

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**



## **PROYECTO FIN DE CARRERA**

**Efecto del sistema UWB sobre sistemas de  
telecomunicaciones con bandas de operación mayor de  
3.1 GHz**

**Sergio Cervera Irimia**

**Abril 2009**



**Efecto del sistema UWB sobre sistemas de  
telecomunicaciones con bandas de operación mayor de  
3.1 GHz**

AUTOR: Sergio Cervera Irimia

TUTOR: Bazil Taha Ahmed

Grupo de Radiocomunicaciones y Comunicaciones Ópticas

Dpto. de Ingeniería Informática  
Escuela Politécnica Superior  
Universidad Autónoma de Madrid  
Abril 2009



## **Agradecimientos:**

No es sencillo agradecer a todas las personas que en mayor o menor medida me han ayudado a lo largo de estos años. Principalmente agradezco a mi tutor, Bazil Taha Ahmed, por toda su ayuda prestada, paciencia infinita y el apoyo profesional transmitido. El camino me ha resultado más fácil gracias a su contribución.

En un plano más familiar he de agradecer a todos los que han sabido entenderme, apoyarme y animarme en todo momento, y que hoy leyendo estas líneas, sé que se sienten orgullosos. A mis padres Ángel y María Ángeles por su confianza, comprensión, y por hacer de mí la persona que hoy soy. A mi hermano Javier por ayudarme siempre que lo he necesitado.

También quería darles las gracias a todos mis compañeros, que tras estos años de trabajo, lucha, risas y disfrute se convirtieron en grandes amigos. Gracias a Imanol, Nico, Nacho, Mario, Ana, Juanjo, Pablo, Marcos...y todos los que me ayudaron durante este tiempo. Querría tener un recuerdo especial a un gran compañero y amigo que ya no está, seguro que allá donde se encuentre se sentirá muy orgulloso. Guido, también hay mucho de ti en todo esto, te echamos de menos.

Por último, he de agradecer a todos mis amigos de la infancia por estar siempre conmigo, en las buenas y en las malas, siempre que lo necesité. Roberto, Pablo, Víctor, Jorge, Roberto A...a todos los que desde el barrio donde crecimos y vivimos me han apoyado siempre.

A todos, muchas gracias.

Sergio Cervera Irimia



## ***Palabras clave:***

- **UWB**
- **WiMAX**
- **WiFi**
- **MLS**
- **Earth Station**
- **TDWR**

## ***Resumen:***

El estudio de este proyecto partirá de la situación que vivimos actualmente en la que el espectro de frecuencias se encuentra saturado. Por esta razón, se produce una interacción entre las nuevas tecnologías surgidas con las ya existentes. A bajas frecuencias, se ha estimado que no es necesario el uso de licencias para limitar su uso, ya que el efecto que se produce es muy pequeño. En cambio, existe un rango de frecuencias donde coexisten sistemas con y sin licencia, lo cual puede producir una interferencia entre ellos. Nuestro estudio se centrará en la interacción que sufren los sistemas que utilizan el espectro con esta banda de frecuencias y con una banda mayor de 3.1 GHz. De esta forma podremos proporcionar una máscara de emisión UWB mejorada.

Limitamos el estudio a las bandas, una de 5.3 GHz en la que funciona WiFi y otras, de 3.5 GHz y 5.4 GHz, sobre las que trabaja WiMAX. En las frecuencias de 5.125 GHz, 3.75GHz y 5.625 GHz se sitúan los sistemas de Radar MLS, Earth Station y TDWR.

El análisis se lleva a cabo con los sistemas mencionados y en distintas situaciones. A su vez, se observan los cambios y rango de funcionamiento sobre diferentes escenarios, mediante la comparación de los datos recogidos entre la transmisión sin interferencia y con interferencia del sistema UWB.





### ***Key words:***

- **UWB**
- **WiMAX**
- **WiFi**
- **MLS**
- **Earth Station**
- **TDWR**

### ***Abstract:***

The study of this project will start from the present-day situation, where the frequency spectrum is completely saturated. Because of this, there is an interaction between the new emerging technologies and the already existing ones. At low frequencies, it is estimated that there is no need to use licensing to restrict its use, since the effect produced is very small. On the other hand, there is a range of frequencies where coexist systems with and without license, which can cause interference between them. Our study will focus on the interaction experienced by systems that use the spectrum on this frequency band and with a higher band of 3.1 GHz. Thus, we can provide an improved UWB emission mask.

The study will be restricted to the 5.3 GHz band, where WiFi works and the band between 3.5 GHz and 5.4 GHz where WiMAX works. At the frequencies of 5.125 GHz, 5.625 GHz and 3.75GHz works the MLS Radar Systems, Earth Station and TDWR.

The analysis will be carried out by the already mentioned systems and in different situations. Changes and operating ranges will be observed over different scenarios by comparing collected data from the transmission with and without interferences coming from the UWB.



# Índice de contenidos

<b>Portada .....</b>	<b>I</b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>V</b>
<b>Palabras clave .....</b>	<b>VII</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>VII</b>
<b>Key words.....</b>	<b>IX</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>IX</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Estructura .....	3
<b>2. Sistemas de radiofrecuencia .....</b>	<b>3</b>
2.1. Introducción .....	3
2.2. Conceptos básicos de radiofrecuencia .....	4
2.2.1. SNR .....	4
2.2.2. PIRE .....	4
2.2.3. Comunicación LOS/NLOS.....	4
2.2.4. NLOS: Shadowing-fading y Multipath-fading.....	5
2.2.5. Modelo de propagación: Indoor/Outdoor .....	5
2.2.6. Limitaciones del sistema .....	7
2.2.7. Antenas .....	9
<b>3. Sistemas UWB .....</b>	<b>11</b>
3.1. Introducción .....	11
3.2. Fundamentos de la tecnología .....	11
3.3. Ventajas .....	15
3.4. Aplicaciones.....	15
3.5. Futuro de UWB.....	16
3.6. Modelo de propagación .....	16
3.6.1. Modelo de propagación de pendiente única (One-Slope model). ..	17
3.6.2. Modelo de propagación de doble pendiente (Two-Slopes model). ..	17
3.7. Antenas UWB.....	18
<b>4. Efecto producido por UWB sobre WiMAX.....</b>	<b>21</b>
4.1. Introducción al sistema WiMAX.....	21
4.2. Fundamentos de la tecnología WiMAX.....	21
4.3. Características y ventajas de WiMAX .....	23
4.4. Aplicaciones de WiMAX.....	24
4.5. Modelo de propagación .....	25
4.6. Resultados obtenidos para una frecuencia de 3.5 GHz.....	29
4.7. Resultados obtenidos para una frecuencia de 5.4 GHz.....	42

<b>5. Efecto producido por UWB sobre WiFi.....</b>	<b>53</b>
5.1. Introducción al sistema WiFi.....	53
5.2. Fundamentos de la tecnología WiFi.....	53
5.3. Ventajas y desventajas de WiFi.....	54
5.4. Aplicaciones de WiFi.....	55
5.5. Modelo de propagación.....	57
5.6. Resultados obtenidos para una frecuencia de 5.3 GHz.....	59
<b>6. Efecto producido por UWB sobre sistemas de Radar .....</b>	<b>69</b>
6.1. Introducción a los sistemas de Radar .....	69
6.2. Modelo de propagación.....	71
6.3. MLS .....	74
6.3.1. Fundamentos de la tecnología MLS.....	74
6.3.2. Escenario MLS-UWB a estudiar .....	76
6.3.2. Resultados obtenidos para una frecuencia de 5.25 GHz .....	77
6.4. 4 GHz EARTH STATION.....	84
6.3.1. Fundamentos de la tecnología E.S.....	84
6.3.2. Escenario E.S-UWB a estudiar.....	85
6.3.2. Resultados obtenidos para una frecuencia de 3.75 GHz .....	87
6.3. TDWR.....	116
6.3.1. Fundamentos de la tecnología TDWR.....	116
6.3.2. Escenario TDWR-UWB a estudiar.....	116
6.3.2. Resultados obtenidos para una frecuencia de 5.625 GHz .....	118
<b>7. Conclusiones y líneas futuras de investigación.....</b>	<b>131</b>
7.1. Conclusiones.....	131
7.2. Líneas futuras de investigación .....	134
<b>Referencias .....</b>	<b>135</b>
<b>Glosario de acrónimos .....</b>	<b>139</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>143</b>
<b>Anexo A: Tipos de distribuciones .....</b>	<b>143</b>
<b>Anexo B: Señales UWB .....</b>	<b>146</b>
B.1. Impulsos: Transmisión de información sin portadora .....	146
B.2. MB-OFDM: Transmisión de información con portadora.....	150
<b>Anexo C: Sistemas Inalámbricos.....</b>	<b>152</b>
C.1. Fundamentos de los sistemas inalámbricos .....	152
C.2. Ventajas e inconvenientes de los sistemas inalámbricos .....	153
<b>Anexo D: Máscara de emisión UWB.....</b>	<b>154</b>
<b>Anexo E: Programación en MATLAB .....</b>	<b>155</b>
E.1. Interferencia WiMAX-UWB .....	155
E.2. Interferencia WiFi-UWB .....	164
E.3. Interferencia MLS-UWB .....	171
E.4. Interferencia E.S-UWB .....	174
E.5. Interferencia TDWR-UWB.....	188
<b>Bibliografía.....</b>	<b>195</b>
<b>Presupuesto .....</b>	<b>197</b>
<b>Pliego de condiciones.....</b>	<b>199</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 2.1:</b> Diagrama de radiación .....	10
<b>Figura 3.1:</b> Las máscaras de emisión aceptadas por la FCC y las propuestas por ETSI/CEPT en aplicaciones de comunicación de datos para casos indoor y outdoor ...	14
<b>Figura 3.2:</b> Aplicaciones electrónicas para UWB en casa .....	16
<b>Figura 4.1:</b> Principales aplicaciones de los sistema WiMAX .....	24
<b>Figura 4.2:</b> Escenario a estudiar de la célula de cobertura WIMAX con su BS, un SS y el sistema UWB interferente.....	26
<b>Figura 4.3:</b> Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 1.25 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.....	29
<b>Figura 4.4:</b> Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 2.5 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.....	30
<b>Figura 4.5:</b> Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 5 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm .....	30
<b>Figura 4.6:</b> Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 10 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.....	31
<b>Figura 4.7:</b> Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.....	31
<b>Figura 4.8:</b> Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 1.25 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm .....	34
<b>Figura 4.9:</b> Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 2.5 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm .....	35
<b>Figura 4.10:</b> Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 5 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm .....	35
<b>Figura 4.11:</b> Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 10 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm .....	36
<b>Figura 4.12:</b> Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm .....	36
<b>Figura 4.13:</b> Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 1.25 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.....	37
<b>Figura 4.14:</b> Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 2.5 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.....	38
<b>Figura 4.15:</b> Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 5 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm .....	38

<b>Figura 4.16:</b> Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 10 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.....	39
<b>Figura 4.17:</b> Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.....	39
<b>Figura 4.18:</b> Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 1.25 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.....	42
<b>Figura 4.19:</b> Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 2.5 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.....	43
<b>Figura 4.20:</b> Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 5 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm .....	43
<b>Figura 4.21:</b> Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 10 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.....	44
<b>Figura 4.22:</b> Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.....	44
<b>Figura 4.23:</b> Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 1.25 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm .....	45
<b>Figura 4.24:</b> Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 2.5 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm .....	46
<b>Figura 4.25:</b> Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 5 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm .....	46
<b>Figura 4.26:</b> Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 10 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm. ....	47
<b>Figura 4.27:</b> Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm. ....	47
<b>Figura 4.28:</b> Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 1.25 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.....	48
<b>Figura 4.29:</b> Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 2.5 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.....	49
<b>Figura 4.30:</b> Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 5 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm .....	49
<b>Figura 4.31:</b> Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 10 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.....	50

<b>Figura 4.32:</b> Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.....	50
<b>Figura 5.1:</b> Ámbitos de aplicación de la tecnología WiFi.....	55
<b>Figura 5.2:</b> Escenario a estudiar de la célula de cobertura con un transmisor y receptor WiFi y un transmisor interferente UWB .....	57
<b>Figura 5.3:</b> Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 10 dBm.....	59
<b>Figura 5.4:</b> Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 15 dBm.....	60
<b>Figura 5.5:</b> Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 20 dBm.....	60
<b>Figura 5.6:</b> Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 10 dBm.....	62
<b>Figura 5.7:</b> Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 15 dBm.....	63
<b>Figura 5.8:</b> Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 20 dBm.....	63
<b>Figura 5.9:</b> Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 10 dBm.....	64
<b>Figura 5.10:</b> Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 15 dBm.....	65
<b>Figura 5.11:</b> Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 20 dBm.....	65
<b>Figura 6.1:</b> Tiempo de duración de un pulso, período de escucha y tiempo de repetición de pulso.....	71
<b>Figura 6.2:</b> Sistema de RADAR MLS con una antena de UWB outdoor como elemento interferente.....	76
<b>Figura 6.3:</b> Ganancia del radar MLS dependiente del ángulo de elevación.....	77
<b>Figura 6.4:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre MLS-UWB (2m. a 200m.), para un rango normalizado del 95% y diferentes alturas para la antena UWB .....	78
<b>Figura 6.5:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre MLS-UWB (2m. a 200m.), para un rango normalizado del 97.5% y diferentes alturas para la antena UWB .....	78
<b>Figura 6.6:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre MLS-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 10 m y diferentes densidades de potencia.....	80
<b>Figura 6.7:</b> Área de cobertura normalizada de MLS para una separación entre los sistemas de 20 m y una altura de la antena UWB de 10 m.....	80
<b>Figura 6.8:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre MLS-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 20 m y diferentes densidades de potencia.....	81

<b>Figura 6.9:</b> Área de cobertura normalizada de MLS para una separación entre los sistemas de 20 m y una altura de la antena UWB de 20 m.....	81
<b>Figura 6.10:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre MLS-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 30 m y diferentes densidades de potencia.....	82
<b>Figura 6.11:</b> Área de cobertura normalizada de MLS para una separación entre los sistemas de 20 m y una altura de la antena UWB de 30 m.....	82
<b>Figura 6.12:</b> Earth Station con varias antenas.....	84
<b>Figura 6.13:</b> Sistema de RADAR Earth Station con una antena de UWB outdoor como elemento interferente.....	86
<b>Figura 6.14:</b> Ganancia del radar Earth Station dependiente del ángulo de elevación...	87
<b>Figura 6.15:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (10m. a 6000m.), para un rango normalizado del 95%, inclinación de 1° y diferentes alturas para la antena UWB.....	88
<b>Figura 6.16:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (10m. a 6000m.), para un rango normalizado del 97.5%, inclinación de 1° y diferentes alturas para la antena UWB.....	88
<b>Figura 6.17:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (10m. a 3000m.), para un rango normalizado del 95%, inclinación de 3° y diferentes alturas para la antena UWB.....	89
<b>Figura 6.18:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (10m. a 3000m.), para un rango normalizado del 97.5%, inclinación de 3° y diferentes alturas para la antena UWB.....	89
<b>Figura 6.19:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (10m. a 3000m.), para un rango normalizado del 95%, inclinación de 5° y diferentes alturas para la antena UWB.....	90
<b>Figura 6.20:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (10m. a 3000m.), para un rango normalizado del 97.5%, inclinación de 5° y diferentes alturas para la antena UWB.....	90
<b>Figura 6.21:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (2m. a 200m.), para un rango normalizado del 95%, inclinación de 30° y diferentes alturas para la antena UWB.....	91
<b>Figura 6.22:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (2m. a 200m.), para un rango normalizado del 97.5%, inclinación de 30° y diferentes alturas para la antena UWB.....	91
<b>Figura 6.23:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (2m. a 200m.), para un rango normalizado del 95%, inclinación de 45° y diferentes alturas para la antena UWB.....	92
<b>Figura 6.24:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (2m. a 200m.), para un rango normalizado del 97.5%, inclinación de 45° y diferentes alturas para la antena UWB.....	92
<b>Figura 6.25:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (2m. a 200m.), para un rango normalizado del 95%, inclinación de 60° y diferentes alturas para la antena UWB.....	93
<b>Figura 6.26:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (2m. a 200m.), para un rango normalizado del 97.5%, inclinación de 60° y diferentes alturas para la antena UWB.....	93
<b>Figura 6.27:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 6000 m.), para una antena UWB de 3 m, inclinación de 1° y diferentes densidades de potencia.....	97



<b>Figura 6.28:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 2500 m, inclinación de 1° y una altura de la antena UWB de 3 m.....	97
<b>Figura 6.29:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 6000 m.), para una antena UWB de 15 m, inclinación de 1° y diferentes densidades de potencia.....	98
<b>Figura 6.30:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 2500 m, inclinación de 1° y una altura de la antena UWB de 15 m.....	98
<b>Figura 6.31:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 6000 m.), para una antena UWB de 30 m, inclinación de 1° y diferentes densidades de potencia.....	99
<b>Figura 6.32:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 2500 m, inclinación de 1° y una altura de la antena UWB de 30 m.....	99
<b>Figura 6.33:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 3000 m.), para una antena UWB de 3 m, inclinación de 3° y diferentes densidades de potencia.....	100
<b>Figura 6.34:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 800 m, inclinación de 3° y una altura de la antena UWB de 3 m.....	100
<b>Figura 6.35:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 3000 m.), para una antena UWB de 15 m, inclinación de 3° y diferentes densidades de potencia.....	101
<b>Figura 6.36:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 800 m, inclinación de 3° y una altura de la antena UWB de 15 m.....	101
<b>Figura 6.37:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 3000 m.), para una antena UWB de 30 m, inclinación de 3° y diferentes densidades de potencia.....	102
<b>Figura 6.38:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 800 m, inclinación de 3° y una altura de la antena UWB de 30 m.....	102
<b>Figura 6.39:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 3000 m.), para una antena UWB de 3 m, inclinación de 5° y diferentes densidades de potencia.....	103
<b>Figura 6.40:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 500 m, inclinación de 5° y una altura de la antena UWB de 3 m.....	103
<b>Figura 6.41:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 3000 m.), para una antena UWB de 15 m, inclinación de 5° y diferentes densidades de potencia.....	104
<b>Figura 6.42:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 500 m, inclinación de 5° y una altura de la antena UWB de 15 m.....	104
<b>Figura 6.43:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 3000 m.), para una antena UWB de 30 m, inclinación de 5° y diferentes densidades de potencia.....	105
<b>Figura 6.44:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 500 m, inclinación de 5° y una altura de la antena UWB de 30 m.....	105
<b>Figura 6.45:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 3 m, inclinación de 30° y diferentes densidades de potencia.....	106
<b>Figura 6.46:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de 30° y una altura de la antena UWB de 3 m.....	106
<b>Figura 6.47:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 15 m, inclinación de 30° y diferentes densidades de potencia.....	107

<b>Figura 6.48:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de 30° y una altura de la antena UWB de 15 m.....	107
<b>Figura 6.49:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 30 m, inclinación de 30° y diferentes densidades de potencia.....	108
<b>Figura 6.50:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de 30° y una altura de la antena UWB de 30 m.....	108
<b>Figura 6.51:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 3 m, inclinación de 45° y diferentes densidades de potencia.....	109
<b>Figura 6.52:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de 45° y una altura de la antena UWB de 3 m.....	109
<b>Figura 6.53:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 15 m, inclinación de 45° y diferentes densidades de potencia.....	110
<b>Figura 6.54:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de 45° y una altura de la antena UWB de 15 m.....	110
<b>Figura 6.55:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 30 m, inclinación de 45° y diferentes densidades de potencia.....	111
<b>Figura 6.56:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de 45° y una altura de la antena UWB de 30 m.....	111
<b>Figura 6.57:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 3 m, inclinación de 60° y diferentes densidades de potencia.....	112
<b>Figura 6.58:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de 60° y una altura de la antena UWB de 3 m.....	112
<b>Figura 6.59:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 15 m, inclinación de 60° y diferentes densidades de potencia.....	113
<b>Figura 6.60:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de 60° y una altura de la antena UWB de 15 m .....	113
<b>Figura 6.61:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 3 m, inclinación de 60° y diferentes densidades de potencia.....	114
<b>Figura 6.62:</b> Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de 60° y una altura de la antena UWB de 30 m.....	114
<b>Figura 6.63:</b> Sistema de RADAR TDWR con una antena de UWB outdoor como elemento interferente .....	117
<b>Figura 6.64:</b> Ganancia del radar TDWR dependiente del ángulo de elevación .....	118
<b>Figura 6.65:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000m.), para un rango normalizado del 95%, inclinación de 0.2° y diferentes alturas para la antena UWB .....	119
<b>Figura 6.66:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000m.), para un rango normalizado del 97.5%, inclinación de 0.2° y diferentes alturas para la antena UWB .....	119
<b>Figura 6.67:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000m.), para un rango normalizado del 95%, inclinación de 0.4° y diferentes alturas para la antena UWB .....	120

<b>Figura 6.68:</b> Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000m.), para un rango normalizado del 97.5%, inclinación de 0.4° y diferentes alturas para la antena UWB .....	120
<b>Figura 6.69:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000 m.), para una antena UWB de 10 m, un inclinación de 0.2° y diferentes densidades de potencia .....	123
<b>Figura 6.70:</b> Área de cobertura normalizada de TDWR para una separación entre los sistemas de 4500 m, inclinación de 0.2° y una altura de la antena UWB de 10 m.....	123
<b>Figura 6.71:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000 m.), para una antena UWB de 20 m, inclinación de 0.2° y diferentes densidades de potencia .....	124
<b>Figura 6.72:</b> Área de cobertura normalizada de TDWR para una separación entre los sistemas de 4500 m, inclinación de 0.2° y una altura de la antena UWB de 20 m.....	124
<b>Figura 6.73:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000 m.), para una antena UWB de 30 m, inclinación de 0.2° y diferentes densidades de potencia .....	125
<b>Figura 6.74:</b> Área de cobertura normalizada de TDWR para una separación entre los sistemas de 4500 m, inclinación de 0.2° y una altura de la antena UWB de 30 m.....	125
<b>Figura 6.75:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000 m.), para una antena UWB de 10 m, inclinación de 0.4° y diferentes densidades de potencia .....	126
<b>Figura 6.76:</b> Área de cobertura normalizada de TDWR para una separación entre los sistemas de 3000 m, inclinación de 0.4° y una altura de la antena UWB de 10 m.....	126
<b>Figura 6.77:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000 m.), para una antena UWB de 20 m, inclinación de 0.4° y diferentes densidades de potencia .....	127
<b>Figura 6.78:</b> Área de cobertura normalizada de TDWR para una separación entre los sistemas de 3000 m, inclinación de 0.4° y una altura de la antena UWB de 20 m.....	127
<b>Figura 6.79:</b> Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000 m.), para una antena UWB de 30 m, inclinación de 0.4° y diferentes densidades de potencia .....	128
<b>Figura 6.80:</b> Área de cobertura normalizada de TDWR para una separación entre los sistemas de 3000 m, inclinación de 0.4° y una altura de la antena UWB de 30 m.....	128
<b>Figura 7.1:</b> Máscaras de emisión para UWB en el caso indoor sin DAA .....	133
<b>Figura 7.2:</b> Máscaras de emisión para UWB en el caso indoor con DAA.....	133
<b>Figura A.1:</b> Función de densidad de probabilidad de una distribución normal .....	143
<b>Figura A.2:</b> Función de densidad de probabilidad de una distribución log-normal....	144
<b>Figura A.3:</b> Función de densidad de probabilidad de una distribución Rayleigh.....	144
<b>Figura A.4:</b> Función de densidad de probabilidad de una distribución Rice .....	145
<b>Figura B.1:</b> Pulsos gaussianos de derivadas de orden 'n' junto con la máscara normalizada propuesta por la FCC .....	146
<b>Figura B.2:</b> Modulaciones tipo PPM, PAM, OOK y Bi-Phase .....	147
<b>Figura B.3:</b> Caracterización de Time Hopping .....	147
<b>Figura B.4:</b> Espectro TH-PPM sin y con 'aleatorización de polaridad'.....	148
<b>Figura B.5:</b> Pulso gaussiano combinado mediante la 7ª y 14ª derivadas del modelo MUI (que cumple la máscara propuesta por la FCC).....	148
<b>Figura B.6:</b> Caracterización de Spread Spectrum .....	149
<b>Figura B.7:</b> Espectro DSSS sin y con 'Scramble'(que cumple la máscara propuesta por la FCC) .....	149
<b>Figura B.8:</b> Período del pulso MB-OFDM .....	150

---

<b>Figura B.9:</b> División del espectro MB-OFDM .....	150
<b>Figura B.10:</b> Grupo 1 del espectro de MB-OFDM dividido en las tres primeras bandas .....	151
<b>Figura B.11:</b> Banda 1 del espectro modulada en OFDM .....	151
<b>Figura B.12:</b> Espectro MB-OFDM práctico que cumple su máscara espectral de emisión .....	151
<b>Figura D.1:</b> Máscaras de emisión indoor hasta 6 GHz para las tecnologías de: GSM- 900, GSM-1800, UMTS-2000, UMTS-2600, IS-136, WiFi, WIMAX, DAB, DTV ...	154

## Índice de tablas

<b>Tabla 3.1:</b> Resumen de las tres técnicas disponibles para UWB.....	12
<b>Tabla 3.2:</b> Máscara de emisión propuesta por la FCC.....	13
<b>Tabla 4.1:</b> Parámetros para los diferentes tipos de terreno.....	27
<b>Tabla 4.2:</b> Relación del índice de modulación y la SNR CC con los distintos tipos de modulación .....	32
<b>Tabla 4.3:</b> Parámetros para el ancho de banda del canal .....	33
<b>Tabla 4.4:</b> Leyenda para las figuras de índice de modulación y tasa binaria para sistemas WiMAX .....	34
<b>Tabla 4.5:</b> Rango de cobertura para los distintos tipos de modulación simulados con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 3.5 GHz y PIRE de WiMAX de 50 dBm .....	40
<b>Tabla 4.6:</b> Especificaciones WiMAX para una frecuencia central de 3.5 GHz .....	41
<b>Tabla 4.7:</b> Rango de cobertura para los distintos tipos de modulación simulados con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.4 GHz y PIRE de WiMAX de 58 dBm .....	51
<b>Tabla 4.8:</b> Especificaciones WiMAX para una frecuencia central de 5.4 GHz .....	52
<b>Tabla 5.1:</b> Relación del índice de modulación, la SNR CC y la tasa de transmisión binaria con los distintos tipos de modulación.....	61
<b>Tabla 5.2:</b> Leyenda para las figuras de índice de modulación y tasa binaria para sistemas WiFi .....	62
<b>Tabla 5.3:</b> Rango de cobertura para los distintos tipos de modulación simulados con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 20 dBm .....	66
<b>Tabla 5.4:</b> Especificaciones WiFi para una frecuencia central de 5.3 GHz .....	67
<b>Tabla 6.1:</b> Clasificación de los sistemas de Radar según su frecuencia de trabajo .....	70
<b>Tabla 6.2:</b> Distancia de Coordinación en m. por la interferencia entres los sistemas MLS y UWB.....	79
<b>Tabla 6.3:</b> Especificaciones del Radar MLS y UWB.....	83
<b>Tabla 6.4:</b> Distancia de Coordinación en m. por la interferencia entres los sistemas E.S y UWB para una inclinación de 1° .....	94
<b>Tabla 6.5:</b> Distancia de Coordinación en m. por la interferencia entres los sistemas E.S y UWB para una inclinación de 5° .....	95
<b>Tabla 6.6:</b> Distancia de Coordinación en m. por la interferencia entres los sistemas E.S y UWB para una inclinación de 30° .....	95
<b>Tabla 6.7:</b> Distancia de Coordinación en m. por la interferencia entres los sistemas E.S y UWB para una inclinación de 60° .....	95
<b>Tabla 6.8:</b> Especificaciones del Radar E.S y UWB .....	115
<b>Tabla 6.9:</b> Distancia de Coordinación en m. por la interferencia entres los sistemas TDWR y UWB para una inclinación de 0.2° .....	121
<b>Tabla 6.10:</b> Distancia de Coordinación en m. por la interferencia entres los sistemas TDWR y UWB para una inclinación de 0.4°.....	122
<b>Tabla 6.11:</b> Especificaciones del Radar TDWR y UWB .....	129
<b>Tabla 7.1:</b> 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 .....	132



# 1. Introducción

## 1.1. Motivación

La aparición de nuevas tecnologías y su correspondiente mejora surge debido a los cambios y necesidades que tiene la sociedad para poder transmitir determinada información. A lo largo de la historia se ha cambiado muchas veces el tipo de tecnología y protocolos de transmisión usados. Los motivos de estas innovaciones son diversos. Unas veces se ha dado por el deseo de transmitir una mayor información en el menor tiempo posible y otras por el deseo de crear una mejor adaptación al entorno existente. Así surgió la tecnología Ultra Wide Band (UWB). En ella se pretende conseguir un transmisor y receptor inalámbrico lo más discreto posible, con un consumo de potencia mínimo, con una tasa de transmisión máxima y un coste mínimos

La tecnología inalámbrica UWB ha sido diseñada para redes de área personal de corto alcance para facilitar el funcionamiento de algunos periféricos sin cable como escáneres, teclados, ratones... Además se puede conseguir compartir datos, audio y voz entre diferentes instrumentos electrónicos de la casa. Así podemos ver, por ejemplo, una película en una televisión enviada desde el ordenador de forma inalámbrica. Otra importante aplicación de esta tecnología es la obtención de una imagen tridimensional en el espacio de un objeto o persona situado hasta 20 metros detrás de una pared. Este es un sistema de Radar que utiliza UWB y que se aplicará a situación de rescate, incendios o desastres naturales.

Utilizando la banda de frecuencias asignada se consigue transmitir una gran cantidad de información. Las mejoras que trae implícitas el nuevo sistema harán que tecnologías utilizadas actualmente desaparezcan y den paso a UWB, como es el caso del Bluetooth, uno de los sistemas expuestos a su desaparición o, en su caso, a adoptar el estándar UWB para mejorar su producto. Además, los puertos Fire Wire y USB también corren peligro de desaparición por la comodidad que supondrán las conexiones inalámbricas [1].

## 1.2. Objetivos

El principal objetivo es el estudio del efecto interferente del sistema UWB sobre ciertos sistemas que operan en una banda de frecuencia superior a 3.1 GHz. Habrá que comparar el rango de cobertura que abarca con y sin interferencia y la relación señal a ruido e interferencia que se obtiene en el receptor.

Se proporcionarán los resultados correspondientes a la SNR sin ningún elemento interferente y con el sistema UWB interfiriendo a diferentes densidades de potencia. Para estos casos, estudiaremos los valores de densidad de potencia recomendados por la FCC, valores válidos para un correcto funcionamiento de la tecnología a estudiar y algunos intermedios meramente corporativos. Además se comprobará que los límites de radiación propuestos por la FCC son suficientes para no producir un efecto drástico en las tecnologías propuestas. Este completo estudio no hará proponer una máscara de emisión mejorada para conseguir un rango de cobertura adecuado respecto del original. Para conseguir una calidad suficiente en la señal recibida, admitiremos como valores aceptables una disminución del rango de cobertura en un 5% y 2.5%.

El estudio que se realizará de cada tecnología dependerá del rango que pueda abarcar y su localización. Dependiendo de ese punto de vista podemos distinguir dos casos: el caso indoor, cuyo alcance está limitado a espacios interiores, donde transmisor y receptor se encuentran en el mismo edificio y distan en general un máximo de varios metros. En el caso outdoor se pueden alcanzar mayores rangos de cobertura (Orden de Kilómetros) debido a su localización en espacios exteriores.

Para nuestro análisis, además, habrá que tener en cuenta la transmisión del sistema UWB a un nivel muy bajo de potencia para varios rangos de distancia, diferentes anchos de banda de canal, alturas de las antenas, pérdidas del sistema... Para cada sistema estudiaremos los máximos escenarios posibles para dar una buena solución al problema de interferencia.

### **1.3. Estructura**

El proyecto está estructurado en seis capítulos. El primer capítulo abarca el estado del arte que introduce las motivaciones para el desarrollo del trabajo y el objetivo que se pretende con su realización. El segundo capítulo trata de la introducción de los parámetros y datos que se van a manejar durante el resto del proyecto. De esta forma se intentará facilitar la comprensión de los temas que se evaluarán en las distintas tecnologías propuestas. El siguiente es una introducción al sistema Ultra Wide Band. Este tema servirá para entender el funcionamiento de esta tecnología y sus funcionalidades prácticas para las que se ha desarrollado. También se introducen los modelos de propagación UWB y una descripción sobre las posibles antenas a utilizar.

A partir de aquí, se comenzará el estudio de los efectos producido por UWB en los distintos sistemas propuestos. Los dos primeros serán las tecnologías WiFi y WiMAX. Se hará una breve introducción de cada tecnología. Se tratarán en detalle las pérdidas de propagación y los resultados obtenidos acompañados de la explicación correspondiente con tablas y gráficas y una conclusión final.

Después se tratarán los sistemas de Radar de forma diferente, ya que para este caso intentaremos partir del hecho de una buena calidad de transmisión. Tendrá el mismo formato que para los casos anteriores, y será analizado de igual manera. En el último capítulo se propondrán unas conclusiones generales del trabajo realizado, que permitirá ofrecer una nueva máscara de emisión mejorada para el sistema UWB. De esta forma obtendremos la máxima densidad espectral de potencia con la que podría trabajar UWB, en presencia de las tecnologías desarrolladas a lo largo de este trabajo y para las bandas propuestas.

Finalmente, se presentan los apartados de referencias que avalan la información expuesta recogida en otras fuentes, el glosario de términos utilizados a lo largo de todo el proyecto y los anexos, donde se pueden encontrar los programas de simulación en MATLAB para la generación de la mayoría de las gráficas integradas y datos representados en tablas. Al final se propondrá una bibliografía que fundamenta los conocimientos de los temas aquí tratados.



## 2. Sistemas de radiofrecuencia

### 2.1. Introducción

La FCC modificó a mediados de los 80 la regulación del espectro que gobernaba los sistemas sin licencia. Esta modificación autorizaba la modulación en espectro ensanchado (tipo de modulación sólo permitida hasta entonces en el plano militar) a los productos utilizados en redes inalámbricas que operan en los planos industrial, científico y médico o bandas ISM. Estas frecuencias ISM están a lo largo de tres bandas de frecuencia, localizadas en los 900MHz (902-928MHz), en 2.4GHz (2.4-2.4835GHz) definido por el estándar IEEE 802.11b y los 5GHz (5.15-5.35GHz y 5.725-5.825GHz) definido por el estándar IEEE 802.11a. La banda de 5 GHz es también conocida por la banda UNII y tiene tres subbandas: UNII1 (5.150-5.250 GHz), UNII2 (5.250-5.350 GHz) y UNII3 (5.725-5.825 GHz).

Generalmente estas frecuencias permiten a usuarios de productos inalámbricos operar sobre ellas sin necesidad, aunque puede variar dependiendo del país. Sin embargo, los productos por sí mismos deben cumplir unos requisitos que se deben certificar antes de salir a la venta, como en EEUU que deben operar con una potencia de transmisión por debajo de 1watio o una ganancia máxima o PIRE que no se salga de ciertos rangos.

El espectro puede utilizarse con licencia o sin licencia. La mayor ventaja de desplegar un sistema sin licencia es que no hay que recurrir a la FCC (u órgano regulatorio equivalente) para conseguir la licencia. Sin embargo, esto puede provocar interferencias entre los sistemas y un empeoramiento del rendimiento de otros sistemas con licencia [2].

UWB difiere sustancialmente de las frecuencias estrechas de banda de radio (RF) y tecnologías “spread spectrum” (SS), como el Bluetooth y el 802.11. UWB usa un gran ancho de banda del espectro de RF para transmitir información. Por lo tanto, UWB es capaz de transmitir más información en menos tiempo que las tecnologías anteriormente citadas.

Mientras que Bluetooth, WiFi, teléfonos inalámbricos y demás dispositivos de radiofrecuencia están limitadas a frecuencias sin licencia en los 900 MHz, 2.4 GHz y 5.1 GHz, UWB hace uso de un espectro de frecuencia recientemente legalizado. UWB puede usar frecuencias que van desde 3.1 GHz hasta 10.6 GHz: una banda de más de 7 GHz de anchura. Cada canal de radio tiene una anchura de más de 500 MHz, dependiendo de su frecuencia central.

El hecho de estar compartiendo bandas de frecuencia con otros dispositivos ha provocado que, aunque esto les permite tener una alta productividad, han de estar relativamente cerca [3].

## 2.2. Conceptos de radiofrecuencia

### 2.2.1. SNR

La SNR o relación señal/ruido (también se puede escribir S/N) se define como el margen que hay entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe. Este parámetro determina la calidad con la que la señal transmitida llega al receptor. Para algunos casos se ha de tener en cuenta tanto el ruido como la interferencia que se produce. En el caso que vamos a tratar, se tendrán en cuenta tanto el ruido como el efecto interferente producido por la tecnología Ultra Wide Band sobre otras tecnologías. Este margen es medido en decibelios [4].

### 2.2.2. PIRE

El PIRE o Potencia de Radiación Isotrópica es la potencia máxima de emisión radiada en relación con una antena ideal que emite igualmente en todas las direcciones. Este parámetro engloba la potencia transmitida, la ganancia de la antena y las pérdidas de cables y conectores. Habitualmente se admite un límite legal, aunque cada país puede modificar esas regulaciones [8]. El PIRE se suele calcular conociendo la potencia del emisor y la ganancia de la antena y se expresa en dBm de la forma:

$$PIRE = 10 \log_{10}(P_t G) \quad (2.1)$$

### 2.2.3. Comunicación LOS/NLOS

La comunicación por radiofrecuencia es la propagación de una señal entre transmisor y receptor para un rango de frecuencias posible entre 30KHz y 300 GHz en un medio que experimenta variaciones aleatorias en sus características físicas, lo que modifica la intensidad de campo de la señal provocando posibles fluctuaciones a lo largo de puntos equidistantes del transmisor y en el tiempo [5]. Estas variaciones se definen por medio de diferentes distribuciones estadísticas dependiendo del tipo de canal a través del que se propaga (con o sin obstáculos):

- Line-of-sight (LOS) se manifiesta cuando existe visión directa entre emisor y receptor, por lo que 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. Para este caso las variaciones son modeladas con una distribución de Rician o con una distribución logarítmica normal.
- Non-line-of-sight (NLOS) se produce cuando un obstáculo se interponen entre emisor y receptor. En este caso puede haber obstáculos físicos como paredes, muebles, ventanas...Aquí las variaciones se modelan con una distribución de Rayleigh. Una tercera distribución más exacta que las anteriores es la de Nakagami [Para mayor información dirigirse al Anexo A].

#### 2.2.4. NLOS: Shadow-fading y Multipath-fading

Para el caso que se da un escenario NLOS, en el que hay obstáculos entre transmisor y receptor, la señal sufre variaciones que provocan múltiples caminos de destino, difracción, reflexión, refracción y dispersión. Debido a todos estos efectos, a la longitud del camino recorrido y el modo de propagación, las señales llegaran retardadas y atenuadas dependiendo del camino que tomen. Esto se conoce con el nombre de multitrayecto. Estos retrasos se deben a que la distancia recorrida por la onda reflejada es mayor que la recorrida por la onda transmitida. Este efecto afecta al promedio de la señal recibida, que fluctúa a medida que el receptor se aleja o se acerca a él. Esta fluctuación es causada por el efecto shadowing, es decir, por un obstáculo delante del sistema receptor que provoca una reducción en la potencia recibida y recibe el nombre de shadow-fading.

Por otro lado, el desfase provocado por las distintas rutas de las señales multitrayecto causa que la amplitud de la señal cambie constantemente; esta fluctuación recibe el nombre de multipath-fading. Este fenómeno, también llamado distorsión multicamino, se supera mediante un sistema de diversidad de antenas, que utiliza dos antenas idénticas situadas en zonas muy cercanas proveyendo de cobertura a la misma célula o área.

Otro efecto, además del shadowing y el multipath fading, es el doppler spread que se presenta con la existencia de obstáculos móviles. Supondremos para este proyecto que todo el sistema, transmisor y receptor, está fijos aunque esté constituido por portátiles o móviles [5].

#### 2.2.5. Modelo de propagación: Indoor/Outdoor

Los modelos de propagación proporcionan un estudio de las pérdidas en decibelios de la potencia en un ambiente singular, dependiendo del lugar en el que nos encontremos. Se utilizan frecuentemente, una vez ya desplegado el sistema, para estudiar cómo puede o no afectarle un sistema interferente. En este caso, estudiaremos si la nueva tecnología UWB interfiere con las distintas tecnologías que hemos propuesto. Los modelos se basan a menudo en modelos probabilísticos. Estos modelos pueden entonces calcular la probabilidad de que la señal llegue o no a su destino, y con qué calidad. También se pueden basar en leyes gubernamentales sobre ondas electromagnéticas que determinan la potencia de una señal recibida en una zona determinada. Por último, existen otros modelos que se apoyan en mediciones realizadas en el lugar de interés. Por ello, se toman miles de mediciones que se promedian al tiempo que se establece un modelo para dichos medios.

En nuestro caso vamos a utilizar los modelos empíricos a lo largo de nuestro proyecto. Podemos dividirlos a su vez en otras dos categorías: una, de tiempo dispersivo, como el modelo desarrollado en la universidad de Stanford (Stanford University Interim) o SUI bajo el grupo de trabajo IEEE 802.16 (the Institute of Electrical and Electronic Engineers), y otra, de tiempo no dispersivo, como ITU-R o HATA.

Para estos modelos hay que diferenciar entre los casos indoor y outdoor. Como su propio nombre indica, indoor implica que la antena emisora está colocada dentro del edificio y todo el proceso de transmisión de la señal ocurre dentro del mismo. Outdoor, en cambio, supone que la transmisión entre la antena emisora y receptora se produce en un espacio exterior.

Para el caso de los modelos de 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 [6]. Esto es debido a la influencia que tienen los muros y las 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. En cambio, para el caso outdoor tendremos en cuenta la influencia de la propagación en campo abierto, la interferencia electromagnética de otros dispositivos y las condiciones atmosféricas.

En nuestro estudio no vamos a centrar en el cálculo de las pérdidas de trayecto que se producen [7]. Se suele expresar por la siguiente fórmula:

$$L_p(d)[dBm] = L_p(d_0) + 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) - X\sigma \quad (2.2)$$

Donde:

- $n$  es el índice de propagación y depende del escenario a estudiar.
- $\sigma$  es la desviación típica y también depende del escenario.
- $X$  es la probabilidad de que se transmita correctamente.
- $d$  es la distancia.

Para el caso indoor,  $\sigma$  varía generalmente entre 1.6-3.3. Nosotros hemos decidido utilizar siempre 2 para visión directa o espacio libre y 3.3 en el resto de casos indoor, donde existen más pérdidas a la hora de que el receptor reciba la señal transmitida. Para el caso outdoor, a desviación típica del fading en ciudad, para una situación abierta, o transmisión directa, es de 3.1 y para una ciudad altamente poblada con altos edificios esta constante toma un valor entre (4-5).

Dependiendo del rango de cobertura y las cualidades de la tecnología bajo estudio, es posible que la antena transmisora no se encuentre en la misma zona que la receptora, es por ello que añadimos unas pérdidas medias de pared de 10 dB. Para el caso más desfavorable, tendremos en cuenta el fading y las pérdidas de pared, es decir, la atenuación producida en la señal al atravesar cualquier pared entre habitaciones. Ambos parámetros se la añadirán a las pérdidas de propagación en el peor de los escenarios, restándole calidad a la señal recibida.

## 2.2.6. Limitaciones del sistema

Un sistema siempre queda limitado por aquellas señales que disminuyen notablemente la calidad de la señal recibida, o bien que determinan la distancia máxima de la señal transmitida. Concretamente nos referimos al ruido y a la interferencia producida por una señal no deseada que se acopla a la deseada.

El ruido es inevitable en los sistemas electrónicos y puede provocar falsas respuestas en estos sistemas, la degradación en el comportamiento de los mismos o simplemente hacerlos ineficaces para desarrollar la actividad para la que fueron creados. Los ruidos son de naturaleza no determinística, es decir, no se puede predecir exactamente su forma de onda. Muchas veces el ruido se caracteriza en el dominio de la frecuencia debido a su correspondiente densidad espectral de potencia, de tensión o de corriente. La evolución de esta densidad espectral en función de la frecuencia da nombre a los tipos de ruidos: ruido blanco, que tiene un nivel constante en la banda de frecuencias considerada, rosa, si su nivel decrece con la frecuencia, o azul si crece. También existe un ruido marrón, que se da en la naturaleza. Estos tipos de ruido pueden variar de un rango de frecuencias a otro. Por lo demás, los equipos electrónicos presentan diferentes tipos de ruido, como el térmico, de disparo (efecto Schottky), el de parpadeo, transición...

Por ejemplo, el ruido térmico implica que la temperatura de un cuerpo conductor está por encima de un cero absoluto, con los portadores de carga de su interior en movimiento aleatorio y con velocidad creciente con la temperatura, generándose una potencia de ruido cuya densidad espectral crece con la temperatura [5]. Para una temperatura dada, resulta ser un ruido blanco en un ancho de banda muy grande y a mayor ancho de banda considerado, mayor es la potencia de ruido térmico a considerar.

El ruido viene definido por la expresión:

$$P_n = \alpha \cdot k \cdot T \cdot Bw \quad (2.3)$$

Que para nuestro caso, admitiendo plena adaptación de la resistencia de carga y la del circuito generador de ruido, tomamos  $\alpha=1$ , resultado aproximado para las frecuencias que tratamos en este proyecto y para una temperatura ambiente.

Por otro lado, la magnitud del ruido generado por un dispositivo electrónico se puede expresar mediante el factor de ruido,  $F$ , que es el cociente de la señal a ruido encontrada en la entrada por la relación señal a ruido en la salida. Cuando se expresa en dB toma el nombre de figura de ruido (2.5), parámetro importante, ya que la reducción del ruido generado por los equipos depende del cuidado de su diseño.

La potencia media de ruido (2.5 y 2.7), exclusivamente térmico, se calcula con: una temperatura  $T_0$  que recibe el nombre de 'normalizada' o 'estándar' y tiene un valor de 290°K, la constante de Boltzmann (relación entre temperatura absoluta y energía con valor  $k = 1.3806503 \cdot 10^{-23}$  J/K) y el ancho de banda considerado, en Hz.

$$p_n = k \cdot T_0 \cdot Bw \quad (2.4)$$

$$NF(dB) = 10 \cdot \log_{10}(F) \quad (2.5)$$

En dB, la fórmula consecuente es:

$$Pn = -114 + Bw + NF \quad (2.6)$$

Para un dispositivo real:

$$pn = k \cdot T_{equiv} \cdot Bw \quad (2.7)$$

Con  $T_{equiv}$  una temperatura equivalente de ruido, que es la temperatura a la que un cuerpo negro produce una potencia de ruido igual a la de nuestro dispositivo, en el ancho de banda de interés. Por ello, se añade un margen práctico de implementación, que denominamos M, en dB.

Además, los sistemas pueden estar limitados por interferencia, que es el proceso que altera, modifica o incluso puede destruir una señal durante su trayecto en el canal entre emisor y receptor. La interferencia aparece cuando dos o más ondas coinciden en el espacio y en el tiempo. Pueden ser constructivas o destructivas, dependiendo del efecto que tengan sobre la información transmitida. Así, vamos a estudiar si la tecnología UWB interfiere destructivamente o no con otros sistemas. Para ello, calcularemos la potencia que recibe el receptor de la tecnología en estudio desde nuestro transmisor UWB cercano al mismo, generalmente tomaremos una distancia de uno o dos metros entre ambos.

Como lo que nos interesa es comprobar que la máscara de emisión impuesta para esta tecnología no es idónea, partiremos de las densidades espectrales de potencia recomendadas, a las que añadiendo el ancho de banda de un canal en decibelios nos da como resultado la potencia de transmisión de UWB y que nos servirá para hallar la señal recibida en el receptor víctima (2.8). La señal recibida será la potencia transmitida, más la ganancia de la antena UWB junto con las pérdidas de cable y conectores que en este caso consideramos despreciables, la ganancia de la antena receptora y las pérdidas de propagación entre los dos dispositivos.

$$S = P_{tx\_uwb} + G_{tx\_uwb} + G_{rx\_victima} - L_{p\_uwb} \quad (2.8)$$

Para hallar el SNR, señal recibida limpia de ruido e interferencia o potencia que finalmente recibimos, es necesario hallar el ruido y la interferencia en medidas naturales, sumarlas, pasarlo a decibelios y restárselo a la señal que idealmente recibimos. Si a este valor le restamos, directamente en decibelios, el ruido, obtenemos la sensibilidad, que es un término también muy importante ya que te da la potencia recibida mínima para obtener la información transmitida con calidad suficiente y necesaria.

### 2.2.7. Antenas

Una antena es un dispositivo diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Las funciones básicas de la antena consisten en transmitir y recibir imponiendo en cada caso las condiciones particulares sobre la direccionalidad de la antena, los niveles de potencia que se deben soportar, las frecuencias de trabajo y otros parámetros. Una antena transmisora transforma voltajes en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa. En el caso de que las antenas estén conectadas por medio de guías de onda, esta función de transformación se realiza en el propio emisor o receptor.

La banda de frecuencia de trabajo va a definir el tipo de antena e incluso sus propiedades más importantes. Las características de las antenas dependen de la relación entre sus dimensiones y la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida. Si las dimensiones de la antena son mucho más pequeñas que la longitud de onda, las antenas se denominan elementales. Las antenas resonantes tienen dimensiones del orden de media longitud de onda.

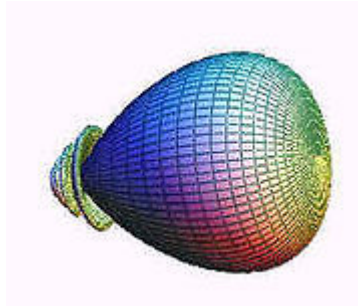
Existe una gran diversidad de tipos de antena, dependiendo del uso a que van a ser destinadas. En unos casos deben expandir en lo posible la potencia radiada, es decir, no deben ser directivas (ejemplo: una emisora de radio generalista o la central de los teléfonos móviles), otras veces deben serlo para canalizar la potencia y no interferir a otros servicios (antenas entre estaciones de radioenlaces). También es una antena la ferrita que permite oír un radio-receptor a transistores, o la que está integrada en la computadora portátil para conectarse a las redes WiFi.

Implementar un buen sistema de la antena puede mejorar tanto la calidad del mismo como el área de cobertura, así para optimizar el conjunto de transmisión-recepción es importante seleccionar correctamente la antena a utilizar y su emplazamiento. El sistema de la antena incluye numerosos componentes, entre ellos la misma antena, un montaje hardware, conectores, cableado y en algunos casos, filtros para rayos. El cable de la antena introduce pérdidas en el sistema, tanto en el transmisor como en el receptor. Del mismo modo que su longitud aumenta, también lo hacen las pérdidas introducidas. Para una eficiencia óptima, el cable debe ser mínimo. En nuestro proyecto será despreciable [3].

Las antenas se caracterizan eléctricamente por una serie de parámetros que describiremos a continuación:

- *La ganancia* es la relación entre la densidad de potencia radiada y la potencia total entregada a la antena dividida por el área de una esfera de radio  $r$ .
- *La directividad* es la relación entre la densidad de potencia radiada en la dirección de máxima radiación, a una cierta distancia  $r$  y la potencia total radiada dividida por el área de la esfera de radio  $r$ . La eficiencia de una antena es la relación entre la ganancia y la directividad.
- *El ancho de banda* es el margen de frecuencias en el cual los parámetros de la antena cumplen unas determinadas características.
- *La polarización* es la figura geométrica que traza el extremo del vector campo eléctrico a una cierta distancia de la antena, al variar el tiempo. La polarización puede ser lineal, circular y elíptica.

- *La anchura de haz* es un parámetro de radiación, ligado al diagrama de radiación. Se puede definir el ancho de haz a -3dB, que es el intervalo angular en el que la densidad de potencia radiada es igual a la mitad de la máxima.
- *La impedancia de entrada* es la relación entre la tensión y la corriente de entrada.
- *El diagrama de radiación* representa las características de radiación de una antena. Es habitual representar el módulo del campo eléctrico o la densidad de potencia radiada, aunque también se pueden encontrar diagramas de polarización o de fase. La Figura 2.1 presenta la figura del diagrama de radiación.



**Figura 2.1.** Diagrama de radiación

Las antenas no ofrecen ninguna potencia añadida a la señal, simplemente redirigen la energía que reciben del transmisor. Existen principalmente dos tipos de antenas: omnidireccionales y direccionales. Las primeras están diseñadas para ofrecer un diagrama de radiación de 360°, cubriendo todas las direcciones posibles. Las antenas directivas redirigen esta energía proveyendo, de una mayor una sola dirección, disminuyéndola en otras direcciones que no interesan. Según crece la ganancia en este tipo de antenas, el ángulo de radiación decrece, proveyendo de una mayor distancia de cobertura en esa dirección. Entre este tipo de antenas encontramos las redes de dipolos como: yagi, las de panel (planas, quad o patch), los platos parabólicos, (diagrama muy estrecho y el instalador debe ser muy exacto en su objetivo) microstrip, VHF y UHF...



## 3. Sistemas UWB

### 3.1. Introducción

UWB es una tecnología en el rango de las PAN (personal area network). Permite paquetes de información muy grandes (480 Mbits/s) conseguidos en distancias cortas, de unos pocos metros.

De acuerdo a la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), a partir del año 2002, los dispositivos UWB para comunicaciones y sistemas de medida deben funcionar con su ancho de banda a -10 dB en el interior del margen de frecuencias que se extiende desde 3,1 hasta 10,6 GHz y con una densidad espectral de potencia máxima de emisión de -41,3 dBm/MHz. Debido a la limitación de potencia impuesta por la FCC sobre las especificaciones de UWB, el alcance de estos sistemas es bastante reducido. No obstante, esto se convierte en una ventaja cuando se desea combinar varios radioenlaces en un espacio relativamente pequeño. Los estándares basados en tecnología UWB son IEEE 802.15.3a de alta tasa binaria, y el 802.15.4a de baja tasa binaria.

### 3.2. Fundamentos de la tecnología

La FCC define el sistema UWB como cualquier sistema de comunicaciones inalámbricas que ocupa una parte fraccional del ancho de banda superior al 20% respecto a la frecuencia central,  $Bw/f_c \geq 20\%$  o que ocupe más de 500 MHz de ancho de banda absoluto [3].

El funcionamiento de UWB se basa en la transmisión de secuencias de pulsos extremadamente estrechos y de baja potencia, los cuales se sitúan de forma precisa en el tiempo (desviaciones inferiores al nanosegundo). Como resultado se obtiene un espectro de banda ancha que debe cumplir la máscara de emisión, es decir, bajos niveles de potencia; por eso mismo, los pulsos tienen poca energía.

Adicionalmente, dado que las señales UWB son de baja potencia, causan muy poca interferencia al resto de señales. Esta limitación en potencia deja a UWB para aplicaciones indoor de corto alcance pero con grandes tasas binarias, o bien para alcances mayores pero menor capacidad [9]. Esta variedad en las posibilidades se debe a su estructura en la capa física. Así, esa baja potencia de transmisión requiere una secuencia de varios pulsos de baja potencia para transmitir un bit de información, y que reciben el nombre de tren de pulsos. A mayor número de pulsos transmitidos por bit, menor tasa binaria, pero mayor alcance conseguido. Se utilizan varios tipos de esquemas de modulación en banda base con señales ortogonales y antipodales como PPM, PAM (pulse amplitude modulation), OOK (On-Off Keying) o Bi-Phase modulation o incluso BPSK (Bi-Phase) o QPSK (Quaternary-Phase) que transmiten varios bits por símbolo. Y se utilizan distintas técnicas (Cuadro resumen en Tabla 3.1) como Time-Hopping (TH), Direct-Sequence (DS) ambas con micro pulsos, como los explicados anteriormente, y carrier based o multiportadoras como por ejemplo OFDM. [Para mayor información dirigirse al ANEXO B].

**Tabla 3.1:** Resumen de las tres técnicas disponibles para UWB [12].

<i>UWB Technique</i>	<i>OFDM</i>	<i>TDMS/FDMA Pulses</i>	<i>DSSS/CDMA</i>
Bands	3 to 13	3 to 13	2
Bandwidths	528 MHz	550 MHz	1.368 GHz, 2.736 GHz
Frequency ranges	3.168 GHz – 4.752 GHz 4.752 – 10.296	3.325 GHz – 4.975 GHz, 4.975 GHz – 10.475 GHz	3.1 GHz – 5.15 GHz 5.825 GHz – 10.6 GHz
Modulation Scheme	OFDM, QPSK	M-ary Bi-Orthogonal Keying (M-BOK), QPSK	BPSK, QPSK, M-BOK
Error correction	Convolutional code	Convolutional code, Reed-Solomon code	Convolutional code, Reed-Solomon code
Code rates	11/32 rate at 110 Mbps, 5/8 rate at 200 Mbps, 3/4 rate at 480 Mbps	6/32 rate at 110 Mbps, 5/16 rate at 200 Mbps, 3/4 rate at 480 Mbps	1/2 rate at 110 Mbps, RS(255,223) at 200 Mbps, RS(255,223) t 480 Mbps
Link margin	5.3/6 dB at 10 m / 110 Mbps, 10.7 dB at 4 m / 200 Mbps, 6.2 dB at 4 m / 480 Mbps	6.3 dB at 10 m / 108 Mbps, 8.0 dB at 4 m / 288 Mbps, 4.0 dB at 4 m / 577 Mbps	6.1 dB at 10 m / 110 Mbps, 11.1 dB at 4 m / 200 Mbps, 6.1 dB at 4 m / 600 Mbps
Symbol period	312.5 ns OFDM symbol	3 ns	23 or 17.5 ns (Low band), 11.7 or 8.9 ns (High band)
Multipath mitigation method	1-tap (robust to 60.6 ns delay spread)	frequency interleaving of MBOK chips; time frequency codes; feed forward filter	Decision feedback equalizer

En comparación con otro tipo de tecnologías inalámbricas, como por ejemplo WPAN/WLAN, UWB proporciona una mayor velocidad de transmisión con una gran eficiencia en potencia, lo que permite el desarrollo de dispositivos portátiles de gran autonomía. En cambio, su alcance es similar a Bluetooth, debido principalmente a las limitaciones de potencia impuestas. Eliminando estas restricciones, el alcance de UWB se estima que podría ser similar o incluso superior al proporcionado por las tecnologías 802.11.

El sistema deberá cumplir las siguientes condiciones [9]:

- Este dispositivo no debe causar interferencias dañinas, es decir, que obstruya, degrade o interrumpa repetidamente un servicio de comunicaciones vía radio.
- Este dispositivo debe aceptar cualquier interferencia recibida incluyendo aquellas que causen una operación indeseada. Lo que implica que aquellos aparatos que funcionen sin licencia deberán poder coexistir en un ambiente inestable e incontrolado.

UWB debe cumplir más requisitos, ya que no sólo trabaja en un rango de frecuencias sin licencia, sino que también lo hace sobre aquellas frecuencias que requieren una.

- Este dispositivo debe emitir a baja potencia con el objetivo de optimizar el uso del espectro y no interferir sobre los canales adyacentes. Esta baja potencia está regulada mediante una máscara de emisión propuesta por la FCC (Tabla 3.1) en USA y por la CEPT en Europa.

Hay distintas máscaras de emisión UWB dependiendo de la aplicación para la que se halla diseñado el sistema [11]. Durante este proyecto nos centraremos únicamente en la de sistemas de comunicaciones.

El espectro de UWB [14] consiste en:

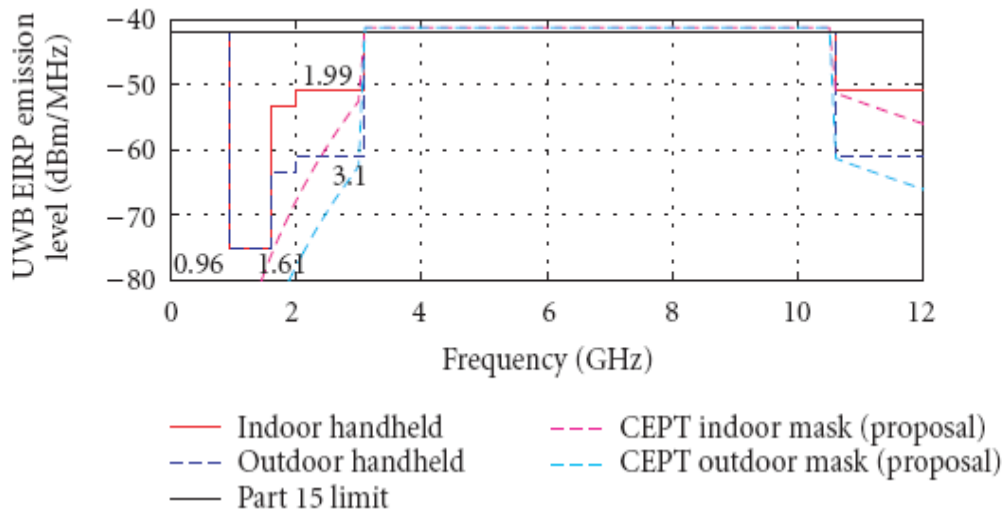
- Espectro principal, que va de 3.1-10.6 GHz, sobre el que realizaremos nuestros estudios.
- Un espectro residual inferior de 0-3.1 GHz
- Espectro residual superior, que idealmente ocupa de 10.6 GHz a infinito.

Idealmente, en los espectros residuales la densidad de potencia de UWB no debería existir y trabajaremos para que sea el mínimo posible y no cause interferencia sobre otros sistemas de comunicación. A continuación, se presenta la máscara propuesta por la FCC en la Tabla 3.2 [11].

**Tabla 3.2:** Máscara de emisión propuesta por la FCC.

Frecuencia (MHz)	Indoor	Outdoor
	PIRE (dBm/MHz)	PIRE (dBm/MHz)
Debajo de 960	-41.3	-41.3
960 - 1610	-75.3	-75.3
1610 - 1990	-53.3	-63.3
1990 - 3100	-51.3	-61.3
3100 - 10600	-41.3	-41.3
Por encima de 10600	-51.3	-61.3

En Europa los órganos que se encargan de regular la tecnología radio UWB (UWB-RT) son básicamente dos: La ETSI (European Telecommunications Standards Institute) y la CEPT (Conférence Européenne des administrations des Postes et des Télécommunications). Mientras, las organizaciones ITU e ISO/IEC estudian otras economías y trabajan juntas para poder asegurar un mercado global en el desarrollo de esta nueva tecnología. Generalmente ETSI/CEPT siguen las recomendaciones de la FCC, pero no necesariamente adoptan directamente sus regulaciones. Así, tras las continuas interferencias, la CEPT rediseñó la máscara disminuyendo linealmente la densidad de potencia antes de 3.1GHz y a partir de 10.6 GHz, tanto para el caso indoor como para el outdoor. A continuación, mostramos la Figura 3.1 con las máscaras de emisión aceptadas por la FCC y las propuestas por ETSI/CEPT y aprobadas en 2005 por la FCC para los sistemas de comunicación [11].



**Figura 3.1:** Las máscaras de emisión aceptadas por la FCC y las propuestas por ETSI/CEPT en aplicaciones de comunicación de datos para casos indoor y outdoor.

Por otro lado, la ITU-R se encarga de estudiar diferentes aspectos de esta nueva tecnología, en cuanto a los aparatos y su utilización en el espectro (ITU-R 226/1), la aplicación de la máscara, la compatibilidad de UWB con otros servicios de radiocomunicación (ITU-R 227/1), técnicas apropiadas de medida...[11]

La ecuación de Shannon de la capacidad máxima de canal en bps de un sistema,

$$C = Bw \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right), \quad (3.1)$$

Donde,

- Bw es el ancho de banda en Hz,
- S/N la potencia de señal y ruido en watos.

Esta ecuación nos aporta información respecto a tres variables para mejorar la capacidad de un canal. Por tanto, aumentando el ancho de banda, aumentando el SNR mediante un nivel de modulación mayor o aumentando el número de canales mediante separación espacial (ej: MIMO) mejoramos la capacidad. De esta fórmula podemos decir que los sistemas UWB tienen un gran potencial para comunicaciones inalámbricas de gran capacidad al tener un ancho de banda de 7.5 GHz. Además, al tener tanto ancho de banda, se puede perder parte de éste para reducir potencia de señal e interferencias de otras fuentes y disminuir, así, la probabilidad de error.

### 3.3. Ventajas

UWB ofrece grandes ventajas que hacen su uso muy atractivo para los consumidores [1]:

- Bajo consumo (como emisor de ondas de radio).
- Baja potencia de transmisión.

- Bajo coste de transmisores y receptores (se puede usar tecnología CMOS para implementar un dispositivo UWB radio) y alta productividad, lo que marca esta tecnología como el futuro de las WPAN.
- Alta velocidad de transmisión.
- Alta resolución temporal, resistente para señales multicamino y jamming.

Las ventajas que tiene este sistema, como su gran capacidad o su naturaleza inalámbrica, conseguirán que en poco tiempo sea utilizado popularmente provocando la desaparición o mejora de algunos de los sistemas actuales. Por ejemplo, para el caso de Bluetooth, que no tiene cabida en el mercado junto con este sistema, se considera la opción de adoptar el estándar UWB para mejorar el producto y así no desaparecer del mercado. Otro ejemplo es el de los puertos FireWire y USB que podrían ser reemplazados por conexiones inalámbricas gracias a la comodidad que alberga, a su facilidad de uso y a su velocidad similar.

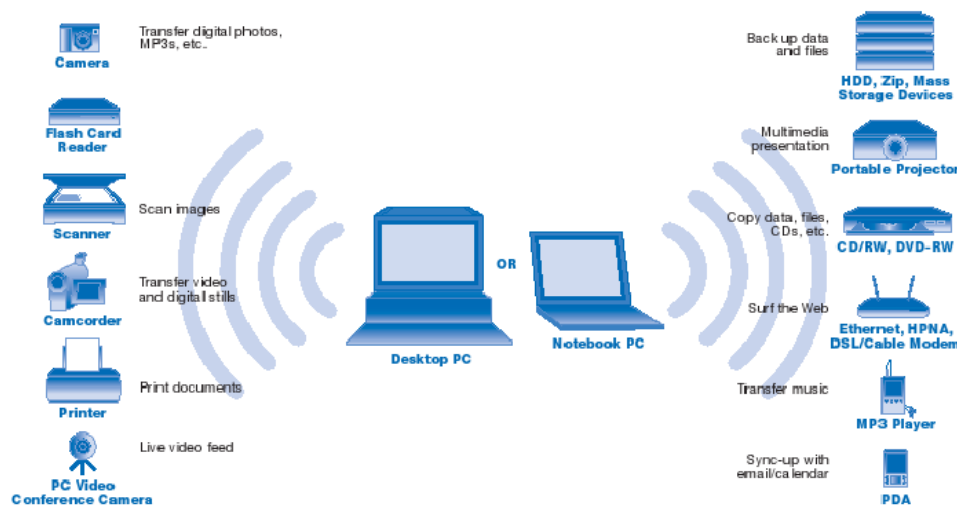
### 3.4. Aplicaciones

Para la transmisión sinusoidal, las ondas de baja frecuencia tienen la característica de poder atravesar las paredes, las puertas y las ventanas debido a que la longitud de onda es más larga que la del material que atraviesa (pues, según crece la frecuencia, la longitud de onda decrece y viceversa). Todo lo contrario pasa con ondas de alta frecuencia, que se reflejan en paredes y puertas, ya que su longitud de onda es mucho menor que la de estos materiales. Es por esta razón que hay muchas aplicaciones posibles en el campo de radares, como el rescate de víctimas enterradas, detección de minas terrestres, radares que atraviesan paredes o tierra, etc.

Aunque, principalmente, el campo de aplicaciones para el que inicialmente fue diseñado son las redes WPAN, o sea, la electrónica en el hogar (Figura 3.2) o la oficina [3]:

- Reemplazo de IEEE 1394 en dispositivos multimedia (cámaras de fotos o vídeo, reproductores MP3,...) con conectividad inalámbrica.
- Permitir conectividad WUSB (Wireless Universal Serial Bus) de gran velocidad (periféricos de ordenador, como escáners, impresoras e incluso dispositivos de almacenamiento externo).
- Reemplazo de cables en la siguiente generación de dispositivos Bluetooth, como los móviles de 3G.
- Creando conectividad inalámbrica ad-hoc de alto ratio para CE, PC y dispositivos móviles.
- La anchura de la señal (528 MHz o 2736 MHz de ancho de banda) puede usarse para aplicaciones de streaming de vídeo.

Figure 3. PC clusters interconnected through USB



**Figura 3.2:** Aplicaciones electrónicas para UWB en casa.

Otras aplicaciones posibles combinando todas sus ventajas son:

- WLAN
- Control de datos y voz.
- Sensores de colisión, proximidad y altitud, y con ello, mejoras anti-colisión.
- Monitorización de fluidos.
- Detección de movimientos.
- Sistemas de geolocalización.
- Aplicaciones médicas...

### 3.5. Futuro de UWB

Sin embargo, antes de que UWB se consolide como una solución aceptada globalmente, hay algunos puntos que todavía quedan por resolver: Rendimiento (consumo, coexistencia con otros dispositivos wireless, inmunidad a las interferencias, robustez del enlace).

- Interoperabilidad.
- Facilidad de integración y certificación.
- Coste de solución global.
- QoS (Quality of Service).

### 3.6. Modelo de Propagación

El modelo de propagación que utilizaremos para el sistema UWB dependerá del sistema con el que interfiera. Para los casos que interfiere con los sistemas inalámbricos WiMAX y WiFi utilizaremos el modelo One Slope. Y para el caso donde UWB interfiere con sistemas de radar, utilizaremos el modelo de “Two Slope”.

### 3.6.1. Modelo de propagación 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. Las pérdidas de propagación se pueden definir como el ratio de la potencia transmitida sobre la recibida medida en decibelios [7]. Es un método muy fácil de usar y de implementar y las pérdidas de propagación para una distancia  $d$  vienen dadas por:

$$L_p(d)[dBm] = L_p(d_0) + 10n \log_{10}(d/d_0) - X\sigma \quad (3.2)$$

Donde:

- $d_0$  es el punto de referencia a 1 m.
- $n$  es el exponente de propagación (en el espacio libre es 2)
- $d$  es la distancia entre transmisor y receptor en m.
- $\sigma$  es la desviación típica en dB
- $X$  es la probabilidad de que se transmita correctamente.
- $L_p(d_0)$  son las pérdidas de propagación halladas en  $d_0$  y se calculan como:

$$L_p(d_0) = 20 \log_{10}\left(\frac{4 \cdot \pi}{\lambda}\right) + 10n \log_{10}(d_0) \quad (3.3)$$

La antena emisora UWB va a estar en el interior del edificio, es una situación indoor. Si nos ponemos en el caso más desfavorable, el shadow fading ( $\xi$ ) de la tecnología UWB va a ser siempre positivo, es decir, no hay obstáculos entre emisor y receptor y la señal se transmite directamente [13]. Por lo tanto, habrá que restar el factor  $\xi = X\sigma = \eta(0, \sigma)$ , variable aleatoria Gaussiana de media cero y con una desviación estándar que representa el efecto del shadowing, (pérdidas por desviación respecto del valor medio de la amplitud de la señal transmitida).  $X$  es una constante de pérdidas que toma un valor dependiendo del porcentaje de la población que va a recibir un buen servicio; por ejemplo, para una probabilidad del 99.9% de acierto, tomamos un valor de 2.23, que es el que mayoritariamente utilizaremos. En el caso de que nuestra constante tome valor nulo, estaremos evitando el margen extra de probabilidad de fallo y, por tanto, el resultado será una probabilidad de acierto del 50% para ofrecer el servicio. Sigma, es la desviación típica del shadowing. En caso indoor varía generalmente entre [1.6-3.3]. Nosotros hemos decidido utilizar siempre 2 por visión directa o espacio libre.

### 3.6.2. Modelo de propagación de doble pendiente (Two-Slopes model)

Este es el modelo que utilizaremos al interferir el sistema UWB sobre sistemas de Radar. Las pérdidas de propagación se pueden definir como el ratio de la potencia transmitida sobre la recibida medida en decibelios [13]. Es un método en el que influirá la distancia entre los sistemas, ya que, según esa distancia sea mayor o menor que el parámetro  $R_b$ , utilizaremos una fórmula u otra.  $R_b$  se define como:

$$R_b = \frac{4 h_t h_r}{\lambda} \quad (3.4)$$

Donde:

- $h_t$  es la altura de la antena UWB.
- $h_r$  es la altura de la antena de radar.
- $\lambda$  es la longitud de onda, hallada como la velocidad de la luz entre la frecuencia central de la tecnología en estudio.

Por tanto las pérdidas de propagación para este modelo se calcularán de la siguiente forma:

$$L_b(dB) = \begin{cases} L_p(d_0) + 10n_1 \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) & d \leq R_b \\ L_{R_b} + 10n_2 \log_{10}\left(\frac{d}{R_b}\right) & d > R_b \end{cases} \quad (3.5)$$

$n_1 = 2,00 - 2,25 \quad n_2 = 4,00 - 4,80$

Donde:

- $n_1$  es el exponente de propagación hasta  $R_b$  (con visión directa al radar será 2)
- $n_2$  es el exponente de propagación a partir de  $R_b$  (Para una distancia mayor que provoca debilitamiento de la señal será 4)
- $d$  es la distancia entre transmisor y receptor en m.
- $d_0$  es el punto de referencia a 1 m.
- $L_p(d_0)$  son las pérdidas de propagación halladas en  $d_0$ .
- $L_{R_b}$  se define como:

$$L_{R_b} = L_p(d_0) + 10n \log\left(\frac{R_b}{d_0}\right) \quad (3.6)$$

### 3.7. Antenas UWB

Se han propuesto muchos tipos de antenas para aplicaciones de UWB. La impedancia característica de cada tipo difiere por el material, la forma y las características de propagación, ya que la estructura de la antena para cada diseño es diferente. La impedancia de la antena es una función generalmente compleja. Es más, la resistencia y reactancia de la antena son dependientes en la frecuencia por una función no lineal.

Aunque para este proyecto hemos supuesto la reciprocidad en la transmisión y recepción de una antena UWB en el dominio del tiempo, se sabe por estudios realizados, como por ejemplo el del Dr. Motohisa Kanda, de NBS, que 'la respuesta transitoria de una antena que está transmitiendo es proporcional al tiempo derivado de la respuesta del transitorio de esa misma antena cuando está recibiendo la señal', es decir, no son iguales; éste se traduce en un factor "j $\omega$ " en el dominio de la frecuencia. Para una sola frecuencia, este factor se convierte en un desfase de 90°; sin embargo, se ignora en el diseño de la antena proponiendo la misma ganancia. Este valor variará notoriamente al trabajar en el dominio del tiempo según actúe de antena UWB transmisora o



receptora, es decir, derivando o integrando. Para estudios de medidas se recomiendan las antenas cónicas para transmisión, ya que radian un campo electro-magnético que es igual en forma de onda al voltaje que le llega (no ocurre lo mismo si se utiliza como antena receptora, pues su salida será la integral del campo eléctrico incidente), y las de tipo TEM horn para recepción, que a la salida dirige un voltaje en forma de onda igual al campo eléctrico incidente. Otra buena antena receptora también utilizada en investigación, es la  $D \cdot \dot{\phantom{D}}$ , que aporta a la salida la primera derivada del campo eléctrico incidente. Las antenas monopolo también se han utilizado para estudios de metrología.

Hay otros modelos que cumplen las características implícitas para UWB que tienen en cuenta el gran ancho de banda de la señal a transmitir y la linealidad requerida en la transmisión, como por ejemplo, la banda de emisión. Antenas: dipolos, Horn, espiral, biconicas, guías de onda, Vivaldi...

Las antenas de alta ganancia o direccionales concentran toda su energía en un ángulo sólido más estrecho que las antenas omnidireccionales. Una antena isotrópica tiene una ganancia de 0 dBi por definición (pero es una antena ideal, físicamente no realizable). Un dipolo tiene una ganancia de unos 2.2 dBi. Una antena de alta ganancia tipo Horn y otra de tipo reflector pueden tener ganancias de 10 o 20 dBi o mayores. La eficiencia está incluida como definición de ganancia de antena; así si un dipolo con una eficiencia del 50% (-3dB) tendrá una ganancia de alrededor de -1.8 dBi. Por otro lado, por debajo de la banda de utilización, las ganancias resultantes son menores. Es por ello, que consideramos despreciable la ganancia de la antena UWB a lo largo de este proyecto.

Una aplicación punto a punto conecta dos o más usuarios estáticos que serán servidos preferentemente por una antena direccional; sin embargo, usuarios móviles generalmente requerirán de un número de microcélulas omnidireccionales. Estas células individuales pueden estar unidas mediante una infraestructura tipo LAN cableada o utilizando repetidores de señal inalámbrica.

Hay numerosas empresas que trabajan con tecnología UWB como pueden ser: Farr Research, en Albuquerque., Time Domain, XtremeSpectrum, Wisair, Motorota, Texas Instrument, Sony, Nokia, General Atomics, Intel, que fabrica diferentes dispositivos como Intel® Wireless Link 1480 UWB Media Access Controller (MAC) o un chip CMOS PCI-E UWB que promueve la utilización de esta tecnología, o Communication Research Laboratory (CRL) en Japón [15].



## 4. Efecto producido por UWB sobre WiMAX

### 4.1. Introducción al sistema WiMAX

WiMAX es el acrónimo de *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas). Se trata de una norma de transmisión por ondas de radio de última generación orientada a la última milla que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio (protocolo 802.16 MAN) que proporciona acceso concurrente con varios repetidores de señal superpuestos, ofrece total cobertura en áreas de hasta 48 km de radio y a velocidades de hasta 70 Mbps y utiliza tecnología que no requiere visión directa con las estaciones base (a diferencia de las microondas). El estándar 802.16-2004 es una solución inalámbrica para acceso a Internet de banda ancha que provee una solución de clase interoperable de transportador para la última milla. WiMAX acceso fijo funciona desde 2.5-GHz autorizado, 3.5-GHz y 5.8-GHz exento de licencia. Esta tecnología provee una alternativa inalámbrica al módem cable y las líneas digitales de suscriptor de cualquier tipo (xDSL). [Para mayor información sobre sistemas inalámbricos dirigirse al ANEXO C].

### 4.2. Fundamentos de la tecnología WiMAX

Con el desarrollo de la tecnología WiFi especialmente con el despliegue de zonas calientes o hot-spot's, las tecnologías inalámbricas de banda ancha para dar acceso a Internet cobran gran interés. Tras muchos esfuerzos, el estándar IEEE 802.16 está considerado una tecnología de nueva generación para reemplazar el Wireless Local Loop (WLL) típico en telecomunicaciones, consiguiendo un trabajo comparable al cable tradicional, T1, xDSL...

Se crea la corporación WIMAX Forum para promover la adopción de este estándar. IEEE 802.16 es definido en un principio como FBW (Fixed Broadband Wireless) y, más tarde, para reflejar los múltiples escenarios que tienen sus aplicaciones, se define como BWA. Vulgarmente toma el nombre de WIMAX. Asimismo, WIMAX está trabajando con ETSI (European Telecommunications Standards Institute) para desarrollar un estándar común, HIPERMAN.

En abril de 2002 fue publicado el estándar IEEE 802.16 para operar en la banda de 10-66 GHz, considerando, como una aplicación principal, que fuera LOS (visión directa). Sin embargo, en Enero 2003 se publicó IEEE 802.16a donde se propuso la banda de 2-11 GHz para operar en un escenario NLOS (sin visibilidad directa), es decir, cuando el área entre emisor y receptor está obstruida por algún elemento con el propósito de conseguir así mayor número de aplicaciones.

WIMAX fijo combina largos rangos de transmisión con altas tasas de capacidad. Esto ocurre con una estación base aislada; pero, para aplicaciones celulares, se necesitan potencia y eficiencia espectral para conseguir buenos resultados. Al ser una tecnología de acceso inalámbrico de banda ancha, WIMAX es capaz de proveer de ubicuidad para el acceso a Internet, dejando a los usuarios de bordes o finales estar conectados a Internet independientemente de su localización. Esto contribuye a decrementar las zonas rurales adonde el acceso a Internet mediante cable no es económicamente rentable para

los operadores de cable. En el consorcio WEIRD (WIMAX Extension to Isolated Research Data Networks), proyecto fundado por la Comisión Europea con el fin de extender la tecnología WIMAX y estudiar los posibles escenarios de utilización, se identifican varios escenarios de servicios de emergencias donde WIMAX podría alcanzar un papel muy importante; entre ellos la monitorización ambiental de volcanes con posible erupción, la telemedicina (con aplicaciones en tiempo real) o la prevención de fuegos en zonas fácilmente incendiarias con videocámaras.

La interfaz de aire WIMAX mobile adopta una tecnología de acceso múltiple por división en frecuencia ortogonal escalable (SOFDMA) para alcanzar una realización multi-usuario en unos entornos NLOS (visión no directa). Además, cobra un importante interés debido a sus bajos costes de infraestructura y la alta tasa de transferencia en comparación con los sistemas de tercera generación.

IEEE 802.16 Wireless MAN tiene una conexión orientada a MAC (Medium Access Control) y su capa física PHY está basada en visión no directa por radio en la banda de 2-11 GHz. Para bandas con licencia, el ancho de banda de canal debe estar limitado al ancho de banda provisto y regulado dividido entre una potencia de dos, y cuyo mínimo es 1.25 MHz y el tamaño asignado a cada operador dependerá del regulador de cada país. Está definido en tres tecnologías diferentes: SC o single carried, una única portadora, OFDM orthogonal frequency division multiplexing y OFDMA orthogonal frequency division multiplexing access. La comunicación basada en tramas se realiza por ráfagas en cada enlace. En Octubre de 2004 se revisa el estándar y sale publicado como IEEE 802.16-2004. La versión móvil se desarrolla en IEEE 802.16e, oficialmente conocido como "Physical and Medium Access Control Layers for Combine Fixed and Mobile Operation in License Bands" y popularmente conocido como 'Mobile WIMAX', y que utiliza OFDMA principalmente en bandas con licencia. WiBro es coreano, se basa en IEEE 802.16-2004 y IEEE 802.16e para proveer de servicios móviles. Los tres requisitos básicos de este sistema fueron: a) banda de frecuencia de 2.3 GHz, b) Ancho de banda de canal de 9MHz, o efectivo de 8.75, c) TDD o time division duplexing.

En Octubre de 2004 se hace una revisión del estándar IEEE 802.16, conocido como IEEE 802.16-2004. La versión móvil fue desarrollada en el IEEE 802.16e, comúnmente conocida como Mobile WiMAX. Se publica con las especificaciones de radio para las capas Medium Access Control (MAC) y la capa física (PHY) para combinar WIMAX fijo y móvil. Las especificaciones están limitadas a la interfaz por aire entre cliente y estación base.

El último estándar IEEE 802.16e-2005/ETSI HIPERMAN incorpora los últimos avances tecnológicos como OFDMA y MIMO con el fin de combinar eficazmente los accesos de alta tasa de fijo y móvil para convertirlo en un potente candidato para la red de 4G. Nacido para soportar tecnología IP nativo, WIMAX Forum incluye una arquitectura de red para soportar la tecnología de acceso, que sigue la tendencia de Redes de Nueva Generación (NGN), donde las aplicaciones son independientes de la tecnología de transporte mediante una arquitectura horizontal, pero vertical en cuanto a la infraestructura de telecomunicaciones.

En mayo 2007 en Japón, Mobile WIMAX es recomendado como OFDMA TDD WMAN, dejando 50MHz de ancho de banda en la banda internacional de 2.57-2.62 GHz para el espectro 3G TDD, aunque aún no ha sido aprobado [16].

WIMAX competirá con las LAN's inalámbricas, los servicios celulares de tercera generación (3G) y posiblemente con servicios cableados como DSL (digital subscriber line) y cable. Su habilidad para suplantar o competir con estos sistemas dependerá de su rendimiento y coste. Muchos fabricantes de ordenadores y PDAs (personal digital assistants) planean incorporar WIMAX tan pronto como sea capaz de satisfacer una demanda de acceso constante a Internet e intercambio de emails desde cualquier localización. Otra aplicación futura sería la conexión entre distintos hot spots y éstos a Internet.

### 4.3. Características y ventajas de WiMAX

Las características principales del sistema WiMAX son las siguientes [20]:

- Capa MAC con soporte de múltiples especificaciones físicas (PHY).
- Puede alcanzar distancias de hasta 50 kilómetros. La cobertura puede ser LOS y NLOS interiores y exteriores.
- Velocidades de hasta 70 Mbps.
- Puede tener de 1 a 25 células por punto de acceso. Cada célula alrededor de 7 Km.
- Facilidades para añadir más canales.
- Radio de cobertura excelente
- Es una modulación adaptativa con técnicas avanzadas para antenas. Así, con técnicas SDMA, MIMO y smart antennas se consigue aumentar la ganancia de RF, alcances mayores y aumento de la eficiencia espectral.
- Anchos de banda configurables y no cerrados. Para Mobile WiMAX, los anchos de banda van desde 1.25 MHz hasta 20 MHz en múltiplos de 1.25 MHz. Para el caso de WiMAX fijo, los anchos de banda son proporcionales a 1.75 MHz hasta 28 MHz.
- Soporte de calidad de servicio (QoS).
- Tasa de transferencia alta.
- Alto grado de seguridad
- Alto grado de escalabilidad.

Las principales ventajas que tiene este sistema son:

- Gran ancho de banda: Una sola estación base puede admitir más de 60 conexiones T1 o varias centenas de conexiones DSL.
- Independencia del protocolo. Puede transportar, entre otros, IP, Ethernet y ATM. Esto hace que sea compatible con otros estándares.
- Puede utilizarse para transmitir otros servicios añadidos como VoIP, datos o vídeos.
- Soporta antenas inteligentes (smart antennas), lo cual favorece la eficiencia espectral. Estas antenas emiten un haz muy estrecho que se puede ir moviendo electrónicamente para enfocar siempre al receptor.

- Seguridad: Incluye medidas para autenticación de usuarios y encriptación de datos mediante los algoritmos 3DES y RSA.

Los principales inconvenientes que presenta son:

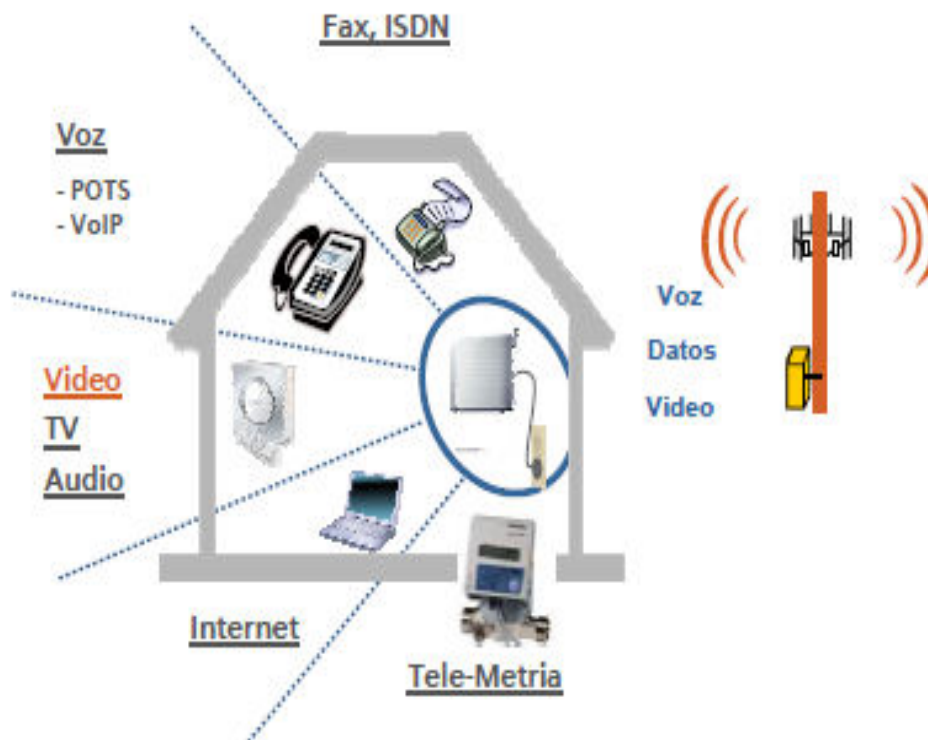
- Limitación de potencia para prever interferencias con otros sistemas.
- Alto consumo de batería en los dispositivos.

#### 4.4. Aplicaciones de WiMAX

Las aplicaciones de acceso basadas en topología de punto multipunto incluyen [20]:

- Infraestructura celular (backhaul)
- Ancho de banda bajo demanda
- Ancho de banda residencial
- Servicios inalámbricos nómadas.

A continuación se presentan en la Figura 4.1 las principales aplicaciones y usos de los sistemas WiMAX en oficinas, hogares...



**Figura 4.1:** Principales aplicaciones de los sistema WiMAX

## 4.5. Modelo de propagación

El estándar 802.16 define dos posibles topologías de red: PMP o Punto a multipunto y topología mesh. La mayor diferencia radica en que para la primera el tráfico sólo tiene lugar entre la estación base BS y la estación terminal o suscriptora, SS. En el segundo caso, el tráfico puede ser cursado a través de diferentes SS hasta la BS o sencillamente entre SSs. Otra diferencia existente es la localización de la BS, para la topología PMP se encuentra en el centro del sistema, mientras que no ocurre lo mismo para el modo ‘mesh’, cuyos elementos de red se les denomina “nodos”.

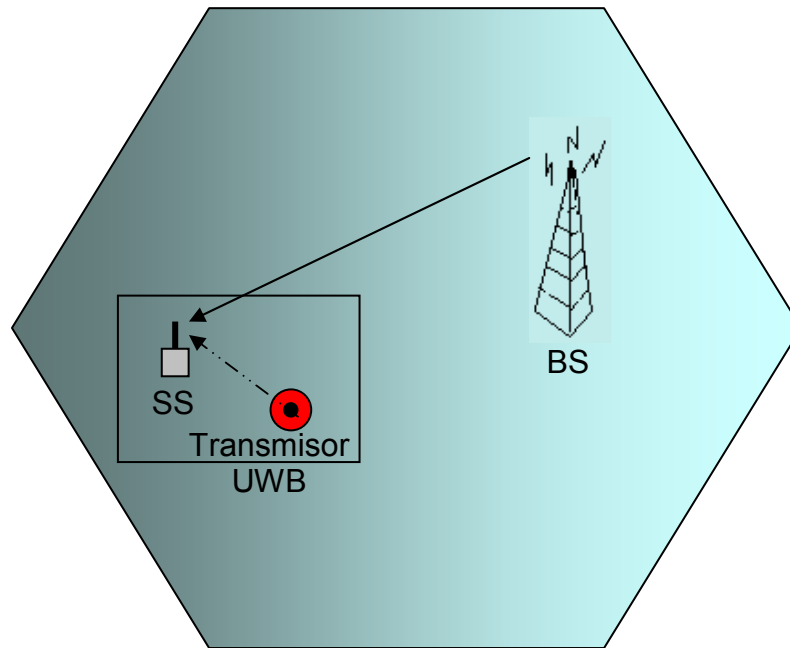
La red ‘mesh’ es una arquitectura de red “en malla” que permite que cada receptor actúe simultáneamente como emisor. De esta forma, cada nuevo dispositivo que se añade utiliza capacidad de la red, pero también aporta recursos. Se trata, por tanto, de un modelo similar a la estructura de routers de Internet. Al no ser necesaria una comunicación directa con el punto de destino, se puede aumentar significativamente el número de dispositivos sin aumentar (de forma notoria) el nivel de interferencia. Como ejemplo de aplicación de esta arquitectura, se ha mencionado su utilización en los sistemas móviles de cuarta generación [17].

Simularemos una red PMP, que es un modelo sencillo de red inalámbrica. Este tipo de enlaces se utiliza habitualmente en conexiones dedicadas de alto rendimiento o enlaces de interconexión de alta capacidad. Al ser un sistema celular cada estación base cubrirá una célula y cada célula tendrá su frecuencia de utilización. Las células pueden tener una geometría circular, triangular, cuadrangular y hexagonal. Entre ellas, se unen para formar clusters, y en ellos no se pueden repetir las frecuencias, ya que la interferencia cocanal debe ser controlada [18]. Sin embargo, se unen clusters, repitiéndose las frecuencias, pues si no no habría manera de dar cobertura a todo un país. Existe una distancia mínima ( $D$ ) entre los centros de las celdas de frecuencias de reutilización, que es directamente proporcional al patrón de reutilización ( $PR$ ), o número de celdas por cluster, e inversamente proporcional al radio de la célula ( $R$ ).

$$PR = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{D}{R}\right)^2 \quad (4.1)$$

La forma de controlar la interferencia cocanal es hallando la relación de protección y conseguir que la potencia interferente cocanal existente sea mayor a este valor. Por otro lado, como en la práctica hay células que tienen más tráfico que otras, lo que se hace es subdividir éstas en otras más pequeñas, generalmente se divide entre dos el radio de la célula tantas veces como se haga necesario.

El escenario sobre el que trabajaremos es un sistema WiMAX Mobile donde la transmisión se realizará en una macro-célula hexagonal entre la BS y uno de los receptores. Al ser móvil, la SS toma el valor de MSS, Mobile Subscriber Station. A continuación, se presenta la Figura 4.2 con el escenario que vamos a tratar en los próximos apartados.



**Figura 4.2:** Escenario a estudiar de la célula de cobertura WIMAX con su BS, un SS y el sistema UWB interferente.

Los parámetros del sistema simulado están establecidos atendiendo al modo OFDMA en el estándar 802.16. La señal a ruido con ratio de interferencia o SINR requerida para lograr una BER o tasa de error por bit de  $10^{-6}$  para los distintos tipos de modulación y códigos FEC utilizados en el programa se muestran en la tabla 4.1.

WIMAX utiliza modulación adaptiva. Esto significa que, dependiendo de la calidad de la señal recibida, nivel del C/I, se cambia el tipo de modulación. Así, para un usuario cercano a la antena de la BS con una buena señal probablemente se tendrá una modulación 64QAM, pero para un usuario que esté en los límites de la celda WIMAX podría llegar a utilizar una modulación BPSK.

Las capacidades y alcances que pueden conseguirse con WIMAX dependen de los siguientes factores: tipo de antena, tipo de topología celular, atenuación por propagación, atenuación por lluvia para frecuencias mayores de 8GHz, lo que implica que en nuestro proyecto no lo tendremos en cuenta, influencia del multitrayecto para distancias mayores a los 10km, el compromiso existente entre la capacidad ofrecida al cliente y la cobertura para una potencia media constante y la posibilidad de que nuestra estación base sea de altas prestaciones con diversidad de transmisión y recepción, sistemas avanzados de antenas y mayor potencia de transmisión que la estación convencional. Sin embargo, hemos supuesto una topología macro-celular con una estación base tri-sectorial, de 18 dBi, con las características básicas de WIMAX, ya que nuestro estudio es genérico.

Las pérdidas de propagación reducen la densidad de potencia de una onda electromagnética según se propaga por el espacio. Para el caso de una distancia menor de 100 m, utilizaremos las pérdidas de propagación para el espacio libre. Para el caso en el que la distancia sea mayor de 100 m, utilizaremos la fórmula del modelo de Erceg-



Greenstein, aplicada al grupo de trabajo de IEEE 802.16 para obtener la distancia máxima de cobertura. Este modelo de propagación está basado en medidas experimentales en USA. Por tanto, las pérdidas de propagación se escribirán de la siguiente forma [19]:

$$Lp(dB) = \begin{cases} 92.45 + 20\log_{10}(f)_{\text{GHz}} + 20\log_{10}(d)_{\text{Km}} + L_{\text{pared}} + \Delta PL_f + \Delta PL_h & d < 100m \\ A + 10\gamma \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + s + \Delta PL_f + \Delta PL_h + L_{\text{pared}} & d \geq 100m \end{cases} \quad (4.2)$$

Donde:

- $d$  = distancia entre sistemas.
- $d_0$  = distancia de referencia (100 m).
- $\gamma = a - b \cdot h_b + \frac{c}{h_b}$  (con  $h_b$  = altura de estación base) . (4.3)
- $s$  = Shadow Fading
- $\Delta PL_f$  = factor de corrección de frecuencia.
- $\Delta PL_h$  = factor de corrección de altura.
- $A = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d_0}{\lambda}\right)$  Con  $d_0 = 100m$ . (4.4)

El factor de shadow fading (representa las pérdidas por desvanecimientos del tipo apantallamiento o sombra del shadowing sigue una distribución normal, de media nula y una desviación estándar dependiendo del tipo de terreno que hemos elegido. En este caso, este factor es el obtenido con un porcentaje de 90% (Tabla 4.1). Aun así variará en función de la distancia, obteniendo ese valor máximo para un distancia máxima. En el caso del espacio libre no existen pérdidas por shadowing.

Según el tipo de terreno que se escoja, obtendremos unos valores  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $s$  diferentes para cada tipo de terrenos. Están divididos en tres categorías: A, B y C (rural, suburbano y urbano). 'A' está asociado a grandes pérdidas de propagación y es generalmente utilizado para terrenos montañosos con grandes densidades de follaje. El terreno tipo C implica unas pérdidas de propagación bajas o mínimas y se aplica en terrenos llanos con poca densidad de árboles y grandes claros. El terreno tipo B, que utilizamos en nuestro proyecto, se caracteriza por mantenerse en un punto intermedio entre los anteriores; puede contener un conjunto de características típicas de A y C. En la Tabla 4.1 se resumen los valores de cada tipo de terreno.

**Tabla 4.1:** Parámetros para los diferentes tipos de terreno.

PARÁMETRO	TIPO A	TIPO B	TIPO C
A	4.6	4	3.6
B	0.0075	0.0065	0.0050
C	12.6	17.1	20
Std dev s	10.6 dB	9.6 dB	8.2 dB
S	13.6 dB	12.3 dB	10.5 dB

Si tomamos un terreno tipo B, que es intermedio entre montañoso y plano para una ciudad como Madrid obtenemos los siguientes datos (4.5-4.8).

$$a = 4 \quad (4.5)$$

$$b = 0.0065 \quad (4.6)$$

$$c = 17.1 \quad (4.7)$$

$$s_{90\%} = 12.3 \text{ dB. Es la variación shadowing-fading.} \quad (4.8)$$

Para las fórmulas de la pérdida de propagación hemos puesto unos factores de corrección de frecuencia y altura, ya que sin esto únicamente sería válido para una frecuencia de 2GHz y una antena receptora de 2 metros; es por ello que introducimos estos dos términos (4.9 – 4.10).

$$\Delta PL_f = 6 \log_{10} \left( \frac{f}{2000} \right) \quad f = \text{frecuencia de portadora.} \quad (4.9)$$

$$\Delta PL_h = -10.8 \log_{10} \left( \frac{h}{2} \right) \quad h = \text{altura de la antena} \quad (4.10)$$

Elegimos el peor caso, es decir, la tecnología interferente con un shadowing positivo y, sin embargo, WiMAX lo tiene negativo. Además, le incluimos las pérdidas de pared que va a encontrar al llegar al edificio receptor, aunque obviamente éstas apenas van a afectar a la señal, ya que la atenuación del trayecto las hace casi inapreciables.

Inicialmente ejecutamos nuestro programa a una frecuencia central de 3.5 GHz y, observando las conclusiones desarrolladas, decidimos estudiar los resultados acaecidos a una frecuencia mayor, a 5.4 GHz, que parecen aportar una clara conclusión que no debemos dejar pasar inadvertida.

UWB utilizará el modelo de propagación de one slop indoor donde el efecto shadowing vendrá dado por  $2.23 \cdot 2$ , ya que supondremos un índice de propagación de 2 y una probabilidad de 99 % de acierto (2.23).

Para la obtención del valor de la SNR que se estudiará a continuación, se usarán las siguientes fórmulas según exista interferencia UWB o no.

$$SNR(dB) = 10 \log_{10} \begin{cases} \frac{S_{WiMAX}}{P_n + i_{canal}}; \text{sin\_UWB} \\ \frac{S_{WiMAX}}{P_n + i_{canal} + i_{UWB}}; \text{con\_UWB} \end{cases} \quad (4.11)$$

Donde:

- $S_{WiMAX}$  es la señal WiMAX.
- $P_n$  es la potencia de ruido.
- $i_{canal}$  es la interferencia del canal que supondremos como 0.
- $i_{UWB}$  es la interferencia UWB.

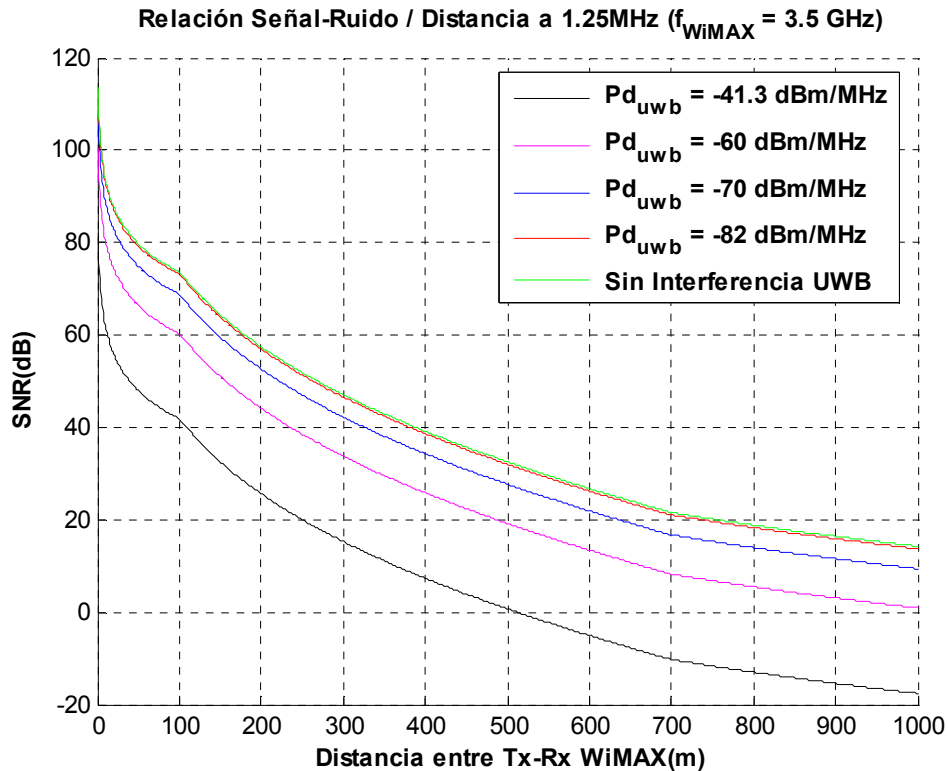
Todos los valores están dados en unidades naturales, aunque se podría también calcular a partir de unidades logarítmicas. Tras obtener el valor de la SNR en dB y con los valores de la Tabla 5.1 obtendremos las distintas modulaciones a utilizar en cada caso.

## 4.6. Resultados obtenidos para una frecuencia de 3.5 GHz

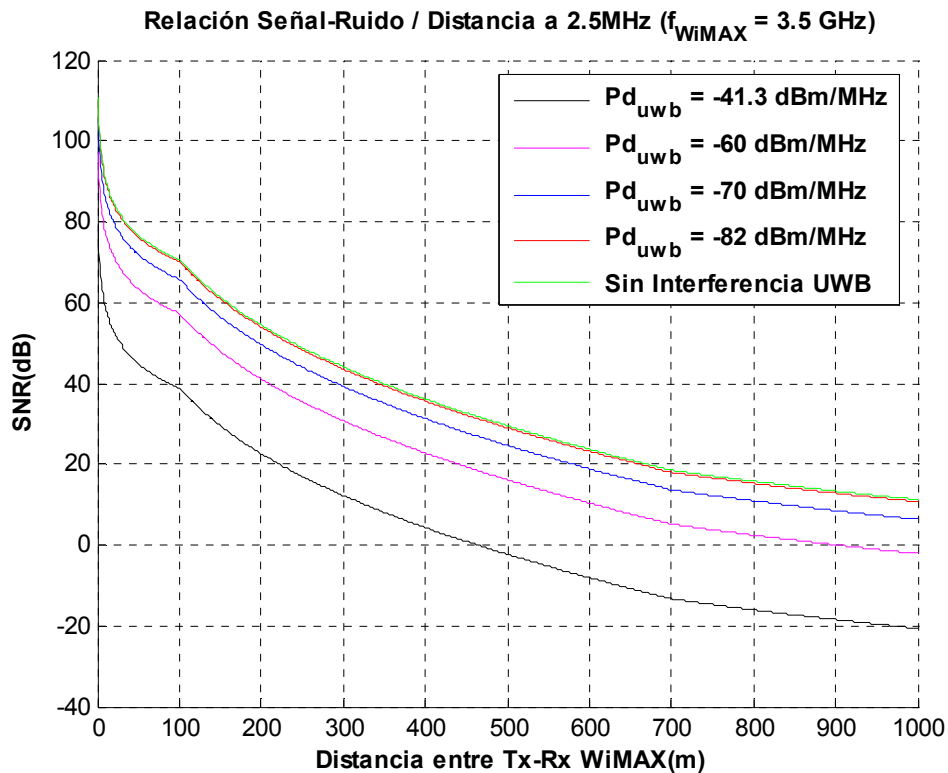
La relación señal a ruido (SNR) se obtiene a partir de la correspondencia entre la señal WiMAX enviada y la suma de la potencia de ruido y la interferencia UWB. Esto siempre que exista un sistema UWB interfiriendo, en el caso contrario ese valor desaparece. En todo caso, la SNR disminuye a medida que aumenta la distancia entre los sistemas WiMAX. Esto es debido a la atenuación existente a lo largo de la propagación. De esta forma, cuanto mayores sean las pérdidas de propagación, menor señal llegará al receptor.

A continuación, se presenta un estudio de la SNR para las diferentes interferencias UWB (con diferentes densidades de potencia transmitida). Cada figura (Figura 4.3-Figura 4.7) representa un ancho de banda del canal distinto. Así, se puede observar que el valor de la SNR disminuye también a medida que aumentamos la potencia transmitida por el sistema UWB. Si la distancia entre los sistemas WiMax se encuentra a una distancia menor de 100 m, la SNR tiene un valor mayor ya que las pérdidas de propagación son menores. Son pérdidas de propagación en el espacio libre.

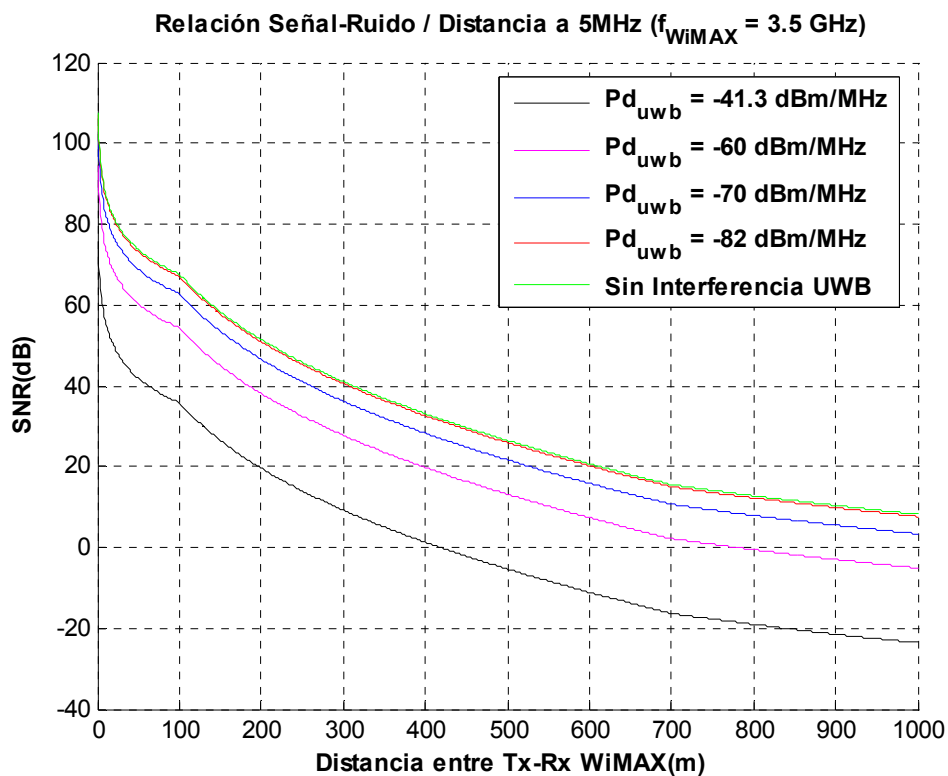
Para el caso de una potencia menos infinito, no existen diferencias con respecto a la SNR, los valores son los mismos para este caso y para el caso en el que no existe interferencia (Ambas gráficas están superpuestas). El caso que toma un valor de  $-82$  dBm/MHz está también muy cercano a los anteriores, donde se reduce la cobertura de la señal original en un 3% máximo, cifra que ofrece una gran calidad. A partir de ese valor, la SNR disminuye a medida que la densidad de potencia WiMax aumenta.



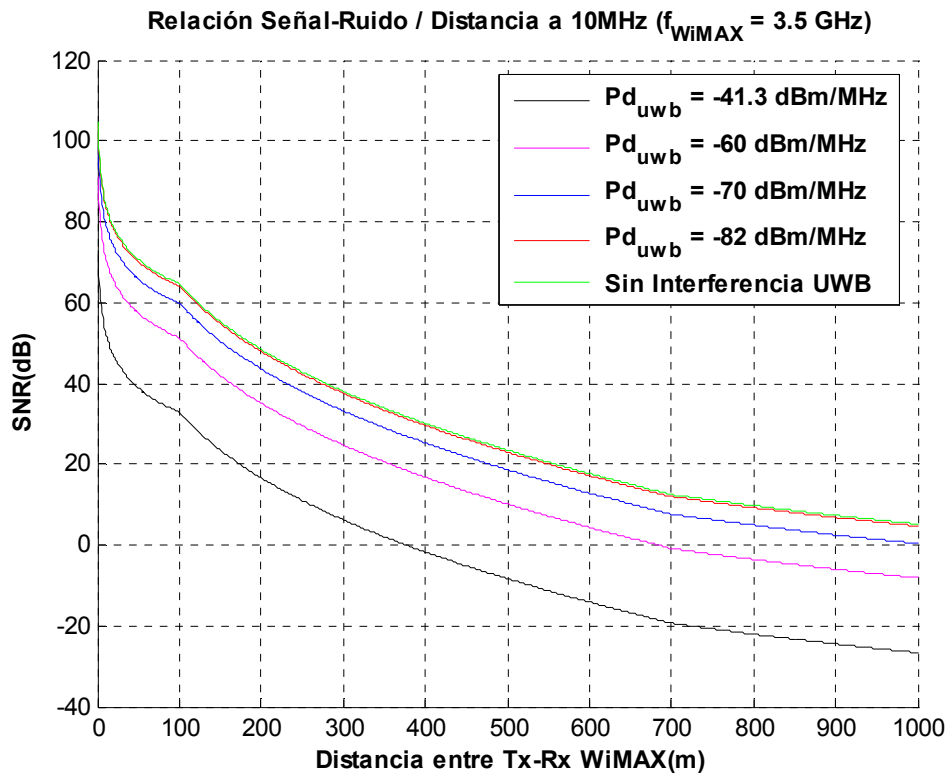
**Figura 4.3:** Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 1.25 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.



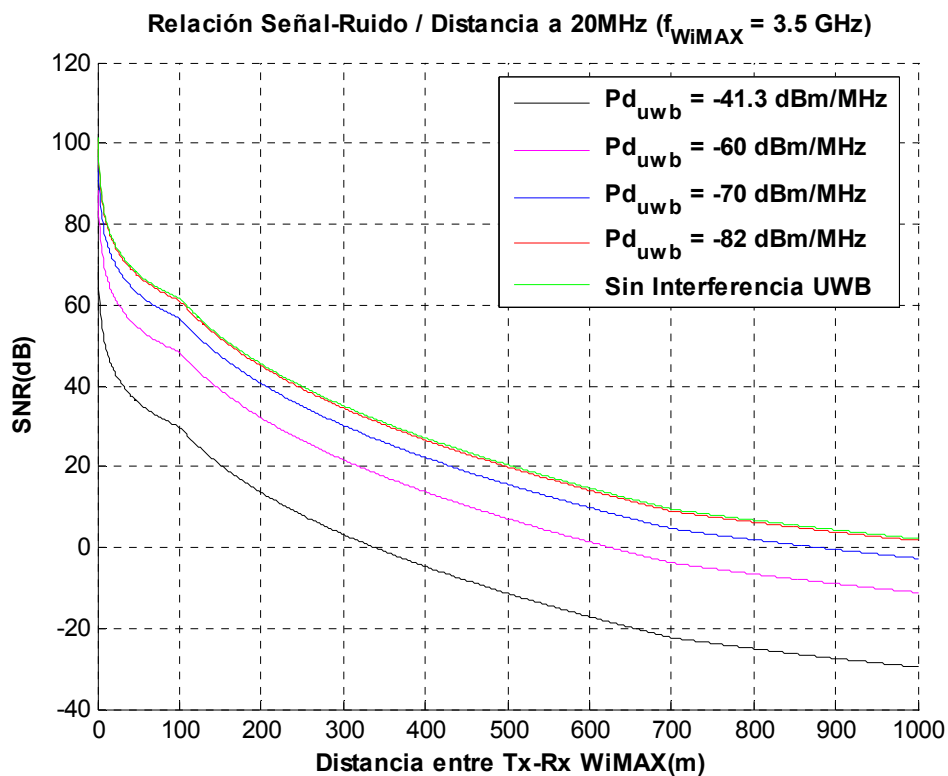
**Figura 4.4:** Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 2.5 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.



**Figura 4.5:** Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 5 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.



**Figura 4.6:** Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 10 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.



**Figura 4.7:** Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.

Las conclusiones finales de los resultados obtenidos anteriormente son:

- A mayor potencia transmitida, mayor SNR en el receptor.
- A mayor densidad de potencia UWB, menor SNR.
- A mayor ancho de banda del canal, menos SNR.

A continuación, vamos a hacer un estudio sobre los índices de modulación y la tasa binaria para las distintas densidades de potencia del sistema UWB. Cada figura (Figura 4.8 –Figura 4.12) representa un ancho de banda del canal distinto. Los valores que se obtienen en cada una de las gráficas dependerán de la potencia transmitida, la interferencia obtenida y de la distancia entre sistemas WiMAX.

En las gráficas que representan el tipo de modulación a utilizar, el eje de ordenadas indica los índices asignados a los tipos de modulación a utilizar. Dependiendo del valor en el que se encuentre la relación SNR para cada distancia se utilizará una Modulación u otra. El valor que obtienes de la SNR se compara con los valores de los parámetros para los esquemas de modulación. Se elegirá la modulación que se encuentre dentro del rango de nuestro valor. A continuación, presentamos la Tabla 4.2 con los valores de la SNR predeterminada de cada modulación y el índice de modulación que utilizaremos en las representaciones [19].

**Tabla 4.2:** Relación del índice de modulación y la SNR CC con los distintos tipos de modulación

TIPO DE MODULACIÓN	ÍNDICE DE MODULACIÓN	SNR CC (AWGN, BER $10^{-6}$ )
QPSK $\frac{1}{2}$	1	7 dB
QPSK $\frac{3}{4}$	2	9.5 dB
16-QAM $\frac{1}{2}$	3	11.3 dB
16-QAM $\frac{3}{4}$	4	14.9 dB
64-QAM $\frac{1}{2}$	5	16 dB
64-QAM $\frac{2}{3}$	6	18.6 dB
64-QAM $\frac{3}{4}$	7	20.6 dB

El sistema OFDM provee a WLAN con capacidades de carga para datos de 6, 9, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbit/s. El sistema utiliza 52 subportadoras que utilizan modulaciones binarias (BPSK), en cuadratura (QPSK) ó de 16 ó 64 amplitud en cuadratura QAM. El código de corrección de errores o FEC (Forward Error Correction) se utiliza con tasas de  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{2}{3}$  ó  $\frac{3}{4}$ .

Para el cálculo de la **tasa binaria neta**, utilizaremos la siguiente fórmula [19]:

$$Bit\_Rate(DL) = Bw * n * \frac{N_{DataDL}}{N_{FFT}} * (data\_bits\_per\_symbol) * \frac{1 - overhead}{1 + guard\_time} * TDD \quad (4.12)$$

Donde:

- Bw = Ancho de banda del canal.
- n = Sampling factor, en nuestro caso es 28/25.
- Data bits per symbol = Número de bits por símbolo = M\*FEC.
- Overhead = 20 %.
- Guard\_time = 1/8.
- $N_{DataDL}$  = Número de datos de las subportadoras (Tabla 4.3)
- $N_{FFT}$  = Número total de subportadoras OFDM o tamaño de la FFT (Tabla 4.3).

**Tabla 4.3:** Parámetros para el ancho de banda del canal.

Ancho de Banda del Canal (Bw)	$N_{FFT}$	$N_{DataDL}$
1.25 MHz	128	72
2.5 MHz	256	144
5 MHz	512	360
10 MHz	1024	720
20 MHz	2048	1440

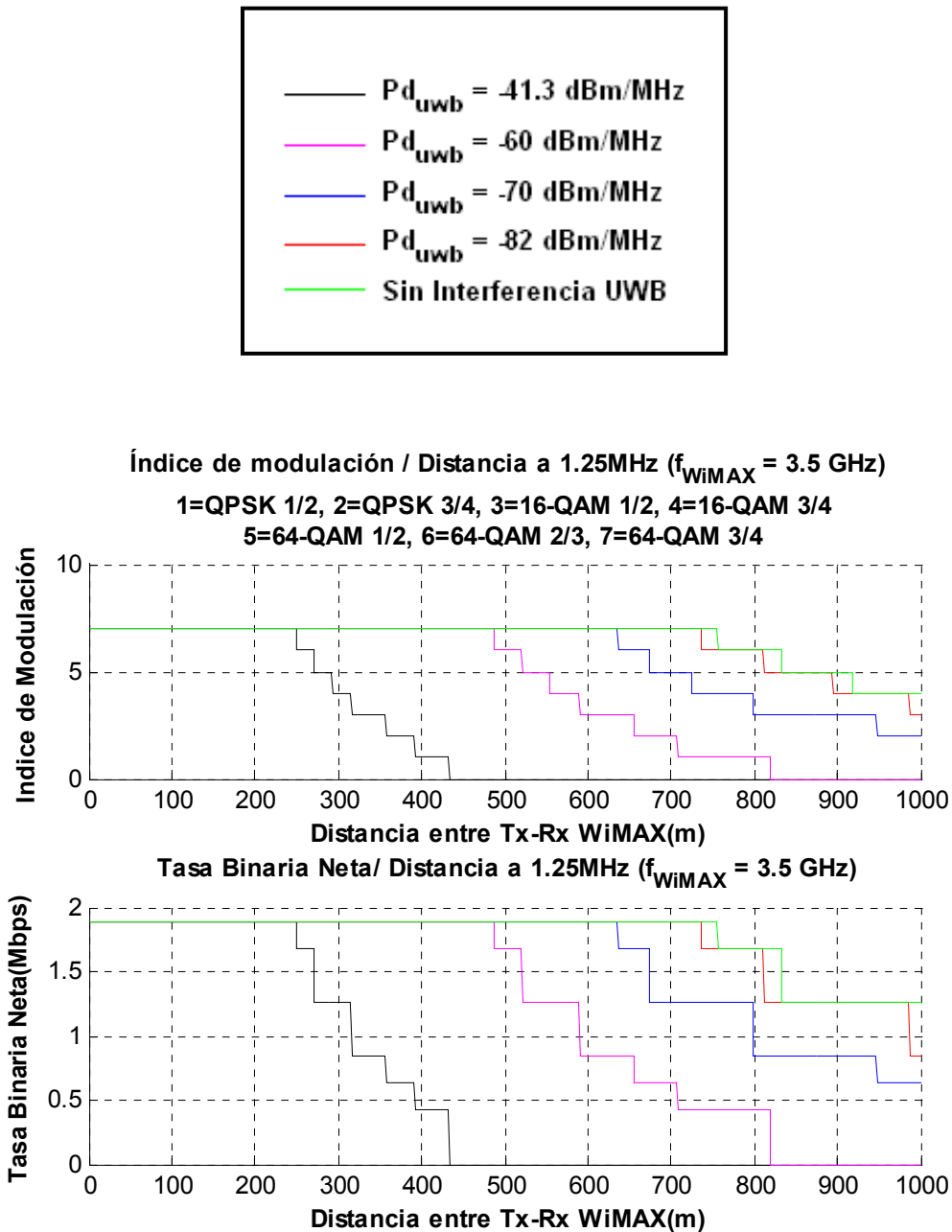
A partir de las figuras representadas posteriormente (Figura 4.8- Figura 4.12), se observa que, a medida que aumenta la potencia transmitida, existe un mayor alcance y un mayor índice de modulación. A menor densidad de potencia transmitida por el sistema UWB, obtenemos una menor interferencia y, por tanto, un mayor alcance e índice de modulación.

Según la propuesta realizada por la FCC para una densidad de potencia UWB de -41 dBm/MHz, obtendríamos unos índices de modulación que descienden bruscamente alcanzando unas distancias menores de 350 metros, lo que supone una diferencia de 20-30% (70-80% pérdidas) respecto al conseguido sin interferencia UWB, lo que supone unas pérdidas excesivas y un descenso de calidad inaceptable. Únicamente se podrá aceptar unas pérdidas de 1-4%.

Para el caso de una densidad de potencia transmitida por UWB de -82 dBm/MHz se obtiene unas pérdidas únicamente del 2-3%, lo que supone una cifra tolerable para el usuario. El caso de menos infinito, no proporciona pérdidas. El resto de casos proporciona pérdidas inadmisibles para el usuario.

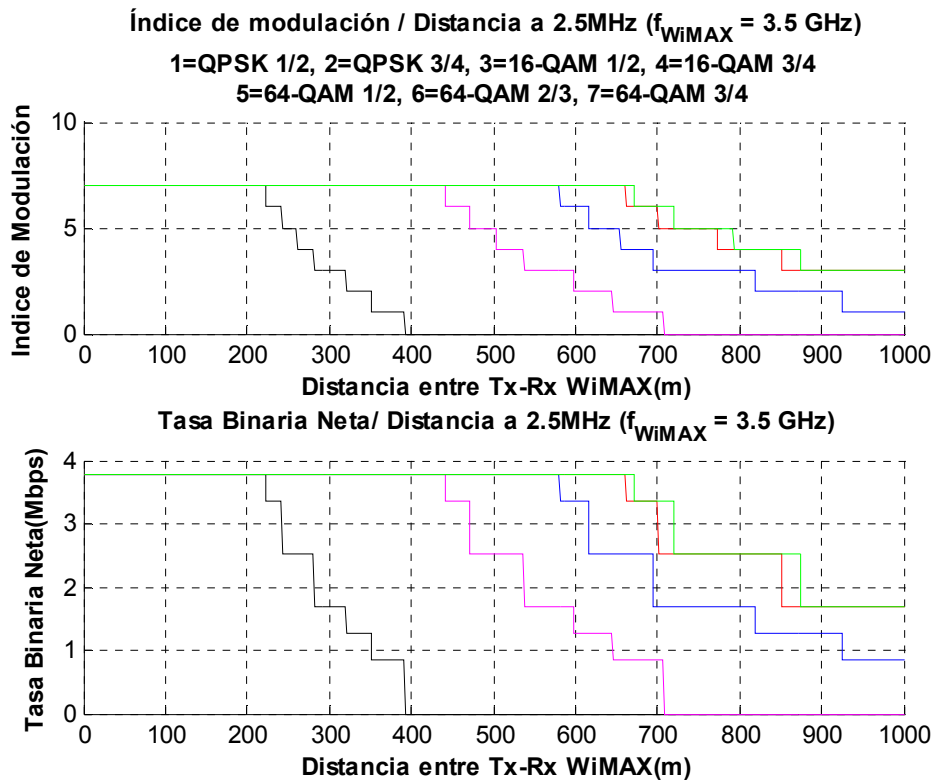
Las figuras que representan la tasa binaria neta siguen la forma del tipo de modulación ya que tienen una relación directa entre ellas. La Tabla 4.4 representa la leyenda de las figuras mostradas posteriormente.

**Tabla 4.4:** Leyenda para las figuras de índice de modulación y tasa binaria para sistemas WiMAX

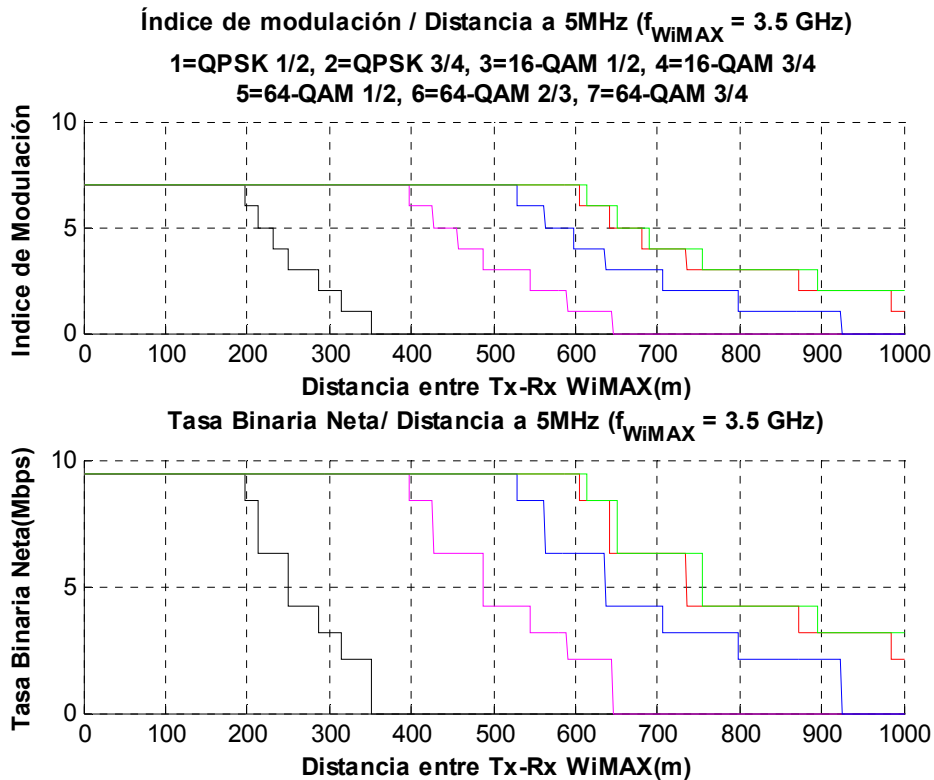


**Figura 4.8:** Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 1.25 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.

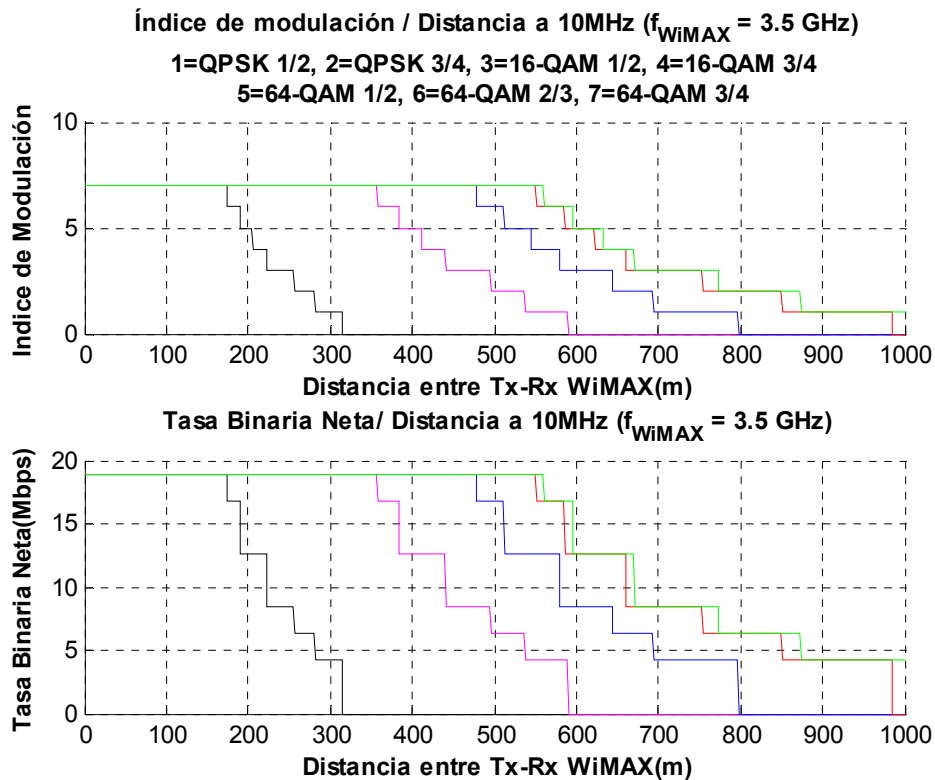




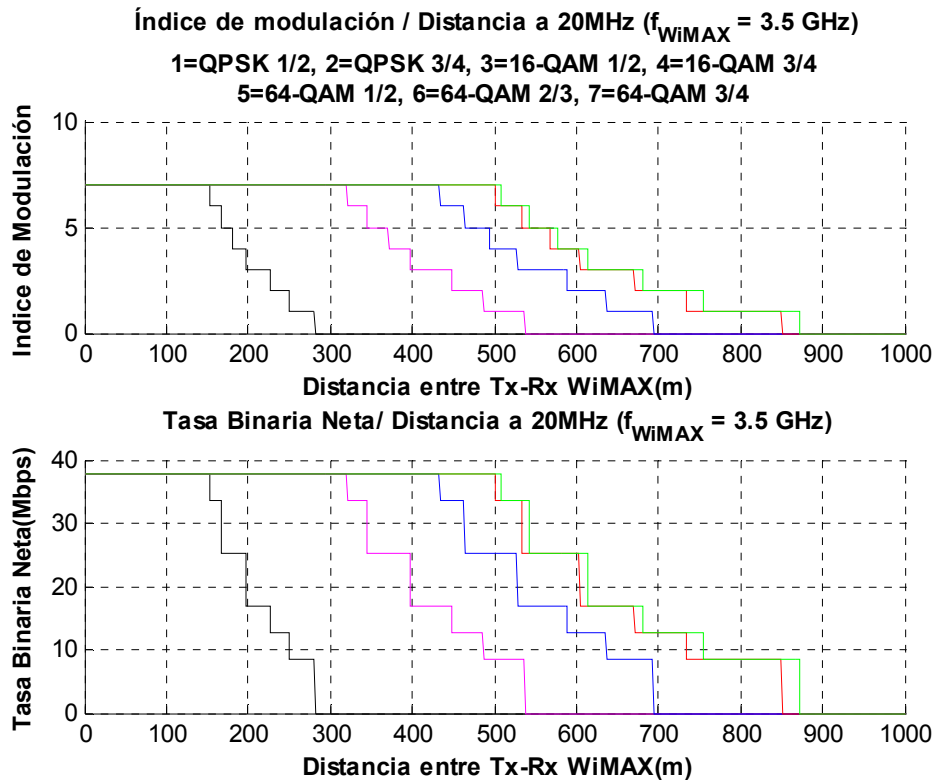
**Figura 4.9:** Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 2.5 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.



**Figura 4.10:** Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 5 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.



**Figura 4.11:** Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 10 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.



**Figura 4.12:** Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.

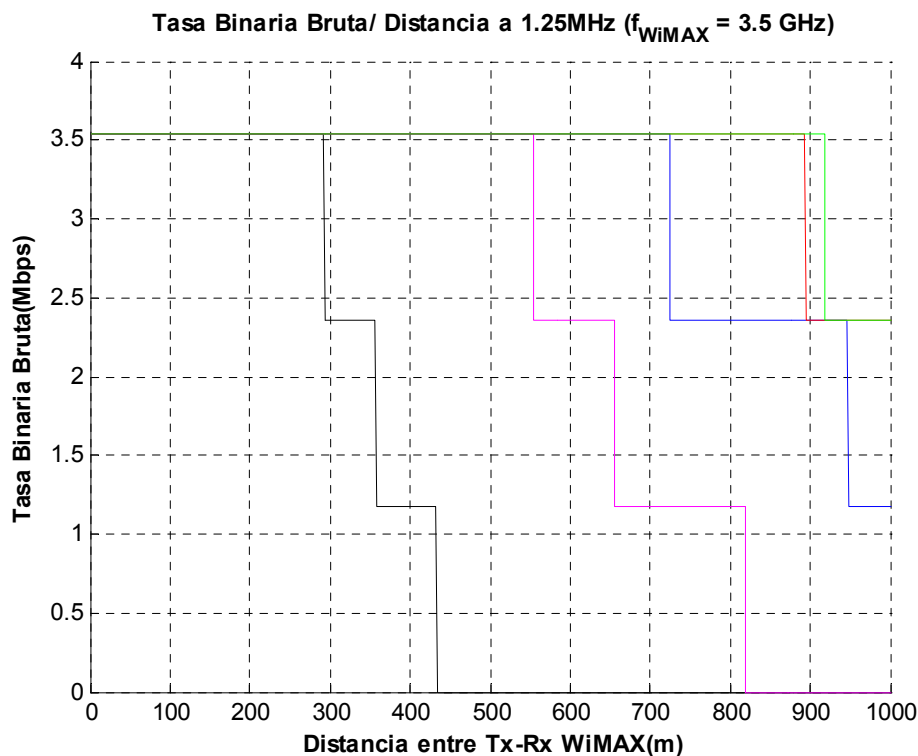
La **tasa binaria bruta** difiere de la neta en varios factores que no están implicados en su cálculo [19]. En las siguientes figuras representaremos su valor para cada uno de los anchos de banda del canal (Figura 4.13- Figura 4.17). Para su cálculo utilizaremos la siguiente fórmula:

$$Bit\_Rate\_Bruta(DL) = Bw * n * \frac{N_{DataDL}}{N_{FFT}} * (data\_bits\_per\_symbol) * inverso\_FEC * TDD \quad (4.13)$$

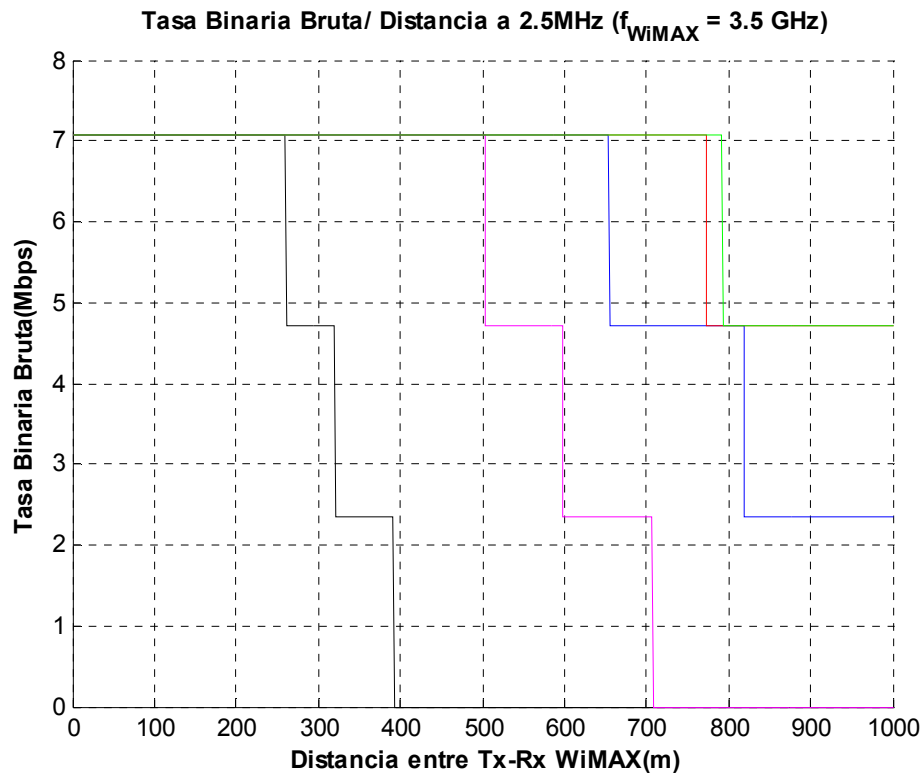
Donde:

- Bw = Ancho de banda del canal.
- n = Sampling factor, en nuestro caso es 28/25.
- Data bits per symbol = Número de bits por símbolo = M\*FEC.
- $N_{DataDL}$  = Número de datos de las subportadoras (Tabla 4.3)
- $N_{FFT}$  = Número total de subportadoras OFDM o tamaño de la FFT (Tabla 4.3).
- Inverso\_FEC = Es el inverso del valor del FEC para cada modulación.

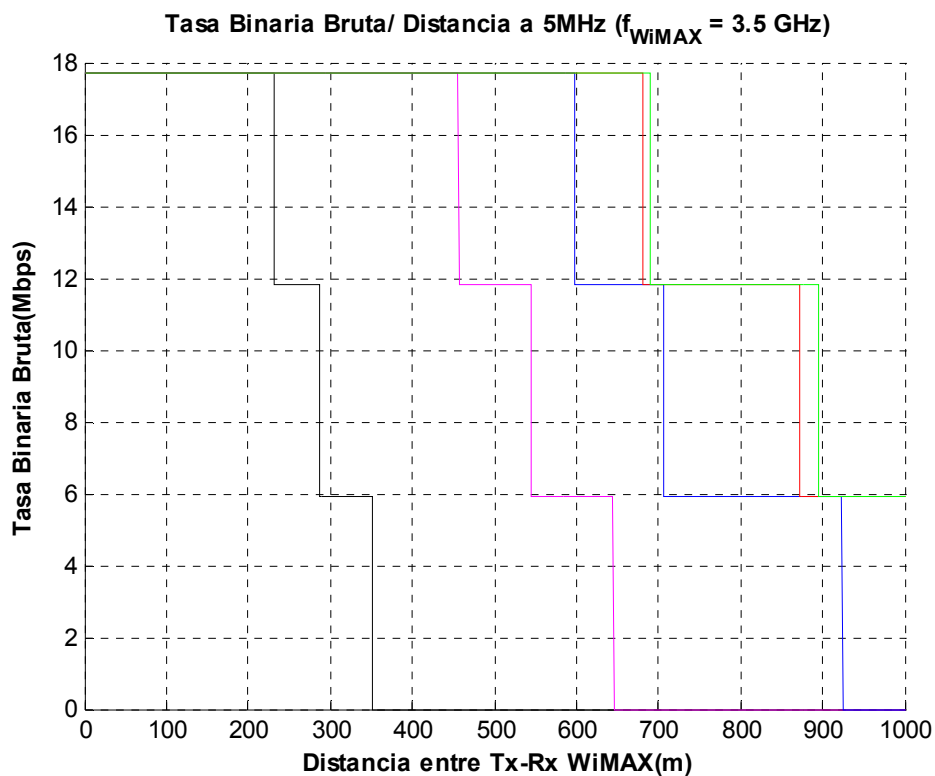
En la representación de la tasa binaria bruta (Figura 4.13- Figura 4.17) se puede observar que sigue una representación parecida al de la tasa binaria neta con algunas salvedades. El valor obtenido es prácticamente el doble. Además, una de las grandes diferencias es que en este caso únicamente tenemos tres niveles de valores. Esto se debe a que no se tiene en cuenta el FEC, lo que conlleva que sólo se tiene en cuenta el índice de la modulación correspondiente. En nuestro caso únicamente tenemos tres modulaciones (QPSK, 16-QAM, 64-QAM), lo que provoca los tres niveles en el cálculo de esta tasa.



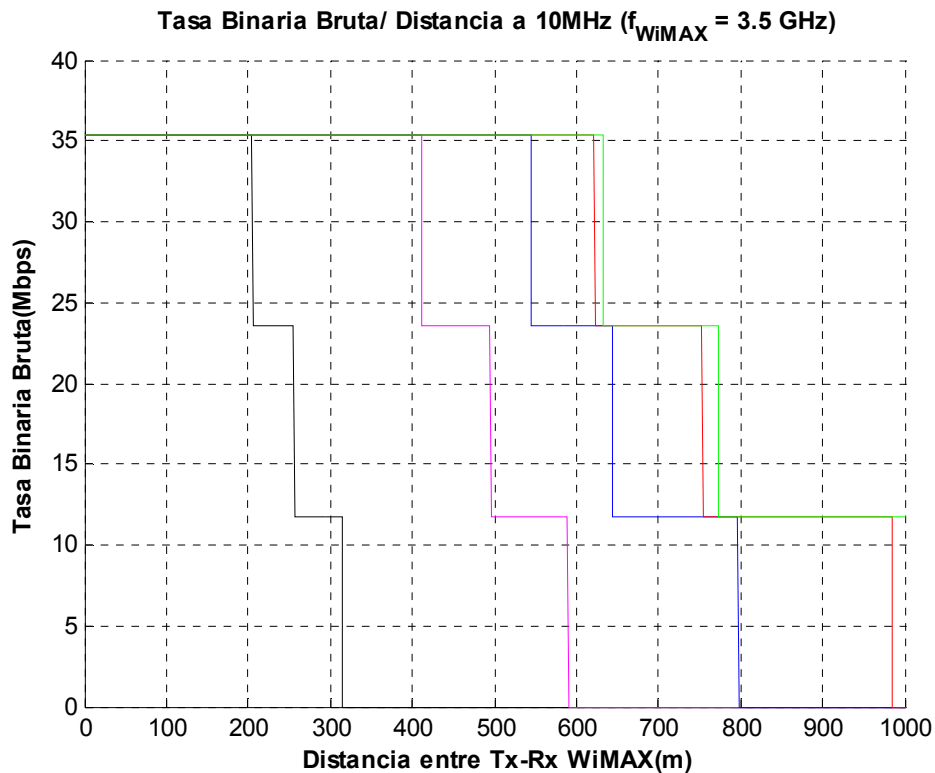
**Figura 4.13:** Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 1.25 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.



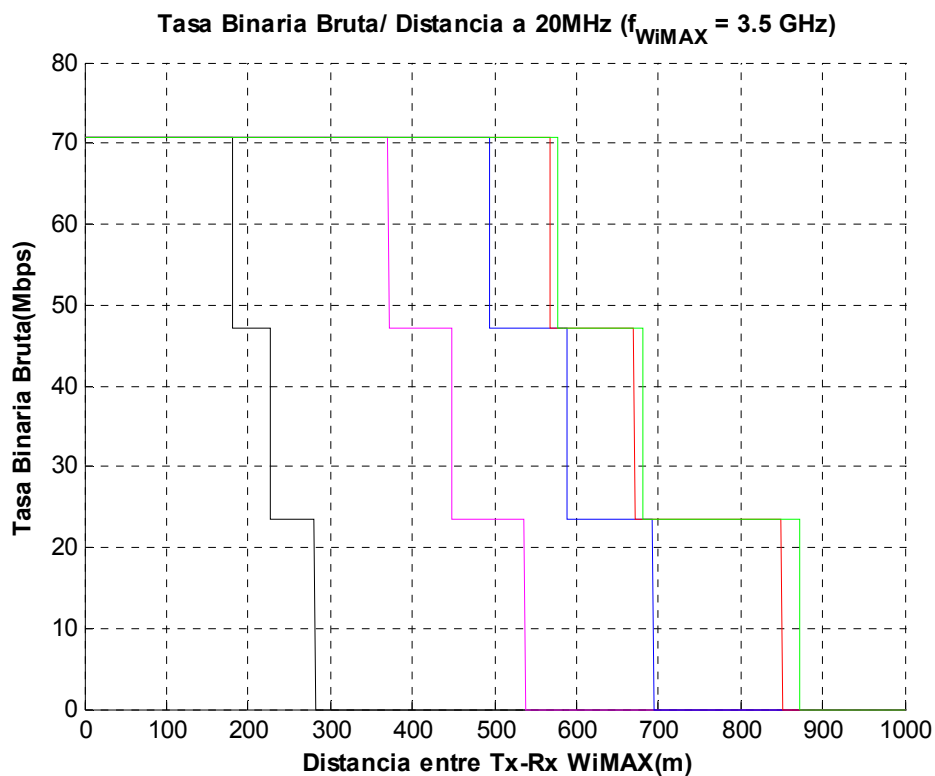
**Figura 4.14:** Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 2.5 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.



**Figura 4.15:** Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 5 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.



**Figura 4.16:** Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 10 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.



**Figura 4.17:** Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central 3.5 GHz y PIRE WiMAX de 50 dBm.

A continuación vamos a realizar una tabla (Tabla 4.5) que refleje numéricamente la disminución de calidad de la señal viendo los rangos de cobertura para los distintos tipos de modulación y densidad de potencia UWB para un ancho de banda de canal de 20 MHz.

**Tabla 4.5:** Rango de cobertura para los distintos tipos de modulación simulados con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 3.5 GHz y PIRE de WiMAX de 50 dBm.

TIPO DE MODULACIÓN	$P_{dUWB}$ (dBm/MHz)				
	-41.3	-60	-70	-82	SIN UWB
QPSK $\frac{1}{2}$	251-281 m.	487-536 m.	636-693 m.	735-850 m.	755-872 m.
QPSK $\frac{3}{4}$	227-250 m.	449-486 m.	589-635 m.	671-734 m.	681-754 m.
16-QAM $\frac{1}{2}$	198-226 m.	398-448 m.	528-588 m.	604-670 m.	614-680 m.
16-QAM $\frac{3}{4}$	182-197 m.	371-397 m.	495-527 m.	568-603 m.	578-613 m.
64-QAM $\frac{1}{2}$	168-181 m.	345-370 m.	464-494 m.	534-567 m.	543-577 m.
64-QAM $\frac{2}{3}$	154-167 m.	321-344 m.	434-463 m.	501-533 m.	509-542 m.
64-QAM $\frac{3}{4}$	0-153 m.	0-320 m.	0-433 m.	0-500 m.	0-508 m.

Se puede observar que para el caso de -82 dBm/MHz obtenemos únicamente un decrecimiento del radio de cobertura de un 2.5 % y un decrecimiento de la superficie de cobertura de 5% respecto del caso en el que no existe interferencia con el sistema UWB. Además se obtiene una cobertura hasta los 850 m, lo que representa un 85 % del terreno para el que se realizó la simulación. En relación con la cobertura sin interferencia UWB representaría un 97 %. Estos datos difieren mucho del caso propuesto por la FCC, en el que hay un decrecimiento del radio de cobertura enorme, cercano a un 80 % y una cobertura únicamente de 281 m. Estas son cifras inadmisibles para el usuario. Por esta razón, la única posible solución es buscar una densidad de potencia transmitida alrededor de -82 dBm/MHz.

Las especificaciones WiMAX para las simulaciones realizadas se presentan en la Tabla 4.6:

**Tabla 4.6:** Especificaciones WiMAX para una frecuencia central de 3.5 GHz [21].

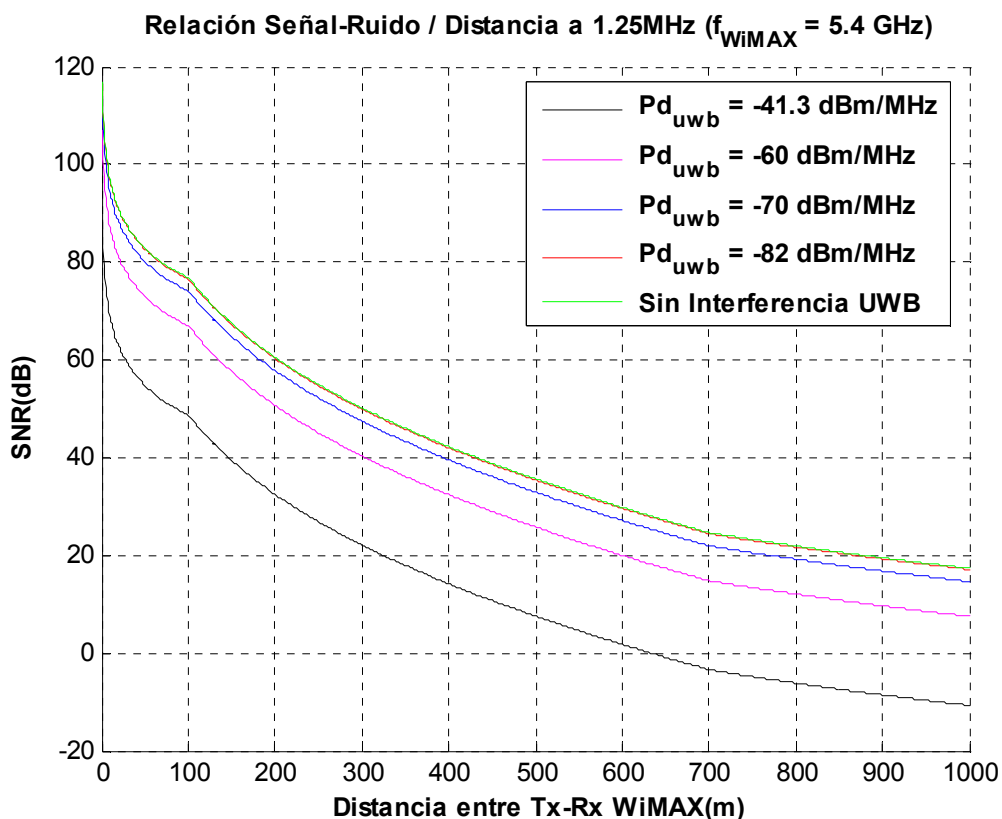
Parámetros	Valores
Banda de frecuencia	3.5 GHz
Anchos de banda del canal	1.25, 2.5, 5, 10, 20
Factor de Ruido (NF)	7 dB
Margen de interferencias (M)	0 dB
Potencia de ruido en el receptor	-114 dBm
PIRE de WiMAX	50 dBm
Ganancia antena receptora	5 dB
Densidad de potencia transmitida UWB	-41.3, -60, -70, -82 dBm/MHz
Altura de la estación base	20 m.
Altura de la antena receptora	10 m.
Distancia entre estación base y antena	1-1000 m.
Pérdidas causadas por la pared	10 dB

## 4.7. Resultados obtenidos para una frecuencia de 5.4 GHz

La relación señal a ruido (SNR) para el caso de un sistema WiMax en el que hemos aumentado la frecuencia hasta el valor de 5.4 GHz sigue la misma representación que en el caso anterior, es decir, disminuye a medida que aumenta la distancia entre los sistemas WiMAX. Además el valor de la SNR disminuye notablemente cuando aumentamos el valor de la densidad de potencia del sistema UWB.

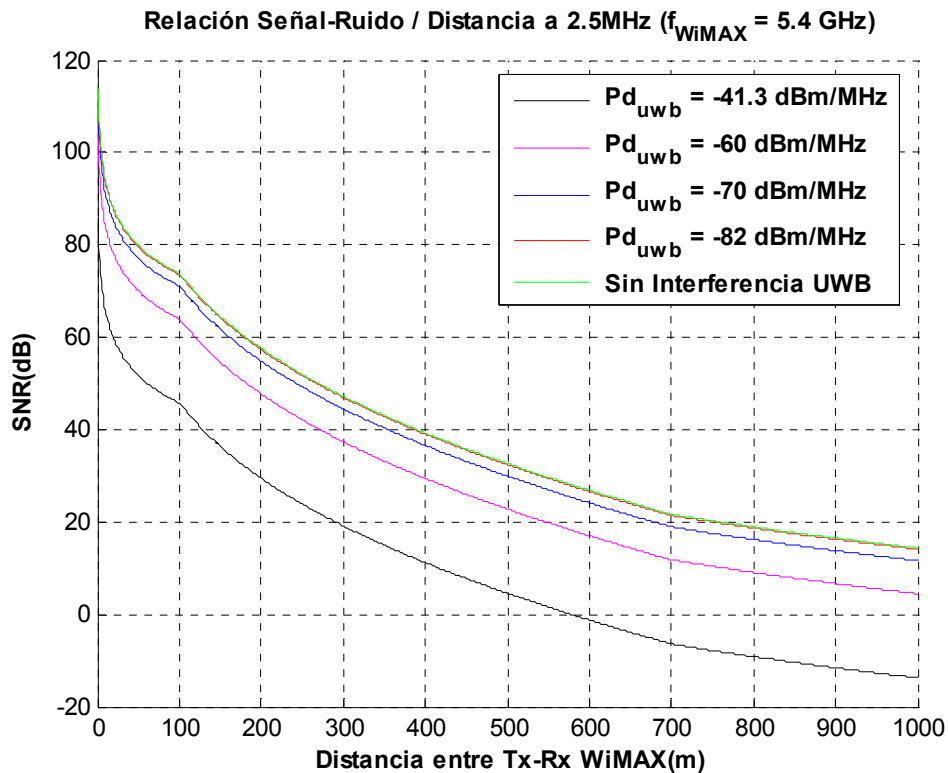
Hay que destacar, para este caso, que los valores de la relación señal a ruido obtenidos para esta frecuencia han sufrido un ligero aumento con respecto a los que teníamos en el caso en el que la frecuencia central se encontraba en 3.5 GHz. Este factor provocará que el decrecimiento del radio de cobertura con respecto al sistema sin interferencias sea menor que en el caso anterior, lo que hará mejorar las prestaciones en nuestro sistema.

A continuación, se presenta un estudio de la SNR para las diferentes interferencias UWB (con distintas densidades de potencia transmitida). Cada figura (Figura 4.18-Figura 4.22) representa un ancho de banda del canal distinto.

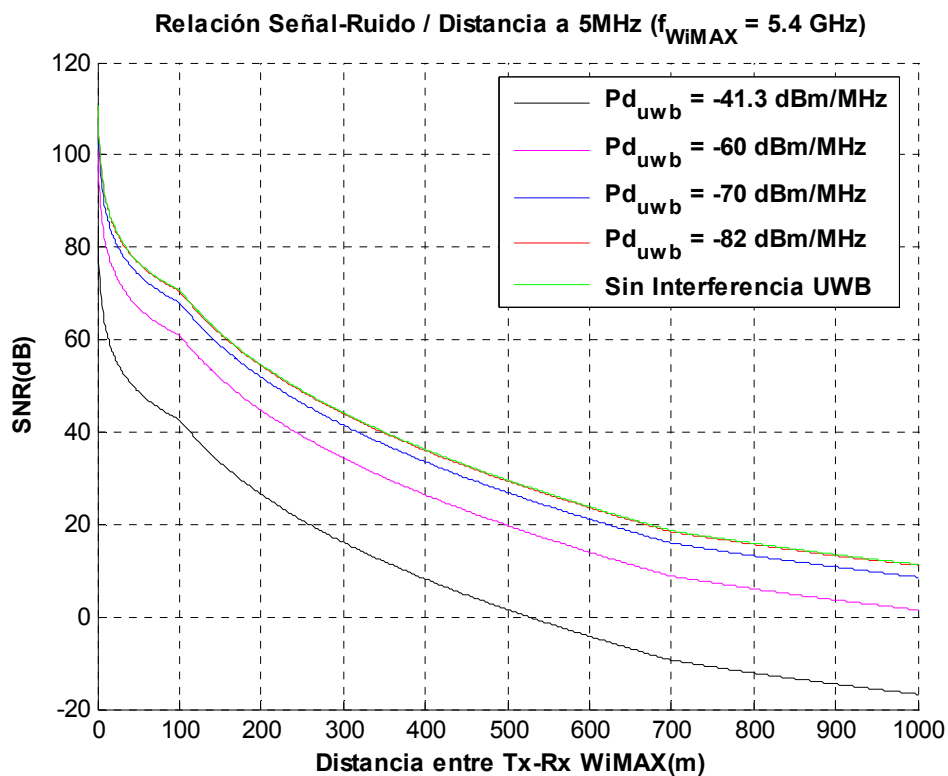


**Figura 4.18:** Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 1.25 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.

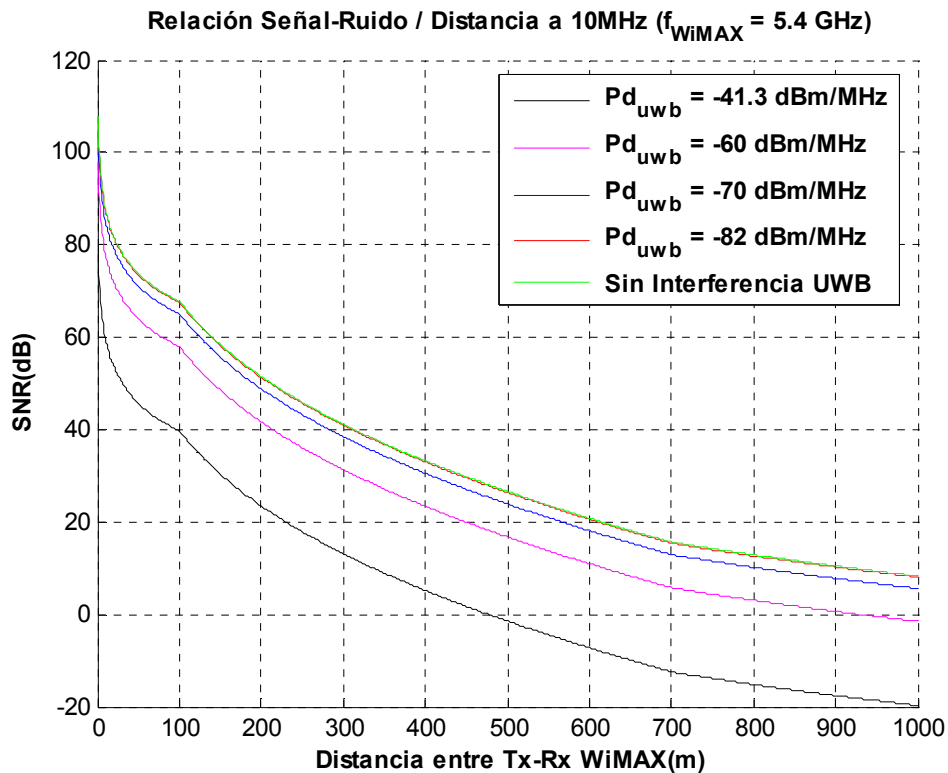




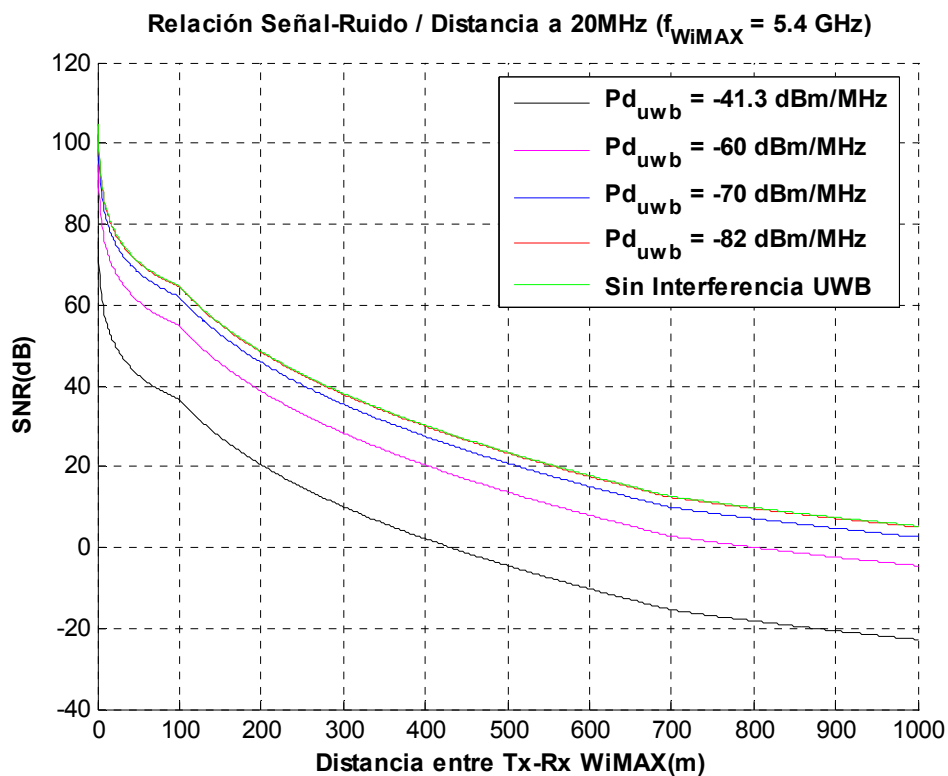
**Figura 4.19:** Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 2.5 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.



**Figura 4.20:** Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 5 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.



**Figura 4.21:** Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 10 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.



**Figura 4.22:** Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.

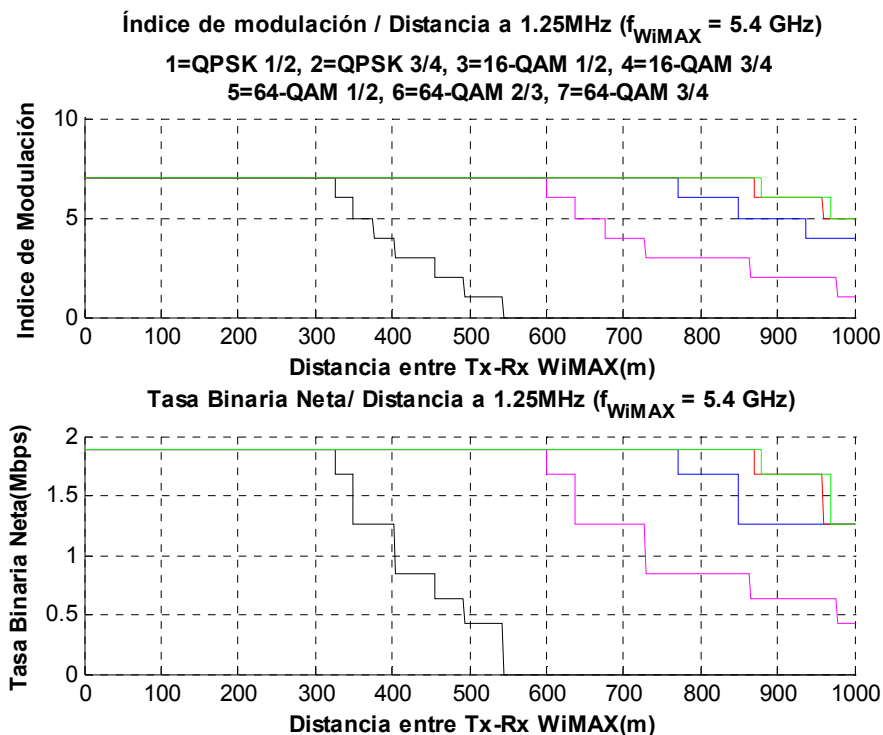
Las conclusiones finales de los resultados obtenidos anteriormente son:

- A mayor potencia transmitida, mayor SNR en el receptor.
- A mayor densidad de potencia UWB, menor SNR.
- A mayor ancho de banda del canal, menos SNR.
- A mayor frecuencia central del sistema WiMAX, mayor SNR.

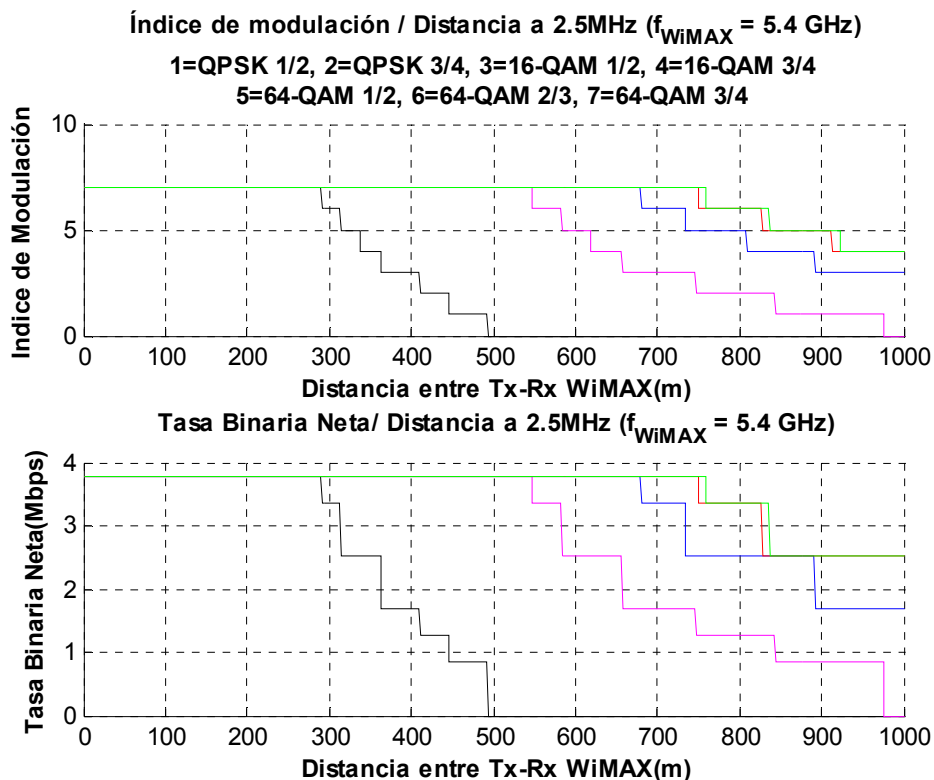
A continuación, vamos a hacer un estudio sobre los índices de modulación y la tasa binaria para las distintas densidades de potencia del sistema UWB. A partir de las figuras representadas posteriormente (Figura 4.23- Figura 4.27), que, a medida que aumenta la potencia transmitida, existe un mayor alcance y un mayor índice de modulación. A menor densidad de potencia transmitida por el sistema UWB, obtenemos una menor interferencia y, por tanto, un mayor alcance e índice de modulación. Los valores utilizados para la simulación de este sistema son los representados en la Tabla 4.2 y en la Tabla 4.3.

Los resultados obtenidos mejoran con respecto a los simulados en el apartado anterior. Según la propuesta realizada por la FCC para una densidad de potencia UWB de  $-41$  dBm/MHz, obtendríamos unos índices de modulación que descienden bruscamente, y supone una diferencia de 25-35% (65-75% pérdidas) respecto al conseguido sin interferencia UWB, lo que supone unas pérdidas excesivas y un descenso de calidad inaceptable. Únicamente se podrán aceptar unas pérdidas de 1-4%.

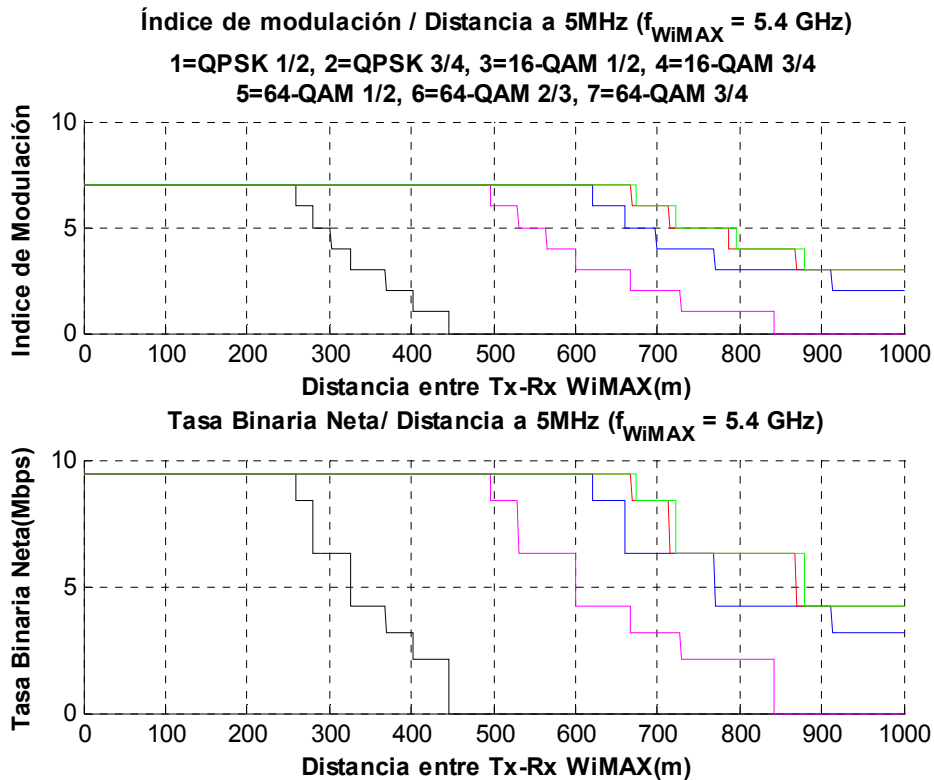
Para el caso de una densidad de potencia transmitida por UWB de  $-82$  dBm/MHz se obtiene unas pérdidas cercanas al 1%, lo que supone una cifra tolerable y muy válida para el usuario. El resto de casos proporciona pérdidas inadmisibles para el usuario.



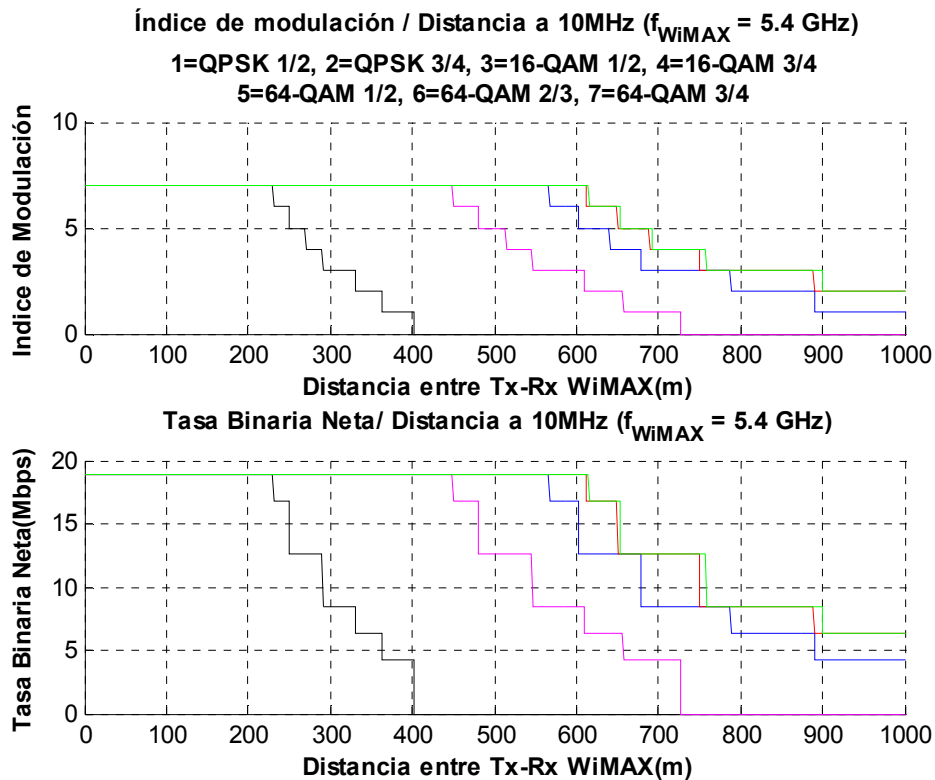
**Figura 4.23:** Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 1.25 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.



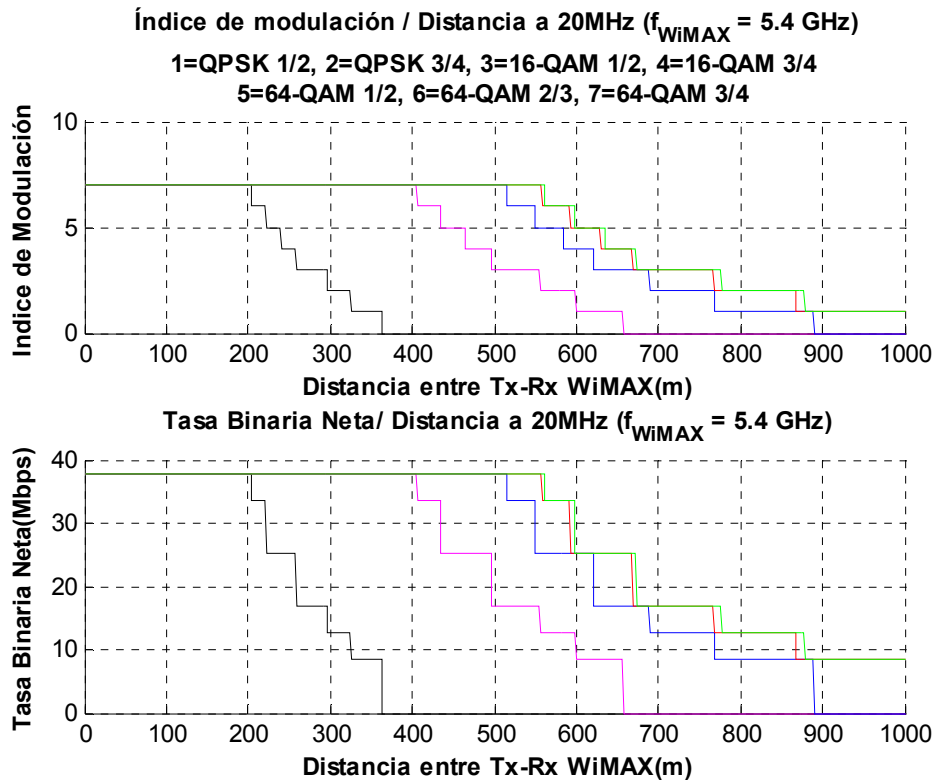
**Figura 4.24:** Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 2.5 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.



**Figura 4.25:** Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 5 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.



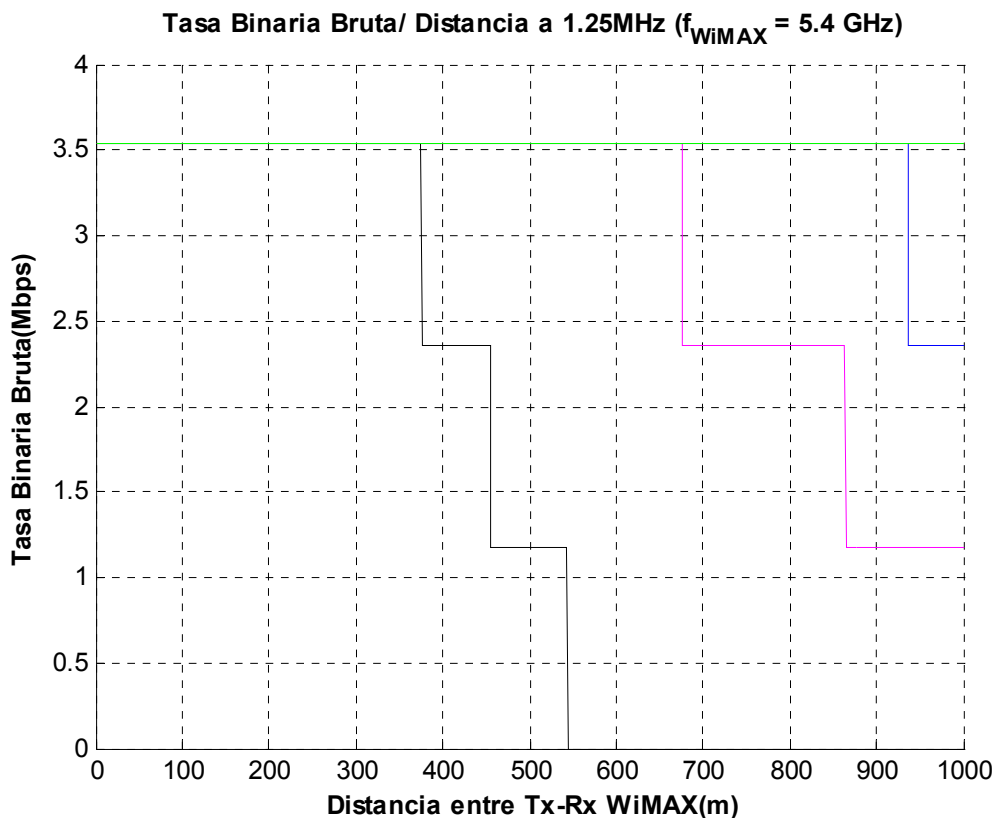
**Figura 4.26:** Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 10 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.



**Figura 4.27:** Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.

Para el cálculo de la tasa binaria bruta utilizaremos la misma fórmula y valores que en el caso anterior adecuándola a la frecuencia central simulada. Para ello tomaremos la fórmula 4.13 con los valores correspondientes de la tabla 4.3. Los valores del ancho de banda del canal, sampling factor, número de bits por símbolo, overhead y tiempo de guarda seguirán el mismo formato que en el caso de 3.5 GHz.

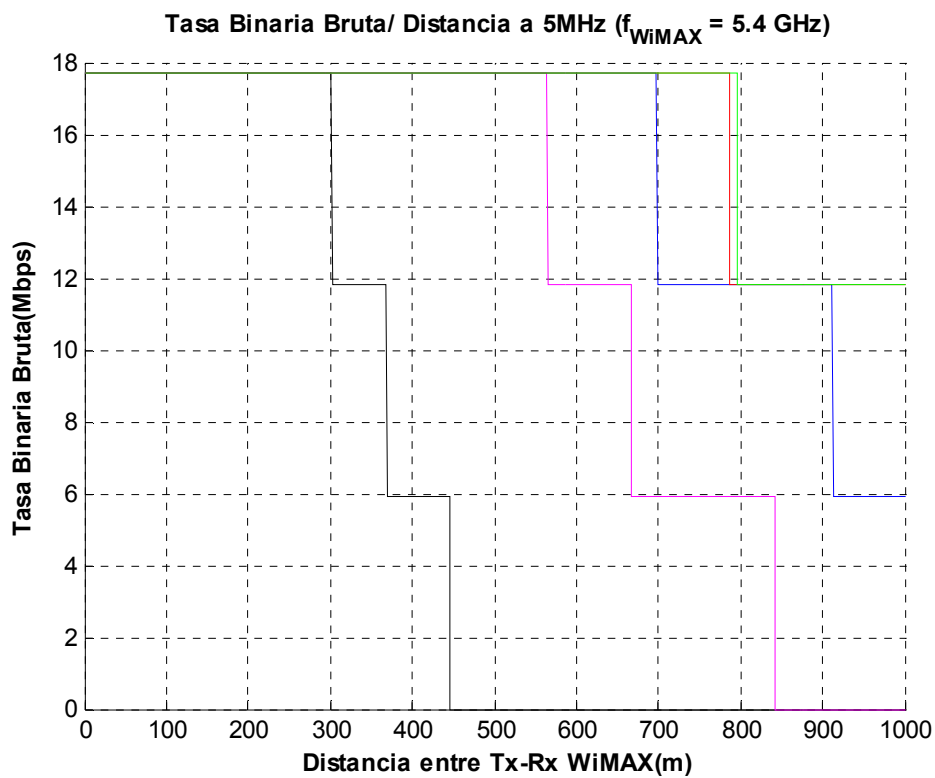
En la representación de la tasa binaria bruta (Figura 4.28 – Figura 4.32) se puede observar que sigue una representación parecida al de la tasa binaria neta, aunque únicamente tenemos tres modulaciones (QPSK, 16-QAM, 64-QAM), lo que provoca los tres niveles en el cálculo de esta tasa. Esto se debe a que no se tiene en cuenta el FEC, lo que conlleva que sólo se tiene en cuenta el índice de la modulación correspondiente.



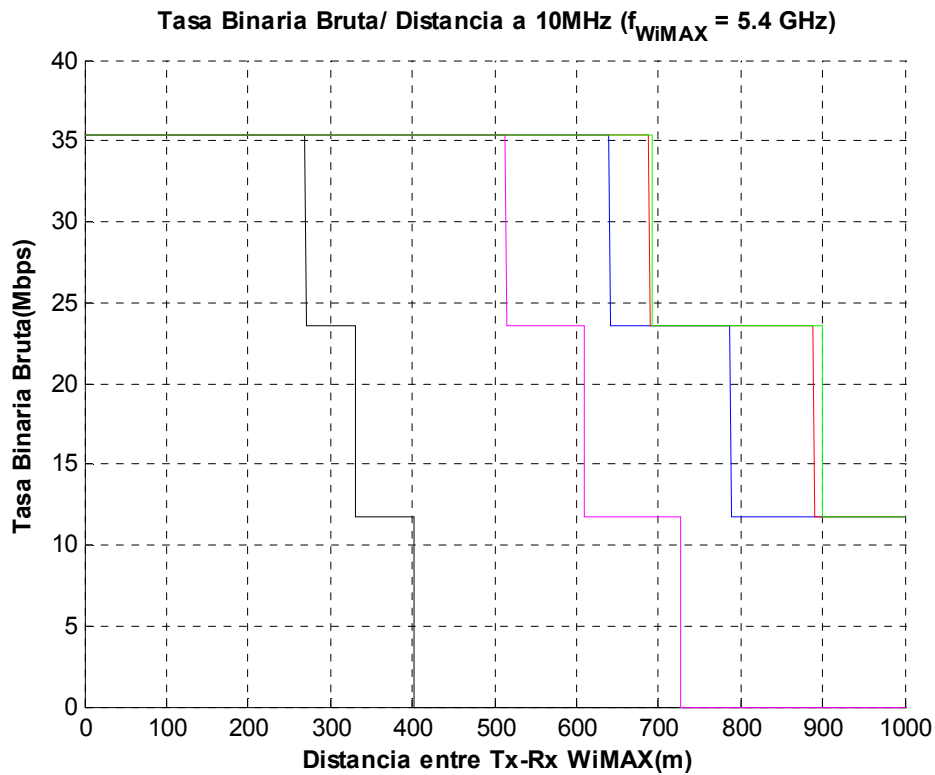
**Figura 4.28:** Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 1.25 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.



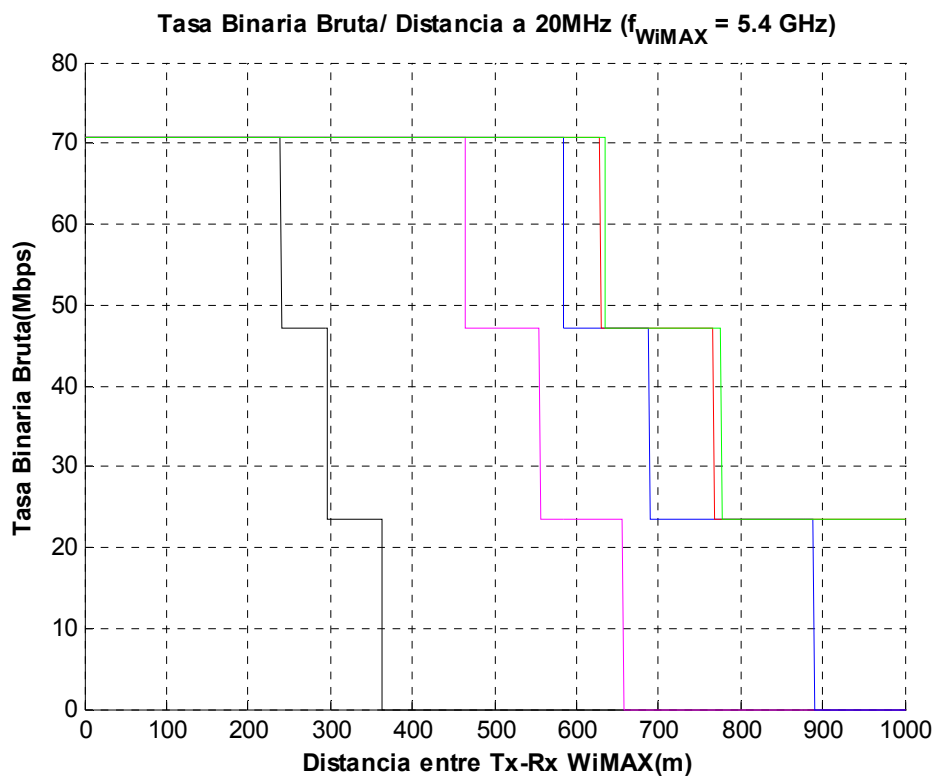
**Figura 4.29:** Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 2.5 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.



**Figura 4.30:** Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 5 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.



**Figura 4.31:** Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 10 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.



**Figura 4.32:** Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiMAX (1m. a 1Km.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central 5.4 GHz y PIRE WiMAX de 58 dBm.



A continuación, vamos a realizar una tabla (Tabla 4.7) que refleje numéricamente la disminución de calidad de la señal viendo los rangos de cobertura para los distintos tipos de modulación y densidad de potencia UWB para un ancho de banda de canal de 20 MHz.

**Tabla 4.7:** Rango de cobertura para los distintos tipos de modulación simulados con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.4 GHz y PIRE de WiMAX de 58 dBm.

TIPO DE MODULACIÓN	Pd <sub>UWB</sub> (dBm/MHz)				
	-41.3	-60	-70	-82	SIN UWB
QPSK ½	325-362 m.	600-656 m.	769-889 m.	868-1003 m.	878-1015 m.
QPSK ¾	296-324 m.	556-599 m.	689-768 m.	768-867 m.	777-877 m.
16-QAM ½	259-295 m.	497-555 m.	621-688 m.	669-767 m.	673-776 m.
16-QAM ¾	240-258 m.	465-496 m.	585-620 m.	630-668 m.	635-672 m.
64-QAM ½	222-239 m.	435-464 m.	550-584 m.	593-629 m.	598-634 m.
64-QAM ⅔	205-221 m.	406-434 m.	516-549 m.	558-592 m.	562-597 m.
64-QAM ¾	0-204 m.	0-405 m.	0-515 m.	0-557 m.	0-561 m.

Como ya hemos comentado anteriormente, el decrecimiento del radio de cobertura en este estudio mejora con respecto al caso en el que la frecuencia central se encuentra en 3.5 GHz. Cuando la densidad de potencia del sistema UWB toma un valor de -82 dBm/MHz, obtenemos únicamente un decrecimiento del radio de cobertura menor de un 1 % y un decrecimiento de la superficie de cobertura muy pequeño respecto del caso en el que no existe interferencia con el sistema UWB. Además se obtiene una cobertura hasta los 1003 m. Estos datos difieren mucho del caso propuesto por la FCC en el que hay un decrecimiento del radio de cobertura enorme, cercano a un 70 %, y una cobertura únicamente de 204 m. Estas son cifras inadmisibles para el usuario. Por esta razón, la solución es buscar una densidad de potencia transmitida alrededor de -82 dBm/MHz, ya que es una cifra óptima para el usuario.

Las especificaciones WiMAX para las simulaciones realizadas se presentan en la Tabla 4.8:

**Tabla 4.8:** Especificaciones WiMAX para una frecuencia central de 5.4 GHz [21].

Parámetros	Valores
Banda de frecuencia	5.4 GHz
Anchos de banda del canal	1.25, 2.5, 5, 10, 20
Factor de Ruido (NF)	7 dB
Margen de interferencias (M)	0 dB
Potencia de ruido en el receptor	-114 dBm
PIRE de WiMAX	58 dBm
Ganancia antena receptora	5 dB
Densidad de potencia transmitida UWB	-41.3, -60, -70, -82 dBm/MHz
Altura de la estación base	20 m.
Altura de la antena receptora	10 m.
Distancia entre estación base y antena	1-1000 m.
Pérdidas causadas por la pared	10 dB

## 5. Efecto producido por UWB sobre WiFi

### 5.1. Introducción al sistema WiFi

WiFi es un sistema de envío de datos sobre redes computacionales que utiliza una tecnología de comunicación inalámbrica [Anexo C] mediante ondas de radio en lugar de cables. WiFi no es exactamente una abreviatura de Wireless Fidelity, ya que se tomó como el nombre comercial de salida a venta. Se trata de un conjunto de estándares para redes inalámbricas basado en los estándares IEEE 802.11 (Ethernet inalámbrica). Actualmente abarca los estándares de: 802.11b, 802.11a, 802.11g ofreciendo conectividad, fiabilidad y seguridad tanto entre terminales inalámbricos como en redes con hilos asegurando compatibilidad entre equipos de distintos fabricantes que lo cumplan, consiguiendo máximas tasas teóricas de 11Mbps. De hecho, su velocidad y alcance (unos 100-150 metros en hardware asequible) lo convierten en una fórmula perfecta para el acceso a Internet sin cables.

### 5.2. Fundamentos de la tecnología WiFi

En 1999 surge una asociación llamada WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) creada por Nokia y Symbol Technologies. Esta asociación pasó a denominarse Wi-Fi Alliance en 2003. El objetivo de la misma fue crear una marca que permitiese fomentar más fácilmente la tecnología inalámbrica y asegurar la compatibilidad de equipos.

En abril de 2000 WECA certifica la interoperabilidad de equipos según la norma IEEE 802.11b bajo la marca WiFi. Esto quiere decir que el usuario tiene la garantía de que todos los equipos que tengan el sello WiFi pueden trabajar juntos sin problemas, independientemente del fabricante de cada uno de ellos. En ese año, la asociación WECA estaba formada ya por casi 150 miembros en su totalidad.

La norma IEEE 802.11 fue diseñada para sustituir el equivalente a las capas físicas y MAC de la norma 802.3 (Ethernet). Esto quiere decir que en lo único que se diferencia una red Wi-Fi de una red Ethernet es en cómo se transmiten las tramas o paquetes de datos; el resto es idéntico. Por tanto, una red local inalámbrica 802.11 es completamente compatible con todos los servicios de las redes locales (LAN) de cable 802.3 (Ethernet).

Existen diversos tipos de WiFi, basado cada uno de ellos en un estándar IEEE 802.11 aprobado. El 802.11b fue estandarizado por la IEEE para evitar problemas con los sistemas propietarios de la primera generación. Utiliza una codificación avanzada de CCK (Complementary Code Keying, cuyos códigos tienen una alta distancia media, así en entornos multitrayecto, la probabilidad de bit es reducida), lo que le permite alcanzar teóricamente los 11Mbps, y una tecnología DSSS. Además desarrolló mecanismos de protección como WEP (Wired Equivalent Privacy, se encarga de la autenticación, protección de tramas y confidencialidad), poco eficaz. Su gran implantación es debida a que la banda que usa es gratuita y los dispositivos son de bajo precio [22]

El 802.11a, conocido como WiFi 5, fue una evolución del anterior. Opera en la banda de 5 GHz y disfruta de una operatividad con canales relativamente limpios. La

banda de 5 GHz ha sido recientemente habilitada y, además, no existen otras tecnologías (Bluetooth, microondas, ZigBee, WUSB) que la estén utilizando; por lo tanto existen muy pocas interferencias. Su alcance es algo menor que el de los estándares que trabajan a 2.4 GHz (aproximadamente un 10%), debido a que la frecuencia es mayor (a mayor frecuencia, menor alcance). Puede llegar hasta 54 Mbps y emplea la tecnología de OFDM, lo que provoca un menor rango de cobertura por la atenuación sufrida en esta banda.

El 802.11g emplea OFDM también y consigue los 54 Mbps en la banda de 2.4 GHz. Permite la interoperabilidad con el 802.11b con tecnología DSSS y a 11 Mbps. Consigue un mecanismo de seguridad más robusto que los anteriores, llamado WPA (Wi-Fi Protected Access).

Estos tres estándares consiguen, para el nivel máximo de potencia permitido, una cobertura en espacios abiertos de 300m y de alrededor de 100m en interiores. El estándar 802.11n, que proporcionará mayor ancho de banda y una velocidad de 108 Mbps, surgió a principios de este año, concretamente a finales del mes de enero. Una de sus características principales, aunque no la única, es el MIMO (Multiple Input – Multiple Output) [23].

El IEEE 802.11 define tres posibles opciones para la elección de la capa física:

- Espectro expandido por secuencia directa o DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). La secuencia que se utiliza para modular los bits se denomina secuencia de Baker. Utiliza tres tipos de modulación: DBPSK, DQPSK y CCK, que es la que mayor tasa consigue.
- Espectro expandido por salto de frecuencias o FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). Esta técnica también utiliza la zona de los 2.4GHz, la cual se organiza en 79 canales con un ancho de banda de 1MHz cada uno. El número de saltos por segundo es regulado por cada país, así, por ejemplo, Estados Unidos fija una tasa mínima de saltos de 2.5 por segundo. El estándar IEEE 802.11 define la modulación en frecuencia FSK (Frequency Shift Keying), con una velocidad de 1Mbps ampliable a 2Mbps.
- Luz infrarroja en banda base. Modulaciones de 16-PPM y 4-PPM. No está muy desarrollado.

### 5.3. Ventajas y desventajas de WiFi

Las redes WiFi poseen una serie de ventajas, entre las cuales podemos destacar [23]:

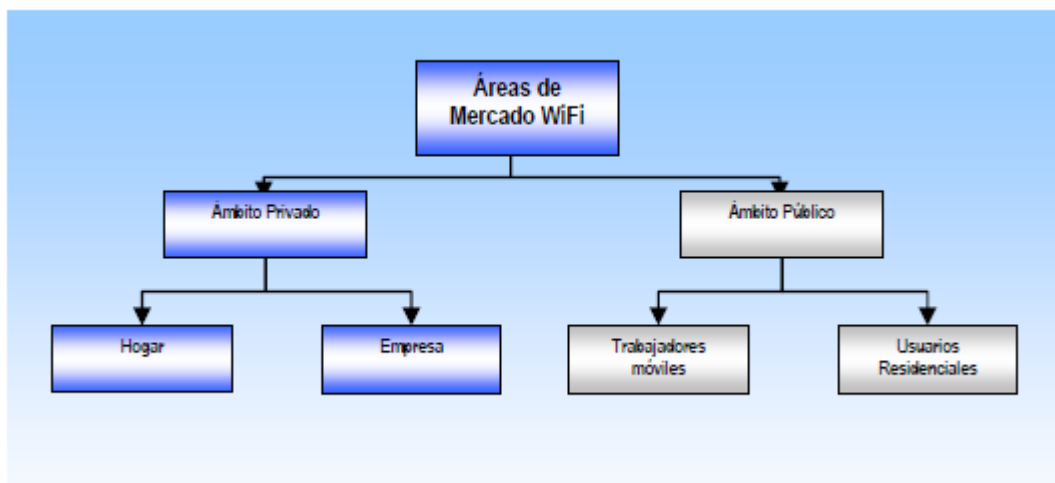
- La comodidad que ofrecen es muy superior a las redes cableadas porque cualquiera que tenga acceso a la red puede conectarse desde distintos puntos dentro de un rango suficientemente amplio de espacio.
- Permiten el acceso de múltiples ordenadores sin ningún problema ni gasto en infraestructura, no así en la tecnología por cable.
- La WiFi Alliance asegura que la compatibilidad entre dispositivos con la marca WiFi es total, con lo que en cualquier parte del mundo podremos utilizar la tecnología WiFi con una compatibilidad total. Esto no ocurre, por ejemplo, en móviles.

La tecnología WiFi presenta también algunos problemas debido a su perfil inalámbrico:

- Pérdida de velocidad en comparación a una conexión con cables, debido a las interferencias y pérdidas de señal que el ambiente puede acarrear.
- Existen algunos programas capaces de capturar paquetes, trabajando con su tarjeta WiFi en modo promiscuo, de forma que puedan calcular la contraseña de la red y de esta forma acceder a ella. Las claves de tipo WEP son relativamente fáciles de conseguir con este sistema.
- Uno de los puntos débiles es el hecho de no poder controlar el área que la señal de la red cubre, por esto es posible que la señal exceda el perímetro del edificio y alguien desde fuera podrá visualizar la red.
- Hay que señalar que esta tecnología no es compatible con otros tipos de conexiones sin cables como Bluetooth, GPRS, UMTS, etc.

## 5.4. Aplicaciones de WiFi

El desarrollo inicial del WiFi fue pensado para su aplicación como LAN inalámbrica dentro de un ámbito privado para hogares y empresas. El desarrollo posterior ha abierto expectativas en cuanto a la aplicación en entornos públicos. La Figura 5.1 refleja los ámbitos de aplicación de la tecnología WiFi [23].



**Figura 5.1:** Ámbitos de aplicación de la tecnología WiFi.

WiFi aparece en el hogar como una alternativa para el Home Networking, es decir, su utilización permite la interconexión de diferentes dispositivos de forma inalámbrica bajo un mismo estándar y de una forma sencilla y económica. Cada día son más los hogares que disponen de varios ordenadores y donde diversos dispositivos deben ser compartidos como es el caso de las impresoras, discos duros, etc. No es tan necesaria la interacción de dispositivos como el acceso a contenidos digitales: música, vídeo, fotografías,... Diversos fabricantes están desarrollando nuevos equipos relacionados con el ocio, los cuales incorporan WiFi como estándar. Es el caso de las nuevas cadenas de música que, además de las características estándar de reproducción de DVDs, radio, y otros, son capaces de conectarse a librerías de audio codificadas en MP3, tanto de forma local a la red del hogar, o a servidores de Internet a través del acceso compartido en banda ancha.

Las consolas son otro dispositivo claro de uso de las redes del hogar. Su conexión a Internet es ya una realidad y la incorporación de nuevas aplicaciones conectadas a Internet desde la red del hogar permiten el desarrollo de nuevos entornos.

En el caso de redes ciudadanas WiFi está jugando un papel “de poco recorrido”. Estas iniciativas tratan de crear una oferta de acceso a Internet, compartiendo los accesos disponibles con otros ciudadanos. En España es muy poco probable que se desarrolle, dado que una red “estable y de calidad” precisa de unas inversiones y unos costes de mantenimiento. Hacer eso compatible con la gratuidad total parece un poco difícil. Las experiencias conocidas hasta el momento carecen de un verdadero modelo de negocio que haga viable su desarrollo.

WiFi, además, aparece como una extensión inalámbrica de las Redes de Área Local en las empresas. En la empresa, una solución de Office Networking basada en WiFi presenta ventajas e inconvenientes. Las ventajas son claras:

- Movilidad de equipos.
- Ausencia de cableado.
- Libertad en los cambios organizativos.
- Acceso a la red independientemente del puesto de trabajo.

Por el contrario, si el tráfico es medianamente alto la solución cableada es superior, dado que en un Punto de Acceso se concentran, en general, las comunicaciones de todos los usuarios y el caudal se reparte entre los usuarios simultáneos. No obstante, la aparición de dispositivos como el 802.11g, así como dispositivos “duales” 802.11 a y b, modifican este escenario permitiendo alcanzar velocidades del orden de 50 Mbps. La solución mixta wireless-cableado parece la más adecuada para una empresa, dado que parte de la LAN se despliega de forma cableada y la WLAN es un complemento a la red existente.

El teletrabajo es otro de los aspectos importantes de aplicación del WiFi. Un teletrabajador es una persona que emplea gran parte del horario de trabajo fuera de la oficina, y en muchas ocasiones es desde el hogar desde donde realiza gran parte de su actividad laboral.

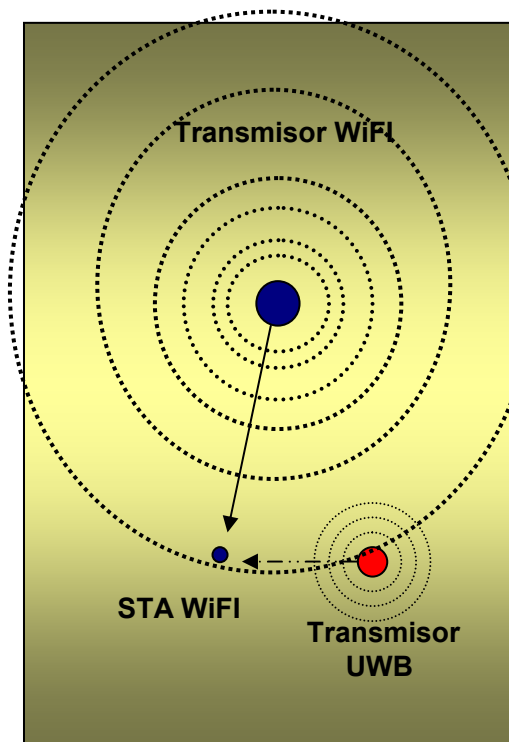
WiFi tiene otros ámbitos de aplicación adicionales a la conexión de ordenadores a Internet o a la LAN de la empresa. En el sector de seguridad, WiFi permite la interconexión inalámbrica de dispositivos de seguridad como son sensores remotos, cámaras de vídeo vigilancia... Empresas de seguridad comienzan desarrollar ofertas de vídeo vigilancia a través de conexiones de banda ancha.

Los hoteles, hospitales, universidad y algunas empresas de restauración aparecen como potenciales utilizadores del WiFi. Se trata de un valor añadido como oferta a sus clientes, pues posibilita la conexión a Internet inalámbrica desde las habitaciones, bibliotecas y, en definitiva, desde espacios comunes.

## 5.5. Modelo de propagación

WiFi es una tecnología que ofrece conexión a Internet en una zona controlada y concreta y que no abarca grandes distancias, por ejemplo su uso está extendido en locales, cafés, universidades... De hecho, actualmente, con la comercialización del iPhone se han desplegado numerosos 'hot spot' o zonas habilitadas para conectarse a Internet mediante esta tecnología.

El escenario que vamos a tratar en este caso será el de un transmisor WiFi colocado dentro de un recinto amplio, también se localizará un receptor WiFi y un elemento interferente, un transmisor UWB (Figura 5.2). Es por ello que consideraremos una situación indoor, donde las células o zonas de cobertura son pequeñas (de metros), del tipo micro-célula rectangular. Estudiaremos la densidad de potencia utilizada por el transmisor UWB, la máscara indoor que debe cumplir a esa frecuencia y así poder estudiar su comportamiento; en este caso, la máscara FCC dicta -41.3 dB/MHz.



**Figura 5.2:** Escenario a estudiar de la célula de cobertura con un transmisor y receptor WiFi y un transmisor interferente UWB.

La potencia máxima de emisión engloba la potencia de la tarjeta WiFi, la ganancia de la antena y las pérdidas de cable y conectores. Para nuestro estudio tomaremos valores del PIRE de WiFi de 10, 15 y 20 dBm, marcado como el máximo. En este caso, realizaremos la simulación para un frecuencia central de 5.3 GHz.

Para calcular las pérdidas de propagación en la transmisión WiFi utilizaremos la fórmula de "Two Slopes", con dos exponentes de propagación: el primero implica espacio libre, visión directa, fácil transmisión con  $n_1=2$ , y el segundo es típico en casos

indoor o recintos cerrados, cuando esta transmisión se da entre dispositivos más alejados,  $n_2 = 3.3$  que utilizaremos a partir de  $d_0 = 1$  m [24].

$$L_b(dB) = \begin{cases} L_p(d_0) + 10n_1 \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) - X\sigma & d \leq R_b \\ L_{R_b} + 10n_2 \log_{10}\left(\frac{d}{R_b}\right) - X\sigma & d > R_b \end{cases} \quad (5.1)$$

Donde:

- $R_b = 10$ .
- $n_1$  es el exponente de propagación hasta  $R_b$  (2)
- $n_2$  es el exponente de propagación a partir de  $R_b$  (Para 3.3)
- $d$  es la distancia entre transmisor y receptor en m.
- $d_0$  es el punto de referencia a 1 m.
- $\sigma$  es la desviación típica en dB
- $X$  es la probabilidad de que se transmita correctamente.
- $L_p(d_0)$  son las pérdidas de propagación halladas en  $d_0$ .
- $L_{R_b}$  se define como:

$$L_{R_b} = L_p(d_0) + 10n \log\left(\frac{R_b}{d_0}\right) \quad (5.2)$$

La antena emisora WiFi va a estar situada en el interior del edificio, es una situación indoor. Si suponemos el caso más desfavorable, el shadow fading ( $\xi$ ), de la tecnología WiFi va a ser siempre positivo, es decir, no hay obstáculos entre emisor y receptor y la señal se transmite directamente [13]. Por lo tanto, habrá que restar el factor  $\xi = X\sigma = \eta(0, \sigma)$ , variable aleatoria Gaussiana de media cero y con una desviación estándar que representa el efecto del shadowing, (pérdidas por desviación respecto del valor medio de la amplitud de la señal transmitida).  $X$  es una constante de pérdidas que toma un valor dependiendo del porcentaje de la población que va a recibir un buen servicio; por ejemplo, para una probabilidad del 99.9% de acierto, tomamos un valor de 2.23, que es el que mayoritariamente utilizaremos. En el caso de que nuestra constante tome valor nulo, estaremos evitando el margen extra de probabilidad de fallo y, por tanto, el resultado será una probabilidad de acierto del 50% para ofrecer el servicio. Sigma, es la desviación típica del shadowing. En caso indoor varía generalmente entre [1.6-3.3]. Nosotros hemos decidido utilizar siempre 2 por visión directa o espacio libre.

Para la obtención del valor de la SNR que se estudiará a continuación, se usarán las siguientes fórmulas según exista interferencia UWB o no.

$$SNR(dB) = 10 \log_{10} \begin{cases} \frac{S_{WiFi}}{P_n + i_{canal}}; \text{sin\_UWB} \\ \frac{S_{WiFi}}{P_n + i_{canal} + i_{UWB}}; \text{con\_UWB} \end{cases} \quad (5.3)$$



Donde:

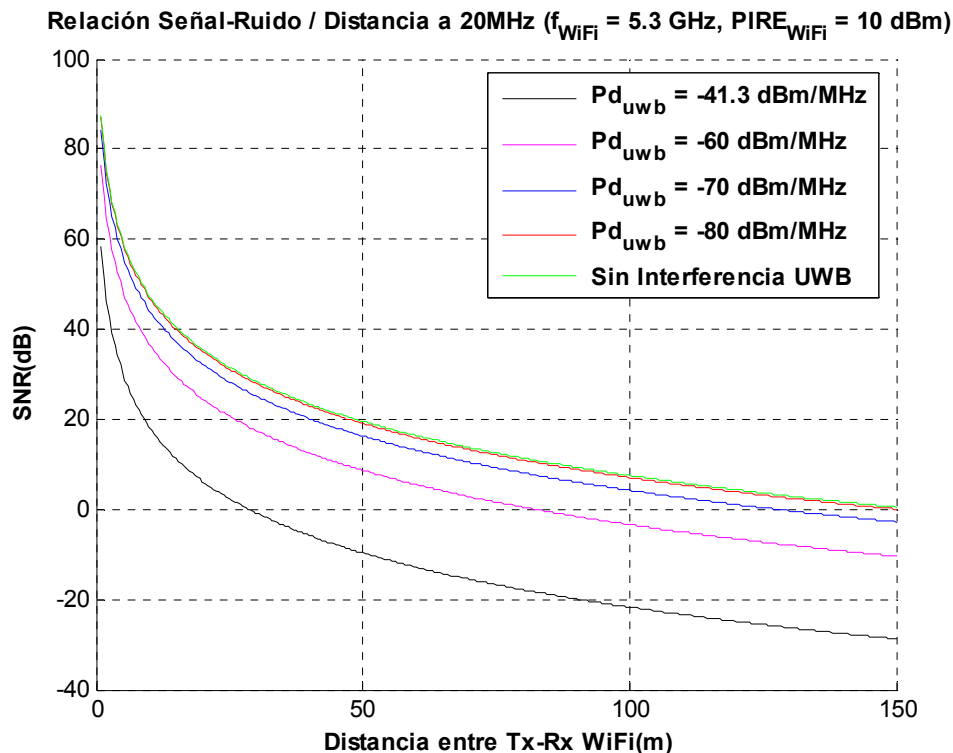
- $s_{WiFi}$  es la señal WiFi.
- $p_n$  es la potencia de ruido.
- $i_{canal}$  es la interferencia del canal que supondremos como 0.
- $i_{UWB}$  es la interferencia UWB.

Todos los valores están dados en unidades naturales, aunque se podría también calcular a partir de unidades logarítmicas. Tras obtener el valor de la SNR en dB y con los valores de la Tabla 5.1 obtendremos las distintas modulaciones a utilizar en cada caso.

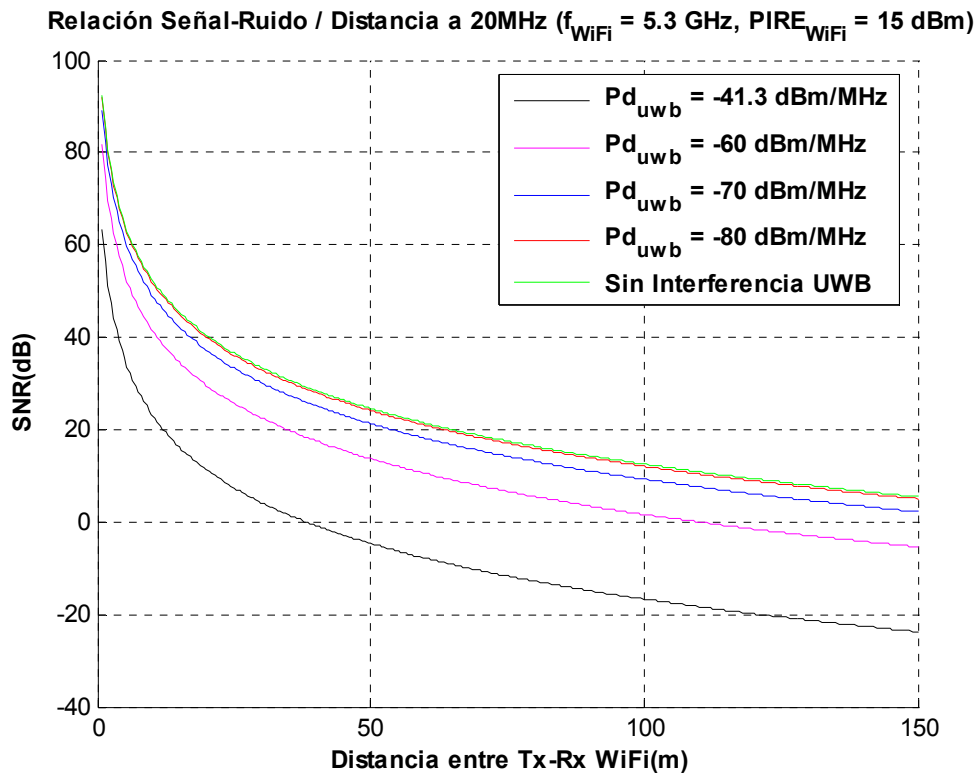
## 5.6. Resultados obtenidos para una frecuencia de 5.3 GHz

La relación señal a ruido para el caso de un sistema WiFi sigue la misma relación con la distancia que en los casos estudiados anteriormente. A medida que aumenta la distancia entre los terminales WiFi, la SNR disminuye notablemente, hasta llegar a valores por debajo de 0 dB en algunos casos. También se puede observar que el valor de la SNR disminuye según aumenta la potencia transmitida por el sistema UWB.

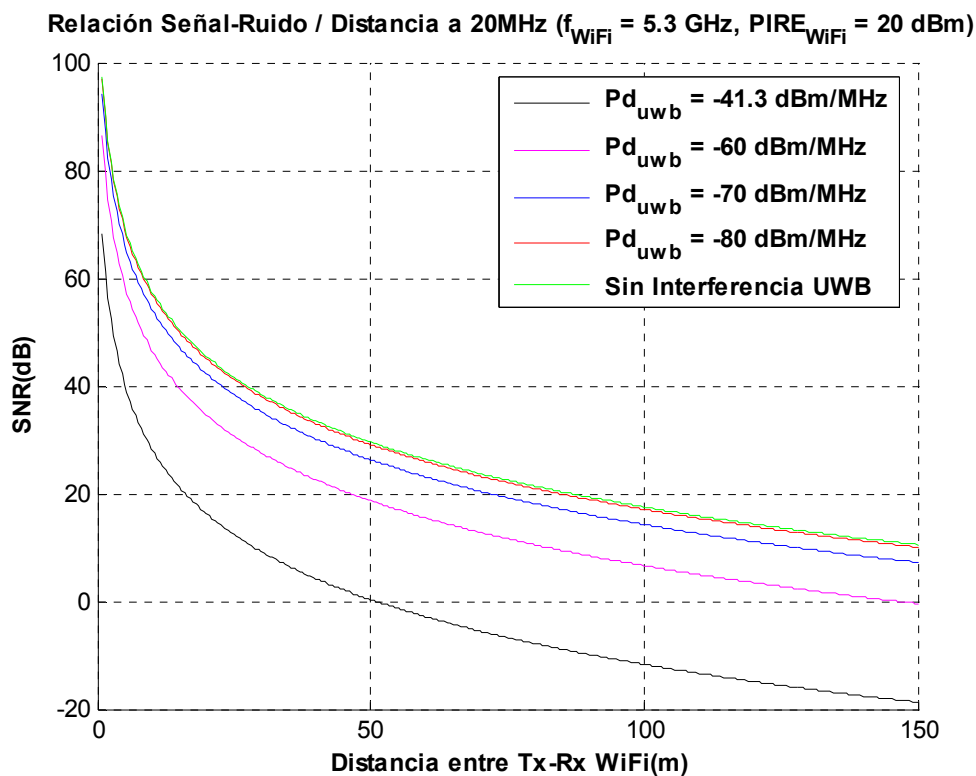
Todo esto hace que se reduzca la cobertura de la señal original. Para el caso en el que la densidad de potencia transmitida por el sistema UWB sea de -80 dBm/MHz, únicamente se reduce en un 2.5% aproximadamente. Esta es una cifra que ofrece una gran calidad. Para el resto de valores, la reducción de cobertura se encuentra fuera del rango válido para el usuario. En las siguientes gráficas (Figura 5.3 – Figura 5.5) se recogen los valores de la SNR para los distintos datos de  $Pd_{UWB}$  y PIRE del sistema WiFi.



**Figura 5.3:** Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 10 dBm.



**Figura 5.4:** Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 15 dBm.



**Figura 5.5:** Relación SNR para las distintas distancias entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 20 dBm.

Las conclusiones finales de los resultados obtenidos anteriormente son:

- A mayor potencia transmitida, mayor SNR en el receptor.
- A mayor densidad de potencia UWB, menor SNR.
- A mayor PIRE del sistema WiFi, menor SNR

El sistema WiFi estudiado en este apartado utiliza un sistema OFDM con 52 subportadoras con cuatro tipos de modulación: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM. El código de corrección de errores o FEC tiene unas tasas de  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{3}{4}$ . En la Tabla 5.1 se presentan los valores que relacionan el tipo de modulación con los índices de modulación, la SNR predeterminada y la tasa de transmisión de datos utilizada.

**Tabla 5.1:** Relación del índice de modulación, la SNR CC y la tasa de transmisión binaria con los distintos tipos de modulación

TIPO DE MODULACIÓN	ÍNDICE DE MODULACIÓN	SNR (dB)	Tasa Binaria Neta (Mb/s)
BPSK $\frac{1}{2}$	1	5.4	6
BPSK $\frac{3}{4}$	2	5.8	9
QPSK $\frac{1}{2}$	3	7.0	12
QPSK $\frac{3}{4}$	4	9.5	18
16-QAM $\frac{1}{2}$	5	11.3	24
16-QAM $\frac{3}{4}$	6	14.9	36
64-QAM $\frac{2}{3}$	7	18.6	48
64-QAM $\frac{3}{4}$	8	20.6	54

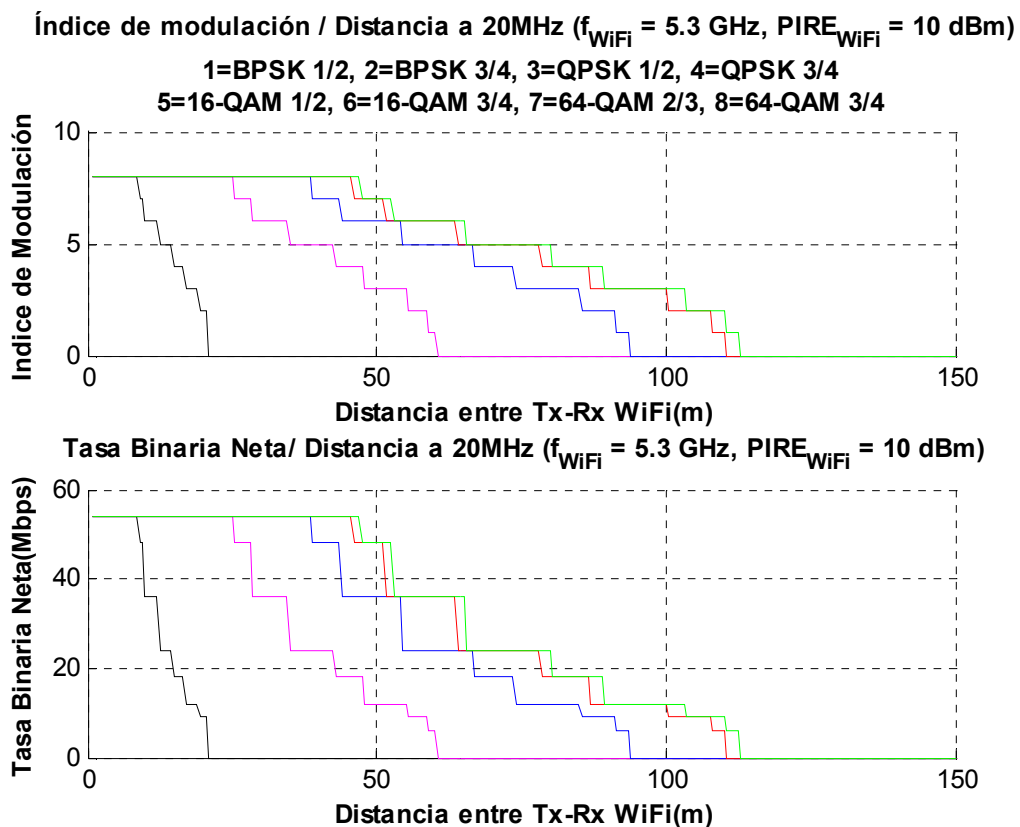
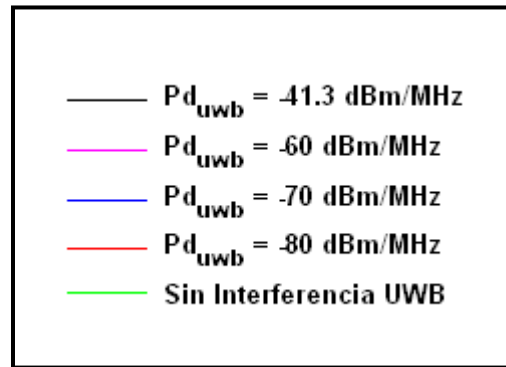
A partir de las figuras representadas posteriormente (Figura 5.6 – Figura 5.8), se observa que, a medida que aumenta la potencia transmitida, existe un mayor alcance y un mayor índice de modulación. A menor densidad de potencia transmitida por el sistema UWB, obtenemos una menor interferencia y, por tanto, un mayor alcance e índice de modulación.

Según la propuesta realizada por la FCC para una densidad de potencia UWB de -41 dBm/MHz, obtendríamos unos índices de modulación que descienden bruscamente alcanzando una distancia menor de 50 metros, lo que supone una diferencia menor de un 20% ( $\sim$ 80% pérdidas) respecto al conseguido sin interferencia UWB, lo que supone unas pérdidas excesivas y un descenso de calidad inaceptable. Únicamente se podrá aceptar unas pérdidas de 1-4%.

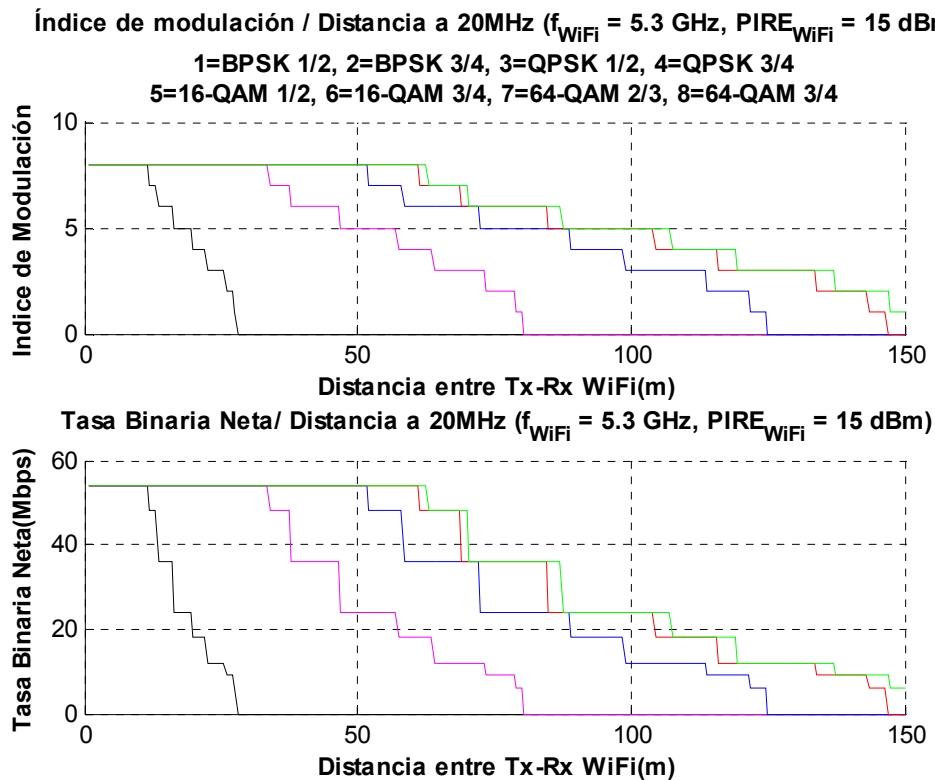
Para el caso de una densidad de potencia transmitida por UWB de -80 dBm/MHz se obtiene unas pérdidas únicamente del 2.5%, lo que supone una cifra tolerable para el usuario. El resto de casos proporciona pérdidas inadmisibles para el usuario.

Las figuras que representan la tasa binaria neta siguen la forma del tipo de modulación ya que tienen una relación directa entre ellas. La Tabla 5.2 representa la leyenda de las figuras mostradas posteriormente.

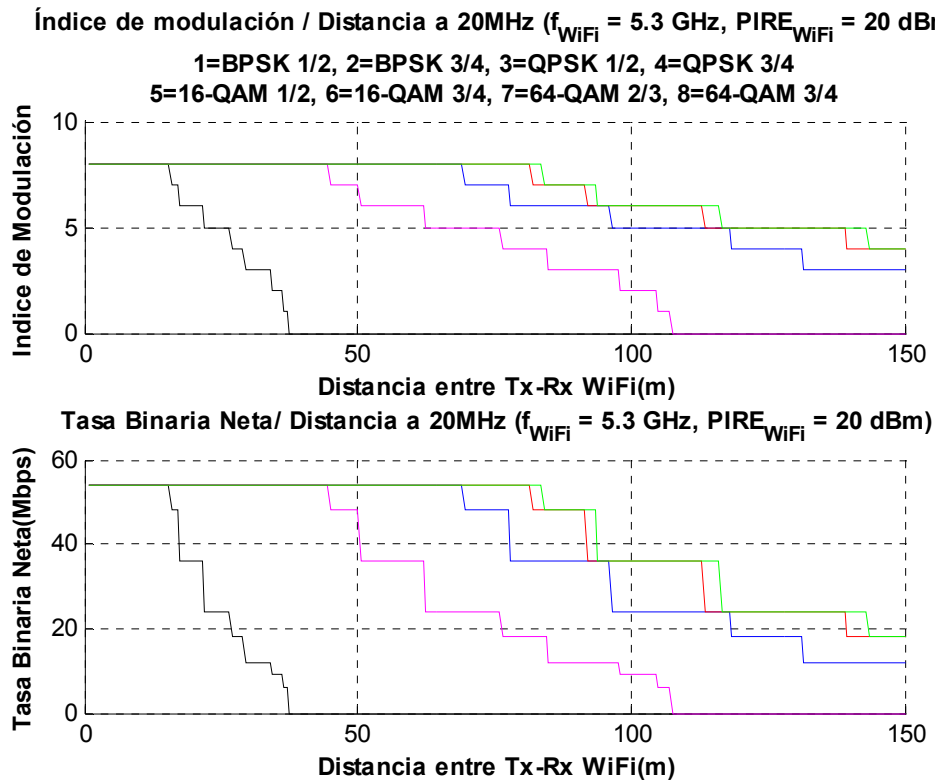
**Tabla 5.2:** Leyenda para las figuras de índice de modulación y tasa binaria para sistemas WiFi.



**Figura 5.6:** Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 10 dBm.



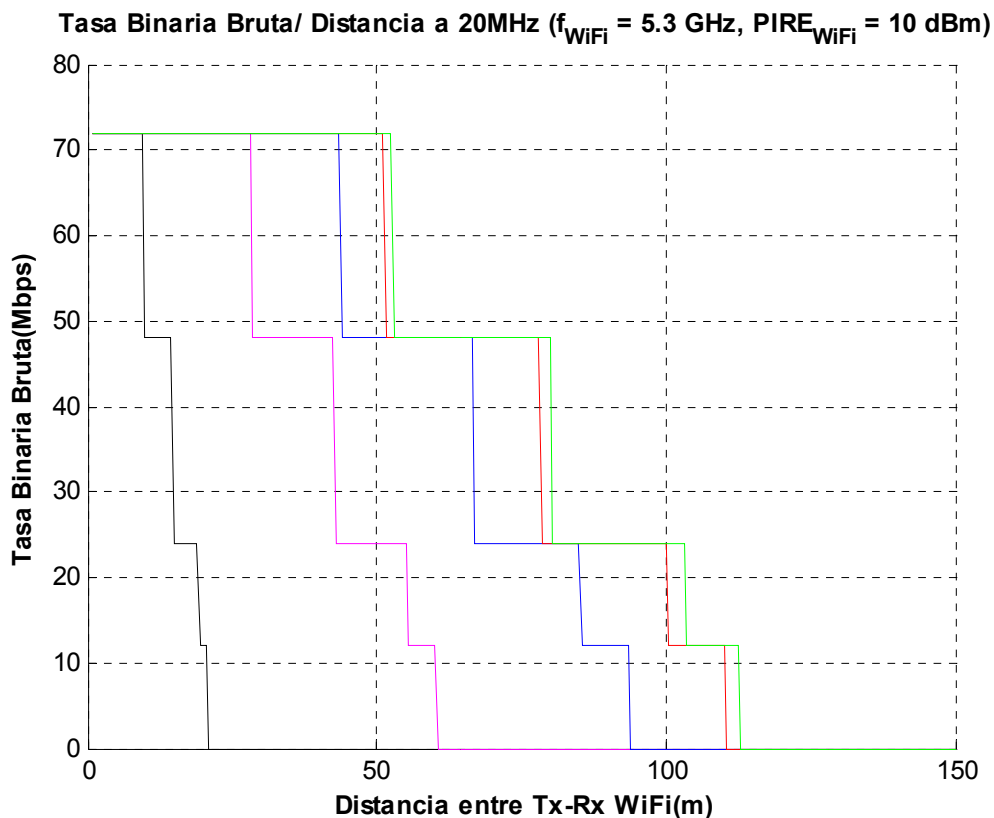
**Figura 5.7:** Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 15 dBm.



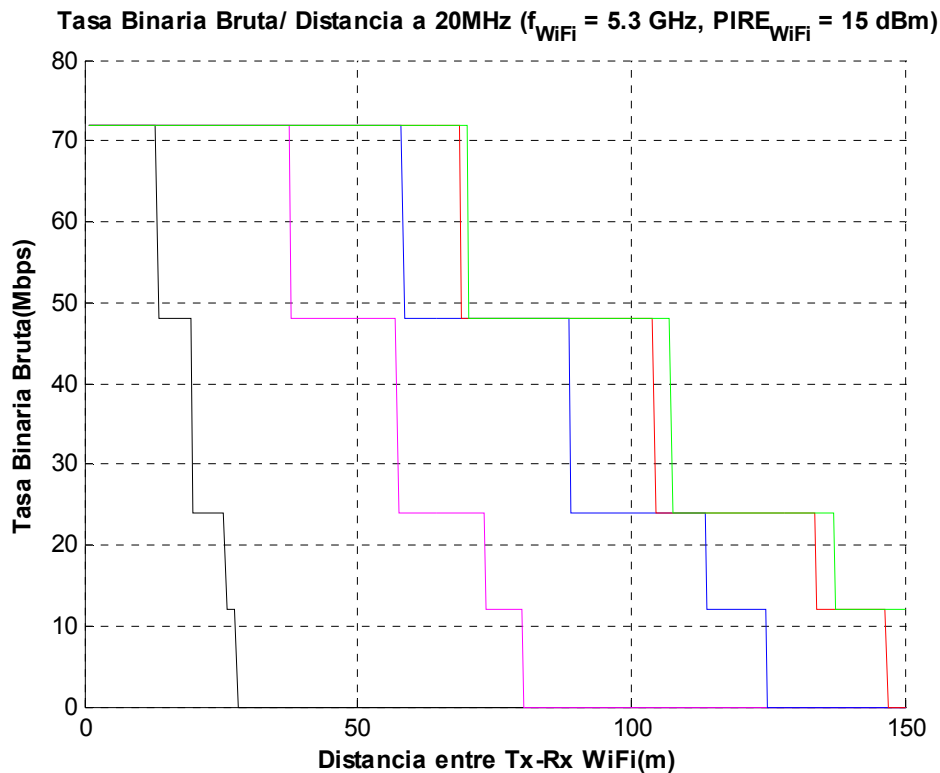
**Figura 5.8:** Rango de cobertura para las distintas modulaciones y su tasa binaria en función de la distancia entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 20 dBm.

Para el cálculo de la tasa binaria bruta, tomaremos los valores de la tasa binaria neta hallada anteriormente y lo multiplicaremos por el valor del FEC inverso. Esto nos dará un valor mayor que para el caso de la tasa neta, ya que todos los valores están multiplicados por una cifra mayor que la unidad.

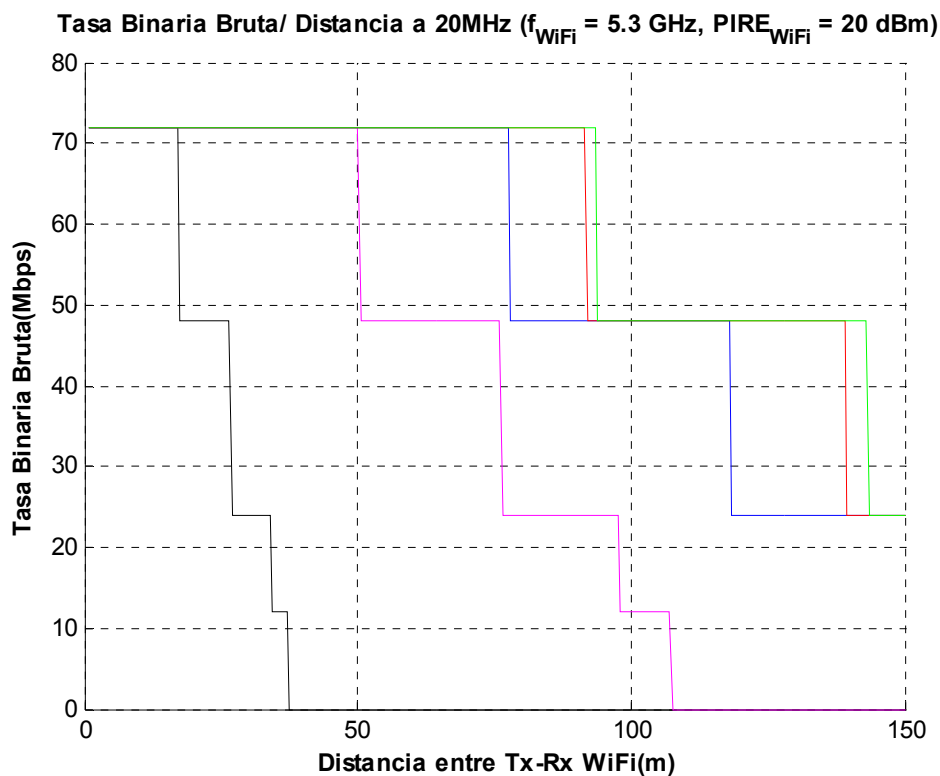
En la representación de la tasa binaria bruta (Figura 5.9 – Figura 5.11) se puede observar que sigue una representación muy parecida al de la tasa binaria neta con la diferencia de que no se tiene en cuenta el FEC, lo que conlleva que sólo se tiene en cuenta el índice de la modulación correspondiente. En este caso, tenemos cuatro modulaciones (BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM), lo que provoca los cuatro niveles en el cálculo de esta tasa.



**Figura 5.9:** Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 10 dBm.



**Figura 5.10:** Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 15 dBm.



**Figura 5.11:** Tasa binaria bruta en función de la distancia entre Tx-Rx WiFi (1m. a 150m.), con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 20 dBm.

A continuación, vamos a realizar una tabla (Tabla 5.3) que refleje numéricamente la disminución de calidad de la señal viendo los rangos de cobertura para los distintos tipos de modulación y densidad de potencia UWB para un ancho de banda de canal de 20 MHz.

**Tabla 5.3:** Rango de cobertura para los distintos tipos de modulación simulados con un ancho de banda del canal de 20 MHz. Frecuencia central de 5.3 GHz y PIRE de WiFi de 20 dBm.

TIPO DE MODULACIÓN	Pd <sub>UWB</sub> (dBm/MHz)				
	-41.3	-60	-70	-80	SIN UWB
BPSK ½	36.5-37 m.	105-107 m	163-166 m	191.5-195.5 m.	196.5-200.5 m.
BPSK ¾	34.5-36 m.	98-104.5 m.	152-162.5 m.	178.5-191 m.	183.5-196 m.
QPSK ½	29.5-34 m.	85-97.5 m.	131.5-151.5 m.	155-178 m.	159-183 m.
QPSK ¾	27-29 m.	76.5-84.5 m.	118.5-131 m.	139.5-154.5 m.	143.5-158.5 m.
16-QAM ½	22-26.5 m.	62.5-76 m.	96.5-118 m.	113.5-139 m.	116.5-143 m.
16-QAM ¾	17.5-21.5 m.	50.5-62 m.	78-96 m.	92-113 m.	94-116 m.
64-QAM ⅓	16-17 m.	45-50 m.	69.5-77.5 m.	82-91.5 m.	84-93.5 m.
64-QAM ¾	0-15.5 m.	0-44.5 m.	0-69 m.	0-81.5 m.	0-83.5 m.

Como se puede observar en la tabla, para el caso en el que la densidad de potencia transmitida por el sistema UWB es -80 dBm/MHz, obtenemos únicamente un decrecimiento del radio de cobertura de un 2.5 % y un decrecimiento de la superficie de cobertura de 5% respecto del caso en el que no existe interferencia con el sistema UWB. Además se obtiene una cobertura hasta los 195.5 m. En relación con la cobertura sin interferencia UWB representaría un 97.5 %. Estos datos difieren mucho del caso propuesto por la FCC en el que hay un decrecimiento del radio de cobertura enorme, mayor del 80 % y una cobertura únicamente de 37 m. Por todo esto, la única posibilidad es buscar un valor cercano a los -80 dBm/MHz, valor admisible para el usuario.



Las especificaciones WiFi para las simulaciones realizadas se presentan en la Tabla 5.4:

**Tabla 5.4:** Especificaciones WiFi para una frecuencia central de 5.3 GHz [25].

Parámetros	Valores
Banda de frecuencia	5.3 GHz
Anchos de banda del canal	20 MHz
Factor de Ruido (NF)	6 dB
Margen de interferencias (M)	0 dB
Potencia de ruido en el receptor	-114 dBm
PIRE de WiFi	10, 15, 20 dBm
Ganancia antena receptora	5 dB
Densidad de potencia transmitida UWB	-41.3, -60, -70, -80 dBm/MHz
Distancia entre estación base y antena	1-150 m.



## **6. Efecto producido por UWB sobre sistemas de Radar**

### **6.1. Introducción a los sistemas de Radar**

El término Radar surge del acrónimo inglés Radio Detection and Ranging (detección y medición de distancias por radio). Es un sistema que usa ondas electromagnéticas para medir distancias, altitudes, direcciones y velocidades de objetos estáticos o móviles como aeronaves, barcos, vehículos motorizados, formaciones meteorológicas y el propio terreno.

Su funcionamiento se basa en la utilización de un transmisor de radio de alta frecuencia que emite un haz de radiación electromagnética, con una radiación de longitud de onda comprendida entre varios centímetros y un metro. Esta energía radiada se concentra en un haz que al emitirse al exterior y por efecto de la difracción toma una forma cónica. Dentro de la cual la energía no se distribuye uniformemente sino en forma de lóbulo, es decir, es mucho mayor en el centro y decrece rápidamente al alejarse de éste. Los objetos existentes en la trayectoria del haz reflejan las ondas de nuevo hacia el emisor. El radar se fundamenta en las leyes de la reflexión de las ondas de radio, implícitas en las ecuaciones de Maxwell (1864). Este procedimiento de emisión y escucha se repite para cada dirección radial en la que se realiza el muestreo. De esta forma, fijado un cierto ángulo de la antena respecto de la horizontal, usualmente llamado elevación, el radar efectúa un barrido de la atmósfera girando 360 grados

Como hemos comentado en el anterior párrafo, tienen sus orígenes en las leyes de Maxwell descritas en 1864. En 1888, Rudolf Hertz demostró que las ondas electromagnéticas se reflejaban en las superficies metálicas, lo que supuso un gran avance. A partir de estos desarrollos y debido al ambiente prebélico de la segunda guerra mundial, se potencia la radio y la transmisión inalámbrica, lo cual genera la creación de antenas (1904). En 1917, Nikola Tesla establece los principios teóricos del futuro radar (frecuencias y niveles de potencia). Y, finalmente, en 1934 y gracias a un estudio sistemático del magnetrón, se realizan ensayos sobre sistemas de detección de onda corta siguiendo los principios de Nikola Tesla. De este modo nacen los radares de ondas decimétricas [26].

Los radares se pueden clasificar según diferentes aspectos o características. El número de antenas, la forma de onda y finalidad son algunos de ellos, pero nosotros nos fijaremos principalmente en la clasificación según su frecuencia de trabajo. La Tabla 6.1 recoge esta clasificación con una pequeña explicación de su aplicación real.

**Tabla 6.1:** Clasificación de los sistemas de Radar según su frecuencia de trabajo

Nombre de la banda	Frecuencias	Longitudes de onda	Observaciones
HF	3-30 MHz	10-100 m	Radars de vigilancia costera, vigilancia OTH (over-the-horizon)
P	< 300 MHz	1 m+	'P' de "previo", aplicado de forma retrospectiva a los sistemas radar primitivos
VHF	50-330 MHz	0.9-6 m	Vigilancia a distancias muy elevadas, penetración en el terreno
UHF	300-1000 MHz	0.3-1 m	Vigilancia a distancias muy elevadas (ej: detección de misiles), penetración en el terreno y a través de la vegetación
L	1-2 GHz	15-30 cm	Distancias elevadas, control de tráfico en ruta
S	2-4 GHz	7.5-15 cm	Vigilancia a distancias intermedias. Control de tráfico en terminales. Condiciones meteorológicas a largas distancias
C	4-8 GHz	3.75-7.5 cm	Seguimiento a distancias elevadas. Meteorología
X	8-12 GHz	2.5-3.75 cm	Guía de misiles, meteorología, cartografía de resolución media. Seguimiento a distancias cortas
K <sub>u</sub>	12-18 GHz	1.67-2.5 cm	Cartografía de alta resolución. Altimetros para satélites
K	18-27 GHz	1.11-1.67 cm	Absorción del vapor de agua. Se usa para meteorología, para detectar nubes. También para control de velocidad de motoristas.
K <sub>a</sub>	27-40 GHz	0.75-1.11 cm	Cartografía de muy alta resolución vigilancia de aeropuertos. Usado para accionar cámaras para fotografiar matrículas de coches infractores
mm	40-300 GHz	7.5 mm - 1 mm	Banda milimétrica, se subdivide como sigue. Nota: la denominación de las bandas no está unánimemente aceptada.
Q	40-60 GHz	7.5 mm - 5 mm	Comunicaciones militares
V	50-75 GHz	6.0-4 mm	Absorbido por la atmósfera
E	60-90 GHz	6.0-3.33 mm	
W	75-110 GHz	2.7 - 4.0 mm	Se usa como sensor para vehículos autónomos experimentales, meteorología de alta resolución y tratamiento de imágenes.

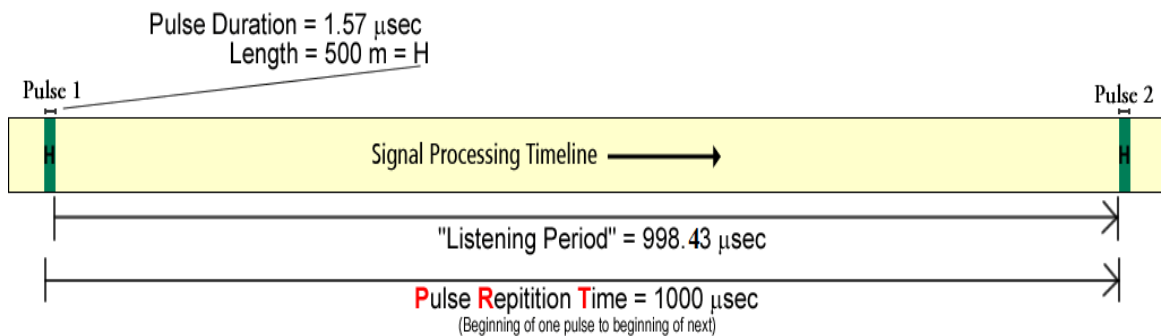
Para nuestro estudio, utilizaremos radares en las bandas C y S. La Banda-C es un rango del espectro electromagnético de las microondas que comprende frecuencias de entre 3,7 y 4,2 GHz y desde 5,9 hasta 6,4 GHz. Fue el primer rango de frecuencia utilizado en transmisiones satelitales. Básicamente el satélite actúa como repetidor, recibiendo las señales en la parte alta de la banda y reemitiéndolas hacia la Tierra en la banda baja, con una diferencia de frecuencia de 2.225 MHz. Normalmente se usa polarización circular, para duplicar el número de servicios sobre la misma frecuencia. Earth Station pertenece a esta Banda de frecuencia.

En el caso de la Banda-S nos encontramos en un rango de frecuencia que va desde los 2.0 a los 4.0 GHz, cruzando el límite imaginario entre el UHF y el SHF a 3.0 GHz. Es parte de la banda de microondas del espectro electromagnético. Es utilizada por radares meteorológicos y algunos satélites de comunicaciones. MLS y TDWR pertenecen a esta banda. En los siguientes apartados extenderemos la información a estos sistemas de Radar.

## 6.2. Modelo de propagación

Para determinar la localización precisa de un objeto será importante tener en cuenta tres factores clave como: el azimuth, el ángulo de elevación y la distancia al objeto.

La distancia al objeto será la mitad del tiempo que tarda en recibir el radar una reflexión desde que transmite una señal, y multiplicado por la velocidad de la luz que es la velocidad a la que el pulso viaja. El tiempo que tarda un pulso en transmitirse desde el radar y volver hasta él más un tiempo de guarda que evita posibles falsos ecos o una transmisión antes de una posible recepción es el tiempo desde el principio de un pulso al próximo pulso, tiempo de repetición del pulso (PRT) o el tiempo de escucha del radar y su inversa es la frecuencia de repetición de pulso (PRF) o número de pulsos transmitidos por segundo por el radar. En la Figura 6.1 podemos observar las diferencias entre el ancho de un pulso o duración de éste, el tiempo de escucha que es el 99.8% del tiempo y el PRT.



**Figura 6.1:** Tiempo de duración de un pulso, período de escucha y tiempo de repetición de pulso.

Podemos obtener imágenes en 2D o en 3D. Para conseguir una imagen en 3D necesitamos solapar información del plano horizontal con el vertical. Para el primero se captura información para una rotación completa o de un sector determinado de la antena (variando el azimuth) para un ángulo de elevación constante y para completar la información del plano vertical se repiten las medidas para distintos ángulos de elevación (en azimuth constante) representando una atmósfera local.

Hallamos la potencia recibida en el radar de la siguiente manera [27]:

La densidad de potencia a una distancia 'd' para una antena de radar omnidireccional que transmite a una potencia de transmisión  $P_t$  sería:

$$w_r = \frac{P_t}{4\pi d^2} \quad [\text{W/m}^2] \quad (6.1)$$

Y para una antena directiva con ganancia máxima  $g$ :

$$w_r = \frac{p_t g}{4\pi d^2} \quad [\text{W/m}^2] \quad (6.2)$$

Debido a la gran distancia que separa el radar del objeto, aproximamos el frente de onda incidente (esférico) a un frente de onda plano y hallamos la potencia interceptada o recibida por el blanco. Donde  $\sigma$  o RCS es la superficie equivalente del blanco, que representa la fracción de potencia incidente dispersada hacia el radar.

$$p_{cr} = w_r \sigma = \frac{p_t g \sigma}{4\pi d^2} \quad [\text{W}] \quad (6.3)$$

Suponiendo que el blanco radia de forma isotrópica una potencia  $p_c$ , la densidad de potencia para el objeto sobre el radar a una distancia  $d$  sería:

$$w_c = \frac{p_c}{4\pi d^2} \quad [\text{W/m}^2] \quad (6.4)$$

Donde, suponiendo que la potencia que radia el objeto es la misma que recibe del radar,  $p_c = p_{rc}$ , sustituimos y queda que :

$$w_c = \frac{p_t g \sigma}{(4\pi d^2)^2} \quad [\text{W}] \quad (6.5)$$

La potencia recibida en el radar es:

$$p_r = w_c \text{area} = \frac{p_t g \cdot \text{area} \cdot \sigma}{(4\pi d^2)^2} \quad [\text{W}] \quad (6.6)$$

Donde el área equivalente de recepción se relaciona directamente con la ganancia de la antena receptora:

$$\text{area} = \frac{g \lambda^2}{4\pi} \quad [\text{m}^2] \quad (6.7)$$

$$p_r = \frac{p_t g^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 d^4} \quad [\text{W}] \quad (6.8)$$

En principio, si la señal mínima o sensibilidad con la que puede operar el equipo receptor es  $s_{\min}$ , el alcance máximo vendrá dado por:

$$r_{\max} = \frac{p_t g^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 s_{\min}} \quad [\text{m}] \quad (6.9)$$

Obviamente esta ecuación no incluye ni pérdidas del sistema, ni efectos de propagación... Para incorporar el ruido, relacionamos la señal a ruido con la sensibilidad y el mismo ruido:

$$s_{\min} = snr \cdot n = \frac{p_t g^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 r_{\max}^4} \quad [\text{W}] \quad (6.10)$$

Incorporamos las pérdidas por transmisión, que logarítmicamente restan alcance a la señal recibida o, en unidades naturales, dividen la ecuación anterior. Las pérdidas de propagación del radar son, con una señal que se transmite por el espacio libre hasta el objeto y del objeto hacia el radar, el doble de las pérdidas que se sufren sólo hasta el objeto. Y por tanto:

$$L_p = 2n10 \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) = 40 \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad [\text{dB}] \quad (6.11)$$

Es por ello que el exponente de propagación para el radar es 4, donde para el espacio libre en cada sentido es 2.

Teniendo como datos la potencia de transmisión, el RCS para una distancia determinada (ej:  $4\text{cm}^2$  a los 100 km), la ganancia, el snr mínimo, el ruido y la distancia máxima, que son datos que te ofrece la página de características del radar, podemos hallar la potencia de recepción, el RCS para una distancia máxima, o la potencia de transmisión necesaria para llegar a una determinada distancia. Y, teniendo en cuenta, la interferencia UWB sobre el radar, obtenemos una snr nueva, snir, donde al ruido se le añade la interferencia:

$$s = snr(p_n + i) \quad [\text{W}] \quad (6.12)$$

$$S = 10 \log_{10}(s) \quad [\text{dBm}] \quad (6.13)$$

De esta forma, es fácil hallar el nivel mínimo de interferencia necesario para obtener una potencia de recepción menor a la sensibilidad mínima, y, por tanto, perder calidad.

Los sistemas de RADAR funcionan bien siempre y cuando reciban una señal a ruido (SNR) mayor o igual a 16 dB. Cualquier interferencia que provoque una disminución de la cifra anterior degradaría la calidad en la detección de la señal transmitida y posteriormente recibida obteniendo una menor probabilidad de detección o acierto. Para que este caso no llegue a ocurrir la interferencia recibida por otra tecnología, debe ser menor o igual a una décima parte del ruido acoplado a la señal del radar.

En nuestro caso, buscaremos un radio de cobertura que no descienda de un 2.5% o un 5% respecto de la cobertura original o sin interferencia, para un rango normalizado del 97.5% o del 95%:

Para ello, calcularemos la interferencia provocada por el sistema UWB, suponiendo los casos de radio normalizado explicados anteriormente. Para deducirlo, sabemos que el radio normalizado o  $R_n = (\text{Señal de ruido} \div \text{señal de ruido con interferencia ocasionada})^{1/\text{exponente de propagación}}$

$$R_n = \sqrt[4]{\frac{P_n}{P_n + i}} = \sqrt[4]{\frac{1}{1 + (i/P_n)}} \quad (6.14)$$

$$i = \frac{P_n(1 - R_n)^4}{R_n^4} \quad (6.15)$$

El ruido en unidades naturales se halla como:

$$P_n = 10^{\left(\frac{-114 + 10 \cdot \log_{10}(Bw) + NF + M}{10}\right)} \quad (6.16)$$

(Para una mayor explicación: mirar apartado de limitaciones del sistema)

Conociendo el ruido, hallamos el valor máximo de la interferencia para esos dos radios. Por la fórmula de Friis [4]:

$$P_r = P_t + G_{\text{radar}} - L_{p_{\text{uwb}}} = I \quad (6.17)$$

- $P_r$ : Potencia recibida UWB en el radar, o lo que es lo mismo, la señal de interferencia recibida en el radar.
- $P_t$ : Potencia transmitida desde el transmisor UWB.
- $G_{\text{radar}}$ : Ganancia del radar hacia el transmisor de UWB.
- $L_{p_{\text{uwb}}}$ : Pérdidas de propagación producidas en la transmisión de la señal UWB hacia el radar. Para hallar el cálculo, remitirse al capítulo 3.

Hallando la potencia de transmisión, podemos hallar la densidad de potencia UWB que debemos recibir para obtener un alcance en la cobertura del radar del 97.5 o 95%, sabiendo que ésta depende del ancho de banda del canal y de la densidad de potencia transmitida.

## 6.3. MLS

### 6.3.1. Fundamentos de la tecnología MLS

MLS son las siglas del sistema de Radar Microwave Landing System (Sistema de aterrizaje por microondas), norma de la OACI. Es un sistema utilizado para la precisión de aproximación y aterrizaje de aeronaves, desarrollado por el servicio militar de los Estados Unidos, cuya principal motivación fue paliar una de las mayores limitaciones de su predecesor, el sistema de aterrizaje instrumental (ILS): la presencia de irregularidades en el terreno y distorsiones ocasionales que mermaban su funcionalidad.



MLS es destinado a servicios de aplicación universal, tanto civiles como militares, que permitan todos los aterrizajes en condiciones meteorológicas adversas, así como curvas o aproximaciones segmentadas a los aeropuertos. La MLS se ha asignado en la banda de frecuencias 5000-5150 MHz y actualmente opera en 200 canales en la banda de frecuencias 5030-5091 MHz. La estación terrestre MLS realiza un gran apoyo en la navegación y orientación para las aeronaves que estén equipadas en un rango de 43 km y una altura de 20.000 pies.

Las operaciones con MLS son muy similares a las que emplean ILS, con aproximaciones rectas siguiendo el eje de pista y una senda de planeo de 3 grados. El avión cuenta con antenas especiales de captura y seguimiento y una suite de software de aviónica específica. En tierra, cada pista posee una estación terrena de MLS. Este sistema, diseñado teniendo muy en cuenta las opiniones tanto de pilotos como de aerolíneas, se asemeja al ILS en cuanto a la interfaz Ser Humano-Máquina, de modo que los costos asociados a la formación de tripulaciones, el mantenimiento y las operaciones se mantienen en valores mínimos [28].

Los aviones y vehículos de la zona aeroportuaria pueden reflejar señales emitidas por las antenas del sistema ILS, provocando errores significativos a lo largo de la ruta de aproximación. Con esta idea, en 1974 la OACI solicitó a sus estados miembros reemplazar el viejo ILS como estándar internacional de aviación civil por este nuevo sistema. El MLS emplea señales de microondas, menos susceptibles que el actual Sistema de Aterrizajes por Instrumentos (ILS) a las interferencias, por ejemplo las producidas por otras aeronaves que se desplazan por la superficie del aeropuerto o bien las construcciones dentro de éste. Los aeropuertos dotados de MLS podrán aumentar su flujo de aviones en períodos de mal tiempo y ya no tendrán que desviar tráfico si la visibilidad se vuelve muy pobre. En condiciones de Categoría IIIb (Las peores posibles), los aeropuertos pueden autorizar aproximaciones y aterrizajes de precisión con muy poca visibilidad y una altura de decisión por debajo de los 15 metros [29].

Algunas ventajas de los sistemas MLS son:

- El equipamiento es más preciso.
- Permite múltiples curvas de aproximaciones, a diferencia de la rigidez de la aproximación lineal del ILS.
- Es más barato.
- Algunos sistemas pueden acomodarse totalmente al aterrizaje automático, que permite movimientos con niebla densa.

No obstante, a finales de los años 1990, la OACI recomendó la pervivencia de los estándares ILS y MLS, mientras se definían los de navegación por satélite, mucho más precisos que ambos.

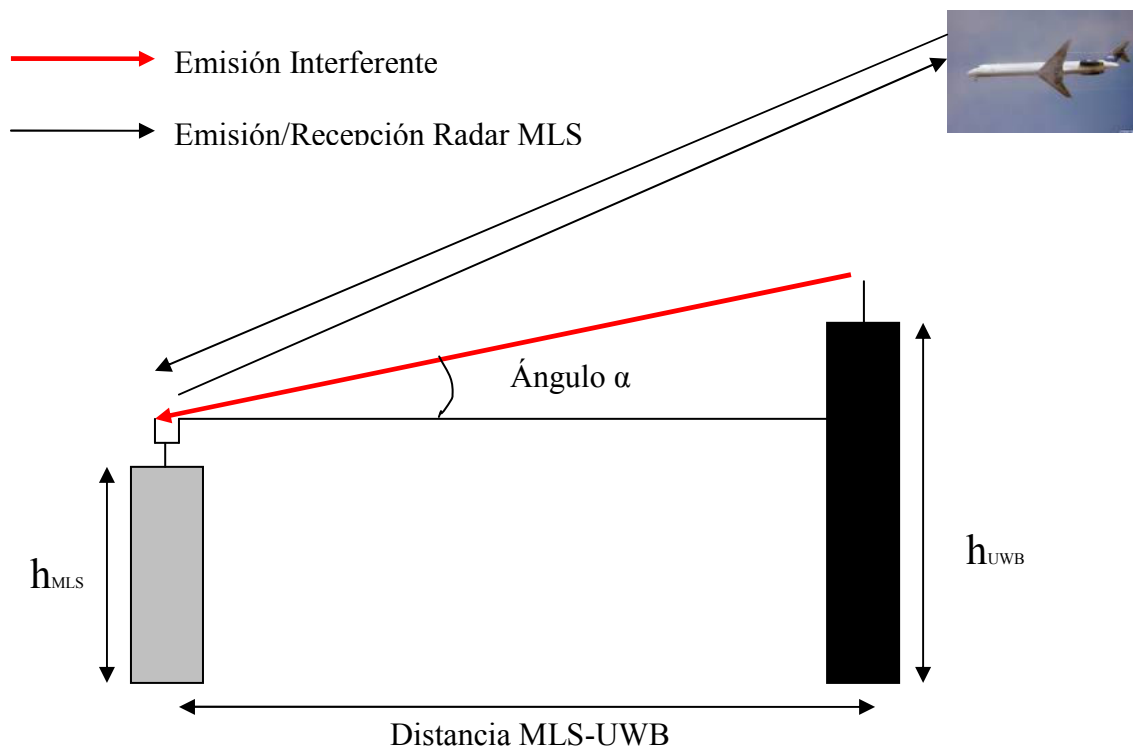
Este nuevo e innovador sistema es el resultado de un considerable trabajo de desarrollo llevado a cabo en conjunto entre Airbus e importantes socios industriales: Thales, British Airways y las autoridades aeroportuarias y de transporte aéreo británicas y francesas. Thales tuvo a su cargo la producción tanto del receptor MLS a bordo, alojado en un receptor multi-modo (MMR), como de la estación terrena. El primer cliente, British Airways, implementó el MLS en el aeropuerto londinense de Heathrow con sus A320 y A321.

### 6.3.2. Escenario MLS-UWB a estudiar

Para el desarrollo de este escenario haremos un estudio de la transmisión del sistema MLS con una fuente de interferencia UWB que actúa en la misma banda de frecuencia que este sistema, desde 5 a 5.25 GHz, con una frecuencia central de 5.125 GHz (Antena que utilizaremos para la simulación). La anchura de banda del canal será de 0.15 MHz. La antena transmisora MLS estará a una altura de 5 m, apuntando hacia adelante. En el caso de la antena UWB la simulación se hará para unas alturas de 10, 20 y 30 m. Por la radiación que producen, estos radares suelen tener una distancia restringida a personal cualificado y es por ello que imposibilita la detección de una antena UWB en un entorno de menos de 2 metros. Nuestra simulación comenzará a partir de esta distancia.

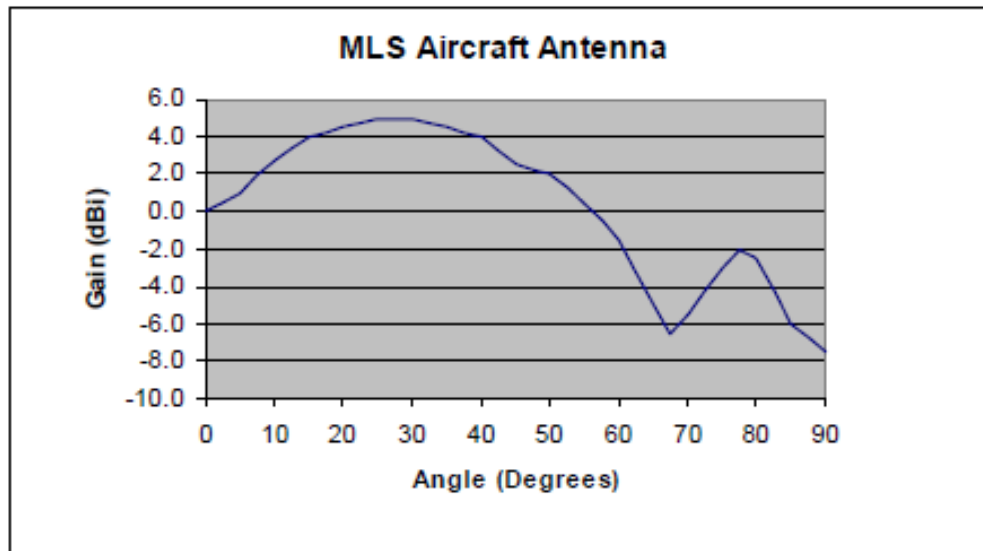
La interferencia permisible para MLS de aparatos que utilizan UWB es de -134 dBm [28]. A partir de esto, vamos a intentar buscar una densidad de potencia UWB que conlleve un radio de cobertura adecuado para este sistema, que hace que el usuario este conforme con el uso dado. Esto nos lleva a encontrar valores que degraden el radio únicamente en un 2.5 % y un 5 %, o lo que es lo mismo, un rango normalizado del 95 % y 97.5 %.

En la Figura 6.2 se muestra el desarrollo de lo explicado con anterioridad, tanto en este apartado, como en los anteriores. Se muestra la potencia interceptada tras ser emitida por el radar y la fracción de la misma dispersada en sentido opuesto.



**Figura 6.2:** Sistema de RADAR MLS con una antena de UWB outdoor como elemento interferente.

La antena utilizada será una antena quarter wave stub de polarización vertical. La ganancia máxima de la antena es de 5 dB; sin embargo, por el diagrama de radiación (Figura 6.3) se puede observar que, según el ángulo  $\alpha$  producido por la horizontal y la recta que une el radar y transmisor UWB, la ganancia hacia el transmisor UWB no tomará ese valor sino uno menor [28].

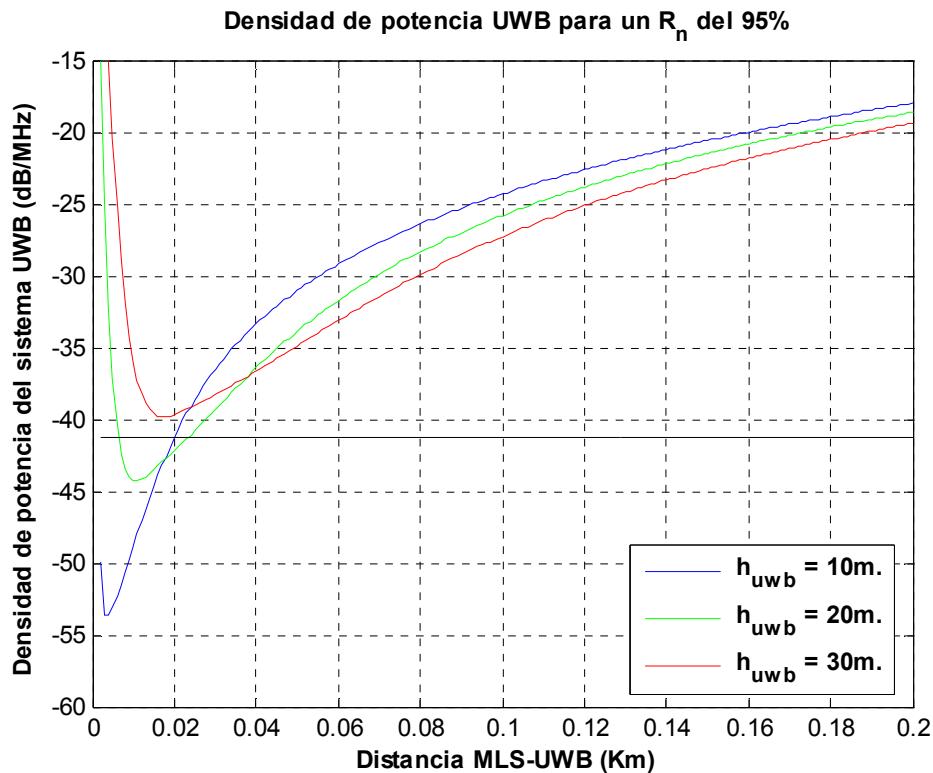


**Figura 6.3:** Ganancia del radar MLS dependiente del ángulo de elevación

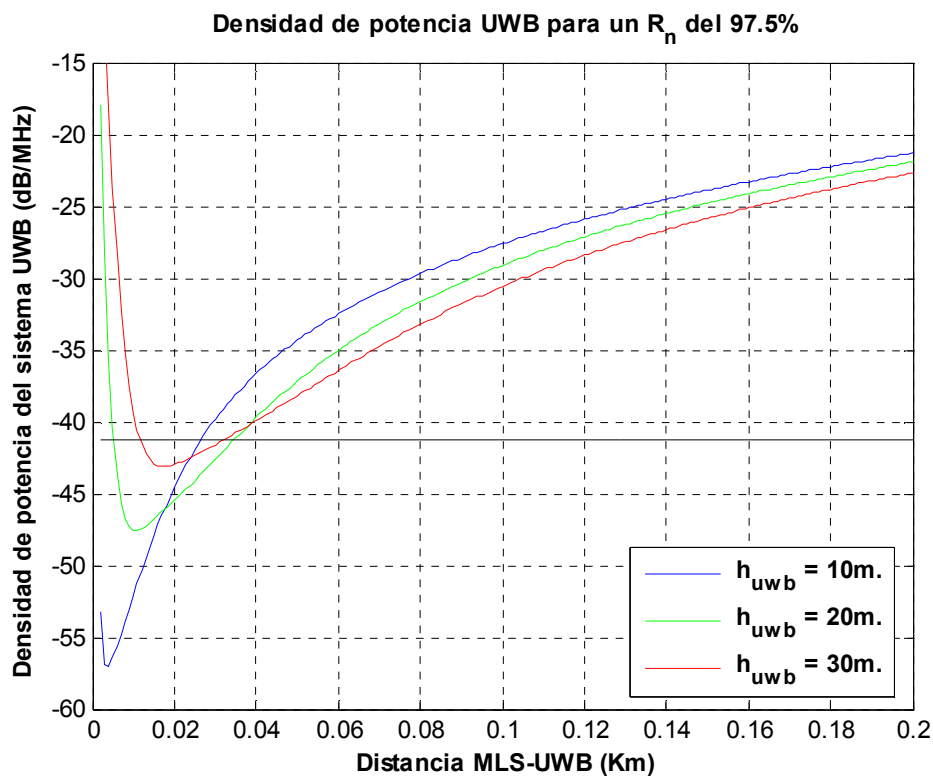
### 6.3.3. Resultados obtenidos para una frecuencia de 5.25 GHz.

Para el escenario que vamos a tratar explicado anteriormente, la máxima densidad de potencia permitida según la FCC es de  $-41.3$  dBm/MHz. Estudiaremos el efecto ocasionado por el sistema UWB sobre la antena MLS representando las densidades de potencia UWB permitido para conseguir un rango de cobertura adecuado (95 %-97.5%). Las gráficas representarán la densidad de potencia UWB en función de la distancia entre ambos sistemas para un rango entre los 2 m. y 200 m. Definiremos la distancia de coordinación como la distancia para la cual la máscara propuesta no se cumple y es necesario disminuirla para evitar posibles interferencias. El punto de máxima distancia coincide con la densidad espectral de potencia UWB recomendada por la máscara de emisión y, por ello, hasta este punto, la máscara no se cumple.

En las gráficas siguientes (Figura 6.4 – Figura 6.5) vamos a observar, para un rango determinado del 95 o 97.5% la densidad de potencia UWB respecto a la distancia desde la antena del radar hasta la de UWB para una altura constante de la antena UWB (10, 20 y 30 m.).



**Figura 6.4:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre MLS-UWB (2m. a 200m.), para un rango normalizado del 95% y diferentes alturas para la antena UWB.



**Figura 6.5:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre MLS-UWB (2m. a 200m.), para un rango normalizado del 97.5% y diferentes alturas para la antena UWB.

Se puede observar que a medida que aumenta la distancia entre ambos sistemas, el ángulo que forman disminuirá, lo que provoca por lo visto en la Figura 6.3, que la ganancia se aproxima poco a poco a un valor cercano a 0 dB. Además, las pérdidas de propagación de UWB aumentan a medida que crece la distancia. Todos estos factores provocan que la densidad de potencia UWB aumente de forma cóncava. Además, debemos tener en cuenta que cuanto mayor se la altura de la antena receptora, habrá menores obstáculos, mayor visión entre antenas y un ángulo más elevado. Esto provoca, por lo que se observa en la Figura 6.3, que la ganancia para distancias cortas sea menor que cero y aumente poco a poco con la distancia. Para el caso de una altura de 30 m, se puede observar en las Figuras 6.4 Y 6.5 que comienza con una densidad de potencia UWB más alta que con el resto de alturas y, a partir de una distancia, pasa a ser menor.

En el caso de que exista una cierta distancia de coordinación, habrá que disminuir la densidad de potencia permitida de UWB fijada por la FCC para obtener una máscara de emisión mejorada.

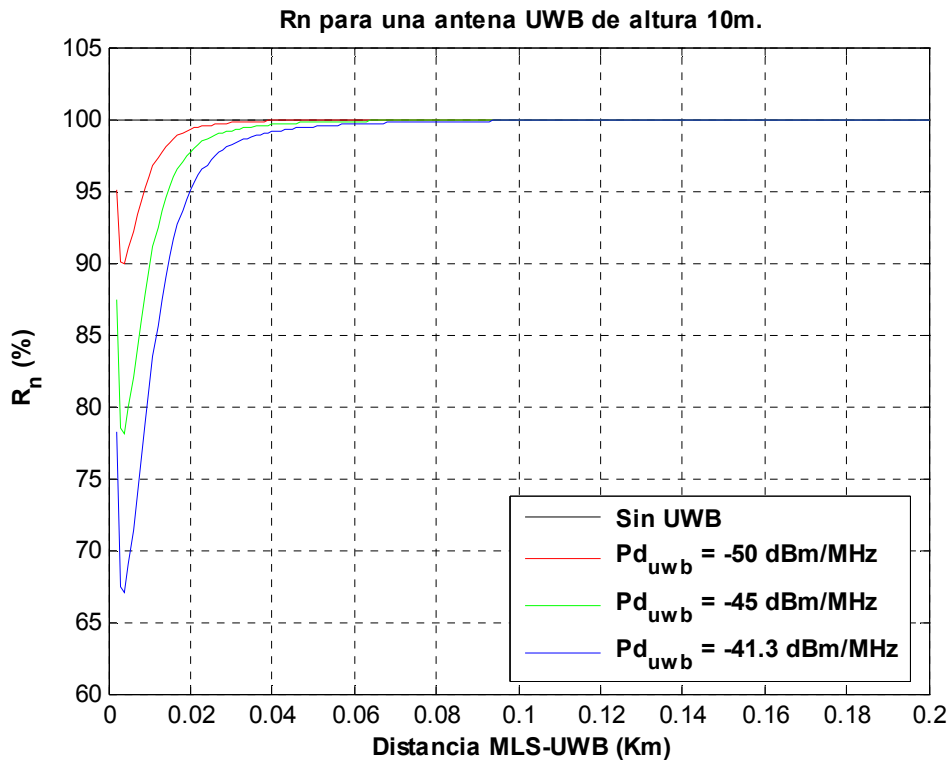
En la Tabla 6.2 obtenemos la distancia de coordinación para los distintos casos descritos en las gráficas anteriores.

**Tabla 6.2:** Distancia de Coordinación en m. por la interferencia entre los sistemas MLS y UWB.

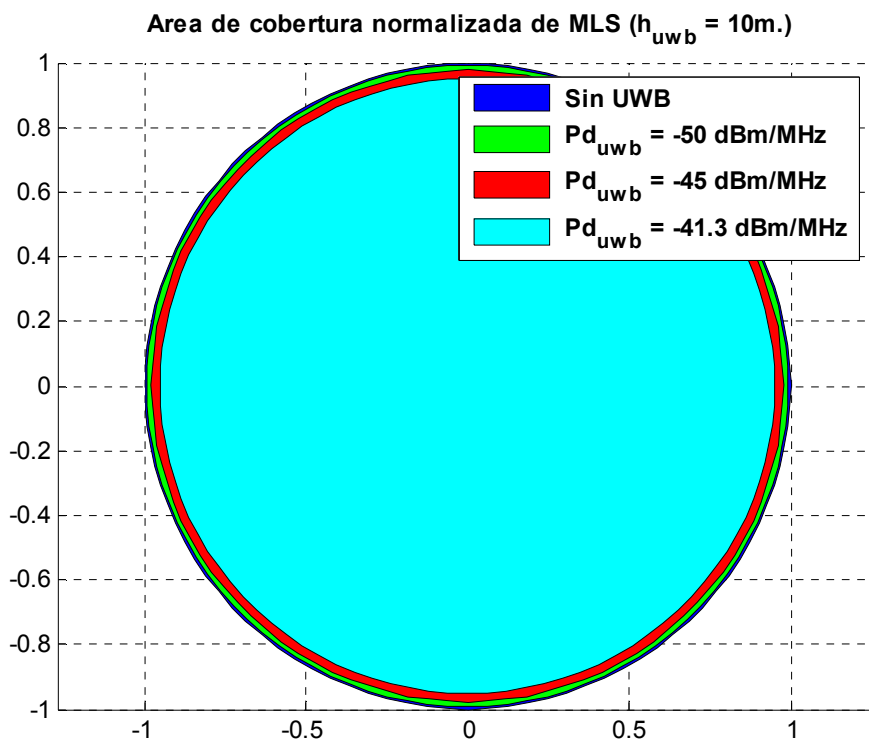
	<b>Radio de cobertura normalizado del 95 %</b>	<b>Radio de cobertura normalizado del 97.5 %</b>
<b><math>h_{UWB} = 10 \text{ m.}</math></b>	19.9 m.	26.5 m.
<b><math>h_{UWB} = 20 \text{ m.}</math></b>	23.2 m.	34.4 m.
<b><math>h_{UWB} = 30 \text{ m.}</math></b>	0 m.	31.7 m.

A continuación, se muestran unos resultados más gráficos de la función del radio normalizado para los distintos casos de la altura de la antena UWB. Para cada una de estas alturas se muestran dos tipos de gráficas (Figura 6.6- Figura 6.11). Las primeras representan la variación del radio normalizado en función de la distancia para cuatro densidades de potencia UWB. Una es para un valor de -41.3 dBm/MHz dado por la FCC, otra muestra el valor sin interferencia UWB, y las otras dos, valores de densidad de potencia tomados que se encuentran entre medias de ambos, -45 dBm/MHz y -50 dBm/MHz. En estas representaciones se puede observar cómo el valor del radio normalizado crece rápidamente hasta alcanzar valores muy cercanos al 100 % a partir de los 100 m. Obviamente, para el caso en que no existe interferencia UWB, el radio normalizado se mantiene constante al 100 % para todo el rango de distancias.

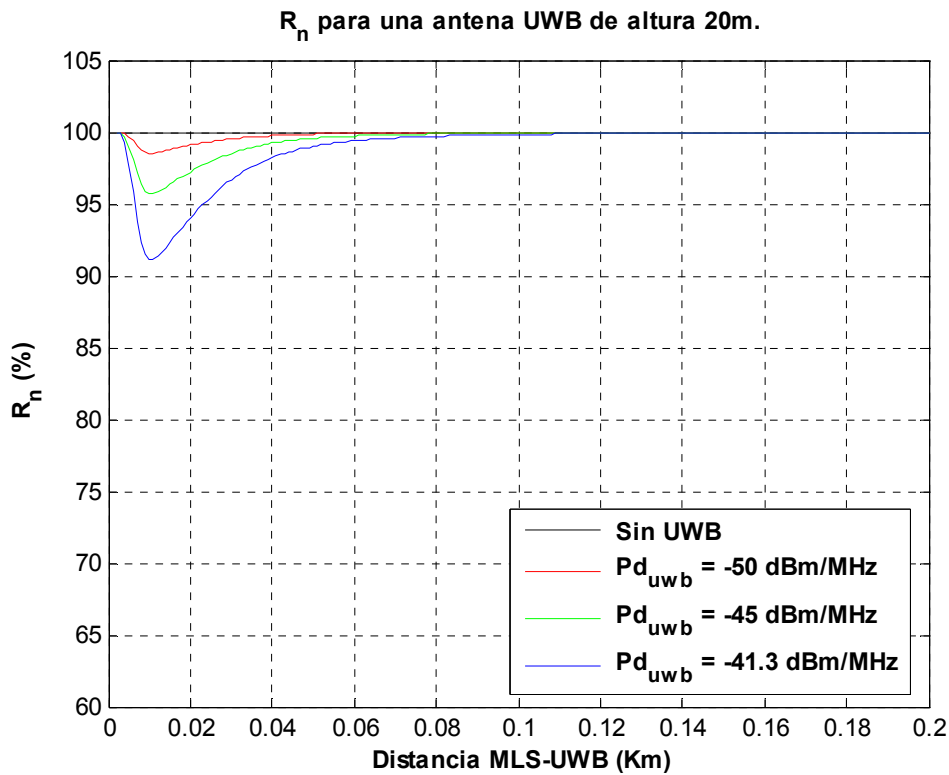
El otro tipo de gráficas representado da una visión del área de cobertura normalizada para los distintos valores descritos anteriormente. Esta es una representación más visible de las posibilidades que nos ofrecen las densidades de potencia de UWB seleccionadas. Para ello tomaremos valores del Radio Normalizado a una distancia de 20m, donde se observará que alcanza un valor ya cercano al pretendido para el buen uso del usuario.



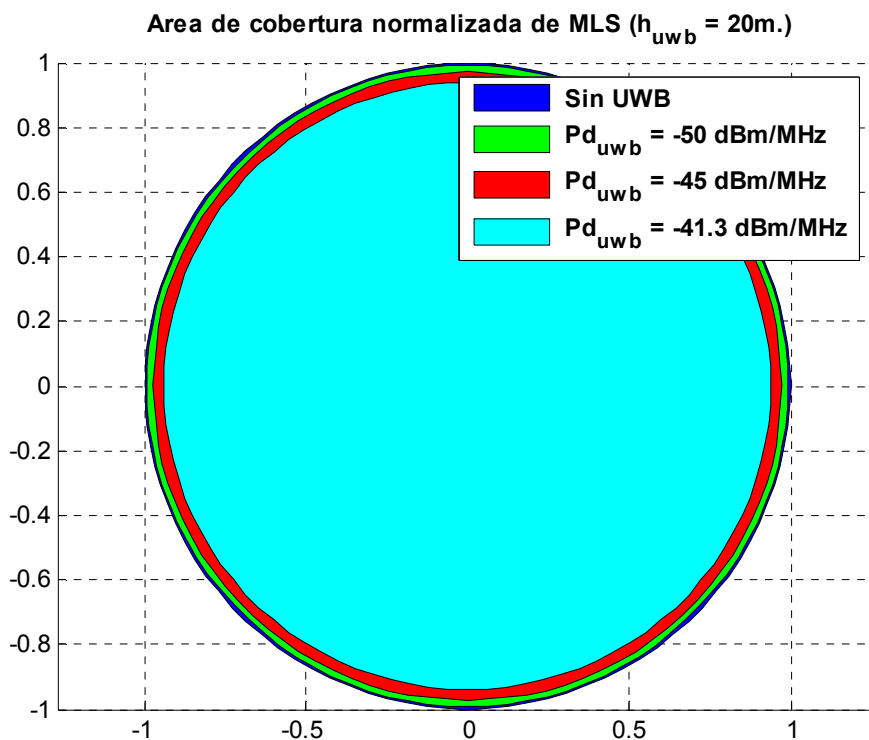
**Figura 6.6:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre MLS-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 10 m y diferentes densidades de potencia.



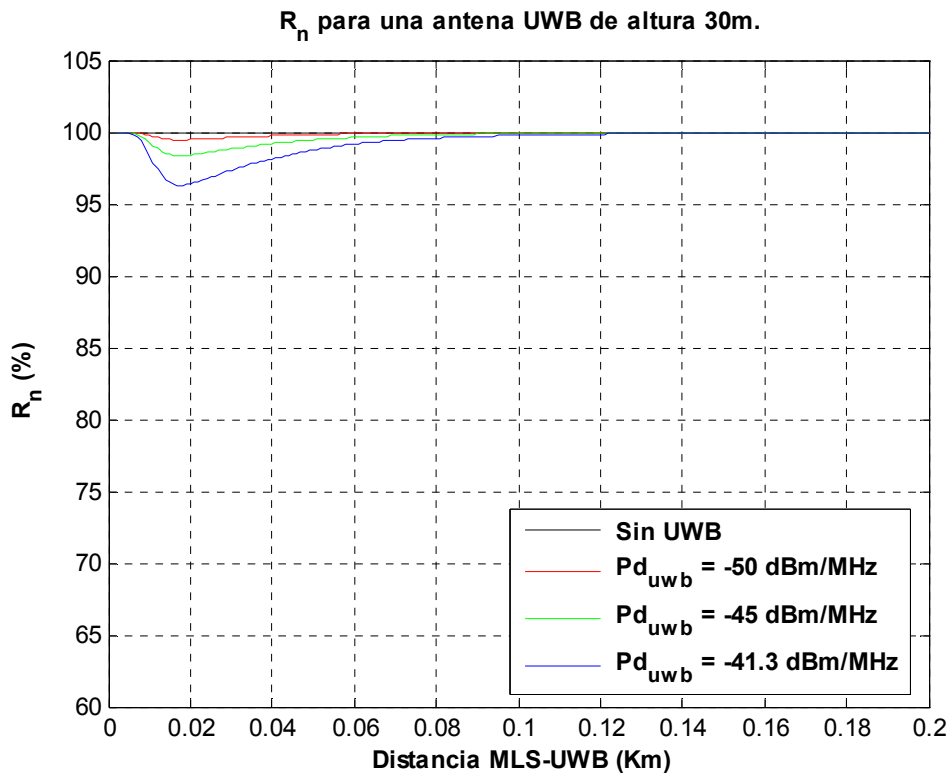
**Figura 6.7:** Área de cobertura normalizada de MLS para una separación entre los sistemas de 20 m y una altura de la antena UWB de 10 m.



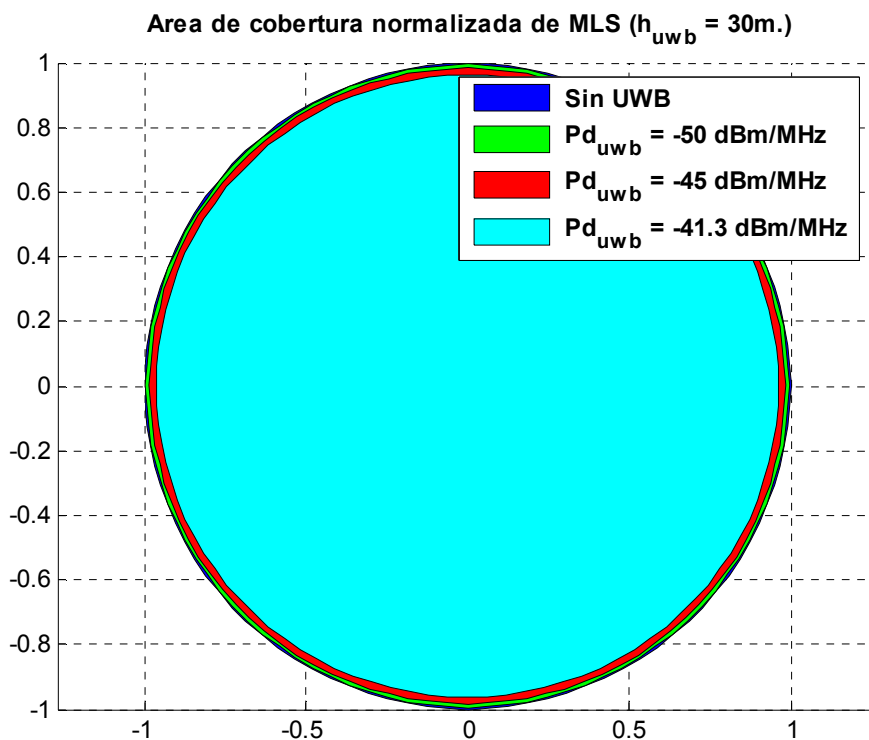
**Figura 6.8:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre MLS-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 20 m y diferentes densidades de potencia.



**Figura 6.9:** Área de cobertura normalizada de MLS para una separación entre los sistemas de 20 m y una altura de la antena UWB de 20 m.



**Figura 6.10:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre MLS-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 30 m y diferentes densidades de potencia.



**Figura 6.11:** Área de cobertura normalizada de MLS para una separación entre los sistemas de 20 m y una altura de la antena UWB de 30 m.



Para concluir este apartado, intentaremos dar una visión de las posibilidades de la emisión de un sistema MLS interferido por un sistema UWB. El radar debería tener al menos 2 m. alrededor de aislamiento para poder emitir con corrección. En esta zona, se debería prohibir la emisión UWB outdoor, para distancias de 1 Km en estas circunstancias, ya que podría provocar resultados trágicos.

Tras el estudio realizado, y para evitar una posible interferencia entre el radar MLS y una antena transmisora UWB, es necesario obligar por ley a que el sistema supere la mayor distancia de coordinación hallada anteriormente, es decir, 35 m. Esta densidad es la necesaria para superar el peor de los casos, y conseguir un radio normalizado mayor incluso del valor de 97.5 %. Para asegurarnos de garantizar una buena emisión del sistema, no admitiremos ningún sistema UWB a menos de 35 m para el caso de un sistema MLS.

Las especificaciones de los sistemas para las simulaciones realizadas se presentan en la Tabla 6.3:

**Tabla 6.3:** Especificaciones del Radar MLS y UWB [28]

Parámetros	Valores
Banda de frecuencia	5.125 GHz
Ancho de banda del canal	0.15 MHz
Factor de Ruido (NF)	10 dB
Margen de interferencias (M)	0 dB
Potencia de ruido en el receptor	-112 dBm
Ganancia máxima de la antena MLS	5 dB
Altura de la antena UWB	10, 20, 30 m.
Altura de la antena MLS	5 m.
Distancia entre MLS-UWB	2-200 m.

## 6.4. 4 GHz EARTH STATION

### 6.4.1. Fundamentos de la tecnología E.S

Earth Station es un sistema de radar en que se compone por una estación base (terrestre) receptora de un enlace de comunicaciones con satélites geosíncronos (Figura 6.12). La mayoría de las estaciones terrestres se utilizan para comunicarse con los satélites de comunicaciones, llamados satellite earth stations or teleports, pero otros se usan para comunicarse con sondas espaciales y con naves espaciales tripuladas. En caso de que el enlace de comunicaciones se utiliza principalmente para llevar telemetría debe seguir o no un satélite en órbita geostacionaria, la estación terrestre se refiere a menudo como una estación de seguimiento [28].



**Figura 6.12:** Earth Station con varias antenas

Algunos ejemplos de Earth Station en el mundo son:

- Bukit Timah Satellite Earth Station
- Canberra Deep Space Communication Complex
- Goonhilly Satellite Earth Station
- Madley Communications Centre
- Honeysuckle Creek Tracking Station
- Kaena Point Satellite Tracking Station
- Goldstone Deep Space Communications Complex
- Madrid Deep Space Communication Complex

Un satélite Earth Station es un servicio de comunicaciones con una antena de transmisión y recepción de microondas de radio transmisión y exige recibir y transmitir a los equipos para comunicarse con los satélites (también conocido como las estaciones espaciales)

En la industria hay varias normas para las comunicaciones por satélite acordadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) Sector de Radiocomunicaciones (UIT-I, ex CCIR) y de facto de las normas establecidas por Intelsat para las estaciones terrenas de satélite de diferentes capacidades. Son conocidos como 'Intelsat Earth Station Standards' or 'IESS' [30]. Una de las principales propiedades que la define no es el tamaño de la 'cápsula', es la ganancia de la antena alcanzada por el sistema y la geometría del tamaño de sus lóbulos. En general, sin embargo, grandes antenas pueden dar mayores beneficios. Los diferentes tipos de estaciones terrestres de satélite Intelsat son designados por el término «estándar», seguido de una carta:

- Estándar A - G/T nominal: 35.0 dB/K, 4 & 6 GHz → Banda C  
Diámetro de la antena > 26 metros (mayores), aproximadamente 15 metros (actualmente)
- Estándar B - G/T nominal: 31.7 dB/K, 4 & 6 GHz → Banda C  
Diámetro de la antena típico de 11-13 m.
- Estándar C - G/T nominal: 37 dB/K, 11 & 14 GHz ó/y 12 & 14 GHz → Banda Ku
- Estándar E-1 - G/T nominal: 25 dB/K, 11 & 14 GHz ó/y 12 & 14 GHz → Banda Ku  
Diámetro de la antena  $3.05 \pm 0.65$  m.
- Estándar E-1 - G/T nominal: 29 dB/K, 11 & 14 GHz ó/y 12 & 14 GHz → Banda Ku  
Diámetro de la antena  $5.01 \pm 1.3$  m.
- Estándar E-3 - G/T nominal: 34 dB/K, 11 & 14 GHz ó/y 12 & 14 GHz → Banda Ku
- Estándar F-1 - G/T nominal: 22.7 dB/K, 4 & 6 GHz → Banda C  
Diámetro de la antena  $4.3 \pm 0.6$  m.
- Estándar F-2 - G/T nominal: 27 dB/K, 4 & 6 GHz → Banda C  
Diámetro de la antena 6.3 m.
- Estándar F-3 - G/T nominal: 29 dB/K, 4 & 6 GHz → Banda C  
Diámetro de la antena 7.3 m.
- Estándar G - G/T nominal: No definido  
Diámetro de la antena  $4.1 \pm 3.2$  m. (Banda C) y  $3.6 \pm 2.7$  m. (Banda Ku)
- Estándar H-2 - G/T nominal: 15.1 dB/K, 4 & 6 GHz → Banda C  
Diámetro de la antena  $2.12 \pm 0.32$  m.
- Estándar H-3 - G/T nominal: 18.3 dB/K, 4 & 6 GHz → Banda C  
Diámetro de la antena  $2.42 \pm 0.02$  m.
- Estándar H-4 - G/T nominal: 22.1 dB/K, 4 & 6 GHz → Banda C
- Estándar K-2 - G/T nominal: 19.8 dB/K, 11 & 14 GHz ó/y 12 & 14 GHz → Banda Ku  
Diámetro de la antena  $1.5 \pm 0.3$  m.
- Estándar K-3 - G/T nominal: 23.3 dB/K, 11 & 14 GHz ó/y 12 & 14 GHz → Banda Ku  
Diámetro de la antena  $2.1 \pm 0.3$  m.

Tenga en cuenta que las estaciones terrenas de satélite no tienen por qué ser fijo en la posición. Algunos terminales de tierra pueden ser sufragados por buques, vehículos o de origen, y otros son provocados por el hombre, aunque sean utilizadas sólo en situación estacionaria. Puede ser mejor denominarlo formalmente Mobile Earth Stations, Aircraft Earth Stations or Ship Earth, según el artículo 1 del Reglamento de Radiocomunicaciones. Normalmente el enlace ascendente suele tomar la mayor frecuencia de la lista.

Las principales aplicaciones de estos sistemas serán servicios de voz, datos y video para las agencias Federales. En nuestro trabajo estudiaremos el caso de Earth Station 4 GHz en la banda C.

#### 6.4.2. Escenario E.S-UWB a estudiar

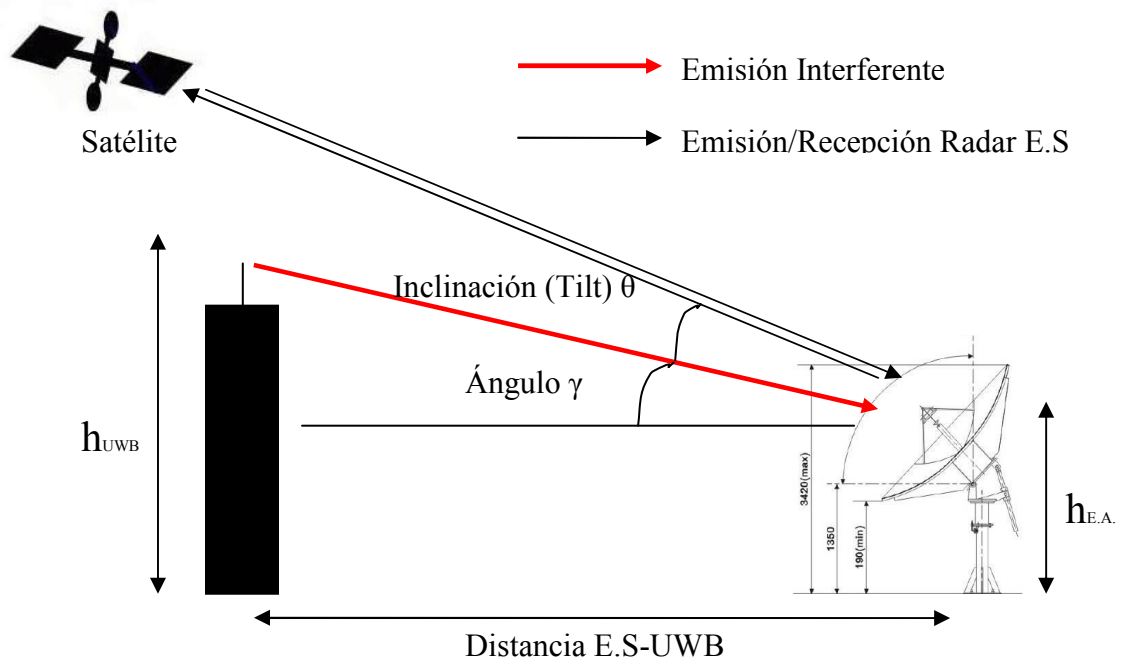
Para el desarrollo de este escenario haremos un estudio de la transmisión del sistema Earth Station con una fuente de interferencia UWB que actúa en la misma banda de frecuencia que este sistema, a una frecuencia central de 3.75 GHz (Antena que utilizaremos para la simulación). La anchura de banda del canal será de 40 MHz. La antena transmisora E.S estará situada a una altura de 3 m. Esta antena estará inclinada hacia arriba con una gran desviación. En nuestro caso haremos un estudio para una inclinación de unos 30 ° si estuviera situada en Madrid y de unos 60 ° para un país

situado cerca del centro de África. Pondremos una inclinación entre medias de  $45^\circ$  para el caso de un país situado a una altura entre ellos. Tras este estudio para grandes inclinaciones de la antena, intentaremos ver la gran diferencia que existe para los casos en los que la inclinación es muy pequeña, cercana a los  $0^\circ$ . Esta inclinación se da en lugares situados en el norte, como por ejemplo los países escandinavos. Para estos casos, la distancia de coordinación se verá afectada enormemente, aumentando en un rango muy grande.

En el caso de la antena UWB la simulación se hará para unas alturas de 3, 15 y 30 m. Por la radiación que producen, estos radares suelen tener una distancia restringida a personal cualificado y es por ello que imposibilita la detección de una antena UWB en un entorno de menos de 2 metros. Nuestra simulación comenzará a partir de esta distancia, para una inclinación de fabrica (Tilt) de la antena respecto de la horizontal de 30, 45 y 60 grados. Tras analizar estos casos, observaremos los casos en los que el ángulo sea de  $1^\circ$ ,  $3^\circ$  y  $5^\circ$ , para condiciones similares a las de inclinaciones grandes.

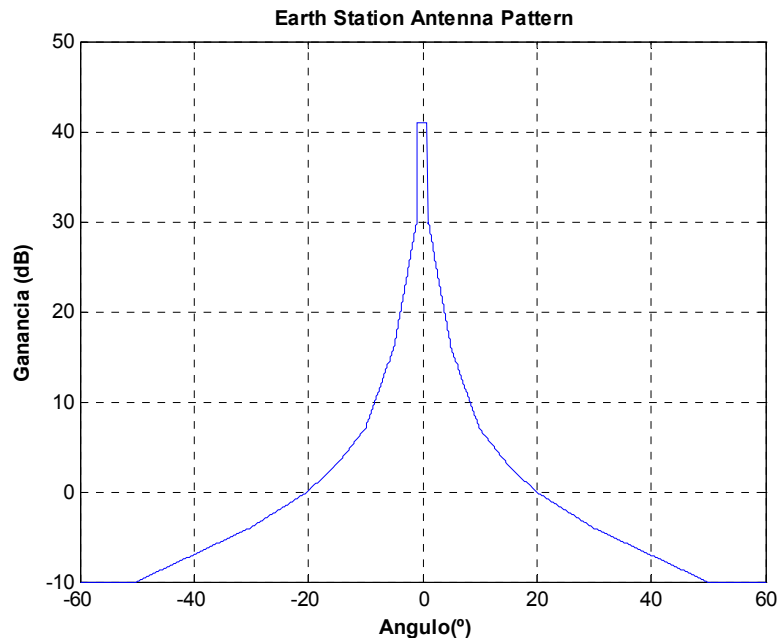
El criterio de protección para Earth Station de aparatos que utilizan UWB es de un ratio  $I/N = -10$  dB (peak interference power) para interferencia agregada por un solo transmisor interferente [28]. Este criterio implica un radio de cobertura suficiente respecto del original. Nosotros lo vamos a cumplir puesto que buscamos una densidad de potencia UWB que no conlleve a dichos efectos drásticos, sino a un efecto casi nulo, que degrade el radio, únicamente, en un 3 o 5%. Buscamos un radio de cobertura que no descienda de un 3.5% o un 5% respecto de la cobertura original o sin interferencia. De esta forma, tomaremos valores para un rango normalizado del 97.5% o del 95%:

En la Figura 6.13 se muestra el desarrollo de lo explicado con anterioridad, tanto en este apartado, como en los anteriores. Se muestra la potencia interceptada tras ser emitida por el radar y la fracción de la misma dispersada en sentido opuesto.



**Figura 6.13:** Sistema de RADAR Earth Station con una antena de UWB outdoor como elemento interferente.

La antena utilizada será una antena parabólica giratoria de polarización circular. La ganancia máxima de la antena es de 40 dB, sin embargo, por el diagrama de radiación (Figura 6.14) se puede observar que, según el ángulo  $\alpha$  ( $\theta - \gamma$ ). Es por ello que, dependiendo de la inclinación de la antena junto con el ángulo producido por la horizontal y la recta que une radar y transmisor UWB, la ganancia hacia el transmisor UWB tomará distintos valores.

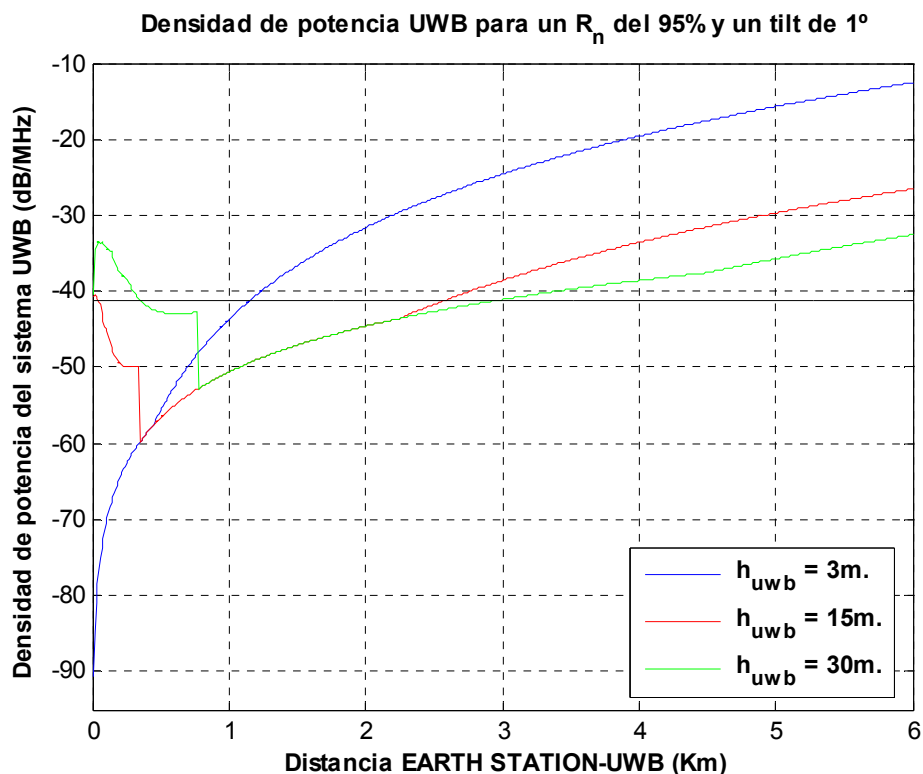


**Figura 6.14:** Ganancia del radar Earth Station dependiente del ángulo de elevación

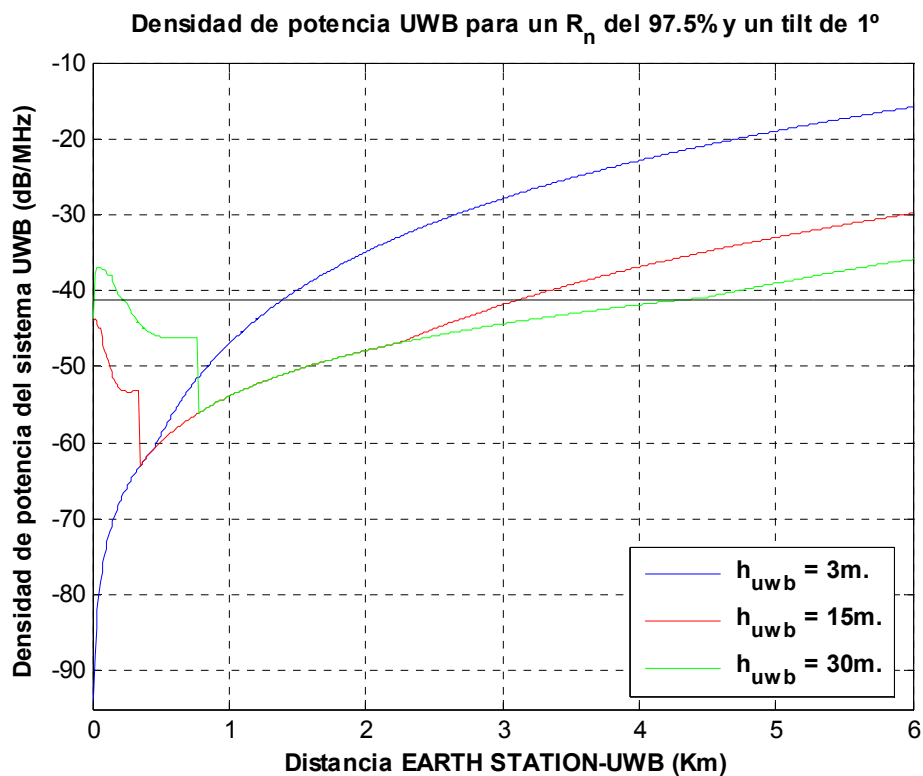
### 6.4.3. Resultados obtenidos para una frecuencia de 3.75 GHz

Para el escenario que vamos a tratar explicado anteriormente, la máxima densidad de potencia permitida según la FCC es de  $-41.3$  dBm/MHz. Estudiaremos el efecto ocasionado por el sistema UWB sobre la antena Earth Station representando las densidades de potencia UWB permitido para conseguir un rango de cobertura adecuado (95 %-97.5%). Las gráficas representarán la densidad de potencia UWB en función de la distancia entre ambos sistemas para un rango entre los 2 m. y 200 m en el caso de un ángulo grande. Para el caso de un ángulo pequeño, el rango lo pondremos hasta el rango de los Kilómetros. Como explicamos en el anterior sistema de Radar, tomaremos la distancia de coordinación como la distancia para la cual la máscara propuesta no se cumple y es necesario disminuirla para evitar posibles interferencias. El punto de máxima distancia coincide con la densidad espectral de potencia UWB recomendada por la máscara de emisión y por ello, hasta este punto, la máscara no se cumple y no se podrá colocar un sistema UWB en ese rango.

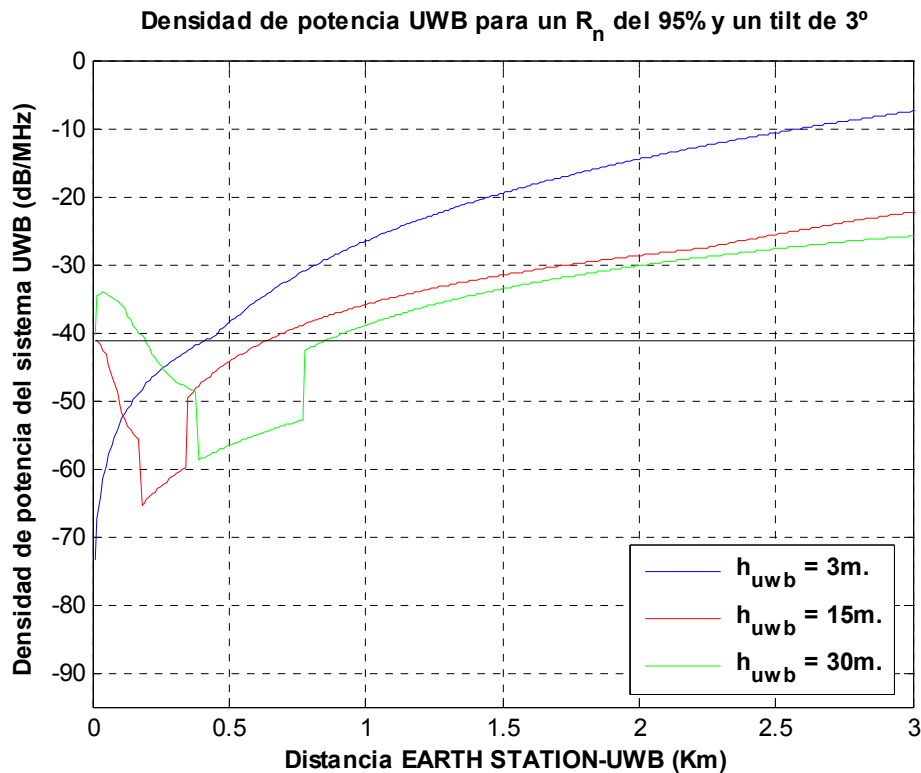
En las graficas siguientes (Figura 6.15– Figura 6.26) vamos a observar, para un rango determinado del 95 o 97.5% la densidad de potencia UWB respecto a la distancia desde la antena del radar hasta la de UWB para una altura constante de la antena UWB (3, 15, y 30 m.) y diferentes inclinaciones mecánicas. Primero obtendremos para unas inclinaciones pequeñas de  $1^\circ$ ,  $3^\circ$  y  $5^\circ$ . Después tendremos las altas de  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $60^\circ$



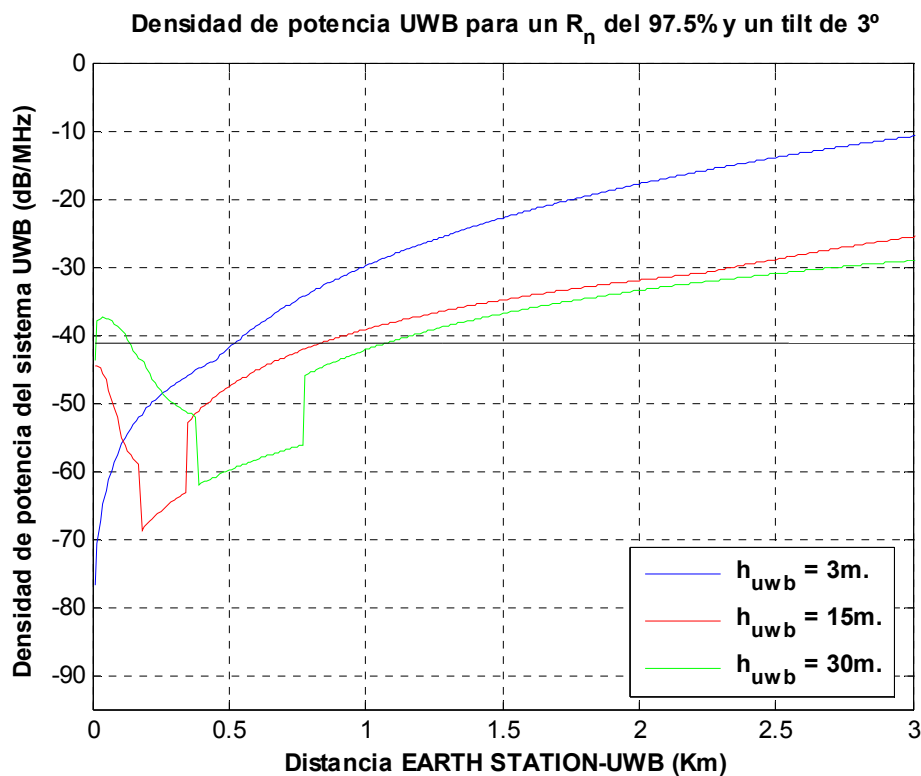
**Figura 6.15:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (10m. a 6000m.), para un rango normalizado del 95%, inclinación de  $1^\circ$  y diferentes alturas para la antena UWB.



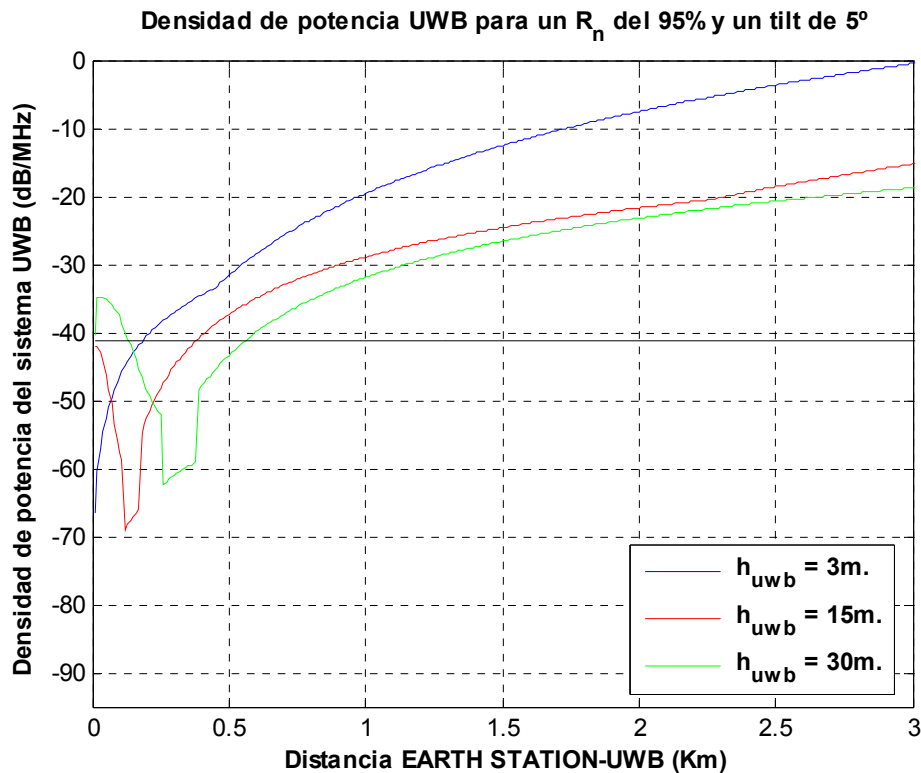
**Figura 6.16:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (10m. a 6000m.), para un rango normalizado del 97.5%, inclinación de  $1^\circ$  y diferentes alturas para la antena UWB.



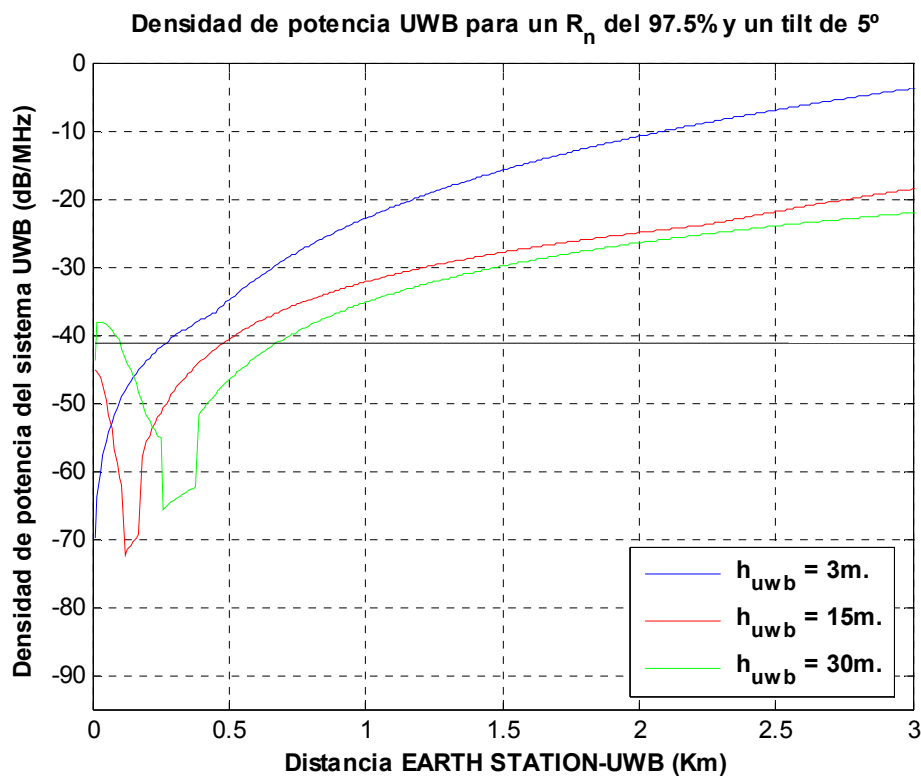
**Figura 6.17:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (10m. a 3000m.), para un rango normalizado del 95%, inclinación de  $3^\circ$  y diferentes alturas para la antena UWB.



**Figura 6.18:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (10m. a 3000m.), para un rango normalizado del 97.5%, inclinación de  $3^\circ$  y diferentes alturas para la antena UWB.

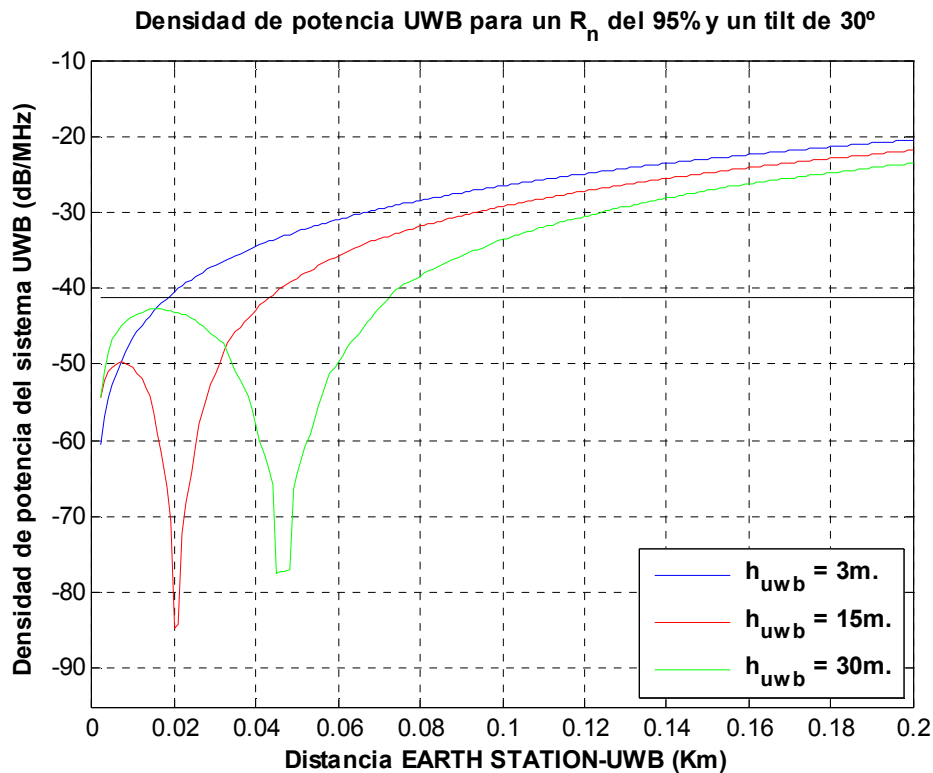


**Figura 6.19:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (10m. a 3000m.), para un rango normalizado del 95%, inclinación de  $5^\circ$  y diferentes alturas para la antena UWB.

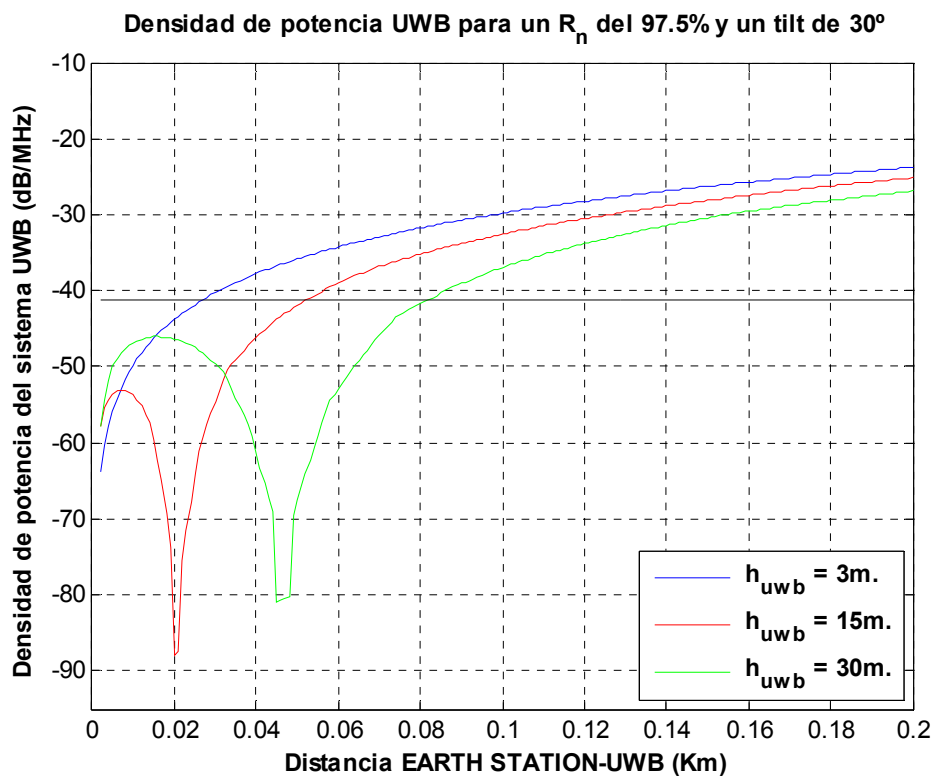


**Figura 6.20:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (10m. a 3000m.), para un rango normalizado del 97.5%, inclinación de  $5^\circ$  y diferentes alturas para la antena UWB.

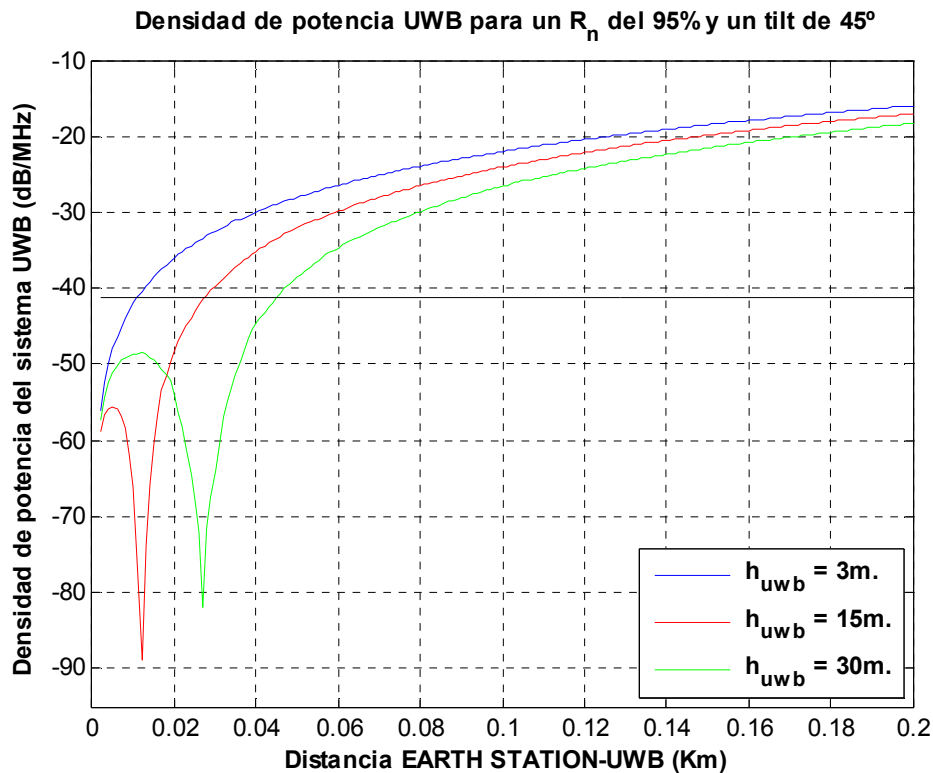




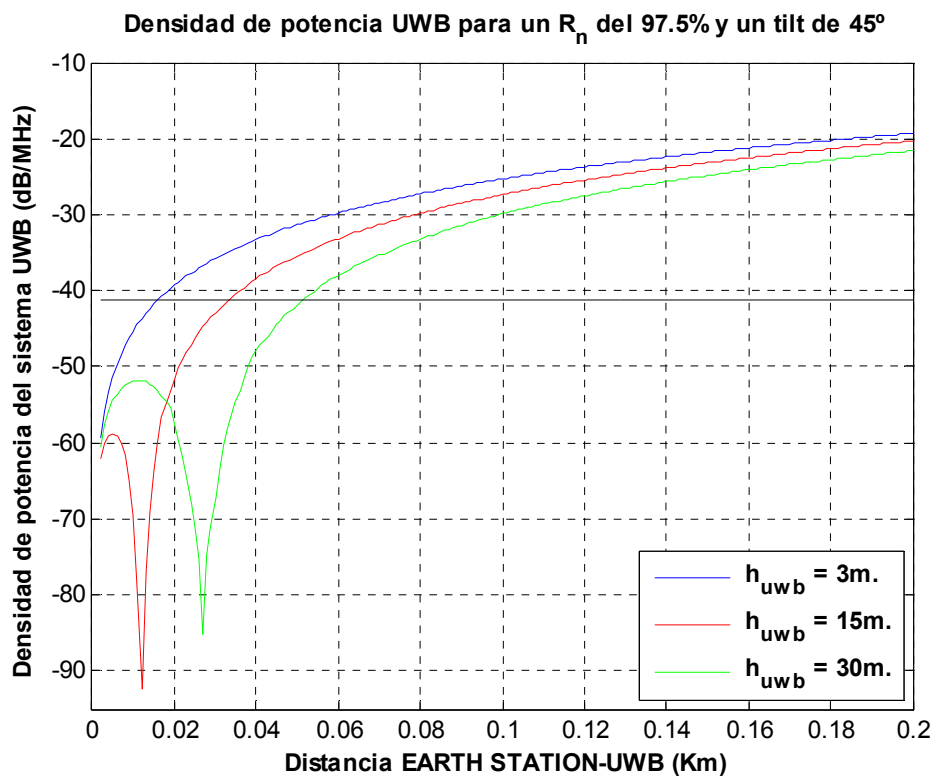
**Figura 6.21:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (2m. a 200m.), para un rango normalizado del 95%, inclinación de  $30^\circ$  y diferentes alturas para la antena UWB.



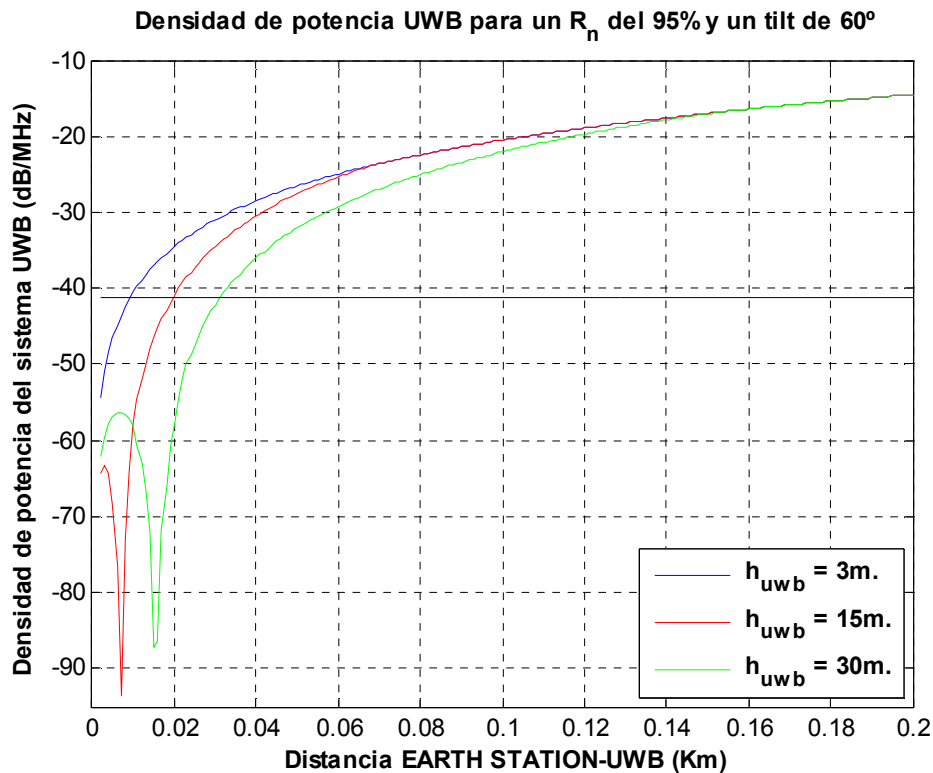
**Figura 6.22:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (2m. a 200m.), para un rango normalizado del 97.5%, inclinación de  $30^\circ$  y diferentes alturas para la antena UWB.



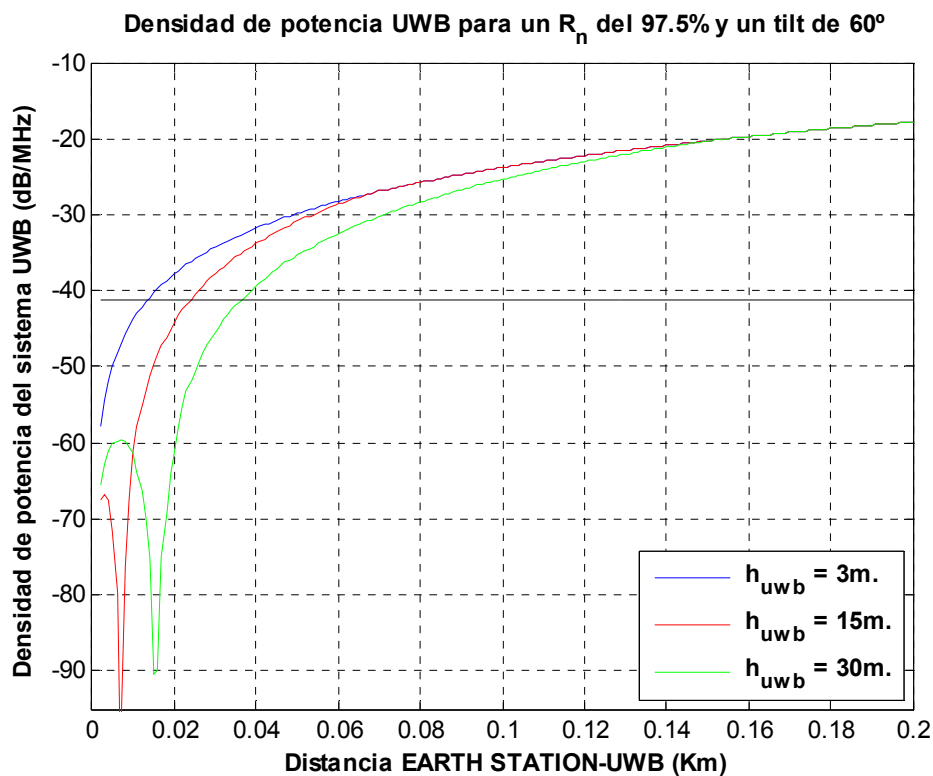
**Figura 6.23:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (2m. a 200m.), para un rango normalizado del 95%, inclinación de 45° y diferentes alturas para la antena UWB.



**Figura 6.24:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (2m. a 200m.), para un rango normalizado del 97.5%, inclinación de 45° y diferentes alturas para la antena UWB.



**Figura 6.25:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (2m. a 200m.), para un rango normalizado del 95%, inclinación de  $60^\circ$  y diferentes alturas para la antena UWB.



**Figura 6.26:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre E.S-UWB (2m. a 200m.), para un rango normalizado del 97.5%, inclinación de  $60^\circ$  y diferentes alturas para la antena UWB.

Se puede observar que, durante los primeros metros de distancia entre ambos sistemas, la densidad de potencia UWB desciende hasta que, a una determinada distancia, comienza a ascender formando una figura cóncava. Para una altura de 3 m en cambio, comienza a ascender desde los primeros metros de distancia. Esto se debe a la forma que tiene la Figura 6.14, que muestra que la ganancia para un ángulo pequeño es cercana a los 40 dB y luego desciende fuertemente hasta valores de ganancia negativa. A distancias pequeñas, el ángulo que forman es alto y, debido a la diferencia con la inclinación, la ganancia es alta. Cuando crece la distancia, el ángulo que forman entre los sistemas es menor, provocando un ángulo total mayor y una ganancia menor. La conclusión es clara: las densidades de potencia UWB forman una figura contraria a la que forma la función de la ganancia con respecto al ángulo total que se produce.

Otro parámetro importante que hay que analizar es el ángulo de inclinación tomado. Para los casos en los que el ángulo de inclinación es más alto, el rango sobre el que varía la máxima y la mínima densidad de potencia es mayor que en los casos de menor inclinación. La distancia de coordinación decrece cuanto crece el Tilt. Para este parámetro se puede observar la diferencia que existe entre los valores tomados para un ángulo pequeño y un ángulo grande. En los casos de 1°, 3° y 5°, se han de tomar valores mayores para deducir la forma que sigue la densidad de potencia UWB y la distancia de coordinación del sistema. Esto va a provocar que, para asegurarnos una buena actuación del sistema Earth Station, haya que prohibir grandes distancias. Aunque la diferencia mayor se observa en el caso de 1°, con respecto al resto. Para este caso, la ganancia es muy grande en prácticamente todos los puntos, cercana al máximo (40 dB), lo que provoca que para observar la influencia del sistema UWB sobre E.S, halla que hablar de distancias del orden de Kilómetros. Esto va a provocar en este caso unas limitaciones muy grandes, cosa impensable en este caso.

Además, para los casos en los que se toma un rango normalizado del 97.5%, la densidad de potencia UWB es menor que en el caso del 95%. Esto provoca que la distancia de coordinación sea mayor en el caso que tomamos un valor del 97.5%. Es decir, cuantas mejores prestaciones tomemos para el estudio de los sistemas, a mayor distancia habría que poner el sistema UWB del sistema Earth Station.

En las siguientes tablas (Tabla 6.4 - Tabla 6.7) obtenemos la distancia de coordinación analizada anteriormente, para algunos casos descritos en las gráficas.

**Tabla 6.4:** Distancia de Coordinación en m. por la interferencia entre los sistemas E.S y UWB para una inclinación de 1°

	<b>Radio de cobertura normalizado del 95 %</b>	<b>Radio de cobertura normalizado del 97.5 %</b>
<b><math>h_{UWB} = 3 \text{ m.}</math></b>	1150 m.	1385 m.
<b><math>h_{UWB} = 15 \text{ m.}</math></b>	2562.5 m.	3100 m.
<b><math>h_{UWB} = 30 \text{ m.}</math></b>	2918.5 m.	4266.3 m.

**Tabla 6.5:** Distancia de Coordinación en m. por la interferencia entre los sistemas E.S y UWB para una inclinación de 5°

	<b>Radio de cobertura normalizado del 95 %</b>	<b>Radio de cobertura normalizado del 97.5 %</b>
<b><math>h_{UWB} = 3 \text{ m.}</math></b>	182.1 m.	266 m.
<b><math>h_{UWB} = 15 \text{ m.}</math></b>	378.4 m.	476.1 m.
<b><math>h_{UWB} = 30 \text{ m.}</math></b>	557 m.	672.2 m.

**Tabla 6.6:** Distancia de Coordinación en m. por la interferencia entre los sistemas E.S y UWB para una inclinación de 30°

	<b>Radio de cobertura normalizado del 95 %</b>	<b>Radio de cobertura normalizado del 97.5 %</b>
<b><math>h_{UWB} = 3 \text{ m.}</math></b>	18.2 m.	26.6 m.
<b><math>h_{UWB} = 15 \text{ m.}</math></b>	43 m.	52 m.
<b><math>h_{UWB} = 30 \text{ m.}</math></b>	72 m.	81.3 m.

**Tabla 6.7:** Distancia de Coordinación en m. por la interferencia entre los sistemas E.S y UWB para una inclinación de 60°

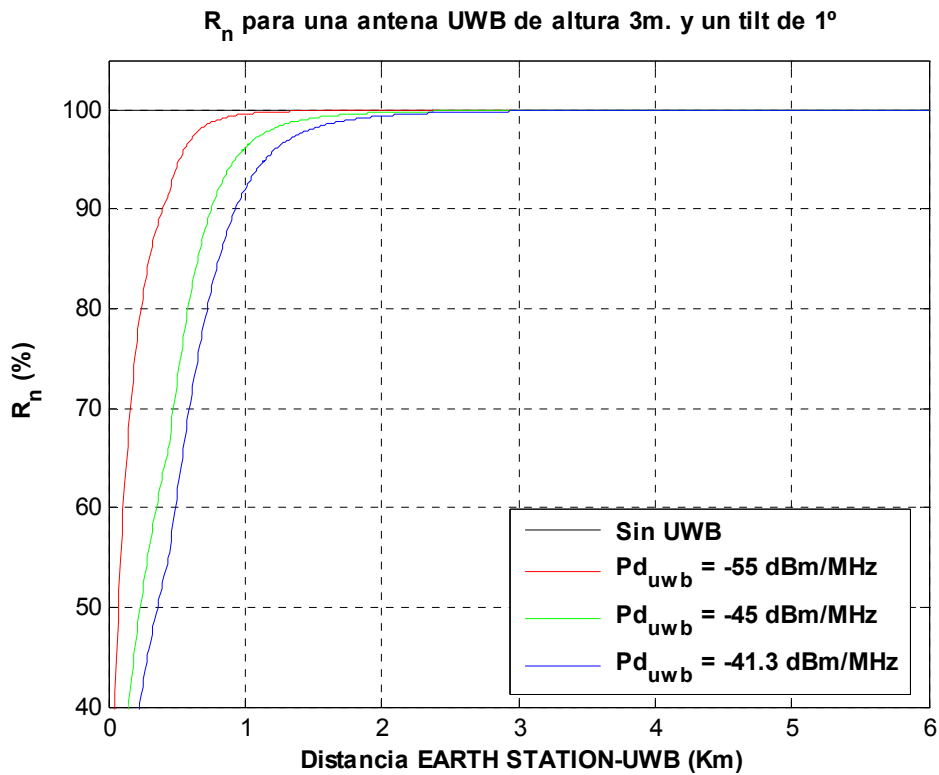
	<b>Radio de cobertura normalizado del 95 %</b>	<b>Radio de cobertura normalizado del 97.5 %</b>
<b><math>h_{UWB} = 3 \text{ m.}</math></b>	9.12 m.	13.3 m.
<b><math>h_{UWB} = 15 \text{ m.}</math></b>	19.5 m.	23.8 m.
<b><math>h_{UWB} = 30 \text{ m.}</math></b>	31 m.	36.2 m.

A continuación, se muestran unos resultados más gráficos de la función del radio normalizado para los distintos casos de la altura de la antena UWB. Para cada una de estas alturas se muestran dos tipos de gráficas (Figura 6.27- Figura 6.62). Las primeras representan la variación del radio normalizado en función de la distancia para cuatro densidades de potencia UWB. Una es para un valor de  $-41.3$  dBm/MHz dado por la FCC, otra muestra el valor sin interferencia UWB, y las otras dos, valores de densidad de potencia tomados que se encuentran entre medias de ambos,  $-45$  dBm/MHz y  $-55$  dBm/MHz.

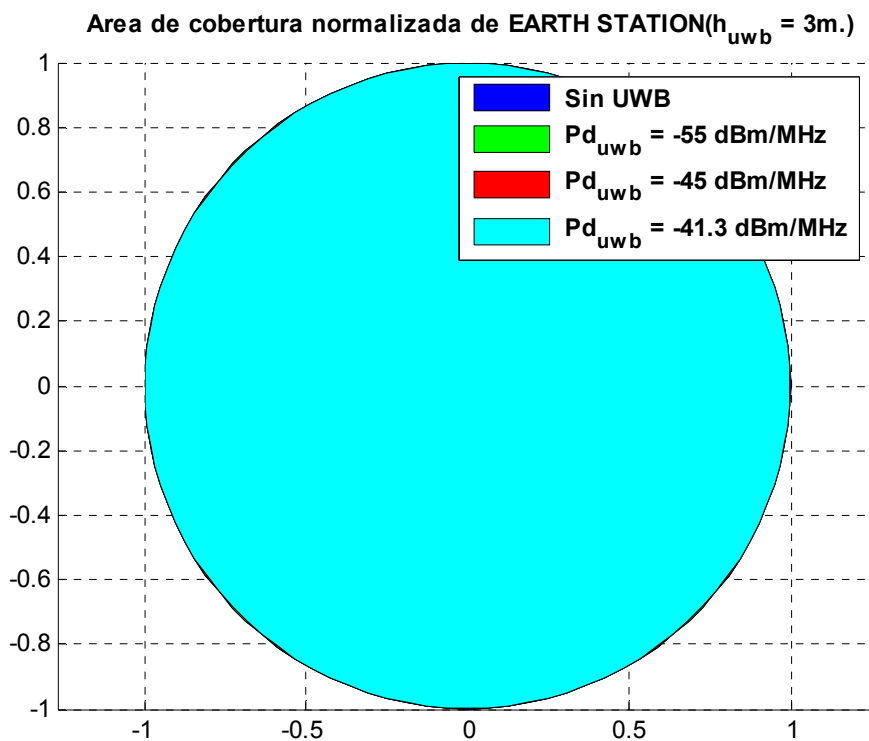
En estas representaciones se puede observar cómo el valor del radio normalizado crece rápidamente hasta alcanzar valores muy cercanos al 100 % a partir de una distancia distinta para los casos estudiados. Obviamente, para el caso en que no existe interferencia UWB, el radio normalizado se mantiene constante al 100 % para todo el rango de distancias. Para el caso de una inclinación pequeña, el radio normalizado alcanza valores cercanos al 100% a mayor distancia que para los casos de ángulo grande. Las mejores prestaciones se alcanzan a  $60^\circ$ . Las peores se dan con una inclinación de  $1^\circ$ , donde en el caso de una antena UWB a 30 m, se alcanzan más allá de los 6 Km.

El otro tipo de gráficas representado da una visión del área de cobertura normalizada para los distintos valores descritos anteriormente. Esta es una representación más visible de las posibilidades que nos ofrecen las densidades de potencia de UWB seleccionadas. Para ello, tomaremos valores del Radio Normalizado a una distancia en la que su valor este alcanzando el valor de 100% en las primeras gráficas.

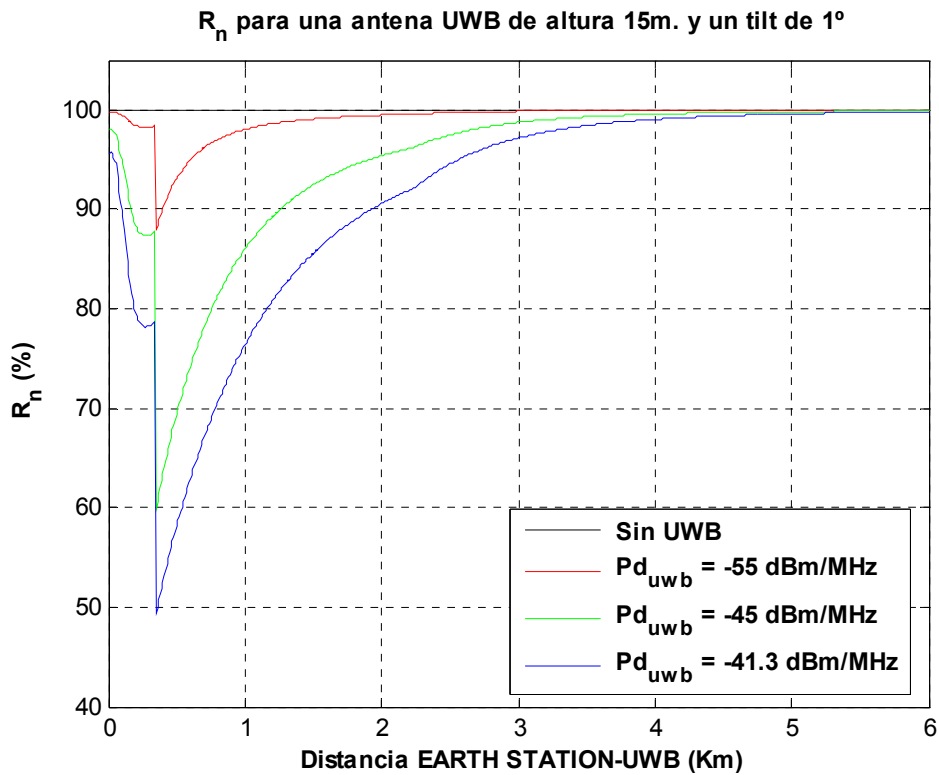
Para el caso de un Tilt de  $1^\circ$  tomaremos la distancia de 2500 m, para  $3^\circ$  a 800., para  $5^\circ$  a 500m. En los casos de una inclinación grande tomaremos a  $30^\circ$  la distancia de 60m, para el Tilt de  $45^\circ$  tomaremos 35 m y para un Tilt de  $60^\circ$  será a 25 m. Se observará que para alturas de 3 y 15 m de la antena UWB, el área normalizada es muy cercana al 100% para todas las potencias; pero, para el caso de una altura de 30m, el área pierde muchas prestaciones. Para una altura mayor, la distancia de coordinación aumentara y tendrá mayores problemas. Finalmente, hay que referenciar que cuanto menor sea el valor que tomemos de la densidad de potencia UWB, el radio normalizado será mayor, y, por tanto, la calidad de los sistemas mejorará significativamente.



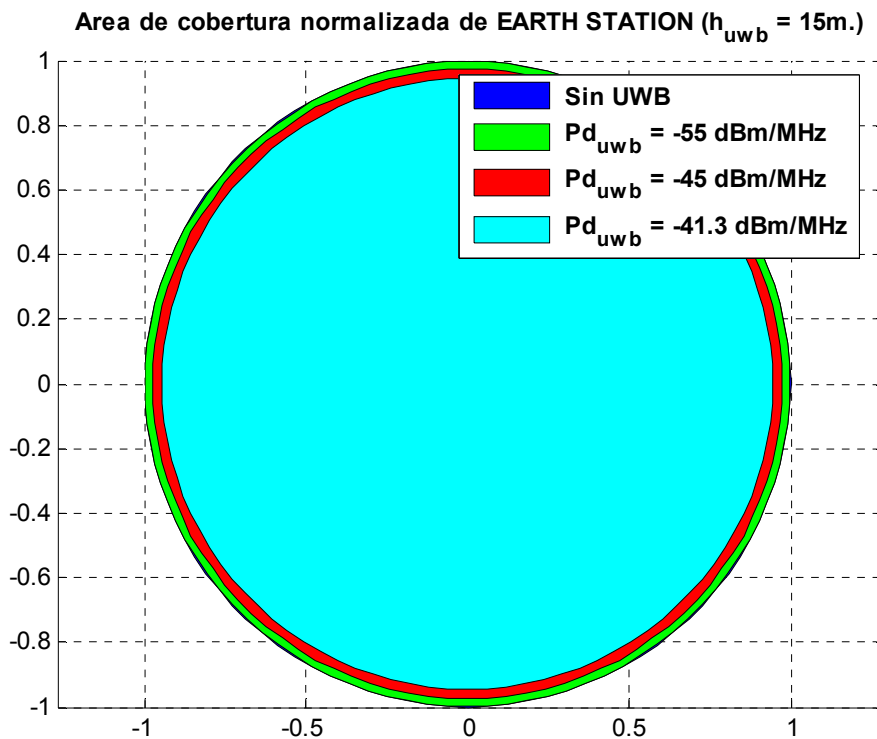
**Figura 6.27:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 6000 m.), para una antena UWB de 3 m, inclinación de  $1^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



**Figura 6.28:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 2500 m, inclinación de  $1^\circ$  y una altura de la antena UWB de 3 m.

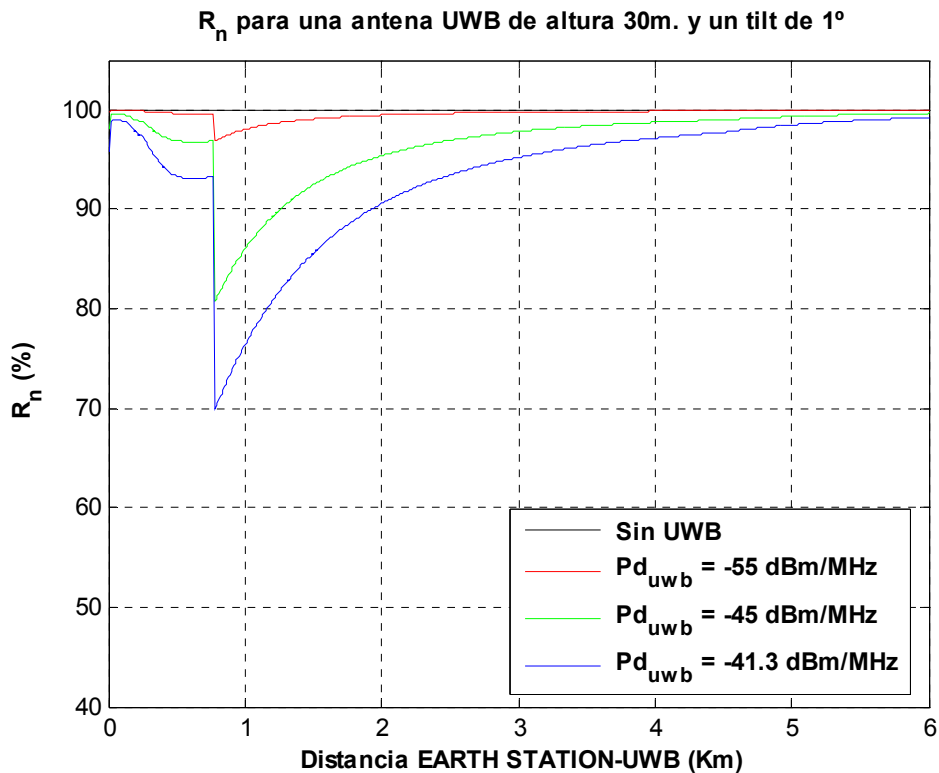


**Figura 6.29:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 6000 m.), para una antena UWB de 15 m, inclinación de  $1^\circ$  y diferentes densidades de potencia.

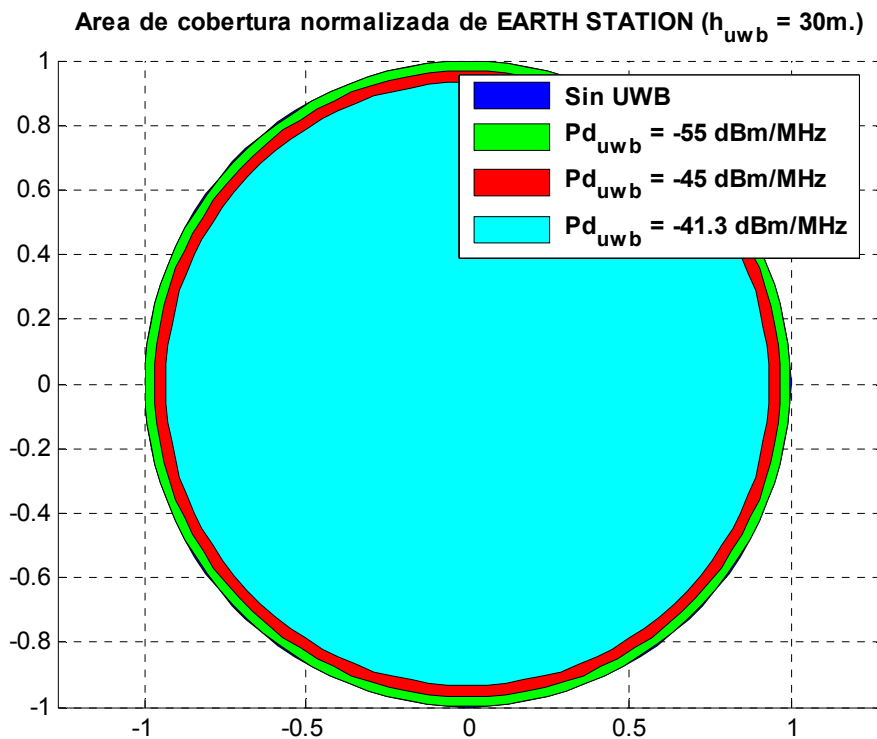


**Figura 6.30:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 2500 m, inclinación de  $1^\circ$  y una altura de la antena UWB de 15 m.

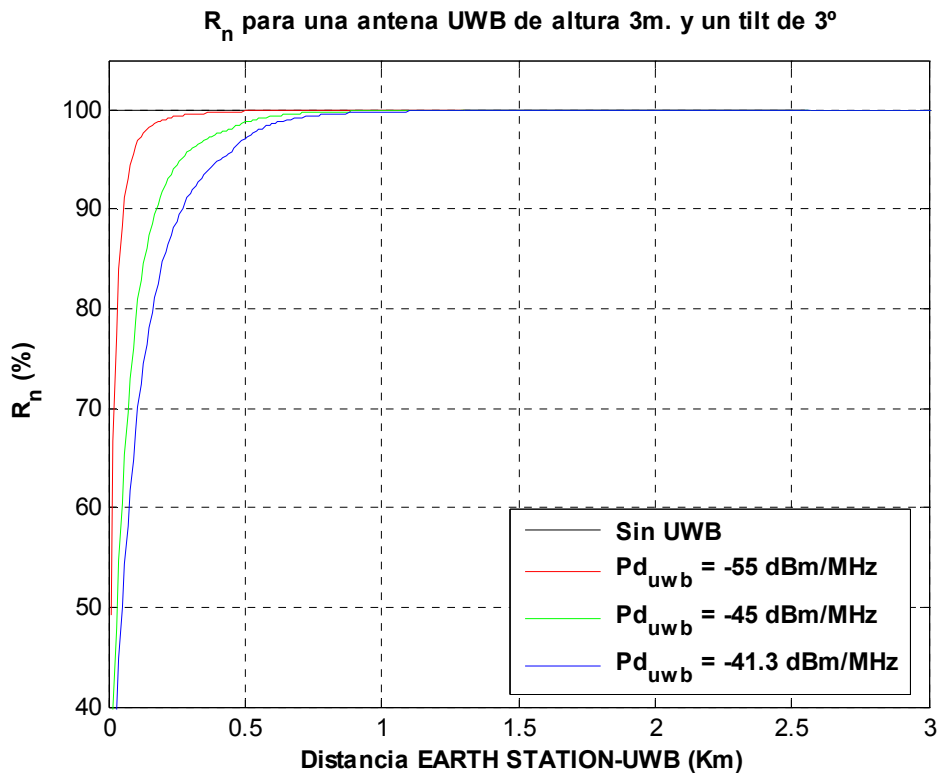




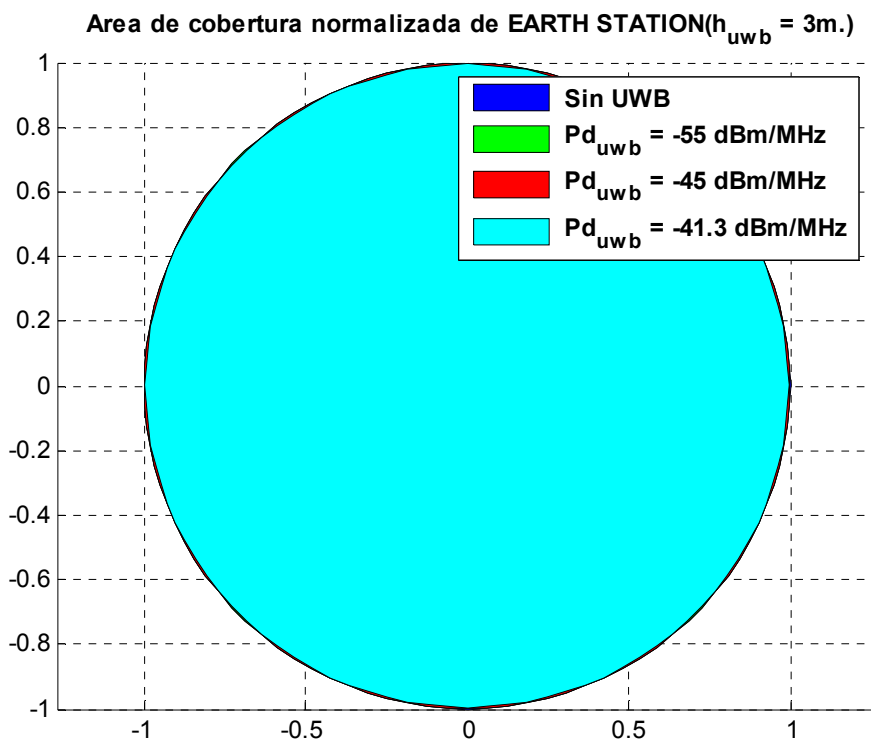
**Figura 6.31:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 6000 m.), para una antena UWB de 30 m, inclinación de  $1^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



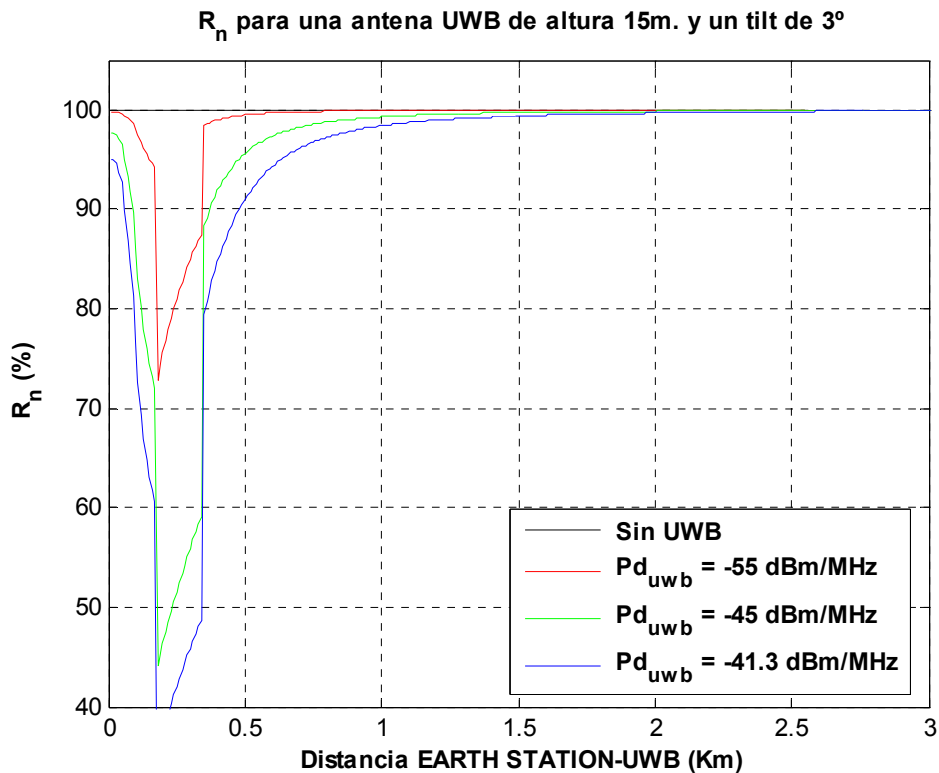
**Figura 6.32:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 2500 m, inclinación de  $1^\circ$  y una altura de la antena UWB de 30 m.



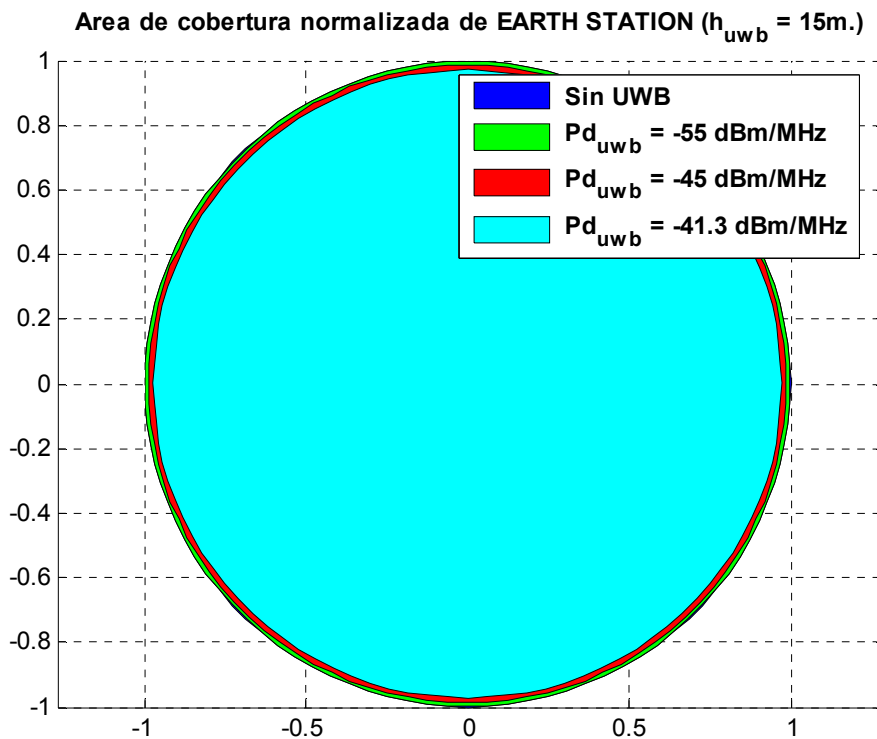
**Figura 6.33:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 3000 m.), para una antena UWB de 3 m, inclinación de  $3^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



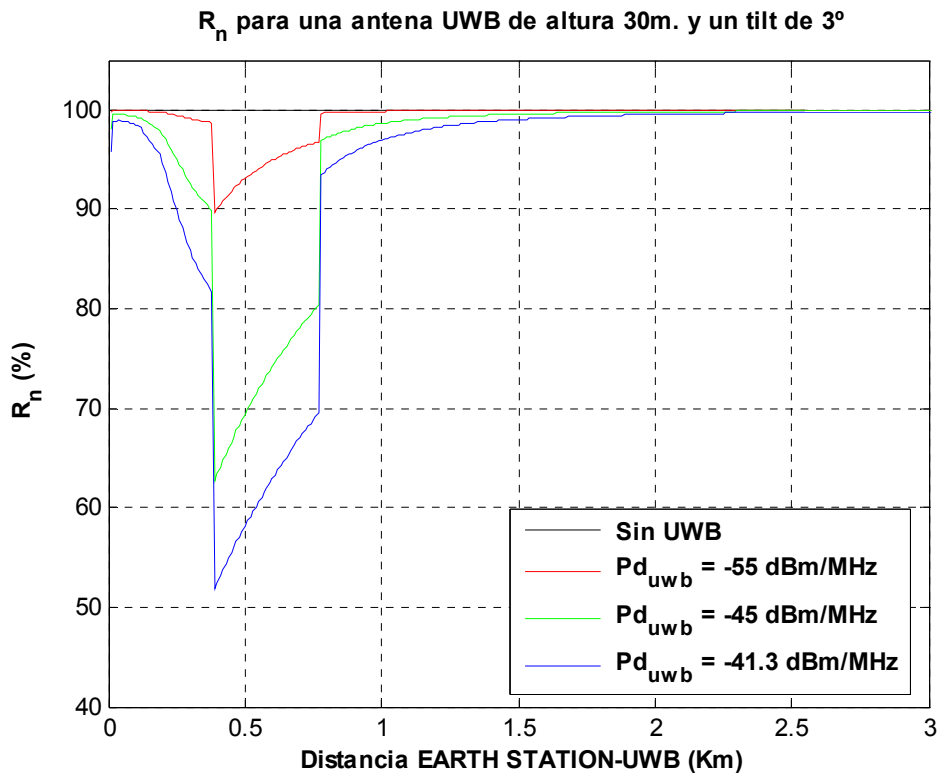
**Figura 6.34:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 800 m, inclinación de  $3^\circ$  y una altura de la antena UWB de 3 m.



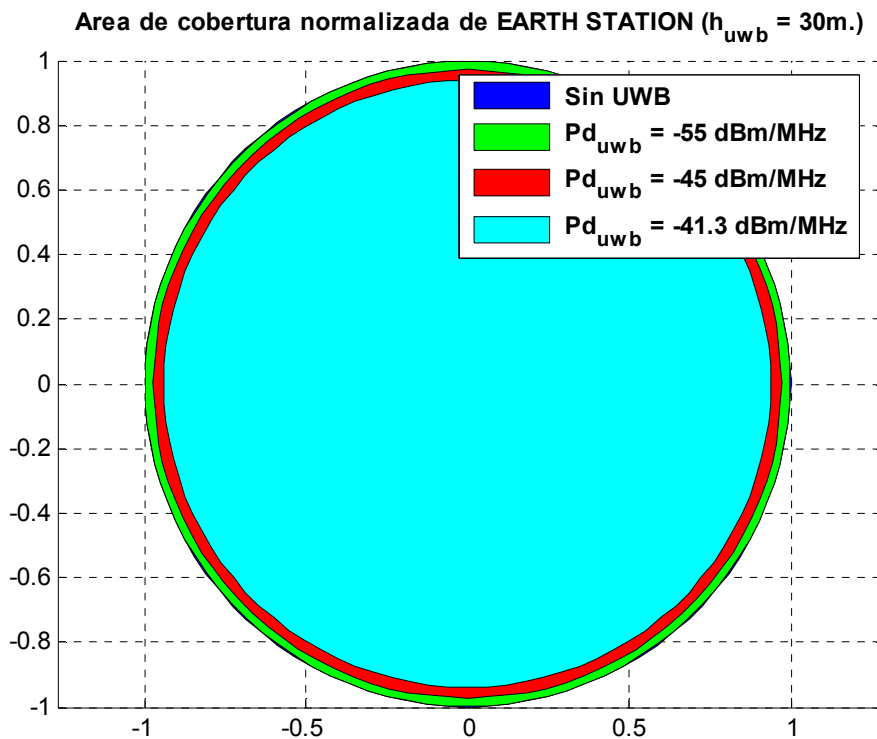
**Figura 6.35:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 3000 m.), para una antena UWB de 15 m, inclinación de  $3^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



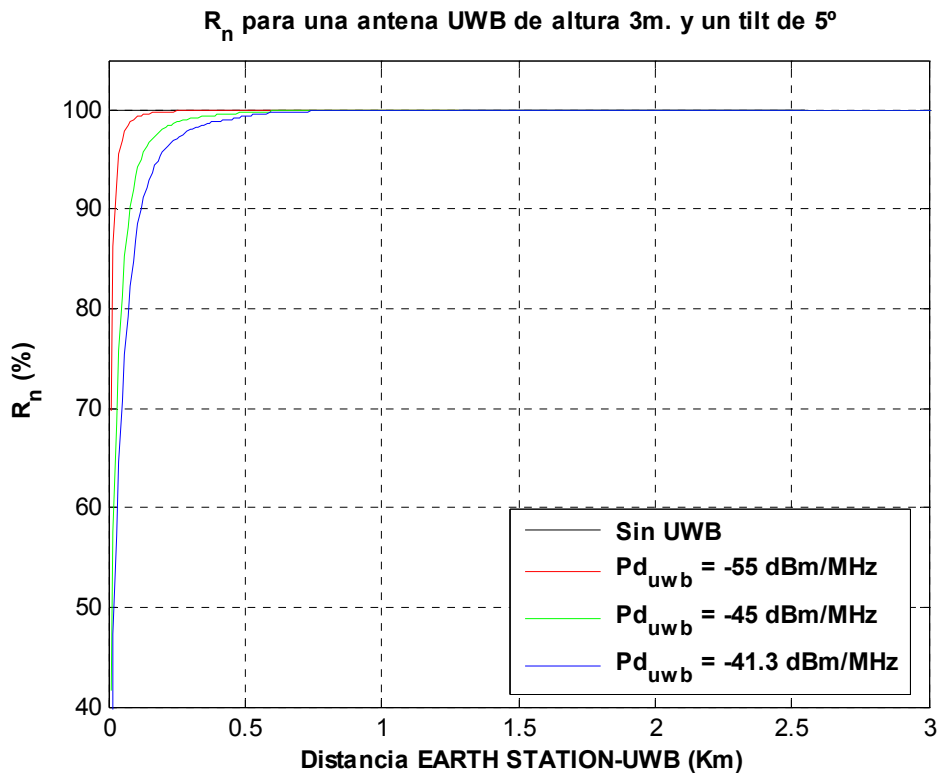
**Figura 6.36:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 800 m, inclinación de  $3^\circ$  y una altura de la antena UWB de 15 m.



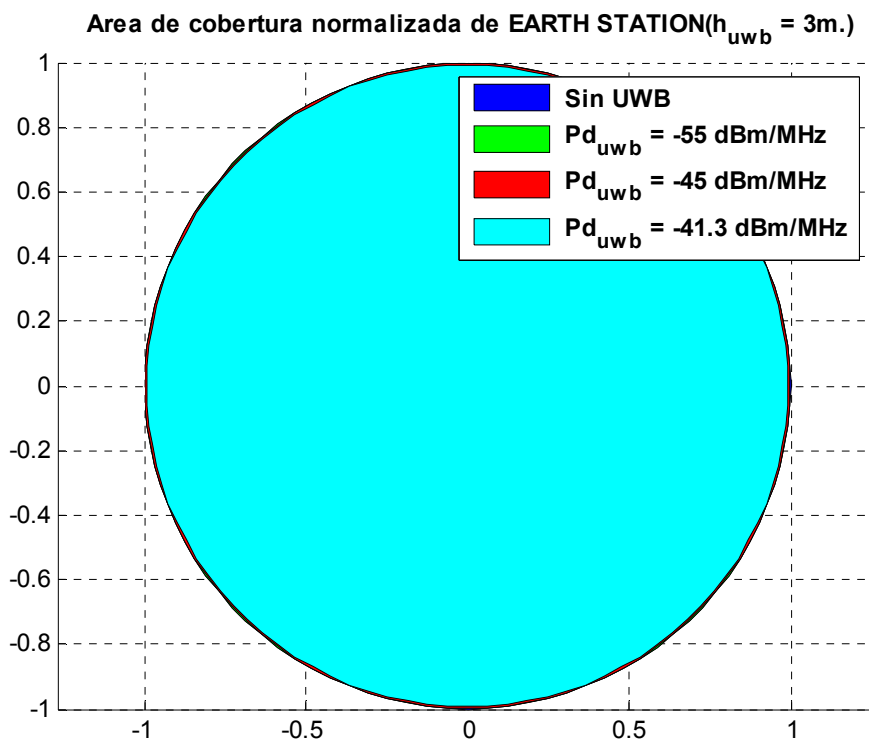
**Figura 6.37:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 3000 m.), para una antena UWB de 30 m, inclinación de  $3^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



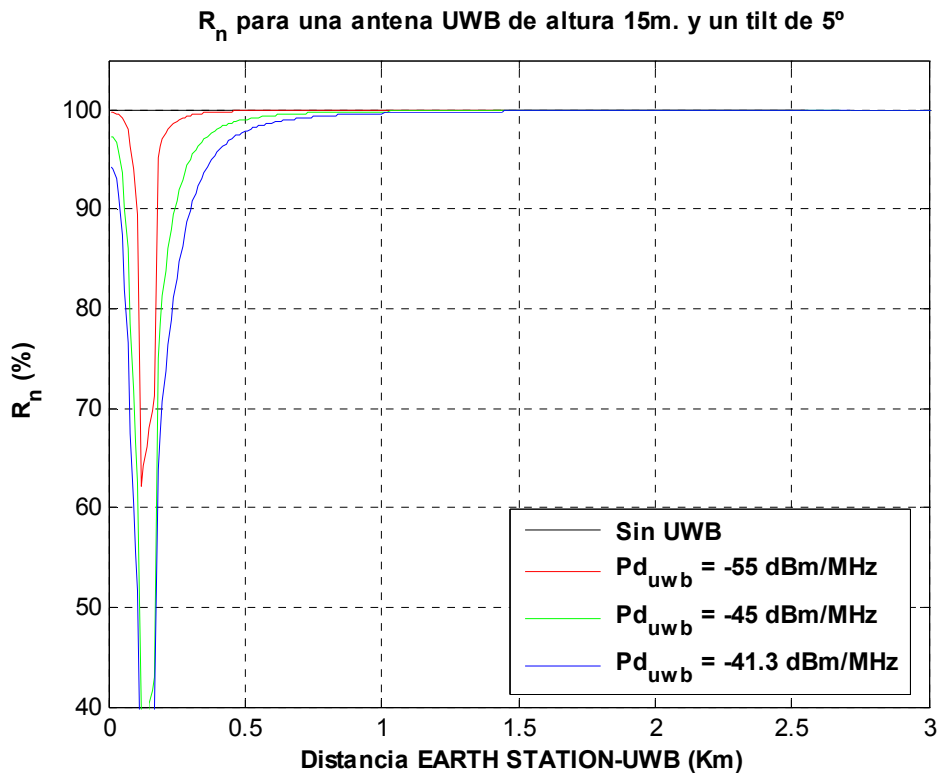
**Figura 6.38:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 800 m, inclinación de  $3^\circ$  y una altura de la antena UWB de 30 m.



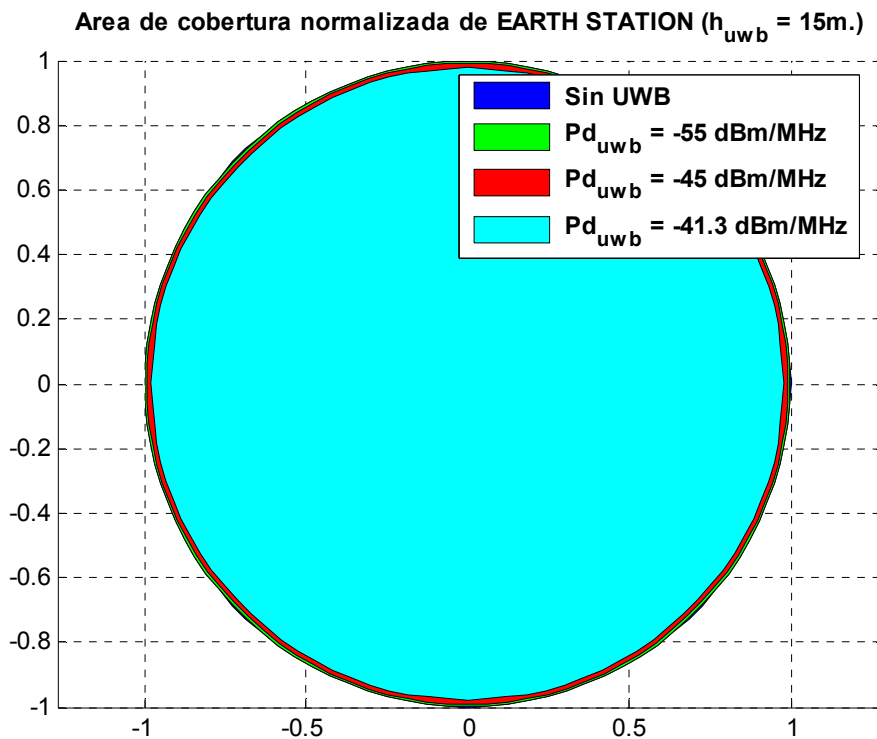
**Figura 6.39:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 3000 m.), para una antena UWB de 3 m, inclinación de  $5^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



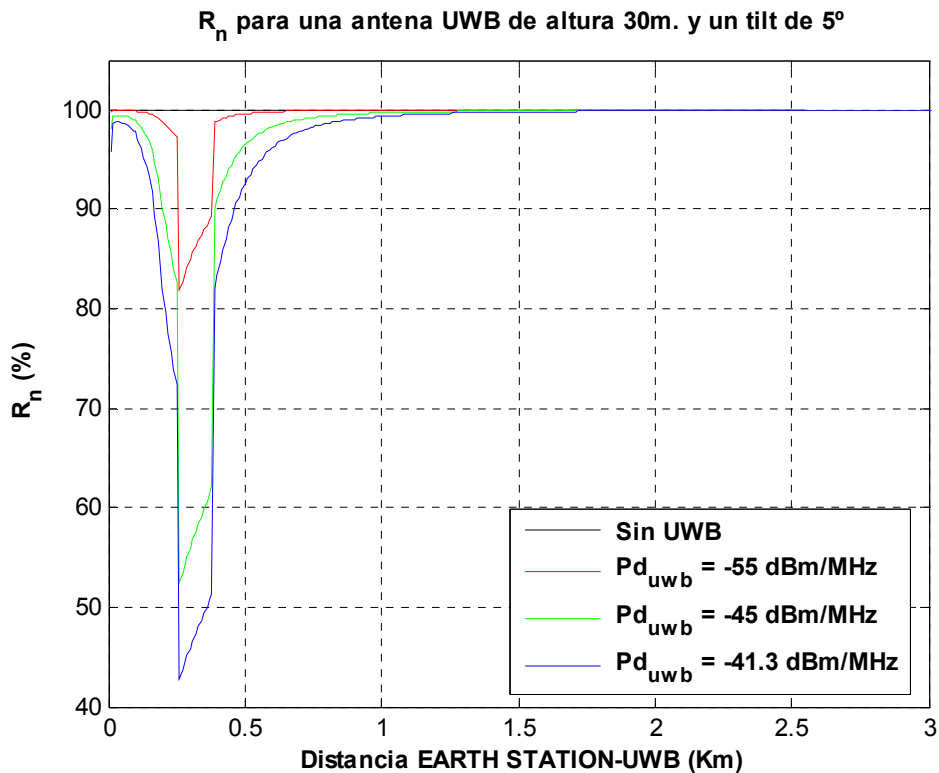
**Figura 6.40:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 500 m, inclinación de  $5^\circ$  y una altura de la antena UWB de 3 m.



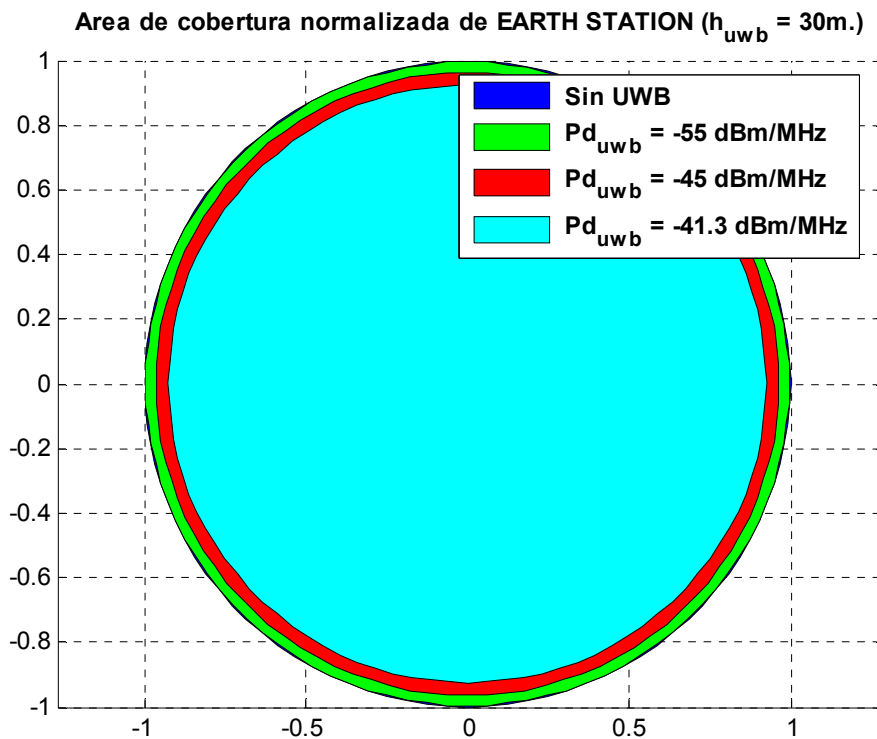
**Figura 6.41:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 3000 m.), para una antena UWB de 15 m, inclinación de  $5^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



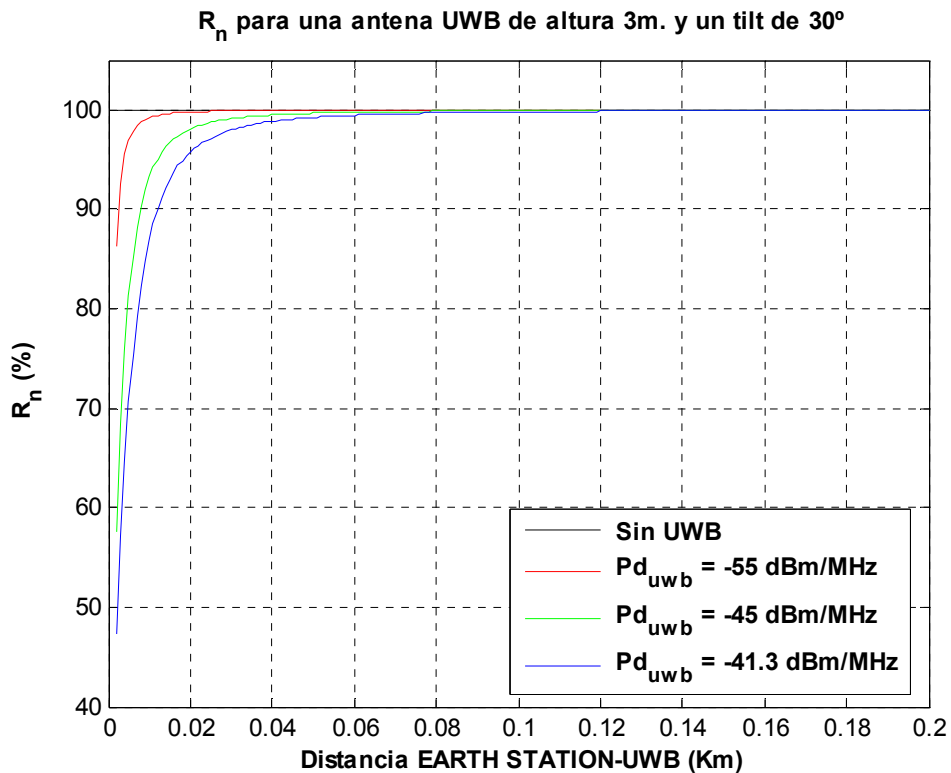
**Figura 6.42:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 500 m, inclinación de  $5^\circ$  y una altura de la antena UWB de 15 m.



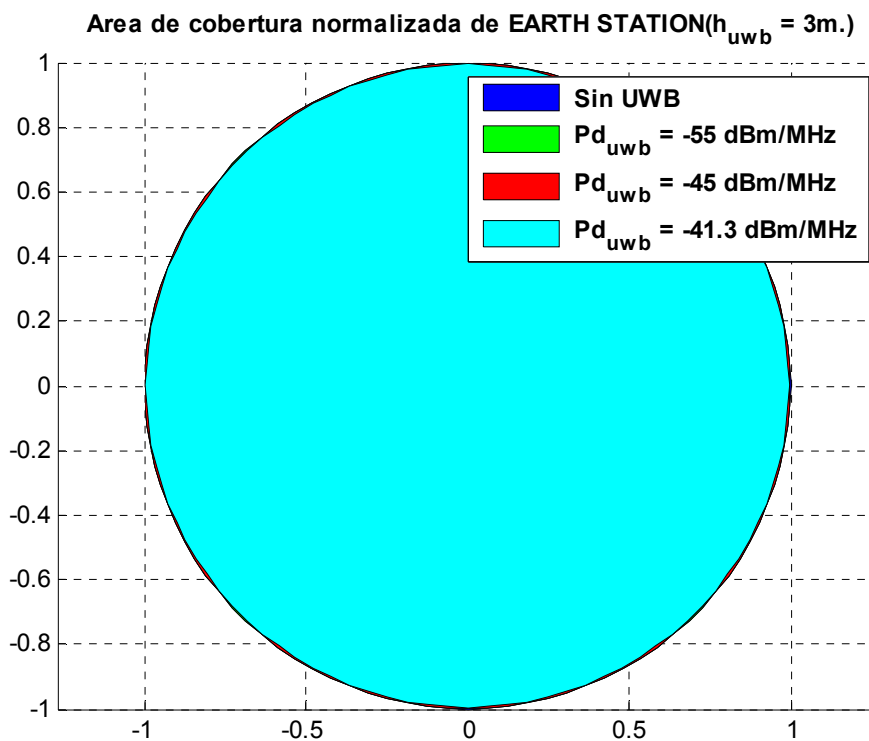
**Figura 6.43:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (10m. a 3000 m.), para una antena UWB de 30 m, inclinación de  $5^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



**Figura 6.44:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 500 m, inclinación de  $5^\circ$  y una altura de la antena UWB de 30 m.

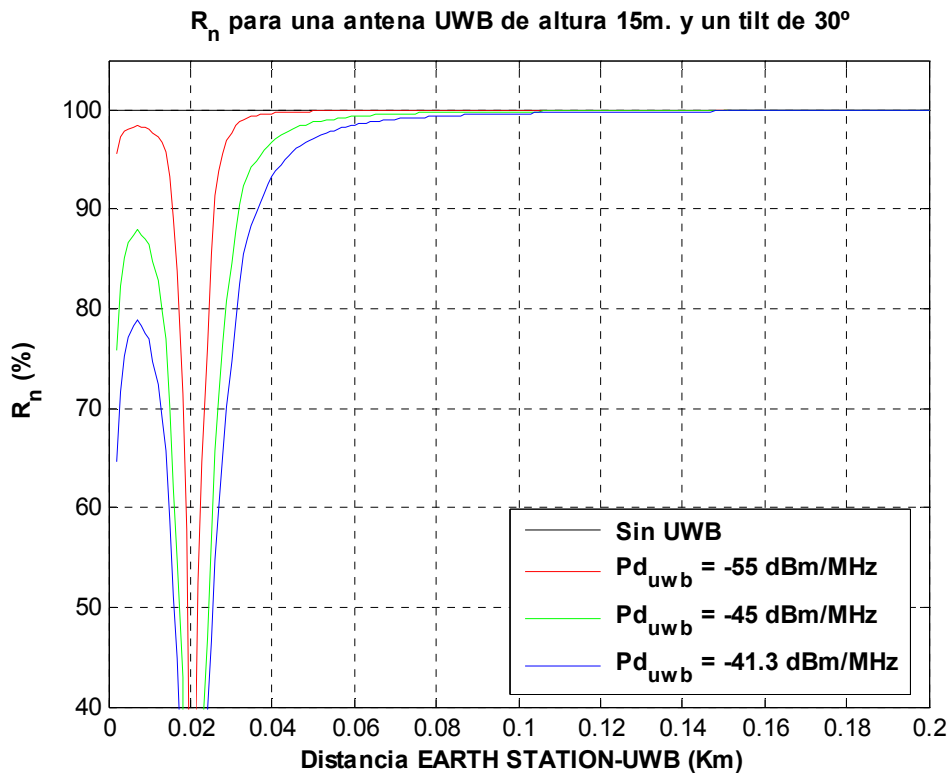


**Figura 6.45:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 3 m, inclinación de  $30^\circ$  y diferentes densidades de potencia.

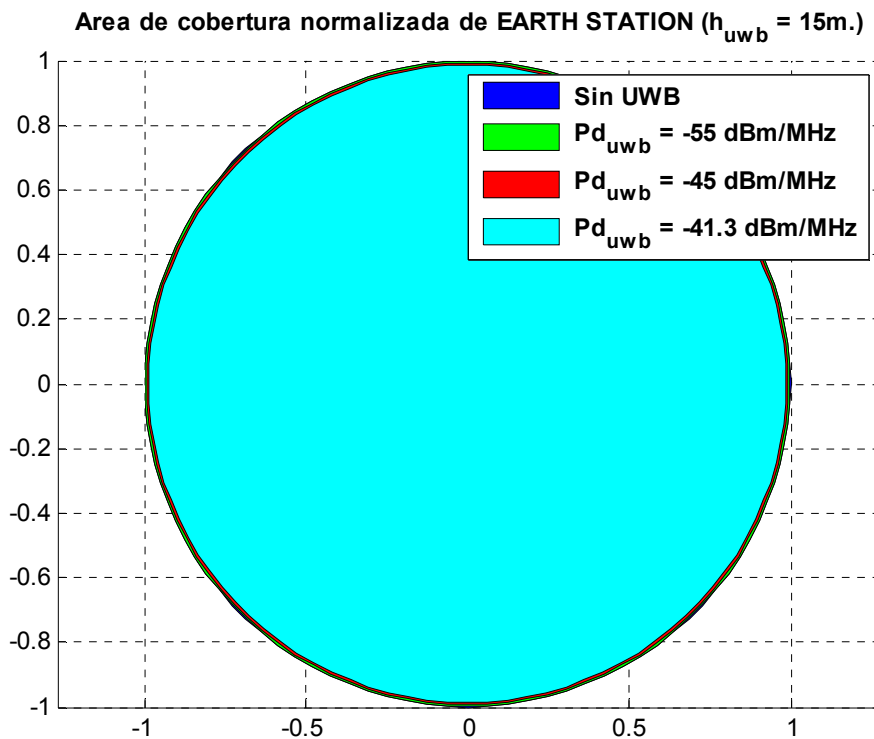


**Figura 6.46:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de  $30^\circ$  y una altura de la antena UWB de 3 m.

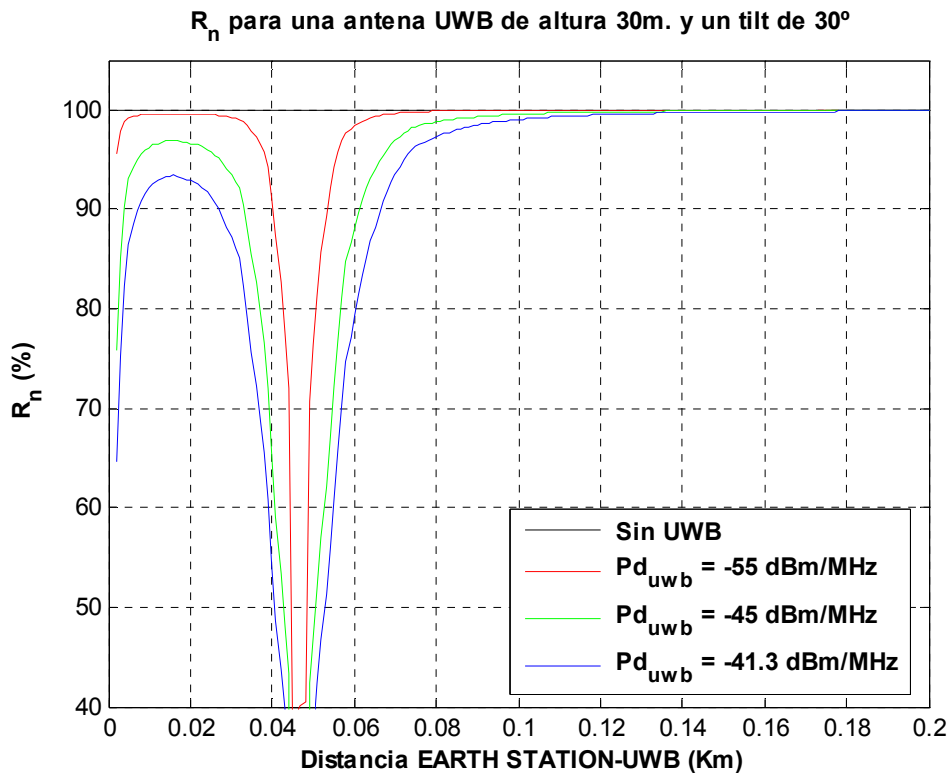




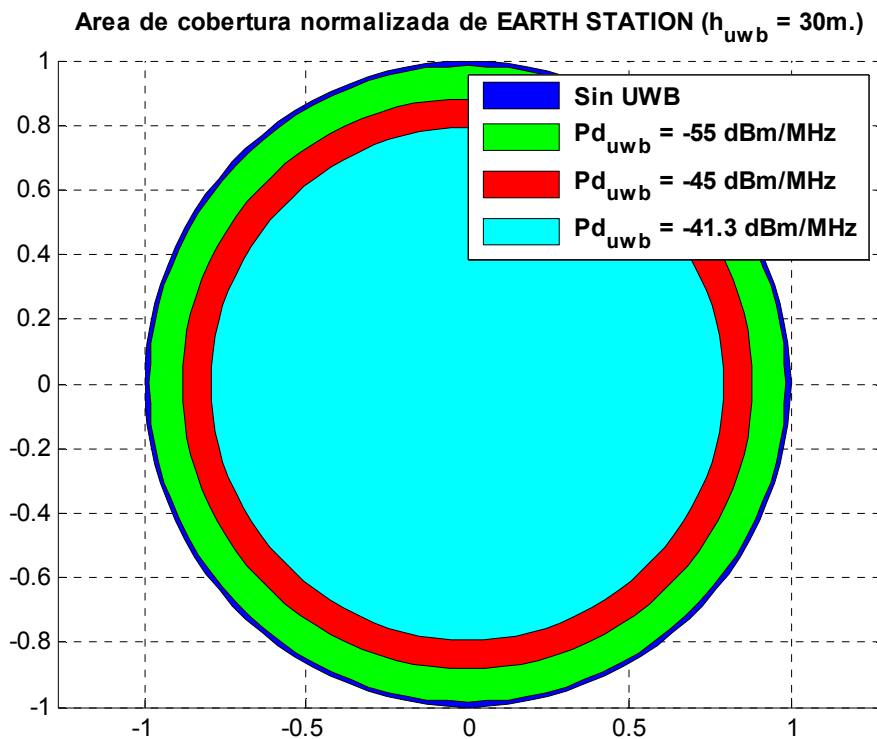
**Figura 6.47:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 15 m, inclinación de  $30^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



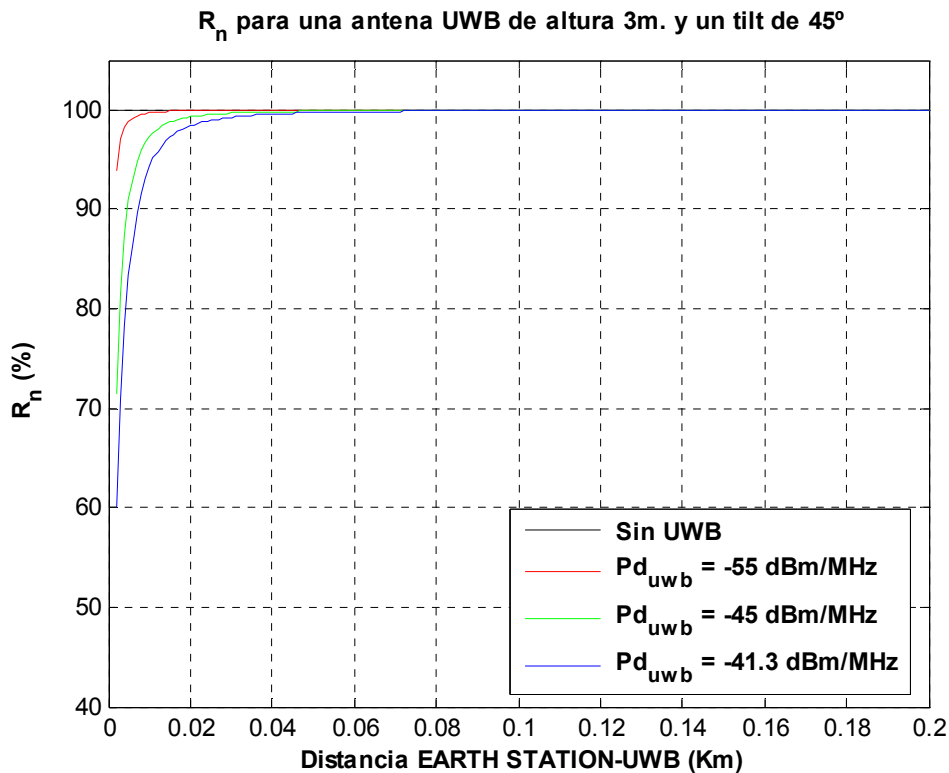
**Figura 6.48:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de  $30^\circ$  y una altura de la antena UWB de 15 m.



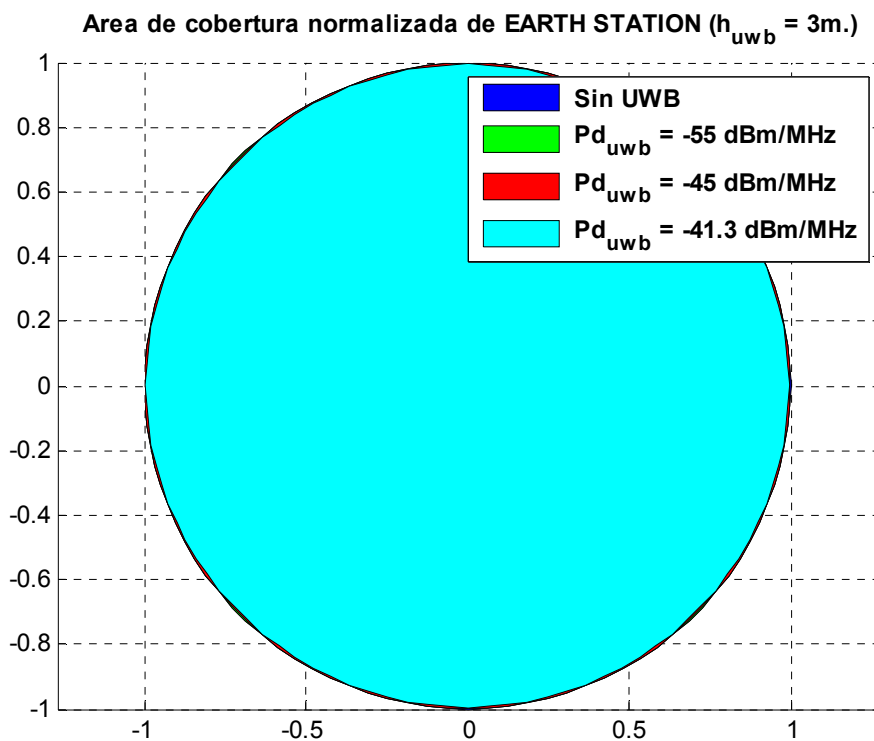
**Figura 6.49:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 30 m, inclinación de  $30^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



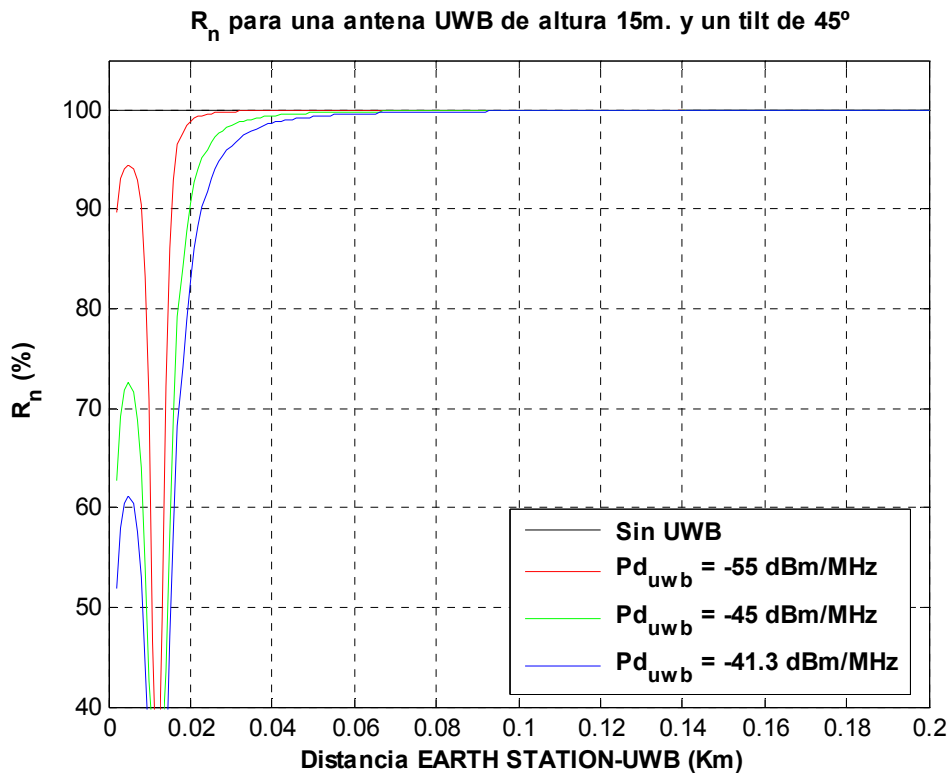
**Figura 6.50:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de  $30^\circ$  y una altura de la antena UWB de 30 m.



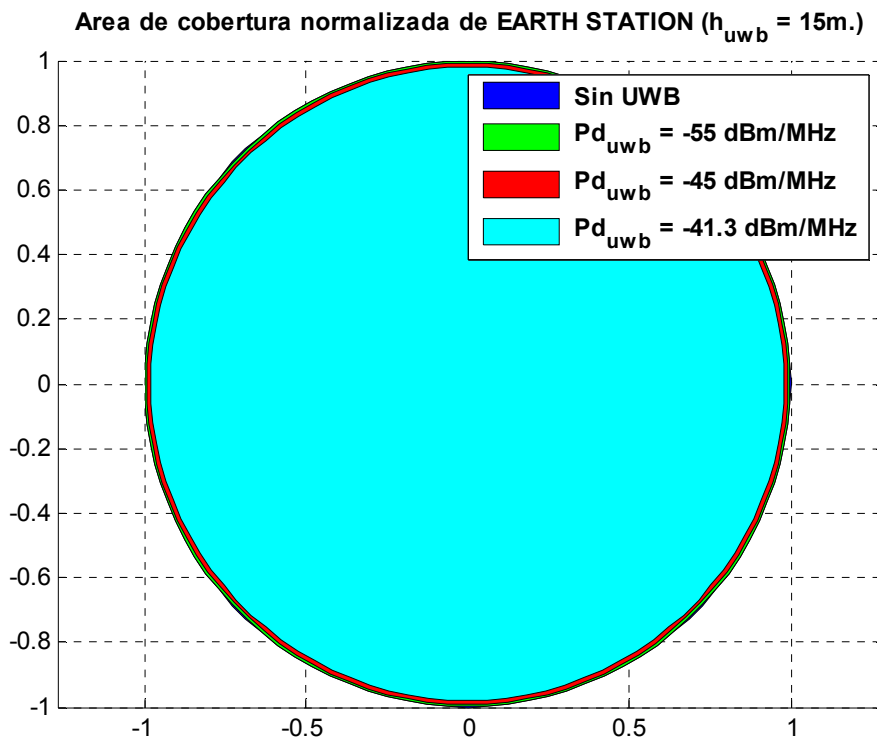
**Figura 6.51:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 3 m, inclinación de  $45^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



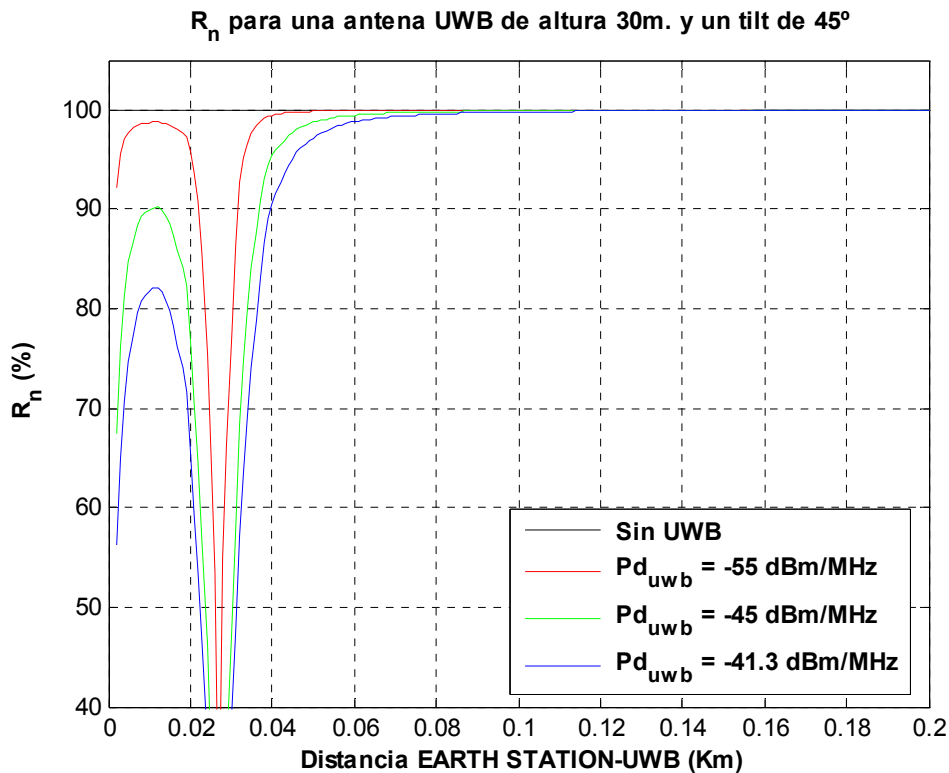
**Figura 6.52:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de  $45^\circ$  y una altura de la antena UWB de 3 m.



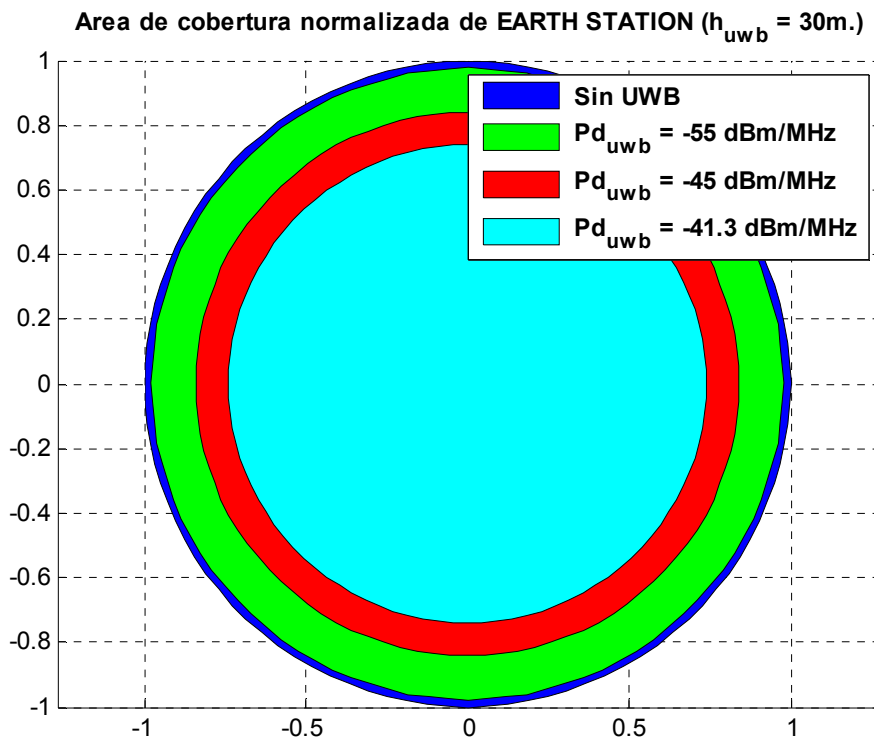
**Figura 6.53:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 15 m, inclinación de  $45^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



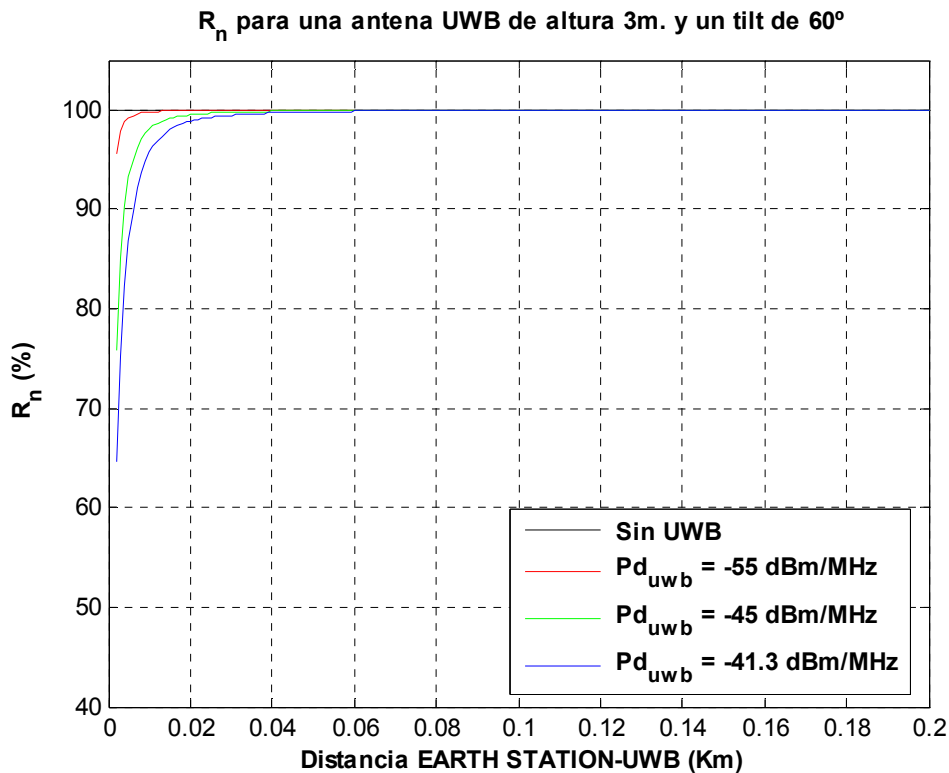
**Figura 6.54:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de  $45^\circ$  y una altura de la antena UWB de 15 m.



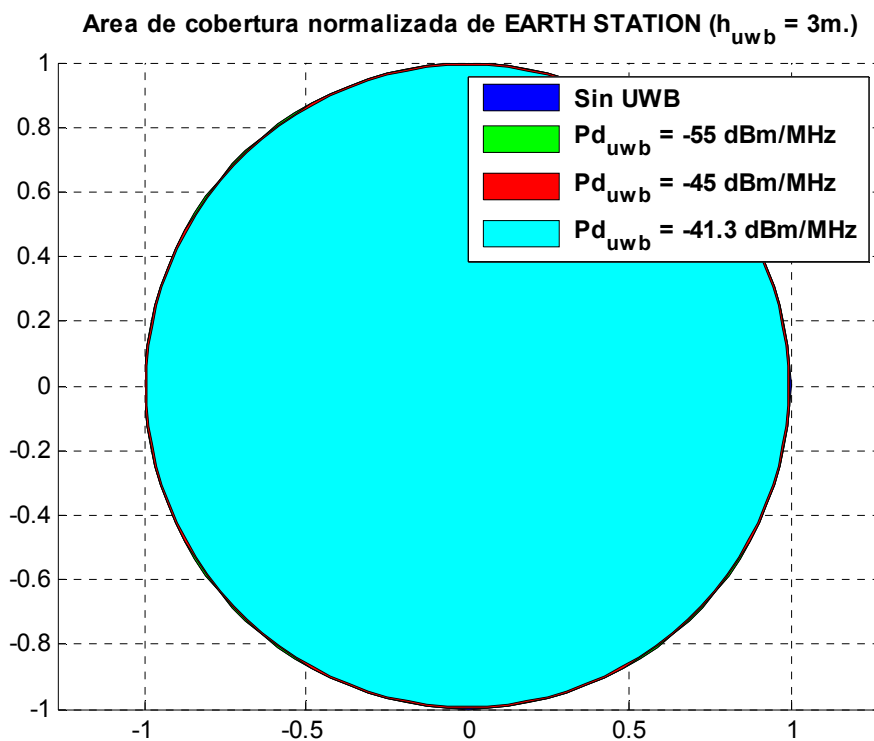
**Figura 6.55:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 30 m, inclinación de  $45^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



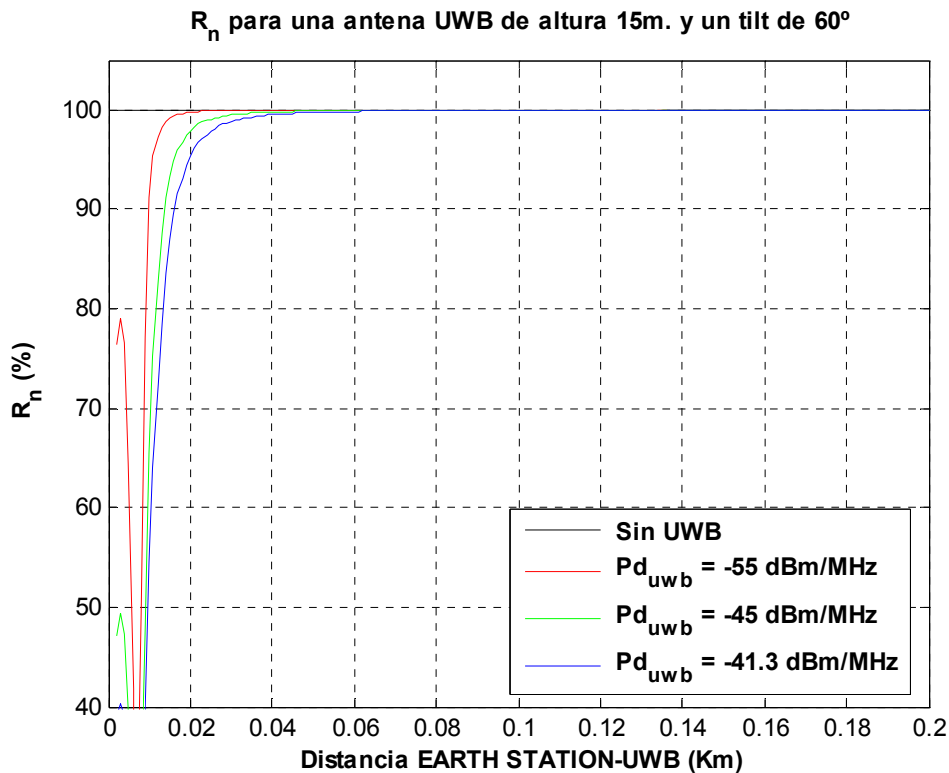
**Figura 6.56:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de  $45^\circ$  y una altura de la antena UWB de 30 m.



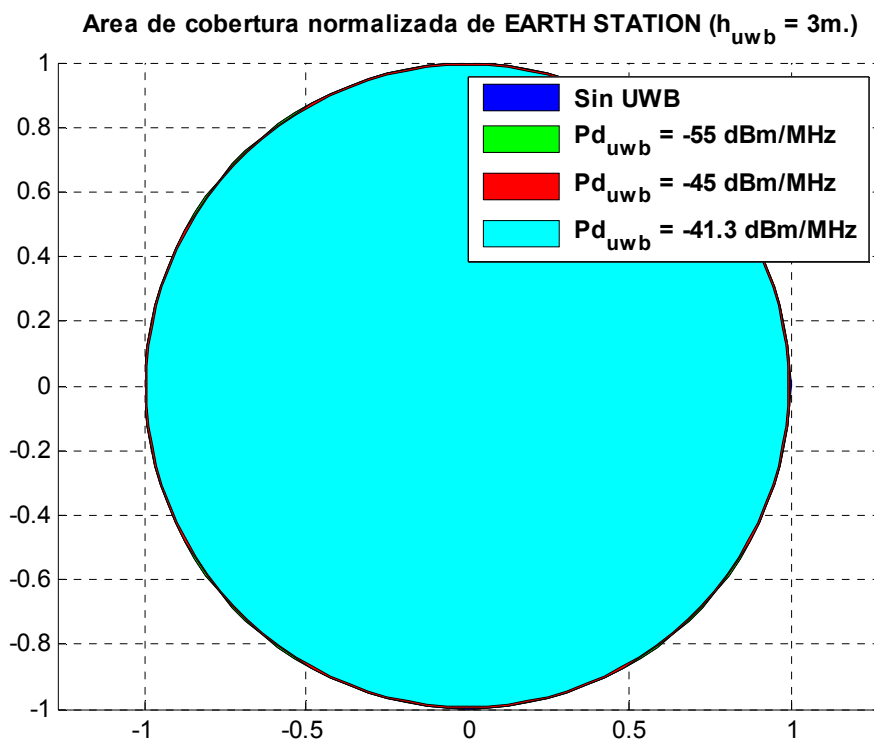
**Figura 6.57:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 3 m, inclinación de  $60^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



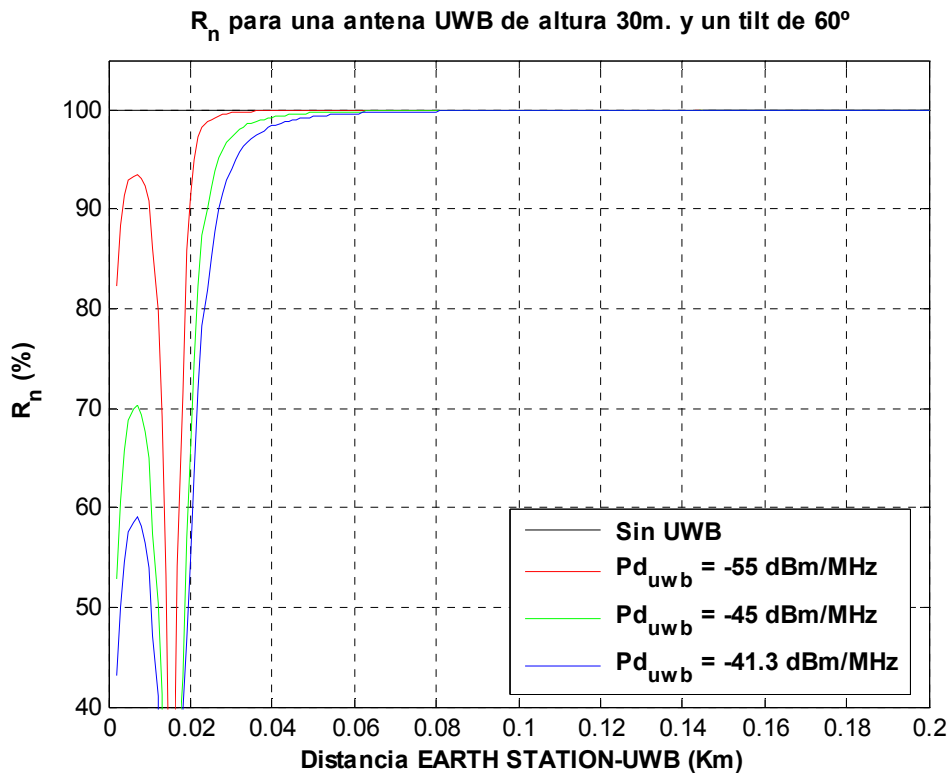
**Figura 6.58:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de  $60^\circ$  y una altura de la antena UWB de 3 m.



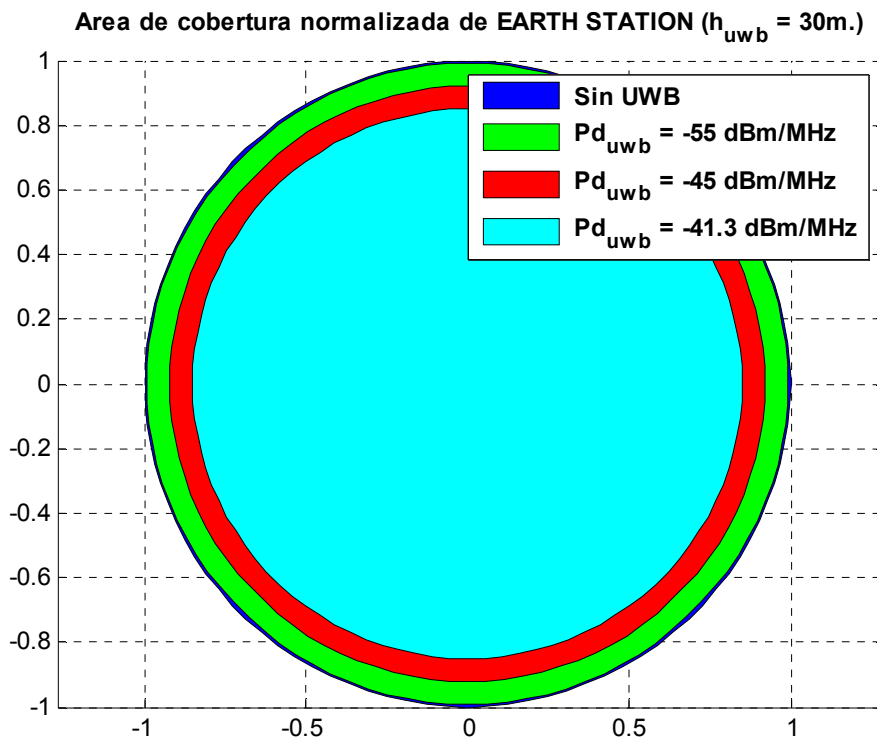
**Figura 6.59:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 15 m, inclinación de  $60^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



**Figura 6.60:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de  $60^\circ$  y una altura de la antena UWB de 15 m.



**Figura 6.61:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre E.A-UWB (2m. a 200 m.), para una antena UWB de 3 m, inclinación de  $60^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



**Figura 6.62:** Área de cobertura normalizada de E.S para una separación entre los sistemas de 60 m, inclinación de  $60^\circ$  y una altura de la antena UWB de 30 m.



Para concluir este apartado, intentaremos dar una visión de las posibilidades de la emisión de un sistema Earth Station interferido por un sistema UWB. El radar debería tener al menos 2 m. alrededor de aislamiento para poder emitir con corrección.

Tras el estudio realizado, y para evitar una posible interferencia entre el radar Earth Station y una antena transmisora UWB, es necesario obligar por ley a que el sistema supere la mayor distancia de coordinación hallada anteriormente, es decir, 4300 m. Este es el peor caso posible, en el que optamos por unas prestaciones del 97.5%, una inclinación de 1° y una altura para la antena UWB de 30m. Esta situación puede ocurrir en países situados en el norte. Si tomamos unas prestaciones un poco mejores, una altura menor y un Tilt menor, se podría tomar una distancia menor (Por ejemplo, una antena situada en Madrid). De hecho, la diferencia entre las prestaciones ofrecidas con una inclinación de 1° y el resto, difieren en un rango muy grande, lo que provoca que para esta inclinación no debiera existir un sistema UWB en la zona. Para el resto de inclinaciones con prohibir no ponerla entorno a 1 Kilómetro sería suficiente. Pero para asegurarnos de garantizar una buena emisión del sistema, no admitiremos ningún sistema UWB a menos de 4300 m para el caso de un sistema Earth Station.

Las especificaciones de los sistemas para las simulaciones realizadas se presentan en la Tabla 6.8:

**Tabla 6.8:** Especificaciones del Radar E.S y UWB

Parámetros	Valores
Banda de frecuencia	3.75 GHz
Ancho de banda del canal	40 MHz
Factor de Ruido (NF)	6 dB
Margen de interferencias (M)	0 dB
Potencia de ruido en el receptor	-101 dBm
Ganancia máxima de la antena E.S	40 dB
Altura de la antena UWB	3, 15 y 30 m.
Tilt antena ES	1, 3, 5, 30, 45 y 60°
Altura de la antena ES	3 m.
Distancia entre E.S-UWB	2-6000 m.

## 6.5. TDWR

### 6.5.1. Fundamentos de la tecnología TDWR

El radar TDWR (Terminal Doppler Weather Radar) es un sistema que detecta a través de mediciones cuantitativas, los frentes meteorológicos, fuertes rachas de viento y otros peligros temporales para conseguir mejorar la seguridad de las operaciones en los principales aeropuertos (principalmente instaurado en EEUU). El TDWR identifica y advierte a los controladores de tránsito aéreo (ATCs) de viento peligroso de baja altura causado por microbursts y sus frentes de ráfaga, además de la presentación de informes sobre las intensidades de precipitación y alerta anticipada de los cambios de viento. El ATCs utilizar informes del TDWR para advertir a los pilotos que están potencialmente afectados por los fuertes cambios meteorológicos.

El radar opera en la banda de frecuencias 5600-5650 MHz. Una ventaja del funcionamiento del radar en esta frecuencia está en la utilización de una antena pequeña, característica importante para situarla cerca de los aeropuertos. La antena TDWR utiliza dos modos de escaneo: el primero es el modo Monitor que se utiliza cuando no hay tiempo meteorológicos de retorno significativos que se han detectado dentro de los 25 millas náuticas del aeropuerto. El segundo es el modo de detección (tiempo peligroso) que se utiliza en los momentos en que se ha detectado o se espera un frente meteorológico peligroso. La antena TDWR está diseñada para funcionar a partir de un mínimo ángulo de elevación vertical de  $-1^\circ$  hasta un máximo de  $60^\circ$ . En las operaciones típicas, el ángulo de elevación vertical es de  $0.2^\circ$  para el modo Monitor y de  $0.4^\circ$  para el Modo Hazardous Weather [28].

El TSC realiza análisis para examinar la viabilidad de ofrecer cobertura TDWR en los principales aeropuertos satélite que están operativos con TDWR para el rango de operación [31]:

- Los “aeropuertos satélite” se identifican para cada ubicación TDWR.
- La ubicación de “aeropuertos satélite” es examinado por la posición del azimut del TDWR dentro de alcance de radar
- La línea de visión entre el radar TDWR y el aeropuerto de localización por satélite debe ser analizada.
- Los modos de elevación del radar TDWR debido a la cobertura serán analizados para determinar el nivel de detección según el riesgo existente.
- Se debe estimar la velocidad de precisión del modelo en función de la cobertura que tiene.

### 6.5.2. Escenario TDWR-UWB a estudiar

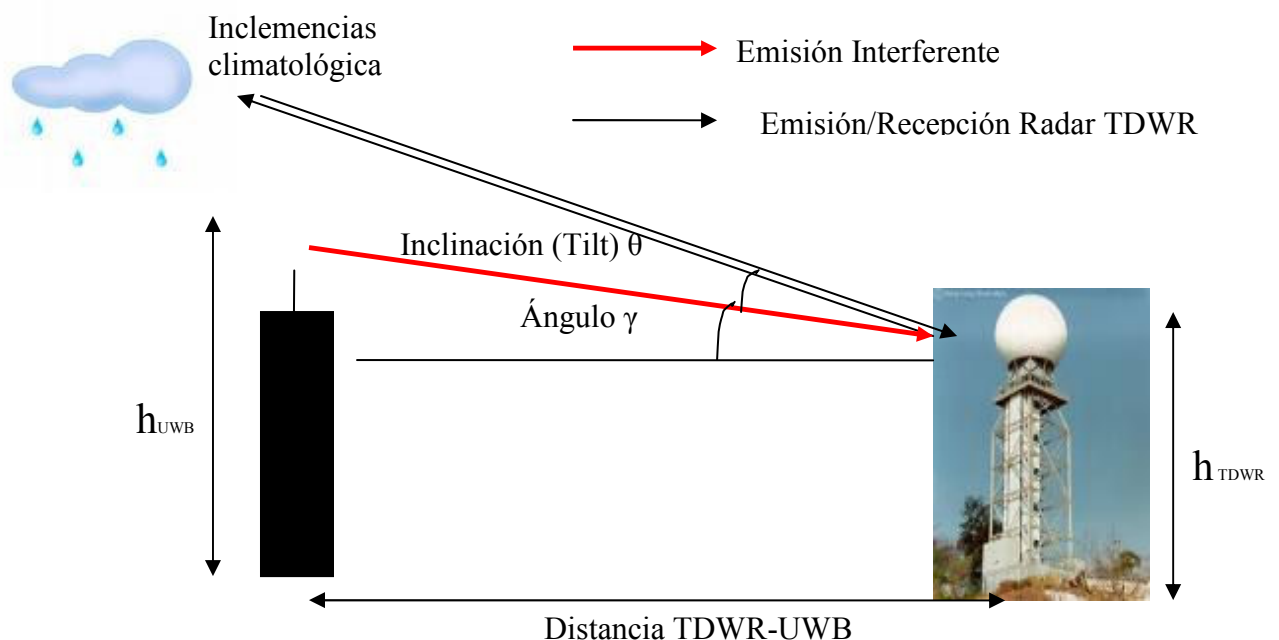
Para el desarrollo de este escenario haremos un estudio de la transmisión del sistema TDWR con una fuente de interferencia UWB que actúa en la misma banda de frecuencia que este sistema, a una frecuencia central de 5.625 GHz (Antena que utilizaremos para la simulación). La anchura de banda del canal será de 0.910 MHz. La antena transmisora TDWR estará situada a una altura de 27 m. Esta antena estará inclinada hacia arriba con una pequeña desviación. En nuestro caso, haremos un estudio

para una inclinación de unos  $0.2^\circ$  para una detección de tiempo en modo peligroso (Huracanes, tormentas...) y para una inclinación de  $0.4^\circ$  en el caso del modo monitor.

En el caso de la antena UWB la simulación se hará para unas alturas de 10, 20 y 30 m. Por la radiación que producen, estos radares suelen tener una distancia restringida a personal cualificado y es por ello que imposibilita la detección de una antena UWB en un entorno de menos de 2 metros. Nuestra simulación comenzará a partir de esta distancia para una inclinación de fábrica (Tilt) de la antena respecto de la horizontal de  $0.2$  y  $0.4$  grados.

El criterio de protección para TDWR de aparatos que utilizan UWB es de un ratio  $I/N = -6$  dB para interferencia agregada por un solo transmisor interferente [28]. Este criterio está contenido en la recomendación de la ITU-R “*Characteristics of and Protection Criteria for Radiolocation, Aeronautical Radionavigation, and Meteorological Radars Operating in the Frequency bands Between 5250-5850 MHz.*” Este criterio implica un radio de cobertura suficiente respecto del original. Nosotros lo vamos a cumplir puesto que buscamos una densidad de potencia UWB que no conlleve a dichos efectos drásticos, sino a un efecto casi nulo, que degrade el radio, únicamente, en un 3 o 5%. Buscamos un radio de cobertura que no descienda de un 3.5% o un 5% respecto de la cobertura original o sin interferencia. De esta forma, tomaremos valores para un rango normalizado del 97.5% o del 95%:

En la Figura 6.63 se muestra el desarrollo de lo explicado con anterioridad, tanto en este apartado, como en los anteriores. Se muestra la potencia interceptada tras ser emitida por el radar y la fracción de la misma dispersada en sentido opuesto.



**Figura 6.63:** Sistema de RADAR TDWR con una antena de UWB outdoor como elemento interferente.

La antena utilizada será una antena parabólica giratoria de polarización circular. La ganancia máxima de la antena es de 50 dB, sin embargo, por el diagrama de radiación (Figura 6.64) se puede observar que según el ángulo  $\alpha$  ( $\theta - \gamma$ ). Es por ello que, dependiendo de la inclinación de la antena junto con el ángulo producido por la horizontal y la recta que une radar y transmisor UWB, la ganancia hacia el transmisor UWB tomará distintos valores.

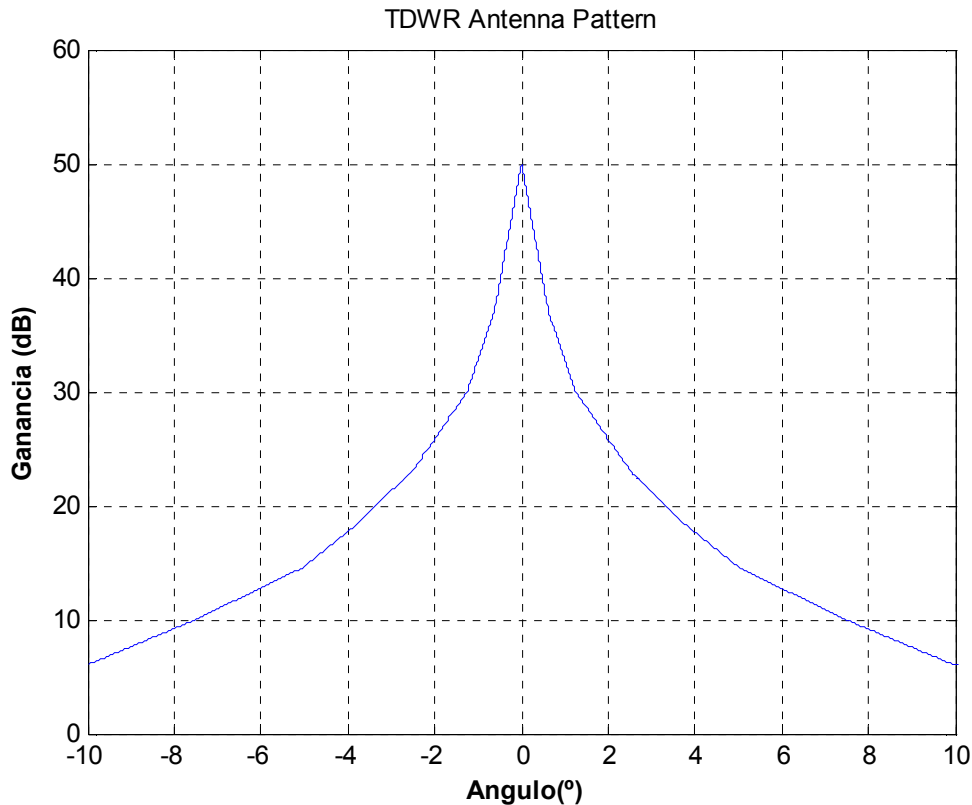
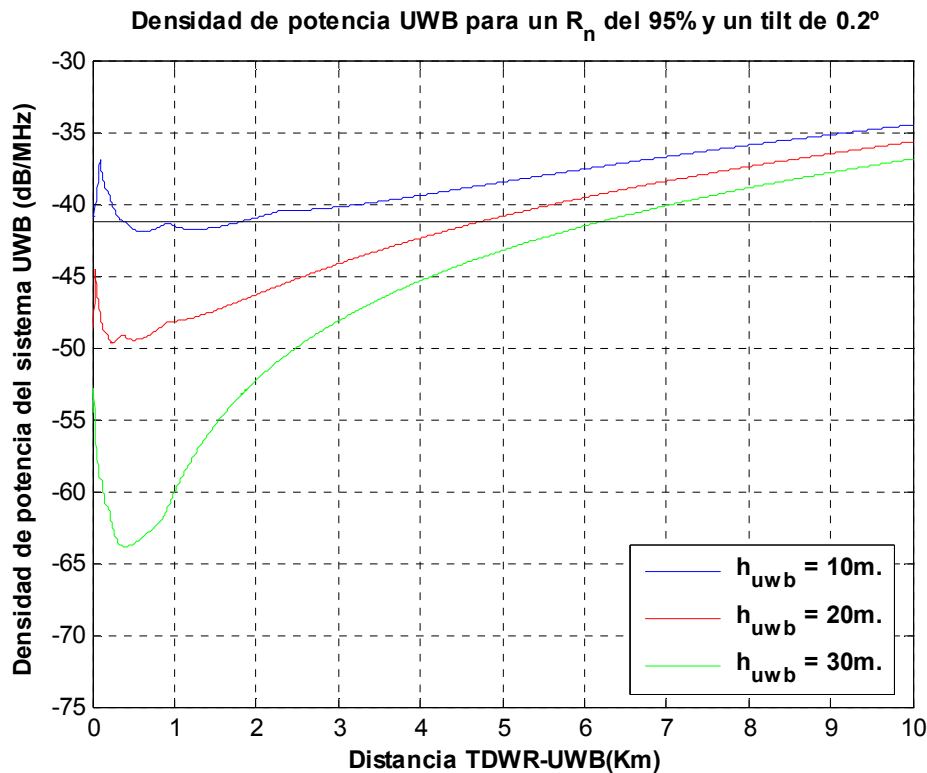


Figura 6.64: Ganancia del radar TDWR dependiente del ángulo de elevación

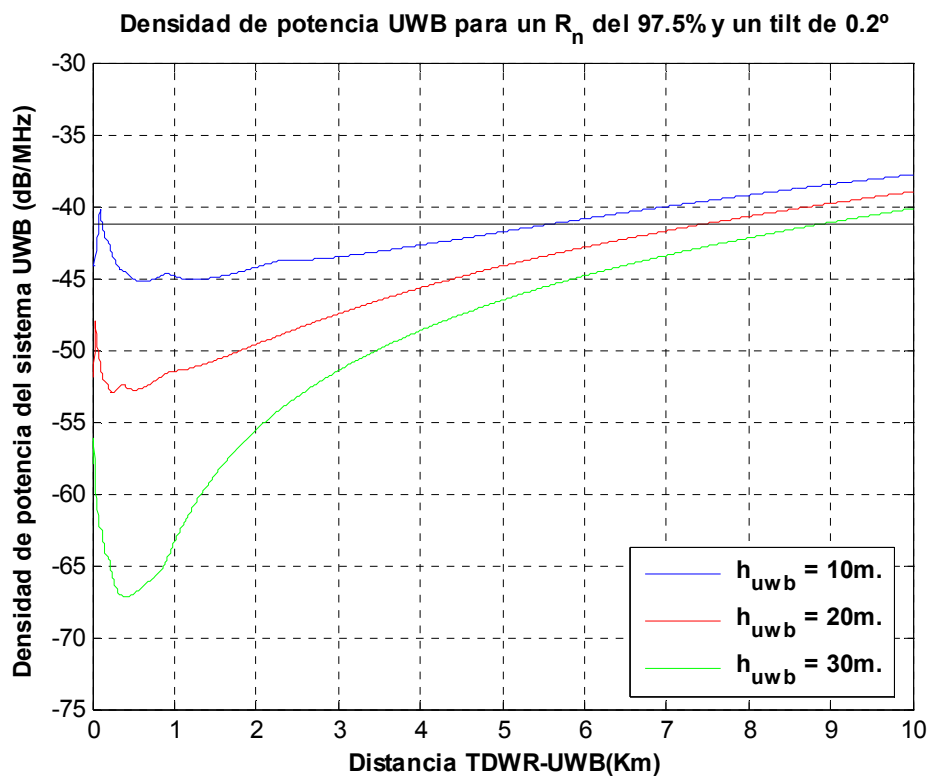
### 6.5.3. Resultados obtenidos para una frecuencia de 5.625 GHz.

Para el escenario que vamos a tratar explicado anteriormente, la máxima densidad de potencia permitida según la FCC es de -41.3 dBm/MHz. Estudiaremos el efecto ocasionado por el sistema UWB sobre la antena TDWR representando las densidades de potencia UWB permitido para conseguir un rango de cobertura adecuado (95 %-97.5%). Las gráficas representarán la densidad de potencia UWB en función de la distancia entre ambos sistemas para un rango entre los 10 m. y 10000 m. Se ha escogido un rango mayor debido a que en este caso, la distancia de coordinación de los sistemas ha aumentado sustancialmente hasta valores del orden de los Kilómetros. Se observará que la calidad del sistema TDWR al colocar un sistema UWB cercano decrece mucho, por lo que habrá que analizar el sistema para distancias mayores.

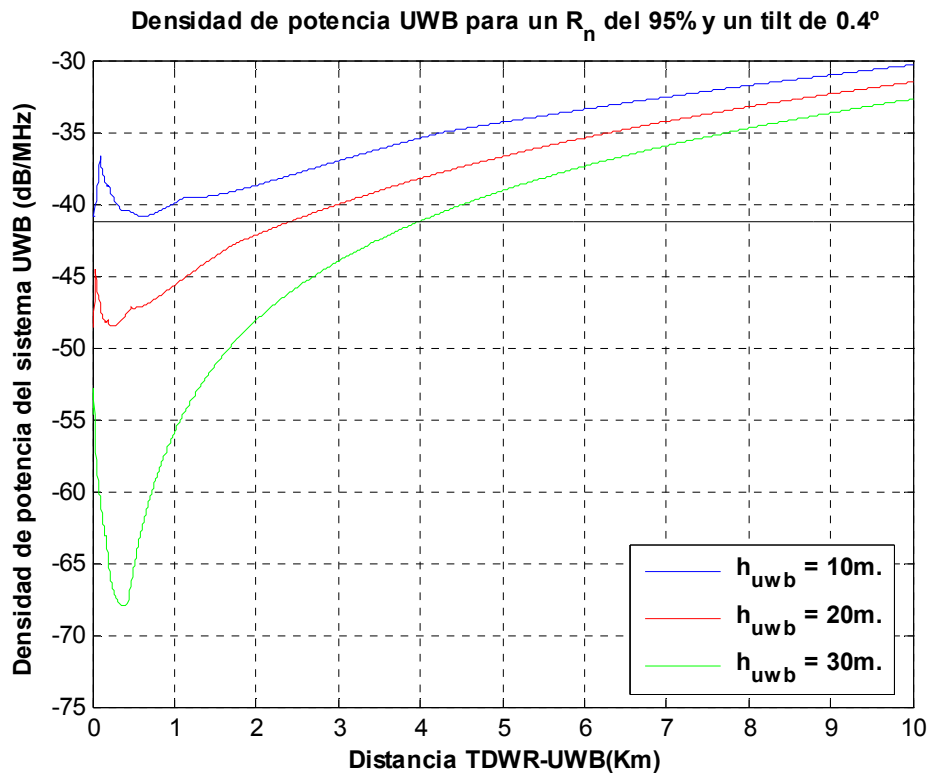
En las graficas siguientes (Figura 6.65 – Figura 6.68) vamos a observar, para un rango determinado del 95 o 97.5%, la densidad de potencia UWB respecto a la distancia desde la antena del radar hasta la de UWB para una altura constante de la antena UWB (10, 20, y 30 m.) y unas inclinaciones de 0.2° y 0.4°.



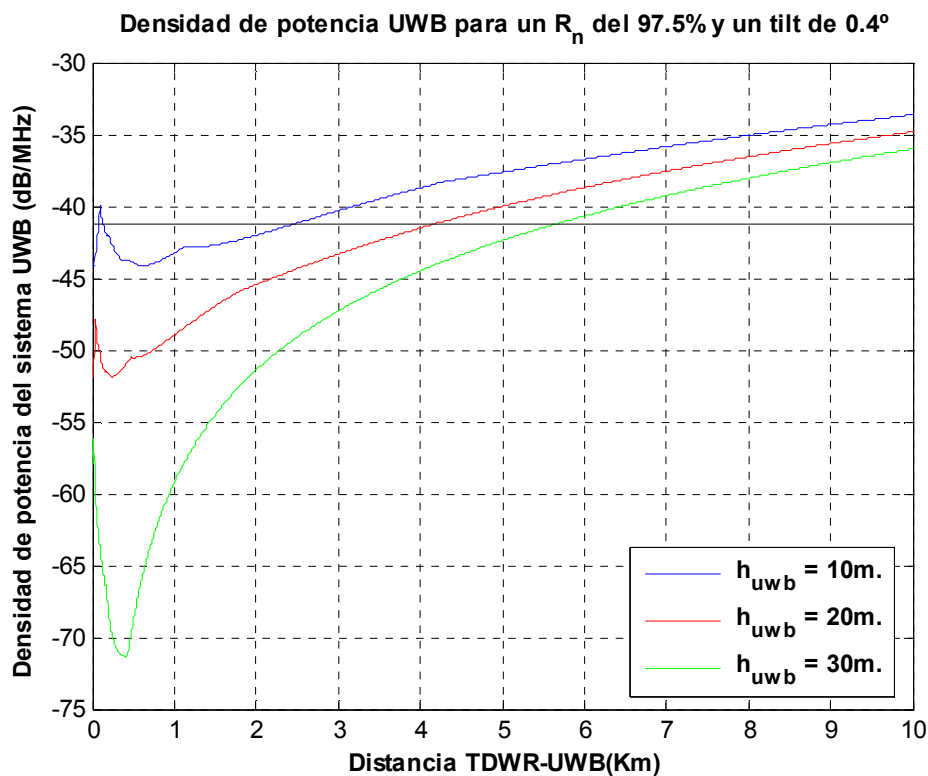
**Figura 6.65:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000m.), para un rango normalizado del 95%, inclinación de  $0.2^\circ$  y diferentes alturas para la antena UWB.



**Figura 6.66:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000m.), para un rango normalizado del 97.5%, inclinación de  $0.2^\circ$  y diferentes alturas para la antena UWB.



**Figura 6.67:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000m.), para un rango normalizado del 95%, inclinación de  $0.4^\circ$  y diferentes alturas para la antena UWB.



**Figura 6.68:** Densidad espectral de potencia UWB (dBm/MHz) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000m.), para un rango normalizado del 97.5%, inclinación de  $0.4^\circ$  y diferentes alturas para la antena UWB.

Las figuras presentan un aspecto muy parecido. Durante los primeros metros de distancia entre ambos sistemas, la densidad de potencia UWB desciende hasta que, a una determinada distancia, comienza a ascender formando una figura cóncava. La forma en la que desciende y asciende se debe a la forma que tiene la Figura 6.64, que muestra la ganancia con respecto al ángulo que forman.

Durante los primeros metros el ángulo es mayor, la ganancia menor y, por tanto, la densidad de potencia UWB desciende. Llegado a un ángulo determinado, comienza a ascender poco a poco. La figura toma una forma similar a la que muestra la ganancia, pero justamente dada la vuelta.

Otro parámetro importante que hay que analizar es la inclinación tomada. Para los casos en los que la inclinación es más alta, el rango sobre el que varía la máxima y la mínima densidad de potencia es mayor que en los casos de menor inclinación. La distancia de coordinación decrece cuanto crece el Tilt.

También se puede observar que para los casos en los que se toma un rango normalizado del 97.5%, la densidad de potencia UWB es menor que en el caso del 95%. Esto provoca que la distancia de coordinación sea mayor en el caso que tomamos un valor del 97.5%. Es decir, cuantas mejores prestaciones tomemos para el estudio de los sistemas, a mayor distancia habría que poner el sistema UWB del sistema TDWR.

En la Tabla 6.9 y Tabla 6.10 obtenemos la distancia de coordinación analizada anteriormente, para los distintos casos descritos en las gráficas.

**Tabla 6.9:** Distancia de Coordinación en m. por la interferencia entre los sistemas TDWR y UWB para una inclinación de  $0.2^\circ$

	<b>Radio de cobertura normalizado del 95 %</b>	<b>Radio de cobertura normalizado del 97.5 %</b>
<b><math>h_{UWB} = 10 \text{ m.}</math></b>	1738.1 m.	5531 m.
<b><math>h_{UWB} = 20 \text{ m.}</math></b>	4703 m.	747 m.
<b><math>h_{UWB} = 30 \text{ m.}</math></b>	6166 m.	8835 m.

**Tabla 6.10:** Distancia de Coordinación en m. por la interferencia entre los sistemas TDWR y UWB para una inclinación de  $0.4^\circ$ 

	<b>Radio de cobertura normalizado del 95 %</b>	<b>Radio de cobertura normalizado del 97.5 %</b>
<b><math>h_{UWB} = 10 \text{ m.}</math></b>	0 m.	2428 m.
<b><math>h_{UWB} = 20 \text{ m.}</math></b>	2391.3 m.	4142.5 m.
<b><math>h_{UWB} = 30 \text{ m.}</math></b>	3964 m.	5620.3 m.

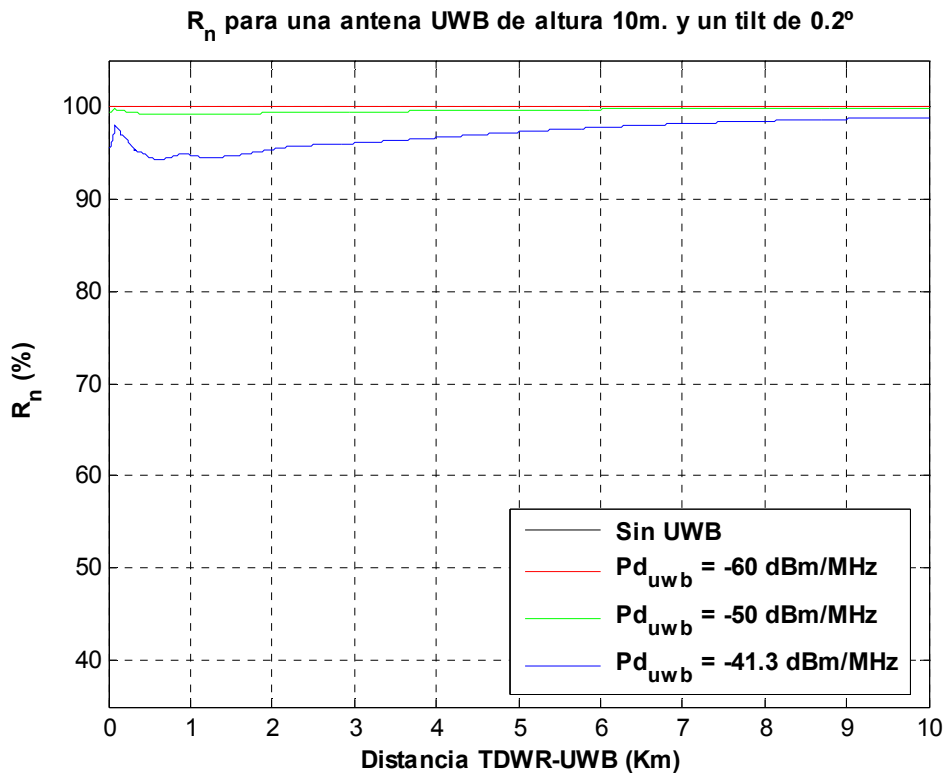
A continuación, se muestran unos resultados más gráficos de la función del radio normalizado para los distintos casos de la altura de la antena UWB. Para cada una de estas alturas se muestran dos tipos de gráficas (Figura 6.69– Figura 6.80). Las primeras representan la variación del radio normalizado en función de la distancia para cuatro densidades de potencia UWB. Una es para un valor de  $-41.3 \text{ dBm/MHz}$  dado por la FCC, otra muestra el valor sin interferencia UWB, y las otras dos, valores de densidad de potencia tomados que se encuentran entre medias de ambos,  $-50 \text{ dBm/MHz}$  y  $-60 \text{ dBm/MHz}$ .

En estas representaciones se puede observar cómo el valor del radio normalizado crece rápidamente hasta alcanzar valores muy cercanos al 100 % a partir de una distancia distinta para los casos estudiados, pero siempre en el orden de los Kilómetros. Para el caso en que no existe interferencia UWB, el radio normalizado se mantiene constante al 100 % para todo el rango de distancias. Para el caso de una inclinación de  $0.2^\circ$ , el radio normalizado alcanza valores cercanos al 100% a mayor distancia que para el caso de  $0.4^\circ$ , por lo que ofrece mejores resultados este último caso.

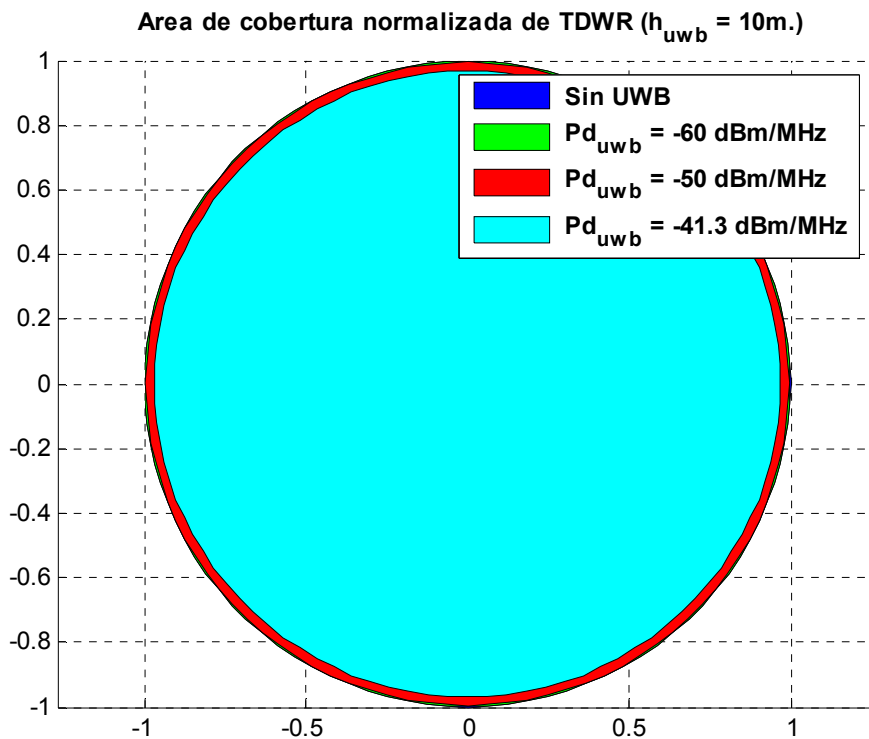
El otro tipo de gráficas representado da una visión del área de cobertura normalizada para los distintos valores descritos anteriormente. Esta es una representación más visible de las posibilidades que nos ofrecen las densidades de potencia de UWB seleccionadas. Para ello, tomaremos valores del Radio Normalizado a una distancia en la que su valor este alcanzando el valor de 100%. Para los casos en los que la altura de la antena UWB toma valores de 10 y 20m, el radio normalizado no baja del 80% para ningún valor de la densidad de potencia emitida por UWB. Pero, en cambio, para el caso de un altura de 30 m., se observa que hasta que no se alcanza una distancia de 3000-5000 m, no toma valores cercanos a una correcta prestación.

Las distancias seleccionadas intentan dar una visión de la diferencia entre las alturas en lo referido al área de cobertura. Finalmente hay que referenciar que cuanto menor sea el valor que tomemos de la densidad de potencia UWB, el radio normalizado será mayor, y, por tanto, la calidad de los sistemas mejorará significativamente.

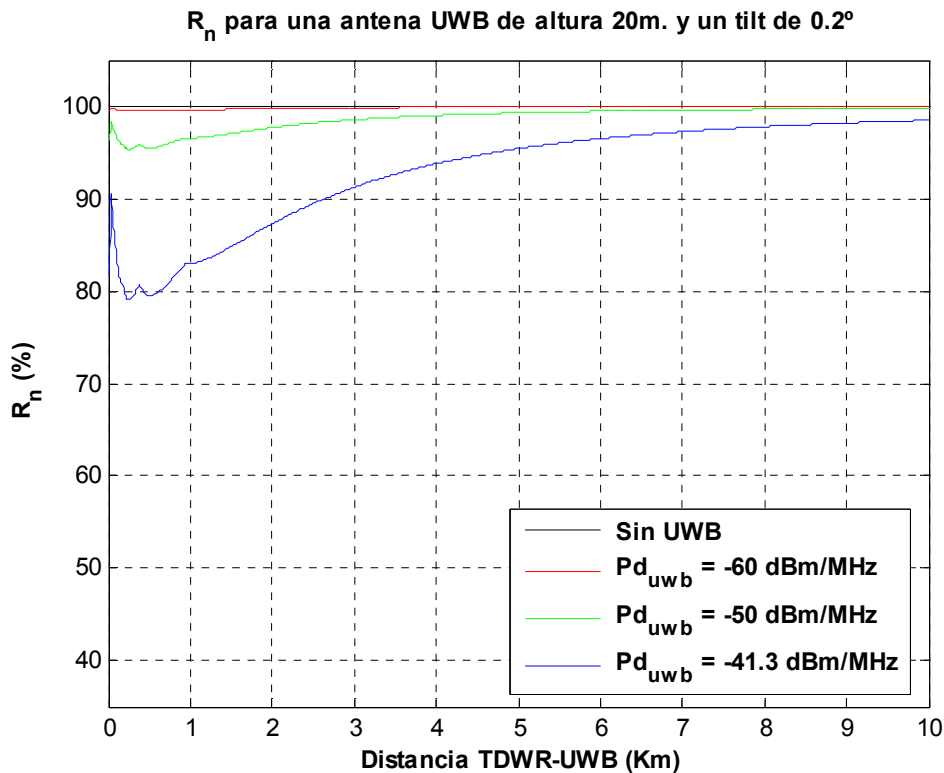




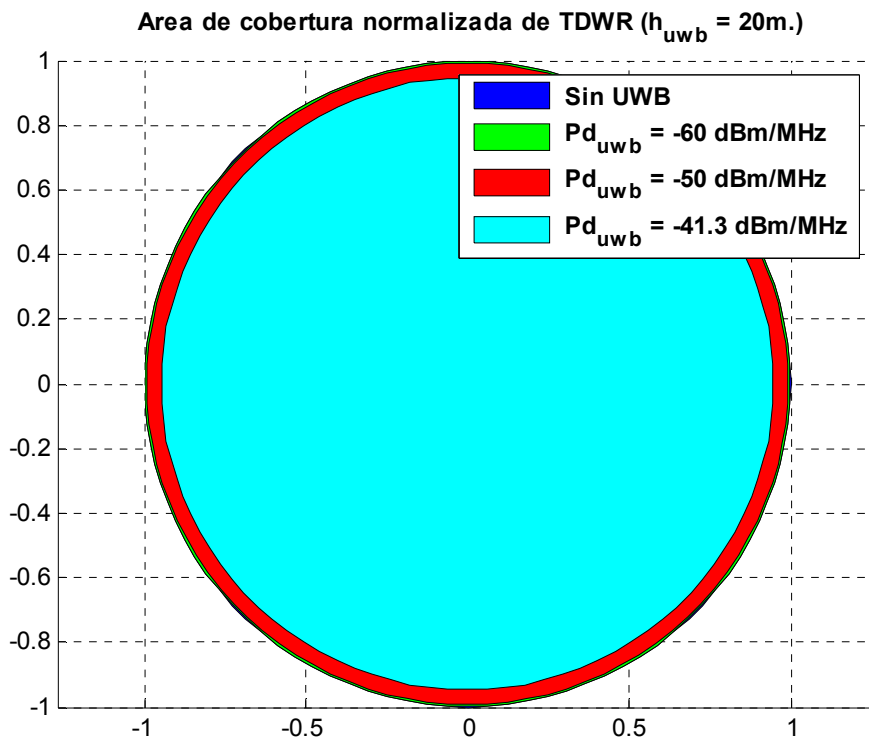
**Figura 6.69:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000 m.), para una antena UWB de 10 m, inclinación de  $0.2^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



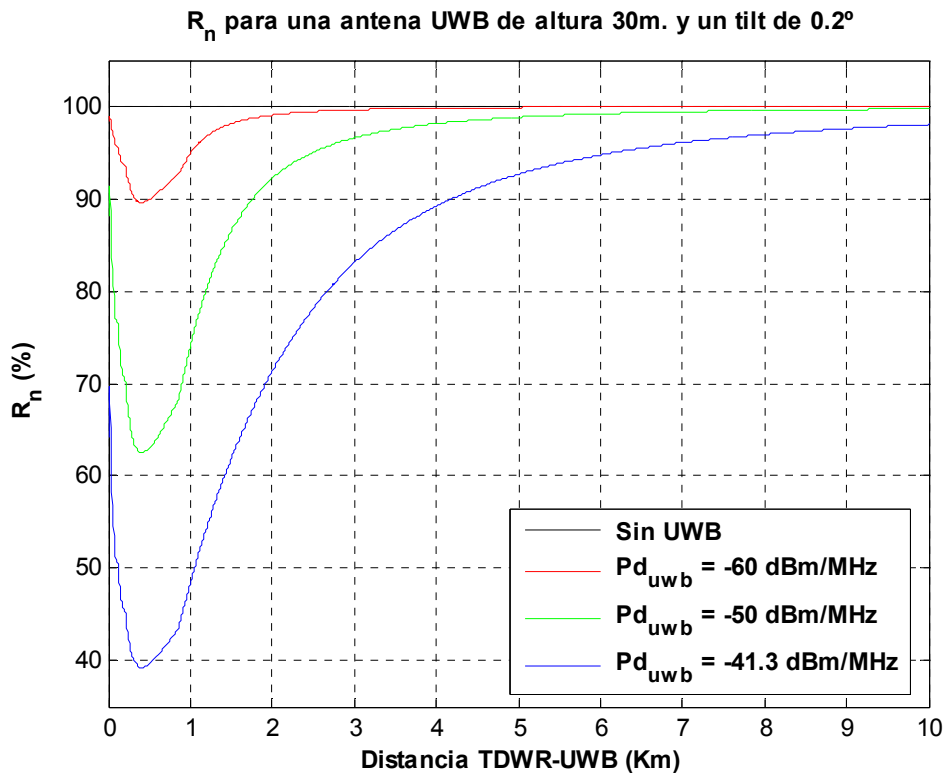
**Figura 6.70:** Área de cobertura normalizada de TDWR para una separación entre los sistemas de 4500 m, inclinación de  $0.2^\circ$  y una altura de la antena UWB de 10 m.



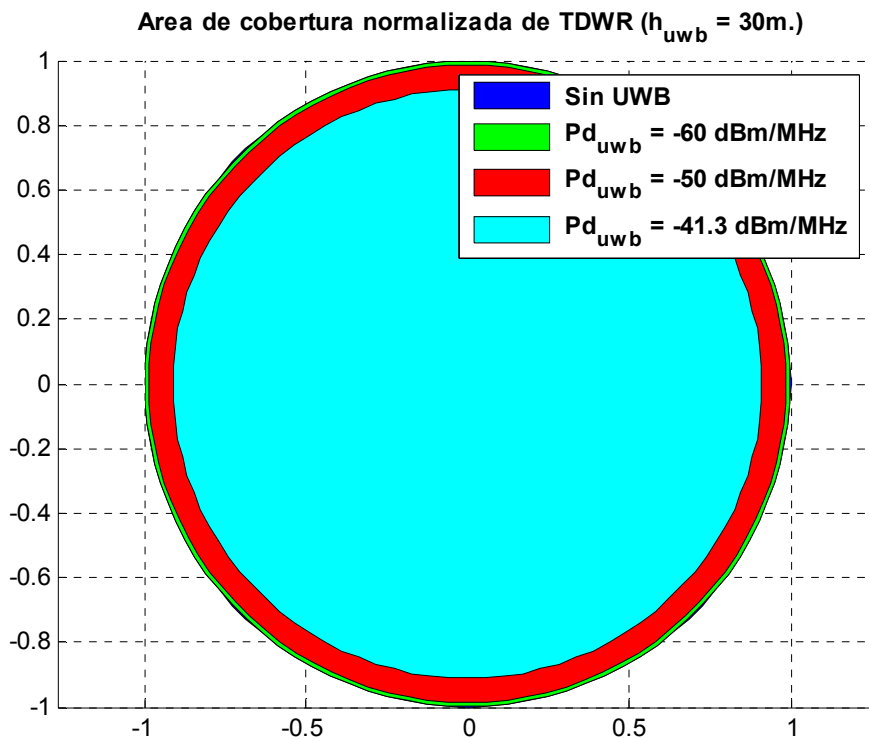
**Figura 6.71:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000 m.), para una antena UWB de 20 m, inclinación de  $0.2^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



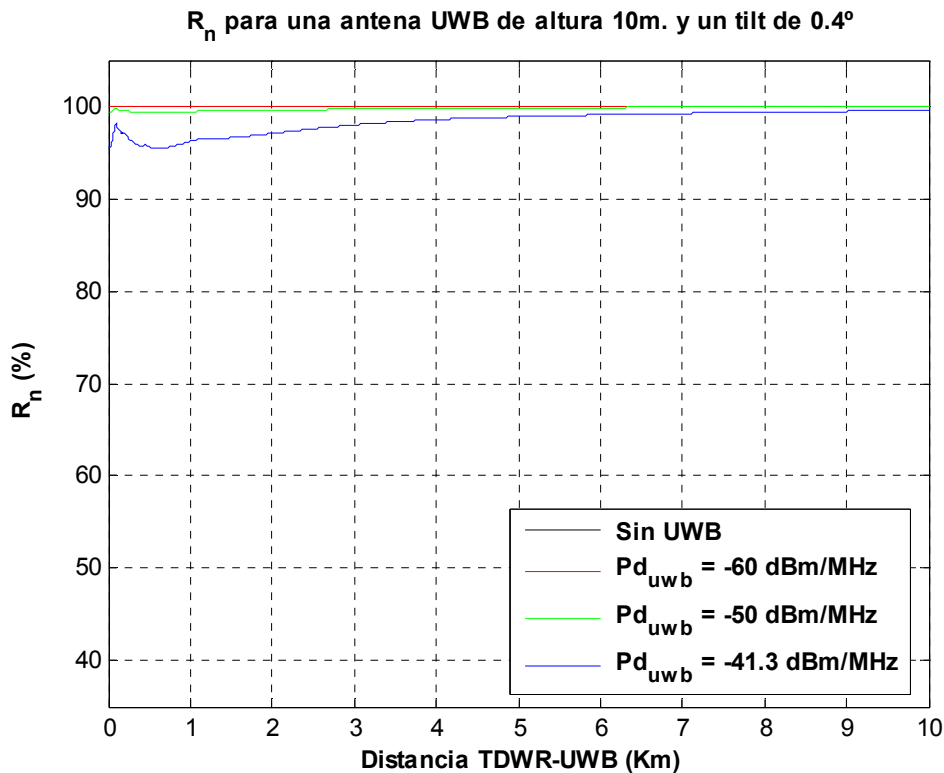
**Figura 6.72:** Área de cobertura normalizada de TDWR para una separación entre los sistemas de 4500 m, inclinación de  $0.2^\circ$  y una altura de la antena UWB de 20 m.



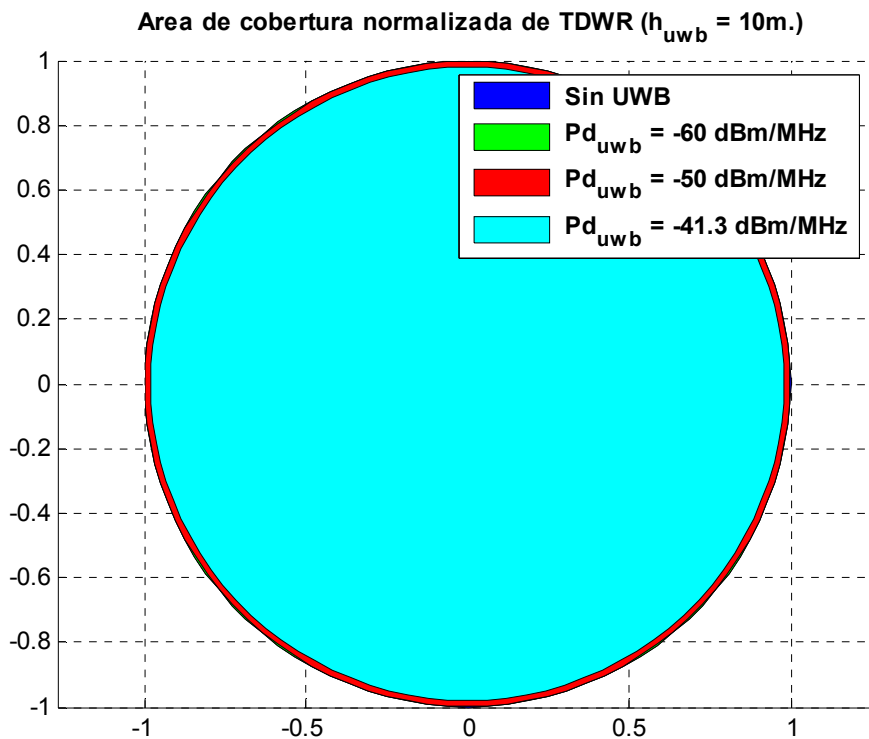
**Figura 6.73:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000 m.), para una antena UWB de 30 m, inclinación de  $0.2^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



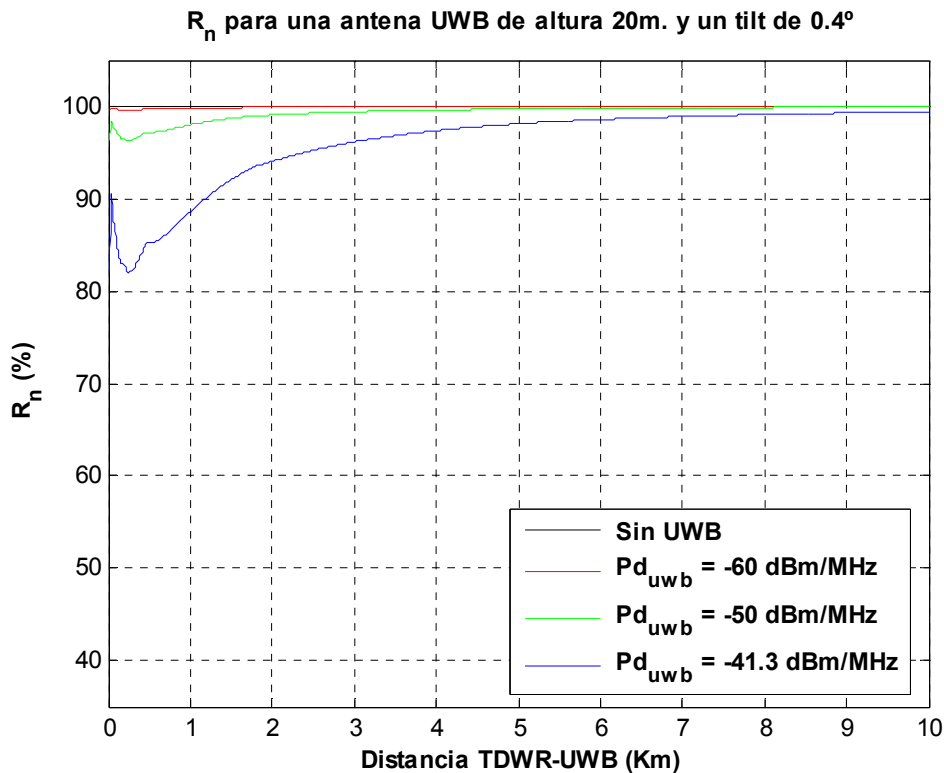
**Figura 6.74:** Área de cobertura normalizada de TDWR para una separación entre los sistemas de 4500 m, inclinación de  $0.2^\circ$  y una altura de la antena UWB de 30 m.



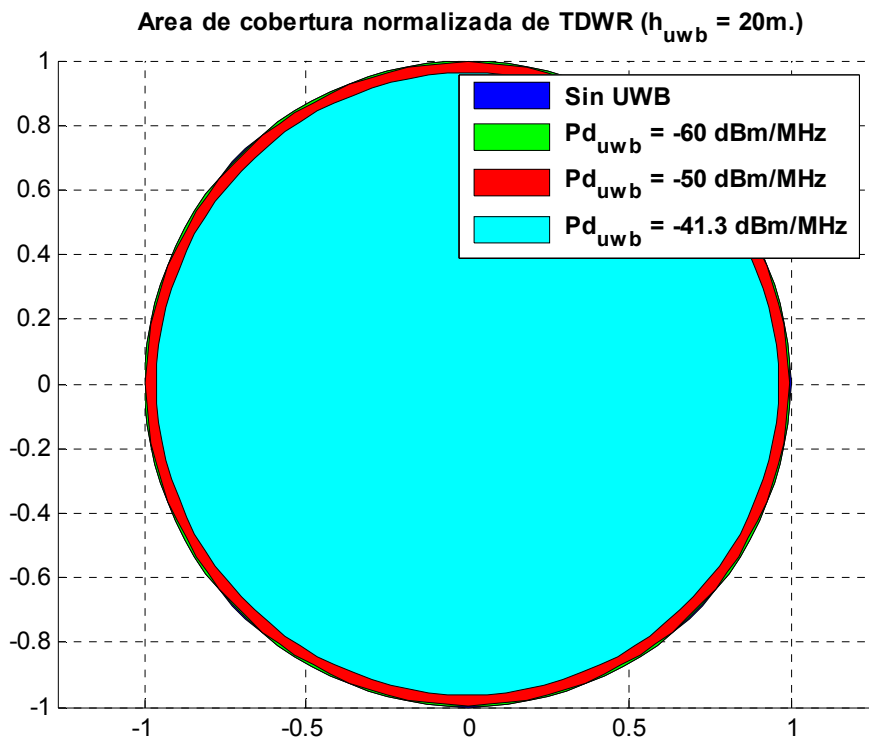
**Figura 6.75:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000 m.), para una antena UWB de 10 m, inclinación de  $0.4^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



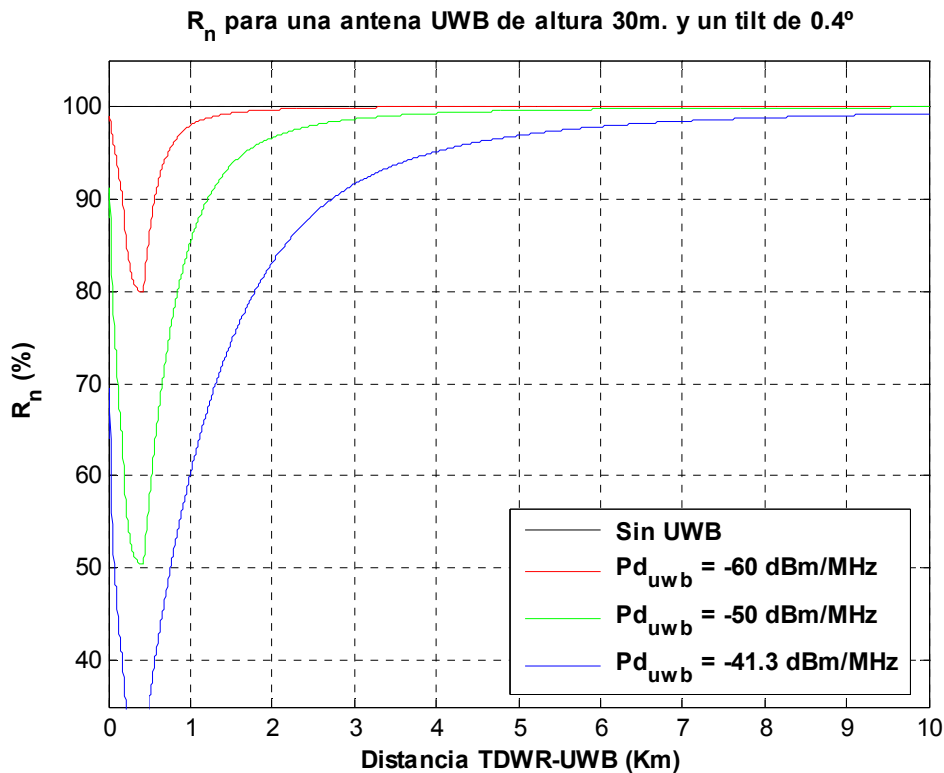
**Figura 6.76:** Área de cobertura normalizada de TDWR para una separación entre los sistemas de 3000 m, inclinación de  $0.4^\circ$  y una altura de la antena UWB de 10 m.



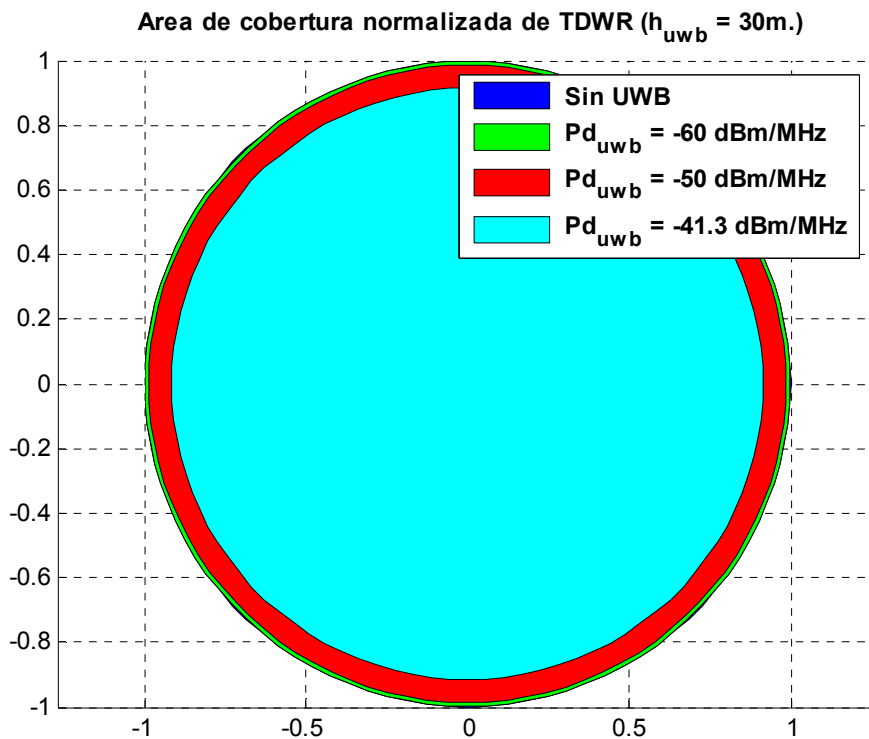
**Figura 6.77:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000 m.), para una antena UWB de 20 m, inclinación de  $0.4^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



**Figura 6.78:** Área de cobertura normalizada de TDWR para una separación entre los sistemas de 3000 m, inclinación de  $0.4^\circ$  y una altura de la antena UWB de 20 m.



**Figura 6.79:** Radio normalizado (%) para las distintas distancias entre TDWR-UWB (10m. a 10000 m.), para una antena UWB de 30 m, inclinación de  $0.4^\circ$  y diferentes densidades de potencia.



**Figura 6.80:** Área de cobertura normalizada de TDWR para una separación entre los sistemas de 3000 m, inclinación de  $0.4^\circ$  y una altura de la antena UWB de 30 m.

Para concluir este apartado, intentaremos dar una visión de las posibilidades de la emisión de un sistema TDWR interferido por un sistema UWB. El radar debería tener al menos 10 m. alrededor de aislamiento para poder emitir con corrección.

Tras el estudio realizado, y para evitar una posible interferencia entre el radar TDWR y una antena transmisora UWB, es necesario obligar por ley a que el sistema supere la mayor distancia de coordinación hallada anteriormente, es decir, 8835 m. Este es el peor caso posible, en el que optamos por unas prestaciones del 97.5%, una inclinación de 0.2° y una altura para la antena UWB de 30m. Como se ha explicado a lo largo de este apartado, si tomamos unas prestaciones un poco mejores, una altura y una inclinación menor, se podría tomar una distancia menor. Pero para asegurarnos de garantizar una buena emisión del sistema, no admitiremos ningún sistema UWB a menos de 8835 m para el caso de un sistema TDWR.

Las especificaciones de los sistemas para las simulaciones realizadas se presentan en la Tabla 6.11:

**Tabla 6.11:** Especificaciones del Radar TDWR y UWB

Parámetros	Valores
Banda de frecuencia	5.625 GHz
Ancho de banda del canal	0.910 MHz
Factor de Ruido (NF)	2.3 dB
Margen de interferencias (M)	0 dB
Potencia de ruido en el receptor	-112.5 dBm
Ganancia máxima de la antena TDWR	50 dB
Altura de la antena UWB	10, 20 y 30 m.
Tilt antena TDWR	0.2 y 0.4°
Altura de la antena E.S	27 m.
Distancia entre TDWR-UWB	10-10000 m.





## 7. Conclusiones y líneas futuras de investigación

### 7.1. Conclusiones

En el momento en el que se crea una nueva tecnología, se deben realizar estudios de viabilidad antes de que se produzca su lanzamiento al mercado. Para ello, en determinadas ocasiones interesa estudiar la compatibilidad con otras tecnologías ya existentes. Este estudio se hace aún más necesario cuando la nueva tecnología no requiere licencia y puede interferir con el resto de tecnologías en zonas del espectro que necesitan. En este punto se sitúa el estudio realizado en el proyecto, donde comprobamos que la máxima densidad de potencia espectral para UWB recomendada por la FCC y CEPT puede ser o no viable en el mercado. Observaremos si el sistema con el que interfiere se puede adaptar a esa emisión de potencia o si, por el contrario, necesita una nueva máscara de emisión que no causa interferencias ni problemas de comunicación al resto de las tecnologías en esos rangos de frecuencia de emisión.

Para poder tomar las conclusiones necesarias y representar la nueva máscara de emisión UWB, ha sido necesario realizar un estudio de cada sistema paso a paso. Para poder realizarlo, es necesario entender y conocer las diferentes tecnologías que nuestro proyecto abarca (WiFi, WiMAX, MLS, TDWR y Earth Station) y estudiar los modelos de propagación que mejor se adaptan a las mismas, dependiendo de los diferentes escenarios posibles. De esta forma, podremos obtener la máscara de emisión de densidad de potencia UWB mejorada, consiguiendo nuestro objetivo.

Según los distintos escenarios tratados, podemos concluir lo siguiente:

Para el caso del sistema WiMAX, se puede observar que, a medida que disminuimos la densidad de potencia transmitida por el sistema UWB, obtenemos una menor interferencia y, por tanto, un mayor alcance e índice de modulación. De esta forma el radio de trabajo se incrementará enormemente al que se conseguía para el valor propuesto por la FCC. Este cambio está justificado ya que 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 llegar, aumentando el radio de trabajo. Además, para el caso de una frecuencia mayor, obtendremos mejores resultados para la misma densidad de potencia transmitida por el sistema UWB. Si tomamos una densidad de potencia transmitida por UWB de  $-82$  dBm/MHz, se obtiene unas pérdidas únicamente del 2.5 % para una frecuencia de 3.5 GHz y menos de 1% para 5.4 GHz. A la frecuencia de 5.4 GHz propondremos una densidad de potencia de  $-80$  dBm/MHz, suficiente para un buen servicio por parte del usuario. Esto supone unaa cifras muy aceptables.

En el estudio del sistema WiFi, al ser una situación propuesta para un caso indoor, observamos que el radio de trabajo disminuye al aumentar la distancia o entorpecer la visión directa del sistema. Por tanto, si la nave tiene gran flujo de gente, varias paredes y/o gran variedad de objetos que entorpecen la transmisión de la señal, el radio de trabajo disminuye. A pesar de ello, a medida que disminuimos la densidad de potencia transmitida por el sistema UWB, obtenemos una menor interferencia y, por tanto, un mayor alcance e índice de modulación. Según la propuesta realizada por la FCC para una densidad de potencia UWB de  $-41$  dBm/MHz, obtendríamos unos índices

de modulación que descienden bruscamente alcanzando una distancia menor de 50 metros, lo que supone una diferencia menor de un 20% ( $\sim 80\%$  pérdidas) respecto al conseguido sin interferencia UWB, lo que supone unas pérdidas excesivas y un descenso de calidad inaceptable. Para el caso de una densidad de potencia transmitida por UWB de  $-80$  dBm/MHz, se obtiene unas pérdidas únicamente del 2.5%, lo que supone una cifra tolerable para el usuario.

Mostramos a continuación un cuadro resumen de los datos obtenidos en los sistemas indoor en la Tabla 7.1:

**Tabla 7.1.** 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.

TECNOLOGÍA	FRECUENCIA (GHz)	DENSIDAD DE POTENCIA UWB (dBm/MHz)	RANGO DE COBERTURA (m)	RANGO DE COBERTURA SIN UWB(m)
WiMAX	3.5	-41.3 / -82	281 / 850	872
WiMAX	5.4	-41.3 / -82	362 / 1003	1115
WiFi	5.3	-41.3 / -80	37 / 195.5	200.5

Para el caso indoor, caso indoor con las frecuencias descritas, podemos confirmar que nuestra máscara recomendada tiene unos valores más bajos que la máscara americana y la europea, lo que implica posibilidad de interferencia si se utilizan cualquiera de las dos. La máscara propuesta por la FCC y CEPT son muy estrictas en torno al valor único de  $-41.3$  dBm / MHz. En los valores hallados en nuestro estudio, todos están cercanos a  $-80$  dBm/Mz, lo que supone una gran diferencia con lo propuesto.

Debido a los problemas de interferencias que genera el sistema UWB, se creó una nueva técnica llamada DAA (Detection and avoidance), que consiste en reducir la densidad de potencia UWB a valores convenientes para evitar interferir con otro sistema. Este sistema primero detecta la emisión de un sistema WiMAX y entonces disminuye la densidad de potencia espectral. El único problema que tiene es que no puede alcanzar valores de  $-80$  dBm/MHz, lo que supondrá un problema para nuestro estudio [Para mayor información dirigirse al Anexo B, apartado B.2]. A continuación se presentan las gráficas de la máscara de emisión UWB para el caso indoor entre 3.1 GHz-6GHz sin DAA (Figura 7.1) y con DAA (Figura 7.2)

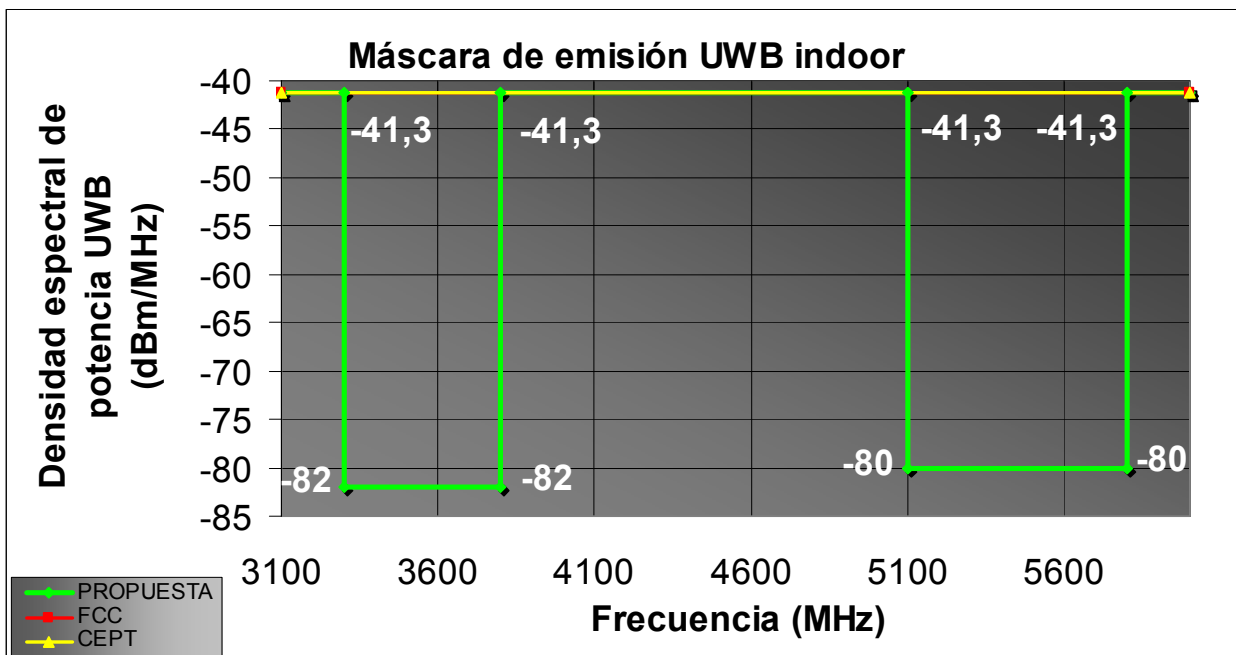


Figura 7.1: Máscaras de emisión para UWB en el caso indoor sin DAA.

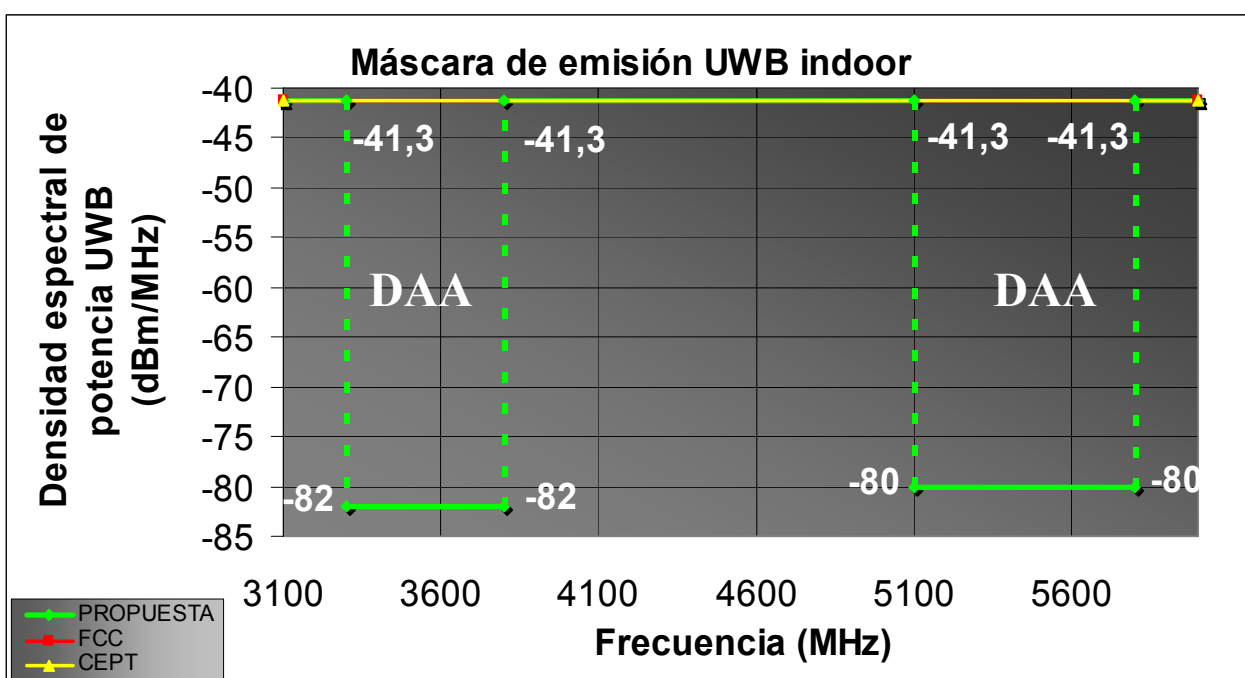


Figura 7.2: Máscaras de emisión para UWB en el caso indoor con DAA.

Para el caso outdoor en que interactúan los sistemas de Radar, obtendremos resultados muy diferenciados entre cada uno de ellos. Para el caso de radares MLS, deberemos evitar que la distancia entre UWB y MLS supere la mayor distancia de coordinación hallada, es decir, 35 m. Esta densidad es la necesaria para superar el peor de los casos (con una altura de la antena UWB de 20 m.), y conseguir un radio normalizado mayor incluso del valor de 97.5 %. Para asegurarnos de garantizar una buena emisión del sistema, no admitiremos ningún sistema UWB a menos de 35 m.

Para el caso de radares Earth Station es necesario obligar a que el sistema supere la distancia de 4300 m. Este es el peor caso posible, en el que optamos por unas prestaciones del 97.5%, una inclinación de la antena E.S de 1° y una altura para la antena UWB de 30m. En el caso de que tomáramos diferentes prestaciones, como una altura menor y una menor inclinación, se podría tomar una distancia menor entre los sistemas. Esta situación puede ocurrir en países situados en el norte. Si tomamos unas prestaciones un poco mejores, una altura menor y una inclinación menor, se podría tomar una distancia menor (Por ejemplo, una antena situada en Madrid). De hecho, la diferencia entre las prestaciones ofrecidas con una inclinación de 1° y el resto, difieren en un rango muy grande, lo que provoca que para este caso no debiera existir un sistema UWB en la zona. Para el resto de inclinaciones con prohibir no ponerla entorno a 1 Kilómetro sería suficiente. Pero, para asegurarnos de garantizar una buena emisión del sistema, no admitiremos ningún sistema UWB a menos de 4300 m para el caso de un sistema Earth Station.

Por último, para el radar TDWR habrá que conseguir que los sistemas superen la mayor distancia de coordinación hallada, 8835 m. Este es el peor caso posible, en el que optamos por unas prestaciones del 97.5%, una inclinación de la antena TDWR de 0.2° y una altura para la antena UWB de 30m. Si tomamos mejores prestaciones se podría tomar una distancia menor, aunque, para asegurarnos de garantizar una buena emisión del sistema, no admitiremos ningún sistema UWB a menos de 8835 m para el caso de un sistema TDWR.

Resumiendo, podemos concluir que la máscara propuesta por la FCC y la CEPT toma valores muy elevados que de cumplirse podrían causar interferencias. Habría que intentar seguir la máscara propuesta para evitar problemas al usuario a la hora de utilizarlo. En el ANEXO se presenta la máscara de emisión UWB para el caso indoor con todos los sistemas estudiados hasta los 6 GHz.

## **7.2. Líneas futuras de investigación**

Tras el estudio realizado sobre la interferencia provocada por UWB sobre dispositivos que trabajan a frecuencias superiores a 3,1 GHz, se ha presentado una máscara mejorada respecto de las recomendadas por los organismos americano (FCC) y europeo (CEPT). Además, en otras investigaciones, se ha conseguido dar la máscara de emisión para frecuencia inferiores a 3.1 GHz, descritas en el Anexo D. Aún con todo esto, se debe seguir trabajando para conseguir una máscara óptima a lo largo de toda la banda de frecuencias, es decir, para valores superiores a 6 GHz.

## Referencias

- [1] ISRAEL21c. (2004): “Israeli company developing see-through-wall imaging system”, página oficial de ISRAEL21c Technology:  
<http://www.israel21c.org/bin/en.jsp?enDisplay=view&enDispWhat=object&enZone=Technology&enDispWho=Articles^1710&enPage=BlankPage>
- [2] Gast, Matthew S (2005): *Redes Wireless 802.11*, Madrid, Ed. Anaya Multimedia, (11/2005), capítulo 1.
- [3] UWB.es: “Ultra Wide Band”, página oficial: <http://www.uwb.es>
- [4] Hernando Rábanos, Jose María (2006): *Transmisión por radio*, Madrid, Ed. Universitaria Ramón Areces, capítulo 2.
- [5] Jiménez Tejero, Alicia (2008). *Efecto del sistema UWB sobre sistemas de telecomunicaciones con bandas de operación por debajo de 3 GHz*, Escuela Politécnica Superior, de la Universidad Autónoma de Madrid, págs. 7-11.
- [6] Doble, John (2006): *Introduction to radio propagation for fixed and mobile communications*, Ed Norwood, Artech House, capítulo 8.
- [7] M. Ghavami, L. B. Michael, R. Kohno (2004): *Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering*, Londres, Ed. John Wiley & Sons Ltd., capítulo 4.
- [8] Necedal de la Garza, J. M. (2006): *RF Jamming*, departamento de Computación, Electrónica, Física e Innovación, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Universidad de las Américas Puebla, capítulo 1.
- [9] X. Shen, M Guisan, R.C. Qiu, T. Le-Ngoc (2006): *Ultra-WideBand, wireless communications and networks*, Londres, John Wiley & Sons Ltd., capítulo 2.
- [10] Federal Communications Commission (2002): “New public safety applications and Broadband Internet access among uses envisioned by FCC authorization of Ultra WideBand technology”, Washington, public safety applications and broadband internet access among uses envisioned by fcc authorization of ultra-wideband technology. Página oficial de la FCC:  
[http://www.fcc.gov/Bureaus/Engineering\\_Technology/News\\_Releases/2002/nret0203.html](http://www.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/News_Releases/2002/nret0203.html).
- [11] Di Benedetto, Maria-Gabriella and others (2006): *UWB Communication Systems A Comprehensive Overview*, New York, EURASIP Book Series on signal Processing and Communications, capítulo 6.
- [12] Chian-Hsin Cheng, “Introduction to Ultra Wide Band Systems”. Wireless Access Tech. Lab, CCU. <http://www.ee.ccu.edu.tw>

- [13] Taha Ahmed, Bazil (2008): *WCDMA multi-service uplink capacity of highways cross-shaped microcells*, Wiley InterScience
- [14] Taha Ahmed, Bazil and Calvo Ramon, Miguel (2008): *On the Impact of Ultra-Wideband (UWB) on Macrocell Downlink of UMTS and CDMA-450 Systems*, IEEE transactions on electromagnetic compatibility, Vol. 50, No. 2.
- [15] M. Ghavami, L. B. Michael, R. Kohno (2004): *Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering*, Londres, Ed. John Wiley & Sons Ltd., capítulo 6.
- [16] Kwang-Cheng, Chen and Marca, J. Roberto B (2008): *Mobile Wimax*, Londres, Ed. John Wiley & Sons Ltd., capítulo 1.
- [17] Nuaymi, Loutfi (2007): *WIMAX. Technology for broadband Wireless Access*, Londres, Ed. John Wiley & Sons, Ltd., págs 28-35
- [18] WIMAX Forum (2006). “Mobile WIMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation”, página oficial de la corporación de WIMAX: [www.wimaxforum.org](http://www.wimaxforum.org)
- [19] Kwang-Cheng, Chen and Marca, J. Roberto B (2008): *Mobile WiMAX*, Londres, Ed. John Wiley & Sons Ltd., capítulo 18.
- [20] Martínez, Jaime: “WiMAX: Aplicaciones y servicios”, empresa Siemens, página web del artículo:  
<http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/politicas/eventos/milla/exposiciones/WiMAX%20-%20Aplicaciones%20y%20Servicios.pdf>
- [21] Alvarion, “Valores para las antenas de WIMAX Mobile”, página oficial de la empresa: Alvarion: [www.alvarion.com](http://www.alvarion.com).
- [22] WiFi Alliance, página oficial: <http://www.wi-fi.org>
- [23] Fernández González, Luis Carlos (2003). *Las Tecnologías WIFI: Aplicaciones, Modelos de Negocio y Tendencias*, Madrid, CEDITEC, Págs 7-40.
- [24] Goldsmith, Andrea (2005): *Wireless Communications*, Cambridge University Press, capítulo 2.
- [25] Wireless Fidelity (Wi-Fi) – Specifications, en página oficial: <http://www.irit.fr/~Ralph.Sobek/wifi/>
- [26] Skolnik, Merrill I. (1990): *Radar Handbook*, McGraw-Hill, capítulo 1.
- [27] Skolnik, Merrill I. (2001): *Introduction to radar system*, New York, McGraw-Hill, capítulo 21.

- [28] K. Brunson, Lawrence and other (2001): *Assessment of compatibility between ultrawideband devices and selected federal systems*, U.S Department of commerce, capítulo 4 y apéndice A.
- [29] U.S.A Patents: “Microwave landing system antenna”, página web: <http://www.freepatentsonline.com/4072952.html>.
- [30] Ramsey, B.J.; Sanders, F.H (1998): “Investigations of radar interference to satellite earth stations and terrestrial microwave communication sites”, *Electromagnetic Compatibility*.
- [31] FAA system engineering: “Terminal Doppler Weather Radar”.
- [32] Página web de la Universidad Autónoma de Jerez: [http://docentes.uacj.mx/vhinostr/clases/cdigitales/a\\_matematicas.pdf](http://docentes.uacj.mx/vhinostr/clases/cdigitales/a_matematicas.pdf)
- [33] Monclou S., Alex A. y otros (2003). *Aplicación de modelos markovianos en sistemas de comunicación móvil celular GSM900*, Revista de la facultad de ingeniería. Universidad ICESI.
- [35] Jiménez Tejero, Alicia (2008). *Efecto del sistema UWB sobre sistemas de telecomunicaciones con bandas de operación por debajo de 3 GHz*, Escuela Politécnica Superior, de la Universidad Autónoma de Madrid, págs. 143-155.
- [36] Labiod, Houdaand and others (2007): *Wi-Fi<sup>TM</sup>, Bluetooth<sup>TM</sup>, Zigbee<sup>TM</sup> and WiMax<sup>TM</sup>*, Ed. Springer, capítulo 1.
- [37] Sergio Rico Arias. “Efecto del sistema UWB sobre sistemas de telecomunicaciones móviles de segunda y tercera generación”. Pág (155-158). Proyecto Fin de Carrera. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Autónoma de Madrid. Septiembre 2007.





## Glosario de acrónimos

ATC	Air Traffic Control.
BER	Bit Error Rate. Es la relación entre el número de bits erróneos recibidos dividido por la cantidad de bits transmitidos en un determinado periodo de tiempo.
BPSK	Binary Phase Shift Keying.
BS	Estación Base o Base Station.
BWA	Broadband Wireless Access.
CEPT	Conférence Européenne des administrations des Postes et des Télécommunications. Organismo que agrupa a las entidades responsables en la administración pública de cada país europeo para crear políticas y regulación de las comunicaciones, tanto postales como de telecomunicaciones.
DAA	Detection And Avoid.
DQPSK	Differential Phase Shift Keying. Se trata de la modulación QPSK con codificación diferencial.
DSL	Digital Subscriber Line.
DSSS	Direct Sequency Spread Spectrum. Proceso que se realiza mediante la multiplicación de una portadora con una señal digital de pseudo-ruido. En primer lugar, el código PN se modula en la señal de información, mediante el uso de alguna de las técnicas de modulación habituales (BPSK, QPSK, etc.).
E.S	Earth Station.
ETSI	European Telecommunications Standards Institute. Organización europea encargada de producir estándares globales, para las Tecnologías de la Información y Comunicación que incluyen fijo, móvil, radio, broadcast, Internet y demás áreas.
FBW	Fixed Broadband Wireless.
FCC	Federal Communications Commission. Comisión americana encargada de regular las comunicaciones interestatales e internacionales vía radio, televisión, coaxial, satélite y cable.
FDD	Frequency Division Duplex. Técnica de transmisión bidireccional por division en frecuencia. Se basa en la utilización de dos bandas diferentes de frecuencia para la transmisión, una para el envío y otra para la recepción.

FEC	Forward Error Correction
FSK	Frequency Shift Keying
IESS	Intelsat Earth Station Standards
ILS	Instrument Landing System
ISM	Industrial, Scientific and Medical bands.
ITU o UIT	Internacional Telecommunication Union (Unión Internacional de Telecomunicaciones).
ISO/IEC	International Standards Organization / Internacional Electrotechnical Comisión. Estándares creados para la seguridad de la información.
LAN	Local Area Nextwork. Red de área local.
LoS	Line-of-Sigth (Visión directa).
MAC	Médium Access Control (Control de acceso al medio).
MAN	Metropolitan Area Network (Red de área metropolitana).
MFN	Multiple Frecuency Network.
MIMO	Multiple Input- Multiple Output. Sistema que utiliza múltiples antenas tanto para recibir como para transmitir. Una transmisión de datos a tasa elevada se divide en múltiples tramas más reducidas. Cada una de ellas se modula y transmite a través de una antena diferente en un momento determinado, utilizando la misma frecuencia de canal que el resto de las antenas.
MLS	Microwave Landing System.
NLOS	Non line of sigth.
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing es una técnica de multiplexación multiportadora. La base del OFDM reside en la combinación de múltiples portadoras moduladas solapadas espectralmente pero manteniendo las señales moduladas ortogonales de manera que no se producen interferencias entre ellas.
OFDMA	Ortogonal Frecuency Multiplex Division Access. También denominada como multiuser-OFDM, está siendo considerado como un método de modulación y acceso múltiple para tecnologías inalámbricas como WIMAX que permite a múltiples usuarios transmitir en diferentes subportadoras por cada símbolo

---

	FDM. Así, se asegura de que las subportadoras se asignan a los usuarios que ven en ellas buenas ganancias de canal.
OOK	On-Off Keying.
PAN	Personal Area Network.
PAM	Pulse Amplitud Modulation.
PDA	Personal Digital Assistants.
PHY	Capa física.
PIRE o EIRP	Effective Isotropic Radiation Power (Potencia de radiación isotrópica efectiva)
PPM	Pulse Position Modulation
QAM	Quadrature Amplitude Modulation. Modulació de amplitud y fase en cuadratura.
QoS	Quality of Service (Calidad de servicio). Tecnologías que garantizan la transmisión de cierta cantidad de datos en un tiempo dado.
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying. Es una modulación de fase en cuadratura de amplitud constante utilizada para las emisiones digitales.
SDMA	Space Division Multiple Access.
SNR	Signal Noise Ratio. Relación señal a ruido.
SS	Estación terminal o suscriptora.
TDD	Time Division Duplex. Técnica de transmisión bidireccional por división en tiempo. A diferencia de la técnica FDD, se utiliza una única banda de frecuencia para envío y recibo de la información, compartiendo los periodos de transmisión. Esto provoca que los retardos de transmisión limiten el tamaño de las celdas.
TDWR	Terminal Doppler Weather Radar.
TH	Time-Hopping. Proceso que se realiza mediante saltos en el tiempo.
UNII	Unlicensed National Information Infrastructure. Banda de frecuencias en 5 GHz.
USB	Universal Serial Bus

---

UWB	Ultra Wide Band.
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance.
WEIRD	WIMAX Extension to Isolated Research Data Networks.
WEP	Wired Equivalent Privacy. Se encarga de la autenticación, protección de tramas y confidencialidad
WiFi	Wireless Fidelity.
WIMAX	WorldWide Interoperability for Microwave Access.
WLAN	Wireless Local Area Networkes. Sistema de comunicación de datos inalámbrico flexible, muy utilizado como alternativa a las redes LAN.
WLL	Wireless Local Loop. WLL: Sistema que conecta a los suscriptores a la red pública de teléfono utilizando señales de radio como un sustituto del cobre para una parte de la conexión o bien en su totalidad entre suscriptor y switch. Esto incluye sistemas de acceso sin cable, acceso propietario por radio y sistemas celulares mejorados.
WPAN	Wireless Wireless Personal Area Network.

## Anexos

### A. Tipos de distribuciones

Existen varias distribuciones de probabilidad continua definidas. En una distribución de probabilidad continua, la variable que se está considerando puede tomar cualquier valor dentro de un intervalo dado [32]. A continuación, se presentan las más importantes:

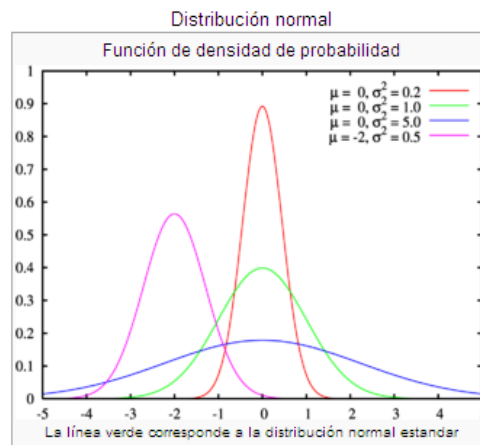
- **Distribución normal:** también llamada distribución de Gauss o distribución gaussiana, es la distribución que con más frecuencia aparece en estadística y teoría de la probabilidad. Esto se debe a dos razones fundamentales: la primera es que su función de densidad es simétrica y con forma de campana, lo que favorece su aplicación como modelo de variables estadísticas es el modelo normal estándar es el de una variable aleatoria continua cuya imagen son todos los números reales. Y, además, es el límite de otras distribuciones y aparece relacionada con multitud de resultados ligados a la teoría de las probabilidades gracias a sus propiedades matemáticas.

$$\text{Función de densidad} \rightarrow f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \text{ para } -\infty < x < \infty \quad (\text{A.1})$$

Donde

$$\mu \text{ es la media} \rightarrow \mu = \frac{\sum x}{n} \quad (\text{A.2})$$

$$\sigma \text{ es la desviación estándar } (> 0) \rightarrow \sigma^2 = \frac{\sum (x - \mu)^2}{n - 1} \text{ (Varianza)} \quad (\text{A.3})$$



**Figura A.1:** Función de densidad de probabilidad de una distribución normal [7].

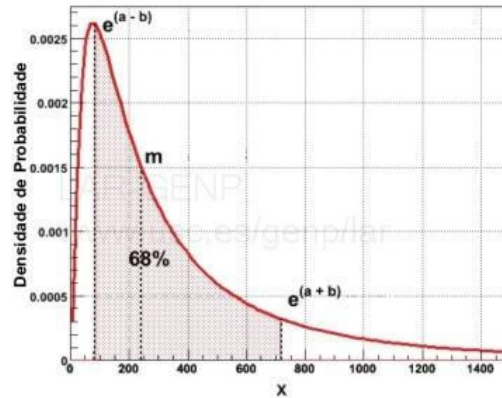
- **Distribución log-normal:** tiene las siguientes características:

$$\text{Función de densidad} \rightarrow f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x}} \cdot e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(\ln x - \mu)^2} \quad x > 0, \mu \in \mathbb{R}, \sigma > 0 \quad (\text{A.4})$$

Donde

$$\mu \text{ es la media } \rightarrow \mu = e^{(\mu + \sigma^2/2)} \quad (\text{A.5})$$

$$\sigma \text{ es la desviación estándar } (> 0) \rightarrow \sigma^2 = e^{2\mu + \sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1) \quad (\text{Varianza}) \quad (\text{A.6})$$



**Figura A.2:** Función de densidad de probabilidad de una distribución log-normal [7].

- **Distribución Rayleigh:** La distribución Rayleigh se utiliza generalmente para describir la naturaleza estadística variable del desvanecimiento de la señal en el receptor a través de múltiples trayectos cuyas diferentes componentes presentan amplitudes similares [32].

$$\text{Función de densidad } \rightarrow \quad p_x(x) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{A.7})$$

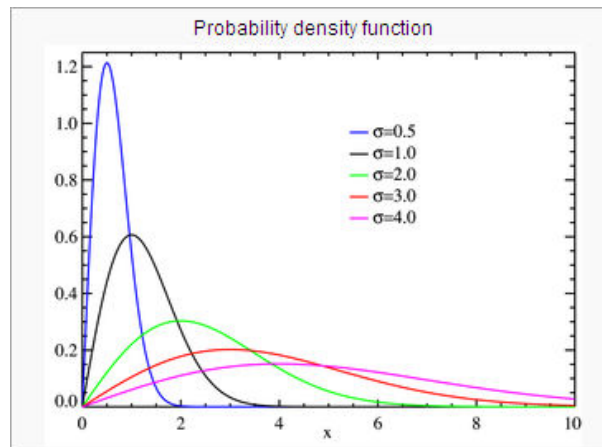
Donde

$$x \text{ es la media } \rightarrow x = E\{x\} = \int_0^{\infty} x p_x(x) dx = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1.2533\sigma \quad (\text{A.8})$$

$$E\{x^2\} \text{ es la desviación estándar } \rightarrow E\{x^2\} = \int_0^{\infty} x^2 p_x(x) dx = 2\sigma^2 \quad (\text{A.9})$$

$\sigma_x^2$  es la varianza  $\rightarrow$

$$\sigma_x^2 = E\{x^2\} - E\{x\}^2 = 2\sigma^2 - \frac{\sigma^2 \pi}{2} = \sigma^2 \left( \frac{4 - \pi}{2} \right) = 0.4292\sigma^2 \quad (\text{A.10})$$



**Figura A.3:** Función de densidad de probabilidad de una distribución Rayleigh [7].

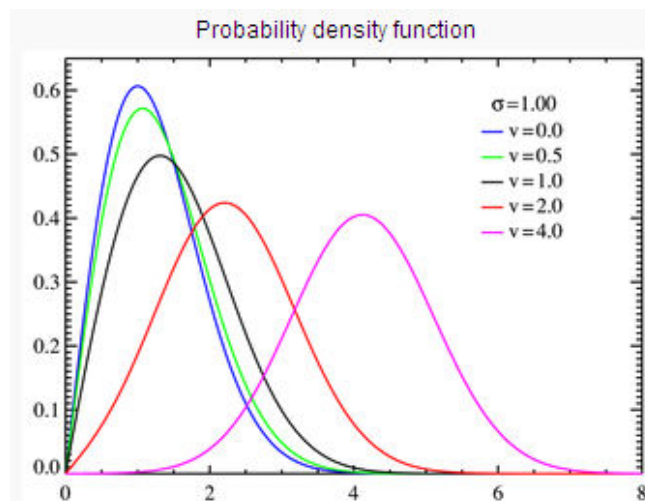
- **Distribución de Rice o Desvanecimiento Rician:** Es un tipo de desvanecimiento de baja escala que ocurre sobre un componente de la señal dominante estacionaria, en un trayecto con visión directa entre el transmisor y el receptor [33].

$$\text{Función de densidad} \rightarrow p_x(x) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2+x_s}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{x \cdot x_s}{\sigma^2}\right) \quad (\text{A.11})$$

Haciendo que  $K$  defina el *ratio* entre la potencia de la señal y la varianza del multitrayecto  $K(\text{dB}) = 10 \log_{10}\left(\frac{x_s^2}{2\sigma^2}\right)$  entonces:

$$p_r(r) = \frac{2 \cdot r \cdot 10^{K/10}}{r_r^2} e^{-\frac{10^{K/10}}{r_r^2}(r^2+r_r^2)} I_0\left(\frac{2 \cdot r \cdot 10^{K/10}}{r_r}\right) \quad (\text{A.12})$$

Donde  $K$  es un parámetro utilizado para definir la proporción de influencia de de el evento con mas alta probabilidad, si  $K$  es igual a 0, entonces la distribución Rician se convierte en una distribución Rayleigh.



**Figura A.4:** Función de densidad de probabilidad de una distribución Rice [7].

- **Distribución de Nakagami – Rice:** Se utiliza para una señal constituida por una componente determinística y varias componentes aleatorias. Esta situación se produce típicamente en radioenlaces punto a punto. Nosotros no lo utilizaremos.

## B. Señales UWB

### B.1. Impulsos: Transmisión de información sin portadora

Los sistemas UWB se han basado siempre en señales tipo rádar en forma de pulsos de muy corta duración. Los pulsos, extremadamente cortos, se transmiten directamente a la antena sin necesidad de portadora en frecuencia y con tiempos de subida y bajada muy pronunciados [35].

Estos pulsos suelen ser de tipo gaussiano (B.1) (aunque hay más modelos). Según asciende el grado de la derivada en un pulso de tipo gaussiano, la energía se desplaza a mayores frecuencias y se cumple la máscara. La desventaja reside en que no aprovecha eficientemente el ancho de banda utilizable ni la potencia permitida.

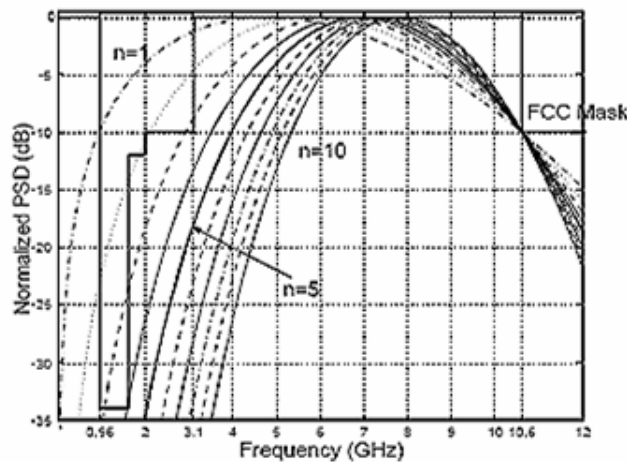
La operación de derivada se puede implementar como un filtro paso alto; para transmitir la quinta derivada por el aire, el pulso gaussiano debe filtrarse hasta la derivada de orden 4.

$$p(t) = \frac{A}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (\text{B.1})$$

Donde:

- A = Amplitud.
- $\sigma$  = Anchura del pulso.

A partir de la derivada de quinto orden, se cumple la máscara en frecuencia propuesta por la FCC sin necesidad de desplazar en frecuencia.



**Figura B.1:** Pulsos gaussianos de derivadas de orden 'n' junto con la máscara normalizada propuesta por la FCC.

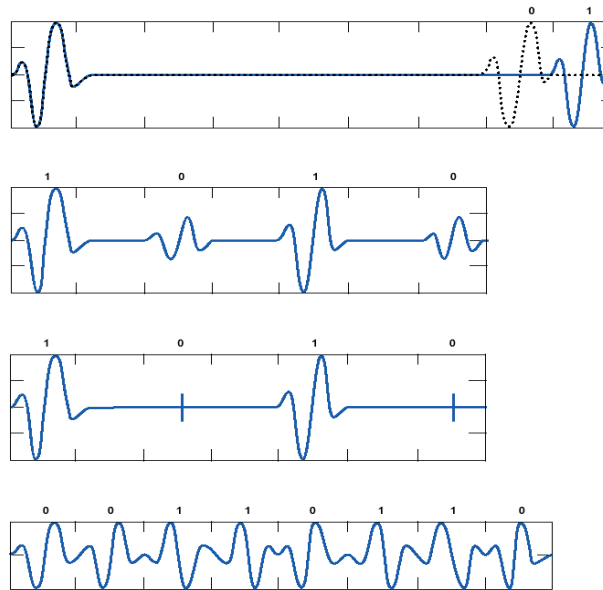
Los pulsos pueden modularse siguiendo los diferentes esquemas: Pulse Position Modulation (PPM) que es ortogonal, Pulse Amplitude Modulation (PAM), On-Off Keying (OOK), Bi-Phase Modulation, BPSK y QPSK (Figura B.2). Y las formas de explotar el espectro son: por espectro ensanchado (DSSS, Direct Sequence Spread



Spectrum) o por salto en tiempo (TH, Time Hopping). Ambas son muy precisas en la posición.

Los pulsos generalmente se agrupan para transmitirse en secuencias, cada secuencia representa un símbolo. Un tren de pulsos uniforme tiene líneas espectrales que ensucian el espectro.

La forma de los pulsos recibidos depende de la generación del pulso; la forma del filtro y la respuesta, de las antenas.

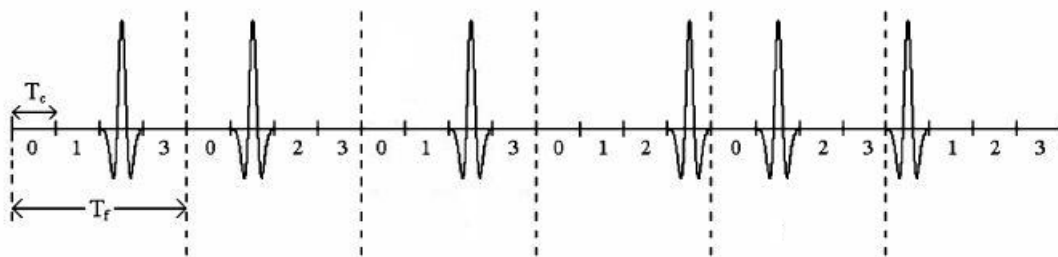


**Figura B.2:** Modulaciones tipo PPM, PAM, OOK y Bi-Phase.

### TH, Time Hopping

Se caracteriza principalmente por:

- Utilizar  $N_f$  tramas por símbolo. Es decir, existen  $N_f$  posiciones donde puede colocarse el pulso.
- Utilizar  $N_c$  chips TH por trama.
- Transmitir un pulso por trama y usuario.
- Utiliza una transmisión discontinua mediante un ciclo de trabajo bajo.
- Las secuencias en TH determinan la localización del pulso.



**Figura B.3:** Caracterización de Time Hopping.

Los pulsos corren a través de un filtro paso banda. Este filtro tiene una frecuencia central que controla la frecuencia central del pulso. La forma del pulso y el espectro se controlan mediante la respuesta en frecuencia del filtro y en menor peso por la forma del pulso de entrada.

Se puede utilizar un proceso de “aleatorización de polaridad” para eliminar las líneas que ensucian el espectro. De esta forma se cumple mejor la máscara (Figura B.4).

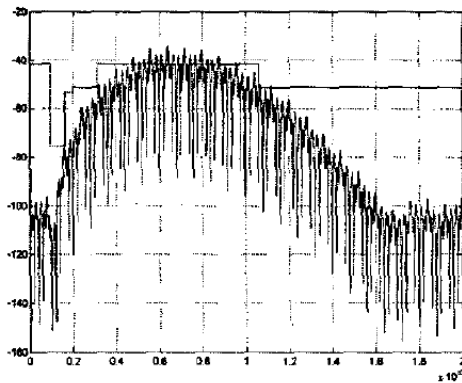


Fig. 4 Spectrum of a PPM signal with TH sequence

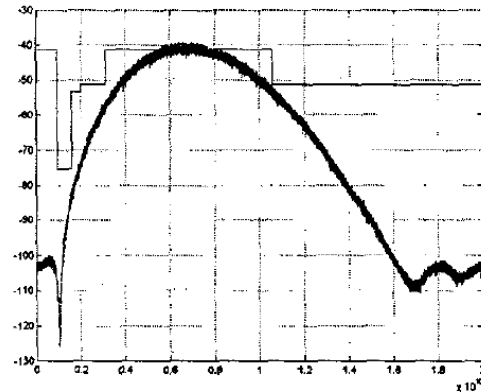
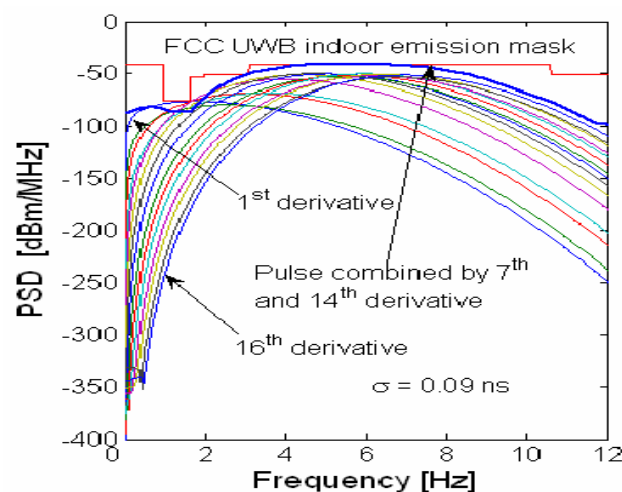


Fig. 5 2-PPM Signal Spectrum using this TH sequence and the pulse based polarity hopping sequence.

**Figura B.4:** Espectro TH-PPM sin y con ‘aleatorización de polaridad’.

Una forma de aprovechar mejor el ancho de banda y la potencia de transmisión es utilizar un método de combinación aleatoria de dos o tres pulsos Gaussianos de entre los 16 primeros órdenes de derivadas. Recibe el nombre de Método de MUI. Los resultados se encuentran en la Figura B.5 donde se puede apreciar que para este método se consigue una potencia por cada pulso mayor, aprovechando una mayor zona en el espectro. Además, de esta forma se disminuye en gran proporción la tasa de error por bit o BER. Se consiguen transmisiones de hasta 100 Mbps para distancias superiores a los 10m.

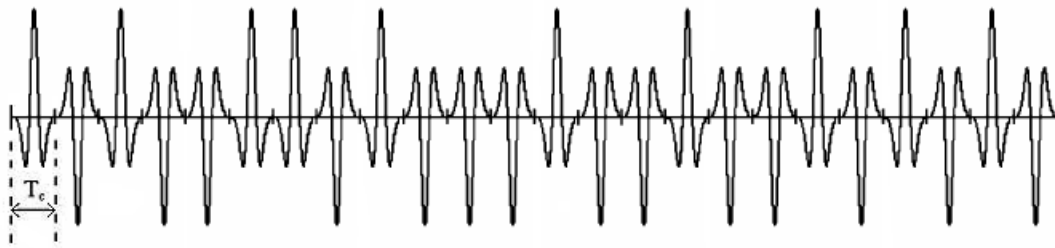


**Figura B.5:** Pulso gaussiano combinado mediante la 7ª y 14ª derivadas del modelo MUI (que cumple la máscara propuesta por la FCC).

DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum

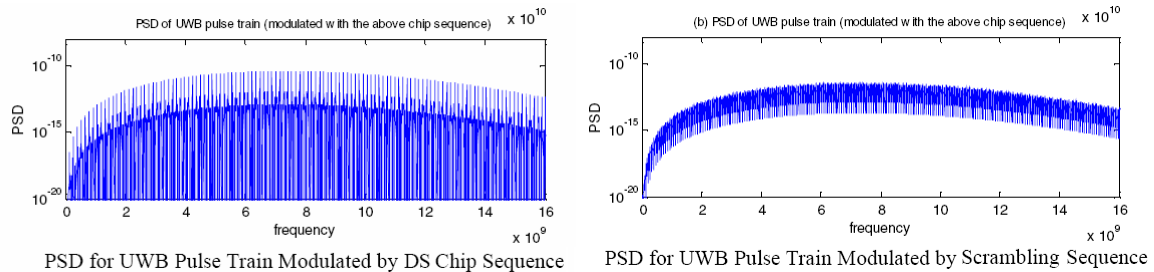
Se caracteriza principalmente por:

- $N_c$  chips de DS por símbolo.
- Envía un pulso por cada chip.
- La tasa del chip es una fracción de la frecuencia central.
- La secuencia DS determina la polarización del pulso.
- El ciclo de trabajo es alto.
- Los pulsos se transmiten en secuencias formadas por 1 hasta 24 pulsos. Éstas se envían a una tasa fija de chip,  $T_c$ .



**Figura B.6:** Caracterización de Spread Spectrum.

El espectro queda relativamente sucio y se utiliza la fórmula de “aleatorización” o “Scramble” para limpiar las líneas que sobresalen del espectro para ayudar a cumplir la máscara (Figura B.7).



**Figura B.7:** Espectro DSSS sin y con ‘Scramble’ (que cumple la máscara propuesta por la FCC).

Trabaja sobre dos bandas de frecuencia: 3,1-4,85 GHz, y de 6,2-9,7 GHz. Así, puede trabajar en banda baja, sobre la primera banda, en banda alta, sobre la segunda, o bien utilizando ambas, en multi banda, consiguiendo un modo full duplex, transmitiendo en una banda y recibiendo en la otra.

La forma de su espectro depende de la forma del filtro utilizado. Esto es una desventaja ya que los aparatos pueden diferir dependiendo de la zona del mundo donde te encuentres. Sin embargo, la frecuencia central y el ancho de banda son ajustables, aportando flexibilidad y escalabilidad, facilita la coexistencia con MB-OFDM y el hardware es sencillo, lo que reduce el consumo de potencia.

Mecanismos para mitigar interferencias son

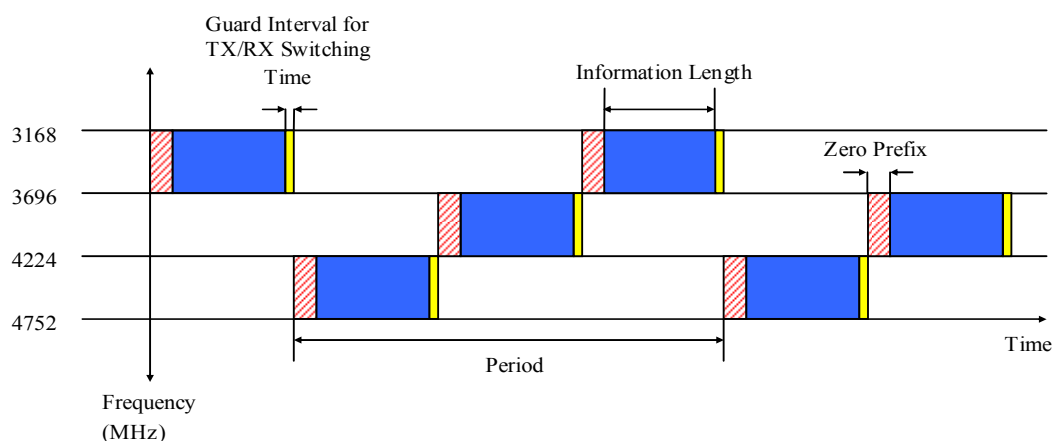
- DAA o Detection And Avoid.
- Disminuir el ciclo de trabajo.

Ambos mecanismos propuestos para la banda de frecuencia de 3,1-4,8 GHz. Sin embargo, hasta 2010/2012 no se obligará a la utilización de estos mecanismos en la banda entre 4,2-4,8 GHz.

## B.2. MB-OFDM: Transmisión de información con portadora

La información se transmite utilizando la modulación OFDM en cada banda, lo que implica una flexibilidad en el espectro de uso internacional, no como en el caso de DSSS. Se caracteriza por [35]:

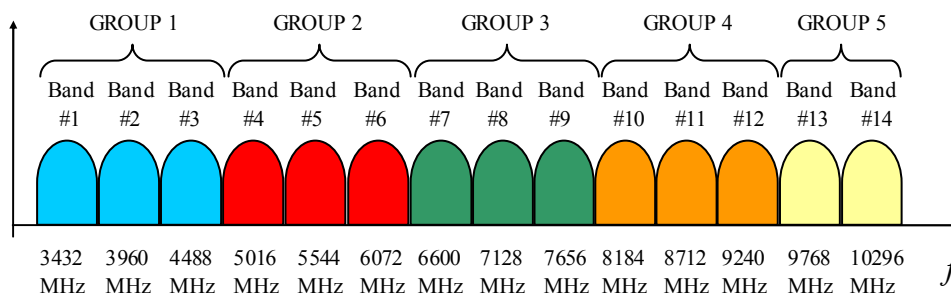
- Un período de alrededor de  $T = 312,5$  ns, incluyendo el prefijo cíclico o Zero y el tiempo de guarda de 9,5 ns. (Figura B.8)



**Figura B.8:** Período del pulso MB-OFDM.

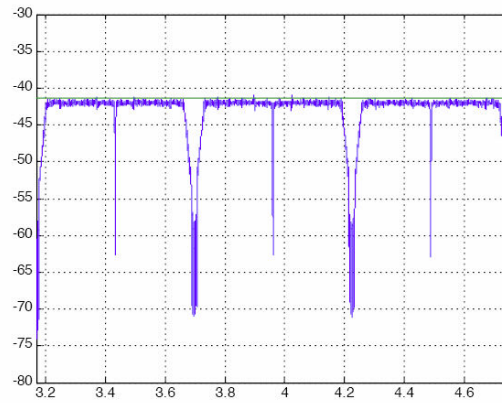
- El espectro se reparte en 14 bandas, divididas, de tres en tres en grupos. Las primeras tres bandas son las que se utilizan actualmente como primera generación de sistemas, que son las coloreadas en azul (3,1-4,9 GHz). Las demás están bajo estudio y son opcionales. (Figura B.9)

•



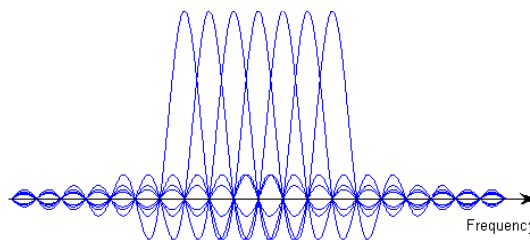
**Figura B.9:** División del espectro MB-OFDM.

- Ancho de banda total por cada banda es de 528 MHz.



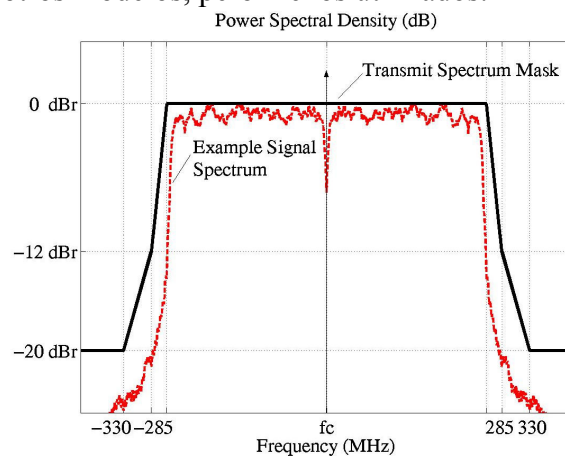
**Figura B.10:** Grupo 1 del espectro de MB-OFDM dividido en las tres primeras bandas.

- Cada banda se modula mediante OFDM. Dependiendo de las regulaciones del espectro, algunas portadoras pueden desaparecer para evitar interferencias con otros sistemas. Las portadoras se generan y recuperan eficientemente utilizando 128 puntos IFFT/FFT (128 subportadoras). Es decir, cada banda consta de 128 tonos (100 de datos), espaciados cada 4,125 MHz.



**Figura B.11:** Banda 1 del espectro modulada en OFDM.

- Las modulaciones utilizadas son QPSK (antipodal en grupos de 2 bits) o bien DCM (Dual Carrier Modulation, ortogonal, formada por grupos de 4 bits mapeados en dos constelaciones diferentes de 16 puntos separados por 50 tonos). Hay otros modelos, pero menos utilizados.



**Figura B.12:** Espectro MB-OFDM práctico que cumple su máscara espectral de emisión.

La gran ventaja es que, en el proceso de transmisión/recepción, el ancho de banda de las señales en banda base es pequeño. Además, es un sistema robusto ante el multitrayecto y consigue tasas de transmisión muy elevadas.

Mecanismos DDA (Detection And Avoid) para mitigar interferencias son:

- Eliminar una banda completa. Es ineficiente pero simple.
- Anular un tono. Es más eficiente. Sin embargo, requiere técnicas más avanzadas para suprimir los lóbulos secundarios de la ventana rectangular.
- Crear una ventana. Puede suprimir los lóbulos secundarios de forma significativa. Sin embargo, de esta manera se destruye la ortogonalidad.
- Cancelación activa de la interferencia (AIC, Active Interferente Cancellation). Con lo que se intenta suprimir el efecto del lóbulo secundario. Se requiere un método que cancele tonos para cada símbolo OFDM.

OFDM también se utiliza en WIMAX, DAB, DVB y algún estándar de WiFi. Aproximación de tipo WLAN.

## C. Sistemas inalámbricos

### C.1. Fundamentos de los sistemas inalámbricos

Los sistemas inalámbricos, o también llamados Fixed-Wireless, se pueden utilizar para prácticamente cualquier aplicación también realizada sobre cable, tanto si el cable es un circuito T1, un cable de televisión, de Ethernet o de fibra óptica. De hecho, los sistemas inalámbricos están diseñados para emular las conexiones de cable, hasta el punto en que se utilizan en ambas, algunas interfaces y protocolos como T1, Frame Relay, Ethernet o ATM. Para su implementación se utiliza un medio de propagación físico alguno esto quiere decir que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas, las cuales se propagan por el espacio sin un medio físico que comunique cada uno de los extremos de la transmisión. En ese sentido, los dispositivos físicos sólo están presentes en los emisores y receptores de la señal [36].

Estos sistemas están generalmente diseñados y centrados en la transmisión de datos y acceso a Internet, aunque por su flexibilidad también transmiten voz y programas de televisión (imagen). En general, podemos decir que las aplicaciones sobre cable también es posible realizarlas por sistema inalámbrico, salvo en el caso de los satélites geosíncronos donde el retardo sobrepasa el cuarto de segundo. En el resto, los parámetros tales como retardos, tasa de error y tasas binarias, tanto para el cable como para los sistemas inalámbricos tienen calidades cada vez más parecidas.

IEEE 802 define estándares internacionales para que, más tarde, sean reconocidos por la ISO en redes de área local (LAN) o redes de área metropolitana (MAN) como 802.3 conocido como Ethernet. Normalmente estos proyectos comprenden las capas de transmisión física y de enlace (PHY y MAC):

- IEEE 802.11 redes de área local inalámbricas o WLAN.
- IEEE 802.15 redes de área personal inalámbricas o WPAN.

- IEEE 802.16 redes de área metropolitana o WMAN.

La elección de las antenas es un factor importante en el diseño de redes inalámbricas, ya que una selección inadecuada puede acarrear una zona de sombra que dificulta la recepción o una falta de cobertura en zonas donde debería haberla. Y un exceso de potencia puede dar cobertura a zonas más alejadas, interfiriendo con otras células o facilitando la tarea a un hacker.

## **C.2. Ventajas e inconvenientes de los sistemas inalámbricos**

La ventaja de los sistemas inalámbricos con respecto de los sistemas cableados es evidente: la libertad de movimiento. A esta favorable situación se le suman otras oportunidades, tales como:

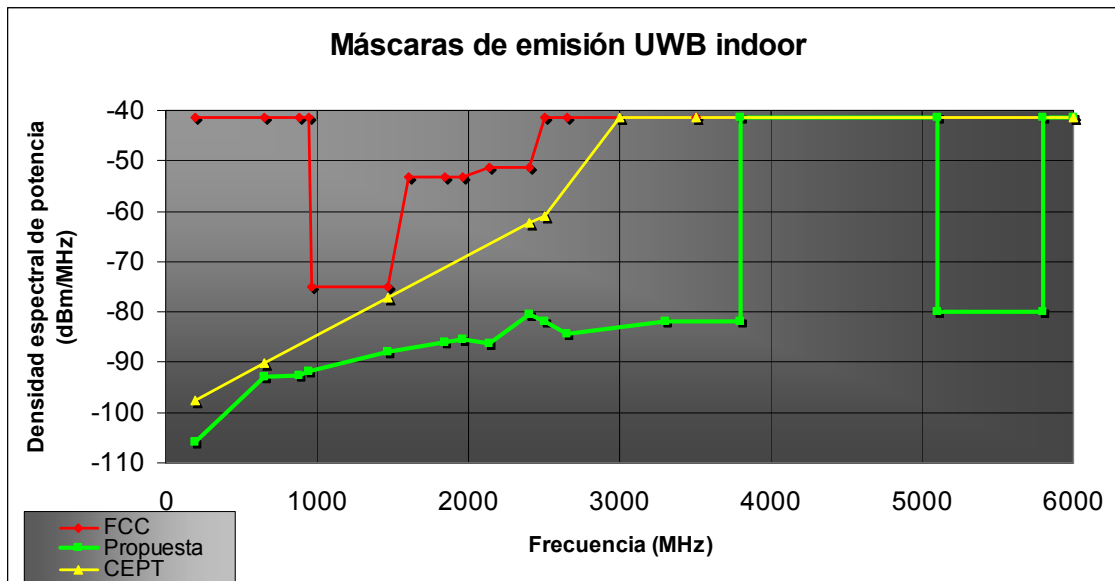
- Disminución de costes de implantación y explotación, al reducir gastos de mantenimiento y permitir la reducción de mano de obra.
- Desarrollo de soluciones a medida, al permitir la comunicación con dispositivos de difícil acceso o ubicados en emplazamientos múltiples y remotos.
- Acceso a la interrelación en tiempo real, al posibilitar una mayor flexibilidad en los procesos de registro, control e interrelación con sistemas propios o externos.
- Mejora en los procesos de negocio, ya que mediante la mejora y optimización de los procesos, ofrecen la posibilidad de acceder a nuevos mercados ofreciendo productos y servicios novedosos a menor coste.
- Aumento de la ventaja competitiva, la disponibilidad de estas tecnologías frente a rivales que operan con sistemas tradicionales permiten un mejor posicionamiento empresarial.
- "La gran aportación de estos sistemas es la "comunicación ubicua"

Frente a estas óptimas oportunidades destacan ciertos aspectos que demandan un mayor desarrollo:

- **Fiabilidad:** son vulnerables a las interferencias electromagnéticas, a los obstáculos físicos y existen problemas de cobertura.
- **Robustez:** el desarrollo de este tipo de tecnología es reciente, con un grado de estandarización aún escaso.
- **Seguridad:** existen riesgos de interceptación y manipulación de las comunicaciones al ser el medio más susceptible de atraer "terceros no deseados".

## D. Máscara de emisión UWB

Para completar el estudio que hemos realizado, hemos decidido añadir la máscara de emisión UWB hasta frecuencias de 6 GHz. Hemos reunido nuestro estudio con el realizado por el resto de estudiantes de la E.P.S para este sistema [35 y 37], obteniendo la máscara que se presenta en la Figura D. Los sistemas estudiados para la realización de esta máscara son: sistemas móviles de segunda y tercera generación (2G y 3G), WiFi a 2.5 GHz y 5.3 GHz, WIMAX a 2.5 GHz, 3.5 GHz y 5.4 GHz, DAB, DTV.



**Figura D.1:** Máscaras de emisión indoor hasta 6 GHz para las tecnologías de: GSM-900, GSM-1800, UMTS-2000, UMTS-2600, IS-136, WiFi, WIMAX, DAB y DTV como víctimas.



## E. Programación en Matlab

### E.1. Interferencia WiMAX-UWB

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% EFECTO DE UWB SOBRE WIMAX 3.5 GHz y 5.4 GHz
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% AUTOR: SERGIO CERVERA IRIMIA
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%

clc
clear all
close all

%%----- VALORES DE LOS SISTEMAS A ESTUDIAR -----%%

f = 3.5 * 10^9; %3.5 GHz y 5.4 GHz
Pduwb = [-41.3, -60, -70, -82, -inf]; %dBm/MHz.
Bw = [1.25, 2.5, 5, 10, 20]; % Ancho de banda del canal en
MHz
PIREwimax = 50; %Ptwimax = 25W = 14dBW + 15 dB
(Gtx) = 29 dBW =~50 dBm
Grx = 5; %5 dB
c = 3 * 10^8; %Velocidad de la luz en m/s;
lambda = c / f;
NF = 7; %Factor de ruido (dB).
M_int = 0; %Margen de interferencias (dB).

for i=1:length(Pduwb)
    for j=1:length(Bw)
        PIREuwb(i,j) = Pduwb(i) + 10*log10(Bw(j));
    end
end

end

%Parametros de la modulación
SNR_MODULACIONES = [5, 8, 10.5, 14, 16, 18, 20]; %QPSK 1/2, QPSK 3/4,
16-QAM 1/2, 16-QAM 3/4, 64-QAM 1/2, 64-QAM 2/3, 64-QAM 3/4 (dB)

%Variables para calculo de la tasa binaria neta
data_bits_mod = [1, 1.5, 2, 3, 3, 4, 4.5];
%data_bits=indice_modulación*FEC.
M=[log2(4), log2(4), log2(16), log2(16), log2(64), log2(64),
log2(64)]; %Indice de Modulación
sampling_factor = 28/25;
overhead = 0.2;
time_guard = 1/8;
TDD = 3/4; %Ratio between the downlink
and uplik
Ndatadl = [72, 144, 360, 720, 1440]; %Number of data subcarriers
Nfft = [128, 256, 512, 1024, 2048]; %Number of OFDM subcarriers or
FFT size

Factor_Bitrate = sampling_factor * ((1-overhead)/(1+time_guard)) *
TDD;

%%----- UWB -----%%

```

```

%El efecto shadowing se produce cuando hay un obstáculo que provoca la
%reducción en la potencia de la señal recibida.
Suwb = 2.23 * 2;           %S=sigma*X ; X= 2.23
dref = 1;                 %1m
d1 = 1;                   %Suponemos distancia sistema uwb de 1-2m
n = 2;                     %Indice de propagacion indoor [1.5-2]

Lpuwb = 20*log10(4.*pi.*dref./lambda)+ 10*n*log10(d1./dref) - Suwb;
% Suwb + o -

Iuwb = PIREuwb + Grx - Lpuwb; %Interferencia UWB.
iuwb=10.^(Iuwb./10);

%%----- WiMAX -----%%

hb = 20;                   %Altura de la estacion base entre 10-80
m
hrx = 10;                  %Altura de la antena rx entre 2-10 m
Swimax = 12.3;             %Factor de Shadow. 12.3 dB = 1.28 *
sigma, T.9 de Radio 7.
d0 = 100;                  %d0=100m;
d = [100:1000];           %Distancia entre estación base y
antena.d>=d0
dbf=[1:99];                %Distancia para las pérdidas en el
espacion libre.
Lpared =10;
Swimax1 = min(Swimax, ((d-100)*Swimax)/600); %Factor de Shadow en
función de la distancia entre los sistemas Wimax
%Para un terreno intermedio las constantes son:

a = 4;
b = 0.0065;
c = 17.1;

%Las perdidas de WiMAX por el modelo ERCEG-GREENSTEIN serán:
A = 20.*log10(4.*pi.*d0./lambda);
gama = a - b.*hb + c./hb;
deltaPLf = 6*log10(f/(2000*10^6)); %La frec tiene que estar en MHz
deltaPLh = -10.8*log10(hrx/2);

%Perdidas en el espacio libre(No afecta el Shadowing xo si las
perdidas de la pared)
Lbf = 92.45 + 20*log10(3.5) + 20*log10(dbf/1000)+ Lpared + deltaPLf +
deltaPLh ;
%Perdidas por el modelo Erceg-Greenstein
Lpwimax_erceg = A + 10*gama*log10(d/d0) + Swimax1 + deltaPLf +
deltaPLh + Lpared;
Lpwimax = [Lbf Lpwimax_erceg];

Senalwimax = PIREwimax + Grx - Lpwimax;

%%----- CALCULO DE SNR -----%%

Pn = -114 + 10*log10 (Bw) + NF + M_int;
pn = 10 .^ (Pn/10);

for i=1:length(Pduwb)
    for j=1:length(Bw)

```

```

        ni_SNR(i,j) = pn(j) + iuwb(i,j);
    end
end
NI_SNR = 10*log10(ni_SNR);

dist=[1:1000];

%SNR con interferencia UWB

for i=1:length(Bw)
    for j=1:length(Senalwimax)
        SNR1(i,j)= Senalwimax(j)-NI_SNR(1,i);    %Matriz SNR para
Pduwb=-41.3 dBm donde cada fila representa cada Ancho de banda y cada
columna representa cada distancia.
        SNR2(i,j)= Senalwimax(j)-NI_SNR(2,i);    %Matriz SNR para
Pduwb=-60 dBm donde cada fila representa cada Ancho de banda y cada
columna representa cada distancia.
        SNR3(i,j)= Senalwimax(j)-NI_SNR(3,i);    %Matriz SNR para
Pduwb=-70 dBm donde cada fila representa cada Ancho de banda y cada
columna representa cada distancia.
        SNR4(i,j)= Senalwimax(j)-NI_SNR(4,i);    %Matriz SNR para
Pduwb=-82 dBm donde cada fila representa cada Ancho de banda y cada
columna representa cada distancia.
        SNR5(i,j)= Senalwimax(j)-NI_SNR(5,i);    %Matriz SNR para
Pduwb=-inf dBm donde cada fila representa cada Ancho de banda y cada
columna representa cada distancia.

    end
end

%SNR sin interferencia UWB
for i=1:length(Bw)
    for j=1:length (dist)
        SNR_sin_interf(i,j)= Senalwimax(j)-Pn(i);
    end
end

%%----- MODULACIONES -----%%

%Modulaciones con interferencia UWB para Pduwb = -41.3 dBm/MHz
for i=1:length(Bw)
    for j=1:length(dist)
        if SNR1(i,j)>=SNR_MODULACIONES(7)
            Mod1(i,j)=7;    %Modulación 64-QAM 3/4
            Vb1(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(7) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i));    %Tasa binaria neta
Vbb1(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(7)*TDD;    %Tasa
binaria bruta
        elseif SNR1(i,j)>=SNR_MODULACIONES(6)
            Mod1(i,j)=6;    %Modulación 64-QAM 2/3
            Vb1(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(6) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i));    %Tasa binaria neta
Vbb1(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(6)*TDD;    %Tasa
binaria bruta
        elseif SNR1(i,j)>=SNR_MODULACIONES(5)
            Mod1(i,j)=5;    %Modulación 64-QAM 1/2
            Vb1(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(5) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i));    %Tasa binaria neta

```

```

Vbb1(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(5)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    elseif SNR1(i,j)>=SNR_MODULACIONES(4)
        Mod1(i,j)=4; %Modulación 16-QAM 3/4
        Vb1(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(4) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb1(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(4)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    elseif SNR1(i,j)>=SNR_MODULACIONES(3)
        Mod1(i,j)=3; %Modulación 16-QAM 1/2
        Vb1(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(3) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb1(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(3)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    elseif SNR1(i,j)>=SNR_MODULACIONES(2)
        Mod1(i,j)=2; %Modulación QPSK 3/4
        Vb1(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(2) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb1(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(2)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    elseif SNR1(i,j)>=SNR_MODULACIONES(1)
        Mod1(i,j)=1; %Modulación QPSK 1/2
        Vb1(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(1) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb1(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(1)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    else
        Mod1(i,j)=0;
        Vb1(i,j)=0;
        Vbb1(i,j)=0;
    end
end
end

%Modulaciones con interferencia UWB para Pduwb = -60 dBm/MHz
for i=1:length(Bw)
    for j=1:length(dist)
        if SNR2(i,j)>=SNR_MODULACIONES(7)
            Mod2(i,j)=7; %Modulación 64-QAM 3/4
            Vb2(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(7) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb2(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(7)*TDD; %Tasa
binaria bruta
            elseif SNR2(i,j)>=SNR_MODULACIONES(6)
                Mod2(i,j)=6; %Modulación 64-QAM 2/3
                Vb2(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(6) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb2(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(6)*TDD; %Tasa
binaria bruta
                elseif SNR2(i,j)>=SNR_MODULACIONES(5)
                    Mod2(i,j)=5; %Modulación 64-QAM 1/2
                    Vb2(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(5) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

```

```

Vbb2(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(5)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    elseif SNR2(i,j)>=SNR_MODULACIONES(4)
        Mod2(i,j)=4; %Modulación 16-QAM 3/4
        Vb2(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(4) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb2(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(4)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    elseif SNR2(i,j)>=SNR_MODULACIONES(3)
        Mod2(i,j)=3; %Modulación 16-QAM 1/2
        Vb2(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(3) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb2(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(3)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    elseif SNR2(i,j)>=SNR_MODULACIONES(2)
        Mod2(i,j)=2; %Modulación QPSK 3/4
        Vb2(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(2) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb2(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(2)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    elseif SNR2(i,j)>=SNR_MODULACIONES(1)
        Mod2(i,j)=1; %Modulación QPSK 1/2
        Vb2(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(1) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb2(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(1)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    else
        Mod2(i,j)=0;
        Vb2(i,j)=0;
        Vbb2(i,j)=0;
    end
end
end

%Modulaciones con interferencia UWB para Pduwb = -70 dBm/MHz
for i=1:length(Bw)
    for j=1:length(dist)
        if SNR3(i,j)>=SNR_MODULACIONES(7)
            Mod3(i,j)=7; %Modulación 64-QAM 3/4
            Vb3(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(7) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb3(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(7)*TDD; %Tasa
binaria bruta
            elseif SNR3(i,j)>=SNR_MODULACIONES(6)
                Mod3(i,j)=6; %Modulación 64-QAM 2/3
                Vb3(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(6) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb3(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(6)*TDD; %Tasa
binaria bruta
                elseif SNR3(i,j)>=SNR_MODULACIONES(5)
                    Mod3(i,j)=5; %Modulación 64-QAM 1/2
                    Vb3(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(5) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

```

```

Vbb3(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(5)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    elseif SNR3(i,j)>=SNR_MODULACIONES(4)
        Mod3(i,j)=4; %Modulación 16-QAM 3/4
        Vb3(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(4) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb3(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(4)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    elseif SNR3(i,j)>=SNR_MODULACIONES(3)
        Mod3(i,j)=3; %Modulación 16-QAM 1/2
        Vb3(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(3) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb3(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(3)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    elseif SNR3(i,j)>=SNR_MODULACIONES(2)
        Mod3(i,j)=2; %Modulación QPSK 3/4
        Vb3(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(2) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb3(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(2)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    elseif SNR3(i,j)>=SNR_MODULACIONES(1)
        Mod3(i,j)=1; %Modulación QPSK 1/2
        Vb3(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(1) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb3(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(1)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    else
        Mod3(i,j)=0;
        Vb3(i,j)=0;
        Vbb3(i,j)=0;
    end
end
end

%Modulaciones con interferencia UWB para Pduwb = -82 dBm/MHz
for i=1:length(Bw)
    for j=1:length(dist)
        if SNR4(i,j)>=SNR_MODULACIONES(7)
            Mod4(i,j)=7; %Modulación 64-QAM 3/4
            Vb4(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(7) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb4(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(7)*TDD; %Tasa
binaria bruta
            elseif SNR4(i,j)>=SNR_MODULACIONES(6)
                Mod4(i,j)=6; %Modulación 64-QAM 2/3
                Vb4(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(6) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb4(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(6)*TDD; %Tasa
binaria bruta
            elseif SNR4(i,j)>=SNR_MODULACIONES(5)
                Mod4(i,j)=5; %Modulación 64-QAM 1/2
                Vb4(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(5) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

```

```

Vbb4(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(5)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    elseif SNR4(i,j)>=SNR_MODULACIONES(4)
        Mod4(i,j)=4; %Modulación 16-QAM 3/4
        Vb4(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(4) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb4(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(4)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    elseif SNR4(i,j)>=SNR_MODULACIONES(3)
        Mod4(i,j)=3; %Modulación 16-QAM 1/2
        Vb4(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(3) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb4(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(3)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    elseif SNR4(i,j)>=SNR_MODULACIONES(2)
        Mod4(i,j)=2; %Modulación QPSK 3/4
        Vb4(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(2) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb4(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(2)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    elseif SNR4(i,j)>=SNR_MODULACIONES(1)
        Mod4(i,j)=1; %Modulación QPSK 1/2
        Vb4(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) * data_bits_mod(1) *
(Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb4(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(1)*TDD; %Tasa
binaria bruta
    else
        Mod4(i,j)=0;
        Vb4(i,j)=0;
        Vbb4(i,j)=0;
    end
end
end

%Modulaciones sin interferencia UWB
for i=1:length(Bw)
    for j=1:length(dist)
        if SNR_sin_interf(i,j)>=SNR_MODULACIONES(7)
            Mod_sin_interf(i,j)=7; %Modulación
64-QAM 3/4
            Vb_sin_interf(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) *
data_bits_mod(7) * (Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb_sin_interf(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(7)*TD
D; %Tasa binaria bruta
            elseif SNR_sin_interf(i,j)>=SNR_MODULACIONES(6)
                Mod_sin_interf(i,j)=6; %Modulación
64-QAM 2/3
                Vb_sin_interf(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) *
data_bits_mod(6) * (Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb_sin_interf(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(6)*TD
D; %Tasa binaria bruta
            elseif SNR_sin_interf(i,j)>=SNR_MODULACIONES(5)
                Mod_sin_interf(i,j)=5; %Modulación
64-QAM 1/2

```

```

        Vb_sin_interf(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) *
data_bits_mod(5) * (Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb_sin_interf(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(5)*TD
D; %Tasa binaria bruta
    elseif SNR_sin_interf(i,j)>=SNR_MODULACIONES(4)
        Mod_sin_interf(i,j)=4; %Modulación
16-QAM 3/4
        Vb_sin_interf(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) *
data_bits_mod(4) * (Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb_sin_interf(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(4)*TD
D; %Tasa binaria bruta
    elseif SNR_sin_interf(i,j)>=SNR_MODULACIONES(3)
        Mod_sin_interf(i,j)=3; %Modulación
16-QAM 1/2
        Vb_sin_interf(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) *
data_bits_mod(3) * (Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb_sin_interf(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(3)*TD
D; %Tasa binaria bruta
    elseif SNR_sin_interf(i,j)>=SNR_MODULACIONES(2)
        Mod_sin_interf(i,j)=2; %Modulación
QPSK 3/4
        Vb_sin_interf(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) *
data_bits_mod(2) * (Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb_sin_interf(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(2)*TD
D; %Tasa binaria bruta
    elseif SNR_sin_interf(i,j)>=SNR_MODULACIONES(1)
        Mod_sin_interf(i,j)=1; %Modulación
QPSK 1/2
        Vb_sin_interf(i,j)=Factor_Bitrate * Bw(i) *
data_bits_mod(1) * (Ndatadl(i)/Nfft(i)); %Tasa binaria neta

Vbb_sin_interf(i,j)=Bw(i)*sampling_factor*(Ndatadl(i)/Nfft(i))*M(1)*TD
D; %Tasa binaria bruta
    else
        Mod_sin_interf(i,j)=0;
        Vb_sin_interf(i,j)=0;
        Vbb_sin_interf(i,j)=0;
    end
end
end

%%%----- FIGURAS -----%%%

for i=1:length(Bw)
    figure(i)
    %%%Indic de Modulación%%
    subplot(2,1,1)
    hold on
    plot(dist, Mod1(i,:), 'k')
    plot(dist, Mod2(i,:), 'm')
    plot(dist, Mod3(i,:), 'b')
    plot(dist, Mod4(i,:), 'r')
    %plot(d, Mod5(i,:), 'g')
    plot(dist, Mod_sin_interf(i,:), 'g')
end

```



```

    title({'\bf Índice de modulación / Distancia a ' num2str(Bw(i))
'MHz ' '(f_W_i_M_A_X = 3.5 GHz)'],'1=QPSK 1/2, 2=QPSK 3/4, 3=16-QAM
1/2, 4=16-QAM 3/4', '5=64-QAM 1/2, 6=64-QAM 2/3, 7=64-QAM 3/4'})
    grid;
    legend('\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -60
dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -70 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -82
dBm/MHz', '\bf Sin Interferencia UWB');
    ylabel({'\bf Índice de Modulación'});
    xlabel('\bf Distancia entre los sistemas WiMAX(m)')
    hold off
    %%%Tasa Binaria Neta%%
    subplot(2,1,2)
    hold on
    plot(dist, Vb1(i,:), 'k')
    plot(dist, Vb2(i,:), 'm')
    plot(dist, Vb3(i,:), 'b')
    plot(dist, Vb4(i,:), 'r')
    %plot(d, Vb5(i,:), 'g')
    plot(dist, Vb_sin_interf(i,:), 'g')
    title({'\bf Tasa Binaria Neta/ Distancia a ' num2str(Bw(i)) 'MHz
' '(f_W_i_M_A_X = 3.5 GHz)'])
    grid;
    ylabel({'\bf Tasa Binaria Neta(Mbps)'});
    xlabel('\bf Distancia entre los sistemas WiMAX(m)')
    hold off
end

for i=1:length(Bw)
    figure(i+5)
    hold on
    plot(dist, Vbb1(i,:), 'k')
    plot(dist, Vbb2(i,:), 'm')
    plot(dist, Vbb3(i,:), 'b')
    plot(dist, Vbb4(i,:), 'r')
    %plot(d, Vbb5(i,:), 'g')
    plot(dist, Vbb_sin_interf(i,:), 'g')
    legend('\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -60
dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -70 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -82
dBm/MHz', '\bf Sin Interferencia UWB');
    title({'\bf Tasa Binaria Bruta/ Distancia a ' num2str(Bw(i)) 'MHz
' '(f_W_i_M_A_X = 3.5 GHz)'])
    grid;
    ylabel({'\bf Tasa Binaria Bruta(Mbps)'});
    xlabel('\bf Distancia entre los sistemas WiMAX(m)')
    hold off
end

%%Figuras de las distintas SNR. Cada figura representa las SNR para
cada Bw.
for i=1:length(Bw)
    figure(i+10)
    hold on
    plot(dist, SNR1(i,:), 'k')
    plot(dist, SNR2(i,:), 'm')
    plot(dist, SNR3(i,:), 'b')
    plot(dist, SNR4(i,:), 'r')
    %plot(d, SNR5(i,:), 'g')
    plot(dist, SNR_sin_interf(i,:), 'g')           %'color',[1,0,0]
    title({'\bf Relación Señal-Ruido / Distancia a ' num2str(Bw(i))
'MHz ' '(f_W_i_M_A_X = 3.5 GHz)'])

```

```

grid;
legend('\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -60
dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -70 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -82
dBm/MHz', '\bf Sin Interferencia UWB');
ylabel('\bf SNR(dB)')
xlabel('\bf Distancia entre los sistemas WiMAX(m)')
hold off
end

```

## E.2. Interferencia WiFi-UWB

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% EFECTO DE UWB SOBRE WiFi 5.3 GHz
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% AUTOR: SERGIO CERVERA IRIMIA
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%

clc
clear all
close all

%%----- VALORES DE LOS SISTEMAS A ESTUDIAR -----%%

f = 5.3 * 10^9; %5.3 GHz
Pduwb = [-41.3, -60, -70, -80, -inf]; %dBm/MHz.
Bw = 20; %Ancho de banda del canal en MHz
PIREwifi = 15; %10,15,20.
Grx = 5; %5 dB
c = 3 * 10^8; %Velocidad de la luz en m/s;
lambda = c / f;
NF = 6; %Factor de ruido (dB).
M_int = 0; %Margen de interferencias (dB).

for i=1:length(Pduwb)
    PIREuwb(i) = Pduwb(i) + 10*log10(Bw);
end

%Parametros de la modulaci3n
SNR_MODULACIONES = [5.4, 5.8, 7, 9.5, 11.3, 14.9, 18.6, 20.6]; %BPSK
1/2, BPSK 3/4, QPSK 1/2, QPSK 3/4, 16-QAM 1/2, 16-QAM 3/4, 64-QAM 2/3,
64-QAM 3/4 (dB)

%Tasa binaria neta
Vb=[6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54];

%%----- UWB -----%%

%El efecto shadowing se produce cuando hay un obst3culo que provoca la
%reducci3n en la potencia de la se1al recibida.
Suwb = 2.23 * 2; %S=sigma*X ; X= 2.23 (probabilidad del
99% indoor)Suponemos sigma = 2 -->
http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01267851
dref = 1; %1m
d1 = 1; %Suponemos distancia sistema uwb de 1-2
m
n = 2; %Indice de propagacion indoor [1.5-2]

```

```

n2= 3.3; %Indice de propagación indoor lejano,
con obstáculos entre medias.

Lpuwb = 20*log10(4.*pi.*dref./lambda)+ 10*n*log10(d1./dref) - Suwb;
% Suwb + o -

Iuwb = PIREuwb + Grx - Lpuwb; %Interferencia UWB.
iuwb=10.^(Iuwb./10);

%%%----- WiFi -----%%%

hb = 20; %Altura de la estacion base entre 10-80
m
hrx = 10; %Altura de la antena rx entre 2-10 m
Swifi = 2.23*2 ; %S=sigma*X ; X= 2.23 (probabilidad del
99%indoor)Suponemos sigma = 2 -->
http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01267851
d = [1:0.5:150]; %Distancia entre estación base y antena
indoor
Rb = 10; %Rb=4*ht*hr/lambda. valor a partir del
cual cambia el valor de las pérdidas.
n2= 4; %Indice de propagación indoor lejano,
con obstáculos entre medias.

%Las perdidas de WiFi serán:

if d<=Rb
    Lpwifi = 20*log10(4.*pi.*dref./lambda)+ 10*n*log10(d/dref) -
Swifi;
else
    Lpwifi = 20*log10(4.*pi.*dref./lambda)+ 10*n*log10(Rb/dref) +
10*n2*log10(d/Rb)- Swifi;
end

Senalwifi = PIREwifi + Grx - Lpwifi;

%%%----- CALCULO DE SNR -----%%%

Pn = -114 + 10*log10 (Bw) + NF + M_int;
pn = 10 .^ (Pn/10);

for i=1:length(Pduwb)
    ni_SNR(i) = pn + iuwb(i);
end

NI_SNR = 10*log10(ni_SNR);

%SNR con interferencia UWB

for i=1:length(Senalwifi)
    SNR1(i)= Senalwifi(i)-NI_SNR(1); %Matriz SNR para Pduwb=-
41.3 dBm donde cada fila representa cada Ancho de banda y cada columna
representa cada distancia.
    SNR2(i)= Senalwifi(i)-NI_SNR(2); %Matriz SNR para Pduwb=-60
dBm donde cada fila representa cada Ancho de banda y cada columna
representa cada distancia.

```

```

    SNR3(i) = Senalwifi(i) - NI_SNR(3);    %Matriz SNR para Pduwb=-70
dBm donde cada fila representa cada Ancho de banda y cada columna
representa cada distancia.
    SNR4(i) = Senalwifi(i) - NI_SNR(4);    %Matriz SNR para Pduwb=-82
dBm donde cada fila representa cada Ancho de banda y cada columna
representa cada distancia.
    SNR5(i) = Senalwifi(i) - NI_SNR(5);    %Matriz SNR para Pduwb=-
inf dBm donde cada fila representa cada Ancho de banda y cada columna
representa cada distancia.
end

%SNR sin interferencia UWB
for i=1:length(Senalwifi)
    SNR_sin_interf(i) = Senalwifi(i) - Pn;
end

%%----- MODULACIONES -----%%

%Modulaciones con interferencia UWB para Pduwb = -41.3 dBm/MHz
for i=1:length(Senalwifi)
    if SNR1(i) >= SNR_MODULACIONES(8)
        Mod1(i) = 8;                    %Modulación 64-QAM 3/4
        Vb1(i) = Vb(8);                 %Tasa binaria neta
        Vbb1(i) = Vb(8) * 4/3;         %Tasa binaria bruta
    elseif SNR1(i) >= SNR_MODULACIONES(7)
        Mod1(i) = 7;                    %Modulación 64-QAM 2/3
        Vb1(i) = Vb(7);                 %Tasa binaria neta
        Vbb1(i) = Vb(7) * 3/2;         %Tasa binaria bruta
    elseif SNR1(i) >= SNR_MODULACIONES(6)
        Mod1(i) = 6;                    %Modulación 16-QAM 3/4
        Vb1(i) = Vb(6);                 %Tasa binaria neta
        Vbb1(i) = Vb(6) * 4/3;         %Tasa binaria bruta
    elseif SNR1(i) >= SNR_MODULACIONES(5)
        Mod1(i) = 5;                    %Modulación 16-QAM 1/2
        Vb1(i) = Vb(5);                 %Tasa binaria neta
        Vbb1(i) = Vb(5) * 2;           %Tasa binaria bruta
    elseif SNR1(i) >= SNR_MODULACIONES(4)
        Mod1(i) = 4;                    %Modulación QPSK 3/4
        Vb1(i) = Vb(4);                 %Tasa binaria neta
        Vbb1(i) = Vb(4) * 4/3;         %Tasa binaria bruta
    elseif SNR1(i) >= SNR_MODULACIONES(3)
        Mod1(i) = 3;                    %Modulación QPSK 1/2
        Vb1(i) = Vb(3);                 %Tasa binaria neta
        Vbb1(i) = Vb(3) * 2;           %Tasa binaria bruta
    elseif SNR1(i) >= SNR_MODULACIONES(2)
        Mod1(i) = 2;                    %Modulación BPSK 3/4
        Vb1(i) = Vb(2);                 %Tasa binaria neta
        Vbb1(i) = Vb(2) * 4/3;         %Tasa binaria bruta
    elseif SNR1(i) >= SNR_MODULACIONES(1)
        Mod1(i) = 1;                    %Modulación BPSK 1/2
        Vb1(i) = Vb(1);                 %Tasa binaria neta
        Vbb1(i) = Vb(1) * 2;           %Tasa binaria bruta
    else
        Mod1(i) = 0;
        Vb1(i) = 0;
        Vbb1(i) = 0;
    end
end

%Modulaciones con interferencia UWB para Pduwb = -60 dBm/MHz
for i=1:length(Senalwifi)

```

```

if SNR2(i) >= SNR_MODULACIONES(8)
    Mod2(i) = 8; %Modulación 64-QAM 3/4
    Vb2(i) = Vb(8); %Tasa binaria neta
    Vbb2(i) = Vb(8) * 4/3; %Tasa binaria bruta
elseif SNR2(i) >= SNR_MODULACIONES(7)
    Mod2(i) = 7; %Modulación 64-QAM 2/3
    Vb2(i) = Vb(7); %Tasa binaria neta
    Vbb2(i) = Vb(7) * 3/2; %Tasa binaria bruta
elseif SNR2(i) >= SNR_MODULACIONES(6)
    Mod2(i) = 6; %Modulación 16-QAM 3/4
    Vb2(i) = Vb(6); %Tasa binaria neta
    Vbb2(i) = Vb(6) * 4/3; %Tasa binaria bruta
elseif SNR2(i) >= SNR_MODULACIONES(5)
    Mod2(i) = 5; %Modulación 16-QAM 1/2
    Vb2(i) = Vb(5); %Tasa binaria neta
    Vbb2(i) = Vb(5) * 2; %Tasa binaria bruta
elseif SNR2(i) >= SNR_MODULACIONES(4)
    Mod2(i) = 4; %Modulación QPSK 3/4
    Vb2(i) = Vb(4); %Tasa binaria neta
    Vbb2(i) = Vb(4) * 4/3; %Tasa binaria bruta
elseif SNR2(i) >= SNR_MODULACIONES(3)
    Mod2(i) = 3; %Modulación QPSK 1/2
    Vb2(i) = Vb(3); %Tasa binaria neta
    Vbb2(i) = Vb(3) * 2; %Tasa binaria bruta
elseif SNR2(i) >= SNR_MODULACIONES(2)
    Mod2(i) = 2; %Modulación BPSK 3/4
    Vb2(i) = Vb(2); %Tasa binaria neta
    Vbb2(i) = Vb(2) * 4/3; %Tasa binaria bruta
elseif SNR2(i) >= SNR_MODULACIONES(1)
    Mod2(i) = 1; %Modulación BPSK 1/2
    Vb2(i) = Vb(1); %Tasa binaria neta
    Vbb2(i) = Vb(1) * 2; %Tasa binaria bruta
else
    Mod2(i) = 0;
    Vb2(i) = 0;
    Vbb2(i) = 0;
end

end

%Modulaciones con interferencia UWB para Pduwb = -70 dBm/MHz
for i=1:length(Senalwifi)
    if SNR3(i) >= SNR_MODULACIONES(8)
        Mod3(i) = 8; %Modulación 64-QAM 3/4
        Vb3(i) = Vb(8); %Tasa binaria neta
        Vbb3(i) = Vb(8) * 4/3; %Tasa binaria bruta
    elseif SNR3(i) >= SNR_MODULACIONES(7)
        Mod3(i) = 7; %Modulación 64-QAM 2/3
        Vb3(i) = Vb(7); %Tasa binaria neta
        Vbb3(i) = Vb(7) * 3/2; %Tasa binaria bruta
    elseif SNR3(i) >= SNR_MODULACIONES(6)
        Mod3(i) = 6; %Modulación 16-QAM 3/4
        Vb3(i) = Vb(6); %Tasa binaria neta
        Vbb3(i) = Vb(6) * 4/3; %Tasa binaria bruta
    elseif SNR3(i) >= SNR_MODULACIONES(5)
        Mod3(i) = 5; %Modulación 16-QAM 1/2
        Vb3(i) = Vb(5); %Tasa binaria neta
        Vbb3(i) = Vb(5) * 2; %Tasa binaria bruta
    elseif SNR3(i) >= SNR_MODULACIONES(4)
        Mod3(i) = 4; %Modulación QPSK 3/4
        Vb3(i) = Vb(4); %Tasa binaria neta
        Vbb3(i) = Vb(4) * 4/3; %Tasa binaria bruta
    end
end

```

```

elseif SNR3(i) >= SNR_MODULACIONES(3)
    Mod3(i) = 3; %Modulación QPSK 1/2
    Vb3(i) = Vb(3); %Tasa binaria neta
    Vbb3(i) = Vb(3) * 2; %Tasa binaria bruta
elseif SNR3(i) >= SNR_MODULACIONES(2)
    Mod3(i) = 2; %Modulación BPSK 3/4
    Vb3(i) = Vb(2); %Tasa binaria neta
    Vbb3(i) = Vb(2) * 4/3; %Tasa binaria bruta
elseif SNR3(i) >= SNR_MODULACIONES(1)
    Mod3(i) = 1; %Modulación BPSK 1/2
    Vb3(i) = Vb(1); %Tasa binaria neta
    Vbb3(i) = Vb(1) * 2; %Tasa binaria bruta
else
    Mod3(i) = 0;
    Vb3(i) = 0;
    Vbb3(i) = 0;
end

end

%Modulaciones con interferencia UWB para Pduwb = -82 dBm/MHz
for i = 1:length(Senalwifi)
    if SNR4(i) >= SNR_MODULACIONES(8)
        Mod4(i) = 8; %Modulación 64-QAM 3/4
        Vb4(i) = Vb(8); %Tasa binaria neta
        Vbb4(i) = Vb(8) * 4/3; %Tasa binaria bruta
    elseif SNR4(i) >= SNR_MODULACIONES(7)
        Mod4(i) = 7; %Modulación 64-QAM 2/3
        Vb4(i) = Vb(7); %Tasa binaria neta
        Vbb4(i) = Vb(7) * 3/2; %Tasa binaria bruta
    elseif SNR4(i) >= SNR_MODULACIONES(6)
        Mod4(i) = 6; %Modulación 16-QAM 3/4
        Vb4(i) = Vb(6); %Tasa binaria neta
        Vbb4(i) = Vb(6) * 4/3; %Tasa binaria bruta
    elseif SNR4(i) >= SNR_MODULACIONES(5)
        Mod4(i) = 5; %Modulación 16-QAM 1/2
        Vb4(i) = Vb(5); %Tasa binaria neta
        Vbb4(i) = Vb(5) * 2; %Tasa binaria bruta
    elseif SNR4(i) >= SNR_MODULACIONES(4)
        Mod4(i) = 4; %Modulación QPSK 3/4
        Vb4(i) = Vb(4); %Tasa binaria neta
        Vbb4(i) = Vb(4) * 4/3; %Tasa binaria bruta
    elseif SNR4(i) >= SNR_MODULACIONES(3)
        Mod4(i) = 3; %Modulación QPSK 1/2
        Vb4(i) = Vb(3); %Tasa binaria neta
        Vbb4(i) = Vb(3) * 2; %Tasa binaria bruta
    elseif SNR4(i) >= SNR_MODULACIONES(2)
        Mod4(i) = 2; %Modulación BPSK 3/4
        Vb4(i) = Vb(2); %Tasa binaria neta
        Vbb4(i) = Vb(2) * 4/3; %Tasa binaria bruta
    elseif SNR4(i) >= SNR_MODULACIONES(1)
        Mod4(i) = 1; %Modulación BPSK 1/2
        Vb4(i) = Vb(1); %Tasa binaria neta
        Vbb4(i) = Vb(1) * 2; %Tasa binaria bruta
    else
        Mod4(i) = 0;
        Vb4(i) = 0;
        Vbb4(i) = 0;
    end
end

end

%Modulaciones sin interferencia UWB

```

```

for i=1:length(Senalwifi)
    if SNR_sin_interf(i)>=SNR_MODULACIONES(8)
        Mod_sin_interf(i)=8;           %Modulación 64-QAM 3/4
        Vb_sin_interf(i)=Vb(8);       %Tasa binaria neta
        Vbb_sin_interf(i)=Vb(8)*4/3;  %Tasa binaria bruta
    elseif SNR_sin_interf(i)>=SNR_MODULACIONES(7)
        Mod_sin_interf(i)=7;           %Modulación 64-QAM 2/3
        Vb_sin_interf(i)=Vb(7);       %Tasa binaria neta
        Vbb_sin_interf(i)=Vb(7)*3/2;  %Tasa binaria bruta
    elseif SNR_sin_interf(i)>=SNR_MODULACIONES(6)
        Mod_sin_interf(i)=6;           %Modulación 16-QAM 3/4
        Vb_sin_interf(i)=Vb(6);       %Tasa binaria neta
        Vbb_sin_interf(i)=Vb(6)*4/3;  %Tasa binaria bruta
    elseif SNR_sin_interf(i)>=SNR_MODULACIONES(5)
        Mod_sin_interf(i)=5;           %Modulación 16-QAM 1/2
        Vb_sin_interf(i)=Vb(5);       %Tasa binaria neta
        Vbb_sin_interf(i)=Vb(5)*2;    %Tasa binaria bruta
    elseif SNR_sin_interf(i)>=SNR_MODULACIONES(4)
        Mod_sin_interf(i)=4;           %Modulación QPSK 3/4
        Vb_sin_interf(i)=Vb(4);       %Tasa binaria neta
        Vbb_sin_interf(i)=Vb(4)*4/3;  %Tasa binaria bruta
    elseif SNR_sin_interf(i)>=SNR_MODULACIONES(3)
        Mod_sin_interf(i)=3;           %Modulación QPSK 1/2
        Vb_sin_interf(i)=Vb(3);       %Tasa binaria neta
        Vbb_sin_interf(i)=Vb(3)*2;    %Tasa binaria bruta
    elseif SNR_sin_interf(i)>=SNR_MODULACIONES(2)
        Mod_sin_interf(i)=2;           %Modulación BPSK 3/4
        Vb_sin_interf(i)=Vb(2);       %Tasa binaria neta
        Vbb_sin_interf(i)=Vb(2)*4/3;  %Tasa binaria bruta
    elseif SNR_sin_interf(i)>=SNR_MODULACIONES(1)
        Mod_sin_interf(i)=1;           %Modulación BPSK 1/2
        Vb_sin_interf(i)=Vb(1);       %Tasa binaria neta
        Vbb_sin_interf(i)=Vb(1)*2;    %Tasa binaria bruta
    else
        Mod_sin_interf(i)=0;
        Vb_sin_interf(i)=0;
        Vbb_sin_interf(i)=0;
    end
end

%%----- FIGURAS -----%%

    %%%Indic de Modulación%%
    figure(1)
    subplot(2,1,1)
    hold on
    plot(d, Mod1, 'k')
    plot(d, Mod2, 'm')
    plot(d, Mod3, 'b')
    plot(d, Mod4, 'r')
    %plot(d, Mod5(i,:), 'g')
    plot(d, Mod_sin_interf, 'g')
    title(['\bf Índice de modulación / Distancia a ' num2str(Bw) 'Mhz
' '(f_W_i_F_i = 5.3 GHz, PIRE_W_i_F_i = 15 dBm)'], '1=BPSK 1/2, 2=BPSK
3/4, 3=QPSK 1/2, 4=QPSK 3/4', '5=16-QAM 1/2, 6=16-QAM 3/4, 7=64-QAM
2/3, 8=64-QAM 3/4'})
    grid;
    legend('\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -60
dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -70 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -80
dBm/MHz', '\bf Sin Interferencia UWB');
    ylabel('\bf Indice de Modulación');

```

```

xlabel('\bf Distancia entre los sistemas WiFi(m)')
hold off
%%Tasa Binaria Neta
subplot(2,1,2)
hold on
plot(d, Vb1,'k')
plot(d, Vb2,'m')
plot(d, Vb3,'b')
plot(d, Vb4,'r')
%plot(d, Vb5(i,:), 'g')
plot(d, Vb_sin_interf,'g')
title({'\bf Tasa Binaria Neta/ Distancia a ' num2str(Bw) 'MHz '
'(f_W_i_F_i = 5.3 GHz, PIRE_W_i_F_i = 15 dBm)'])
grid;
ylabel({'\bf Tasa Binaria Neta(Mbps)'});
xlabel('\bf Distancia entre los sistemas WiFi(m)')
hold off

figure(2)
hold on
plot(d, Vbb1,'k')
plot(d, Vbb2,'m')
plot(d, Vbb3,'b')
plot(d, Vbb4,'r')
%plot(d, Vbb5(i,:), 'g')
plot(d, Vbb_sin_interf,'g')
legend('\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -60
dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -70 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -80
dBm/MHz', '\bf Sin Interferencia UWB');
title({'\bf Tasa Binaria Bruta/ Distancia a ' num2str(Bw) 'MHz '
'(f_W_i_F_i = 5.3 GHz, PIRE_W_i_F_i = 15 dBm)'])
grid;
ylabel({'\bf Tasa Binaria Bruta(Mbps)'});
xlabel('\bf Distancia entre los sistemas WiFi(m)')
hold off

%Figuras de las distintas SNR. Cada figura representa las SNR para
cada Bw.
figure(3)
hold on
plot(d, SNR1,'k')
plot(d, SNR2,'m')
plot(d, SNR3,'b')
plot(d, SNR4,'r')
%plot(d, SNR5(i,:), 'g')
plot(d, SNR_sin_interf,'g') %'color',[1,0,0]
title({'\bf Relación Señal-Ruido / Distancia a ' num2str(Bw) 'MHz '
'(f_W_i_F_i = 5.3 GHz, PIRE_W_i_F_i = 15 dBm)'])
grid;
legend('\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -60
dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -70 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -80
dBm/MHz', '\bf Sin Interferencia UWB');
ylabel('\bf SNR(dB)')
xlabel('\bf Distancia entre los sistemas WiFi(m)')
hold off

```



## E.3. Interferencia MLS-UWB

### E.3.1. Ganancia

```
function [Gr] = ganancia (angulo)
x =[0 10 20 30 40 50 60 67];
y =[0 2.5 4.5 5 4.2 2 -1 -6.5];
p=polyfit(x,y,5);
```

```
Gr=polyval(p,angulo);
```

### E.3.2. MLS

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% EFECTO DE UWB SOBRE RADAR MLS 5.1 GHz
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
%% AUTOR: SERGIO CERVERA IRIMIA
%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
clc
clear all
close all
```

```
%%----- VALORES DE LOS SISTEMAS A ESTUDIAR -----%%
```

```
f = ((5.25 * 10^9)+(5 * 10^9))/2; % 5.125 GHz
Bw = 0.15; %Ancho de banda del canal en MHz
c = 3 * 10^8; %Velocidad de la luz en m/s;
lambda = c / f;
NF = 10; %Factor de ruido (dB).
M_int = 0; %Margen de interferencias (dB).
huwb=[10 20 30]; %Altura antena UWB
hmls=5; %Altura antena radar transmisora
MLS
Rb=(4*huwb*hmls)/lambda;
```

```
%El efecto shadowing se produce cuando hay un obstáculo que provoca la
%reducción en la potencia de la señal recibida.
```

```
%Suwb = 2.23 * 2; %S=sigma*X ; X= 2.23 (probabilidad del
99% indoor)Suponemos sigma = 2 -->
http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01267851
dref = 1; %1m
n = 2; %Indice de propagacion [2-2.25]
n2 = 4; %Indice de propagacion [4-4.8]
d=[2:1:200]; %Distancia entre emisor y receptor
(Cogemos 200 m para que se vea la zona importante)
```

```
%%----- CALCULO DE Pn -----%%
```

```
Pn = -114 + 10*log10 (Bw) + NF + M_int;
pn = 10 .^ (Pn/10);
```

```
%%----- INTERFERENCIA SEGÚN Rn -----%%
```

```

Rn = [0.95 0.975];
iuwb = pn.*((1 -(Rn.^4))./(Rn.^4));
Iuwb = 10*log10(iuwb);

%%----- CÁLCULO DE GANANCIA MLS Y PÉRDIDAS UWB -----%%

Lpuwb=[];
Gmls=[];
for j=1:length(Rb)
    Gmls0=[];
    Lpuwb0=[];
    for k=2:1:200 %Bucle que recorre distancias entre sistemas (k=d)
        if k<=Rb(j)
            Lpuwb0=[Lpuwb0, 20*log10(4.*pi.*dref./lambda)+
10*n*log10(k/dref)];
            angulo = (180/pi)*atan((huwb(j)-hmls)/k);
            [Gr] = ganancia (angulo);
            Gmls0 = [Gmls0 Gr];
        else
            Lpuwb0=[Lpuwb0, 20*log10(4.*pi.*dref./lambda)+
10*n*log10(Rb(j)/dref) + 10*n2*log10(k/Rb(j))];
            angulo = (180/pi)*atan((huwb(j)-hmls)/k);
            [Gr] = ganancia (angulo);
            Gmls0 = [Gmls0 Gr];
        end
    end
    end
    %Valores de la Ganancia del MLS y las pérdidas UWB. La primera
    fila es
    %para huwb = 10 m, la segunda huwb = 20 m y la tercera huwb = 30
    m.
    %Cada columna representa una distancia distinta de menor a mayor

    Gmls=[Gmls;Gmls0];
    Lpuwb=[Lpuwb;Lpuwb0];
end

%%----- CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE POTENCIA DE UWB -----%%

Pduwb=[];
for i=1:length(Iuwb)
    Pduwb = [Pduwb;Iuwb(i)-10*log10(Bw)-Gmls + Lpuwb];
end
t=0;
for i=1:length(Rn)
    figure
    plot(d/1000,Pduwb(1+t,:), '- ',d/1000,Pduwb(2+t,:), '-
g',d/1000,Pduwb(3+t,:), '-r',d/1000,-41.3*ones(1,length(d)), '-k');
    axis([0 0.2 -60 -15])
    xlabel('\bf Distancia MLS-UWB (Km)')
    ylabel('\bf Densidad de potencia del sistema UWB (dB/MHz)')
    legend('\bf h_u_w_b = 10m.', '\bf h_u_w_b = 20m.', '\bf h_u_w_b =
30m.', 4);
    title({'\bf Densidad de potencia UWB para un R_n del
',num2str(Rn(i)*100), '%'}))%respecto del original'
    grid
    t=3;
end

```

```

%%----- CÁLCULO DE Rn PARA DISTINTOS VALORES DE Pduwb a 35m -----%%

%Primero calculamos Rn para un valor de -41.3dBm/MHz y sin interf
%UWB(Rn=1), después para los distintos valores de Pduwb entre medias
for i=1:length(Rb)
    Iuwb2 = -41.3 + 10*log10(Bw) + Gmls(i,:) - Lpuwb(i,:);
    iuwb2 = 10.^(Iuwb2/10);
    Rn2(i,:) = (pn./(pn + iuwb2)).^(1/4);
end

%A continuación calculamos Rn para distintos valores de Pduwb. Las
otras
%gráficas determinaran el Área de cobertura a una distancia de 20 m.
t=1;
Pduwb_pred=[-45 -50]; %Declaramos dos valores para calcular el
Rn que producen
for i=1:length(Rn)
    for j=1:length(Rb)
        Iuwb3 = Pduwb_pred(i) + 10*log10(Bw) + Gmls(j,:) - Lpuwb(j,:);
        iuwb3 = 10.^(Iuwb3/10);
        Rn3(t,:) = (pn./(pn + iuwb3)).^(1/4);
        t=t+1;
    end
end

figure
plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(4,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(1,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(1,:)*100,'-')
xlabel('\bf Distancia MLS-UWB (Km)')
ylabel('\bf R_n (%)')
legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -50 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -45
dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
title(['\bf Rn para una antena UWB de altura 10m.'])
axis([0 0.2 60 105])
grid

figure
ti = -pi:pi/50:pi;
patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
patch(Rn3(4,d==20)*sin(ti),Rn3(4,d==20)*cos(ti),'g'); hold on
patch(Rn3(1,d==20)*sin(ti),Rn3(1,d==20)*cos(ti),'r'); hold on
patch(Rn2(1,d==20)*sin(ti),Rn2(1,d==20)*cos(ti),'c'); hold off
title('\bf Area de cobertura normalizada de MLS (h_u_w_b = 10m.)');
legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -50 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -45
dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
axis equal
grid

figure
plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(5,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(2,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(2,:)*100,'-')
xlabel('\bf Distancia MLS-UWB (Km)')
ylabel('\bf R_n (%)')
legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -50 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -45
dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
title(['\bf R_n para una antena UWB de altura 20m.'])
axis([0 0.2 60 105])
grid

figure

```

```

ti = -pi:pi/50:pi;
patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
patch(Rn3(5,d==20)*sin(ti),Rn3(5,d==20)*cos(ti),'g'); hold on
patch(Rn3(2,d==20)*sin(ti),Rn3(2,d==20)*cos(ti),'r'); hold on
patch(Rn2(2,d==20)*sin(ti),Rn2(2,d==20)*cos(ti),'c'); hold off
title('\bf Area de cobertura normalizada de MLS (h_u_w_b = 20m.)');
legend('\bf Sin UWB', '\bf Pd_u_w_b = -50 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -45
dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
axis equal
grid

figure
plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(6,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(3,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(3,:)*100,'-')
xlabel('\bf Distancia MLS-UWB (Km)')
ylabel('\bf R_n (%)')
legend('\bf Sin UWB', '\bf Pd_u_w_b = -50 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -45
dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
title(['\bf R_n para una antena UWB de altura 30m.'])
axis([0 0.2 60 105])
grid

figure
ti = -pi:pi/50:pi;
patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
patch(Rn3(6,d==20)*sin(ti),Rn3(6,d==20)*cos(ti),'g'); hold on
patch(Rn3(3,d==20)*sin(ti),Rn3(3,d==20)*cos(ti),'r'); hold on
patch(Rn2(3,d==20)*sin(ti),Rn2(3,d==20)*cos(ti),'c'); hold off
title('\bf Area de cobertura normalizada de MLS (h_u_w_b = 30m.)');
legend('\bf Sin UWB', '\bf Pd_u_w_b = -50 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -45
dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
axis equal
grid

```

## E.4. Interferencia E.S-UWB

### E.4.1. Ganancia

```

function [Gr] = ganancia (angulo)

if (abs(angulo)<=1)
    Gr=40.1;
elseif (abs(angulo)>1 && abs(angulo) <= 5)
    Gr = 33.5 - 3.5*abs(angulo);
elseif (abs(angulo)>5 && abs(angulo)<=10)
    Gr = 25 - 1.8*abs(angulo);
elseif (abs(angulo)>10 && abs(angulo)<=15)
    Gr = 15 -0.8*abs(angulo);
elseif (abs(angulo)>15 && abs(angulo)<=20)
    Gr = 12 - 0.6*abs(angulo);
elseif (abs(angulo)>20 && abs(angulo)<=30)
    Gr = 8 - 0.4*abs(angulo);
elseif (abs(angulo)>30 && abs(angulo)<=50)
    Gr = 5 - 0.3*abs(angulo);
elseif (abs(angulo)>50)
    Gr = -10;
end

```

## E.4.2. E.S

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
EFFECTO DE UWB SOBRE RADAR 4GHz EARTH STATION 3.75 GHz
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
AUTOR: SERGIO CERVERA IRIMIA
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%

clc
clear all
close all

%%----- VALORES DE LOS SISTEMAS A ESTUDIAR -----%%

f = 3.75 * 10^9;           % 3.75 GHz
Bw = 40;                  %Ancho de banda del canal en MHz
c = 3 * 10^8;             %Velocidad de la luz en m/s;
lambda = c / f;
NF = 6 ;                  %Factor de ruido (dB).
M_int = 0;                %Margen de interferencias (dB).
huwb = [3 15 30];        %Altura antena UWB
hearth = 3;               %Altura antena radar transmisora Earth
Station
Rb=(4*huwb*hearth)/lambda;

%El efecto shadowing se produce cuando hay un obstáculo que provoca la
%reducción en la potencia de la señal recibida.
%Suwb = 2.23 * 2;          %S=sigma*X ; X= 2.23 (probabilidad del
99% indoor)Suponemos sigma = 2 -->
http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01267851
dref = 1;                  %lm
n = 2;                     %Indice de propagacion [2-2.25]
n2 = 4;                    %Indice de propagacion [4-4.8]

%%----- CALCULO DE Pn -----%%

Pn = -114 + 10*log10 (Bw) + NF + M_int;
pn = 10 .^ (Pn/10);

%%----- INTERFERENCIA SEGÚN Rn -----%%

Rn = [0.95 0.975];
iuwb = pn.*((1 -(Rn.^4)) ./ (Rn.^4));
Iuwb = 10*log10(iuwb);

%%Densidad de potencia UWB predefinida para las pruebas del Rn
Pduwb_pred = [-45 -55];   %Declaramos dos valores para calcular
el Rn que producen

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
TILT PEQUEÑO=1,3 y 5° %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```
d=[10:10:6000]; %Distancia entre emisor y receptor (hasta 10 km) para
el caso de un ángulo mecánico pequeño
```

```
%%----- CÁLCULO DE GANANCIA MLS Y PÉRDIDAS UWB -----%%
```

```
tilt=[1 3 5]; %Al Norte
for w = 1:length(tilt)
Lpuwb=[];
Gearth=[];
for j=1:length(Rb)
    Gearth0=[];
    Lpuwb0=[];
    for k=10:10:6000 %Bucle que recorre distancias entre sistemas
(k=d)
        if k<=Rb(j)
            Lpuwb0=[Lpuwb0, 20*log10(4.*pi.*dref./lambda)+
10*n*log10(k/dref)];
            angulo = (180/pi)*atan((huwb(j)-hearth)/k);
            angulo = tilt(w)-angulo; %Influye el ángulo de la antena
EA con respecto a la horizontal
            [Gr] = ganancia (angulo);
            Gearth0 = [Gearth0 Gr];
        else
            Lpuwb0=[Lpuwb0, 20*log10(4.*pi.*dref./lambda)+
10*n*log10(Rb(j)/dref) + 10*n2*log10(k/Rb(j))];
            angulo = (180/pi)*atan((huwb(j)-hearth)/k);
            angulo = tilt(w)-angulo;
            [Gr] = ganancia (angulo);
            Gearth0 = [Gearth0 Gr];
        end
    end
    %Valores de la Ganancia del MLS y las pérdidas UWB. La primera
fila es
    %para huwb = 3 m, la segunda huwb = 20 m y la tercera huwb = 30 m.
    %Cada columna representa una distancia distinta de menor a mayor

    Gearth = [Gearth;Gearth0];
    Lpuwb = [Lpuwb;Lpuwb0];
end
```

```
%%----- CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE POTENCIA DE UWB -----%%
```

```
Pduwb=[];
for i=1:length(Iuwb)
    Pduwb = [Pduwb;Iuwb(i)-10*log10(Bw)-Gearth + Lpuwb];
end
t=0;
for i=1:length(Rn)
    figure
    plot(d/1000,Pduwb(1+t,:), '- ',d/1000,Pduwb(2+t,:), '-
r',d/1000,Pduwb(3+t,:), '-g',d/1000,-41.3*ones(1,length(d)), '-k');
    axis([0 4 -95 0])
    xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
    ylabel('\bf Densidad de potencia del sistema UWB (dB/MHz)')
    legend('\bf h_u_w_b = 3m.', '\bf h_u_w_b = 15m.', '\bf h_u_w_b =
30m.', 4);
    title({'\bf Densidad de potencia UWB para un R_n del
',num2str(Rn(i)*100), '% y un tilt de
',num2str(tilt(w)), '°'})%respecto del original'
    grid
```

```

t=3;
end

%%%---- CÁLCULO DE Rn PARA DISTINTOS VALORES DE Pduwb y tilt a 20 y
40m ----%%%

%-----TILT 1°-----
if tilt(w)==1
%Primero calculamos Rn para un valor de -41.3dBm/MHz y sin interf
%UWB(Rn=1), después para los distintos valores de Pduwb entre
medias
for i=1:length(Rb)
Iuwb2 = -41.3 + 10*log10(Bw) + Gearth(i,:) - Lpuwb(i,:);
iuwb2 = 10.^ (Iuwb2/10);
Rn2(i,:) = (pn./(pn + iuwb2)).^(1/4);
end
%A continuación calculamos Rn para distintos valores de Pduwb. Las
otras
%gráficas determinaran el Área de cobertura a una distancia de
2500 m.
t=1;
for i=1:length(Rn)
for j=1:length(Rb)
Iuwb3 = Pduwb_pred(i) + 10*log10(Bw) + Gearth(j,:) -
Lpuwb(j,:);
iuwb3 = 10.^ (Iuwb3/10);
Rn3(t,:) = (pn./(pn + iuwb3)).^(1/4);
t=t+1;
end
end
figure
plot(d/1000,100*ones(1,length(d)), '-k',d/1000,Rn3(4,:)*100, '-
r',d/1000,Rn3(1,:)*100, '-g',d/1000,Rn2(1,:)*100, '-')
xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
ylabel('\bf R_n (%)')
legend('\bf Sin UWB', '\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
title(['\bf R_n para una antena UWB de altura 3m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)), '°'])
axis([0 6 40 105])
grid

figure
ti = -pi:pi/50:pi;
patch(1*sin(ti),1*cos(ti), 'b'); hold on
patch(Rn3(4,d==2500)*sin(ti),Rn3(4,d==2500)*cos(ti), 'g'); hold on
patch(Rn3(1,d==2500)*sin(ti),Rn3(1,d==2500)*cos(ti), 'r'); hold on
patch(Rn2(1,d==2500)*sin(ti),Rn2(1,d==2500)*cos(ti), 'c'); hold off
title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION(h_u_w_b
= 3m.)');
legend('\bf Sin UWB', '\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
axis equal
grid

figure
plot(d/1000,100*ones(1,length(d)), '-k',d/1000,Rn3(5,:)*100, '-
r',d/1000,Rn3(2,:)*100, '-g',d/1000,Rn2(2,:)*100, '-')
xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
ylabel('\bf R_n (%)')

```

```

    legend('\bf Sin UWB', '\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', 4);
    title(['\bf R_n para una antena UWB de altura 15m. y un tilt de
', num2str(tilt(w)), '°']);
    axis([0 6 40 105])
    grid

    figure
    ti = -pi:pi/50:pi;
    patch(1*sin(ti), 1*cos(ti), 'b'); hold on
    patch(Rn3(5, d==2500)*sin(ti), Rn3(5, d==2500)*cos(ti), 'g'); hold on
    patch(Rn3(2, d==2500)*sin(ti), Rn3(2, d==2500)*cos(ti), 'r'); hold on
    patch(Rn2(2, d==2500)*sin(ti), Rn2(2, d==2500)*cos(ti), 'c'); hold off
    title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION (h_u_w_b
= 15m.)');
    legend('\bf Sin UWB', '\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', 1);
    axis equal
    grid

    figure
    plot(d/1000, 100*ones(1, length(d)), '-k', d/1000, Rn3(6, :) * 100, '-
r', d/1000, Rn3(3, :) * 100, '-g', d/1000, Rn2(3, :) * 100, '-')
    xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
    ylabel('\bf R_n (%)')
    legend('\bf Sin UWB', '\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', 4);
    title(['\bf R_n para una antena UWB de altura 30m. y un tilt de
', num2str(tilt(w)), '°']);
    axis([0 6 40 105])
    grid

    figure
    ti = -pi:pi/50:pi;
    patch(1*sin(ti), 1*cos(ti), 'b'); hold on
    patch(Rn3(6, d==2500)*sin(ti), Rn3(6, d==2500)*cos(ti), 'g'); hold on
    patch(Rn3(3, d==2500)*sin(ti), Rn3(3, d==2500)*cos(ti), 'r'); hold on
    patch(Rn2(3, d==2500)*sin(ti), Rn2(3, d==2500)*cos(ti), 'c'); hold off
    title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION (h_u_w_b
= 30m.)');
    legend('\bf Sin UWB', '\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', 1);
    axis equal
    grid
    %-----TILT 3°-----
elseif tilt(w)==3
%Primero calculamos Rn para un valor de -41.3dBm/MHz y sin interf
%UWB(Rn=1), después para los distintos valores de Pduwb entre
medias
for i=1:length(Rb)
    Iuwb2 = -41.3 + 10*log10(Bw) + Gearth(i, :) - Lpuwb(i, :);
    iuwb2 = 10.^(Iuwb2/10);
    Rn2(i, :) = (pn./(pn + iuwb2)).^(1/4);
end
%A continuación calculamos Rn para distintos valores de Pduwb. Las
otras
%gráficas determinaran el Área de cobertura a una distancia de
1000 m.
t=1;
for i=1:length(Rn)
    for j=1:length(Rb)

```



```

        Iuwb3 = Pduwb_pred(i) + 10*log10(Bw) + Gearth(j,:) -
Lpuwb(j,:);
        iuwb3 = 10.^(Iuwb3/10);
        Rn3(t,:) = (pn./(pn + iuwb3)).^(1/4);
        t=t+1;
    end
end
figure
plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(4,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(1,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(1,:)*100,'-')
xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
ylabel('\bf R_n (%)')
legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 3m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°'})
axis([0 3 40 105])
grid

figure
ti = -pi:pi/50:pi;
patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
patch(Rn3(4,d==800)*sin(ti),Rn3(4,d==800)*cos(ti),'g'); hold on
patch(Rn3(1,d==800)*sin(ti),Rn3(1,d==800)*cos(ti),'r'); hold on
patch(Rn2(1,d==800)*sin(ti),Rn2(1,d==800)*cos(ti),'c'); hold off
title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION(h_u_w_b
= 3m.)');
legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
axis equal
grid

figure
plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(5,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(2,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(2,:)*100,'-')
xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
ylabel('\bf R_n (%)')
legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 15m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°'})
axis([0 3 40 105])
grid

figure
ti = -pi:pi/50:pi;
patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
patch(Rn3(5,d==800)*sin(ti),Rn3(5,d==800)*cos(ti),'g'); hold on
patch(Rn3(2,d==800)*sin(ti),Rn3(2,d==800)*cos(ti),'r'); hold on
patch(Rn2(2,d==800)*sin(ti),Rn2(2,d==800)*cos(ti),'c'); hold off
title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION (h_u_w_b
= 15m.)');
legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
axis equal
grid

figure
plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(6,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(3,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(3,:)*100,'-')
xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')

```

```

ylabel('\bf R_n (%)')
legend('\bf Sin UWB', '\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -45 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', 4);
title(['\bf R_n para una antena UWB de altura 30m. y un tilt de ', num2str(tilt(w)), '°'])
axis([0 3 40 105])
grid

figure
ti = -pi:pi/50:pi;
patch(1*sin(ti), 1*cos(ti), 'b'); hold on
patch(Rn3(6, d==800)*sin(ti), Rn3(6, d==800)*cos(ti), 'g'); hold on
patch(Rn3(3, d==800)*sin(ti), Rn3(3, d==800)*cos(ti), 'r'); hold on
patch(Rn2(3, d==800)*sin(ti), Rn2(3, d==800)*cos(ti), 'c'); hold off
title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION (h_u_w_b = 30m.)');
legend('\bf Sin UWB', '\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -45 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', 1);
axis equal
grid
%-----TILT 5°-----
elseif tilt(w)==5
%Primero calculamos Rn para un valor de -41.3dBm/MHz y sin interf
%UWB(Rn=1), después para los distintos valores de Pduwb entre
medias
for i=1:length(Rb)
Iuwb2 = -41.3 + 10*log10(Bw) + Gearth(i, :) - Lpuwb(i, :);
iuwb2 = 10.^ (Iuwb2/10);
Rn2(i, :) = (pn./(pn + iuwb2)).^(1/4);
end
%A continuación calculamos Rn para distintos valores de Pduwb. Las
otras
%gráficas determinaran el Área de cobertura a una distancia de 20
m.
t=1;
for i=1:length(Rn)
for j=1:length(Rb)
Iuwb3 = Pduwb_pred(i) + 10*log10(Bw) + Gearth(j, :) -
Lpuwb(j, :);
iuwb3 = 10.^ (Iuwb3/10);
Rn3(t, :) = (pn./(pn + iuwb3)).^(1/4);
t=t+1;
end
end
figure
plot(d/1000, 100*ones(1, length(d)), '-k', d/1000, Rn3(4, :)*100, '-r', d/1000, Rn3(1, :)*100, '-g', d/1000, Rn2(1, :)*100, '-')
xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
ylabel('\bf R_n (%)')
legend('\bf Sin UWB', '\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -45 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', 4);
title(['\bf R_n para una antena UWB de altura 3m. y un tilt de ', num2str(tilt(w)), '°'])
axis([0 3 40 105])
grid

figure
ti = -pi:pi/50:pi;
patch(1*sin(ti), 1*cos(ti), 'b'); hold on
patch(Rn3(4, d==500)*sin(ti), Rn3(4, d==500)*cos(ti), 'g'); hold on
patch(Rn3(1, d==500)*sin(ti), Rn3(1, d==500)*cos(ti), 'r'); hold on

```

```

    patch(Rn2(1,d==500)*sin(ti),Rn2(1,d==500)*cos(ti),'c'); hold off
    title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION(h_u_w_b
= 3m.)');
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
    axis equal
    grid

    figure
    plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(5,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(2,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(2,:)*100,'-')
    xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
    ylabel('\bf R_n (%)')
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
    title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 15m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°'})
    axis([0 3 40 105])
    grid

    figure
    ti = -pi:pi/50:pi;
    patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
    patch(Rn3(5,d==500)*sin(ti),Rn3(5,d==500)*cos(ti),'g'); hold on
    patch(Rn3(2,d==500)*sin(ti),Rn3(2,d==500)*cos(ti),'r'); hold on
    patch(Rn2(2,d==500)*sin(ti),Rn2(2,d==500)*cos(ti),'c'); hold off
    title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION (h_u_w_b
= 15m.)');
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
    axis equal
    grid

    figure
    plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(6,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(3,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(3,:)*100,'-')
    xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
    ylabel('\bf R_n (%)')
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
    title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 30m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°'})
    axis([0 3 40 105])
    grid

    figure
    ti = -pi:pi/50:pi;
    patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
    patch(Rn3(6,d==500)*sin(ti),Rn3(6,d==500)*cos(ti),'g'); hold on
    patch(Rn3(3,d==500)*sin(ti),Rn3(3,d==500)*cos(ti),'r'); hold on
    patch(Rn2(3,d==500)*sin(ti),Rn2(3,d==500)*cos(ti),'c'); hold off
    title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION (h_u_w_b
= 30m.)');
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
    axis equal
    grid

end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% TILT GRANDE=30,45 y 60° %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

d=[2:1:200]; %Distancia entre emisor y receptor (hasta 200 m.) para
el caso de un ángulo mecánico grande

```

```

%%----- CÁLCULO DE GANANCIA MLS Y PÉRDIDAS UWB -----%%

```

```

tilt=[30 45 60]; %30° Madrid, 60° Africa
for w = 1:length(tilt)
Lpuwb=[];
Gearth=[];
for j=1:length(Rb)
    Gearth0=[];
    Lpuwb0=[];
    for k=2:1:200 %Bucle que recorre distancias entre sistemas (k=d)
        if k<=Rb(j)
            Lpuwb0=[Lpuwb0, 20*log10(4.*pi.*dref./lambda)+
10*n*log10(k/dref)];
            angulo = (180/pi)*atan((huwb(j)-hearth)/k);
            angulo = tilt(w)-angulo; %Influye el ángulo de la antena
EA con respecto a la horizontal
            [Gr] = ganancia (angulo);
            Gearth0 = [Gearth0 Gr];
        else
            Lpuwb0=[Lpuwb0, 20*log10(4.*pi.*dref./lambda)+
10*n*log10(Rb(j)/dref) + 10*n2*log10(k/Rb(j))];
            angulo = (180/pi)*atan((huwb(j)-hearth)/k);
            angulo = tilt(w)-angulo;
            [Gr] = ganancia (angulo);
            Gearth0 = [Gearth0 Gr];
        end
    end
    %Valores de la Ganancia del MLS y las pérdidas UWB. La primera
    fila es
    %para huwb = 3 m, la segunda huwb = 20 m y la tercera huwb = 30 m.
    %Cada columna representa una distancia distinta de menor a mayor

    Gearth = [Gearth;Gearth0];
    Lpuwb = [Lpuwb;Lpuwb0];
end

```

```

%%----- CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE POTENCIA DE UWB -----%%

```

```

Pduwb=[];
for i=1:length(Iuwb)
    Pduwb = [Pduwb;Iuwb(i)-10*log10(Bw)-Gearth + Lpuwb];
end
t=0;
for i=1:length(Rn)
    figure
    plot(d/1000,Pduwb(1+t,:), '-r',d/1000,Pduwb(2+t,:), '-
r',d/1000,Pduwb(3+t,:), '-g',d/1000,-41.3*ones(1,length(d)), '-k');
    axis([0 0.2 -95 -10])
    xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
    ylabel('\bf Densidad de potencia del sistema UWB (dB/MHz)')
    legend('\bf h_u_w_b = 3m.', '\bf h_u_w_b = 15m.', '\bf h_u_w_b =
30m.',4);

```

```

        title({'\bf Densidad de potencia UWB para un R_n del
',num2str(Rn(i)*100),'% y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°'})%respecto del original'
        grid
        t=3;
end

%%---- CÁLCULO DE Rn PARA DISTINTOS VALORES DE PDUwb y tilt a 20 y
40m ----%%

Rn2=[];
Iuwb2=[];
Rn2=[];

Rn3=[];
Iuwb3=[];
Rn3=[];
%-----TILT 30°-----
if tilt(w)==30
    %Primero calculamos Rn para un valor de -41.3dBm/MHz y sin interf
    %UWB(Rn=1), después para los distintos valores de Pduwb entre
medias
    for i=1:length(Rb)
        Iuwb2 = -41.3 + 10*log10(Bw) + Gearth(i,:) - Lpuwb(i,:);
        iuwb2 = 10.^ (Iuwb2/10);
        Rn2(i,:) = (pn./(pn + iuwb2)).^(1/4);
    end
%A continuación calculamos Rn para distintos valores de Pduwb. Las
otras
%gráficas determinaran el Área de cobertura a una distancia de 20 m.
    t=1;
    for i=1:length(Rn)
        for j=1:length(Rb)
            Iuwb3 = Pduwb_pred(i) + 10*log10(Bw) + Gearth(j,:) -
Lpuwb(j,:);
            iuwb3 = 10.^ (Iuwb3/10);
            Rn3(t,:) = (pn./(pn + iuwb3)).^(1/4);
            t=t+1;
        end
    end

    figure
    plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(4,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(1,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(1,:)*100,'-')
    xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
    ylabel('\bf R_n (%)')
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
    title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 3m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°'})
    axis([0 0.2 40 105])
    grid

    figure
    ti = -pi:pi/50:pi;
    patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
    patch(Rn3(4,d==60)*sin(ti),Rn3(4,d==60)*cos(ti),'g'); hold on
    patch(Rn3(1,d==60)*sin(ti),Rn3(1,d==60)*cos(ti),'r'); hold on
    patch(Rn2(1,d==60)*sin(ti),Rn2(1,d==60)*cos(ti),'c'); hold off

```

```

    title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION(h_u_w_b
= 3m.)');
    legend('\bf Sin UWB', '\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', 1);
    axis equal
    grid

    figure
    plot(d/1000, 100*ones(1, length(d)), '-k', d/1000, Rn3(5, :) * 100, '-
r', d/1000, Rn3(2, :) * 100, '-g', d/1000, Rn2(2, :) * 100, '-')
    xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
    ylabel('\bf R_n (%)')
    legend('\bf Sin UWB', '\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', 4);
    title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 15m. y un tilt de
', num2str(tilt(w)), '°'})
    axis([0 0.2 40 105])
    grid

    figure
    ti = -pi:pi/50:pi;
    patch(1*sin(ti), 1*cos(ti), 'b'); hold on
    patch(Rn3(5, d==60)*sin(ti), Rn3(5, d==60)*cos(ti), 'g'); hold on
    patch(Rn3(2, d==60)*sin(ti), Rn3(2, d==60)*cos(ti), 'r'); hold on
    patch(Rn2(2, d==60)*sin(ti), Rn2(2, d==60)*cos(ti), 'c'); hold off
    title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION (h_u_w_b
= 15m.)');
    legend('\bf Sin UWB', '\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', 1);
    axis equal
    grid

    figure
    plot(d/1000, 100*ones(1, length(d)), '-k', d/1000, Rn3(6, :) * 100, '-
r', d/1000, Rn3(3, :) * 100, '-g', d/1000, Rn2(3, :) * 100, '-')
    xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
    ylabel('\bf R_n (%)')
    legend('\bf Sin UWB', '\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', 4);
    title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 30m. y un tilt de
', num2str(tilt(w)), '°'})
    axis([0 0.2 40 105])
    grid

    figure
    ti = -pi:pi/50:pi;
    patch(1*sin(ti), 1*cos(ti), 'b'); hold on
    patch(Rn3(6, d==60)*sin(ti), Rn3(6, d==60)*cos(ti), 'g'); hold on
    patch(Rn3(3, d==60)*sin(ti), Rn3(3, d==60)*cos(ti), 'r'); hold on
    patch(Rn2(3, d==60)*sin(ti), Rn2(3, d==60)*cos(ti), 'c'); hold off
    title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION (h_u_w_b
= 30m.)');
    legend('\bf Sin UWB', '\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz', '\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz', 1);
    axis equal
    grid

    %-----TILT 45°-----
    elseif tilt(w)==45
    %Primero calculamos Rn para un valor de -41.3dBm/MHz y sin interf

```

```

    %UWB(Rn=1), después para los distintos valores de Pduwb entre
medias
    for i=1:length(Rb)
        Iuwb2 = -41.3 + 10*log10(Bw) + Gearth(i,:) - Lpuwb(i,:);
        iuwb2 = 10.^ (Iuwb2/10);
        Rn2(i,:) = (pn./(pn + iuwb2)).^(1/4);
    end
    %A continuación calculamos Rn para distintos valores de Pduwb. Las
otras
    %gráficas determinaran el Área de cobertura a una distancia de 20
m.
    t=1;
    for i=1:length(Rn)
        for j=1:length(Rb)
            Iuwb3 = Pduwb_pred(i) + 10*log10(Bw) + Gearth(j,:) -
Lpuwb(j,:);
            iuwb3 = 10.^ (Iuwb3/10);
            Rn3(t,:) = (pn./(pn + iuwb3)).^(1/4);
            t=t+1;
        end
    end
    figure
    plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(4,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(1,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(1,:)*100,'-')
    xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
    ylabel('\bf R_n (%)')
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
    title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 3m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°'})
    axis([0 0.2 40 105])
    grid

    figure
    ti = -pi:pi/50:pi;
    patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
    patch(Rn3(4,d==35)*sin(ti),Rn3(4,d==35)*cos(ti),'g'); hold on
    patch(Rn3(1,d==35)*sin(ti),Rn3(1,d==35)*cos(ti),'r'); hold on
    patch(Rn2(1,d==35)*sin(ti),Rn2(1,d==35)*cos(ti),'c'); hold off
    title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION(h_u_w_b
= 3m.)');
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
    axis equal
    grid

    figure
    plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(5,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(2,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(2,:)*100,'-')
    xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
    ylabel('\bf R_n (%)')
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
    title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 15m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°'})
    axis([0 0.2 40 105])
    grid

    figure
    ti = -pi:pi/50:pi;
    patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on

```

```

patch(Rn3(5,d==35)*sin(ti),Rn3(5,d==35)*cos(ti),'g'); hold on
patch(Rn3(2,d==35)*sin(ti),Rn3(2,d==35)*cos(ti),'r'); hold on
patch(Rn2(2,d==35)*sin(ti),Rn2(2,d==35)*cos(ti),'c'); hold off
title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION (h_u_w_b
= 15m.)');
legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
axis equal
grid

figure
plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(6,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(3,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(3,:)*100,'-')
xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
ylabel('\bf R_n (%)')
legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
title(['\bf R_n para una antena UWB de altura 30m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°']);
axis([0 0.2 40 105])
grid

figure
ti = -pi:pi/50:pi;
patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
patch(Rn3(6,d==35)*sin(ti),Rn3(6,d==35)*cos(ti),'g'); hold on
patch(Rn3(3,d==35)*sin(ti),Rn3(3,d==35)*cos(ti),'r'); hold on
patch(Rn2(3,d==35)*sin(ti),Rn2(3,d==35)*cos(ti),'c'); hold off
title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION (h_u_w_b
= 30m.)');
legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
axis equal
grid

%-----TILT 60°-----
elseif tilt(w)==60
%Primero calculamos Rn para un valor de -41.3dBm/MHz y sin interf
%UWB(Rn=1), después para los distintos valores de Pduwb entre
medias
for i=1:length(Rb)
Iuwb2 = -41.3 + 10*log10(Bw) + Gearth(i,:) - Lpuwb(i,:);
iuwb2 = 10.^(Iuwb2/10);
Rn2(i,:) = (pn./(pn + iuwb2)).^(1/4);
end
%A continuación calculamos Rn para distintos valores de Pduwb. Las
otras
%gráficas determinaran el Área de cobertura a una distancia de 20
m.
t=1;
for i=1:length(Rn)
for j=1:length(Rb)
Iuwb3 = Pduwb_pred(i) + 10*log10(Bw) + Gearth(j,:) -
Lpuwb(j,:);
iuwb3 = 10.^(Iuwb3/10);
Rn3(t,:) = (pn./(pn + iuwb3)).^(1/4);
t=t+1;
end
end
end
figure

```



```

    plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(4,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(1,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(1,:)*100,'-')
    xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
    ylabel('\bf R_n (%)')
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
    title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 3m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°'})
    axis([0 0.2 40 105])
    grid

    figure
    ti = -pi:pi/50:pi;
    patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
    patch(Rn3(4,d==25)*sin(ti),Rn3(4,d==25)*cos(ti),'g'); hold on
    patch(Rn3(1,d==25)*sin(ti),Rn3(1,d==25)*cos(ti),'r'); hold on
    patch(Rn2(1,d==25)*sin(ti),Rn2(1,d==25)*cos(ti),'c'); hold off
    title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION(h_u_w_b
= 3m.)');
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
    axis equal
    grid

    figure
    plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(5,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(2,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(2,:)*100,'-')
    xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
    ylabel('\bf R_n (%)')
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
    title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 15m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°'})
    axis([0 0.2 40 105])
    grid

    figure
    ti = -pi:pi/50:pi;
    patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
    patch(Rn3(5,d==25)*sin(ti),Rn3(5,d==25)*cos(ti),'g'); hold on
    patch(Rn3(2,d==25)*sin(ti),Rn3(2,d==25)*cos(ti),'r'); hold on
    patch(Rn2(2,d==25)*sin(ti),Rn2(2,d==25)*cos(ti),'c'); hold off
    title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION (h_u_w_b
= 15m.)');
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
    axis equal
    grid

    figure
    plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(6,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(3,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(3,:)*100,'-')
    xlabel('\bf Distancia EARTH STATION-UWB (Km)')
    ylabel('\bf R_n (%)')
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
    title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 30m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°'})
    axis([0 0.2 40 105])
    grid

```

```

figure
ti = -pi:pi/50:pi;
patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
patch(Rn3(6,d==25)*sin(ti),Rn3(6,d==25)*cos(ti),'g'); hold on
patch(Rn3(3,d==25)*sin(ti),Rn3(3,d==25)*cos(ti),'r'); hold on
patch(Rn2(3,d==25)*sin(ti),Rn2(3,d==25)*cos(ti),'c'); hold off
title('\bf Area de cobertura normalizada de EARTH STATION (h_u_w_b
= 30m.)');
legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -55 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-45 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
axis equal
grid
end
end

```

## E.5. Interferencia TDWR-UWB

### E.5.1. Ganancia

```

function [Gr] = ganancia (angulo)
if (abs(angulo)<=0.625)
    Gr = 50 - 20.8*abs(angulo);
elseif (abs(angulo)>0.625 && abs(angulo) <= 1.25)
    Gr = 44 - 11.2*abs(angulo);
elseif (abs(angulo)>1.25 && abs(angulo)<=2.5)
    Gr = 36.9231 - 5.5385*abs(angulo);
elseif (abs(angulo)>2.5 && abs(angulo)<=3.75)
    Gr = 32.3075 - 3.69*abs(angulo);
elseif (abs(angulo)>3.75 && abs(angulo)<=5)
    Gr = 29.9096 - 3.0528*abs(angulo);
elseif (abs(angulo)>5 && abs(angulo)<=7.5)
    Gr = 23.8 - 1.84*abs(angulo);
elseif (abs(angulo)>7.5 && abs(angulo)<=10)
    Gr = 22 - 1.6*abs(angulo);
elseif (abs(angulo)>10 && abs(angulo)<=60)
    Gr = 9.2 - 0.32*abs(angulo); %Gr = 14.3080 - 0.8308*abs(angulo);
end

```

### E.5.2. TDWR

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% EFECTO DE UWB SOBRE RADAR TDWR 5.625 GHz
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% AUTOR: SERGIO CERVERA IRIMIA
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%

clc
clear all
close all

%%----- VALORES DE LOS SISTEMAS A ESTUDIAR -----%%

f = 5.625 * 10^9; %5.625 GHz
Bw = 0.910; %Ancho de banda del canal en MHz

```

```

c = 3 * 10^8; %Velocidad de la luz en m/s;
lambda = c / f;
NF = 2.3; %Factor de ruido (dB).
M_int = 0; %Margen de interferencias (dB).
huwb = [10 20 30]; %Altura antena UWB
htdwr = 27; %Altura antena radar transmisora TDWR
Rb=(4*huwb*htdwr)/lambda;

%El efecto shadowing se produce cuando hay un obstáculo que provoca la
%reducción en la potencia de la señal recibida.
%Suwb = 2.23 * 2; %S=sigma*X ; X= 2.23 (probabilidad del
99% indoor) Suponemos sigma = 2 -->
http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01267851
dref = 1; %1m
n = 2; %Indice de propagacion [2-2.25]
n2 = 4; %Indice de propagacion [4-4.8]
d=[10:5:10000]; %Distancia entre emisor y receptor
(hasta 10 km)

%%----- CALCULO DE Pn -----%%

Pn = -114 + 10*log10 (Bw) + NF + M_int;
pn = 10 .^ (Pn/10);

%%----- INTERFERENCIA SEGÚN Rn -----%%

Rn = [0.95 0.975];
iuwb = pn.*((1 - (Rn.^4))./(Rn.^4));
Iuwb = 10*log10(iuwb);

%%----- CÁLCULO DE GANANCIA MLS Y PÉRDIDAS UWB -----%%

tilt=[0.2 0.4]; %0.2° Hazardous Mode, 0.4° Monitor Mode
for w = 1:length(tilt)
Lpuwb=[];
Gtdwr=[];
for j=1:length(Rb)
Gtdwr0=[];
Lpuwb0=[];
for k=10:5:10000 %Bucle que recorre distancias entre sistemas
(k=d)
if k<=Rb(j)
Lpuwb0=[Lpuwb0, 20*log10(4.*pi.*dref./lambda)+
10*n*log10(k/dref)];
angulo = (180/pi)*atan((huwb(j)-htdwr)/k);
angulo = tilt(w)-angulo; %Influye el ángulo de la antena
EA con respecto a la horizontal
[Gr] = ganancia (angulo);
Gtdwr0 = [Gtdwr0 Gr];
else
Lpuwb0=[Lpuwb0, 20*log10(4.*pi.*dref./lambda)+
10*n*log10(Rb(j)/dref) + 10*n2*log10(k/Rb(j))];
angulo = (180/pi)*atan((huwb(j)-htdwr)/k);
angulo = tilt(w)-angulo;
[Gr] = ganancia (angulo);
Gtdwr0 = [Gtdwr0 Gr];
end
end
end
%Valores de la Ganancia del TDWR y las pérdidas UWB. La primera
fila es

```

```

    %para huwb = 10 m, la segunda huwb = 20 m y la tercera huwb = 27
    m.
    %Cada columna representa una distancia distinta de menor a mayor

    Gtdwr = [Gtdwr;Gtdwr0];
    Lpuwb = [Lpuwb;Lpuwb0];
end

%%----- CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE POTENCIA DE UWB -----%%

Pduwb=[];
for i=1:length(Iuwb)
    Pduwb = [Pduwb;Iuwb(i)-10*log10(Bw)-Gtdwr + Lpuwb];
end
t=0;
for i=1:length(Rn)
    figure
    plot(d/1000,Pduwb(1+t,:), '- ',d/1000,Pduwb(2+t,:), '-
r',d/1000,Pduwb(3+t,:), '-g',d/1000,-41.3*ones(1,length(d)), '-k');
    axis([0 10 -75 -30])
    xlabel('\bf Distancia TDWR-UWB(Km)')
    ylabel('\bf Densidad de potencia del sistema UWB (dB/MHz)')
    legend('\bf h_u_w_b = 10m.', '\bf h_u_w_b = 20m.', '\bf h_u_w_b =
30m.',4);
    title({'\bf Densidad de potencia UWB para un R_n del
',num2str(Rn(i)*100),'% y un tilt de
',num2str(tilt(w)), '°'})%respecto del original'
    grid
    t=3;
end

%%---- CÁLCULO DE Rn PARA DISTINTOS VALORES DE PDUwb y tilt ----%%

Pduwb_pred = [-50 -60];

%-----TILT 0.2°-----
if tilt(w)==0.2
    %Primero calculamos Rn para un valor de -41.3dBm/MHz y sin interf
    %UWB(Rn=1), después para los distintos valores de Pduwd.
    for i=1:length(Rb)
        Iuwb2 = -41.3 + 10*log10(Bw) + Gtdwr(i,:) - Lpuwb(i,:);
        iuwb2 = 10.^ (Iuwb2/10);
        Rn2(i,:) = (pn./(pn + iuwb2)).^(1/4);
    end
    %A continuación calculamos Rn para distintos valores de Pduwb. Las
    otras
    %gráficas determinaran el Área de cobertura a una distancia de 5000 m.
    t=1;
    for i=1:length(Rn)
        for j=1:length(Rb)
            Iuwb3 = Pduwb_pred(i) + 10*log10(Bw) + Gtdwr(j,:) -
Lpuwb(j,:);
            iuwb3 = 10.^ (Iuwb3/10);
            Rn3(t,:) = (pn./(pn + iuwb3)).^(1/4);
            t=t+1;
        end
    end
end

figure

```

```

    plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(4,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(1,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(1,:)*100,'-')
    xlabel('\bf Distancia TDWR-UWB (Km)')
    ylabel('\bf R_n (%)')
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -60 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-50 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
    title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 10m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°'})
    axis([0 10 35 105])
    grid

    figure
    ti = -pi:pi/50:pi;
    patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
    patch(Rn3(4,d==4500)*sin(ti),Rn3(4,d==4500)*cos(ti),'g'); hold on
    patch(Rn3(1,d==4500)*sin(ti),Rn3(1,d==4500)*cos(ti),'r'); hold on
    patch(Rn2(1,d==4500)*sin(ti),Rn2(1,d==4500)*cos(ti),'c'); hold off
    title('\bf Area de cobertura normalizada de TDWR (h_u_w_b =
10m.)');
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -60 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-50 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
    axis equal
    grid

    figure
    plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(5,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(2,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(2,:)*100,'-')
    xlabel('\bf Distancia TDWR-UWB (Km)')
    ylabel('\bf R_n (%)')
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -60 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-50 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
    title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 20m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°'})
    axis([0 10 35 105])
    grid

    figure
    ti = -pi:pi/50:pi;
    patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
    patch(Rn3(5,d==4500)*sin(ti),Rn3(5,d==4500)*cos(ti),'g'); hold on
    patch(Rn3(2,d==4500)*sin(ti),Rn3(2,d==4500)*cos(ti),'r'); hold on
    patch(Rn2(2,d==4500)*sin(ti),Rn2(2,d==4500)*cos(ti),'c'); hold off
    title('\bf Area de cobertura normalizada de TDWR (h_u_w_b =
20m.)');
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -60 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-50 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
    axis equal
    grid

    figure
    plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(6,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(3,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(3,:)*100,'-')
    xlabel('\bf Distancia TDWR-UWB (Km)')
    ylabel('\bf R_n (%)')
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -60 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-50 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
    title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 30m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°'})
    axis([0 10 35 105])
    grid

```

```

figure
ti = -pi:pi/50:pi;
patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
patch(Rn3(6,d==4500)*sin(ti),Rn3(6,d==4500)*cos(ti),'g'); hold on
patch(Rn3(3,d==4500)*sin(ti),Rn3(3,d==4500)*cos(ti),'r'); hold on
patch(Rn2(3,d==4500)*sin(ti),Rn2(3,d==4500)*cos(ti),'c'); hold off
title('\bf Area de cobertura normalizada de TDWR (h_u_w_b =
30m.)');
legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -60 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-50 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
axis equal
grid

%-----TILT 0.4°-----
else
    %Primero calculamos Rn para un valor de -41.3dBm/MHz y sin interf
    %UWB(Rn=1), después para los distintos valores de Pduwb.
    for i=1:length(Rb)
        Iuwb2 = -41.3 + 10*log10(Bw) + Gtdwr(i,:) - Lpuwb(i,:);
        iuwb2 = 10.^ (Iuwb2/10);
        Rn2(i,:) = (pn./(pn + iuwb2)).^(1/4);
    end
    %A continuación calculamos Rn para distintos valores de Pduwb. Las
    otras
    %gráficas determinaran el Área de cobertura a una distancia de 4000 m.
    t=1;
    for i=1:length(Rn)
        for j=1:length(Rb)
            Iuwb3 = Pduwb_pred(i) + 10*log10(Bw) + Gtdwr(j,:) -
Lpuwb(j,:);
            iuwb3 = 10.^ (Iuwb3/10);
            Rn3(t,:) = (pn./(pn + iuwb3)).^(1/4);
            t=t+1;
        end
    end

    figure
    plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(4,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(1,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(1,:)*100,'-')
    xlabel('\bf Distancia TDWR-UWB (Km)')
    ylabel('\bf R_n (%)')
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -60 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-50 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
    title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 10m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°'})
    axis([0 10 35 105])
    grid

    figure
    ti = -pi:pi/50:pi;
    patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
    patch(Rn3(4,d==3000)*sin(ti),Rn3(4,d==3000)*cos(ti),'g'); hold on
    patch(Rn3(1,d==3000)*sin(ti),Rn3(1,d==3000)*cos(ti),'r'); hold on
    patch(Rn2(1,d==3000)*sin(ti),Rn2(1,d==3000)*cos(ti),'c'); hold off
    title('\bf Area de cobertura normalizada de TDWR (h_u_w_b =
10m.)');
    legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -60 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-50 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
    axis equal
    grid

```

```

figure
plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(5,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(2,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(2,:)*100,'-')
xlabel('\bf Distancia TDWR-UWB (Km)')
ylabel('\bf R_n (%)')
legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -60 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-50 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 20m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°'})
axis([0 10 35 105])
grid

figure
ti = -pi:pi/50:pi;
patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
patch(Rn3(5,d==3000)*sin(ti),Rn3(5,d==3000)*cos(ti),'g'); hold on
patch(Rn3(2,d==3000)*sin(ti),Rn3(2,d==3000)*cos(ti),'r'); hold on
patch(Rn2(2,d==3000)*sin(ti),Rn2(2,d==3000)*cos(ti),'c'); hold off
title('\bf Area de cobertura normalizada de TDWR (h_u_w_b =
20m.)');
legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -60 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-50 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
axis equal
grid

figure
plot(d/1000,100*ones(1,length(d)),'-k',d/1000,Rn3(6,:)*100,'-
r',d/1000,Rn3(3,:)*100,'-g',d/1000,Rn2(3,:)*100,'-')
xlabel('\bf Distancia TDWR-UWB (Km)')
ylabel('\bf R_n (%)')
legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -60 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-50 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',4);
title({'\bf R_n para una antena UWB de altura 30m. y un tilt de
',num2str(tilt(w)),'°'})
axis([0 10 35 105])
grid

figure
ti = -pi:pi/50:pi;
patch(1*sin(ti),1*cos(ti),'b'); hold on
patch(Rn3(6,d==3000)*sin(ti),Rn3(6,d==3000)*cos(ti),'g'); hold on
patch(Rn3(3,d==3000)*sin(ti),Rn3(3,d==3000)*cos(ti),'r'); hold on
patch(Rn2(3,d==3000)*sin(ti),Rn2(3,d==3000)*cos(ti),'c'); hold off
title('\bf Area de cobertura normalizada de TDWR (h_u_w_b =
30m.)');
legend('\bf Sin UWB','\bf Pd_u_w_b = -60 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b =
-50 dBm/MHz','\bf Pd_u_w_b = -41.3 dBm/MHz',1);
axis equal
grid
end
end

```





**Bibliografía**

Aeillo, Rober and Batra, Anuj (2006): *Ultra Wide Band Systems; Technologies and applications*, Oxford, Elsevier

Ahson, Syed (2008): *WiMAX*, CRC Press.

Anderson, Christopher and others (2005): *An Introduction to Ultra Wideband Communication Systems*, Prentice hall

Beaulieu, N. C. and Hu, B (2006): *A Pulse Design Paradigm for Ultra-Wideband Communications Systems*, IEEE Trans. Wireless Communications, Vol. 5, No.6.

Bellorado, J. and others (2003): *Coexistence of Ultra-Wideband Systems with IEEE-802.11a Wireless LANs*, Cambridge, Universidad de Harvard.

Best, R. E. (1984): *Theory, Design and Applications*, MacGrawHill.

Canavos, George C: *Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos*. McGraw-Hill/Interamericana de Mexico, S.A.

Carson, R. S. (1990): *Radio Communication Concepts*, Analog Wiley.

Di Benedetto, Maria Gabriella y otros (2006): *UWB communication systems: A comprehensive overview*, New York, EURASIP

Fechtel, Stefan A (1993): *A Novel Approach to Modeling and Efficient Simulation of Frequency- Selective Fading radio Channels*, IEEE Journal on Selected Areas in Communications.

Gard, Vigía K y Wilkes, Joseph E (1996): *Wireless and personal communications systems*, México, Prentice Hall.

Gast, Matthew S (2005): *Redes Wireless 802.11* Madrid, Ed. Anaya Multimedia.

Goldsmith, Andrea (2005): *Wireless communications*, Cambridge, Cambridge University Press.

Gómez López, Julio (2008): *Guía de campo de Wi-Fi*, Ed. Ra-Ma

Haykin, Simon (2001): *Communication Systems*, New York, Ed. John Wiley & Sons.

Henry, D. (2000): *Radio in the global age*, Cambridge, Polity Press.

Higginbottom, Gary (1998): *Performance Evaluation of Communication Network*, Norwood MA, Ed. Artech House Inc.

Jardón Aguilar, Hideberto (2002): *Fundamentos de los sistemas modernos de Comunicación*, México, Alfaomega. 2002.

Krauss, H. C.; Bostian, C. W. y F. H. Raab (1984): *Estado Sólido en Ingeniería de radiocomunicaciones*, Limusa.

Kumar, Amitabh (2008): *Mobile broadcasting with WiMAX principles, technology, and applications*, Oxford, Elsevier.

Lawrence, K. Brunson and other (2001): *Assessment of compatibility between ultrawideband devices and selected federal systems*, U.S Department of commerce.

Lee, Byeong Gi (2008) *Broadband wireless access and local networks mobile WiMAX and WiFi*, Artech House.

Lee, William C.Y (1989): *Mobile cellular telecommunications systems*, México, McGraw- Hill.

Muñoz Rodríguez, David (2002): *Sistemas inalámbricos de comunicación personal*. México, Alfaomega.

Normalización UIT-T, UIT-R [www.itu.org](http://www.itu.org).

Normalización FCC. [www.fcc.gov](http://www.fcc.gov).

Normalización. <http://www.etsi.org>.

Normalización. [www.cept.org/index.html](http://www.cept.org/index.html).

Normalización. [www.iso.org](http://www.iso.org).

Quizeng Gu (2005): *RF System Design of Transceivers for Wireless Communications*, New York, Springer

Página web del Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación: <http://www.coit.es>.

RAHIM, A. and ZEISBERG, S: *Evaluation of UWB interference on 3.5 GHz fixed Wimax Terminal*, Dresden University of Technology, Germany.

RF DESIGN [www.rfdesign.com](http://www.rfdesign.com).

Schantz, Hans (2005): *The art and science of Ultra-Wideband antennas*, New York, Artech House

Shen, X and others (2006): *Ultra-wideband wireless communications and networks*, Londres, John Wiley & Sons Ltd.

Skolnik, Merrill I. (1990): *Radar Handbook*, New York, McGraw-Hill, capítulo 1.

Skolnik, Merrill I. (2001): *Introduction to radar system*, New York, McGraw-Hill.

Smith, Clint (1998): *Practical cellular and pcs design*, México, McGraw- Hill.

Smith, J. (1986): *Modern Communication Circuits*, McGraw-Hill.

## Presupuesto

El cálculo del presupuesto está realizado en base al coste del material, aplicando a éste los gastos generales y beneficio industrial, más la mano de obra utilizada.

### 1) Ejecución Material

- Ordenador personal.....1300 €
- Software.....700 €
- Impresora láser.....270 €
- Material de oficina.....130 €

Total de ejecución material.....	2.500 €
----------------------------------	---------

### 2) Gastos generales

- 16 % sobre Ejecución Material.....400 €

### 3) Beneficio Industrial

- 6 % sobre Ejecución Material.....150 €

### 4) Honorarios Proyecto

700 horas a 15 € / hora.....	10500 €
------------------------------	---------

### 5) Material fungible

- Gastos de impresión.....50 €
- Encuadernación.....50 €

Total material fungible.....	100 €
------------------------------	-------

### 6) Subtotal del presupuesto

- Subtotal Presupuesto.....13650 €

### 7) I.V.A. aplicable

- 16% Subtotal Presupuesto.....2184 €

### 8) Total presupuesto

Total Presupuesto.....	15834 €
------------------------	---------

Madrid, marzo de 2009

El Ingeniero Jefe de Proyecto

Fdo.: Sergio Cervera Irimia  
Ingeniero Superior de Telecomunicación



## Pliego de condiciones

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, de un estudio sobre el efecto del sistema UWB sobre otros sistemas de comunicación a una frecuencia mayor de 3 GHz. En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar dicho sistema. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con el posterior desarrollo de los programas está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

### Condiciones generales

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.

2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.

3. En la oferta se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.

4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero Superior de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.

5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.

6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.

7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.

8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.

9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que, sin embargo, es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.

10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.

11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho, sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.

12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partida alzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.

13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras, así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.

14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.

15. La garantía definitiva será del 4% del presupuesto y la provisional del 2%.

16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.

17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose, si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.

18. Si el contratista, al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.

19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.

20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del contratista la conservación de la obra ya ejecutada hasta la recepción de la

misma, por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.

21. El contratista deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra se hará una recepción provisional previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.

22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.

23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad "Presupuesto de Ejecución de Contrata" y anteriormente llamado "Presupuesto de Ejecución Material" que hoy designa otro concepto.

### **Condiciones particulares**

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.

2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.

3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.

4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.

5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.

6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.

7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.

8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.

9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.

10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.

11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.

12. El Ingeniero Director del presente proyecto será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.