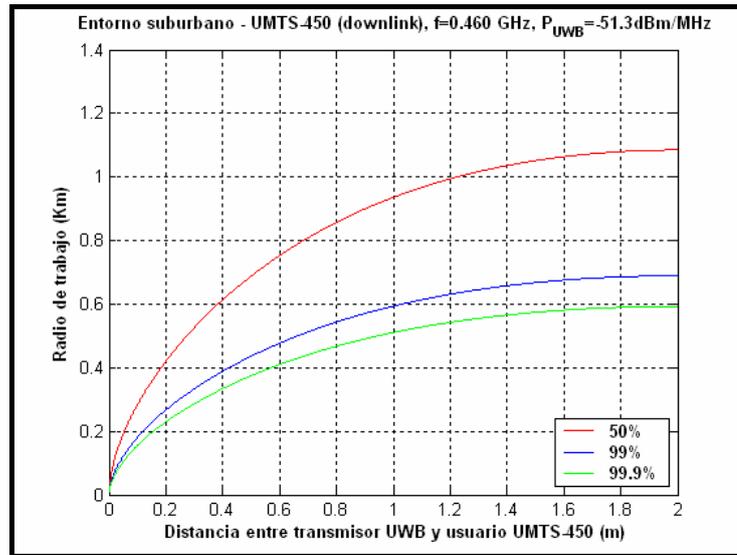


Figura 4.40. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-450 para datos en entorno suburbano en función de la distancia del usuario UMTS-450 ($P_{UWB} = -51,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 0,51 Km.

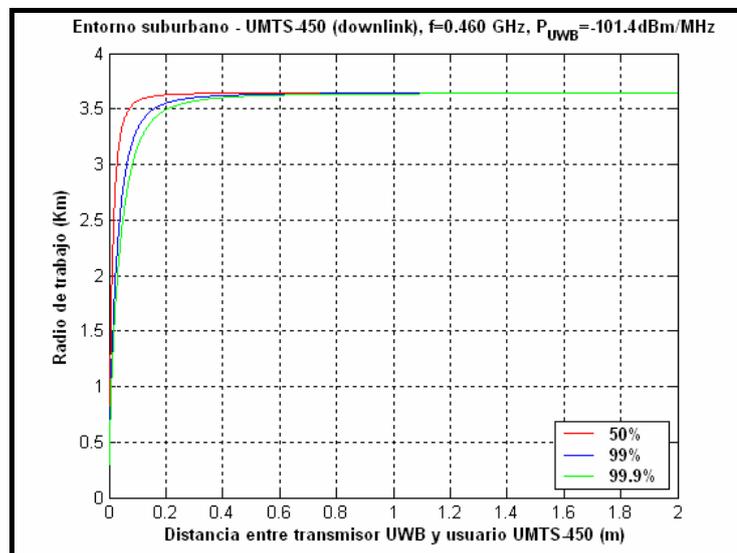


Figura 4.41. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-450 para datos en entorno suburbano en función de la distancia del usuario UMTS-450 ($P_{UWB} = -101,4 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 3,63 Km.

4.7.3. Ciudad mediana-pequeña

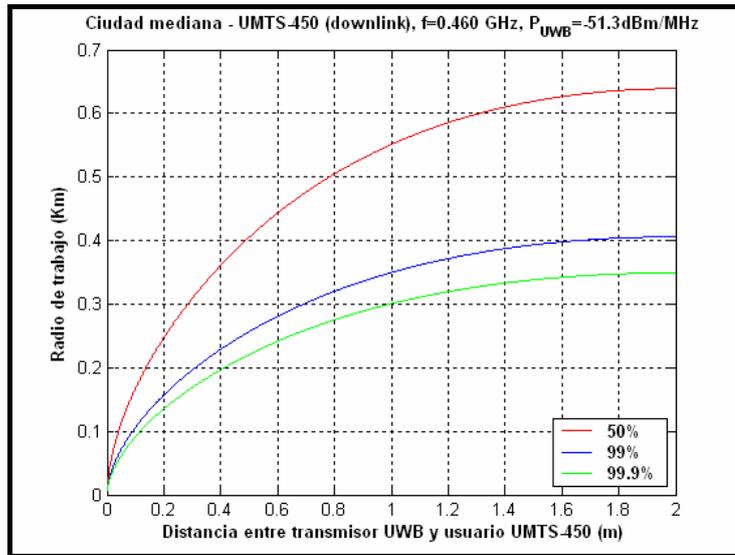


Figura 4.42. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-450 para datos en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario UMTS-450 ($P_{UWB} = -51,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 0,3 Km.

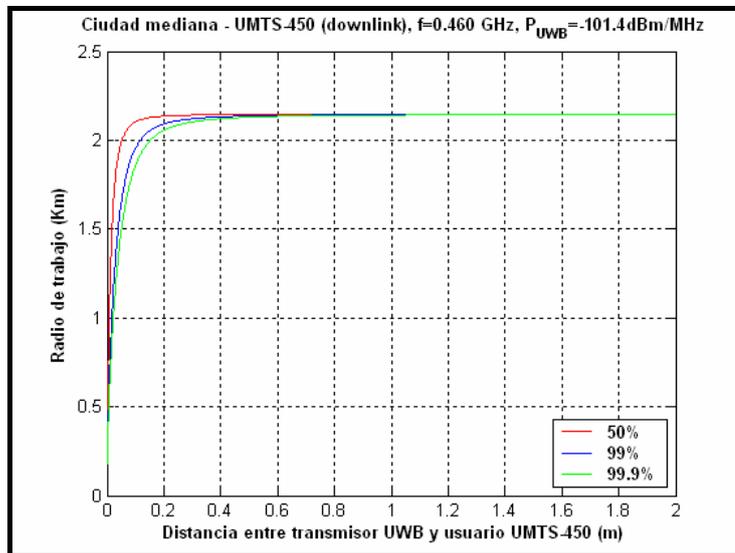


Figura 4.43. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-450 para datos en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario UMTS-450 ($P_{UWB} = -101,4$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 2,14 Km.

4.7.4. Ciudad grande

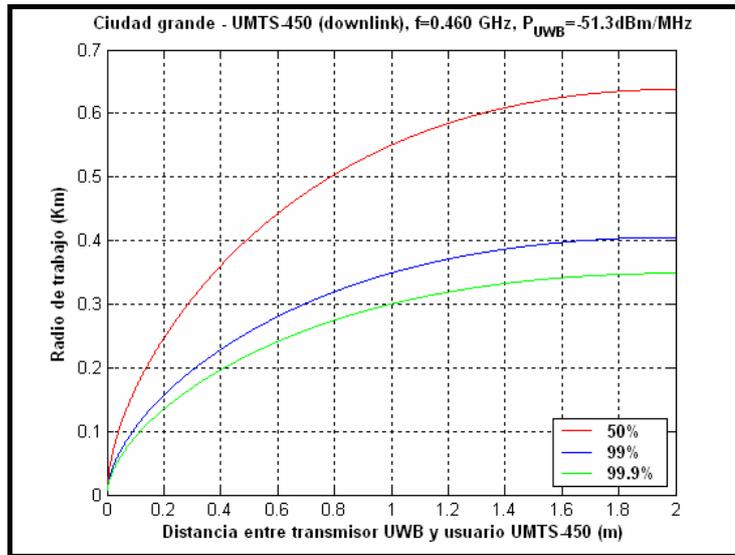


Figura 4.44. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-450 para datos en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario UMTS-450 ($P_{UWB} = -51,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 0,3 Km.

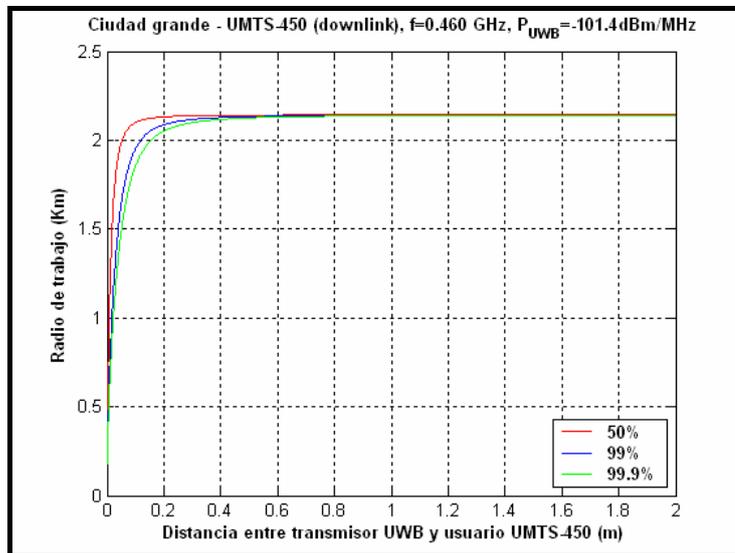


Figura 4.45. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-450 para datos en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario UMTS-450 ($P_{UWB} = -101,4$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 2,13 Km.

4.8. Efecto de 18 transmisores UWB sobre UMTS-450 para el servicio de voz

En un caso práctico, ésta sería la peor situación de todas. Tenemos 18 transmisores UWB emitiendo esporádicamente y una comunicación voz que no es constante, tiene una tasa de utilización del canal del 66% lo que provoca que al haber silencios en la comunicación no se transmitan datos y varíe continuamente el ancho de banda utilizado y al recalcularse la situación actual se consuman más recursos.

A continuación se ve la evolución que tiene el radio máximo de cobertura cuando queremos dar servicio en el 99,9% del campo de acción (línea verde)

4.8.1. Entorno rural

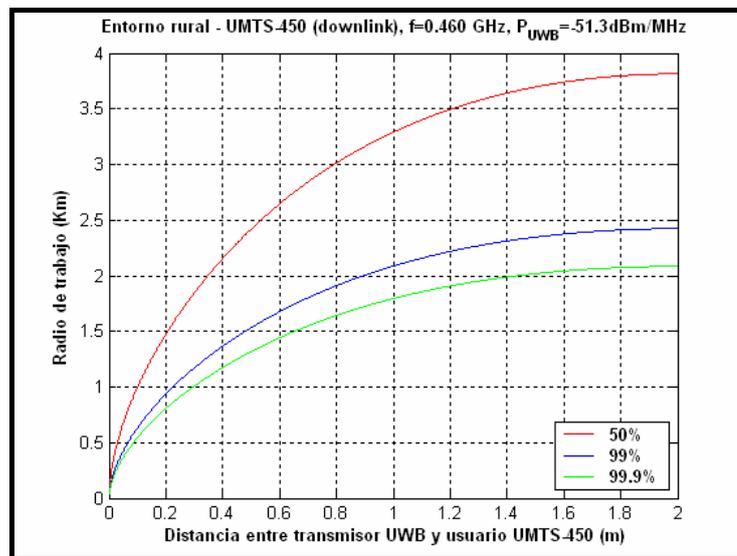


Figura 4.46. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-450 para voz en entorno rural en función de la distancia del usuario UMTS-450 ($P_{UWB} = -51,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 1,8 Km.

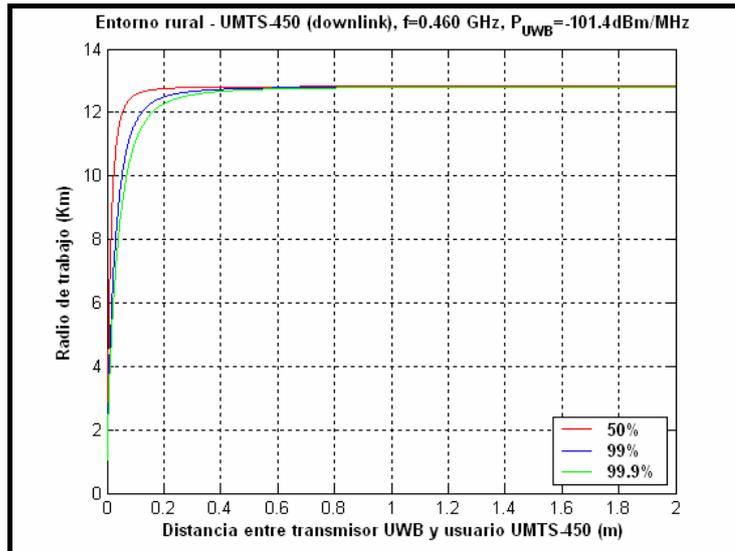


Figura 4.47. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-450 para voz en entorno rural en función de la distancia del usuario UMTS-450 ($P_{UWB} = -101,4$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 12,78 Km.

4.8.2. Entorno suburbano

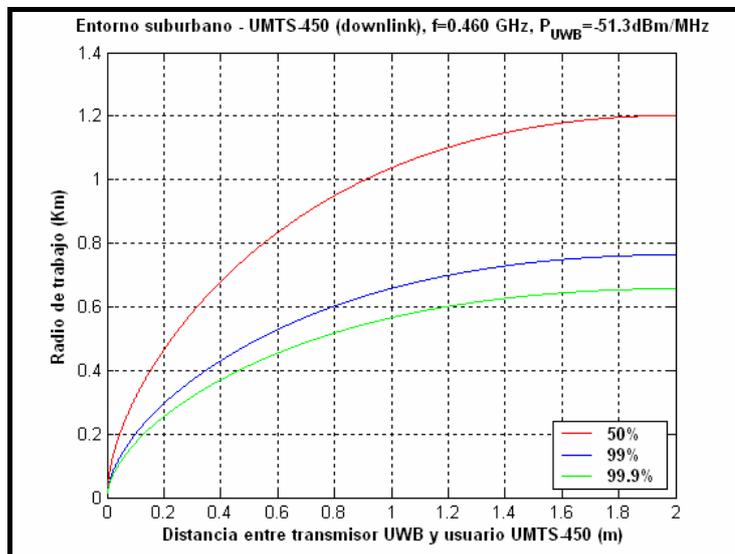


Figura 4.48. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-450 para voz en entorno suburbano en función de la distancia del usuario UMTS-450 ($P_{UWB} = -51,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 0,56 Km.

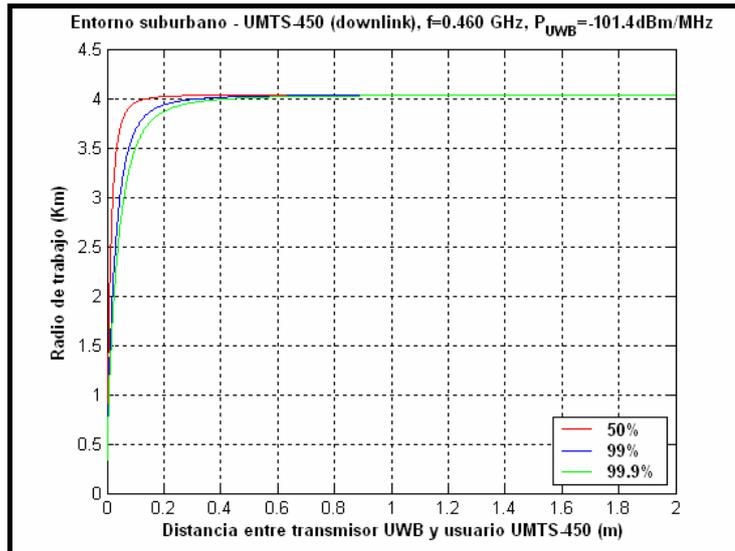


Figura 4.49. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-450 para voz en entorno suburbano en función de la distancia del usuario UMTS-450 ($P_{UWB} = -101,4$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 4,02 Km.

4.8.3. Ciudad mediana-pequeña

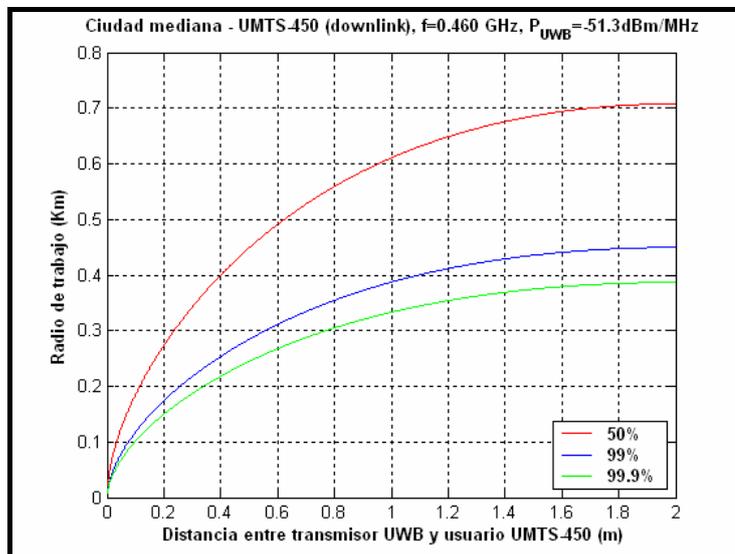


Figura 4.50. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-450 para voz en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario UMTS-450 ($P_{UWB} = -51,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 0,33 Km.

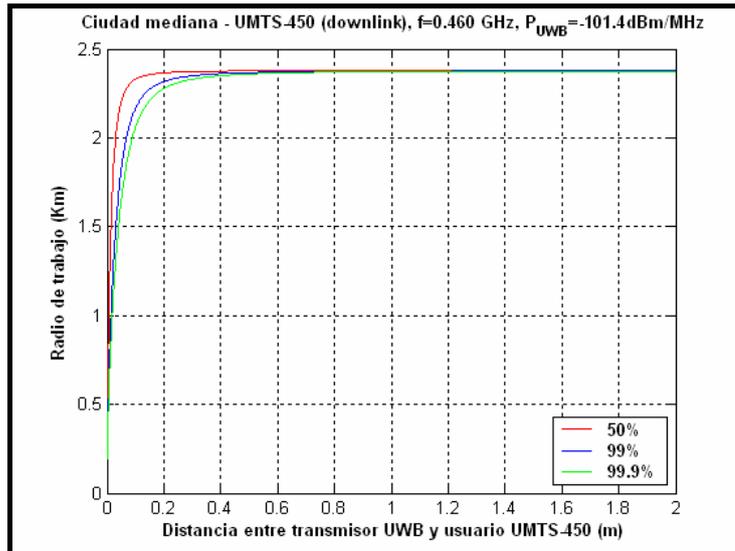


Figura 4.51. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-450 para voz en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario UMTS-450 ($P_{UWB} = -101,4$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 0,37 Km.

4.8.4. Ciudad grande

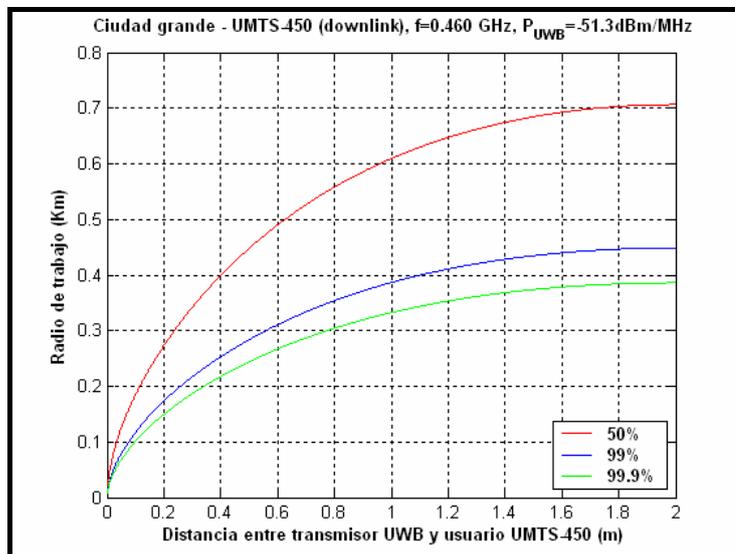


Figura 4.52. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-450 para voz en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario UMTS-450 ($P_{UWB} = -51,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 0,33 Km.

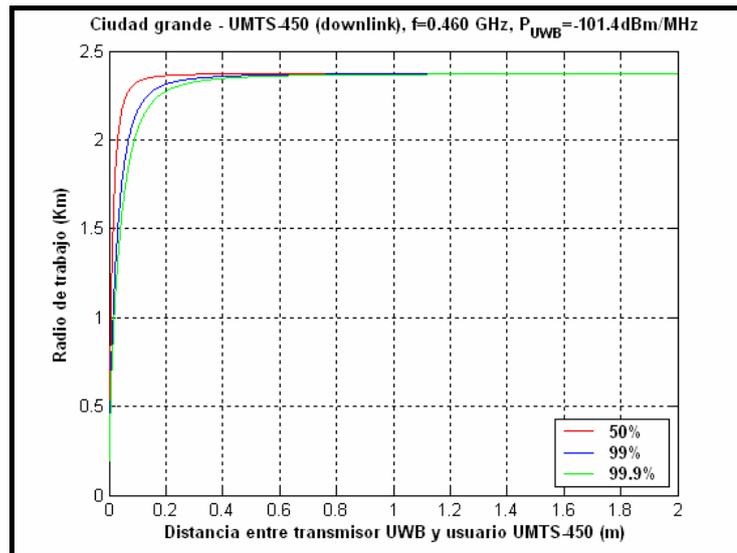


Figura 4.53. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas UMTS-450 para voz en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario UMTS-450 ($P_{UWB} = -101,4 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 0,36 Km.

4.8.5. Conclusiones sobre el efecto de UWB sobre UMTS-450

La diferencia más notable con todas las presentaciones anteriores es la densidad de potencia que nos limita. Es bastante más baja que el resto. Por lo tanto podemos empezar a sacar conclusiones sobre cómo variará la máscara de emisión UWB. Al aumentar la frecuencia el límite máximo de densidad de potencia emitida puede aumentar a la par.

Capítulo 5: Efecto de UWB sobre IS-136

5.1. Introducción a los sistemas IS-136

IS-136 (Interim Standard 136), equivalente de la tecnología GSM en Europa, fue la primera tecnología digital móvil introducida en EE.UU con un funcionamiento basado en tecnología TDMA (Time Division Multiple Access), permitiendo dividir el canal de 30 KHz en 3 ranuras temporales para que hasta 3 usuarios puedan comunicarse a la vez sin interferirse el uno con el otro.

La primera versión de IS-136 fue IS-54, incluido en el estándar TIA-IS-54 y también conocido con D-AMPS fue una tecnología pionera en los sistemas de comunicaciones móviles por incluir seguridad en la comunicación y el primero en emplear tecnología TDMA. En el estándar se especifican 84 canales de control, 42 de los cuales se comparten con AMPS

Pero dada la difusión de GSM en Europa, IS-54 se quedaba corto sin poder prestar servicios equivalente; es por ello que surgió IS-136 para completarla. De manera casi idéntica se recrearon los mismos servicios. Se introdujo la tecnología TDMA al canal de control, también el servicio de mensajería (SMS), circuitos de conmutación de paquetes y por supuesto un protocolo de compresión mejorado.

Las primeras descripciones de IS-136 fueron sacadas a la luz en 1995 y hoy en día es una tecnología aceptada por el ANSI y publicada como la series de estándares TIA/EIA-136.

Entre los retos que acechaban la nueva tecnología hay que notar la calidad de voz de la comunicación, las interferencias producidas por otros dispositivos eléctricos y el área de cobertura, pues a mayor distancia entre estación base y receptores más complicado se vuelve la sincronización entre los usuarios que usan el mismo canal.

Comparado con GSM, IS-136 no se queda corto en eficiencia de espectro, pues en GSM se utilizan 8 slots de tiempo en 200 KHz de ancho de banda, pero en IS-136 existen 3 slots de tiempo en 30 KHz.

5.2. Aspectos técnicos de IS-136

Teóricamente la forma de TDMA usada en IS-136 llega a triplicar la capacidad de un canal analógico similar simultaneando hasta 3 usuarios en los mismos 30 KHz. Esto se consigue asignando a cada uno un slot de tiempo de entre 3 y 8 kbps.

La tasa de bit de transmisión para la modulación digital de la portadora es de 48,6 kbit/s. Cada frame tiene 6 slots de tiempo de 6,67 ms y cada slot de tiempo lleva hasta 324 bits de información, de los cuales 260 son para datos de tráfico y los otros 64 para la cabecera. De ésta, 28 son para sincronización con un orden específico conocido por todos los receptores para reorganizar los fragmentos en la recepción.

5.3. Coexistencia de IS-136 con UWB

Las bandas asignadas a las tecnología IS-136 son dos, la banda inferior en 800 MHz conocida comúnmente como IS-136 y la banda superior en 1900 MHz también llamada PCS-1900 (Personal Communication System) para las interfaces aéreas.

Respecto a la interferencia producida con UWB en sus bandas laterales, tenemos dos áreas de solape. En la más cercana a UWB, la banda superior en 1900 MHz, la potencia de emisión recomendada por la FCC es de 53,3 dBm/MHz al igual que ocurría en GSM-1800. Por otro lado, en la banda inferior se presenta la misma potencia de emisión que en GSM-900.

En la siguiente tabla podemos apreciar las bandas de trabajo de IS-136, tanto de bajada, es decir desde la estación base al receptor móvil, como de subida, de receptor móvil a estación base.

Tabla 5.1. Bandas de frecuencias de trabajo de IS-136

Banda	Subida (uplink)	Bajada (downlink)
IS-136 –banda inferior	824-849 MHz	869-894 MHz
IS-136 – banda superior	1850-1910 MHz	1930-1990 MHz

De los dos canales, el que nos interesa a nosotros es el de bajada, porque es en el receptor dónde nos afectan más las interferencias del transmisor UWB.

Como en los casos anteriores, vamos a seleccionar la frecuencia de funcionamiento intermedia para presentar los resultados y luego extrapolar para eliminar la interferencia posible dada por la diferencia de frecuencias.

Frecuencia media de la banda inferior:

$$f_{800} = \frac{869 + 894}{2} = 881,5MHz$$

Frecuencia media de la banda superior:

$$f_{1900} = \frac{1930 + 1990}{2} = 1960MHz$$

5.4. Cálculos generales para todos los casos

El procedimiento para realizar todos los cálculos y desarrollar el análisis de IS-136 es muy similar al de GSM y UWB. Es mucho más parecido a GSM por las frecuencias de funcionamiento.

Partiendo del escenario en el que tenemos la estación base IS-136, el receptor IS-136 y el transmisor UWB que no hace interferencia, podemos representarlo en la siguiente figura.

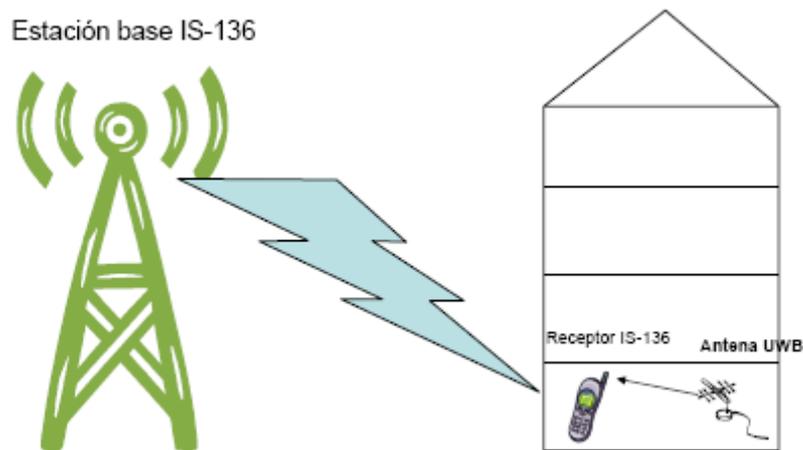


Figura 5.1. Escenario básico de interferencia de transmisores UWB sobre receptores IS-136 en interiores

La potencia que llega al receptor IS-136 desde la estación base sufre pérdidas debido a la propagación, los muros, sombras de edificios y las propias de la antena y cableado. Sin embargo la potencia interferente del transmisor UWB sólo sufre pérdidas de propagación en visión directa porque están muy cerca entre si y no hay más obstáculos por medio.

5.4.1. Cálculos relativos a la antena UWB

La antena UWB se sitúa en interiores del edificio. Normalmente se coloca en la propia habitación en la que se va a utilizar y el radio de cobertura no supera los 10 metros. Aunque en nuestro estudio ha sido mucho menor el radio considerado para ver la interferencia. Las pérdidas de la señal al llegar al receptor IS-136 son de visión directa (LOS)

5.4.1.1. Potencia emitida por el transmisor UWB

La potencia transmitida por la antena UWB es la densidad de potencia disponible por la anchura de banda utilizada. Una multiplicación en unidades naturales equivale a una suma en unidades logarítmicas.

$$P_{t_UWB}(dBm) = P_{d_UWB}(dBm/MHz) + 10 \log(BW(MHz))$$

5.4.1.2. Pérdidas de propagación de la señal UWB

La propagación desde la antena UWB hasta el receptor con el que interfiere es de visión directa. Por lo tanto las pérdidas LOS son:

$$L_{p_UWB} = L_{1m} + 10n \log(d) - Z, \text{ donde}$$

- L_{1m} son las pérdidas que se producen a un metro de distancia
- d es la distancia al alejarnos del transmisor
- Z es la desviación típica que se considera para hacerlo todo más real

5.4.1.3. Potencia recibida en el receptor IS-136

Al receptor al que se interfiere llegará la señal con la potencia de salida menos las pérdidas que se producen en el camino:

$$P_{r_UWB} = P_{t_UWB} - L_{p_UWB}$$

5.4.2. Cálculos relativos a la antena IS-136

La estación base de la señal IS-136 se encuentra fuera del edificio donde se hace el estudio y a gran distancia del receptor. Las pérdidas se calculan con ayuda de modelos de propagación como el modelo de HATA y HATA-COST231

5.4.2.1. Potencia emitida por la estación base IS-136

En la estación base hay que considerar la potencia que sale del generador menos las pérdidas producidas por los cables y la ganancia del sistema:

$$P_{t_IS-136} = P_{antena} - L_{cable} + G_{sistema}$$

5.4.2.2. Pérdidas sufridas por la señal IS-136

Las pérdidas de propagación en exteriores se pueden calcular de dos formas. Una de ellas es con un modelo de propagación como el modelo de HATA que veremos en el siguiente punto. Y otra sabiendo que las pérdidas de propagación son las típicas de la propagación IS-136 y las debidas a las sombras de edificios. Por lo tanto, como nosotros queremos las pérdidas de propagación, podemos despejar éstas para luego igualarlas a las del modelo de HATA.

$$L_{propagación} = L_{p_IS-136} + L_{sombras} \Rightarrow L_{p_IS-136} = L_{propagación} - L_{sombras}$$

5.4.2.3. Modelos de propagación HATA y HATA-COST231

Para IS-136 necesitamos dos modelos de propagación. Uno para la banda inferior y otro para la superior. Dado que la diferencia radica en algunos términos extra que simulan las pérdidas, se muestra la forma genérica y el valor de cada uno de ellos para los distintos apartados.

$$L_{HATA} = A + B \log(d) - \{C / D / E\}$$

Igualando a las pérdidas de propagación IS-136 y despejando la distancia d , tenemos:

$$d = 10^{\frac{L_{p_IS-136} - A + \{C / D / E\}}{B}}$$

que será la máxima distancia que podríamos alcanzar según el modelo dado.

5.4.3. Radio de trabajo

El radio máximo obtenido de modelo de HATA nos sirve para calcular el radio real de trabajo máximo que podemos alcanzar.

5.4.3.1. Radio normalizado

$$r_n = \sqrt[n]{\frac{P_n}{P_n + P_{r_UWB}}}, \text{ donde}$$

- p_n es la potencia de ruido
- p_{r_UWB} es la potencia de la antena UWB recibida en el transmisor IS-136

5.4.3.2. Radio real de trabajo

El radio real de trabajo es el normalizado por el máximo según HATA.

$$R = r_n \cdot d$$

5.5. Efecto de un transmisor UWB sobre IS-136 en la banda inferior

En el caso más sencillo tenemos solamente un transmisor UWB haciendo interferencia sobre la comunicación.

Llegado este punto, queda bastante claro, después de varios estudios similares, que la densidad de potencia recomendada por la FCC es demasiado alta para alcanzar la máxima zona de trabajo. Por eso, con esta tecnología vamos a ver el efecto que tiene cambiar de escenario, veremos la reducción que sufre el radio de trabajo al ir introduciendo más usuarios y edificios en escena.

Recordamos en cada situación el escenario con los elementos que nos afectan.

5.5.1. Entorno rural

La densidad de población es bastante baja por lo que habrá pocos usuarios utilizando el sistema a la vez. Los objetos que interfieren en el medio son casa bajas de una o dos plantas y árboles.

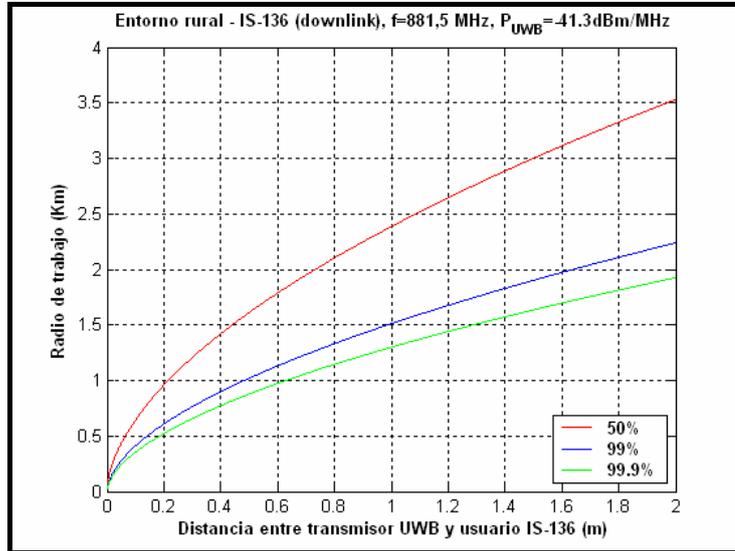


Figura 5.2. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en entorno rural en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -41,3$ dBm/MHz)

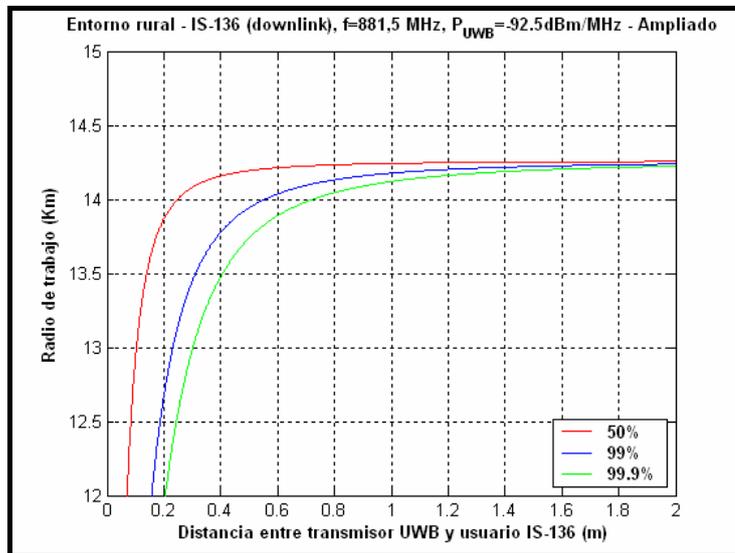


Figura 5.3. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en entorno rural en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -92,5$ dBm/MHz)

5.5.2. Entorno suburbano

La densidad de población es algo mayor que en el medio rural, pero aún sigue siendo baja. En cuanto a los edificios, estos son de hasta 4 plantas, pero con grandes zonas verdes y no habitadas.

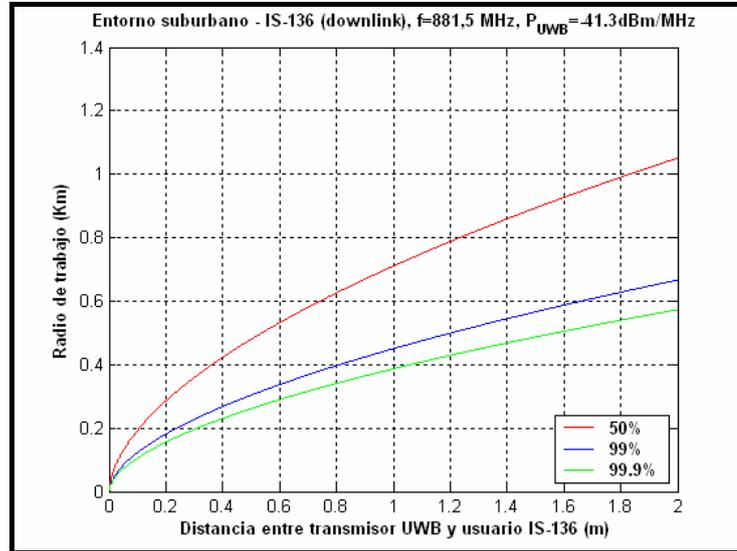


Figura 5.4. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en entorno suburbano en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -41,3$ dBm/MHz)

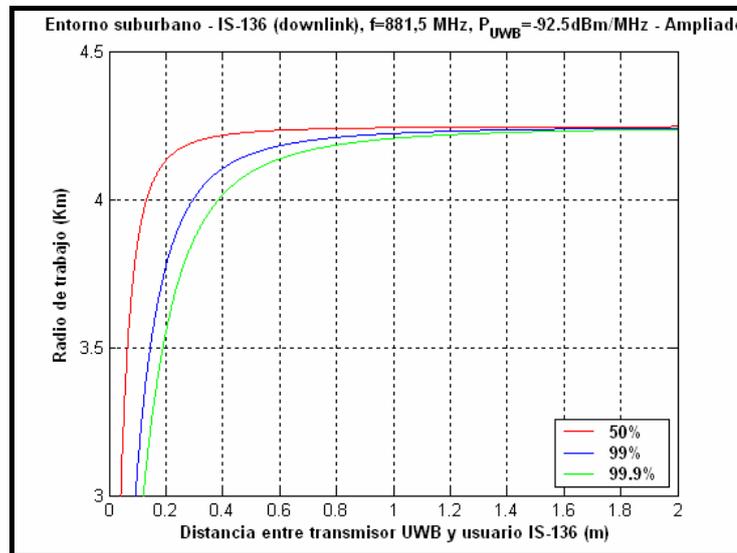


Figura 5.5. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en entorno suburbano en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -92,5$ dBm/MHz)

5.5.3. Ciudad mediana-pequeña

Aquí la densidad de población es mucho mayor y los edificios de hasta 7 alturas, calles más estrechas y aglomeración de peatones.

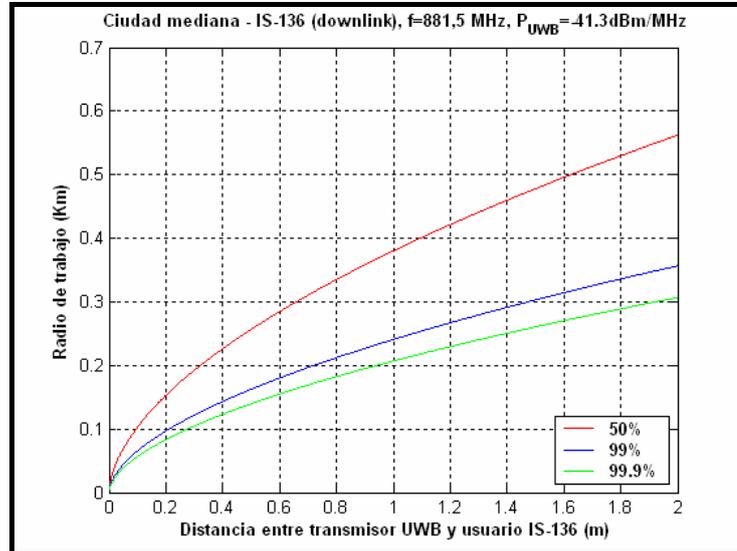


Figura 5.6. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -41,3 \text{ dBm/MHz}$)

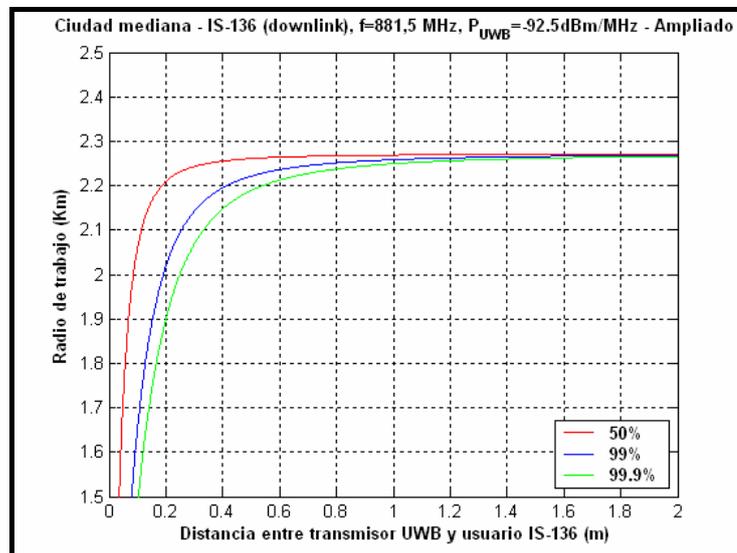


Figura 5.7. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -92,5 \text{ dBm/MHz}$)

5.5.4. Ciudad grande

Por último en la ciudad grande tenemos grandes edificios y gran cantidad de población. Muchos obstáculos e interferencias radioeléctricas de todo tipo junto con el uso de otras tecnologías, emisores y receptores.

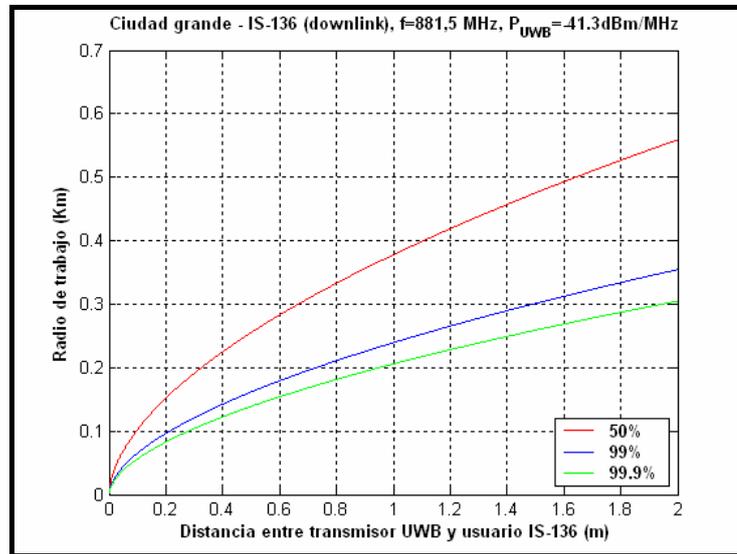


Figura 5.8. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -41,3 \text{ dBm/MHz}$)

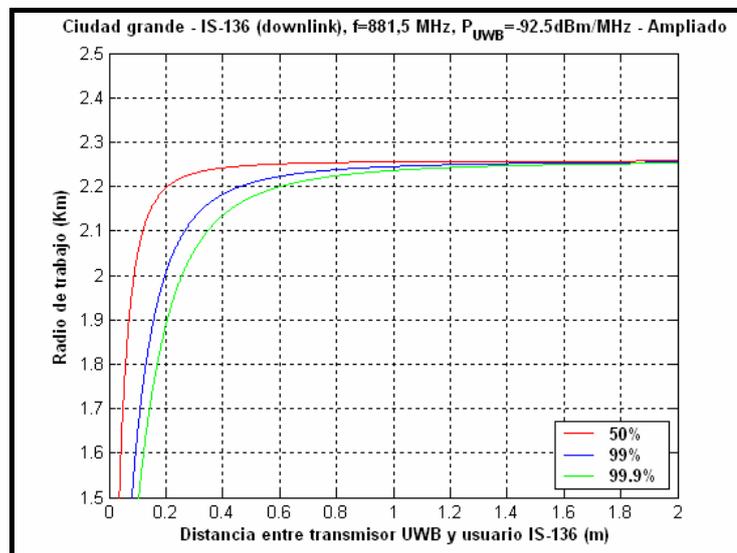


Figura 5.9. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = 92,5 \text{ dBm/MHz}$)

5.5.5. Conclusiones sobre el efecto de un transmisor UWB sobre IS-136 en la banda inferior

La evolución del radio de trabajo en función del entorno se muestra a continuación:

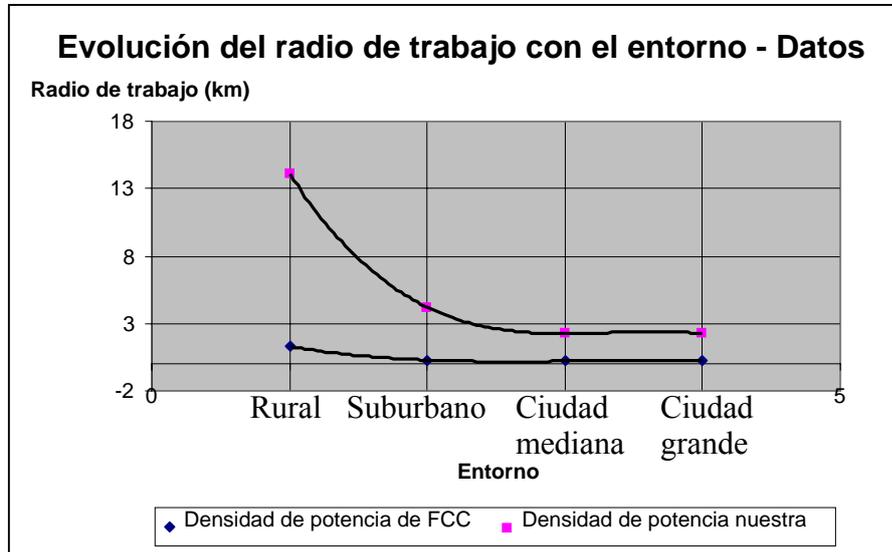


Figura 5.10. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en función del entorno ($P_{UWB} = -41,3 \text{ dBm/MHz}$)

En la gráfica vemos la evolución que sufre el radio de trabajo al cambiar de entorno. La reducción es de un 85 % aproximadamente. Pero lo más interesante es la diferencia que hay entre ambas curvas. La inferior mostrando el radio que obtendríamos si usáramos la densidad de potencia recomendada por la FCC y la superior la que obtenemos con nuestra limitación. La diferencia entre ambas es más que notable.

5.6. Efecto de 18 transmisores UWB sobre IS-136 en la banda inferior

5.6.1. Entorno rural

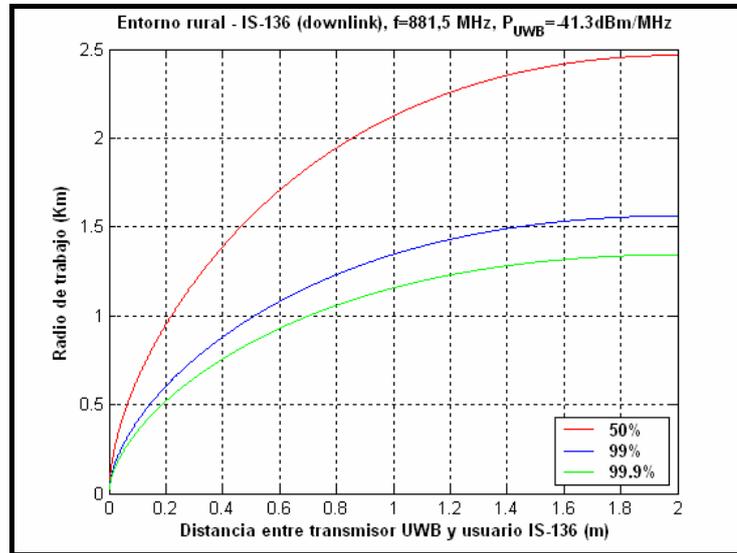


Figura 5.11. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en entorno rural en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -41,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 1,15 Km.

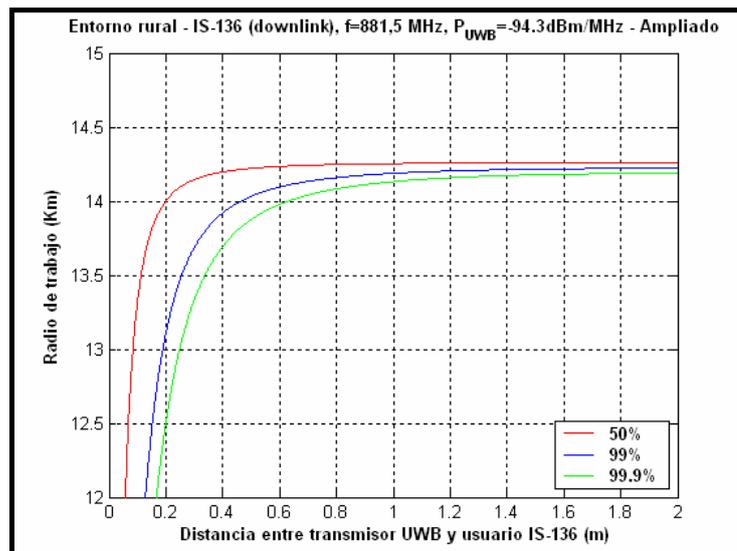


Figura 5.12. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en entorno rural en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -94,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 14,13 Km.

5.6.2. Entorno suburbano

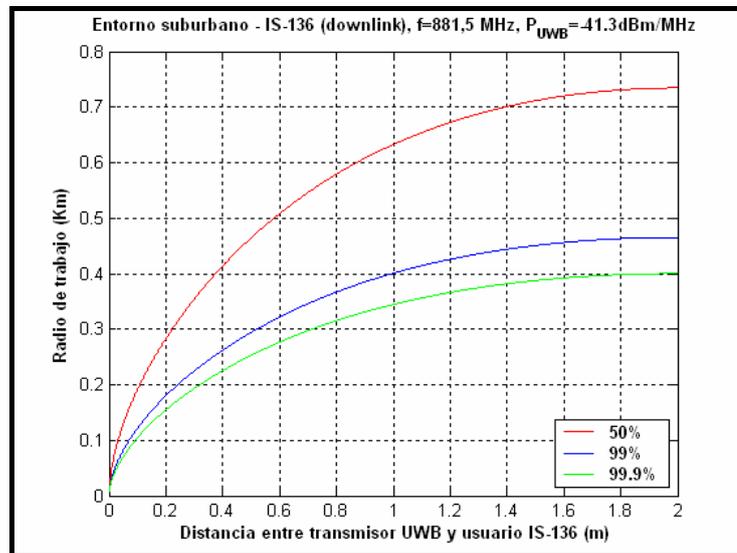


Figura 5.13. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en entorno suburbano en función de la distancia del usuario

IS-136 ($P_{UWB} = -41,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 345 m

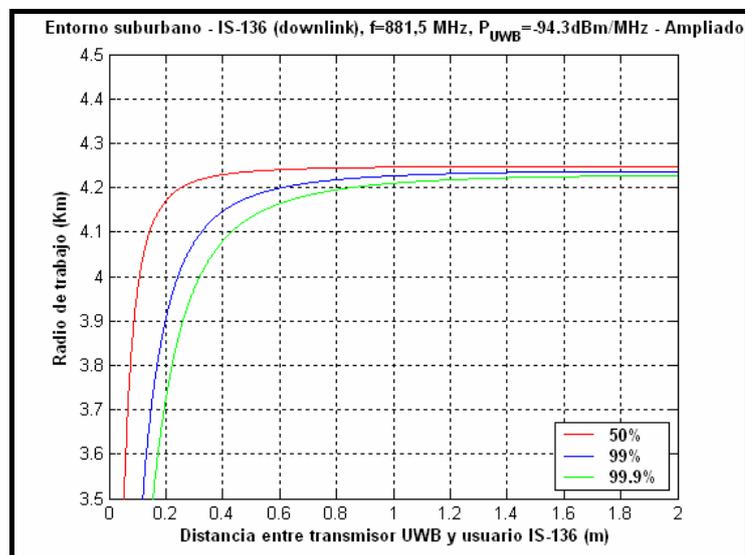


Figura 5.14. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en entorno suburbano en función de la distancia del usuario

IS-136 ($P_{UWB} = -94,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 4,21 Km.

5.6.3. Ciudad mediana-pequeña

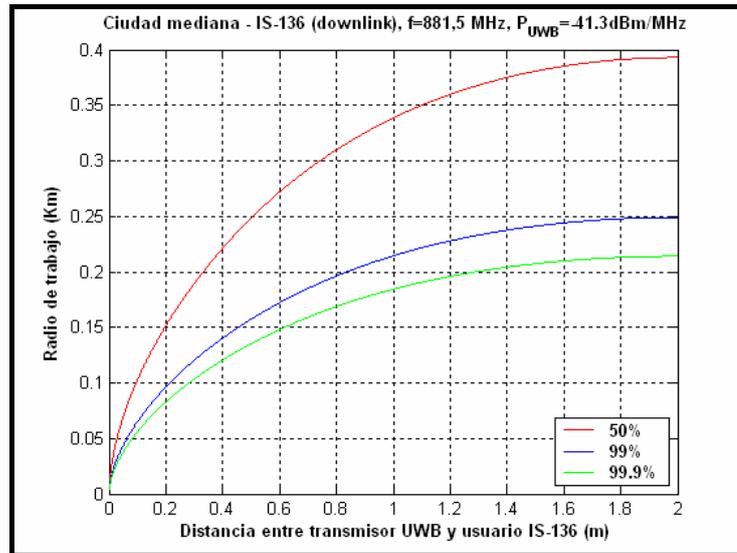


Figura 5.15. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -41,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 184 m

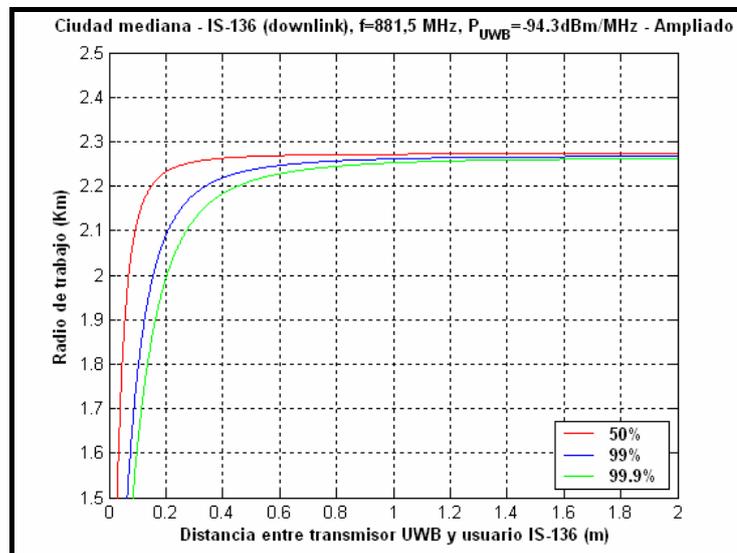


Figura 5.16. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -94,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 2,25 Km.

5.6.4. Ciudad grande

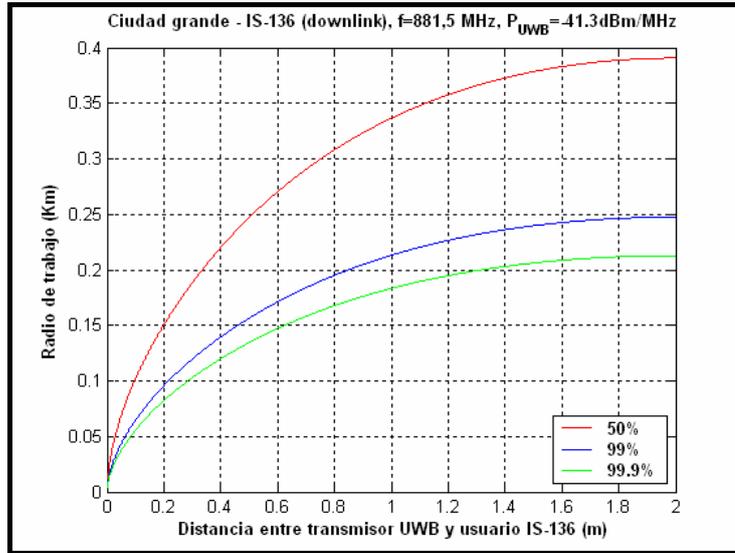


Figura 5.17. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -41,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 183 m

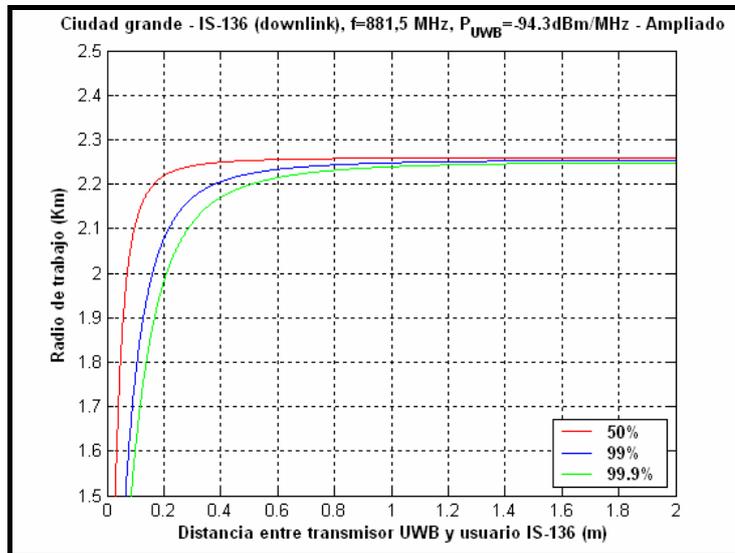


Figura 5.18. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -94,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 2,24 Km.

5.6.5. Conclusiones sobre el efecto de 18 transmisores UWB sobre IS-136 en la banda inferior

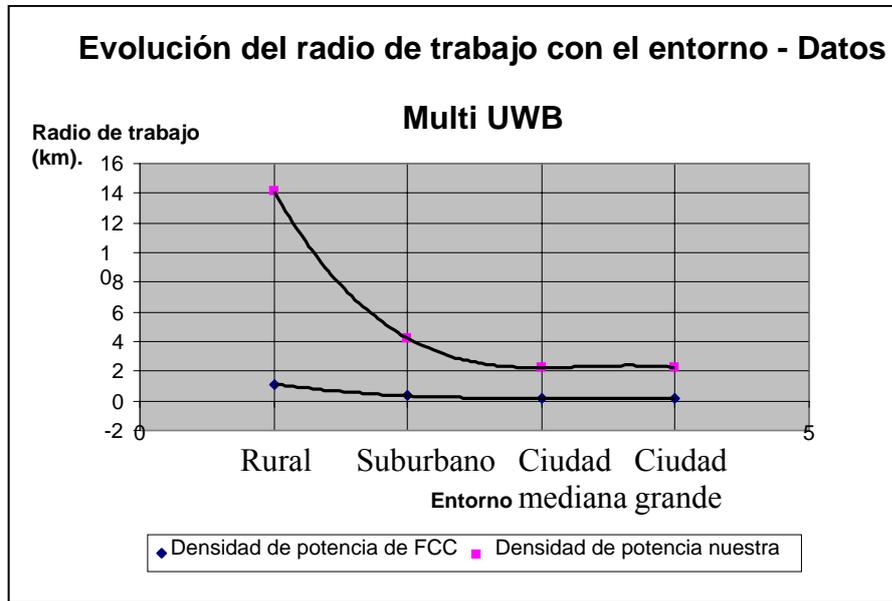


Figura 5.19. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda inferior en función del entorno ($P_{UWB} = -41,3$ dBm/MHz)

Como en el caso anterior volvemos a notar la diferencia entre ambas curvas que sigue siendo más que notable.

5.7. Efecto de un transmisor UWB sobre IS-136 en la banda superior

5.7.1. Entorno rural

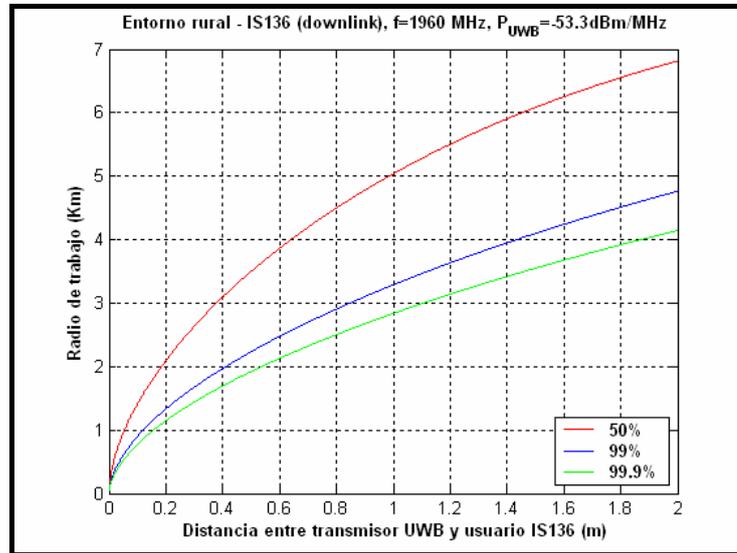


Figura 5.20. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda superior en entorno rural en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -53,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 2,83 Km.

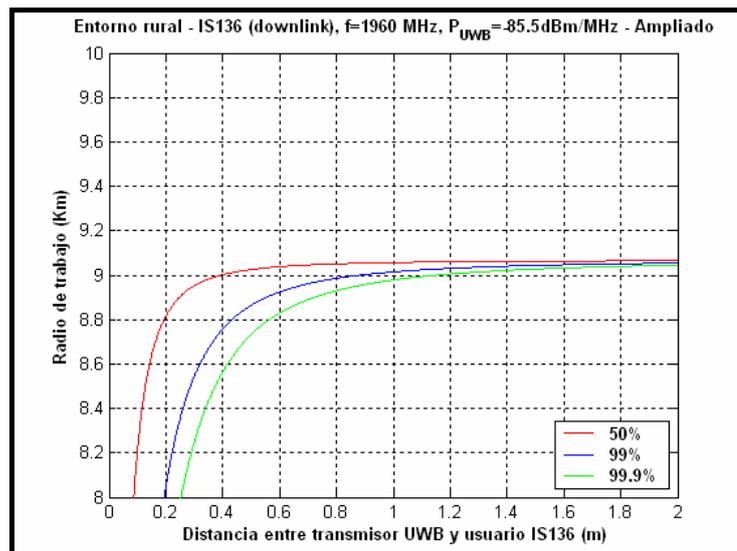


Figura 5.21. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda superior en entorno rural en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -85,5$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 8,98 Km.

5.7.2. Entorno suburbano

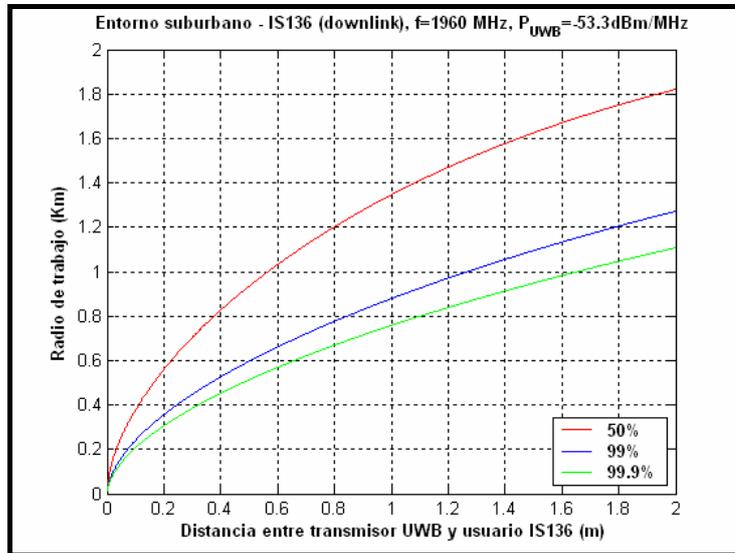


Figura 5.22. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda superior en entorno suburbano en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -53,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 757 m

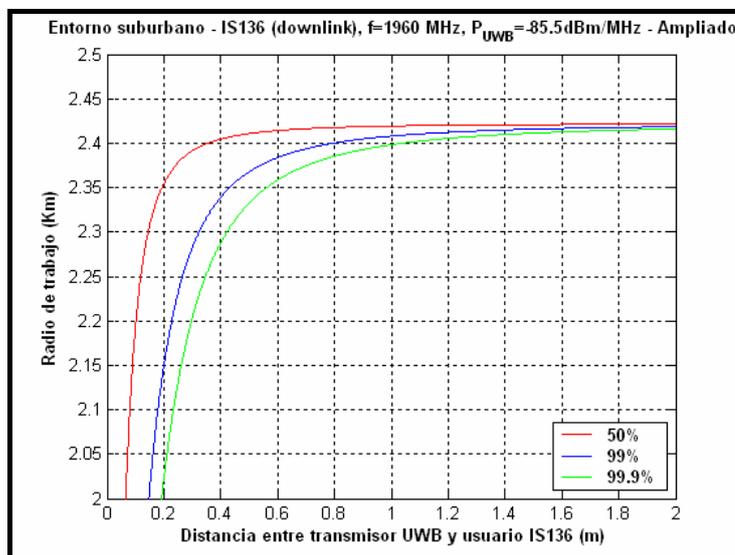


Figura 5.23. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda superior en entorno suburbano en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -85,5$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 2,39 Km.

5.7.3. Ciudad mediana-pequeña

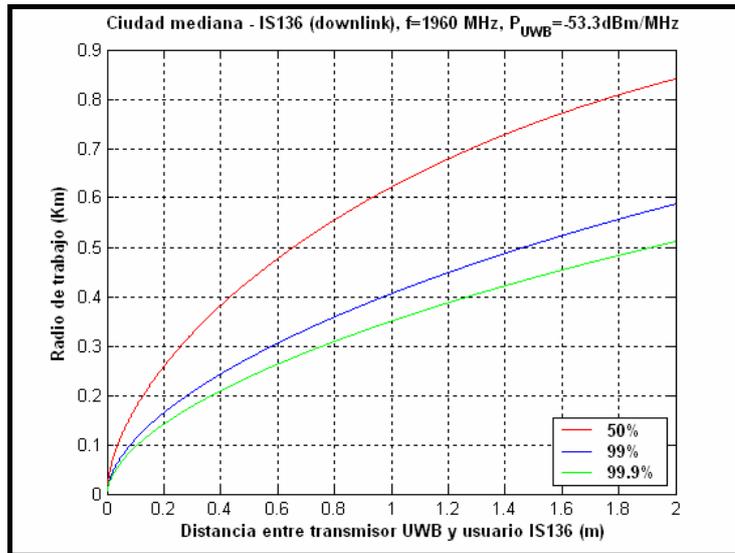


Figura 5.24. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda superior en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -53,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 350 m

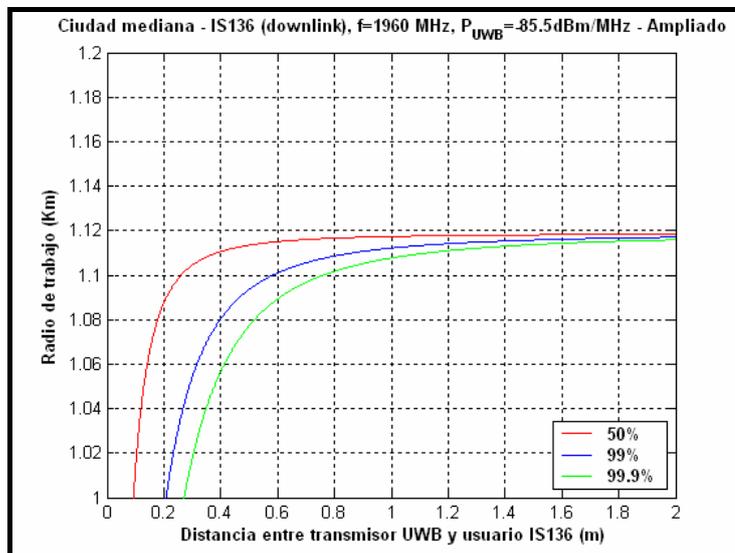


Figura 5.25. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda superior en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -85,5 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 1,10 Km.

5.7.4. Ciudad grande

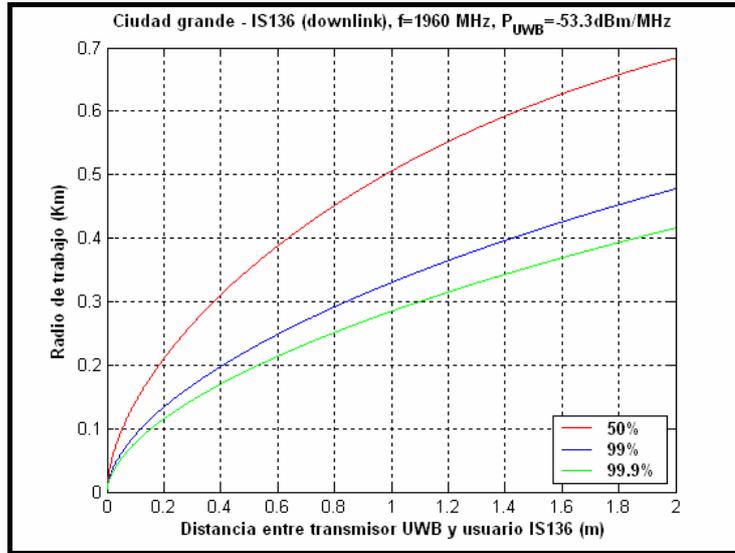


Figura 5.26. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda superior en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -53,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 285 m

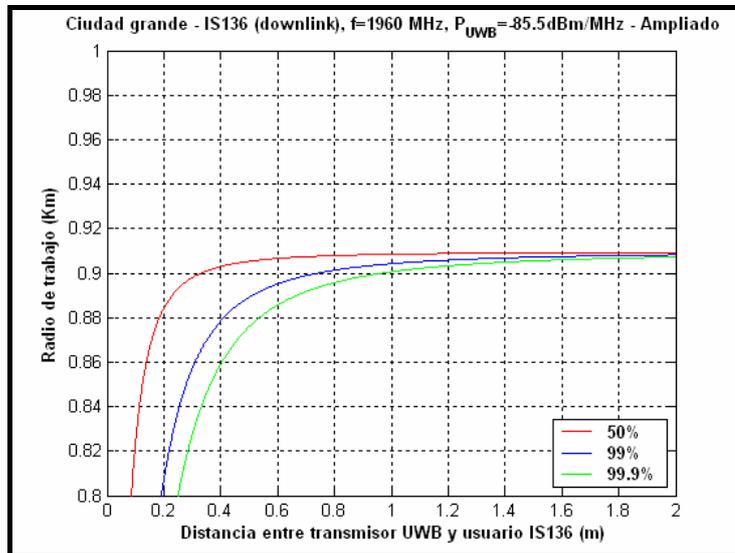


Figura 5.27. Efecto de la interferencia UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda superior en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -85,5 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 900 m

5.7.5. Conclusiones sobre el efecto de un transmisor UWB sobre IS-136 en la banda superior

En la **banda superior de IS-136**, a 1960 MHz, para llegar al 99% del radio máximo de trabajo tendremos que utilizar una **densidad de potencia de -85,5 dBm/MHz**.

5.8. Efecto de 18 transmisores UWB sobre IS-136 en la banda superior

5.8.1. Entorno rural

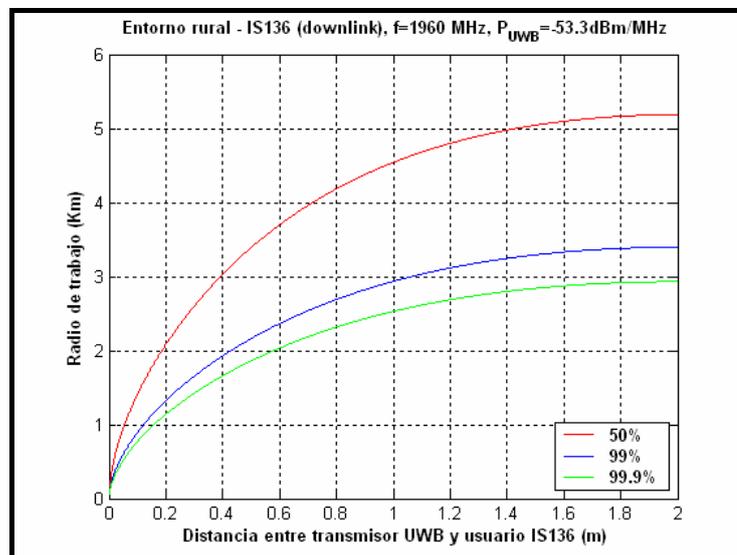


Figura 5.28. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda superior en entorno rural en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -53,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 2,53 Km.

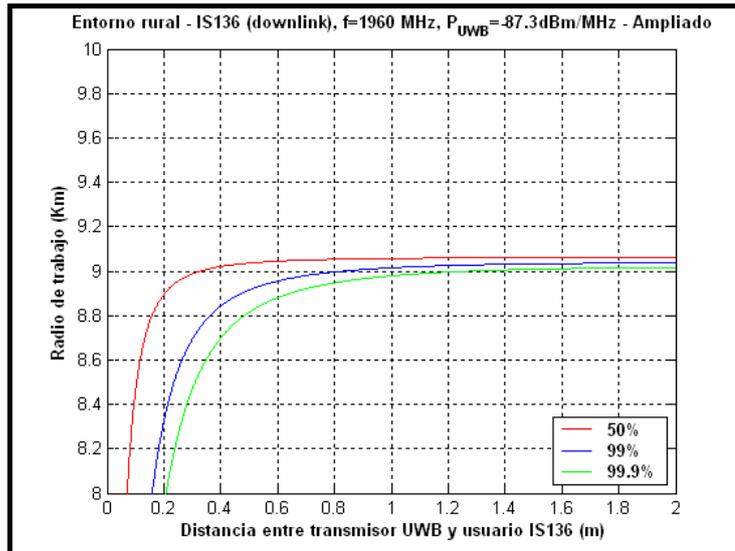


Figura 5.29. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda superior en entorno rural en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -87,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 8,98 Km.

5.8.2. Entorno suburbano

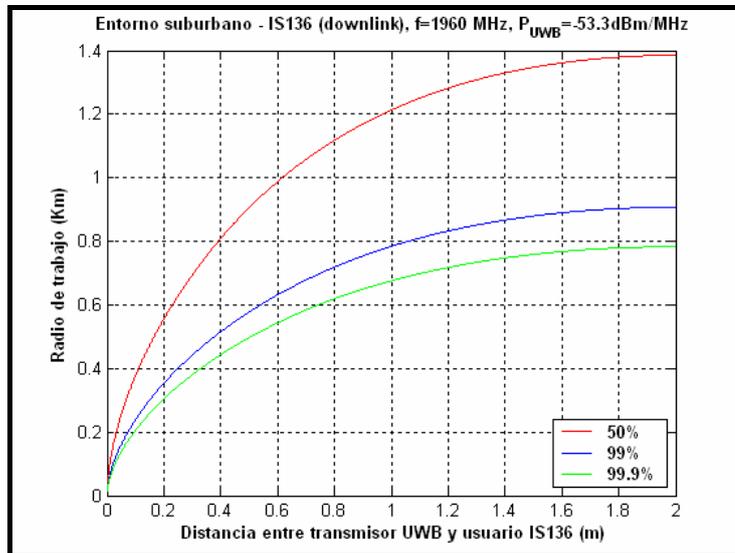


Figura 5.30. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda superior en entorno suburbano en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -53,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 675 m

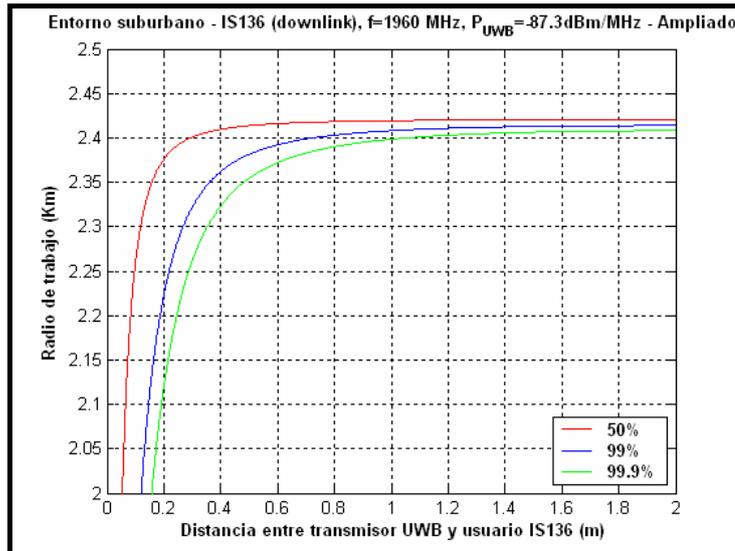


Figura 5.31. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda superior en entorno suburbano en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -87,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 2,39 Km.

5.8.3. Ciudad mediana-pequeña

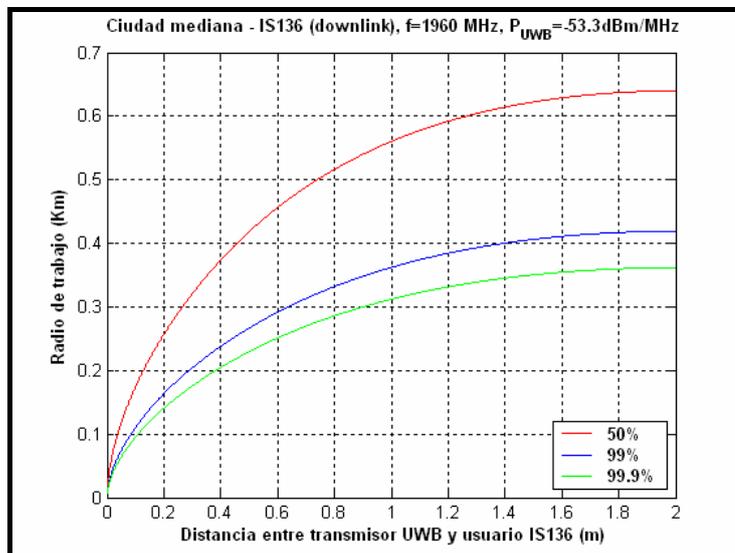


Figura 5.32. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda superior en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -53,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 312 m

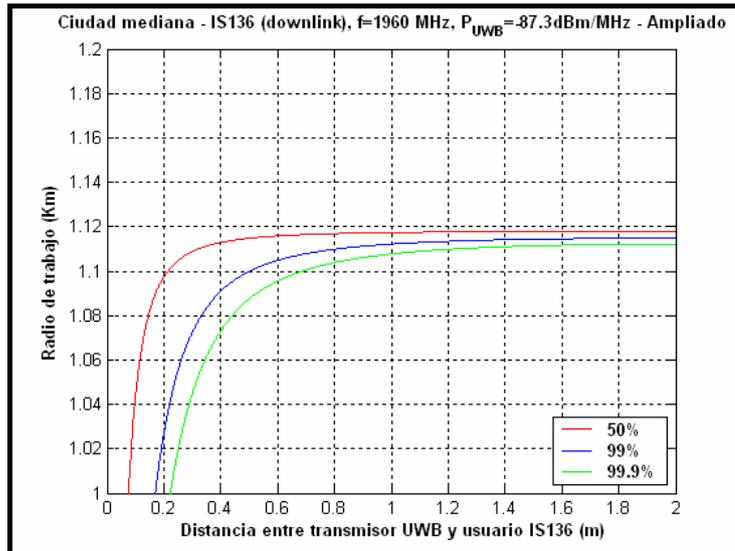


Figura 5.33. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda superior en entorno de ciudad mediana-pequeña en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -87,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 1,11 Km.

5.8.4. Ciudad grande

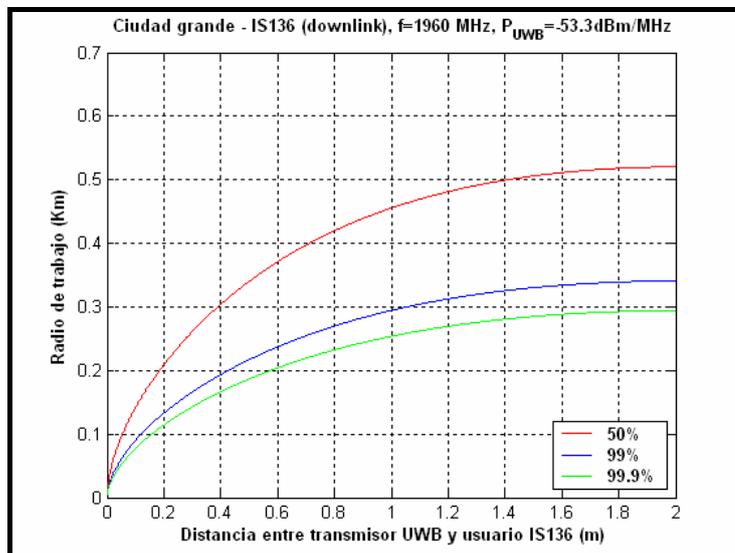


Figura 5.34. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda superior en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -53,3$ dBm/MHz)

Radio máximo de trabajo: 253 m

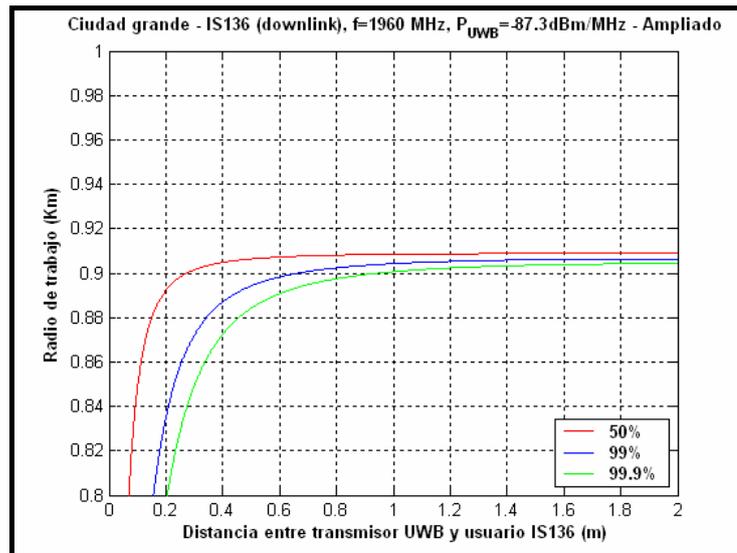


Figura 5.35. Efecto de la interferencia de 18 transmisores UWB sobre el radio de trabajo real de sistemas IS-136 en la banda superior en entorno de ciudad grande en función de la distancia del usuario IS-136 ($P_{UWB} = -87,3 \text{ dBm/MHz}$)

Radio máximo de trabajo: 900 m

5.8.5. Conclusiones sobre el efecto de 18 transmisores UWB sobre IS-136 en la banda superior

Por último, para la frecuencia de 1960 MHz en la banda superior deberíamos limitar la densidad espectral de potencia a $-87,3 \text{ dBm/MHz}$

Capítulo 6: Conclusiones

Cuando una nueva tecnología aparece no solamente nos basta hacer estudios de viabilidad antes de lanzar el producto al mercado, muchas veces también nos interesa ver la compatibilidad con otras tecnologías existentes. El estudio se hace aún más necesario cuando la nueva tecnología es libre sin licencia y puede influir en zonas del espectro dónde se paga por poder emitir. Este ha sido el objetivo del presente estudio, ver si la densidad de potencia máxima recomendada actualmente es suficiente, o si por el contrario debe modificarse para adaptarse de forma invisible para el resto. Para poder tomar las conclusiones necesarias y representar la nueva máscara de densidad de potencia de emisión de UWB ha sido necesario pasar por diferentes escenarios como el entorno rural, entorno suburbano, ciudad mediana-pequeña y ciudad grande, y también comprobar el efecto obtenido en las frecuencias de las tecnologías a las que afecta como GSM, UMTS e IS-136.

Una vez finalizado el análisis en los 4 entornos espaciales, bajo 2 situaciones de interferencia distintas y con multitud de frecuencias de trabajo, podemos finalmente empezar a sacar conclusiones y representar la máscara de emisión de densidad de potencia UWB, el cual era nuestro objetivo desde el principio.

Mostramos a continuación un cuadro resumen de los datos obtenidos con todas las combinaciones de situaciones:

Tabla 6.1. Resumen con todas las bandas y frecuencias utilizadas, densidades espectrales de potencia FCC y recomendada y radios obtenidos con ambas densidades para todos los casos.

Banda	Frecuencia (MHz)	Densidad de potencia (dBm/MHz)	Entorno Rural (metros)	Entorno Suburbano (metros)	Ciudad mediana (metros)	Ciudad grande (metros)
GSM-900 1Trx	947,5	-41,3	1.288	380	201	200
		-91,8	13.445	3.972	2.099	2.086
GSM-900 18Trx	947,5	-41,3	1.147	339	179	178
		-93,6	13.446	3.972	2.099	1.086
GSM-1800 1Trx	1.842,5	-53,3	2.800	754	353	287
		-86	9.168	2.473	1.156	940
GSM-1800 18Trx	1.842,5	-53,3	2.495	673	315	256
		-87,8	9.169	2.474	1.156	940

UMTS-2100 Datos 1Trx	2.140	-51,3 -86,3	1.880 5.030	495 1.320	225 600	182 488
UMTS-2100 Datos 18 Trx	2.140	-51,3 -88	1.680 5.030	442 1.320	200 600	163 488
UMTS-2100 Voz 1Trx	2.140	-51,3 -86,3	2.080 5.570	550 1.460	249 665	200 540
UMTS-2100 Voz 18Trx	2.140	-51,3 -88	1.860 5.570	490 1.470	222 665	180 540
UMTS-2600 Datos 1Trx	2.655	-51,3 -84,5	1.870 4.450	480 1.120	210 490	170 400
UMTS-2600 Datos 18Trx	2.655	-51,3 -86,2	1.680 4.450	430 1.130	180 490	150 400
UMTS-450 Datos 18 Trx	460	-51,3 -101,4	1.620 11.540	510 3.630	300 2.140	300 2.130
UMTS-450 Voz 18 Trx	460	-51,3 -101,4	1.800 12.780	560 4.020	330 870	330 360
IS-136 Lower Band 1Trx	881,5	-41,3 -92,5	1.300 14.120	287 4.200	206 2.250	205 2.330
IS-136 Lower Band 8Trx	881,5	-41,3 -94,3	1.100 14.130	345 4.210	184 2.250	183 2.240
IS-136 Upper Band 1Trx	1960	-53,3 -85,5	2.830 8.980	757 2.390	350 1.100	285 900
IS-136 Upper Band 8Trx	1960	-53,3 -87,3	2.530 8.980	675 2.390	312 1.110	253 900

Con todos estos datos presentes podemos observar al menos 3 comportamientos en las variaciones de radios de trabajo y densidad de potencia.

En primer lugar, fijándonos en el entorno de trabajo, al ir variando desde un entorno rural a una gran ciudad vemos claramente un descenso importante en el radio de trabajo. Las 2 razones principales son el aumento de la densidad de población y el tamaño y aglomeración de edificios. Así pasamos de un entorno rural con edificios muy bajos y

pocos usuarios a una gran ciudad con edificios altos, juntos y gran cantidad de población. Este aumento junto con las interferencias electromagnéticas y objetos en movimiento como los camiones, autobuses, coches, etc. hacen que la señal se degrade y el radio de trabajo sea mínimo, siendo entre 5 y 10 veces menor en la ciudad que en el campo.

Fijándonos sólo en el cambio de densidad de potencia que realizamos en el estudio, concluimos que al disminuir la potencia máxima de emisión del transmisor UWB el radio de trabajo se incrementa entre 2 y 3 veces de aquel que se conseguía. Este cambio está claramente justificado, pues cuanto menos interferencia se produzca sobre el receptor móvil, mejor calidad tendrá la señal que se recibe desde la estación base, y por tanto más lejos podrá estar ésta, aumentando el radio de trabajo.

Por último, y la observación que más nos afecta para poder dibujar la máscara de emisión, es la variación de la densidad de potencia con la frecuencia para poder conseguir el radio máximo de trabajo, o en el caso de UMTS, la capacidad máxima de canal.

Si de cada grupo de frecuencias elegimos aquella más restrictiva podemos sacar la siguiente curva de densidades de potencia máximas en función de la frecuencia que servirá para representar la nueva máscara UWB fuera de la banda permitida por debajo de los 3,1 GHz.

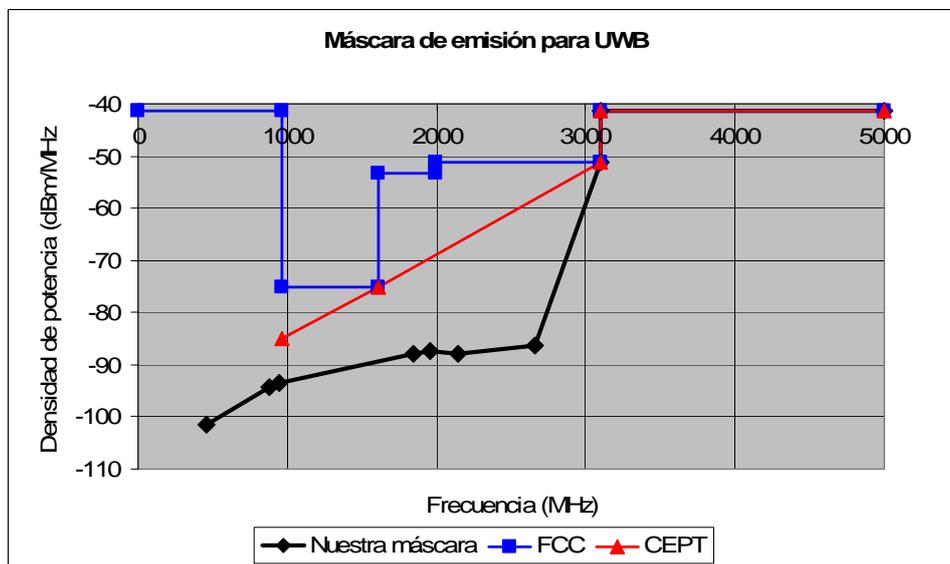


Figura 6.1. Máscara de emisión de densidad de potencia UWB recomendada tras la finalización de nuestro estudio

Que como podemos comprobar nos obliga a utilizar densidades mucha más bajas de las actuales.

Bibliografía

- Miguel Calvo Ramón, "Sistemas de Comunicaciones Móviles de Tercera Generación IMT-2000 (UMTS)", Editorial Fundación Airtel Vodafone.
- X. Shen, M. Guizani, R. C. Qiu, T. Le-Ngoc, "Ultra-wideband wireless communications and networks", Editorial Wiley.
- Dharma Prakash Agrawal, Qing-An Zeng "Introduction to Wireless and Mobile Systems 2nd Ed, Editorial Thomsom.
- M. Hamalainen, V. Hovinn, R. Tesi, J. Iinatti, and M. Latava-aho, "On the UWB System Coexistence with GSM900, UMTS/WCDMA, and GPS", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 20, No. 9
- N. C. Beaulieu, and B. Hu, "A Pulse Design Paradigm for Ultra-Wideband Communications Systems", IEEE Trans. Wireless Communications, Vol. 5, No. 6
- Flavio Muratore, "UMTS Mobile Communications for the Future" Ed. WILEY
- Dieter J. Cichon, Thomas Kürner, "Propagation Prediction Models"
- C. Li, G. Dolmans, M.H.A.J. Herben y E.F.T. Martijn, "Experimental verification of a ray-launching model used for the prediction of indoor wideband directional radio channel at 5.8 GHz"
- Jaakko Lähteenmäki, VTT Information Technology, Finland, "Indoor Propagation Models"
- UMTS Forum 2005, Report N° 38
- Yves Bellégo, UMTS Forum, "Visión del UMTS Forum sobre la CMR-07"
- D. García, J. López, M.A. Abeledo, J.D. García, "Tecnología UMTS"
- Paul Withington, "Ultra-Wide Band Radio: A New Frontier", Time Domain Corporation

- Pedro J.Roig, Pablo Corral, Universidad de Miguel Hernández, Julio Ibáñez, Laura Perucci, Università di Firenze, “Localización UWB en canales indoor y outdoor MIMO”
- Myunghoi Kim, TERA LAB, Dept. of EECS KAIST, “A design of compact microstrip band-pass filter for UWB Communications”
- Chris Snow, Lutz Lampe, Robert Schober, University of British Columbia, “Multiband OFDM for UWB Communication: Analysis and Extensions”
- Alan Newton, University of British Columbia, “Implementation Challenges of UWB Systems”
- Matti Hämäläinen, Universitatis Ouluensis, Singleband UWB Systems: Analysis and Measurements of Coexistence with Selected Existing Radio Systems”
- D. Puebla, P. Rego, “Una breve aproximación a las tecnologías inalámbricas: Wi-fi, Bluetooth y UWB”
- Fabien Héliot, University of London, “Design and Analysis of Space-time Block and Trellis Coding Schemes for Single-Band UWB Communications Systems”
- Chia-Chin Chong, Fujio Watanabe y Hiroshi Inamura, NTT DoCoMo USA Labs, “Potential of UWB Technology for the Next Generation Wireless Communications”
- Aki Silvennoinen, Helsinki University of Technology, “Unlicensed reuse of licensed spectrum: case UWB”
- Simon Tonks, “The Impact of UWB on 2.6GHz Mobile Networks”
- Ben Allen, King’s College London, “Ultra Wideband: Technology and Future perspectives”, Wireless World Research Forum (WWRF)
- <http://www.gsmworld.com/index.shtml>
- [http://www.alsitel.com/tecnico/gsm/TEORIA%20\(I\).htm](http://www.alsitel.com/tecnico/gsm/TEORIA%20(I).htm)

- http://gsyc.escet.urjc.es/moodle/file.php/9/Transpas_Teoria/2005-2006/introduccion-telecomunicacion-5.pdf
- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_c_a/
- http://www.teleco.com.br/es/tutoriais/es_tutorialtdma/pagina_2.asp
- <http://www.monografias.com/trabajos22/satelites-en-tresg/satelites-en-tresg.shtml>
- <http://www.cnp-wireless.com/tdma.html>
- <http://www.eveliux.com/articulos/telefoniamovil.html>
- <http://www.gr.ssr.upm.es/elcm/2006/pdf/>
- http://www.radioptica.com/Radio/estandares_WLAN.asp?pag=8
- http://www.gsmworld.com/news/press_2005/press05_21.shtml
- <http://eeweb1.poly.edu/stefanov/IS136.pdf>
- <http://herkules.oulu.fi/isbn9514280644/isbn9514280644.pdf>
- <http://tte.ele.tue.nl/radio/publications/ECR%20pubs%202004/Li%20EUMW%20Experimental%20verification.pdf>
- <http://www.depi.itchihuahua.edu.mx/electro/archivo/electro2001/mem2001/articulos/kom5.pdf>
- <http://www.docomolabs-usa.com/pdf/PS-2006-0139.pdf>
- http://www.ida.gov.sg/doc/Technology/Technology_Level3/7_-_TDC_-_Pulse_of_the_Future.pdf
- <http://www.it.lut.fi/kurssit/04-05/010651000/Luennot/Chapter4.pdf>
- http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38042/s04/Presentations/24112004_Silvennoinen/Silvennoinen_paper.pdf
- <http://www.privateline.com/Cellbasics/hart-ch3IS-136.pdf>

- http://www.wireless-world-research.org/fileadmin/sites/default/files/about_the_forum/WG/WG5/White%20Papers/WG5-wp1-Ultra_Wideband_Communications-V2005.pdf
- <http://kbs.cs.tu-berlin.de/~jutta/gsm/js-intro.html>
- http://ceres.ugr.es/~alumnos/c_avila/gsm22.htm
- <http://www.budde.com.au/Reports/Contents/Technology-Mobile-1-2G-Introduction-IS-136-TDMA-3347.html>
- http://www.rohde-schwarz.com/www/dev_center.nsf/frameset?OpenAgent&website=com&navig=/www/dev_center.nsf/html/nav,10,17&content=http://www.rohde-schwarz.com/www/publicat.nsf/article/n161_cmd80
- <http://www.intel.com/technology/comms/uwb/index.htm>
- <http://www.radioptica.com/Radio/uwb.asp>
- <http://www.commsglossary.com/i.html>
- <http://www.definicion.org/gsm>
- <http://www.braddye.com/glossary.html>
- http://www.3gnewsroom.com/3g_news/feb_05/news_5585.shtml
- http://www.ipwireless.com/news/press_022305.html

Anexo I: Código GSM e IS-136

En el primero anexo se muestra el código MATLAB necesario para generar las gráficas de los apartados de GSM e IS-136.

Para poder simular todas las situaciones con las frecuencias en ambas tecnologías hay que hacer algunos pequeños cambios en datos que se resaltan y cuyos cambios se muestran detalladamente.

El código está dividido en varias secciones. En la primera se muestran los cálculos generales que servirán para calcular las potencias, pérdidas y dónde se definen constantes y variables. Las siguientes partes son las correspondientes a los 4 entornos y en ellas los cálculos son los mismos, el del radio normalizado y radio real de trabajo junto con la parte de código para hacer la representación gráfica. Los 4 entornos están diferenciados por las variables que usan en el modelo de HATA. Para GSM-900 e IS-136 en su banda inferior se ha usado HATA y para GSM-1800 e IS-136 en su banda superior se ha preferido HATA-COST231 porque llega hasta los 2000 MHz.

Los valores para GSM son los marcados y escritos en el código. Sin embargo para IS-136 habría que sustituir las variables subrayadas con los siguientes valores:

`bw = 0.03;`

`Pd_uwb = [-41.3,-70,-92.5];`

`f_IS136 = (0.869*10^9+0.894*10^9)/2;`

`SNR = 18;`

Y por supuesto, cambiar el nombre de las variables para que en vez de aparecer GSM aparezca IS-136.

El código para la situación de estar ante un transmisor UWB interferente y utilizando frecuencias inferiores a 1500 MHz, se muestra a continuación. La opción con varios transmisores y con el modelo de HATA-COST231 se deja como ejemplo para UMTS.

```

%*****%
% Autor: Sergio Rico Arias %
% Tutor: Bazil Taha Ahmed %
% Fecha: 2007 %
% UAM - EPS %
%*****%
% -----> GSM - 900 MHz <----- %
%*****%
clc; clear all; close all;
% Ancho de banda de un canal GSM en MHz
bw = 0.2; %
%-----%
% Densidad de potencia transmitida por emisor UWB en dB/MHz %
%-----%
% Densidad de potencia del emisor UWB en dBm/MHz. Tiene 3 valores para hacer 3 curvas.
% La primera con la recomendada por la FCC (-41.3 dBm/MHz), una intermedia y otra final con
% el valor con el que conseguimos dar servicio al 99.9% de los casos
Pd_uwb = [-41.3,-70,-91.8];
%-----%
% Perdidas de propagacion del UWB %
%-----%
% Velocidad de la luz en m/s
c = 3*10^8;
% Frecuencia media de funcionamiento del canal downlink de GSM en GHZ
% fmin=0.935GHz y fmax=0.960GHz
f_GSM = (0.935*10^9+0.960*10^9)/2;
% Longitud de onda en m
lambda = c/f_GSM;
% Perdidas a un metro de distancia en dB
L1m = 20*log10((4*pi)/lambda);
% Desviacion tipica para el caso indoor, varia entre [2:3];
sigma_indoor = 3;
% Constantes de perdidas para agregar un margen extra y simular las
% probabilidades de dar buen servicio en el 50%, 99% y 99.9% de los casos
C1 = 0; % 50% posibilidad de tener un buen servicio
C2 = 2.33; % 99% posibilidad de tener un buen servicio
C3 = 3.1; % 99.9% posibilidad de tener un buen servicio
% Factor de sombra para los tres casos (fading)
Z_50 = C1*sigma_indoor;
Z_99 = C2*sigma_indoor;
Z_999 = C3*sigma_indoor;
% Indice de propagacion del caso indoor, varia entre [1.6:2]
n_indoor=2; %
% Distancia de variacion entre el transmisor UWB y el receptor GSM
% Varia entre 0 y 2 metros.
d=[0.001:0.001:2];
% Perdidas para los tres casos
Lp_uwb_50 = L1m + 10*n_indoor*log10(d) - Z_50;
Lp_uwb_99 = L1m + 10*n_indoor*log10(d) - Z_99;
Lp_uwb_999 = L1m + 10*n_indoor*log10(d) - Z_999;
%-----%
% Potencia transmitida por la antena GSM %
%-----%
% Potencia de la antena = 5Watt = 7dB = 37dBm
pantena_GSM = 5;
% Para ponerlo en dBm hay que sumar 30
Pantena_GSM = 10*log10(pantena_GSM)+30;

```

```

% Ganancia de la antena en dB
G = 18;
% Perdidas del cable que une el sistema con la antena en dB
Lcable = 3;
% Ganancia total del conjunto antena + cable en dB
Gantena = G - Lcable;
% Potencia transmitida por la antena en dBm
Pt_GSM = Pantena_GSM + Gantena;
%-----%
% Perdidas de propagacion de GSM %
%-----%
% Figura de ruido en dB. Varia entre 7 y 9 dB
NF = 8;
% Margen de interferencia en dB. Varia entre 6 y 10 dB
M = 6;
% Potencia de ruido
Pn = -114 + 10*log10(bw) + NF + M;
pn = 10^(Pn/10);
% Relacion señal ruido para GSM en dB
SNR = 10;
% Sensibilidad del sistemas en dB
S = Pn + SNR;
% Perdidas de propagacion que tenemos que compensar en dB
Lpropagacion = Pt_GSM - S;
% Desviacion para el caso outdoor
sigma_outdoor = 8;
% Perdidas por sombras
Lshadowing = 1.3*sigma_outdoor;
% Perdidas maximas por las variaciones del entorno
% Lp_GSM = Pt_GSM - Pn - SNR - Lshadowing
Lp_GSM = Lpropagacion - Lshadowing;
%-----%
% Datos para el modelo de HATA %
%-----%
% Ahora por el modelo de HATA sacamos el radio de trabajo maximo
% Altura de la antena en m. Se obtiene a partir de la parte de delante de
% log(d)
ht = 30;
% Altura media de los españoles = 1.751 m, pero el movil esta en la oreja
hr = 1.6;
% Variable dada por la frecuencia y altura de la antena transmisora, usado
% en el modelo de HATA
A = 69.95 + 26.16*log10(f_GSM/10^6) - 13.82*log10(ht);
% Variable dada por la altura de la antena, usada en los calculos en el
% modelo de HATA
B = 44.9 - 6.55*log10(ht);
% Indice de propagacion n_outdoor = 3.5 o un valor parecido;
% Se saca de la formula de HATA, de la parte de log(d)^b con
% ht = 30 m es lo mas habitual en las antenas
n_outdoor = (44.9-6.55*log10(ht))/10;

```

```

%%
%
%
%           Zona rural
%
%
%%
% Variable para el modelo de HATA en el caso de trabajar en una zona rural
% en la que los edificios son de altura baja y hay poca densidad de
% poblacion
D = 4.78*(log10(f_GSM/10^6))^2 - 18.33*log10(f_GSM/10^6) + 40.94;
% Radio de trabajo
r = 10 ^ ( ( Lp_GSM-A+D) / B );
% Bucle para hacer el calculo con 3 potencias dadas y ver la diferencia de
% curvas obtenidas
for indice_pot=1:3
    %%
    % Potencia transmitida por el UWB
    %%
    % La potencia transmitida es la densidad de potencia del transmisor UWB
    % por el ancho de banda sobre el que nos solapamos (el de GSM)
    Pt_uwb = Pd_uwb(indice_pot) + 10*log10(bw);
    %%
    % Potencia que llega al receptor
    %%
    % La potencia que llega al receptor es la que se emite menos las
    % perdidas de propagacion
    Pr_uwb_50 = Pt_uwb-Lp_uwb_50;
    pr_uwb_50 = 10.^(Pr_uwb_50./10);
    Pr_uwb_99 = Pt_uwb-Lp_uwb_99;
    pr_uwb_99 = 10.^(Pr_uwb_99./10);
    Pr_uwb_999 = Pt_uwb-Lp_uwb_999;
    pr_uwb_999 = 10.^(Pr_uwb_999./10);
    %%
    % Radio de trabajo normalizado
    %%
    rn_50 = (pn./(pn+pr_uwb_50)).^(1/n_outdoor);
    rn_99 = (pn./(pn+pr_uwb_99)).^(1/n_outdoor);
    rn_999 = (pn./(pn+pr_uwb_999)).^(1/n_outdoor);
    % Representacion
    figure
    plot (d,rn_50,'r', d,rn_99,'b', d,rn_999,'g')
    legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
    title (['\bf Entorno rural - GSM-900 (downlink), f=947,5 MHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz']);
    xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario GSM-900 (m)');
    ylabel('\bf Radio de trabajo normalizado (%)');
    axis([0 2 0 1.05]);
    grid;
    %%
    % Radio total en m
    %%
    Rtotal_50r = rn_50 * r;
    Rtotal_99r = rn_99 * r;
    Rtotal_999r = rn_999 * r;
    % Representacion
    figure
    plot (d,Rtotal_50r,'r', d,Rtotal_99r,'b', d,Rtotal_999r,'g')
    legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);

```



```

pr_uwb_999 = 10.^(Pr_uwb_999./10);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Radio de trabajo normalizado
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
m_50 = (pn./(pn+pr_uwb_50)).^(1/n_outdoor);
m_99 = (pn./(pn+pr_uwb_99)).^(1/n_outdoor);
m_999 = (pn./(pn+pr_uwb_999)).^(1/n_outdoor);
% Representacion
figure
plot (d,m_50,'r', d,m_99,'b', d,m_999,'g')
legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
title(['\bf Entorno suburbano - GSM-900 (downlink), f=947,5 MHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz']);
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario GSM-900 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo normalizado (%)');
axis([0 2 0 1.05]);
grid;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Radio total en m
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Rtotal_50s = m_50 * r;
Rtotal_99s = m_99 * r;
Rtotal_999s = m_999 * r;
% Representacion
figure
plot (d,Rtotal_50s,'r', d,Rtotal_99s,'b', d,Rtotal_999s,'g')
legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
title(['\bf Entorno suburbano - GSM-900 (downlink), f=947,5 MHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz']);
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario GSM-900 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo (Km.)');
grid;
% Representacion detallada del caso mas restrictivo
if indice_pot==3
figure
plot (d,m_50,'r', d,m_99,'b', d,m_999,'g')
legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
title(['\bf Entorno suburbano - GSM-900 (downlink), f=947,5 MHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz - Ampliado']);
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario GSM-900 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo normalizado (%)');
axis([0 2 0.8 1.05]);
grid;
figure
plot (d,Rtotal_50s,'r', d,Rtotal_99s,'b', d,Rtotal_999s,'g')
legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
title(['\bf Entorno suburbano - GSM-900 (downlink), f=947,5 MHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz - Ampliado']);
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario GSM-900 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo (Km.)');
axis([0 2 3 4.2]);
grid;
end
end
pause
close all

```

```

%%
%
%
% Ciudad mediana - pequeña
%
%
%%
% Variable usada en el modelo de HATA en el caso de trabajar en una ciudad
% mediana o pequeña
Ep = (1.11*log10(f_GSM/10^6)-0.7)*hr - 1.56*log10(f_GSM/10^6) + 0.8;
% Radio de trabajo
r=10 ^ ( (Lp_GSM-A+Ep) / B );
% Bucle para la representacion de los resultados con 3 potencias de
% transmision distintas
for indice_pot=1:3
    %%
    % Potencia transmitida por el UWB
    %%
    % La potencia transmitida es la densidad de potencia del transmisor UWB
    % por el ancho de banda sobre el que nos solapamos (el de GSM)
    Pt_uwb = Pd_uwb(indice_pot) + 10*log10(bw);
    %%
    % Potencia que llega al receptor
    %%
    % La potencia que llega al receptor es la que se emite menos las
    % perdidas de propagacion
    Pr_uwb_50 = Pt_uwb-Lp_uwb_50;
    pr_uwb_50 = 10.^(Pr_uwb_50./10);
    Pr_uwb_99 = Pt_uwb-Lp_uwb_99;
    pr_uwb_99 = 10.^(Pr_uwb_99./10);
    Pr_uwb_999 = Pt_uwb-Lp_uwb_999;
    pr_uwb_999 = 10.^(Pr_uwb_999./10);
    %%
    % Radio de trabajo normalizado
    %%
    rn_50 = (pn./(pn+pr_uwb_50)).^(1/n_outdoor);
    rn_99 = (pn./(pn+pr_uwb_99)).^(1/n_outdoor);
    rn_999 = (pn./(pn+pr_uwb_999)).^(1/n_outdoor);
    % Representacion
    figure
    plot (d,rn_50,'r', d,rn_99,'b', d,rn_999,'g')
    legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
    title (['\bf Ciudad mediana - GSM-900 (downlink), f=947,5 MHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz']);
    xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario GSM-900 (m)');
    ylabel('\bf Radio de trabajo normalizado (%)');
    axis([0 2 0 1.05]);
    grid;
    %%
    % Radio total en m
    %%
    Rtotal_50m = rn_50 * r;
    Rtotal_99m = rn_99 * r;
    Rtotal_999m = rn_999 * r;
    % Representacion
    figure
    plot (d,Rtotal_50m,'r', d,Rtotal_99m,'b', d,Rtotal_999m,'g')
    legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
    title (['\bf Ciudad mediana - GSM-900 (downlink), f=947,5 MHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz']);

```

```

xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario GSM-900 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo (Km.)');
grid;
% Representacion detallada del caso mas restrictivo
if indice_pot==3
    figure
    plot (d,rn_50,'r', d,rn_99,'b', d,rn_999,'g')
    legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
    title (['\bf Ciudad mediana - GSM-900 (downlink), f=947,5 MHz,
P_U_W_B='num2str(Pd_uwb(indice_pot)),dBm/MHz - Ampliado']);
    xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario GSM-900 (m)');
    ylabel('\bf Radio de trabajo normalizado (%));
    axis([0 2 0.8 1.05]);
    grid;
    figure
    plot (d,Rtotal_50m,'r', d,Rtotal_99m,'b', d,Rtotal_999m,'g')
    legend('\bf 50%' , '\bf 99%' , '\bf 99.9%', 4);
    title (['\bf Ciudad mediana - GSM-900 (downlink), f=947,5 MHz,
P_U_W_B='num2str(Pd_uwb(indice_pot)),dBm/MHz - Ampliado']);
    xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario GSM-900 (m)');
    ylabel('\bf Radio de trabajo (Km.)');
    axis([0 2 1.5 2.2]);
    grid;
end
end
pause
close all
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%
% Ciudad grande
%
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Variable usada en el modelo HATA en el caso de trabajar en una gran
% ciudad
Eg = 3.2*(log10(11.75*hr))^2 - 4.97;
% Radio de trabajo
r=10 ^ ( (Lp_GSM-A+Eg) / B );
% Bucle para la representacion de 3 casos con 3 potencias de transmision
% distintas
for indice_pot=1:3
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % Potencia transmitida por el UWB
    %
    % La potencia transmitida es la densidad de potencia del transmisor UWB
    % por el ancho de banda sobre el que nos solapamos (el de GSM)
    Pt_uwb = Pd_uwb(indice_pot) + 10*log10(bw);
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % Potencia que llega al receptor
    %
    % La potencia que llega al receptor es la que se emite menos las
    % perdidas de propagacion
    Pr_uwb_50 = Pt_uwb-Lp_uwb_50;
    pr_uwb_50 = 10.^(Pr_uwb_50./10);
    Pr_uwb_99 = Pt_uwb-Lp_uwb_99;
    pr_uwb_99 = 10.^(Pr_uwb_99./10);
    Pr_uwb_999 = Pt_uwb-Lp_uwb_999;
    pr_uwb_999 = 10.^(Pr_uwb_999./10);

```

```

    % Radio de trabajo normalizado
    rn_50 = (pn./(pn+pr_uwb_50)).^(1/n_outdoor);
    rn_99 = (pn./(pn+pr_uwb_99)).^(1/n_outdoor);
    rn_999 = (pn./(pn+pr_uwb_999)).^(1/n_outdoor);
    % Representacion
    figure
    plot (d,rn_50,'r', d,rn_99,'b', d,rn_999,'g')
    legend('\bf 50%' , '\bf 99%' , '\bf 99.9%', 4);
    title (['\bf Ciudad grande - GSM-900 (downlink), f=947,5 MHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz']);
    xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario GSM-900 (m)');
    ylabel('\bf Radio de trabajo normalizado (%)' );
    axis([0 2 0 1.05]);
    grid;
    % Radio total en m
    Rtotal_50g = rn_50 * r;
    Rtotal_99g = rn_99 * r;
    Rtotal_999g = rn_999 * r;
    % Representacion
    figure
    plot (d,Rtotal_50g,'r', d,Rtotal_99g,'b', d,Rtotal_999g,'g')
    legend('\bf 50%' , '\bf 99%' , '\bf 99.9%', 4);
    title (['\bf Ciudad grande - GSM-900 (downlink), f=947,5 MHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz']);
    xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario GSM-900 (m)');
    ylabel('\bf Radio de trabajo (Km.)');
    grid;
    % Representacion detallada del caso mas restrictivo
    if indice_pot==3
        figure
        plot (d,rn_50,'r', d,rn_99,'b', d,rn_999,'g')
        legend('\bf 50%' , '\bf 99%' , '\bf 99.9%', 4);
        title (['\bf Ciudad grande - GSM-900 (downlink), f=947,5 MHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz - Ampliado']);
        xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario GSM-900 (m)');
        ylabel('\bf Radio de trabajo normalizado (%)' );
        axis([0 2 0.8 1.05]);
        grid;
        figure
        plot (d,Rtotal_50g,'r', d,Rtotal_99g,'b', d,Rtotal_999g,'g')
        legend('\bf 50%' , '\bf 99%' , '\bf 99.9%', 4);
        title (['\bf Ciudad grande - GSM-900 (downlink), f=947,5 MHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz - Ampliado']);
        xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario GSM-900 (m)');
        ylabel('\bf Radio de trabajo (Km.)');
        axis([0 2 1.5 2.2]);
        grid;
    end
end
pause
close all
% Fin del programa

```

Anexo II: Código UMTS

Para UMTS la situación es un poco distinta, pero no mucho más de las anteriores. El cambio principal se obtiene de la observación de la capacidad del canal para llegar al 99% de utilización, y a partir de este valor fijar las densidades de potencia.

Para no repetir el mismo caso que en GSM e IS-136, mostramos a continuación el código válido para el estudio ante 18 transmisores UWB y con frecuencias superiores a 1500 MHz, es decir para mostrar el modelo de HATA-COST231.

El código que se muestra es el caso de UMTS-2100 Datos estando ante múltiples fuentes interferentes. Para poder generar UMTS-2600 sólo tendríamos que cambiar las frecuencias de canal de bajada. Y para generar UMTS-450, a parte de cambiar la frecuencia habría que hacer la modificación oportuna para volver a escribir el modelo de HATA como se muestra en GSM e IS-136.

Para generar el código en la situación de UMTS vos habría que cambiar, respecto a los códigos de datos, los siguientes valores:

$N = 60$; % Numero de usuarios

$\alpha = 0.66$; % Factor de actividad

$SNR = 6$;

$G_p = 25$;

```

%*****%
% Autor: Sergio Rico Arias %
% Tutor: Bazil Taha Ahmed %
% Fecha: 2007 %
% UAM - EPS %
%*****%
% %
% -----> UMTS - 2100 MHz - Datos - Multi <----- %
% %
%*****%
clc; clear all; close all;
% Ancho de banda de un canal UMTS en MHz
bw = 5;
%------%
% Densidad de potencia transmitida por emisor UWB en dB/MHz %
%------%
% Densidad de potencia del emisor UWB en dBm/MHz. Tiene 2 valores para hacer 2 curvas.
% La primera con la recomendada por la FCC (-51.3 dBm/MHz), y otra final con
% el valor con el que conseguimos dar servicio al 99.9% de los casos
Pd_uwb = [-51.3,-88];
%------%
% Perdidas de propagacion del UWB %
%------%
% Velocidad de la luz en m/s
c = 3*10^8;
% Frecuencia media de funcionamiento del canal downlink de UMTS en GHZ
% fmin=2.110GHz y fmax=2.170GHz
f_UMTS = (2.110*10^9+2.170*10^9)/2;
% Longitud de onda en m
lambda = c/f_UMTS;
% Perdidas a un metro de distancia en dB
L1m = 20*log10((4*pi)/lambda);
% Desviacion tipica para el caso indoor, varia entre [2:3];
sigma_indoor = 3;
% Constantes de perdidas para agregar un margen extra y simular las
% probabilidades de dar buen servicio en el 50%, 99% y 99.9% de los casos
C1 = 0; % 50% posibilidad de tener un buen servicio
C2 = 2.33; % 99% posibilidad de tener un buen servicio
C3 = 3.1; % 99.9% posibilidad de tener un buen servicio
% Factor de sombra para los tres casos (fading)
Z_50 = C1*sigma_indoor;
Z_99 = C2*sigma_indoor;
Z_999 = C3*sigma_indoor;
% Indice de propagacion del caso indoor, varia entre [1.6:2]
n_indoor=2;
% Distancia de variacion entre el transmisor UWB y el receptor UMTS
% Varia entre 0 y 2 metros.
x=[0.001:0.001:2];
d1=sqrt(4^2+(8+x).^2);
d2=sqrt(4^2+(4+x).^2);
d3=sqrt(4^2+x.^2);
d4=sqrt(4^2+(4-x).^2);
d5=sqrt(4^2+(8-x).^2);
d6=sqrt(4^2+(12-x).^2);
d7=8+x;
d8=4+x;
d9=x;
d10=4-x;
d11=8-x;
d12=12-x;

```

```

d13=d1;
d14=d2;
d15=d3;
d16=d4;
d17=d5;
d18=d6;
d=[d1; d2; d3; d4; d5; d6; d7; d8; d9; d10; d11; d12; d13; d14; d15; d16; d17; d18];
% Perdidas para los tres casos
for i=1:18
    Lp_50(i,:) = L1m + 10*n_indoor*log10(d(i,:)) - Z_50;
    Lp_99(i,:) = L1m + 10*n_indoor*log10(d(i,:)) - Z_99;
    Lp_999(i,:) = L1m + 10*n_indoor*log10(d(i,:)) - Z_999;
end
%-----%
% Potencia transmitida por la antena UMTS datos          %
%-----%
% Potencia de la antena = 20Watt (43dBm) - 2Watt para el piloto
ptotal = 18;
% Numero de usuarios de datos activos
N    = 9;
% Factor de actividad de datos
alfa = 1;
% Potencia para un usuario
pantena_UMTS = (ptotal/(N*alfa))*2;
% Para ponerlo en dBm hay que sumar 30
Pantena_UMTS = 10*log10(pantena_UMTS)+30;
% Ganancia de la antena en dB
G    = 18;
% Perdidas del cable que une el sistema con la antena en dB
Lcable = 3;
% Ganancia total del conjunto antena + cable en dB
Gantena = G - Lcable;
% Potencia transmitida por la antena en dBm
Pt_UMTS = Pantena_UMTS + Gantena;
%-----%
% Perdidas de propagacion de UMTS datos          %
%-----%
% Figura de ruido en dB. Varia entre 7 y 9 dB
NF = 8;
% Margen de interferencia en dB. Varia entre 6 y 10 dB
M = 6;
% Noise Rise en dB. Varia entre 8 y 12 dB
Nrise = 10;
% Potencia de ruido
Pn = -114 + 10*log10(bw) + NF + Nrise; % M;?????????
pn = 10^((Pn)/10);
% Relacion señal ruido para UMTS datos en dB
SNR = 3;
% Ganancia de proceso
Gp = 14;
% Sensibilidad del sistemas en dB
S = Pn + SNR - Gp;
% Perdidas de propagacion que tenemos que compensar en dB
Lpropagacion = Pt_UMTS - S;
% Desviacion para el caso outdoor
sigma_outdoor = 8;
% Perdidas por sombras
Lshadowing = 1.3*sigma_outdoor;
% Perdidas producidas por los muros del edificio
Lpared = 10;

```



```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Radio de trabajo normalizado %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
m_50 = (pn./(pn+pr_uwb_50)).^(1/n_outdoor);
m_99 = (pn./(pn+pr_uwb_99)).^(1/n_outdoor);
m_999 = (pn./(pn+pr_uwb_999)).^(1/n_outdoor);
% Representacion
figure
plot (x,m_50,'r', x,m_99,'b', x,m_999,'g')
legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
title (['\bf Entorno rural - UMTS-2100 (downlink), f=2.140 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz']);
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2100 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo normalizado (%)' );
axis([0 2 0 1.05]);
grid;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Capacidad de canal normalizada %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Cn_50 = (pn./(pn+pr_uwb_50));
Cn_99 = (pn./(pn+pr_uwb_99));
Cn_999 = (pn./(pn+pr_uwb_999));
% Representacion
figure
plot (d,Cn_50,'r', d,Cn_99,'b', d,Cn_999,'g')
legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
title (['\bf Entorno rural - UMTS-2600 (downlink), f=2.655 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz']);
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2600 (m)');
ylabel('\bf Capacidad del canal normalizada (%)');
axis([0 2 0 1.05]);
grid;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Radio total en m %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Rtotal_50r = m_50 * r;
Rtotal_99r = m_99 * r;
Rtotal_999r = m_999 * r;
% Representacion
figure
plot (x,Rtotal_50r,'r', x,Rtotal_99r,'b', x,Rtotal_999r,'g')
legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
title (['\bf Entorno rural - UMTS-2100 (downlink), f=2.140 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz']);
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2100 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo (Km.)');
grid;
% Representacion detallada del caso mas restrictivo
if indice_pot==3
figure
plot (x,m_50,'r', x,m_99,'b', x,m_999,'g')
legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
title (['\bf Entorno rural - UMTS-2100 (downlink), f=2.140 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz - Ampliado']);
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2100 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo normalizado (%)' );
axis([0 2 0.8 1.05]);
grid;
figure
plot (x,Rtotal_50r,'r', x,Rtotal_99r,'b', x,Rtotal_999r,'g')

```

```

    legend('\bf 50%' , '\bf 99%' , '\bf 99.9%', 4);
    title(['\bf Entorno rural - UMTS-2100 (downlink), f=2.140 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz - Ampliado']);
    xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2100 (m)');
    ylabel('\bf Radio de trabajo (Km.)');
    axis([0 2 3 6]);
    grid;
end
end
pause
close all
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%
%           Zona suburbana
%
%
%
% Variable usada en el modelo HATA-COST231 en el caso de trabajar en una zona
% suburbana donde los edificios son de altura media y tambien hay una
% densidad de poblacion media
C = 2*log10(f_UMTS/(10^6*28))^2 + 5.4;
% Radio de trabajo en m
r=10 ^ ( (Lp_UMTS-A+C) / B );
% Bucle para la representacion usando 3 potencia de transmision distintas
for indice_pot=1:2
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % Potencia transmitida por el UWB
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % La potencia transmitida es la densidad de potencia del transmisor UWB
    % por el ancho de banda sobre el que nos solapamos (el de UMTS)
    Pt_uwb = Pd_uwb(indice_pot) + 10*log10(bw);
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % Potencia que llega al receptor
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % La potencia que llega al receptor es la que se emite menos las
    % perdidas de propagacion
    pr_uwb_50 = 0;
    pr_uwb_99 = 0;
    pr_uwb_999 = 0;
    for i=1:18
        Pr_uwb_50(i,:) = Pt_uwb-Lp_50(i,:);
        pr_uwb_50 = pr_uwb_50 + 10.^(Pr_uwb_50(i,:)/10);
        Pr_uwb_99(i,:) = Pt_uwb-Lp_99(i,:);
        pr_uwb_99 = pr_uwb_99 + 10.^(Pr_uwb_99(i,:)/10);
        Pr_uwb_999(i,:) = Pt_uwb-Lp_999(i,:);
        pr_uwb_999 = pr_uwb_999 + 10.^(Pr_uwb_999(i,:)/10);
    end
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % Radio de trabajo normalizado
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    rn_50 = (pn./(pn+pr_uwb_50)).^(1/n_outdoor);
    rn_99 = (pn./(pn+pr_uwb_99)).^(1/n_outdoor);
    rn_999 = (pn./(pn+pr_uwb_999)).^(1/n_outdoor);
    % Representacion
    figure
    plot (x,rn_50,'r', x,rn_99,'b', x,rn_999,'g')
    legend('\bf 50%' , '\bf 99%' , '\bf 99.9%', 4);
    title(['\bf Entorno suburbano - UMTS-2100 (downlink), f=2.140 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz']);

```

```

xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2100 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo normalizado (%)');
axis([0 2 0 1.05]);
grid;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Capacidad de canal normalizada %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Cn_50 = (pn./(pn+pr_uwb_50));
Cn_99 = (pn./(pn+pr_uwb_99));
Cn_999 = (pn./(pn+pr_uwb_999));
% Representacion
figure
plot (d,Cn_50,'r', d,Cn_99,'b', d,Cn_999,'g')
legend('\bf 50%' , '\bf 99%' , '\bf 99.9%', 4);
title ('\bf Entorno rural - UMTS-2600 (downlink), f=2.655 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz');
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2600 (m)');
ylabel('\bf Capacidad del canal normalizada (%)');
axis([0 2 0 1.05]);
grid;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Radio total en m %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Rtotal_50s = m_50 * r;
Rtotal_99s = m_99 * r;
Rtotal_999s = m_999 * r;
% Representacion
figure
plot (x,Rtotal_50s,'r', x,Rtotal_99s,'b', x,Rtotal_999s,'g')
legend('\bf 50%' , '\bf 99%' , '\bf 99.9%', 4);
title ('\bf Entorno suburbano - UMTS-2100 (downlink), f=2.140 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz');
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2100 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo (Km.)');
grid;
% Representacion detallada del caso mas restrictivo
if indice_pot==3
figure
plot (x,m_50,'r', x,m_99,'b', x,m_999,'g')
legend('\bf 50%' , '\bf 99%' , '\bf 99.9%', 4);
title ('\bf Entorno suburbano - UMTS-2100 (downlink), f=2.140 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz - Ampliado');
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2100 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo normalizado (%)');
axis([0 2 0.8 1.05]);
grid;
figure
plot (x,Rtotal_50s,'r', x,Rtotal_99s,'b', x,Rtotal_999s,'g')
legend('\bf 50%' , '\bf 99%' , '\bf 99.9%', 4);
title ('\bf Entorno suburbano - UMTS-2100 (downlink), f=2.140 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz - Ampliado');
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2100 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo (Km.)');
axis([0 2 1 1.4]);
grid;
end
end
pause
close all

```

```

%%
%
% Ciudad mediana - pequeña
%
% Variable usada en el modelo de HATA-COST231 en el caso de trabajar en una ciudad
% mediana o pequeña
Ep = (1.11*log10(f_UMTS/10^6)-0.7)*hr - 1.56*log10(f_UMTS/10^6) + 0.8;
% Perdida por estar en una ciudad tipo medio, en dB
cm = 0;
% Radio de trabajo
r=10 ^ ( (Lp_UMTS-A+Ep-cm) / B );
% Bucle para la representacion de los resultados con 3 potencias de
% transmision distintas
for indice_pot=1:2
    %%
    % Potencia transmitida por el UWB
    %%
    % La potencia transmitida es la densidad de potencia del transmisor UWB
    % por el ancho de banda sobre el que nos solapamos (el de UMTS)
    Pt_uwb = Pd_uwb(indice_pot) + 10*log10(bw);
    %%
    % Potencia que llega al receptor
    %%
    % La potencia que llega al receptor es la que se emite menos las
    % perdidas de propagacion
    pr_uwb_50 = 0;
    pr_uwb_99 = 0;
    pr_uwb_999 = 0;
    for i=1:18
        Pr_uwb_50(i,:) = Pt_uwb-Lp_50(i,:);
        pr_uwb_50 = pr_uwb_50 + 10.^(Pr_uwb_50(i,:)/10);
        Pr_uwb_99(i,:) = Pt_uwb-Lp_99(i,:);
        pr_uwb_99 = pr_uwb_99 + 10.^(Pr_uwb_99(i,:)/10);
        Pr_uwb_999(i,:) = Pt_uwb-Lp_999(i,:);
        pr_uwb_999 = pr_uwb_999 + 10.^(Pr_uwb_999(i,:)/10);
    end
    %%
    % Radio de trabajo normalizado
    %%
    rn_50 = (pn./(pn+pr_uwb_50)).^(1/n_outdoor);
    rn_99 = (pn./(pn+pr_uwb_99)).^(1/n_outdoor);
    rn_999 = (pn./(pn+pr_uwb_999)).^(1/n_outdoor);
    % Representacion
    figure
    plot (x,rn_50,'r', x,rn_99,'b', x,rn_999,'g')
    legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
    title ('\bf Ciudad mediana - UMTS-2100 (downlink), f=2.140 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)),dBm/MHz'];
    xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2100 (m)');
    ylabel('\bf Radio de trabajo normalizado (%)');
    axis([0 2 0 1.05]);
    grid;
    %%
    % Capacidad de canal normalizada
    %%
    Cn_50 = (pn./(pn+pr_uwb_50));

```

```

Cn_99 = (pn./(pn+pr_uwb_99));
Cn_999 = (pn./(pn+pr_uwb_999));
% Representacion
figure
plot (d,Cn_50,'r', d,Cn_99,'b', d,Cn_999,'g')
legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
title ('\bf Entorno rural - UMTS-2600 (downlink), f=2.655 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz');
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2600 (m)');
ylabel('\bf Capacidad del canal normalizada (%');
axis([0 2 0 1.05]);
grid;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Radio total en m
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Rtotal_50m = r_50 * r;
Rtotal_99m = r_99 * r;
Rtotal_999m = r_999 * r;
% Representacion
figure
plot (x,Rtotal_50m,'r', x,Rtotal_99m,'b', x,Rtotal_999m,'g')
legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
title ('\bf Ciudad mediana - UMTS-2100 (downlink), f=2.140 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz');
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2100 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo (Km.)');
grid;
% Representacion detallada del caso mas restrictivo
if indice_pot==3
figure
plot (x,rn_50,'r', x,rn_99,'b', x,rn_999,'g')
legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
title ('\bf Ciudad mediana - UMTS-2100 (downlink), f=2.140 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz - Ampliado');
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2100 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo normalizado (%');
axis([0 2 0.8 1.05]);
grid;
figure
plot (x,Rtotal_50m,'r', x,Rtotal_99m,'b', x,Rtotal_999m,'g')
legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
title ('\bf Ciudad mediana - UMTS-2100 (downlink), f=2.140 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)), 'dBm/MHz - Ampliado');
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2100 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo (Km.)');
axis([0 2 0.4 0.7]);
grid;
end
end
pause
close all

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%
% Ciudad grande
%
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Variable usada en el modelo HATA-COST231 en el caso de trabajar en una gran

```

```

% ciudad
Eg = 3.2*(log10(11.75*hr))^2 - 4.97;
% Perdida por estar en una ciudad grande, en dB
cm = 3;
% Radio de trabajo
r=10 ^ ( (Lp_UMTS-A+Eg-cm) / B );
% Bucle para la representacion de 3 casos con 3 potencias de transmision
% distintas
for indice_pot=1:2
    % Potencia transmitida por el UWB
    % La potencia transmitida es la densidad de potencia del transmisor UWB
    % por el ancho de banda sobre el que nos solapamos (el de UMTS)
    Pt_uwb = Pd_uwb(indice_pot) + 10*log10(bw);
    % Potencia que llega al receptor
    % La potencia que llega al receptor es la que se emite menos las
    % perdidas de propagacion
    pr_uwb_50 = 0;
    pr_uwb_99 = 0;
    pr_uwb_999 = 0;
    for i=1:18
        Pr_uwb_50(i,:) = Pt_uwb-Lp_50(i,:);
        pr_uwb_50 = pr_uwb_50 + 10.^(Pr_uwb_50(i,:)/10);
        Pr_uwb_99(i,:) = Pt_uwb-Lp_99(i,:);
        pr_uwb_99 = pr_uwb_99 + 10.^(Pr_uwb_99(i,:)/10);
        Pr_uwb_999(i,:) = Pt_uwb-Lp_999(i,:);
        pr_uwb_999 = pr_uwb_999 + 10.^(Pr_uwb_999(i,:)/10);
    end

    % Radio de trabajo normalizado
    rn_50 = (pn./(pn+pr_uwb_50)).^(1/n_outdoor);
    rn_99 = (pn./(pn+pr_uwb_99)).^(1/n_outdoor);
    rn_999 = (pn./(pn+pr_uwb_999)).^(1/n_outdoor);
    % Representacion
    figure
    plot (x,rn_50,'r', x,rn_99,'b', x,rn_999,'g')
    legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
    title (['\bf Ciudad grande - UMTS-2100 (downlink), f=2.140 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)),'dBm/MHz']);
    xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2100 (m)');
    ylabel('\bf Radio de trabajo normalizado (%)');
    axis([0 2 0 1.05]);
    grid;
    % Capacidad de canal normalizada
    Cn_50 = (pn./(pn+pr_uwb_50));
    Cn_99 = (pn./(pn+pr_uwb_99));
    Cn_999 = (pn./(pn+pr_uwb_999));
    % Representacion
    figure
    plot (d,Cn_50,'r', d,Cn_99,'b', d,Cn_999,'g')
    legend('\bf 50%' ,'\bf 99%' ,'\bf 99.9%', 4);
    title (['\bf Entorno rural - UMTS-2600 (downlink), f=2.655 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)),'dBm/MHz']);

```

```

xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2600 (m)');
ylabel('\bf Capacidad del canal normalizada (%)');
axis([0 2 0 1.05]);
grid;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Radio total en m
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Rtotal_50g = rn_50 * r;
Rtotal_99g = rn_99 * r;
Rtotal_999g = rn_999 * r;
% Representacion
figure
plot (x,Rtotal_50g,'r', x,Rtotal_99g,'b', x,Rtotal_999g,'g')
legend('\bf 50%' , '\bf 99%' , '\bf 99.9%', 4);
title (['\bf Ciudad grande - UMTS-2100 (downlink), f=2.140 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)),dBm/MHz']);
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2100 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo (Km.)');
grid;
% Representacion detallada del caso mas restrictivo
if indice_pot==3
figure
plot (x,rn_50,'r', x,rn_99,'b', x,rn_999,'g')
legend('\bf 50%' , '\bf 99%' , '\bf 99.9%', 4);
title (['\bf Ciudad grande - UMTS-2100 (downlink), f=2.140 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)),dBm/MHz - Ampliado']);
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2100 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo normalizado (%)');
axis([0 2 0.8 1.05]);
grid;
figure
plot (x,Rtotal_50g,'r', x,Rtotal_99g,'b', x,Rtotal_999g,'g')
legend('\bf 50%' , '\bf 99%' , '\bf 99.9%', 4);
title (['\bf Ciudad grande - UMTS-2100 (downlink), f=2.140 GHz,
P_U_W_B=',num2str(Pd_uwb(indice_pot)),dBm/MHz - Ampliado']);
xlabel('\bf Distancia entre transmisor UWB y usuario UMTS-2100 (m)');
ylabel('\bf Radio de trabajo (Km.)');
axis([0 2 0.38 0.52]);
grid;
end
end
pause
close all
% Fin del programa

```