

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID**

**ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR**



**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**Cálculo del perfil de régimen binario de  
la tecnología HSDPA, en diversos  
sistemas de comunicaciones móviles**

**Jorge Casamayón Antón**

**Febrero 2009**



**Cálculo del perfil de régimen binario de**  
**la tecnología HSDPA, en diversos**  
**sistemas de comunicaciones móviles**

**AUTOR: Jorge Casamayón Antón**

**TUTOR: D. Bazil Taha Ahmed**

**Grupo de Sistemas de Radiocomunicaciones y Comunicaciones Ópticas**

**Dpto. de Ingeniería Informática**

**Escuela Politécnica Superior**

**Universidad Autónoma de Madrid**

**Febrero 2009**



## ***Agradecimientos:***

En primer lugar quería agradecer a mi tutor, Bazil Taha Ahmed, su estimable ayuda, empatía y dedicación en los meses que ha durado la elaboración de este trabajo; gracias a él, su estudio y desarrollo ha sido más sencillo y agradable.

A mis padres Teresa y Raúl y a mi hermano Alejandro, que siempre me han apoyado en todas mis decisiones, han creído en mí, me han ayudado cuando lo necesitaba, y gracias a los cuales he crecido como ingeniero y como persona. A ellos les debo el llegar donde he llegado.

A mi abuelo Emilio, y a mis abuelas Isabel y Teresa, tan importantes en mi vida como mis padres. Personas que han sido, son y serán un ejemplo de lucha y superación y el modelo de persona que me gustaría llegar a ser.

A mi tío Javier, que desde su particular manera de ver el mundo, siempre te provoca una sonrisa.

A mis amigos de toda la vida: Germán, Alejandro, Víctor, Verónica, Adriana, Arturo y Manuel, y a los que conocí en la universidad: Jorge, David y Jesús, sin los cuales, llegar hasta aquí habría sido mucho más aburrido.



## **Resumen:**

Hoy en día, todas las redes de telecomunicaciones tienden hacia una integración de servicios que permitan al cliente acceder desde cualquier terminal a la información o medio de comunicación que desee. De todas ellas, las redes inalámbricas son las que más se están desarrollando ya que permiten la movilidad del cliente y consiguen altas tasas binarias de descarga.

El objetivo de este proyecto es el de estudiar en detalle la tecnología HSDPA, la cual permite velocidades de descarga superiores a los 15 Mbps empleando la red celular de telefonía móvil.

En nuestro estudio analizaremos como varía el perfil de SNR recibido cuando varía algún parámetro del sistema, estudiaremos como afectan estos cambios a los órdenes de modulación empleados, calcularemos el número de códigos que deberá emplear la estación base para optimizar la tasa binaria total, y por último se determinará la tasa binaria de descarga recibida por cada usuarios cuando más de uno accede al servicio y deben compartir los recursos existentes.

El análisis se realizará con distintos métodos de propagación cada uno con diferentes características. Estos son macroceldas, microceldas en autovías con visión directa entre emisor y receptor, microceldas en el interior de un túnel, y propagación por HAP.

## **Palabras clave:**

- ✓ HSDPA
- ✓ UMTS
- ✓ SNR
- ✓ Orden de modulación
- ✓ Tasa binaria de descarga
- ✓ Macrocela
- ✓ Microcela
- ✓ Túnel
- ✓ HAP
- ✓ 3GPP Release 6
- ✓ 3GPP Release 7

## **Abstract:**

Nowadays, all the telecommunication networks are prone to integrate services that allow the customers to access any information from any terminal or communication medium. The wireless network are the most developed networks due to it's capability to support high mobility of the client and high throughput in the downlink.

The aim of this project is the study of HSDPA technology, which allows a bit rates higher than 15 Mbps using the 3.5G mobile phone cellular network.

In our study, the impact of changing the system parameters on the Signal to Interference plus Noise Ratio (SNR) will be investigated. The optimum number of codes per sector that the system can support maximising the throughput of the system will be studied .

The analysis will be performed for different scenarios such as Macrocells, Microcells in highway with line-of-sight (LOS), Microcell inside a tunnel, and HAPs. Each one of the studied scenarios has different features that differentiated it from the others scenarios.

## **Key words:**

- ✓ HSDPA
- ✓ UMTS
- ✓ SNR
- ✓ Modulation order
- ✓ Downlink bit rate
- ✓ Macrocell
- ✓ Microcell
- ✓ Tunnel
- ✓ 3GPP Release 6
- ✓ 3GPP Release 7



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 MOTIVACIÓN .....	1
1.2 OBJETIVOS .....	2
1.3 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA .....	3
<b>2. CAPÍTULO 2: HSDPA .....</b>	<b>5</b>
2.1 CONCEPTOS .....	5
2.2 TASAS BINARIAS HSDPA .....	9
2.3 CAPA PDCP. [3] .....	12
2.4 CAPA RLC.....	12
2.5 ENTIDAD MAC-D. ....	13
2.6 FRAME PROTOCOL LAYER. [3].....	13
2.7 ENTIDAD MAC-HS.....	14
2.7.1 Control de flujo.....	14
2.7.2 Planificador.....	15
2.7.3 Adaptación de modulación y código. ....	16
2.7.4 HARQ.....	19
2.8 CANALES FÍSICOS.....	21
2.8.1 High Speed Shared Control Channel (HS-SCCH) .....	21
2.8.2 High Speed Physical Downlink Shared Channel. (HS-PDSCH).....	23
2.8.3 High Speed Dedicated Physical Control Channel (HS-DPCCH) .....	26
2.9 MOVILIDAD .....	27
<b>3. CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE HSDPA EN MACROCELDAS .....</b>	<b>29</b>
3.1 MACROCELDAS.....	29
3.2 MODELO DE PROPAGACIÓN [8] .....	30
3.3 SIMULACIONES .....	31
3.3.1 <i>Calculo de la SNR</i> .....	32
3.3.1.1 Calculo de la SNR en función de la dirección seguida por el usuario .....	35
3.3.1.2 Variación de la SNR ante distintos valores de potencia dedicada a la tecnología HSDPA.....	39
3.3.1.3 Variación de la SNR ante distintos valores de radio de la célula.....	41
3.3.1.4 Variación de la SNR ante distintos valores de altura de la antena de transmisión .....	45
3.3.1.5 Variación de la SNR ante distintos valores de altura del terminal móvil y ante los efectos provocados por obstáculos.....	48
3.3.1.6 Variación de la SNR ante distintos valores del factor de ruido del terminal móvil.....	61

3.3.1.7 Interpolación de resultados y conclusiones finales del apartado.....	63
3.3.2 <i>Calculo de la modulación binaria en función de la calidad de señal recibida</i> .....	64
3.3.2.1 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores de potencia dedicada a la tecnología HSDPA.....	67
3.3.2.2 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores del radio de la célula.....	74
3.3.2.3 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante cambios en el resto de los parámetros variables.....	80
3.3.3 <i>Optimización de la potencia dedicada a la tecnología HSDPA</i> .....	83
3.3.4 <i>Configuración óptima de códigos cuando más de un cliente está accediendo al servicio</i> .....	89
3.3.5 <i>Cálculo de las velocidades reales de descarga en la tecnología HSDPA</i> .....	107
3.3.6 <i>Conclusiones finales del capítulo</i> .....	118
<b>4. CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE HSDPA EN MICROCELDA</b> .....	<b>120</b>
4.1 MICROCELDA	120
4.2 MODELO DE PROPAGACIÓN.....	121
4.3 SIMULACIONES .....	122
4.3.1 <i>Calculo de la SNR</i> .....	122
4.3.1.1 Variación de la SNR ante distintos valores de potencia dedicada a la tecnología HSDPA....	123
4.3.1.2 Variación de la SNR ante distintos valores de la distancia de acción de la célula.....	125
4.3.1.3 Variación de la SNR ante distintos valores de $R_b$ .....	127
4.3.1.4 Variación de la SNR ante distintos valores de los exponentes de propagación.....	129
4.3.2 <i>Calculo de la modulación binaria para microceldas en función de la calidad de señal recibida</i> .....	134
4.3.2.1 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores de potencia dedicada a la tecnología HSDPA.....	134
4.3.2.2 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores del radio de acción de la celda. ....	136
4.3.2.3 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores del de los exponentes de propagación.....	137
4.3.3 <i>Configuración óptima de códigos cuando más de un cliente está accediendo al servicio</i> .....	140
4.3.4 <i>Cálculo de las velocidades reales de descarga en la tecnología HSDPA</i> .....	145
4.3.5 <i>Conclusiones finales del capítulo</i> .....	148
<b>5. CAPÍTULO 5: ESTUDIO DE HSDPA EN MICROCELDA EN EL INTERIOR DE UN TÚNEL</b> .....	<b>150</b>

5.1 MICROCELDAS EN EL INTERIOR DE UN TÚNEL .....	150
5.2 MODELO DE PROPAGACIÓN .....	151
5.3 SIMULACIONES .....	151
5.3.1 <i>Calculo de la SNR</i> .....	152
5.3.1.1 Variación de la SNR ante distintos valores de potencia dedicada a la tecnología HSDPA....	152
5.3.1.2 Variación de la SNR ante distintos valores de la distancia de acción de la célula.....	155
5.3.1.3 Variación de la SNR ante distintos valores de $R_b$ .....	157
5.3.1.4 Variación de la SNR ante distintos valores de los exponentes de propagación.....	158
5.3.2 <i>Calculo de la modulación binaria para microceldas en función de la calidad de señal recibida</i> .....	159
5.3.2.1 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores de potencia dedicada a la tecnología HSDPA.....	159
5.3.2.2 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores del radio de acción de la celda. ....	162
5.3.3 <i>Configuración óptima de códigos cuando más de un cliente está accediendo al servicio</i> .....	163
5.3.4 <i>Cálculo de las velocidades reales de descarga en la tecnología HSDPA</i> .....	167
5.3.5 <i>Conclusiones finales del capítulo</i> .....	171
<b>6. CAPÍTULO 6: ESTUDIO DE HSDPA BASADO EN HAP.....</b>	<b>173</b>
6.1 HAPS.....	173
6.2 MODELO DE PROPAGACIÓN .....	175
6.3 SIMULACIONES .....	175
6.3.1 <i>Calculo de la SNR</i> .....	176
6.3.1.1 Calculo de la SNR en función de la dirección seguida por el usuario. ....	176
6.3.1.2 Variación de la SNR ante distintos valores de potencia dedicada a la tecnología HSDPA....	179
6.3.1.3 Variación de la SNR ante distintos valores de la altura del HAP. ....	182
6.3.1.4 Variación de la SNR ante distintos valores del radio de la célula.....	185
6.3.2 <i>Calculo de la modulación binaria empleada en la comunicación, en función de la calidad de señal recibida</i> .....	188
6.3.2.1 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores de potencia dedicada a la tecnología HSDPA .....	189
6.3.2.2 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores de la altura del HAP.....	196
6.3.2.3 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores del radio de la celda.....	199
6.3.3 <i>Configuración óptima de códigos cuando más de un cliente está accediendo al servicio</i> .....	203
6.3.5 <i>Cálculo de las velocidades reales de descarga en la tecnología HSDPA</i> .....	208

6.3.5 Conclusiones finales del capítulo.....	218
<b>7. CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y LÍNEAS ABIERTAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>219</b>
7.1 CONCLUSIONES FINALES.....	219
7.2 LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN .....	221
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>223</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>226</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>227</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>230</b>
ANEXO A: CÓDIGO MATLAB .....	230
<i>A.1 Modelo Hata-Cost231 modificado.....</i>	<i>230</i>
<i>A.2 Modelo de dos pendientes para microceldas.....</i>	<i>231</i>
<i>A.3 Modelo híbrido para propagación en túnel.....</i>	<i>232</i>
<i>A.4 Modelo de propagación en el espacio libre.....</i>	<i>233</i>
<i>A.5 Cálculo del perfil de SNR ante el cambio de los parámetros del sistema. Macrocelas. ....</i>	<i>233</i>
<i>A.6 Cálculo de los esquemas de modulación empleados en la comunicación, en función de la calidad de señal recibida en macrocelda. ....</i>	<i>237</i>
<i>A.7 Cálculo del número de códigos a repartir entre los clientes de la celda que optimice la tasa binaria total gestionada por la estación base.....</i>	<i>241</i>
<i>A.8 Cálculo de las tasas binarias recibidas por cada usuario cuando más de uno deben compartir los recursos del sistema .....</i>	<i>246</i>
ANEXO B: PRESUPUESTO .....	252
<b>PLIEGO DE CONDICIONES .....</b>	<b>253</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 2.1:</b> CANALES EN HSDPA [2].	6
<b>FIGURA 2.2:</b> ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS DE HSDPA. [1]	8
<b>FIGURA 2.3:</b> CONCEPTOS GENERALES DE HSDPA. [3]	8
<b>FIGURA 2.4:</b> CONCEPTOS DEL CONTROL DE FLUJO. [1]	15
<b>FIGURA 2.5:</b> ESQUEMAS ALGORITMO PLANIFICADOR CON UN SOLO CÓDIGO. ALGORITMO RR EN LA IZQUIERDA, ALGORITMO MCI EN LA DERECHA. [3]	17
<b>FIGURA 2.6:</b> MODULACIÓN Y CODIFICACIÓN ADAPTABLE EN HSDPA EN UN SECTOR DE TRES. [4]	18
<b>FIGURA 2.7:</b> UTILIZACIÓN DE POTENCIA CON Y SIN HSDPA. [5]	18
<b>FIGURA 2.8:</b> ESQUEMA SAW DE 2 CANALES. [4]	20
<b>FIGURA 2.9:</b> ESQUEMA DEL CANAL HS-SCCH. [6]	22
<b>FIGURA 2.10:</b> ÁRBOL DE CÓDIGOS CON 15 HS-PDSCH Y 3 HS-SCCH Y CANALES COMUNES. [3]	24
<b>FIGURA 2.11:</b> ESTRUCTURA DE LA SUB-TRAMA DEL HS-PDSCH. [6]	25
<b>FIGURA 2.12:</b> ESTRUCTURA DEL CANAL HS-DPCCH. [6]	26
<b>FIGURA 3.1:</b> IMAGEN DE DOS MACRCELAS [7]	29
<b>FIGURA 3.2:</b> REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS DIRECCIONES DE 0° Y 30° EN RED HEXAGONAL.	35
<b>FIGURA 3.3:</b> SNR RECIBIDA EN CIUDAD GRANDE EN LAS DIRECCIÓN DE 0° Y 30°	36
<b>FIGURA 3.4:</b> SNR RECIBIDA EN CIUDAD SUBURBANA EN LAS DIRECCIÓN DE 0° Y 30°	37
<b>FIGURA 3.5:</b> SNR RECIBIDA EN ZONA RURAL EN LAS DIRECCIÓN DE 0° Y 30°. ANTENA CON Y SIN SECTORIZAR.	37
<b>FIGURA 3.6:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE POTENCIA DEDICADA. CIUDAD GRANDE.	40
<b>FIGURA 3.7:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE POTENCIA DEDICADA. CIUDAD SUBURBANA.	40
<b>FIGURA 3.8:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE POTENCIA DEDICADA. ZONA RURAL.	41
<b>FIGURA 3.9:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DEL RADIO DE LA CÉLULA. CIUDAD GRANDE.	42

<b>FIGURA 3.10:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DEL RADIO DE LA CÉLULA.	
CIUDAD SUBURBANA.....	43
<b>FIGURA 3.11:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DEL RADIO DE LA CÉLULA.	
ZONA RURAL. ....	43
<b>FIGURA 3.12:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA TRANSMISORA. CIUDAD GRANDE. ....	46
<b>FIGURA 3.13:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA TRANSMISORA. CIUDAD SUBURBANA. ....	46
<b>FIGURA 3.14:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA TRANSMISORA. ZONA RURAL. ....	47
<b>FIGURA 3.15:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA RECEPTORA AIRE LIBRE. CIUDAD GRANDE.....	50
<b>FIGURA 3.16:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA RECEPTORA. AIRE LIBRE. CIUDAD SUBURBANA.....	51
<b>FIGURA 3.17:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA RECEPTORA. AIRE LIBRE. ZONA RURAL.....	51
<b>FIGURA 3.18:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA RECEPTORA. RODEADO DE MUROS. CIUDAD GRANDE.....	53
<b>FIGURA 3.19:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA RECEPTORA. RODEADO DE MUROS. CIUDAD SUBURBANA. ....	53
<b>FIGURA 3.20:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA RECEPTORA. RODEADO DE MUROS. ZONA RURAL.....	54
<b>FIGURA 3.21:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA RECEPTORA. RODEADO DE VIDRIOS. CIUDAD GRANDE. ....	56
<b>FIGURA 3.22:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA RECEPTORA. RODEADO DE VIDRIOS. CIUDAD SUBURBANA. ....	57
<b>FIGURA 3.23:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA RECEPTORA. RODEADO DE VIDRIOS. ZONA RURAL. ....	57
<b>FIGURA 3.24:</b> CÉLULAS CUYAS SEÑALES SUFREN UNA ATENUACIÓN DE 4 dB.....	59
<b>FIGURA 3.25:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA RECEPTORA. RODEADO DE TRES MUROS Y UN VIDRIO. CIUDAD GRANDE.....	59
<b>FIGURA 3.26:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA RECEPTORA. RODEADO DE TRES MUROS Y UN VIDRIO. CIUDAD SUBURBANA.....	60

<b>FIGURA 3.27:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA RECEPTORA. RODEADO DE TRES MUROS Y UN VIDRIO. ZONA RURAL. ....	60
<b>FIGURA 3.28:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DEL FACTOR DE RUIDO. CIUDAD GRANDE. ....	62
<b>FIGURA 3.29:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DEL FACTOR DE RUIDO. CIUDAD SUBURBANA. ....	62
<b>FIGURA 3.30:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DEL FACTOR DE RUIDO. ZONA RURAL. ....	63
<b>FIGURA 3.31:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE LAS POTENCIAS DEDICADAS. CIUDAD GRANDE. DIRECCIÓN 0°. ....	68
<b>FIGURA 3.32:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE LAS POTENCIAS DEDICADAS. CIUDAD GRANDE. DIRECCIÓN 30°. ....	69
<b>FIGURA 3.33:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE LAS POTENCIAS DEDICADAS. CIUDAD SUBURBANA. DIRECCIÓN 0°. ....	70
<b>FIGURA 3.34:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE LAS POTENCIAS DEDICADAS. CIUDAD SUBURBANA. DIRECCIÓN 30°. ....	71
<b>FIGURA 3.35:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE LAS POTENCIAS DEDICADAS. ZONA RURAL. DIRECCIÓN 0°. ....	72
<b>FIGURA 3.36:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE LAS POTENCIAS DEDICADAS. ZONA RURAL. DIRECCIÓN 30°. ....	73
<b>FIGURA 3.37:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE RADIOS DE LA CÉLULA. CIUDAD GRANDE. DIRECCIÓN 0°. ....	75
<b>FIGURA 3.38:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE RADIOS DE LA CÉLULA. CIUDAD GRANDE. DIRECCIÓN 30°. ....	76
<b>FIGURA 3.39:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE RADIOS DE LA CÉLULA. CIUDAD SUBURBANA. DIRECCIÓN 0°. ....	77
<b>FIGURA 3.40:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE RADIOS DE LA CÉLULA. CIUDAD SUBURBANA. DIRECCIÓN 30°. ....	78
<b>FIGURA 3.41:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE RADIOS DE LA CÉLULA. ZONA RURAL. DIRECCIÓN 0°. ....	78
<b>FIGURA 3.42:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE RADIOS DE LA CÉLULA. ZONA RURAL. DIRECCIÓN 30°. ....	79

<b>FIGURA 3.43:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA RECEPTORA. RODEADO DE TRES MUROS Y UN VIDRIO. CIUDAD GRANDE. ....	81
<b>FIGURA 3.44:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA RECEPTORA. RODEADO DE TRES MUROS Y UN VIDRIO. CIUDAD SUBURBANA. ....	81
<b>FIGURA 3.45:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DE LA ANTENA RECEPTORA. RODEADO DE TRES MUROS Y UN VIDRIO. ZONA RURAL. ....	82
<b>FIGURA 3.46:</b> OPTIMIZACIÓN DE POTENCIA EN CIUDAD GRANDE. ....	86
<b>FIGURA 3.47:</b> OPTIMIZACIÓN DE POTENCIA EN CIUDAD SUBURBANA. ....	87
<b>FIGURA 3.48:</b> OPTIMIZACIÓN DE POTENCIA EN ZONA RURAL. ....	87
<b>FIGURA 3.49:</b> ESQUEMA VELOCIDAD MEDIA POR USUARIO. ....	108
<b>FIGURA 4.1:</b> IMAGEN DE DOS MICROCELDA SITUADAS EN CIUDAD [7]. ....	120
<b>FIGURA 4.2:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE POTENCIA DEDICADA. ....	124
<b>FIGURA 4.3:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DEL RADIO DE LA CÉLULA. ...	126
<b>FIGURA 4.4:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE $R_B$ . ....	128
<b>FIGURA 4.5:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LOS EXPONENTES DE PROPAGACIÓN $N_1$ Y $N_2$ . ....	131
<b>FIGURA 4.6:</b> INTERFERENCIA EXTERNA RECIBIDA EN EL TERMINAL. $N_1 = 2.5$ ....	132
<b>FIGURA 4.7:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE LAS POTENCIAS DEDICADAS. ....	135
<b>FIGURA 4.8:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE REDIOS DE LA CÉLULA. ....	137
<b>FIGURA 4.9:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DEL EXPONENTE DE PROPAGACIÓN. $N_1 = 2$ ....	138
<b>FIGURA 4.10:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DEL EXPONENTE DE PROPAGACIÓN. $N_1 = 2.3$ ....	139
<b>FIGURA 4.11:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DEL EXPONENTE DE PROPAGACIÓN. $N_1 = 2.3$ ....	139
<b>FIGURA 5.1:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE POTENCIA DEDICADA. ....	154
<b>FIGURA 5.2:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DEL RADIO DE LA CÉLULA. ...	156
<b>FIGURA 5.3:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE $R_B$ . ....	158
<b>FIGURA 5.4:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE LAS POTENCIAS DEDICADAS. ....	161



<b>FIGURA 5.5:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DEL RADIO DE LA CELDA.....	162
<b>FIGURA 6.1:</b> GEOMETRÍA DEL ENLACE DESCENDENTE CON PROPAGACIÓN POR HAP [8]. .....	174
<b>FIGURA 6.2:</b> SNR RECIBIDA EN CIUDAD GRANDE EN LAS DIRECCIÓN DE 0° Y 30° .....	177
<b>FIGURA 6.3:</b> SNR RECIBIDA EN CIUDAD SUBURBANA EN LAS DIRECCIÓN DE 0° Y 30°.	178
<b>FIGURA 6.4:</b> SNR RECIBIDA EN ZONA RURAL EN LAS DIRECCIÓN DE 0° Y 30° .....	178
<b>FIGURA 6.5:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE POTENCIA DEDICADA. CIUDAD GRANDE. ....	180
<b>FIGURA 6.6:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE POTENCIA DEDICADA. CIUDAD SUBURBANA.....	181
<b>FIGURA 6.7:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE POTENCIA DEDICADA. ZONA RURAL.....	181
<b>FIGURA 6.8:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DEL HAP. CIUDAD GRANDE.....	183
<b>FIGURA 6.9:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DEL HAP. CIUDAD SUBURBANA.....	183
<b>FIGURA 6.10:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DE LA ALTURA DEL HAP. ZONA RURAL.....	184
<b>FIGURA 6.11:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DEL RADIO DE LA CELDA. CIUDAD GRANDE.....	186
<b>FIGURA 6.12:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DEL RADIO DE LA CELDA. CIUDAD SUBURBANA.....	186
<b>FIGURA 6.13:</b> SNR RECIBIDA ANTE DISTINTOS VALORES DEL RADIO DE LA CELDA. ZONA RURAL.....	187
<b>FIGURA 6.14:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE LAS POTENCIAS DEDICADAS. CIUDAD GRANDE. DIR 0°.....	190
<b>FIGURA 6.15:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE LAS POTENCIAS DEDICADAS. CIUDAD GRANDE. DIR 30°.....	191
<b>FIGURA 6.16:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE LAS POTENCIAS DEDICADAS. CIUDAD SUBURBANA. DIR 0°.....	192
<b>FIGURA 6.17:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE LAS POTENCIAS DEDICADAS. CIUDAD SUBURBANA. DIR 30°.....	193

<b>FIGURA 6.18:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE LAS POTENCIAS DEDICADAS. ZONA RURAL. DIR 0°.....	194
<b>FIGURA 6.19:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTOS VALORES DE LAS POTENCIAS DEDICADAS. ZONA RURAL. DIR 0°.....	195
<b>FIGURA 6.20:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTAS ALTURAS DEL HAP. CIUDAD GRANDE. ....	197
<b>FIGURA 6.21:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTAS ALTURAS DEL HAP. CIUDAD SUBURBANA. ....	198
<b>FIGURA 6.22:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE DISTINTAS ALTURAS DEL HAP. ZONA RURAL. ....	198
<b>FIGURA 6.23:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE VARIOS RADIOS DE CELDA. CIUDAD GRANDE. ....	200
<b>FIGURA 6.24:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE VARIOS RADIOS DE CELDA. CIUDAD SUBURBANA. ....	201
<b>FIGURA 6.25:</b> ESQUEMA DE MODULACIÓN ANTE VARIOS RADIOS DE CELDA. ZONA RURAL.....	202

# ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 2.1:</b> COMPARACIÓN DPCH Y HS-PDSCH [3].	9
<b>TABLA 2.2:</b> VELOCIDADES MÁXIMAS TEÓRICAS DE HSDPA	10
<b>TABLA 2.3:</b> CATEGORÍAS DE UE EN HSDPA [3].	11
<b>TABLA 2.4:</b> FLUJO DE CRÉDITOS [3].	14
<b>TABLA 2.5:</b> CONTENIDOS DEL HS-SCCH [3].	22
<b>TABLA 3.1:</b> ÓRDENES DE MODULACIÓN CON SU VALOR DE SNR ASOCIADO [10].	65
<b>TABLA 3.2:</b> N° DE CÓDIGOS ÓPTIMOS EN UN SECTOR. CIUDAD GRANDE.	95
<b>TABLA 3.3:</b> N° DE CÓDIGOS ÓPTIMOS EN DOS SECTORES. CIUDAD GRANDE.	95
<b>TABLA 3.4:</b> N° DE CÓDIGOS ÓPTIMOS EN TRES SECTORES. CIUDAD GRANDE.	96
<b>TABLA 3.5:</b> N° DE CÓDIGOS ÓPTIMOS EN UN SECTOR. CIUDAD SUBURBANA.	99
<b>TABLA 3.6:</b> N° DE CÓDIGOS ÓPTIMOS EN DOS SECTORES. CIUDAD SUBURBANA.	99
<b>TABLA 3.7:</b> N° DE CÓDIGOS ÓPTIMOS EN TRES SECTORES. CIUDAD SUBURBANA.	100
<b>TABLA 3.8:</b> N° DE CÓDIGOS ÓPTIMOS EN UN SECTOR. ZONA RURAL.	103
<b>TABLA 3.9:</b> N° DE CÓDIGOS ÓPTIMOS EN DOS SECTORES. ZONA RURAL.	103
<b>TABLA 3.10:</b> N° DE CÓDIGOS ÓPTIMOS EN TRES SECTORES. ZONA RURAL.	104
<b>TABLA 3.11:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 7 USUARIOS POR CELDA. CIUDAD GRANDE.	110
<b>TABLA 3.12:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 15 USUARIOS POR CELDA. CIUDAD GRANDE.	111
<b>TABLA 3.13:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 7 USUARIOS POR CELDA. CIUDAD SUBURBANA.	113
<b>TABLA 3.14:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 15 USUARIOS POR CELDA. CIUDAD SUBURBANA.	114
<b>TABLA 3.15:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 7 USUARIOS POR CELDA. ZONA RURAL.	115
<b>TABLA 3.16:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 15 USUARIOS POR CELDA. ZONA RURAL.	116
<b>TABLA 4.1:</b> EXPONENTES DE PROPAGACIÓN COMUNES PARA CIUDADES [12].	130
<b>TABLA 4.2:</b> N° DE CÓDIGOS ÓPTIMOS EN UN SECTOR.	143
<b>TABLA 4.3:</b> N° DE CÓDIGOS ÓPTIMOS EN DOS SECTORES.	143
<b>TABLA 4.4:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 7 USUARIOS POR CELDA. ....	146

<b>TABLA 4.5:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 15 USUARIOS POR CELDA. ..	147
<b>TABLA 5.1:</b> N° DE CÓDIGOS ÓPTIMOS EN UN SECTOR. ....	165
<b>TABLA 5.2:</b> N° DE CÓDIGOS ÓPTIMOS EN DOS SECTORES.....	166
<b>TABLA 5.3:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 7 USUARIOS POR CELDA. ....	168
<b>TABLA 5.4:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 15 USUARIOS POR CELDA. ..	168
<b>TABLA 5.5:</b> VELOCIDADES OBTENIDAS POR LOS USUARIOS DE UN TREN EN EL INTERIOR DE UN TÚNEL DE FERROCARRIL.....	169
<b>TABLA 5.6:</b> VELOCIDADES OBTENIDAS POR LOS USUARIOS DEL METRO EN EL INTERIOR DE UN TÚNEL DEL TREN SUBURBANO. ....	170
<b>TABLA 6.1:</b> N° DE CÓDIGOS ÓPTIMOS EN UN SECTOR. ....	205
<b>TABLA 6.2:</b> N° DE CÓDIGOS ÓPTIMOS EN UN SECTOR. ....	206
<b>TABLA 6.3:</b> N° DE CÓDIGOS ÓPTIMOS EN UN SECTOR. ....	207
<b>TABLA 6.4:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 3 USUARIOS POR CELDA. CIUDAD GRANDE.....	209
<b>TABLA 6.5:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 7 USUARIOS POR CELDA. CIUDAD GRANDE.....	210
<b>TABLA 6.6:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 15 USUARIOS POR CELDA. CIUDAD GRANDE.....	211
<b>TABLA 6.7:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 3 USUARIOS POR CELDA. CIUDAD SUBURBANA. ....	212
<b>TABLA 6.8:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 7 USUARIOS POR CELDA. CIUDAD SUBURBANA.....	213
<b>TABLA 6.9:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 15 USUARIOS POR CELDA. CIUDAD SUBURBANA.....	214
<b>TABLA 6.10:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 3 USUARIOS POR CELDA. ZONA RURAL.....	215
<b>TABLA 6.11:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 7 USUARIOS POR CELDA. ZONA RURAL.....	216
<b>TABLA 6.12:</b> VELOCIDADES DE DESCARGA POR USUARIO. 15 USUARIOS POR CELDA. ZONA RURAL.....	217

# 1. Capítulo 1: Introducción

---

---

## 1.1 Motivación

Desde hace más de una década todas las redes de telecomunicaciones han tendido hacia la integración de toda clase de servicios en una única red global de telecomunicaciones. El desarrollo de esta red debe ir acorde a los tiempos actuales, siendo capaz de procesar cualquier tipo de información (voz, video, datos, ...), teniendo la capacidad de transferir grandes cantidades de información en un corto periodo de tiempo, así como satisfacer las necesidades de movilidad que hoy en día se demandan.

Con la estandarización por parte de los organismos pertinentes de la tercera generación de telefonía móvil, se añaden nuevos mecanismos que permiten la descarga de datos a altas velocidades de las redes de telefonía celular ya establecidas, al mismo tiempo que se proporciona servicio de voz. Sin embargo, la rápida penetración de los servicios de datos y de las nuevas aplicaciones hacía pensar que los usuarios requerirían de unas tasas de descarga más altas, así como una mejor calidad de servicio en un futuro próximo. *WCDMA 3GPP Release 99* especificaba unas velocidades de descarga de 384 kbps en una gran área de cobertura y de 2 Mbps en zonas muy próximas a la estación base, velocidades del todo insuficientes para las aplicaciones actuales, que requieren una transferencia de datos cada vez mayor. Atendiendo estas demandas de un aumento en las tasas binarias de descarga, *WCDMA 3GPP Release 5* extendió las especificaciones del sistema con HSDPA.

HSDPA proporciona numerosas mejoras con respecto a *WCDMA Release 99* en el downlink. Ofrece picos en las tasas binarias de descarga superiores a los 10 Mbps, con un tiempo de respuesta y de conexión menor, gracias a la implementación de nuevos sistemas como mecanismos de control de canal más rápidos y complejos, y una modulación y código adaptativo.

Gracias a sus altas capacidades de transferencia de datos, HSDPA estimulará el consumo de nuevas aplicaciones que requieran una gran transferencia de datos y una mayor interactividad, permitiendo al cliente disfrutar de algo más que consultar una página Web. Además de todos estos beneficios, un factor de suma importancia es

## **1. Introducción**

---

la total compatibilidad con el estándar *Release 99*, lo que permite unos bajos costes de implantación, ya que los únicos cambios con este sistema, se basan en la reprogramación del hardware existente, y una implantación gradual del sistema en función de las necesidades de los clientes.

La posibilidad de ofertar a los clientes altas tasas de descarga con un bajo coste de inversión, aumentará la competencia entre operadoras de telefonía que ofrecerán a sus clientes grandes aplicaciones multimedia, nuevos terminales y servicios avanzados como pueden ser la realización de operaciones bancarias desde nuestro móvil, a un precio reducido.

### **1.2 Objetivos**

El objetivo que se pretende alcanzar con este proyecto, es el de realizar un examen exhaustivo de la tecnología HSDPA en varios sistemas de propagación, macroceldas, microceldas, microceldas en el interior de túneles y HAP.

En este proyecto pretendemos estudiar, para cada uno de los medios de propagación, todos los factores que influyen en el sistema y en la propagación de la señal con el fin de conocer las limitaciones y capacidades del sistema, las condiciones óptimas que permiten obtener las mejores velocidades de descarga, así como la obtención de las tasas binarias de descarga que se conseguirían en una situación real, con el fin de poder comparar el resultado con los proporcionados por las compañías telefónicas.

Para poder lograr nuestros objetivos, el examen de cada sistema de propagación se dividirá en varias partes. En primer lugar analizaremos como afecta la variación de los parámetros de la comunicación en la relación señal a ruido recibida; de este modo podemos deducir los resultados que se obtendrán cuando se decida modificar los parámetros del sistema. En segundo lugar, examinaremos como han influido esas modificaciones en el perfil de SNR recibido sobre los órdenes de modulación de la comunicación. Para poder emplear en la comunicación un orden de modulación determinado, es necesario que se cumplan unas condiciones mínimas de calidad de señal en el terminal de recepción. Si los cambios producidos en el perfil de SNR con la variación de los parámetros del sistema, no son suficientes para producir un cambio en los órdenes de modulación de la comunicación, la tasa binaria con la que descarguemos no cambiará. De este modo, pretendemos analizar si los cambios

## 1. Introducción

---

provocados en la SNR, serán suficientes para producir variaciones en la tasa binaria de descarga. En tercer lugar, realizaremos un estudio promediando en todo el radio de la célula, con el que determinaremos el número y la forma en el que los códigos deben ser repartidos por la estación base entre los sectores, con el fin de optimizar la tasa binaria de descarga desde el punto de vista del operador telefónico. En último lugar estudiaremos las tasas binarias de descarga que obtiene cada usuario que se encuentre en el interior de la celda accediendo al servicio HSDPA.

A pesar de que en actualmente HSDPA no está todavía implantado en España, no dejan de sucederse las noticias respecto a su alta velocidad de descarga y las nuevas posibilidades que ofrece, además de que el número de terminales a la venta con capacidad para esta tecnología aumenta a diario. Debido a esto, creemos interesante un estudio que determine la verdadera capacidad de HSDPA para descargar datos, resultados que pueden no coincidir con los resultados teóricos que nos aportan las compañías telefónicas.

### 1.3 Estructura de la memoria

HSDPA es una nueva tecnología, pero está basada en WCDMA y UMTS. Partiremos de la base de que el lector tiene conocimientos básicos de estas dos tecnologías que le permitirán comprender todos los apartados de la memoria, ya que no se explicarán los conceptos relacionados con ellas al no ser el eje central de este proyecto.

La memoria del Proyecto va a ir estructurada de la siguiente manera:

- i. **1. Introducción:** en este capítulo realizaremos una pequeña explicación de los motivos y la forma que nos han llevado a realizar este proyecto.
- ii. **2. HSDPA:** en este capítulo realizaremos una introducción a la tecnología HSDPA en la que detallaremos aquellas características que consideramos más importantes para conocer el funcionamiento de dicha tecnología, así como para entender nuestras futuras simulaciones.
- iii. **3. Estudio de HSDPA en macroceldas:** en este capítulo se realizarán los análisis explicados en la sección 1.2 teniendo en cuenta las condiciones del sistema cuando la señal se propaga por macroceldas.

## 1. Introducción

---

- iv. **4. Estudio de HSDPA en microceldas:** en este capítulo se realizarán los análisis explicados en la sección 1.2 teniendo en cuenta las condiciones del sistema cuando la señal se propaga por microceldas.
- v. **5. Estudio de HSDPA en microceldas en el interior de un túnel:** en este capítulo se realizarán los análisis explicados en la sección 1.2 teniendo en cuenta las condiciones del sistema cuando la señal se propaga por el interior de un túnel.
- vi. **6. Estudio de HSDPA basado en HAP (High Altitude Platform):** en este capítulo se realizarán los análisis explicados en la sección 1.2 teniendo en cuenta las condiciones del sistema cuando la señal se emite desde un HAP.
- vii. **7. Conclusiones finales y líneas futuras de investigación:** en este capítulo se expondrán unas breves conclusiones sobre HSDPA tras su análisis en todos los entornos.
- viii. **8. Referencias, bibliografía, glosario, anexos y pliego de condiciones:** en este apartado de la memoria se mostrarán las referencias empleadas para su elaboración; la bibliografía donde se detallará el material al que podrá dirigirse el lector para obtener información suplementaria; un glosario con el significado de todos los acrónimos empleados; los apéndices con información añadida y el pliego de condiciones.



# 2. Capítulo 2: HSDPA

## 2.1 Conceptos

HSDPA es introducido por primera vez dentro de las especificaciones *Release 5* del 3GPP. HSDPA proporciona una solución para lograr incrementar la tasa de transferencia individual, incrementar la tasa de transferencia total de la célula y reducir los tiempos de latencia ayudando a mejorar la calidad de servicio experimentada por el usuario final. HSDPA es un servicio de conmutación de paquetes que puede proporcionar servicios en tiempo real como voz por IP, y servicios de no tiempo real como puede ser el envío de un mail. [1, 3]

Los conceptos de HSDPA pueden verse como una extensión de DSCH en el que se introducen modulaciones y códigos adaptativos (AMC), tramas cortas, operaciones multi-código, HARQ (Hybrid-ARQ) y planificador en la estación base (BS).

Para hacer funcionar la tecnología HSDPA hace falta una nueva estructura de canales. Se ha añadido un nuevo canal de transporte, HS-DSCH, muy similar a DSCH que puede ser compartido por todos los clientes de un sector. La primera multiplexación del canal se produce en el dominio del tiempo, donde cada TTI (2 ms) consiste en tres intervalos, también a veces referido como sub-trama. El TTI ha sido drásticamente reducido en comparación con 10, 20, 40, ó 80 ms. de TTI que se estandarizaban en el *Release 99*, para conseguir un menor retraso en una comunicación de ida y vuelta entre la BS y el terminal de recepción. [2]

En la trama multiplexada en el tiempo, se emplea un factor de ensanchamiento (SF) constante de 16, con un máximo de 15 códigos paralelos asignados a HS-DSCH en caso de que también se use multiplexación en el código. Estos códigos pueden estar asignados a un usuario en particular o ser repartidos entre varios clientes. El número de códigos paralelos asignados a un solo usuario dependerá de la carga de la red, de los requisitos de la QoS, y de las capacidades de la UE en procesar códigos. (1, 5, 10, ...). [2]

Para poder mantener las operaciones del canal HS-DSCH, se han añadido tres nuevos canales físicos. Dos de ellos tendrán funciones de control HS-SCCH y HS-

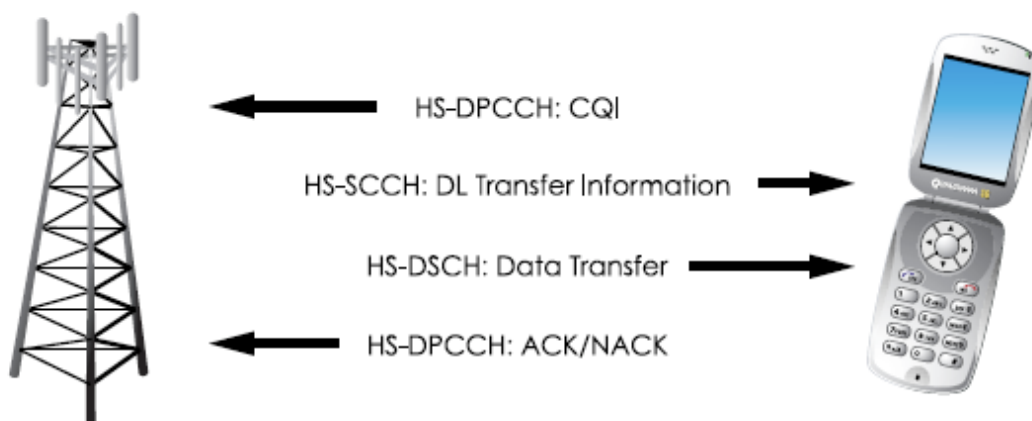
## 2. HSDPA

DPCCH, mientras que el otro tendrá la función de transportar la información del enlace descendente, HS-PDSCH. [2, 6]

HS-SCCH tiene una tasa fija de 60 kbps ( $SF = 128$ ) y se encarga de transportar la señalización en el downlink entre la estación base y el UE antes del comienzo de la planificación en el reparto de los TTI. Este canal incluye la identidad del UE, la información relacionada con el HARQ y los parámetros que determinan el formato transporte del canal HS-DSCH seleccionados por el mecanismo de adaptación del enlace. Varios canales HS-SCCH pueden emplearse en un sector para permitir el empleo de varios canales HS-DSCH que funcionen en paralelo. Los terminales suelen estar preparados para poder monitorizar varios canales HS-SCCH en paralelo, aunque en cada TTI sólo uno de ellos puede tener información para la UE. [2, 6]

HS-DPCCH ( $SF = 256$ ) es un canal de subida y se encarga de transportar los mensajes ACK/NACK, los cuales señalan si la transmisión ha sido correctamente decodificada o no, además de transportar el mensaje CQI el cual usará la estación base para realizar la adaptación del enlace más adecuada a ese momento. [2, 6]

En la **Figura 2.1** puede verse una imagen en la que se esquematiza la función de todos estos canales.



**Figura 2.1:** Canales en HSDPA [2].

Además de las funciones que hemos nombrado anteriormente, el canal HS-PDSCH es el encargado de transmitir la información de señalización de las portadoras radio (SBR). Las SBR son usadas durante el establecimiento de la conexión HSDPA, para establecer los accesos a las portadoras radios (RABs) donde se indican la frecuencia que se deberá emplear en la transmisión radio, y durante la comunicación para enviar información relacionada con los posibles traspasos o reconfiguraciones. El

## 2. HSDPA

---

uso de un canal de datos para transmitir información de señalización reduce la velocidad neta de descarga que experimenta el usuario, por lo que el 3GPP ha estandarizado el posible empleo de un canal dedicado de UMTS (DPDCH) para el envío de esta información, con el fin de que el usuario no vea mermada su tasas binaria de descarga. En caso de utilizar esta configuración, será necesario el empleo de un canal DPDCH por cada cliente que está accediendo al servicio HSDPA. [2,3,23]

La utilización de HSDPA implica un gran incremento de la funcionalidad de la estación base. Ésta debe ser más inteligente y más sensible a los cambios de las condiciones de la interfaz radio. Para que estos nuevos requerimientos puedan funcionar, es necesario realizar cambios en la estructura general de UMTS, más específicamente en la arquitectura de la red de acceso. (UTRAN).

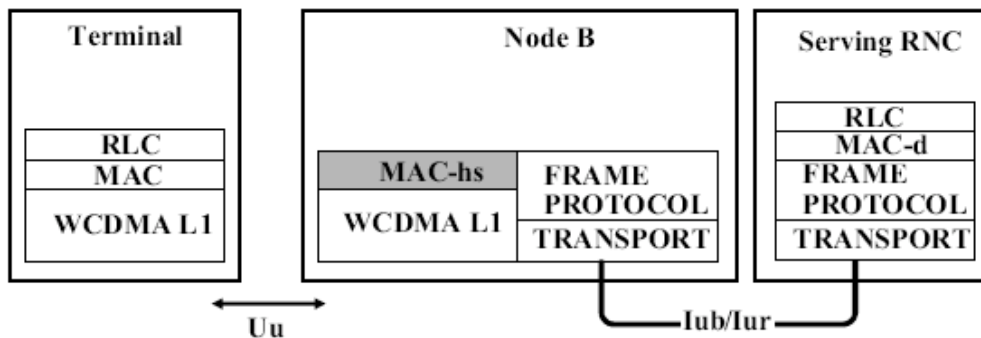
La RNC (Radio Network Controller) recibe los paquetes de información de la red (Internet u otras) de la misma manera que se hacía para UMTS. Los datos pasan a la capa PDCP, la cual dependiendo de la aplicación o de la implementación de la RNC, puede comprimir las cabeceras de los paquetes que vienen de capas superiores, como pueden ser las TCP o UDP. A continuación los datos pasan a la capa RLC, la cual segmenta los paquetes en otros más pequeños para asegurar que puedan ser encapsulados en un conjunto de RLC-PDU (Protocol Data Unit). Si la aplicación que esté empleando el usuario no es en tiempo real, este nivel es también el encargado de controlar las retransmisiones que sean necesarias. Este RLC-PDU pasa a la entidad MAC-d que también se encuentra dentro de la RNC. En esta entidad el PDU quedará almacenado en un buffer hasta que la estación base permita el traspaso de esta información a la siguiente capa. Antes de transferir la información a la estación base, ésta debe pasar por una nueva capa llamada *Frame Protocol Layer*, la cual diferenciará del canal común la información de datos y la de control empaquetando cada una con su protocolo pertinente antes de enviarlo a la BS. [1, 2, 3]

Los datos que llegan a la estación base a través de la interfaz Iub, son gestionados por la capa MAC-hs, la cual incluye el planificador de HSDPA que determina el UE o el grupo de UE a los que debe servir en un momento determinado. El planificador puede completar su tarea en el dominio del tiempo, en el dominio del código o emplear ambos. Para la multiplexación en el tiempo se emplean las subtrama de 2 ms. de las que anteriormente hemos hablado, mientras que para la multiplexación en el código se disponen de 15 canales HS-PDSCH en los cuales se

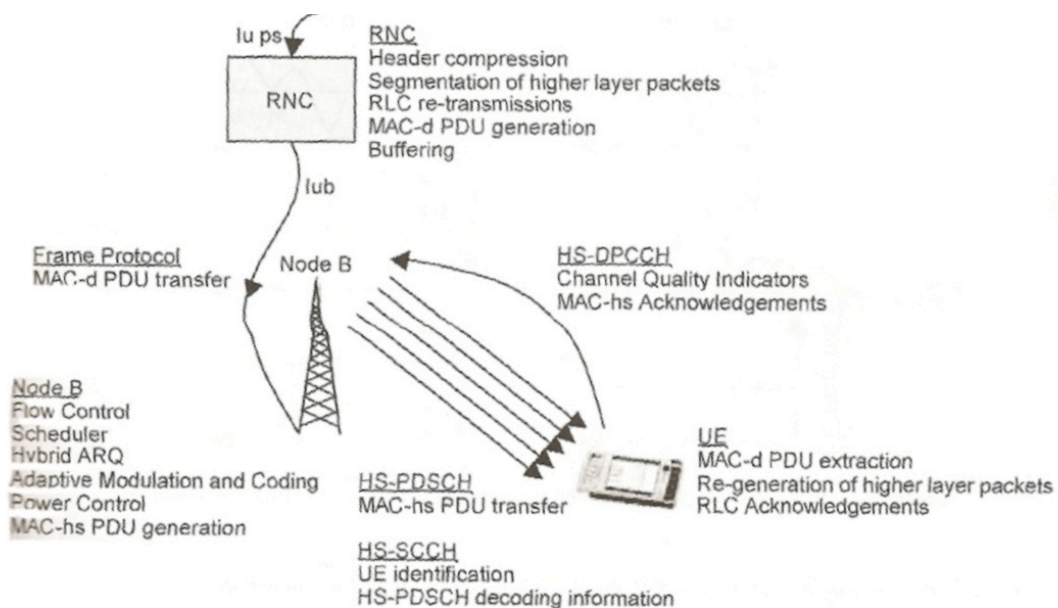
## 2. HSDPA

puede cambiar el código en función del usuario que lo reciba. El canal físico HS-SCCH transporta la identidad de la UE al que se va a dirigir la información en un momento determinado, así como los datos necesarios para ayudar a la decodificación del canal HS-PDSCH. Aparte de estas funcionalidades, esta capa se encarga de nuevas funciones como son HARQ, que permiten rápidas retransmisiones entre la estación base y la UE, y AMC la cual determina y configura la modulación de la transmisión más adecuada cada 2 ms, o lo que es lo mismo, cada sub-trama. En **Figura 2.2 y 2.3** pueden verse una representación gráfico de los conceptos explicados. [3]

La UE provee a la estación base de acuses de recibo para cada PDU recibido, las cuales son usadas por HARQ para determinar si es necesaria una retransmisión del paquete o debe enviar uno nuevo. Estas notificaciones, además de los CQI, son enviados en el enlace ascendente por el canal HS-DPCCH.



**Figura 2.2:** Arquitectura de protocolos de HSDPA. [1]



**Figura 2.3:** Conceptos generales de HSDPA. [3]

## 2. HSDPA

Las sustanciales diferencias entre los canales físicos que transportan la información de señal de UMTS y de HSDPA, propician que en esta nueva tecnología se pueda aumentar la tasa binaria de descarga.

En la **Tabla 2.1** se incluye un resumen esquemático de las principales diferencias entre los dos canales.

**Tabla 2.1:** Comparación DPCH y HS-PDSCH [3].

	<i>DPCH</i>	<i>HS-PDSCH</i>
Tipo de canal físico	Dedicado	Común
TTI (ms)	10, 20, 40, 80	2
Transporte múltiple de bloques por TTI	Sí	No
Esquema de modulación	QPSK	QPSK, 16QAM, 64QAM
Canalización múltiple de códigos	Sí, pero no en la práctica	Sí
Traspaso Soft	Sí	No
Bucle cerrado	Sí	No
Planificador BS	No	Sí
AMC en estación base	No	Sí
Control de flujo en BS	No	Sí
Retransmisiones en BS	No	Sí
Retransmisiones en RNC	Sí	Sí

### **2.2 Tasas binarias HSDPA.**

En esta sección vamos a determinar las tasas binarias que se alcanzan con HSDPA únicamente desde un punto de vista teórico. En la práctica estas velocidades sólo pueden conseguirse bajo unas condiciones de radiofrecuencia (RF) óptimas, sin tráfico de datos alguno, y con una sola conexión HSDPA para no tener que compartir los recursos del enlace radio con otras conexiones. [3]

La tasa binaria resultante dependerá del esquema de modulación empleado, del número de códigos asignados al cliente y de la tasa de código de corrección de errores que se emplee. La tasa binaria neta de descarga viene determinada en la ecuación (2.1):

$$V_{binaria\ neta} (Mbps) = \frac{Cods \cdot T_{chip} \cdot BpS \cdot T_{Código}}{SF} \quad (2.1)$$

## 2. HSDPA

Donde  $T_{\text{Chip}}$  es la tasa de chip que toma un valor de 3.84 Mcps. SF es el factor de ensanchamiento. BpS es el número de bits por símbolo que se transmiten el cual dependerá de la modulación empleada.  $T_{\text{Código}}$  es la tasa de código de redundancia que se introduce en la trama de datos, valor condicionado a las características del enlace radio en el que se produzca la comunicación. Cuanto mayor sea ésta, menor tasa neta transmitiremos. Cods es el número de códigos asignados al usuario.

Teniendo en cuenta estos cálculos, en la **Tabla 2.2** se especificarán las velocidades máximas teóricas que se pueden obtener con HSDPA para las modulaciones más comúnmente empleadas:

**Tabla 2.2:** Velocidades máximas teóricas de HSDPA

ORDEN	MODULACIÓN	<i>Bit</i>		VELOCIDAD	VELOCIDAD	VELOCIDAD
		<i>Símbolo</i>	CÓDIGO	MÁXIMA 5 CÓDIGOS (MBPS)	MÁXIMA 10 CÓDIGOS (MBPS)	MÁXIMA 15 CÓDIGOS (MBPS)
1	QPSK 1/2	2	1/2	1,2	2,4	3,6
2	QPSK 2/3	2	2/3	1,6	3,2	4,8
3	QPSK 3/4	2	3/4	1,8	3,6	5,4
4	QPSK 5/6	2	5/6	2	4	6
5	QPSK 7/8	2	7/8	2,1	4,2	6,3
6	16-QAM 1/2	4	1/2	2,4	4,8	7,2
7	16-QAM 2/3	4	2/3	3,2	6,4	9,6
8	16-QAM 3/4	4	3/4	3,6	7,2	10,8
9	16-QAM 5/6	4	5/6	4	8	12
10	16-QAM 7/8	4	7/8	4,2	8,4	12,6
11	64-QAM 2/3	6	2/3	4,8	9,6	14,4
12	64-QAM 3/4	6	3/4	5,4	10,8	16,2
13	64-QAM 5/6	6	5/6	6	12	18
14	64-QAM 7/8	6	7/8	6,3	12,6	18,9

A pesar de que HSDPA nos puede ofrecer estas velocidades de descarga teóricas, la UE que usemos nos puede limitar la tasa de descarga, ya que no todas las UE están capacitadas para recibir la información a tales velocidades. Los terminales capaces de recibir señales HSDPA se han agrupado en varias categorías en función de sus capacidades para recibir información. Esta categoría será comunicada a la estación Jorge Casamayón Antón

## 2. HSDPA

base antes del inicio de la transmisión para que ésta tenga en cuenta las limitaciones del aparato. En la **Tabla 2.3** se especifican las características de cada categoría de terminal.

**Tabla 2.3:** Categorías de UE en HSDPA [3].

Categoría UE	Esquema de modulación	MIMO	Número máximo de códigos	Mínimo intervalo entre TTI	Máximo tamaño del bloque (bits)	Número total de bits en buffer (bits)
1	QPSK / 16QAM	No	5	3	7298	19200
2	QPSK / 16QAM	No	5	3	7298	28800
3	QPSK / 16QAM	No	5	2	7298	28800
4	QPSK / 16QAM	No	5	2	7298	38400
5	QPSK / 16QAM	No	5	1	7298	57600
6	QPSK / 16QAM	No	5	1	7298	67200
7	QPSK / 16QAM	No	10	1	14411	115200
8	QPSK / 16QAM	No	10	1	14411	134400
9	QPSK / 16QAM	No	15	1	20251	172800
10	QPSK / 16QAM	No	15	1	27952	172800
11	QPSK	No	5	2	3630	14400
12	QPSK	No	5	1	3630	28800
13	QPSK/16QAM/ 64QAM	No	15	1	34800	259200
14	QPSK/16QAM/ 64QAM	No	15	1	42196	259200
15	QPSK / 16QAM	Sí	2x15	1	2x23370	345600
16	QPSK / 16QAM	Sí	2x15	1	2x27952	345600

Por ejemplo un terminal de clase 11 puede tener como máximo 5 códigos asignados trabajando sólo la modulación QPSK, lo que nos indica que podrá trabajar como máximo a una velocidad de 2.1 Mbps. Sin embargo, observando la **Tabla 2.3**, podemos ver que este terminal no podrá alcanzar esa velocidad, ya que sólo será capaz de recibir paquetes de un tamaño de 3630 bits cada 4 ms y de leer una de cada dos tramas consecutivas como máximo, lo que reduce su capacidad de recibir datos en un factor de dos. Según estos datos, un terminal de clase 11 sólo podrá procesar 907.5 kbps.

## 2. HSDPA

---

En esta tabla se añaden nuevas posibilidades ya normalizadas pero aún lejos de aplicarse como son las antenas MIMO. Esto permitirá a la estación base transmitir dos señales paralelas desde sendas antenas que serán recibidas por otras dos situadas en el UE. Al ser ambas señales recibidas independientes entre sí, el UE las combinará y procesará con el fin de reducir la tasa de fallos, y poder reducir el código de codificación de canal y aumentar la tasa binaria neta recibida. [3]

La última columna que podemos encontrar en la **Tabla 2.3** representa el tamaño del buffer que poseen los terminales donde almacenan los bits recibidos en la comunicación y se procesan para detectar posibles errores antes de guardarlos en un dispositivo de almacenamiento, como pudiera ser un disco duro o una memoria ROM. Cuanto mayor sea el tamaño de este buffer mayor número de bloques de canales se podrán procesar en paralelo en el proceso HARQ además de permitir el empleo de corrección de errores IR (Incremental Redundancy) en caso de detectar algún paquete erróneo. [1, 3, 4]

### **2.3 Capa PDCP.** [3]

La capa PDCP provee al sistema de la funcionalidad de comprimir las cabeceras de los paquetes que vienen de capas superiores, como pueden ser por ejemplo las TCP/IP o las cabeceras para IPv4 y IPv6.

Esta capa adquiere una considerable importancia para aquellas aplicaciones que tienen largas cantidades de bits dedicados a cabeceras, generados por protocolos de niveles superiores como pueden ser la voz por IP, ya que si no, la tasa neta de información recibida por paquete sería muy pequeña reduciendo el rendimiento total del sistema.

### **2.4 Capa RLC.**

La capa RLC procesa los datos para las conexiones HSDPA de la misma manera que para las conexiones DPCH en UMTS. Para las aplicaciones que no sean en tiempo real probablemente se emplearán acuses de recibo (modo *acknowledge*) para proceder a la retransmisión en caso de que sea necesario, mientras que para las aplicaciones que no sean en tiempo real, muy probablemente estos acuses de recibo quedarán desactivados (modo *unacknowledge*). [3]



## 2. HSDPA

---

Las principales funciones que tiene esta capa son la segmentación y reensamble de PDUs de longitud variable en PDUs de la capa RLC más pequeños, entrega de información en distintos modos, concatenación, secuenciamiento de PDUs de capas superiores, detección y corrección de errores, detección de duplicación, control de flujo, y suspensión o resumen de envío de información. [3, 17]

### **2.5 Entidad MAC-d.**

Cada conexión HSDPA tiene su propia entidad MAC-d dentro del RNC. Esta entidad MAC-d puede generar uno o más flujos MAC-d, los cuales serán remitidos a través del Iub con el consiguiente mapeo en el canal de transporte HS-DSCH hacia la estación base. La velocidad con la que esta capa sirva los flujos MAC-d a la capa MAC-hs, será independiente para cada flujo MAC-d y dependerá de la velocidad con la que la estación base transmita cada uno de los flujos, para reducir la tasa de paquetes descartados y retransmitidos como consecuencia de la congestión de MAC-hs. [3, 27]

El estándar especifica que 8 MAC-d PDU como máximo, pueden ser configurados como un sólo flujo de MAC-d, aunque será la estación base la que proporcione información acerca del máximo tamaño de MAC-d PDU que puede ser remitido en cualquier instante. [3]

Esta entidad permite la introducción de prioridades en los MAC-d PDU, las cuales se usan para crear una serie de pilas de prioridades en el flujo de MAC-d.

### **2.6 Frame Protocol Layer. [3]**

En una comunicación, HSDPA utiliza tanto la trama de información como las de control, debiendo encapsular cada una de ellas en una trama común HS-DSCH con los protocolos que le correspondan. En las tramas de datos de HS-DSCH se encapsularán todas las MAC-d PDU que provienen de la capa previa y que deben ser transmitidas a través de la interfaz Iub. En las tramas de control de HS-DSCH se introducirá la información que posteriormente se empleará para el control de flujo y de congestión del Iub.

La tasa binaria a la cual el RNC envía las tramas de datos HS-DSCH hacia la estación base, depende de las instrucciones que se reciban del control de flujo de la entidad MAC-hs.

## 2. HSDPA

---

### 2.7 Entidad MAC-hs.

Esta entidad es la más importante de toda la pila de protocolos de HSDPA ya que es la que incluye la funcionalidad del control de flujo, el planificador, AMC y HARQ. Cada célula que soporte HSDPA deberá poseer su propia entidad MAC-hs.

#### 2.7.1 Control de flujo.

El control de flujo de la entidad MAC-hs opera entre la estación base y RNC y su objetivo es el de asegurar que la estación base tiene suficientes datos para llenar las tramas HS-PDSCH, pero evitando siempre el desbordamiento de los buffer. Para controlar la velocidad a la que el RNC debe transferir información a la estación base, es necesario que ésta transmita señales de control a la RNC avisándola de la máxima cantidad de MAC-d PDU que puede transferir en un determinado tiempo. El control de flujo hace uso de las tramas de control de la *Frame protocol Layer* para realizar el aviso. El control de flujo está preparado para las pilas de prioridades que se establecen en los flujos de MAC-d, por lo que existirá una señal de aviso para cada una de las colas de prioridades. [3]

Una vez ha comenzado, el control de flujo funciona como una rutina, cuyo algoritmo no se encuentra estandarizado y siendo cada operador el que decide cual poner. El algoritmo más empleado es el que toma medidas periódicas del throughput de la red y de la ocupación de las colas. Para indicar la rapidez a la que el RNC debe servir datos a las colas, la estación base asigna un número de créditos en función de las medidas que vaya tomando. Cuantos más créditos tenga una cola en particular, mayor será la velocidad con el que la RNC va proporcionando datos, siempre y cuándo se pueda ya que puede darse la posibilidad de que no haya más datos para una cola en particular. En a **Tabla 2.4** se muestra el procedimiento por el que se asignan los créditos y en la **Figura 2.4** un esquema del procedimiento que se sigue en el control del flujo.

**Tabla 2.4:** Flujo de créditos [3].

	<i>Baja ocupación de buffer</i>	<i>Alta ocupación de buffer</i>
Throughput bajo	Bajo número de créditos	Bajo número de créditos
Throughput alto	Alto número de créditos	Alto número de créditos

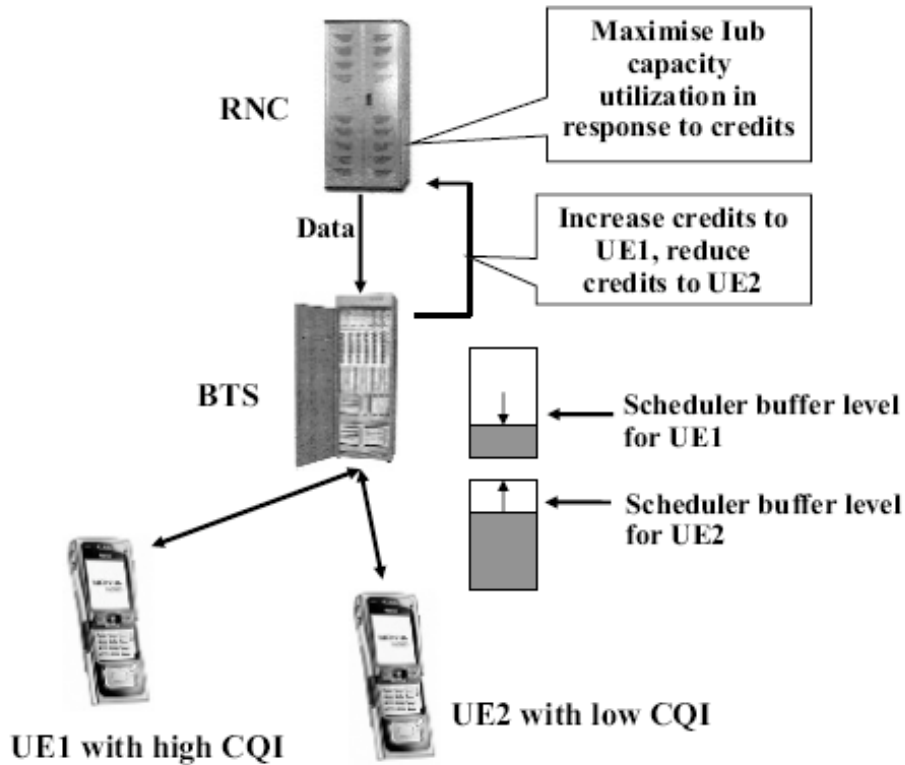


Figura 2.4: Conceptos del control de flujo. [1]

### 2.7.2 Planificador.

El planificador es un elemento clave en HSDPA y determina el comportamiento global del sistema además de su rendimiento. Su función principal es la de determinar en cada TTI el terminal al que debe ir dirigido el canal HS-DSCH además de la configuración del AMC que determinará la tasa binaria final. Gracias al corto periodo de tiempo que representa un TTI, además de la información que recibe la estación base por el CQI, el planificador se adapta rápidamente a las condiciones del canal empleando el orden de modulación que mejor convenga en ese momento. Además de multiplexar en el orden del tiempo, el planificador es capaz de proporcionar servicio a más de un UE por TTI si la multiplexación por código se encuentra activa, caso en el que será necesario que exista un canal HS-SCCH por cada UE que sea atendido en el mismo tiempo. El algoritmo que se emplea en el planificador depende del operador encontrándose sólo normalizados los mensajes que se deben emitir para comunicar al UE de cuando le ha sido asignado un TTI, empleando para ello un canal físico HS-SCCH. Los algoritmos que se suelen emplear en los planificadores son el *Round Robin* (RR), *Proportional Fair* (PF) y *Maximum Carriren Interference* (MCI). [1, 2, 3]

## 2. HSDPA

---

El algoritmo Round Robin es el más sencillo de todos y por ellos el más utilizado. Se basa en la asignación de los TTI de manera rotativa entre todos los UE que se encuentren en la estación base sin tener en cuenta las condiciones del canal. El problema del empleo de RR es que tiene un efecto lineal sobre el throughput experimentado por cada UE, ya que el valor de esta magnitud descenderá en la misma proporción con la que aumente el número de clientes que acceda al servicio HSDPA, a no ser que alguno de ellos disponga de prioridad sobre los demás. RR es compatible con el empleo de varios códigos. En caso de que exista un número de códigos disponibles mayor que el de clientes, se podrán repartir entre ellos y no hará falta dirigir un TTI cada vez a un cliente. [2, 3]

El algoritmo PF tiene en cuenta las condiciones del canal a la hora de asignar los TTI. Este planificador asignará los TTI en el momento en el que las condiciones del canal para ese usuario sean las más propicias en relación con su condición media de canal. El resultado es que todos los usuarios tienen la misma probabilidad de que se les asigne servicio incluso cuando las condiciones de canal son muy diferentes entre ellos. Este algoritmo provee al sistema de un buen balance entre el throughput del sistema y la imparcialidad. [2, 3]

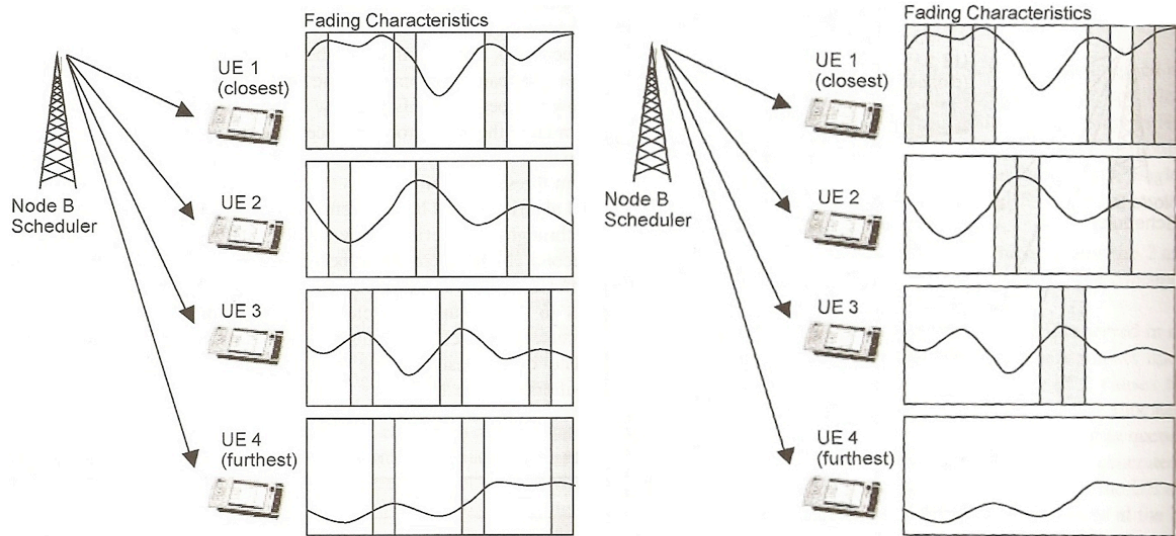
El algoritmo MCI asigna un TTI al usuario que posee la SNR más alta en ese momento. Este sistema proporciona a los clientes los mayores valores de throughput siempre y cuando las condiciones de su interfaz sean muy favorables ya que este algoritmo no tiene ningún mecanismo de imparcialidad, por lo que aquellos usuarios que se encuentren en las zonas más alejadas de la estación base, carecerán de servicio. [3]

En la **Figura 2.5**, el lector puede encontrar una representación gráfica de los dos algoritmos más empleados en el planificador de HSDPA, el algoritmo RR y el MCI.

### **2.7.3 Adaptación de modulación y código.**

AMC es una parte fundamental de HSDPA y consiste en realizar una continua optimización de la tasa de código redundante, del orden de modulación, del número de códigos empleado, y de la potencia por código transmitida. [2]

## 2. HSDPA



**Figura 2.5:** Esquemas algoritmo planificador con un solo código. Algoritmo RR en la izquierda, algoritmo MCI en la derecha. [3]

En el último estándar de HSDPA se han normalizado el empleo de las modulaciones QPSK, 16QAM y 64QAM lo que significa el poder transmitir 2, 4 y hasta 6 bits por símbolo, aunque este aumento va de la mano de una menor inmunidad al ruido, por lo que sólo se podrán emplear las modulaciones QAM cuando las condiciones del enlace radio sean muy favorables.

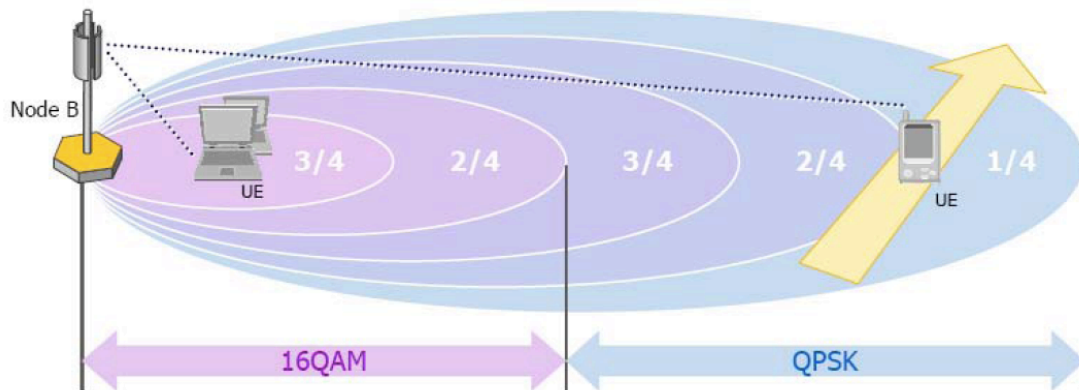
Para poder utilizar cualquiera de las modulaciones QAM es necesaria una estimación de la amplitud en el receptor puesto que la naturaleza de la modulación lleva consigo distintos valores en la amplitudes recibidas. Esta es la razón por la que en HSDPA se elimina el control de potencia en cada TTI y éste se realiza en la estación base. De esta forma los usuarios que estén más próximos a la base poseerán una mayor SNR recibida los que les permitirá emplear una modulación más alta y una menor tasa de codificación. [2, 4]

La tasa de codificación de canal también puede ser modificada de forma dinámica de acuerdo a las condiciones Radioeléctricas pudiendo variar desde 0.5 hasta 0.98. Esta tasa de codificación no toma valores estándar y puede tomar aquellos que el operador considere más oportuno en función de la localización de la estación base. Por norma general el número de tasas de codificación suele ser bastante elevado para poder adaptarse mejor al canal.

El resultado de esta técnica puede verse en la **Figura 2.6** donde se aprecia que para las condiciones adversas se deberá emplear una baja modulación y una tasa de

## 2. HSDPA

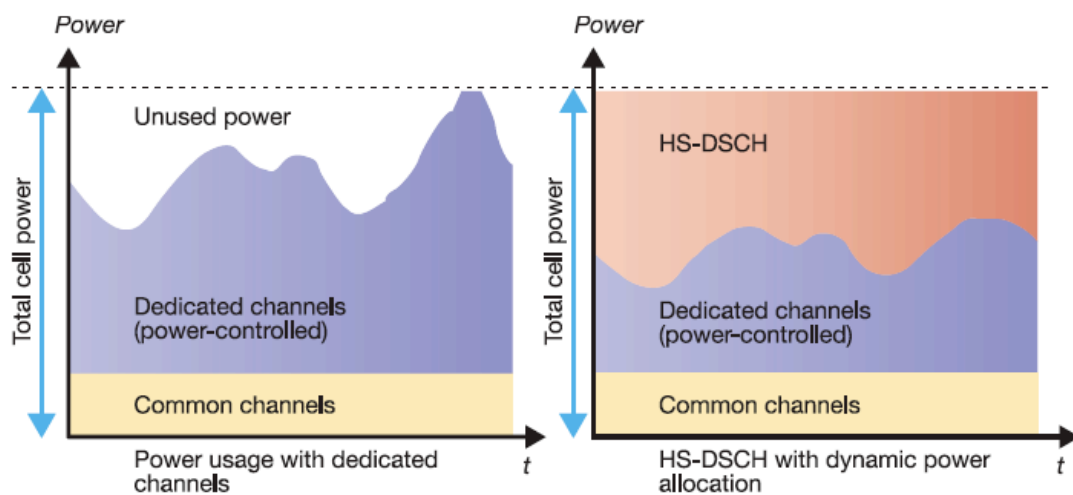
codificación alta mientras que en el caso de que el entorno sea favorable ocurre exactamente lo contrario. En la **Figura 2.6** que mostraremos a continuación aparece representada una imagen acorde a las características estandarizadas en el *Release 6*, por lo que no aparece la modulación 64QAM que no se estandarizó hasta el *Release 7*.



**Figura 2.6:** Modulación y codificación adaptable en HSDPA en un sector de tres. [4]

Otra cualidad del AMC es la mejor utilización de la potencia de la estación base. Si no está especificada ninguna limitación, la potencia que sobra de los canales utilizados para transmitir las conversaciones telefónicas puede ser empleada para los canales HS-DSCH, provocando que siempre se utilice la potencia máxima de la estación. [3, 4, 6]

En la **Figura 2.7** puede apreciarse gráficamente el aprovechamiento óptimo de la potencia de la estación base.



**Figura 2.7:** Utilización de potencia con y sin HSDPA. [5]

## 2. HSDPA

---

### 2.7.4 HARQ.

Al realizarse la decodificación de canal en el terminal de recepción, pueden encontrarse errores en la información recibida. Cuando sucede esta situación, se envía al transmisor una petición para que se le vuelva a enviar la información de manera automática. Al concepto general de solicitar la retransmisión de la información que ha sido recibida con errores se la llama ARQ (Automatic Repeat reQuest). De este modo el sistema HSDPA cuenta de dos métodos para proceder a la corrección de errores, mediante la redundancia incluida en los bits de información y mediante la retransmisión de la información errónea.

La idea de que este sistema sea híbrido es consecuencia de utilizar no sólo la retransmisión para recuperar la información, si no combinarla con la información que se había recibido anteriormente para maximizar la probabilidad de éxito, de modo que se necesitará un buffer en el terminal para almacenar los datos recibidos y poder realizar la combinación e intentar la decodificación.

La técnica que se emplea para pedir la retransmisión se llama SAW (Stop and Wait) en la cual el transmisor, después de enviar un bloque, espera la confirmación de su correcta decodificación antes de enviar el siguiente, confirmación que se envía mediante un acuse de recibo ACK. Si la decodificación no es correcta, el receptor envía un mensaje de fallo NACK, ante la cual el transmisor envía de nuevo el paquete. En caso de que el transmisor no reciba ningún mensaje de aviso, supondrá que el paquete se ha perdido y lo reenviará de nuevo. El problema reside cuando lo que se pierde en la red es el acuse de recibo y no el paquete de información, caso en el que el receptor recibirá un paquete repetido. Para evitar este problema será necesario añadir un bit de secuencia a cada envío alternándose entre 1 y 0 , con lo que el receptor detectará que se trata de una copia en caso de que se reciban dos bit de secuencia iguales. [3, 4]

El sistema SAW, dada su naturaleza, es muy poco eficiente a la hora de aprovechar los recursos del canal. Para intentar mejorarlo existe otro mecanismo, Selective Repeat (SR), que se basa en el protocolo de ventanas deslizantes. Con este método todos los bloques se envían consecutivamente dentro del largo de la ventana y el receptor va enviando los ACK de los paquetes que va recibiendo. En este método los paquetes van numerados correlativamente, por lo que al enviar el ACK se debe avisar al paquete al que corresponde. Cuando el transmisor termina de enviar, la

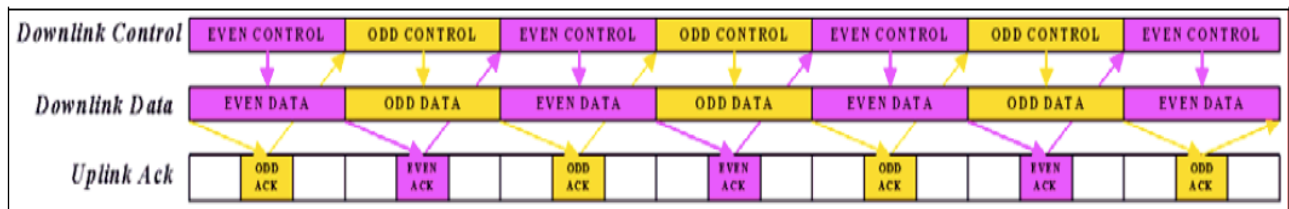
## 2. HSDPA

ventana procede al reenvío de los paquetes erróneos para posteriormente continuar con el envío de nuevos datos. Con este sistema se solucionan los problemas de SAW, siendo, sin embargo necesario, mucha más información de señalización, se requerirá mucha más memoria en el terminal al tener que guardar los paquetes para la combinación y será necesario algún mecanismo que recupere el número de paquete erróneo para realizar la combinación. [4]

Para conseguir las ventajas de SR pero la simplicidad de SAW, se emplea el sistema SAW con N canales. Para explicar el funcionamiento de este sistema vamos a tomar como ejemplo un sistema con dos canales.

En un sistema SAW de dos canales, se separan los TTI en pares e impares constituyendo cada uno de ellos un canal. En un TTI se envía la información de datos y de control del canal descendente, por ejemplo en los pares, mientras que en el canal ascendente se está enviando el ACK del otro canal, el impar. En el siguiente TTI se invierten los papeles. De este modo se evitan los tiempos ociosos de espera y sólo se necesitan unos pocos bits extras para reconocer el canal.

Para que el lector se haga una idea más clara del funcionamiento del algoritmo SAW de 2 canales, en la **Figura 2.8** se muestra una representación gráfica del mismo.



**Figura 2.8:** Esquema SAW de 2 canales. [4]

Aun a pesar de la mejora que supone esta técnica, dos canales no son suficientes para proporcionar un buen tiempo de respuesta, por lo que se aumenta el número de canales de 2 a N, teniendo como máximo 6 canales paralelos.

Por otro lado, la información de las retransmisiones no tiene porqué ser la misma que la de la retransmisión. En HSDPA se emplean dos métodos: Chase Combining (CC) en el cual se envía en la retransmisión la misma información que en el primer envío, para que así el receptor combine distintas recepciones del mismo bloque. [1, 3, 4]

El otro método, Incremental Redundancy (IR), se envían los datos con nuevos bit de redundancia que ayuden al decodificador a detectar y corregir el paquete de datos erróneo que ha recibido en la transmisión anterior. El problema que existe



## 2. HSDPA

---

utilizando este método es que se requiere una mayor memoria en el receptor para poder almacenar los nuevos datos con más redundancia. [1, 3, 4]

### **2.8 Canales físicos.**

La introducción de HSDPA requería canales diferentes a los que había en UMTS que se ajusten mejor a las necesidades que requiere esta nueva tecnología. Estos nuevos canales son HS-PDSCH y HS-SCCH en el sentido descendente y HS-DPCCH en el sentido ascendente. A pesar de que cada uno de estos canales tiene una función determinada, existe la posibilidad de asociar un canal físico dedicado de UMTS (DPCH) a uno de datos de HSDPA que permita el envío de las señales de control al usuario al que estamos prestando servicio.

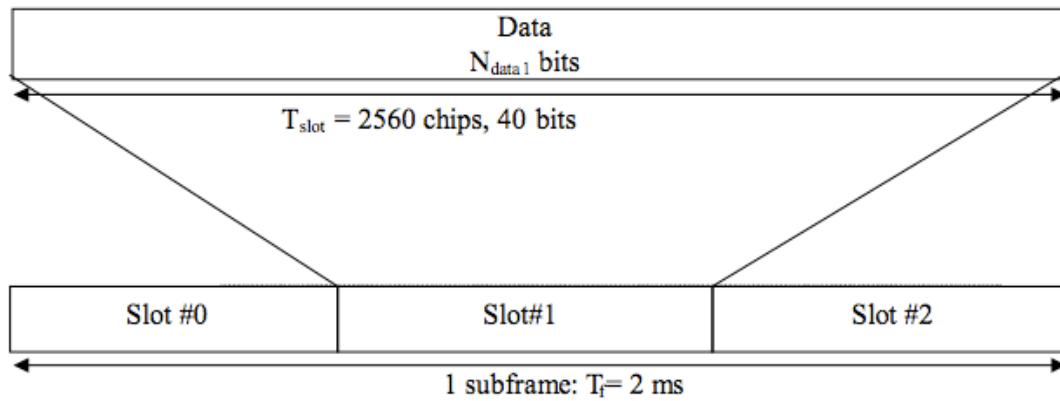
#### **2.8.1 High Speed Shared Control Channel (HS-SCCH)**

HS-SCCH es un canal físico común en el enlace descendente que permite la transmisión de las señales de control de HSDPA. Esta señal de control contiene la identificación del UE al cual el planificador ha asignado un determinado TTI, con el fin de que decodifique el canal HS-PDSCH, incluyendo además información para ayudar a dicha decodificación. Un solo HS-SCCH puede servir para todas las conexiones HSDPA que existan en una celda siempre y cuando no exista multiplexación en el código. En caso de que ésta exista, será necesario un canal por cada código empleado. Las especificaciones del estándar 3GPP determinan que el número máximo de canales HS-SCCH que puede haber simultáneamente en una célula es de cuatro, por lo que en un mismo momento sólo cuatro UE pueden recibir información de un mismo TTI. [3]

Cada TTI de 2 ms del canal HS-SCCH, está formado por tres intervalos consecutivos en las cuales se almacena la información con un factor de ensanchamiento constante de 128. Este canal se transmite con una velocidad de 60 kbps, por lo que transportará 120 bits de control por cada TTI.

En la **Figura 2.9** puede verse el esquema de un TTI del canal HS-SCCH formado por tres intervalos.

## 2. HSDPA



**Figura 2.9:** Esquema del canal HS-SCCH. [6]

Al transportar este canal información importante a la hora de decodificar el canal HS-PDSCH, esta trama se transmitirá con un retraso de dos intervalos (1.33 ms) para permitir al terminal leer la información contenida en el primer intervalo del canal HS-SCCH antes de comenzar a procesar la información recibida por HS-PDSCH. [3]

En la **Tabla 2.5** se muestra en detalle toda la información que contienen la trama HS-SCCH y la forma en la que se encuentra repartida en el TTI.

**Tabla 2.5:** Contenidos del HS-SCCH [3].

	<i>Número de Bits</i>	<i>Intervalo en la que se localiza</i>
Código de canalización	7	1°
Esquema de modulación	1 ó 2	1°
Identidad UE	16	1°
Índice del tamaño de bloque de transporte	6	2° y 3°
Proceso HARQ	3	2° y 3°
Redundancia y versión de la constelación	3	2° y 3°
Indicador de nuevo dato	1	2° y 3°

El código de canalización define el bloque de códigos del canal HS-PDSCH que le han sido asignados durante el siguiente TTI. Todos los códigos están siempre asignados de manera consecutiva. En el esquema de modulación se indica al decodificador la modulación de la información recibida, sabiendo que 0 es QPSK y 1 es 16 QAM. A partir del *Release 7* se ha introducido 64QAM por lo que será necesario el empleo de dos bits para definirlo. La identidad del UE corresponde con el HS-DSCH Radio Network Temporary Identity (H-RNTI), valor que asigna el RNC al terminal en el momento de comenzar la transmisión y que dura durante todo el

## 2. HSDPA

---

procedimiento. El índice del tamaño de bloque de transporte puede ser usado en combinación con el código de canalización para calcular el tamaño de bloque que se ha recibido. Los bits de proceso de HARQ definen el proceso que va a seguir HARQ para manejar los procesos de retransmisión y corrección en caso de que un bloque haya sufrido algún error de transmisión. La redundancia y versión de la constelación hace referencia a la fila de una tabla estandarizada dentro del 3GPP TS 25.212 la cual aporta nueva información dependiendo de la constelación que se esté usando en la modulación. Esta información está relacionada con prioridades y procesos de recuperación de errores. El indicador de nuevo dato sólo indica si el dato recibido es nuevo o es una copia de otro anteriormente enviado. En caso de que se emplee el método SAW de N canales que anteriormente hemos explicado, será necesario que este parámetro disponga de  $2^N$  bits. [3, 6]

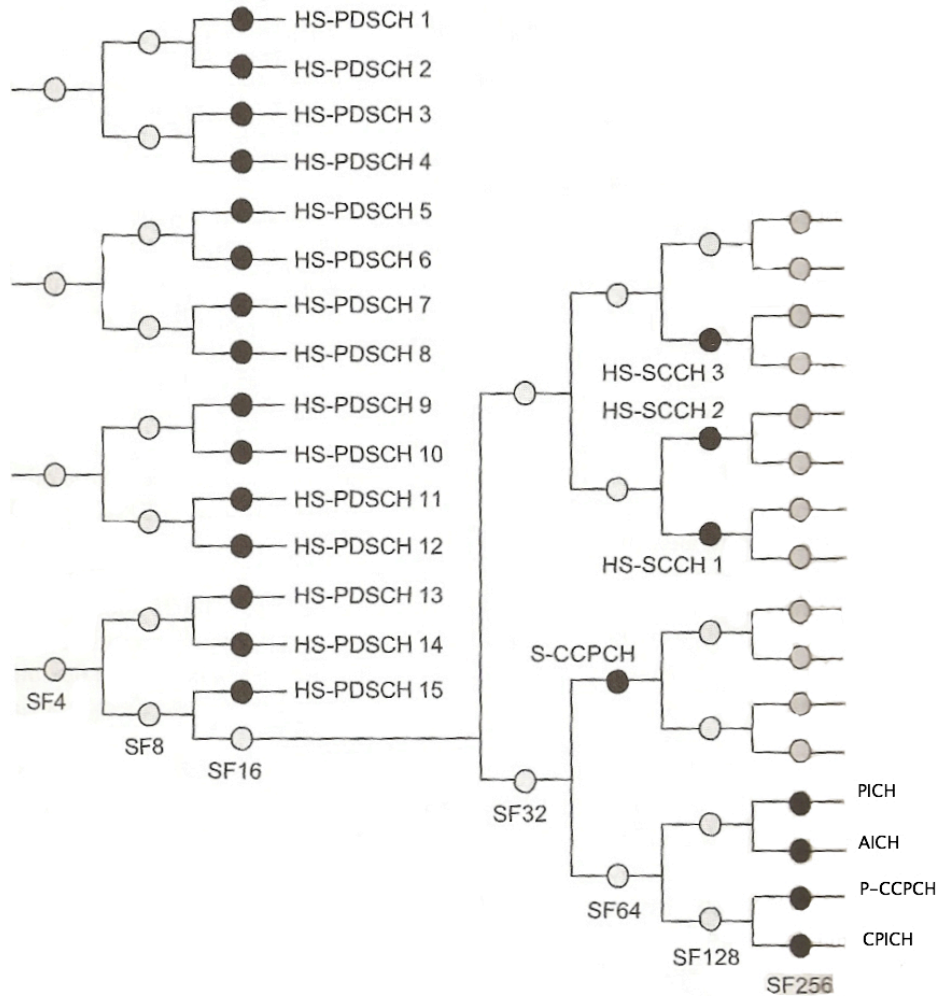
### **2.8.2 High Speed Physical Downlink Shared Channel. (HS-PDSCH)**

Este canal es el responsable de proveer a los clientes de las altas tasas binarias que es capaz de proporcionar HSDPA. Cada conexión HSDPA es sólo capaz de generar un máximo de un bloque de transporte durante un TTI, bloque que será procesado previamente por una capa física antes de ser mapeado dentro del canal HS-PDSCH. Este canal dispone de un factor de ensanchamiento constante de 16 y será necesario uno por cada código que empleemos en la comunicación pudiendo asignar más de uno a un solo cliente para conseguir un mayor throughput. [3]

La norma 3GPP TS 25.213 especifica que los canales HS-PDSCH y HS-SCCH deben provenir del mismo árbol generador de secuencias de códigos de canalización (árbol que crea códigos ortogonales entre sí), limitando a un número máximo de 15 el número de canales HS-PDSCH que pueden ser asignados a un mismo usuario. Esto significa que el decimosexto código de canalización no podrá ser usado para HSDPA, ya que será el utilizado para elaborar los códigos del resto de canales que precise la estación base.

En la **Figura 2.10**, puede verse una imagen de este árbol generador de secuencias de código configurado para generar 15 canales HS-PDSCH y 3 canales HS-SCCH.

## 2. HSDPA



**Figura 2.10:** Árbol de códigos con 15 HS-PDSCH y 3 HS-SCCH y canales comunes.

[3]

Los canales dedicados de UMTS que se emplean para la transmisión de información de voz, obtienen su código de este mismo árbol generador de secuencia de código (SF = 256), por lo que si bloqueamos el decimosexto código de canalización, sería imposible proporcionar servicio de voz a la celda. Como se puede ver en la **Figura 2.10**, cuanto mayor número de códigos de canalización dediquemos a HSDPA, menor será el número de secuencias de código que podremos emplear para servicios de voz, por lo que el planificador de la estación base, deberá encargarse de limitar el número de secuencias código de HSDPA en función de la demanda de llamadas telefónicas que exista en la red, ya que el tráfico de voz siempre dispone de prioridad sobre el de datos.

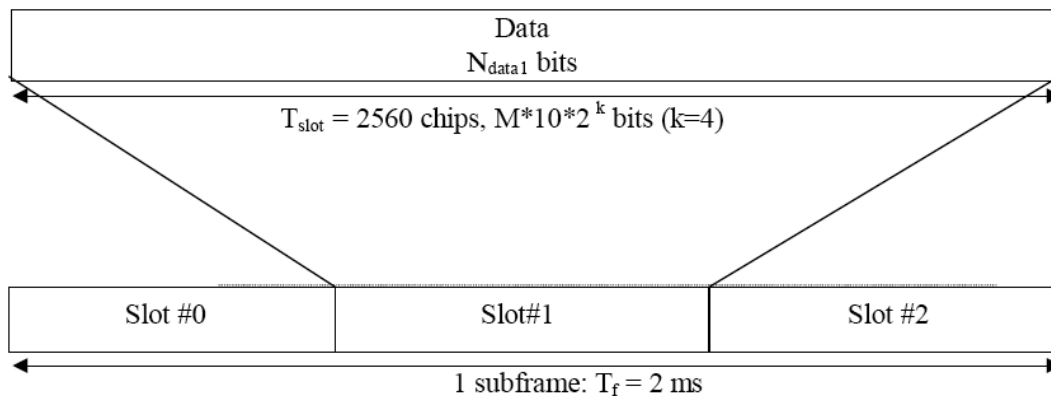
Al igual que en caso del canal HS-SCCH, una sub-trama de 2 ms del canal HS-PDSCH está formada por tres intervalos consecutivos. La información de este canal

## 2. HSDPA

está mapeada en fase y en cuadratura, tiene un factor de ensanchamiento de 16 y una tasa binaria de 480 kbps en caso de emplear QPSK, de 960 kbps cuando se usa 16QAM y de 1440 kbps con 64QAM. [3, 6]

Todas estas velocidades son las proporcionadas por un solo canal, pero al poder asignarle al usuario más de uno, esta velocidad puede ser incrementada.

En la **Figura 2.11** se muestra la estructura de una subtrama del canal HS-PDSCH formada por tres intervalos.



**Figura 2.11:** Estructura de la sub-trama del HS-PDSCH. [6]

La potencia que se ha dedicado al conjunto de HS-DPCH, se reparte a partes iguales entre todos los canales usados, pudiendo variar en función del número de canales que decida el AMC emplear en cada momento. Esta potencia máxima dedicada a HSDPA será controlada y fijada por la estación base en función de las condiciones del sistema. La ventaja de poder variar la potencia dedicada es principalmente la de emplear toda aquella potencia que queda sin usar como ya se mostró en la **Figura 2.7**. Esto maximiza la relación señal a ruido en recepción lo que permite al AMC emplear una modulación más potente y aumentar la tasa binaria de descarga. Sin embargo, el empleo de la máxima potencia de la estación base tiene la desventaja de aumentar la interferencia de aquellas conexiones que no sean las de HSDPA. En la teoría esto no debería suponer ningún problema si la red ha sido diseñada para funcionar siempre a la máxima potencia, aunque en la práctica pueden existir ciertas zonas de la celda, sobretodo las más alejadas de la base, en la que un pequeño aumento de la interferencia puede afectar al correcto funcionamiento de la comunicación.

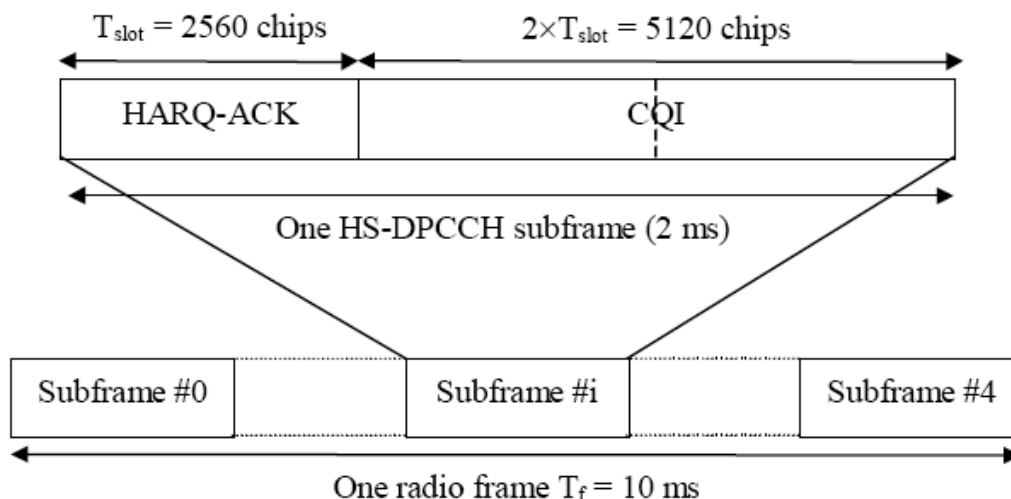
## 2. HSDPA

### 2.8.3 High Speed Dedicated Physical Control Channel (HS-DPCCH)

HS-DPCCH es un canal dedicado en el enlace ascendente cuya función es la de transferir a la capa MAC-hs de la estación base los acuses de recibo de los mensajes recibidos y el CQI. Aquéllos serán usados por la estación base para conocer los paquetes que han sido recibidos correcta e incorrectamente, y el CQI para que la BS decida cuál es la mejor modulación a emplear en ese momento. [3, 2]

Al igual que los anteriores canales, la sub-trama de 2 ms del canal HS-DPCCH está formada por tres intervalos de información. En la primera de ellas se introducirán el acuse de recibo del paquete decodificado, para asegurar que se reciba en la estación base con el menor retraso posible, mientras que en la segunda y tercera se escribirá el valor de CQI que haya determinado el UE. Toda la información que se transmite en este canal tiene un factor de ensanchamiento constante de 256. [3, 6]

En la **Figura 2.12** puede verse un ejemplo gráfico de la manera en la que están repartidos los datos dentro de una subtrama del canal HS-DPCCH.



**Figura 2.12:** Estructura del canal HS-DPCCH. [6]

La secuencia de código de canalización de este canal, depende del número de canales DPDCH (Canal de subida empleado en UMTS con las mismas funciones que en HSDPA) empleados. Esto significa que el canal HS-DPCCH y el DPCCH comparten la misma rama del árbol de códigos, o que implica tener el mismo código si el SF de DPCCH es 256. La ortogonalidad entre los dos canales físicos se mantiene transmitiendo en fase el canal DPCCH y en cuadratura el HS-DPCCH. [3]

Al ser el factor de ensanchamiento de 256, el número de bits transmitidos por sub-trama es de treinta. Los diez primeros bits que ocupan el primer intervalo son

## 2. HSDPA

---

empleados para transmitir los acuses de recibo. Para avisar de que el paquete ha sido correctamente recibido (ACK), estos diez bits se ponen todos a uno, mientras que para avisar de algún error en recepción (NACK), se transmitirá una serie de ceros seguidos. No se emite ninguna información acerca de qué proceso del HARQ ha emitido el acuse de recibo, ya que HARQ es un síncrono y la estación base es capaz de determinar a que proceso pertenece cada asentimiento. Los veinte bits restantes de los otros dos intervalos están destinados al CQI, el cual toma un valor comprendido entre el 0 y el 30. Para esta información sólo se requieren 5 bits, por lo que los 15 restantes se emplearán como códigos redundantes para corregir y detectar errores. [3]

### **2.9 Movilidad**

Los canales físicos HS-PDSCH, HS-SCCH y HS-PDPCCH están asociados a una conexión HSDPA, la cual se produce en el interior de una célula. Sin embargo si el UE se encuentra en movimiento, puede ser necesario cambiar el servicio HSDPA de celda una vez el cliente haya traspasado la frontera de la célula en la que se encontraba. El procedimiento para el cambio de célula se realiza mediante un traspaso de tipo *hard*, porque el UE cambia su conexión HSDPA de una célula a otra sin que ambas le sirvan a la vez. El traspaso de tipo *soft* no es posible porque la funcionalidad de la capa MAC-hs, se encuentra en el interior de la estación base y no en el RNC, como sucede en UMTS. El empleo del traspaso de tipo *soft* requeriría que tanto el planificador como el AMC fuesen síncrono a la hora de localizar el mismo TTI o repartir el mismo tamaño de bloques; requerimientos que complicarían enormemente la planificación de la red y motivo por el que no se emplea. [3, 9]

Por el contrario, los canales dedicados asociados con las conexiones HSDPA pueden ser recibidas y transmitidas por múltiples células empleando el traspaso de tipo *soft*. Esta situación sólo ocurre cuando los SRB son transmitidos por el canal DPDCH, ya que si son transmitidos por el HS-PDSCH tanto los datos como toda la señalización emplearán el traspaso *hard*.

El RNC de la red es el responsable de identificar los requisitos para proceder a un cambio de célula una vez la conexión ha sido realizada. La RNC usa las medidas enviadas por la UE para determinar cuándo es necesario un cambio de célula y comenzar con el proceso de cambio. Cuando las medidas que recibe la estación base indican una posible necesidad de cambiar de celda, el RNC da instrucciones para que

## 2. HSDPA

---

los canales dedicados entren en traspaso de tipo *soft* mientras que el usuario se desplaza hacia la nueva celda. El RNC seguirá analizando las medidas que le llegan desde la UE para ordenar el traspaso en cuanto la señal de la nueva celda sea mayor que la que nos proporciona el servicio. [3]



## 3. Capítulo 3: Estudio de HSDPA en macroceldas

### 3.1 Macrocelas

Las macroceldas son celdas de la red de telefonía móvil que proporcionan una cobertura casi circular y vienen caracterizadas por su radio de alcance máximo, siendo su superficie de cobertura, la más amplia de la red móvil.

Las antenas de las macroceldas pueden montarse sobre torres basadas en tierra, sobre los techos o sobre otras estructuras existentes. Deben estar posicionadas a una altura libre de obstrucciones del terreno y construcciones. [19, 20]

La cobertura de radio que proporcionan las macroceldas se extiende a distancias variables que dependen de la frecuencia utilizada, la cantidad de llamadas realizadas y el terreno físico. Las estaciones base de las macroceldas tienen una salida de potencia típica de decenas de vatios, suelen poseer ganancias que oscilan entre los 12 y 15 dB y suelen estar sectorizadas en tres sectores para reducir la interferencia externa producida por las antenas vecinas.

En la **Figura 3.1** se pueden apreciar la fotografía de dos estaciones base que proporcionan servicio a una macrosenda.



**Figura 3.1:** Imagen de dos macroceldas [7].

#### **3.2 Modelo de propagación [8]**

Para aplicaciones de radiocomunicaciones móviles, Okamura, obtuvo unas curvas estándar de propagación, sobre la base de una amplia campaña de medidas efectuada en Japón.

La necesidad de informatizar el método, condujo a Hata al desarrollo de expresiones numéricas para las curvas normalizadas de propagación de Okamura, incluyendo, además, las correcciones más usuales utilizadas en las radiocomunicaciones móviles.

Hata obtuvo, mediante el análisis de regresión múltiple, una serie de expresiones que proporcionan la pérdida básica de propagación,  $L_b$ , para medios urbanos, suburbanos y rurales sobre terrenos poco ondulados. Sin embargo esta primera fórmula desarrollada, está limitada a frecuencias inferiores a 1500 MHz. Como han aparecido nuevos sistemas móviles que funcionan en 1800 MHz y 2000 MHz, se ha desarrollado una variante de la fórmula de Hata llamada Hata-COST231 que proporciona la estimación de  $L_b$  para estas frecuencias. A pesar de esta modificación, HSDPA funciona a una frecuencia de 2140 MHz, por lo que hemos tenido que realizar un pequeño cambio en la fórmula original, para tener en cuenta esta circunstancia. Las funciones que determinan el comportamiento del modelo de propagación Hata\_COST231 pueden verse en las ecuaciones (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5) y (3.6) [8]:

$$L_b(dB) = 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_t) - a(h_r) + \\ + (44.9 - 6.55 \log(h_r)) \log(d) + c_m + 10 \log\left(\frac{f}{2000}\right) \quad (3.1)$$

Donde  $L_b$  son las pérdidas de propagación,  $f$  es la frecuencia del sistema en MHz,  $h_t$  es la altura de la estación base en metros,  $h_r$  es la altura de la antena receptora en metros y  $d$  es la distancia que separa al usuario de la estación base en kilómetros.

$C_m$  es una constante de ajuste cuyos valores son:

$$C_m = \begin{cases} 0 \text{ dB} & \text{para entornos suburbano y rural} \\ 3 \text{ dB} & \text{para zona urbana} \end{cases} \quad (3.2)$$

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

El término  $a(h_r)$  es una corrección que depende de la altura de la antena del móvil. Para una altura de  $h_r = 1.5$  metros,  $a(h_r) = 0$ . Para otras alturas,  $a(h_r)$  depende del tipo de ciudad como sigue:

- Ciudad media – pequeña:

$$a(h_r) = (1.1 \log(f) - 0.7)h_r - (1.56 \log(f) - 0.8) \text{ dB} \quad (3.3)$$

- Ciudad grande:

$$a(h_r) = \begin{cases} 8.29(\log(1.54 \cdot h_m))^2 - 1.1 & \text{si } f \leq 200 \text{ MHz} \\ 3.2(\log(11.75 \cdot h_m))^2 - 4.97 & \text{si } f \geq 400 \text{ MHz} \end{cases} \quad (3.4)$$

Si el receptor se encuentra en una zona suburbana, caracterizada por edificaciones de baja altura y calles relativamente anchas, la atenuación es:

$$L_{bs} = L_b - 2 \cdot \left[ \log\left(\frac{f}{28}\right) \right]^2 - 5.4 \text{ dB} \quad (3.5)$$

Por último si el receptor se encuentra en una zona rural, abierta, sin obstrucciones en su entorno inmediato, se tiene:

$$L_{bs} = L_b - 4.78(\log(f))^2 + 18.33(\log(f)) - 40.94 \text{ dB} \quad (3.6)$$

La fórmula de Hata no tiene en cuenta la influencia de la ondulación del terreno ni los efectos derivados del grado de urbanización.

### 3.3 Simulaciones

En esta sección vamos presentar una serie de simulaciones que nos permitirán alcanzar el objetivo de este proyecto. Para la elaboración de éstas, se ha utilizado el programa Matlab cuyas características se adaptan perfectamente al tipo de simulaciones que deseamos desarrollar. El objetivo de este apartado es mostrar, mediante pruebas experimentales, las tasas binarias de descarga que la tecnología HSDPA puede proporcionar en función del entorno y las condiciones del sistema en las que nos encontremos. Debido al gran número de factores que entran en juego en cada sub-apartado, antes de cada uno de ellos se enumerarán las características y la naturaleza de la simulación, proporcionando en cada caso, una representación gráfica de los resultados acompañados de diversos comentarios que explicarán los resultados obtenidos. Al finalizar todas las simulaciones, se expondrán unas conclusiones globales sobre el sistema analizado.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

#### 3.3.1 Cálculo de la SNR

Como ya se ha explicado en el **capítulo 2**, la tecnología HSDPA emplea diversas técnicas que permiten un aumento considerable de la tasa binaria de descarga en comparación con la tecnología UMTS. Sin embargo, para que HSDPA funcione correctamente, el nivel de calidad de la señal recibida en el terminal debe ser elevado.

Para cuantificar el nivel de calidad de señal en el terminal de recepción, usamos la SNR que definimos como el margen que existe entre la potencia de la señal que se transmite, y la potencia de ruido que la corrompe. [25]

El primer paso de nuestra simulación será el cálculo del perfil de SNR recibido en nuestro terminal en función de la distancia que separe al usuario de la estación base en diversos entornos (ciudad grande, centro suburbano y rural), de acuerdo con el estado del arte actual de la tecnología. Realizaremos varias pruebas en las que se variarán los parámetros que pueden influir en el resultado final de la relación señal a ruido. Mediante este proceso pretendemos estudiar como influye sobre la SNR recibida, el cambio de los parámetros de la comunicación además de observar si para el estado del arte de la tecnología, en el que sólo existe un usuario y toda la potencia dedicada va destinada a él, se puede aplicar sin problemas la máxima modulación que queda determinada en el estándar *Release 7* que regula esta tecnología, con el fin de mejorar la tasa binaria de descarga.

La relación señal a ruido en los sistemas de telefonía móvil de tercera generación, queda expresada analíticamente en la ecuación (3.7) [9]:

$$snr = \frac{W}{R} \cdot \frac{s}{n + i} \quad (3.7)$$

Donde  $snr$  es la relación señal a ruido en unidades naturales,  $W$  es el ancho de banda nominal que ocupa la comunicación en el espectro de radiofrecuencia,  $R$  es el régimen binario de la comunicación antes de proceder al ensanchado en bits por segundo,  $s$  es la potencia de la señal en unidades naturales,  $n$  es la potencia de ruido equivalente que afecta a la comunicación en unidades naturales (3.8) [11],  $i$  es la potencia total de la señal interferencia que afecta a la comunicación en unidades naturales.

$$N(dB) = -114 + 10\log(B) + NF \quad (3.8)$$

Donde  $B$  es el ancho de banda efectivo y  $NF$  es el factor de ruido del terminal.

Podemos descomponer  $i$  en dos componentes,  $i_{int}$  (interferencia interna) e  $i_{ext}$  (interferencia externa).  $i_{int}$ , representa la interferencia que provoca sobre nuestra señal

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

de información, toda la potencia de célula en la que se encuentra el usuario que no esté destinada a HSDPA. Al igual que ocurre con las señales de UMTS, las señales de HSDPA utilizan una combinación de secuencias pseudoaleatorias y secuencias ortogonales en su codificación. Esta ortogonalidad se emplea para que los códigos usados dentro de una misma célula sean ortogonales entre sí y desaparezca la interferencia interna. Sin embargo las condiciones para que la ortogonalidad sea perfecta son muy severas, y sobretodo en entornos muy abruptos donde la señal puede sufrir efecto multitrayecto, la ortogonalidad entre códigos deja de ser perfecta provocando que la interferencia interna sea atenuada pero nunca eliminada. Para cuantificar la ortogonalidad entre códigos, se emplea el factor de ortogonalidad  $\varphi$  comprendido entre 0 y 1, relacionándose con la interferencia interna según la ecuación (3.9). Los valores que vamos a emplear para este parámetro en todas nuestras simulaciones son de  $\varphi = 0.5$  para ciudades grandes,  $\varphi = 0.7$  para entornos suburbanos y  $\varphi = 0.9$  para zonas rurales. Por otro lado  $i_{ext}$ , representa la interferencia que provocan sobre nuestra señal de información, la potencia de las células vecinas a la que me encuentro.

$$i_{int\ final} = (i_{int} - \varphi \cdot i_{int}) \quad (3.9)$$

Al tratarse  $W$  del ancho de banda de la comunicación y  $R$  del régimen binario, podemos expresarlos de la siguiente manera [9]:

$$W = \frac{1}{T_c} \quad (3.10)$$

$$R = \frac{1}{T_B} \quad (3.11)$$

Donde  $T_c$  es el periodo de chip, valor permanecerá siempre constante y tomará un valor de 3.84 Mcps, y  $T_B$  es el periodo de bit de la señal antes de proceder al ensanchado.

Con las ecuaciones (3.10) y (3.11), podemos expresar el primer término de la ecuación (3.7) de la siguiente manera: [9]

$$\frac{W}{R} = \frac{T_B}{T_c} = g_p \quad (3.12)$$

Donde  $g_p$  es la ganancia de procesamiento que sufre la señal al decodificarla en unidades naturales. Esta variable es posible expresarla como SF (*Spreads factor*).

Tras esta serie de modificaciones, (3.7) queda expresada de la siguiente forma: [9]

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

$$snr = g_p \frac{s}{n + i} \quad (3.13)$$

En cuanto a la antena de la estación base que nos proporciona el servicio, existen dos configuraciones distintas en función del entorno que estemos estudiando. La primera configuración es la más utilizada, y se usa en los entornos urbanos, suburbanos y en algunas zonas rurales, donde todas las antenas de las estaciones bases están sectorizadas en tres sectores separados entre sí 120 grados, disponiendo cada uno de ellos, de un tercio de la potencia total de la antena y una ganancia efectiva en cada sector de quince decibelios. Gracias a esta configuración, conseguimos reducir idealmente la interferencia interna y externa en un factor de tres, ya que sólo interferirán a nuestra señal de información aquellas señales que hayan sido emitidas por el sector de la antena vecina que se encuentre orientado en la dirección en la que se sitúa el usuario. Debido a esta configuración, aparece un nuevo término en la ecuación quedando de la siguiente manera:

$$snr = g_p \cdot \frac{s}{(F_{sector} \cdot (i_{int} + i_{ext})) + n} \quad (3.14)$$

Donde  $F_{sector}$  determina el factor de sectorización de la antena que nos esté proporcionando el servicio. Este valor depende en gran medida de los diagramas de radiación de las antenas de cada sector. Idealmente este parámetro toma el valor  $\frac{1}{3}$  aunque en el caso real este valor se aproxima mucho a 0.42.

La segunda configuración es la que se usa en entornos rurales, donde la ausencia de obstáculos que puedan perjudicar la propagación de la señal pudiendo provocar multitrayecto y las largas distancias a las que se encuentran dos células contiguas, propicia que no sea estrictamente necesario la implantación de una antena sectorizada, pudiendo usar en su lugar, una antena omnidireccional con una ganancia efectiva de once decibelios. En nuestro caso para zonas rurales, estudiaremos los dos tipos de configuraciones para poder analizar las diferencias entre un modelo y otro, aunque las antenas omnidireccionales están prácticamente en desuso. Con esta configuración, la fórmula analítica de la relación señal a ruido volverá a ser la expresada en (3.7) ya que en este caso el factor de sectorización tomará el valor uno.

En la simulación que hemos llevado a cabo, influyen muchos parámetros que pueden mediar en la relación señal ruido resultante. Estos parámetros son de muy

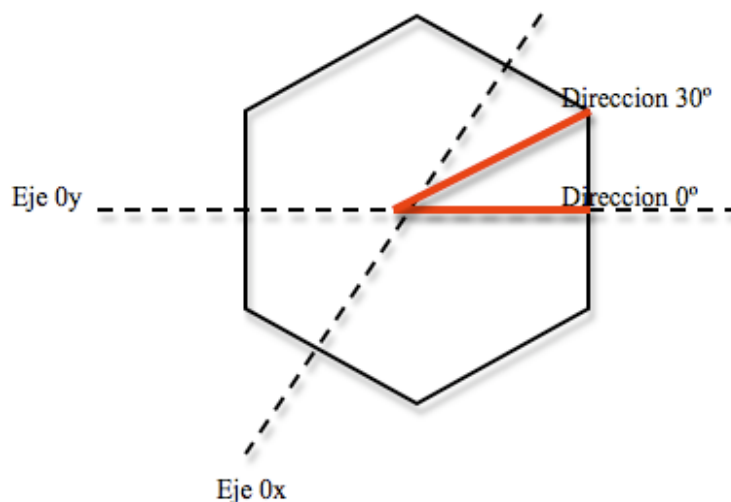
### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

diversa naturaleza y abarcan desde el entorno en el que realizamos la comunicación, hasta la antigüedad y/o calidad del terminal móvil que usemos.

#### 3.3.1.1 Cálculo de la SNR en función de la dirección seguida por el usuario

El primer paso es proceder al estudio de la relación señal a ruido en función de la distancia que separa al usuario de la estación base, siguiendo dos direcciones distintas. Para realizar las simulaciones, hemos supuesto que nos encontramos en una red móvil donde la estructura celular es perfecta, es decir, todas las células son del mismo tamaño, la distancia entre células adyacentes es constante, y tienen forma hexagonal. En las simulaciones hemos calculado la SNR recibida en el terminal móvil en función de la distancia que separa a éste, de la estación base que le proporciona el servicio. A pesar de que el usuario pueda desplazarse libremente por todo el área de la célula, en nuestro caso, hemos estudiado como varía la SNR cuando el usuario se desplaza en las dos direcciones más representativas de la célula, cuando el movimiento se produce en una dirección de  $0^\circ$  con respecto al eje  $Oy$ , y cuando se produce en una dirección de  $30^\circ$  con respecto al mismo eje que en el caso anterior. En el primero de los casos, la distancia de estudio será algo menor que el radio de la célula, mientras que en el segundo caso, el estudio de la distancia se extenderá a todo el radio. La SNR de un terminal móvil que se desplace entre estas dos direcciones, podrá calcularse mediante la interpolación de los dos resultados obtenidos, estando seguros de que el error cometido no sobrepasará las décimas de decibelio.

En la **Figura 3.2** puede apreciarse una representación gráfica de las dos direcciones que vamos a proceder a estudiar.



**Figura 3.2:** Representación gráfica de las direcciones de  $0^\circ$  y  $30^\circ$  en red hexagonal.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

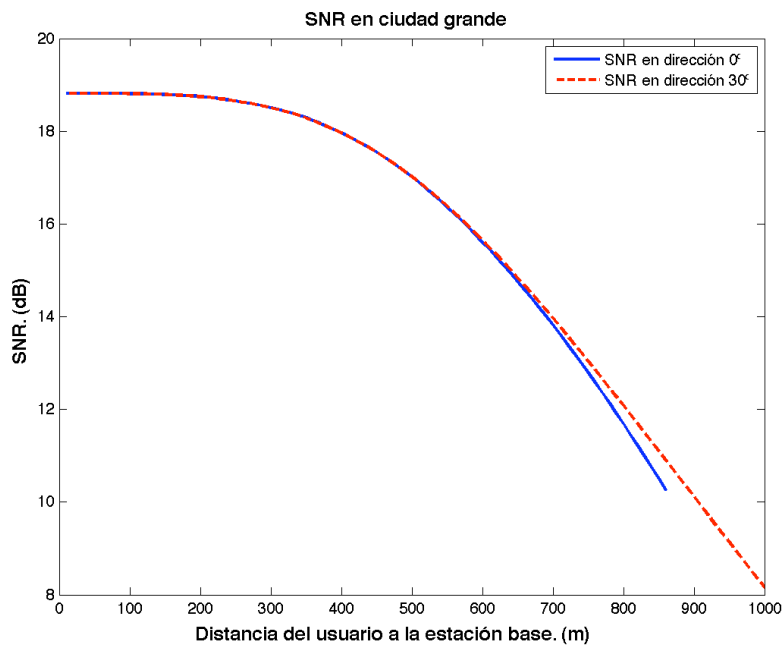
Este análisis se realizará en los tres escenarios que se han comentado en el anterior apartado (ciudad grade, centro suburbano y zona rural). El objetivo principal, es estudiar las diferencias entre los dos caminos.

El valor de los parámetros variables, son los mismos para las tres simulaciones tomando todos ellos valores estándares. Los valores son los siguientes:

- $P_{\max} = 20 \text{ W}$
- $P_{\text{HSDPA}} = 10 \text{ W}$
- Radio célula = 1 Km. en ciudad, 2 Km. en entorno suburbano y 4 Km. en zona rural.
- Altura antena = 30 m
- Altura terminal = 1.5 m
- Factor de ruido = 8 dB

Los resultados obtenidos serán mostrados en las **Figuras 3.3, 3.4 y 3.5**.

#### 1º escenario: ciudad grande.



**Figura 3.3:** SNR recibida en ciudad grande en las dirección de 0° y 30°.



### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

2° escenario: ciudad suburbana.

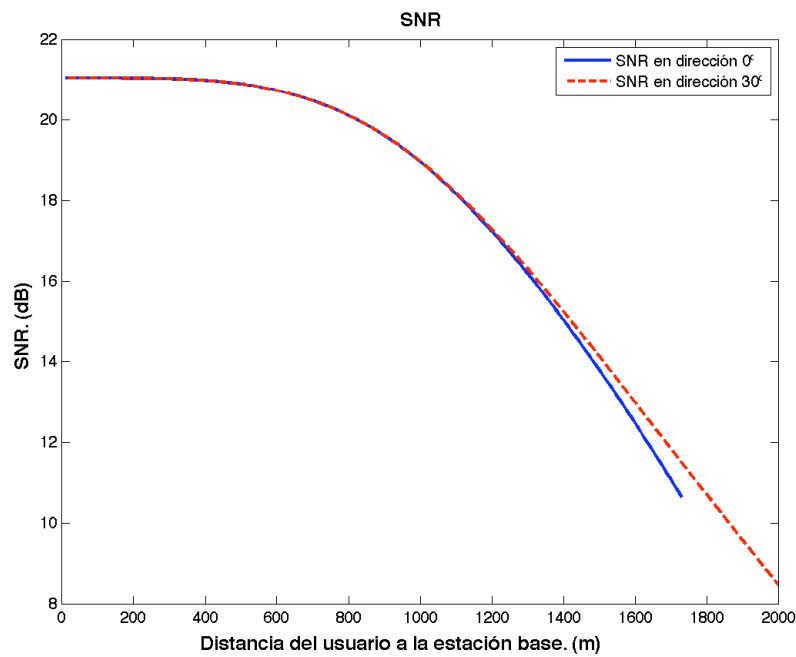


Figura 3.4: SNR recibida en ciudad suburbana en las dirección de 0° y 30°.

3° escenario: zona rural.

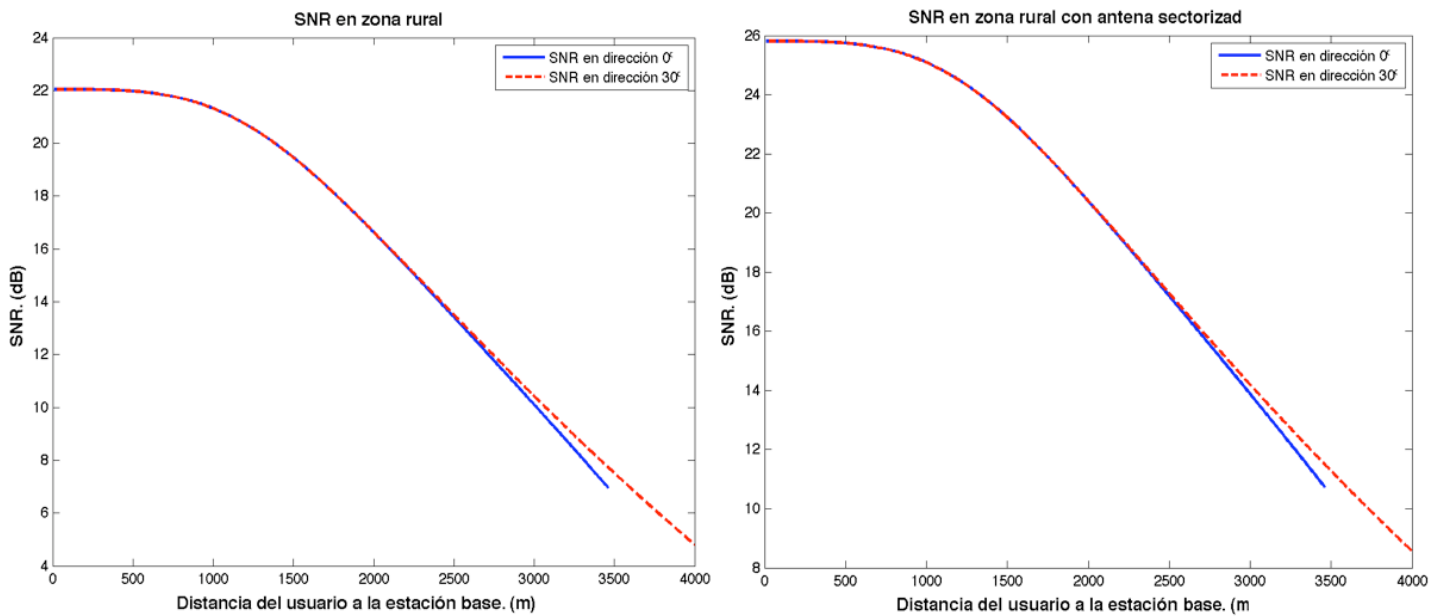


Figura 3.5: SNR recibida en zona rural en las dirección de 0° y 30°. Antena con y sin sectorizar.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

En este apartado hemos estudiado para el entorno rural, la relación señal a ruido recibida para las dos posibles configuraciones de la estación base. Como podemos apreciar en las imágenes, la principal diferencia entre las dos configuraciones reside en los aproximadamente cuatro decibelios de mejora que nos proporciona la antena sectorizada en comparación con la otra configuración. Esto se debe a la reducción de la interferencia que afecta a nuestra señal, gracias a la sectorización que la antena omnidireccional no dispone. Esta gran ventaja, unido a que económicamente no existe una gran diferencia entre una y otra estructura, propicia que el modelo de antena sectorizada sea la más ampliamente implantada en las estaciones bases de nuestro país. En lo que respecta a nuestro proyecto, a partir de este apartado sólo vamos a estudiar la configuración basada en antenas sectorizadas, ya que es la distribución más extendida.

Como podemos apreciar claramente en las imágenes, en los tres entornos en los que hemos realizado la simulación, el camino que sigue la dirección de  $0^\circ$  tiene una relación señal a ruido ligeramente inferior que el camino que sigue la dirección de  $30^\circ$ . Esto sencillamente se debe, a que la distancia que separa al usuario de las células vecinas no es la misma en las dos direcciones. Realizando un sencillo cálculo trigonométrico sobre la estructura celular, podemos comprobar que para una misma distancia de separación entre el usuario y la estación base que le proporciona servicio, la distancia de separación entre el usuario y las células vecinas, siempre será menor cuando el usuario se desplaza en la dirección de  $0^\circ$ . Esta menor longitud de separación, provoca un incremento en la potencia de señal interferente, traducándose en una pérdida de calidad de la señal recibida, lo que causa una menor relación señal a ruido en recepción.

A pesar de que la trayectoria de cero grados proporciona una SNR menor, en los siguientes estudios de este proyecto en los que se trabaje con redes hexagonales, vamos a analizar los dos caminos en cada uno de los apartados que realicemos. En caso de que la trayectoria seguida por el usuario no sea ni la de cero ni la de treinta grados, será necesario realizar una aproximación interpolando entre las trazas de los dos caminos, para conocer cual será el SNR recibido por el cliente.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

#### 3.3.1.2 Variación de la SNR ante distintos valores de potencia dedicada a la tecnología HSDPA

Como ya se ha comentado en el **Capítulo 2**, parte de la potencia máxima de la que dispone cada estación base, está dedicada exclusivamente a la tecnología HSDPA para poder obtener un rendimiento óptimo. El número de vatios que se dediquen en exclusiva irá en función de la utilización de la célula, teniendo siempre presente, que el tráfico se voz tiene preferencia sobre el de datos. Esta asignación la realizará el planificador de la red, el cual dejará siempre un mínimo de 2 vatios dedicados a HSDPA, para poder ofrecer un servicio con la calidad suficiente como para ofrecer una tasa binaria de descarga superior a la que ofrece la tecnología UMTS. El máximo de la potencia dedicada será de 18 vatios ya que son necesarios un mínimo de 2 para las señales piloto.

La calidad del servicio que puede ofrecer la tecnología HSDPA, así como la tasa binaria de descarga, está estrechamente ligada a la relación señal a ruido en recepción, por lo que se supone, que a mayor potencia dedicada, mejor calidad del servicio y mayor tasa binaria de descarga. El estudio de este apartado se centra en comprobar como varía la curva de la relación señal a ruido en recepción en función de la distancia, cuando existen distintas potencias dedicadas en exclusiva a la tecnología HSDPA.

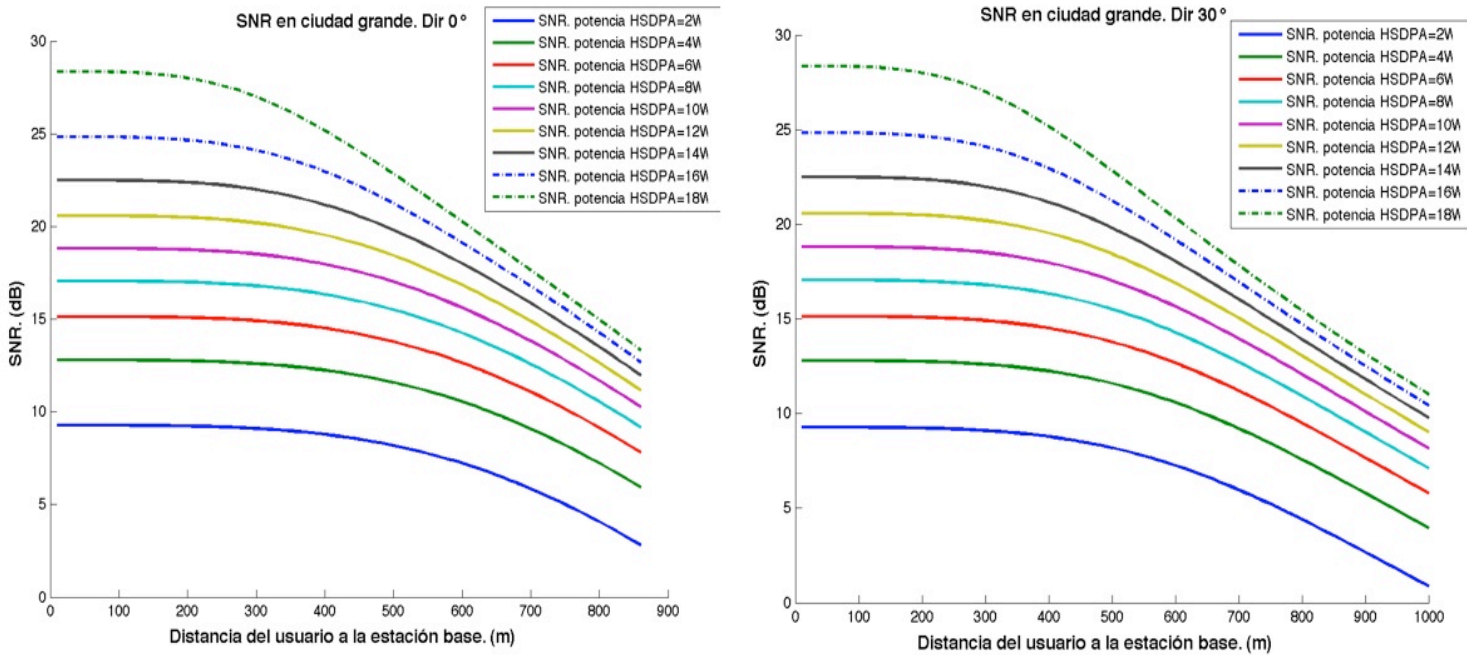
El análisis, al igual que en el apartado anterior, se va a realizar en los tres entornos de trabajo con los siguientes valores en los parámetros variables:

- $P_{\max} = 20 \text{ W}$
- $P_{\text{HSDPA}} = [2:2:18] \text{ W}$
- Radio célula = Radio célula = 1 Km. en ciudad, 2 Km. en entorno suburbano y 4 Km. en zona rural.
- Altura antena = 30 m
- Altura terminal = 1.5 m
- Factor de ruido = 8 dB

Los resultados obtenidos serán mostrados en las **Figuras 3.6, 3.7 y 3.8**

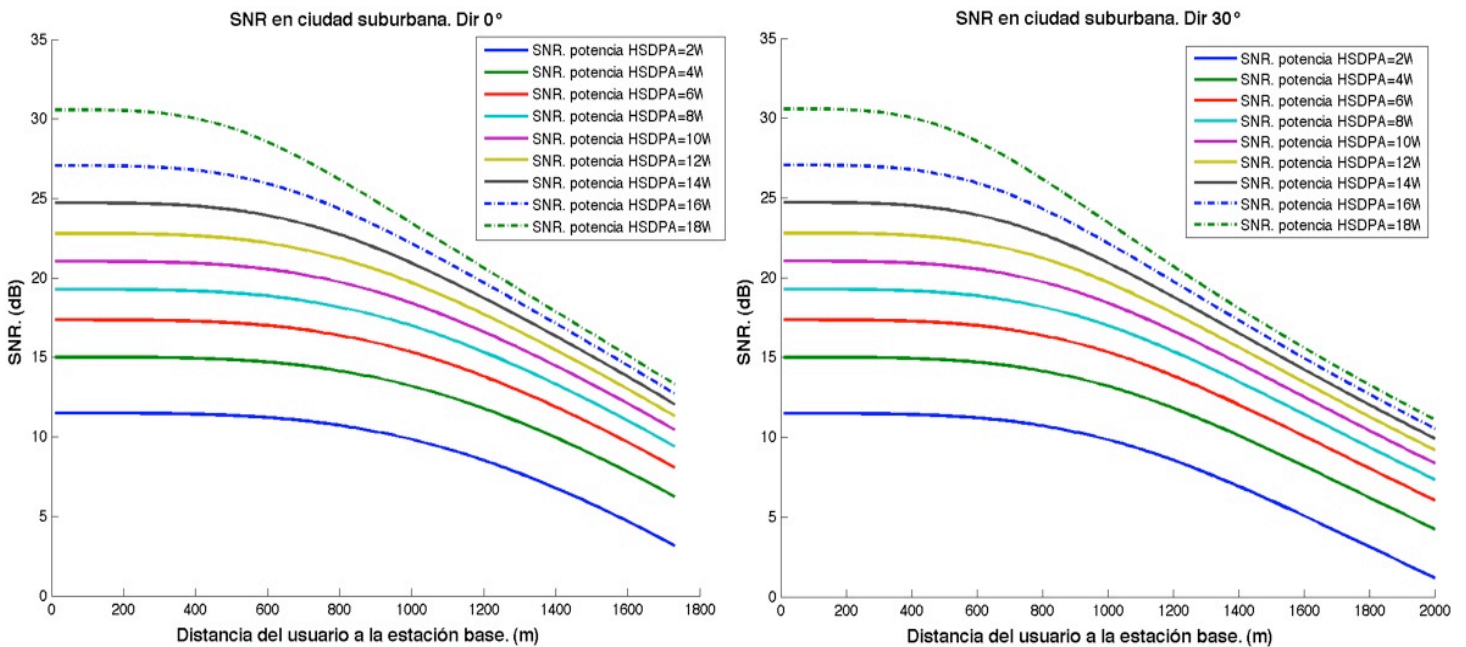
### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

#### 1º escenario: ciudad grande.



**Figura 3.6:** SNR recibida ante distintos valores de potencia dedicada. Ciudad grande.

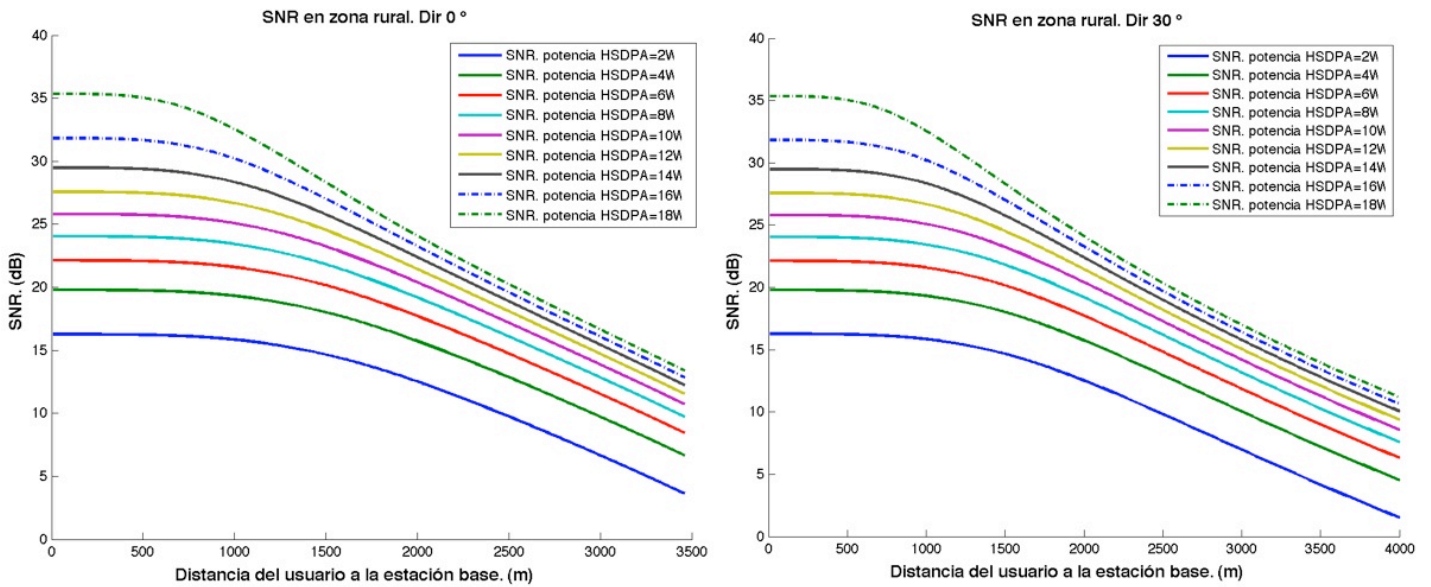
#### 2º escenario: ciudad suburbana.



**Figura 3.7:** SNR recibida ante distintos valores de potencia dedicada. Ciudad Suburbana.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

#### 3° escenario: zona rural.



**Figura 3.8:** SNR recibida ante distintos valores de potencia dedicada. Zona rural.

Como conclusión de este apartado, se puede afirmar que cuanto más potencia se dedique a HSDPA, mejor servicio obtendremos. Nuestro interés es siempre mantener una alta tasa de descarga, pero se debe ser consciente de que será prácticamente imposible dedicar a HSDPA una potencia elevada, ya que esto supondría dejar sin servicio de voz a numerosos usuarios que se encuentren en la célula. Este problema se acentúa más en las ciudades, donde la alta tasa de tráfico de voz, implica destinar la mayor parte del tiempo la mínima potencia dedicada a la tecnología HSDPA. La mejor solución para este problema, sería disponer de un planificador de red bueno y rápido que ajustara las potencias en cada momento, proporcionando el mejor servicio posible en función de la carga de la red.

#### 3.3.1.3 Variación de la SNR ante distintos valores de radio de la célula

El siguiente estudio abarcará la variación de la relación señal a ruido en recepción en función del radio de la célula. Cuanto menor sea el radio de la célula, se recibirá la señal de información con una mayor calidad, sin embargo, las células interferentes que rodean a la célula bajo estudio, se encontrarán a una menor distancia y la potencia interferente será mayor. El radio de la célula vendrá condicionado por el entorno en el que nos encontremos, ya que en una ciudad no tiene sentido optar por

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

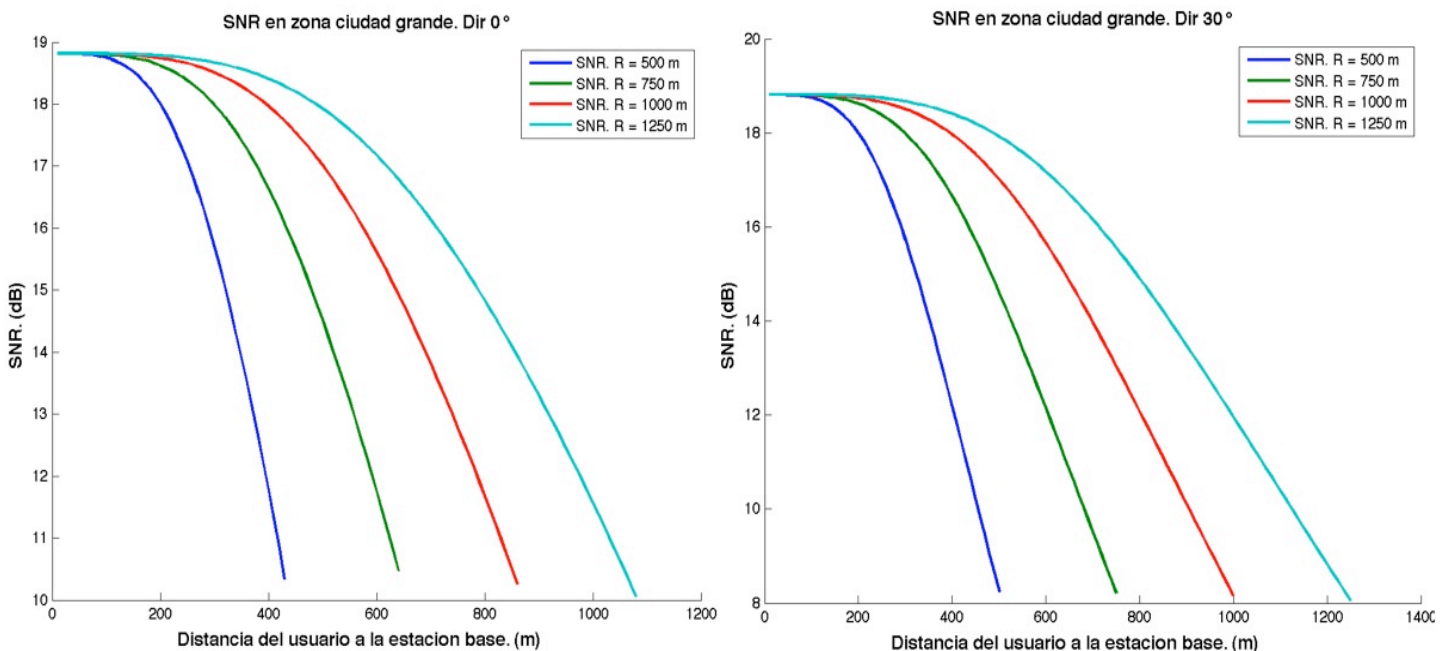
una célula con más de un kilómetro de radio, mientras que por el contrario, en un entorno rural, esta distancia sería inviable.

Antes de realizar el estudio, cabe esperar que cuanto menor sea el radio de la célula, mayor será el desvanecimiento de la SNR en función de la distancia. Esto se debe simplemente a que la interferencia externa que actúa sobre la señal de información es mayor ya que las células vecinas interferentes se encuentran a menor distancia del terminal.

A continuación mostramos las **Figura 3.9, 3.10 y 3.11** con los resultados obtenidos en las simulaciones en donde los parámetros variables expuestos en la introducción, toman los siguientes valores:

- $P_{\max} = 20 \text{ W}$
- $P_{\text{HSDPA}} = 10 \text{ W}$
- Radio célula = [0.5:0.25:1.25] Km. en el entorno de ciudad grande, [1:0.5:2.5] en el entorno de centro suburbano, y [2:5] en el caso de zona rural.
- Altura antena = 30 m
- Altura terminal = 1.5 m
- Factor de ruido = 8 dB

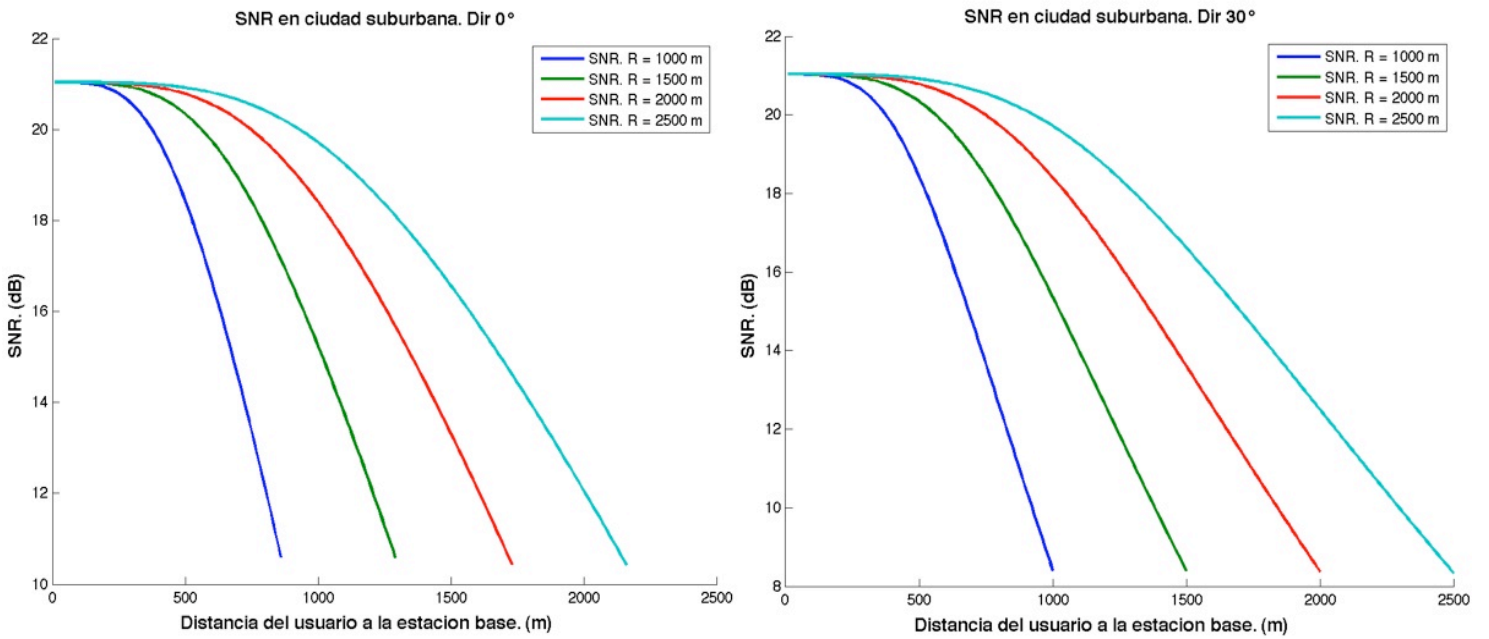
*1º escenario: ciudad grande.*



**Figura 3.9:** SNR recibida ante distintos valores del radio de la célula. Ciudad Grande.

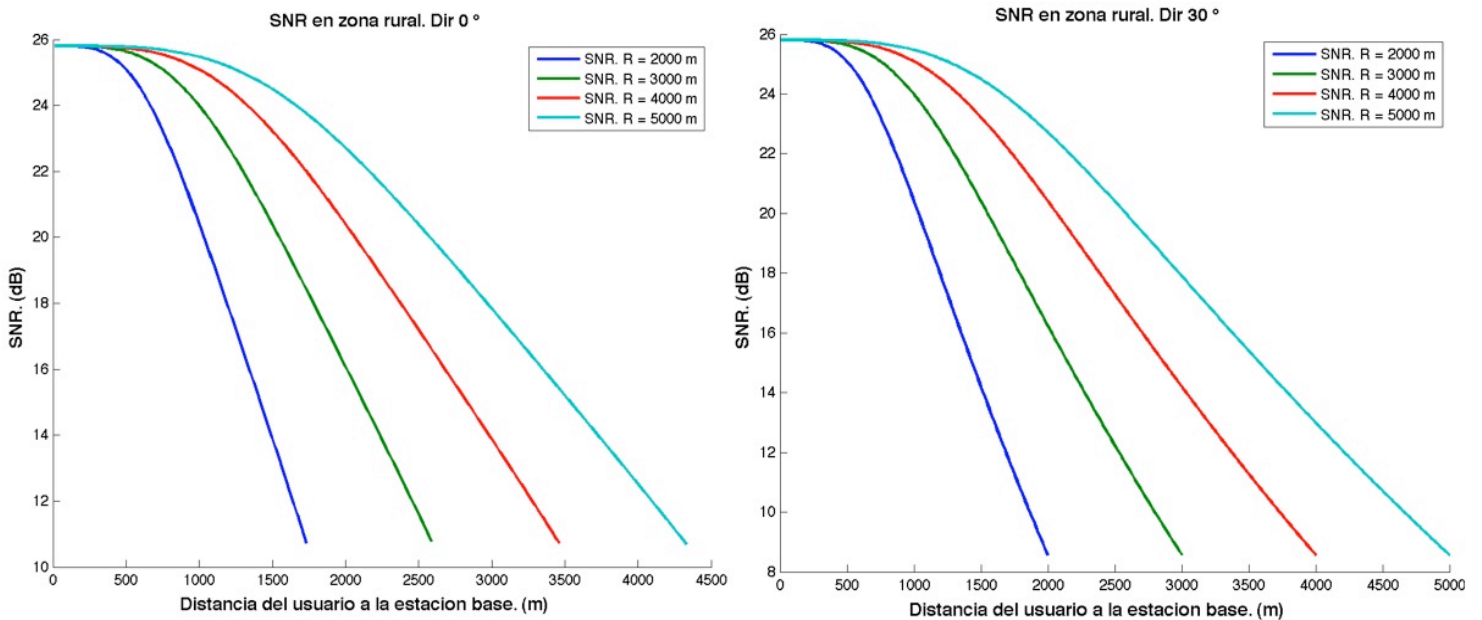
### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

#### 2º escenario: ciudad suburbana



**Figura 3.10:** SNR recibida ante distintos valores del radio de la célula. Ciudad Suburbana.

#### 3º escenario: zona rural.



**Figura 3.11:** SNR recibida ante distintos valores del radio de la célula. Zona rural.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

Como podemos apreciar en las gráficas, cada uno de los entornos que hemos estudiado tiene un radio de célula distinto. Hemos realizado la simulación con unos radios de célula coherentes con el entorno que estamos estudiando, ya que es prácticamente imposible que existan en ciudades, células de más de 1 kilómetros de radio y zonas rurales con células que sólo abarquen quinientos metros de radio de cobertura.

Como se puede apreciar en las gráficas que hemos obtenido tras las simulaciones, la conclusión que hemos extraído antes de realizarlas se cumple en los tres ámbitos de estudio, a pesar de que la SNR obtenida en el extremo de la célula, tome el mismo valor independientemente del radio que empleemos. En vista de los resultados, la mejor solución es diseñar una red donde los radios de las células sean lo más grande posible, para que el desvanecimiento de la relación señal a ruido recibida a medida de que el usuarios se aleja de la estación base, sea la menor posible y se pueda obtener una comunicación muy estable sin saltos continuos en el esquema de modulación empleado.

Si bien la solución es fácil, la aplicación de la misma no lo es por varias circunstancias. En primer lugar, la red HSDPA está diseñada para funcionar sobre la red UMTS ya existente, de modo que sobre los radios de las células no se podrá actuar a la hora de planificar la red. El segundo factor en contra, viene determinado por el número de usuarios al que la célula proporciona servicio. Cuanto mayor sea el radio de la célula, mayor será el número de usuarios al que se le proporcionará servicio, por lo que el tráfico de llamadas de voz gestionado será considerablemente elevado y la potencia que el planificador dedicará en exclusiva a la tecnología HSDPA, será reducida obteniendo bajas velocidades de descarga. Este problema se ve agravado especialmente el las grandes ciudades donde el número de usuarios por célula es muy elevado. Al ser UMTS un sistema limitado por interferencia, un gran número de clientes intentando cursar una llamada en una célula con una gran área de acción, puede acabar reduciendo el área de cobertura efectiva provocando que un numeroso número de usuarios se quede sin servicio.



### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

#### 3.3.1.4 Variación de la SNR ante distintos valores de altura de la antena de transmisión

La altura de la antena de transmisión guarda relación con la calidad de la señal en recepción, sobretodo en los entornos urbanos. Cuanto más alta sea la antena de la estación base, más posibilidades existen de que haya visión directa entre el usuario y la antena transmisora, proporcionando una mejora en la calidad de señal recibida, ya que prácticamente desaparecerían los efectos del multitrayecto. Según el modelos de Hata-Cost231 que hemos empleado en la simulación, un aumento de la altura de la antena, se verá recompensado con una disminución el exponente de propagación.

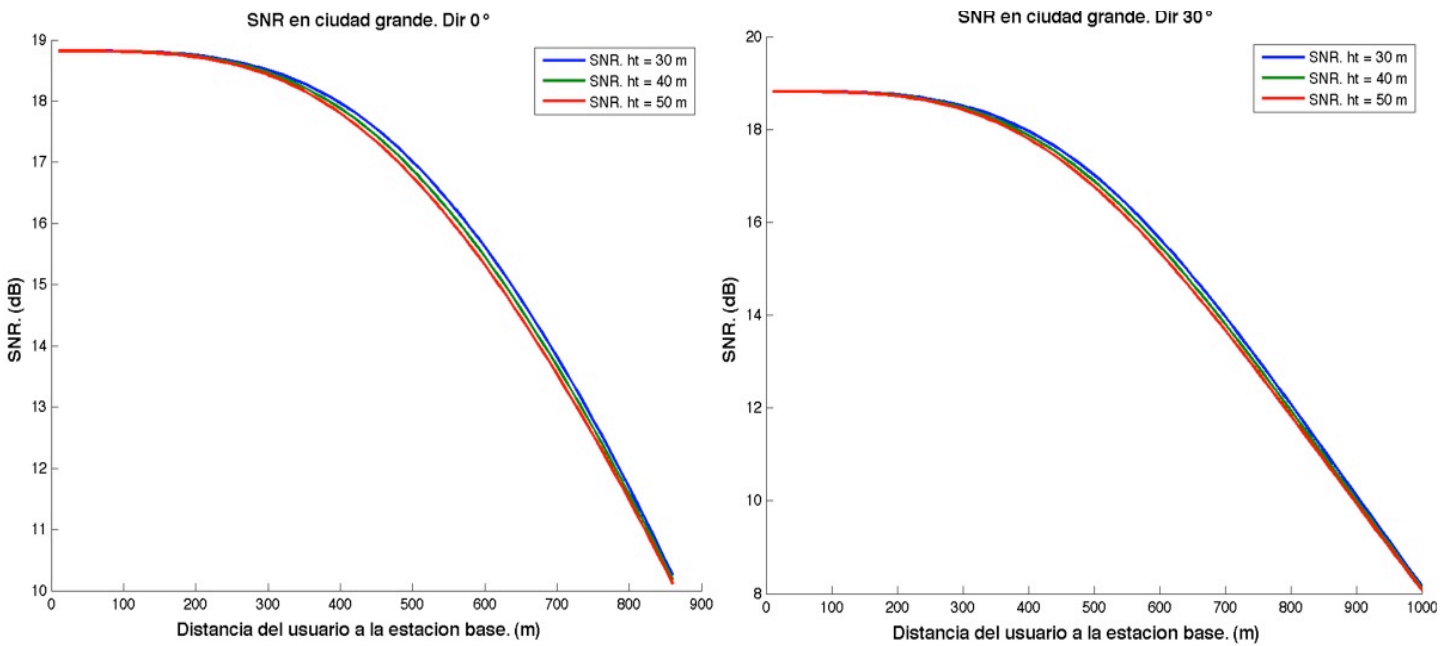
Es previsible que el aumento de la altura de la antena de la estación base, provoque un ligero aumento en la relación señal a ruido en recepción, sin embargo esta altura no debe ser tan alta como se desee. Cuanto más alto se encuentre la antena, mayor área de cobertura cubrirá, pudiendo provocar los problemas de colapso del sistema que hemos comentado en las conclusiones del anterior apartado.

A continuación mostramos las **Figuras 3.12, 3.13 y 3.14** donde se verá el resultado obtenido tras la simulación. Los parámetros variables comentados en el apartado de introducción, toman los siguientes valores:

- $P_{\max} = 20 \text{ W}$
- $P_{\text{HSDPA}} = 10 \text{ W}$
- Radio célula = Radio célula = 1 Km. en ciudad, 2 Km. en entorno suburbano y 4 Km. en zona rural.
- Altura antena = [30:10:50] m
- Altura terminal = 1.5 m
- Factor de ruido = 8 dB

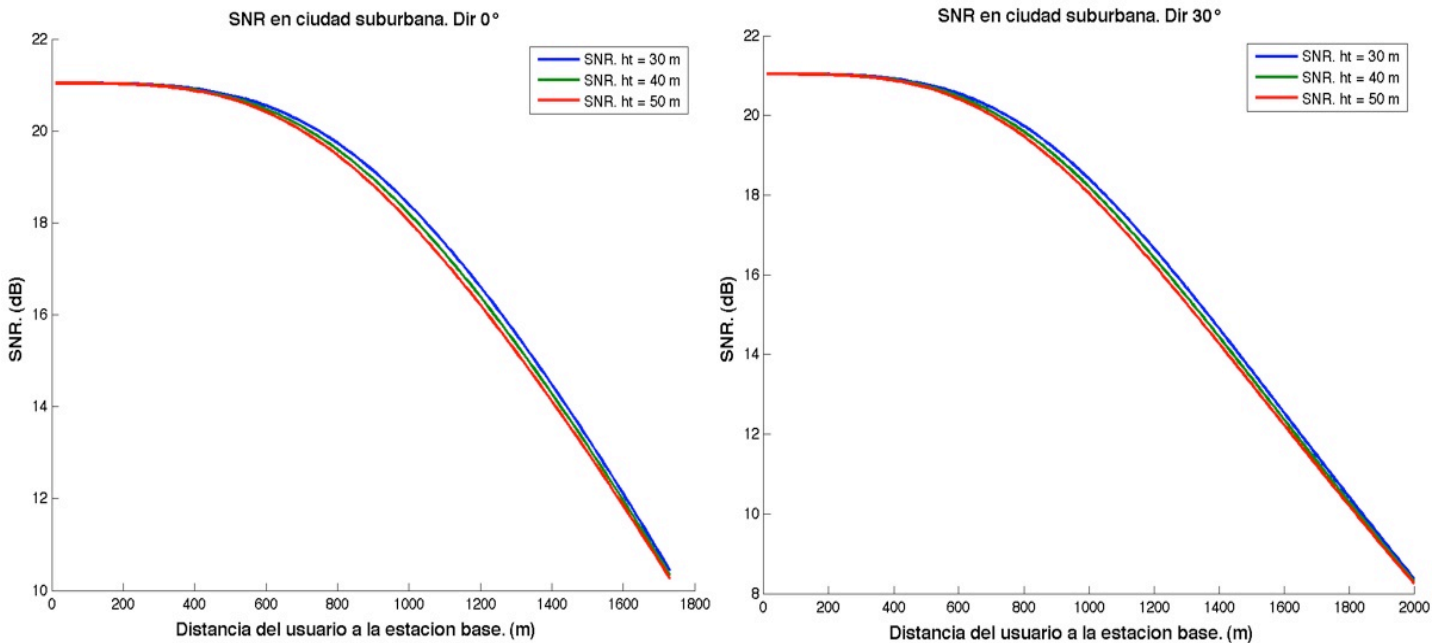
### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

#### 1° escenario: ciudad grande.



**Figura 3.12:** SNR recibida ante distintos valores de la altura de la antena transmisora. Ciudad Grande.

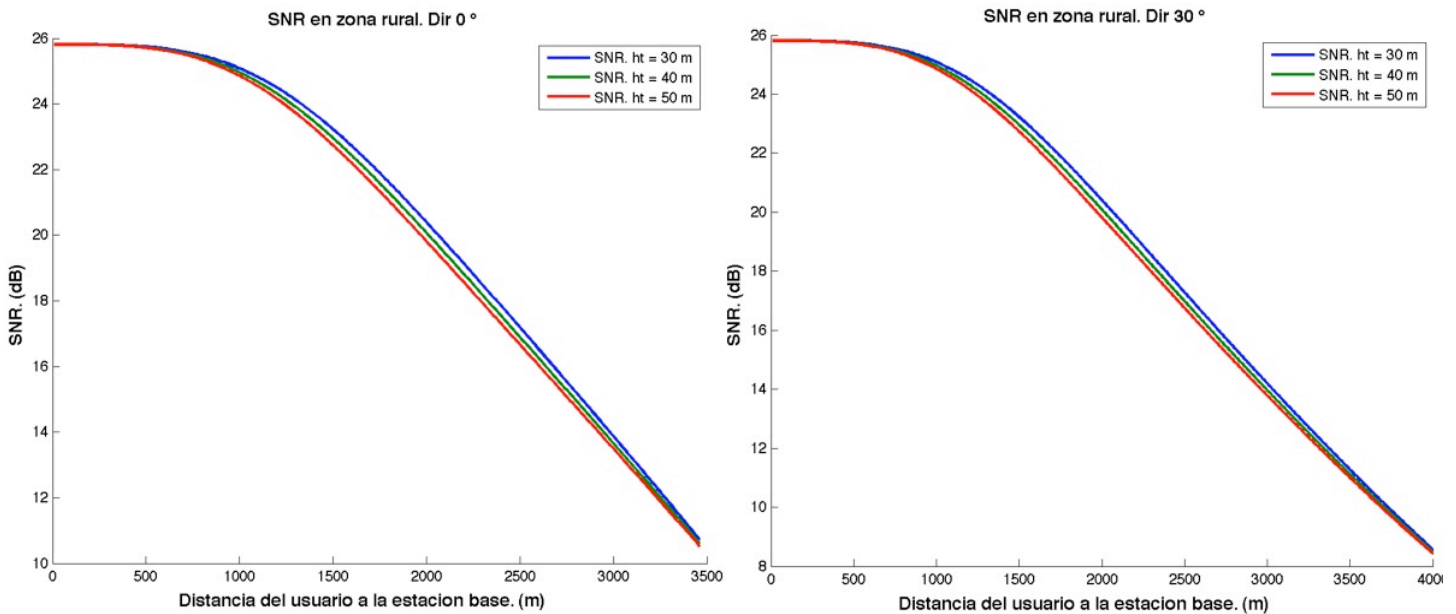
#### 2° escenario: ciudad suburbana.



**Figura 3.13:** SNR recibida ante distintos valores de la altura de la antena transmisora. Ciudad Suburbana.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

#### 3° escenario: zona rural.



**Figura 3.14:** SNR recibida ante distintos valores de la altura de la antena transmisora.  
Zona rural.

Como podemos apreciar en las imágenes, los resultados obtenidos en la simulación no son los que esperábamos en un principio, ya que a medida que aumentamos la altura de la antena, empeoramos la calidad de la señal en recepción. A continuación procederemos a explicar dicho suceso.

Como bien hemos dicho en la introducción del apartado, el modelo de Hata-Cost (3.1) relaciona el exponente de propagación con la altura a la que se encuentre la antena transmisora, siendo éste menor, a medida que aumente la altura de la antena. Esta conclusión tiene coherencia, ya que como hemos comentado en la introducción del apartado, cuanto más alta se encuentre la antena, mayor cantidad de terminales tendrán visión directa con la antena, sufriendo la señal de información menos distorsiones y perturbaciones.

Sin embargo, esta reducción del exponente de propagación se produce en todas las señales que entran en juego en la simulación, tanto la de datos como todas aquellas que sean interferentes, lo que provoca que en el receptor el incremento en la señal interferente sea superior a la de información. A pesar de esto, la diferencia entre las trazas a diferentes alturas, no es superior a un decibelio, por lo que la variación de la altura de la antena transmisora apenas repercutirá sobre el comportamiento del sistema. Al igual que el caso anterior, este hecho tiene coherencia con el entorno real,

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

ya que cuanto mayor sea la altura de las antenas, la visión entre ellas será prácticamente directa, sin ningún obstáculo entre medias.

Como hemos visto tras las simulaciones, no siempre el aumento de la altura de la antena de la estación base, se verá recompensado con un aumento en la calidad de la señal, sin embargo la altura tiene una gran importancia a la hora de planificar una red. Cuanto más alta sea la antena, mayor área de cobertura cubrirá. En vista de los resultados, no se puede concluir que una altura sea mejor que otra, ya que esta vendrá definida en función del área que deberá cubrir. En entornos urbanos, donde la densidad de clientes es muy alta, nos interesa tener células pequeñas para no saturar la red, por lo que las antenas de baja altura serán las predominantes. En entornos rurales, sucede lo contrario. La baja densidad de clientes propicia que las áreas de cobertura sean las mayores posibles para poder cubrir el territorio con el menor número de estaciones bases posibles, lo que sólo será posible con estaciones muy altas a pesar de tener peores calidades de señal.

#### 3.3.1.5 Variación de la SNR ante distintos valores de altura del terminal móvil y ante los efectos provocados por obstáculos

Una vez estudiada la influencia altura de la antena de la estación base sobre la relación señal a ruido resultante, procedemos a estudiar como influye sobre ella, la altura del terminal de recepción.

Según el modelo de Hata-Cost231 modificado que usamos como modelo de propagación, una mayor altura del terminal se verá recompensada con unas menores pérdidas de propagación. Según esta fórmula, cabe esperar que a medida que aumentemos la altura del móvil, sobretudo en entornos urbanos con grandes interferencias, obtendremos una mejor SNR en recepción. Sin embargo, el efecto de esta ligera mejora en la propagación, sólo se podrá apreciar en entornos urbanos, ya que en el resto de los ámbitos, las condiciones de transmisión son mucho más favorables, y estas mejoras se convierten en prácticamente despreciables. Esta consecuencia queda reflejada en la fórmula del modelo Hata-Cost utilizado en nuestra simulación (3.1), (3.3) (3.4), donde se puede apreciar que la altura del terminal móvil sólo afecta en entornos urbanos, por lo que es de esperar que cuando estudiemos los demás ámbitos, la traza que representa la SNR sólo se verá modificada por la interacción de la señal con obstáculos, como pueden ser paredes o ventanas.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

Lo más habitual cuando la altura del terminal móvil es alta, es que el usuario que está accediendo al servicio se encuentre en el interior de un edificio, ya sea porque se encuentre en su lugar de trabajo o en su domicilio. Cuando la señal debe atravesar obstáculos como los mencionados anteriormente, ésta sufre atenuaciones y distorsiones extra que deben de tenerse en cuenta en la simulación ya que su influencia sobre el resultado final es considerable.

El numero de contextos distintos que nos podemos encontrar en el mundo real, es prácticamente infinito, por lo que en nuestro proyecto sólo vamos a tener en cuenta los cuatro más comunes y más representativos. Posteriormente se enunciarán cada uno de los contextos al igual que las atenuaciones consideradas para cada uno de los obstáculos.

A continuación se muestran cada uno de los resultados obtenidos en cada uno de los escenarios. Los parámetros variables toman los siguientes valores:

- $P_{\max} = 20 \text{ W}$
- $P_{\text{HSDPA}} = 10 \text{ W}$
- Radio célula = Radio célula = 1 Km. en ciudad, 2 Km. en entorno suburbano y 4 Km. en zona rural.
- Altura antena = 30 m
- Altura terminal =  $[1 + n \cdot 2.5] \text{ m}$
- $n = [1:4] \text{ m}$
- Factor de ruido = 8 dB
- Atenuación ventana de cristal = 4 dB.
- Atenuación pared = 12 dB.

#### **Primer contexto. El usuario se encuentra al aire libre.**

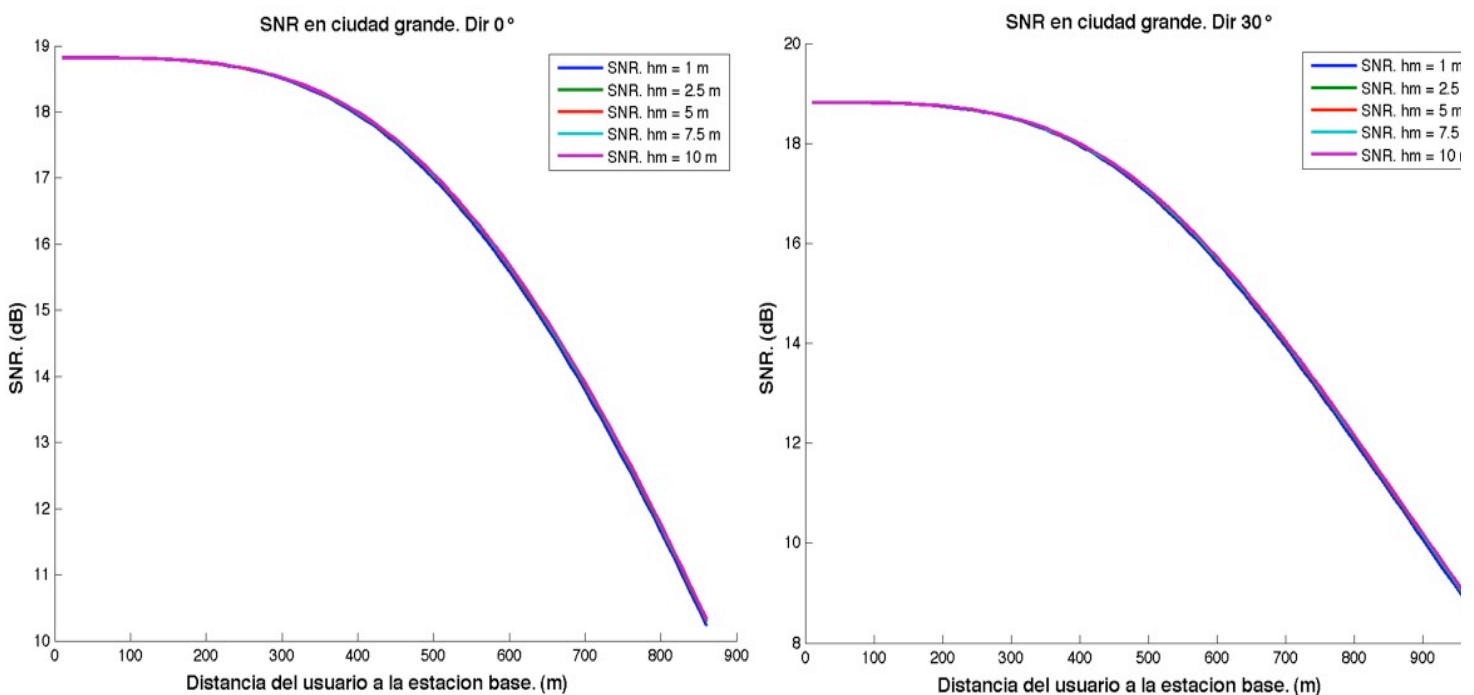
El primer contexto se centrará en el estudio de la relación señal a ruido cuando el usuario se encuentra en un espacio abierto, donde no exista ninguna barrera física entre la estación base y el terminal de recepción y las únicas pérdidas que entran en juego, serán las determinadas por el modelo de propagación. Este escenario será el característico de todos aquellos usuarios que deseen acceder al servicio desde la calle, o aquellos clientes, que en épocas estivales, se encuentren navegando desde la terraza de sus domicilios.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

Para el desarrollo de la simulación, no se han tenido en cuenta ninguna de las atenuaciones extras que se ha expuesto en el apartado 3.3.1.5, por lo que se ha empleado el mismo código que en las simulaciones, anteriores con la salvedad de que en este caso, el parámetro variable que se ha representado en las figuras es la altura del terminal de recepción en los intervalos referidos en la introducción del apartado.

Los resultados obtenidos, quedan representados en las **Figuras 3.15, 3.16 y 3.17**.

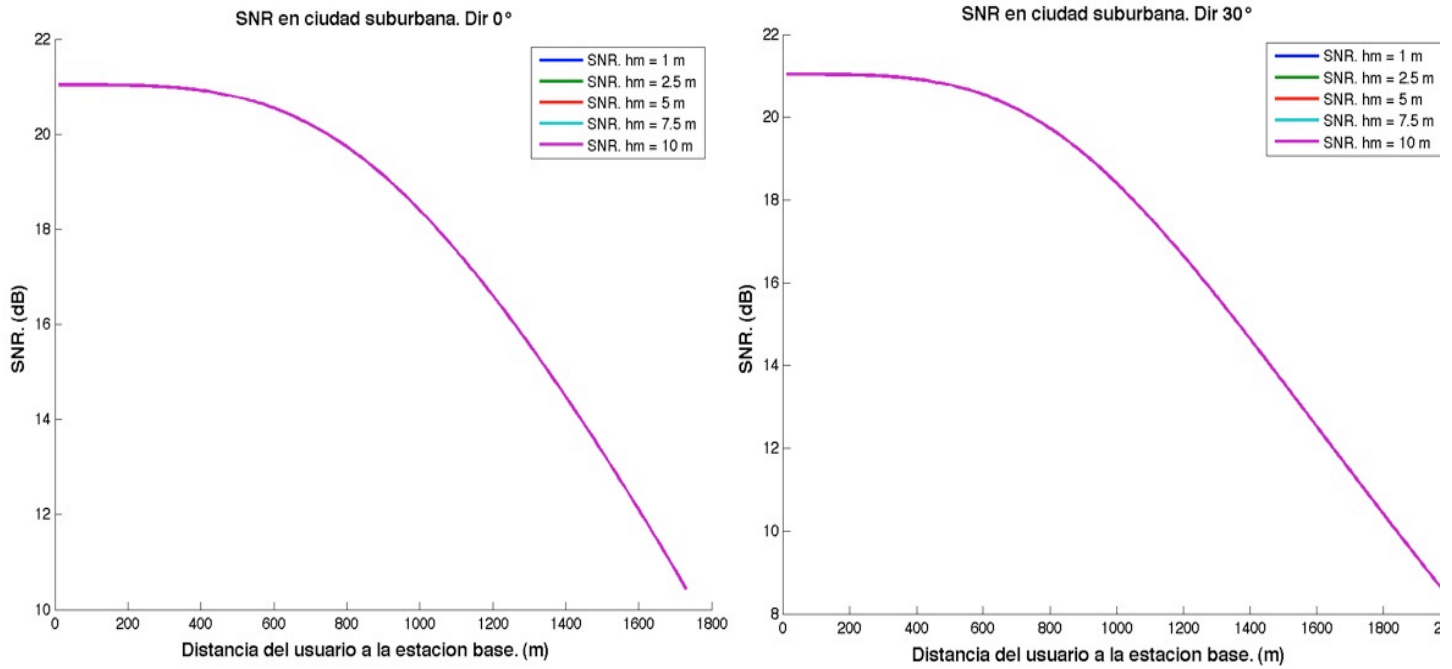
*1º escenario: ciudad grande.*



**Figura 3.15:** SNR recibida ante distintos valores de la altura de la antena receptora  
Aire libre. Ciudad Grande.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

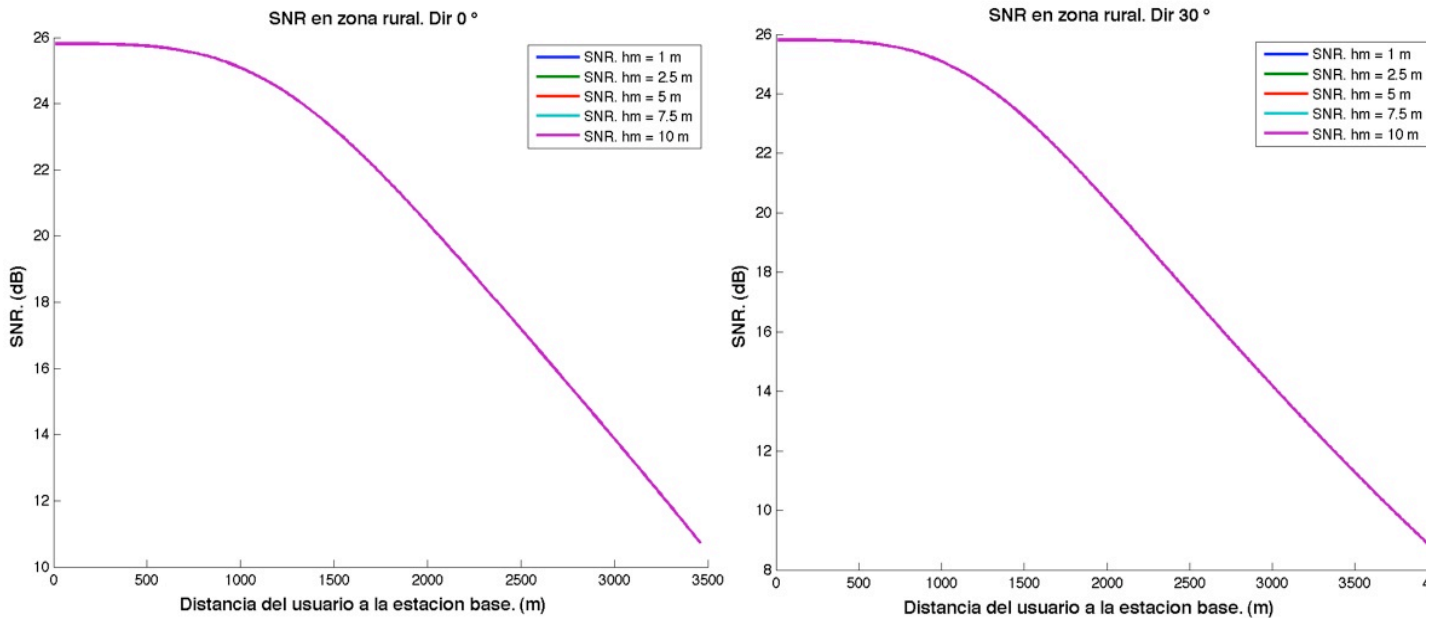
#### 2º escenario: ciudad suburbana.



**Figura 3.16:** SNR recibida ante distintos valores de la altura de la antena receptora.

Aire libre. Ciudad Suburbana.

#### 3º escenario: zona rural.



**Figura 3.17:** SNR recibida ante distintos valores de la altura de la antena receptora.

Aire libre. Zona Rural.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

Como podemos observar en la simulación realizada en un entorno urbano, el aumento de la altura del terminal de recepción se ve recompensado con una mejora de la calidad de señal recibida de apenas medio decibelio, tal y como se puede apreciar en la **Figura 15**. Esto se debe, al aumento de la visión directa entre la antena emisora y el terminal receptor a medida que se aumenta la altura de éste. Esta configuración no aporta nada nuevo a los resultados obtenidos en apartados anteriores, ya que el incremento en la calidad de la señal en este contexto no es suficiente como para provocar un cambio importante en las condiciones del sistema.

En cuanto al resto de los entornos bajo estudio, como cabía esperar, todas las trazas se superponen, ya que en estos entornos, el aumento de altura no aporta mejora en la SNR recibida. Al igual que en el caso anterior la traza resultado, no aporta ninguna novedad con respecto a los apartados anteriores.

#### **Segundo contexto. El usuario se encuentra en el interior de un inmueble en una estancia cerrada.**

En este escenario, nos vamos a centrar en el estudio de la SNR de la comunicación, cuando el usuario se encuentra en el interior de un inmueble en una estancia cerrada, en la que no exista alguna ventana u obertura, por la que pueda existir visión directa entre la estación base que proporciona el servicio y el terminal de recepción. A efectos de la simulación, el usuario estaría rodeado de paredes. Este escenario sería el característico de todos los usuarios que accedan al servicio desde grandes estancias lóbregas como pueden ser bibliotecas o laboratorios, o de aquellos clientes que trabajan en departamentos de bloques de oficinas que se encuentran alejados de los ventanales.

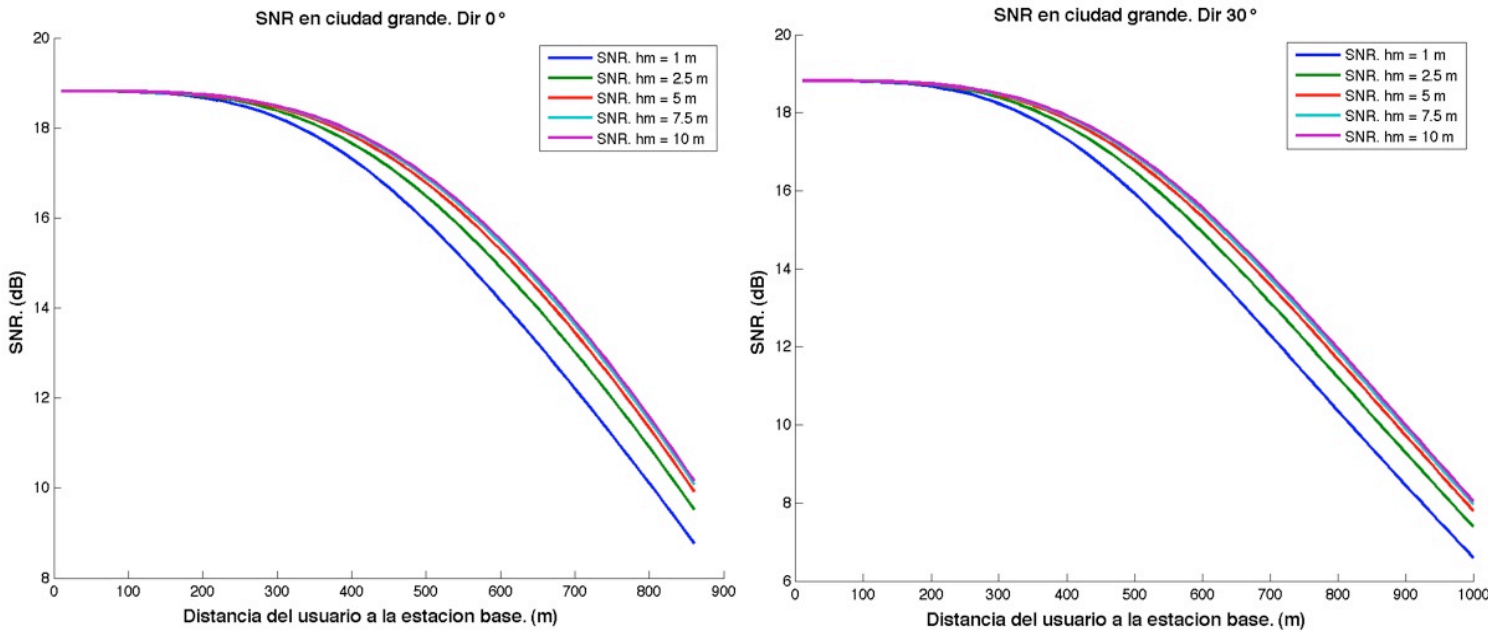
Para poder realizar la simulación en estas condiciones, hemos añadido a todas las señales que entran en juego en la simulación, unas pérdidas extras que representan las sufridas por la señal al atravesar una pared. Todas estas pérdidas serán idénticas, y tomarán un valor de doce decibelios.

Los resultados obtenidos son los representados en las **Figuras 3.18, 3.19 y 3.20**.



### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

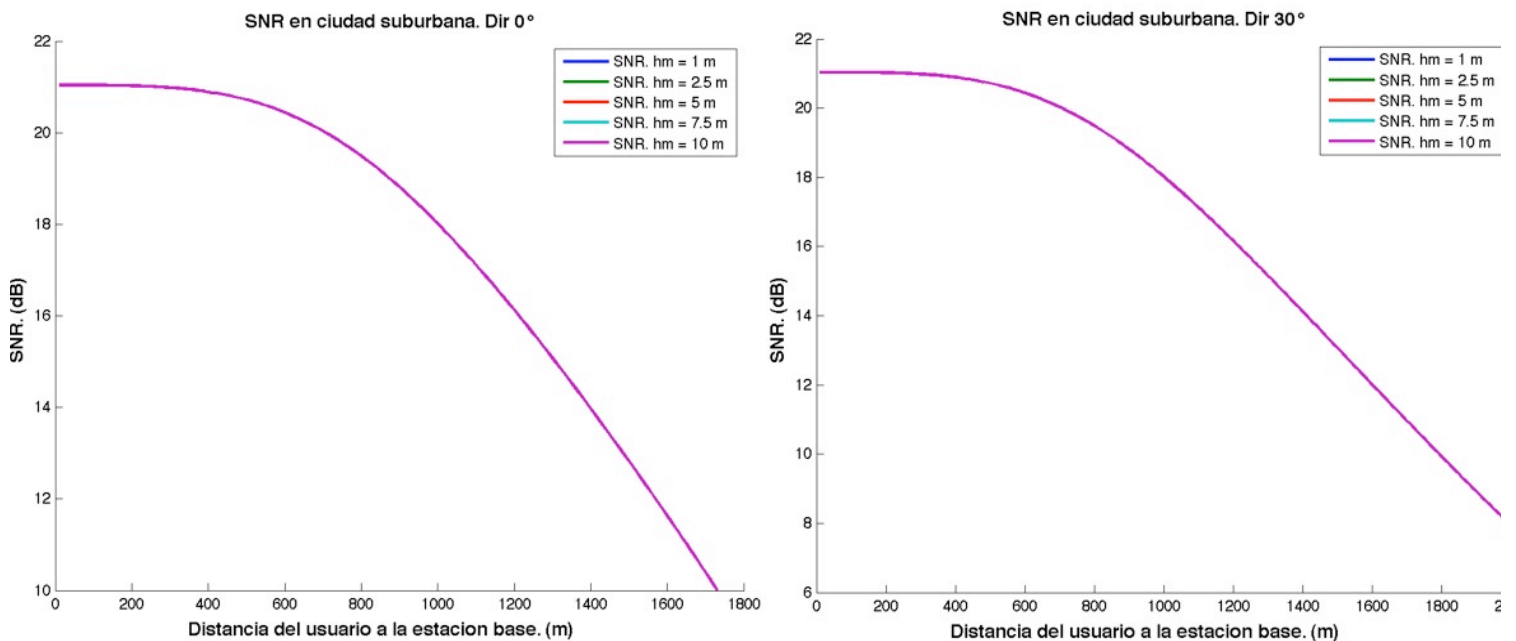
#### 1º escenario: ciudad grande.



**Figura 3.18:** SNR recibida ante distintos valores de la altura de la antena receptora.

Rodeado de muros. Ciudad Grande.

#### 2º escenario: ciudad suburbana.

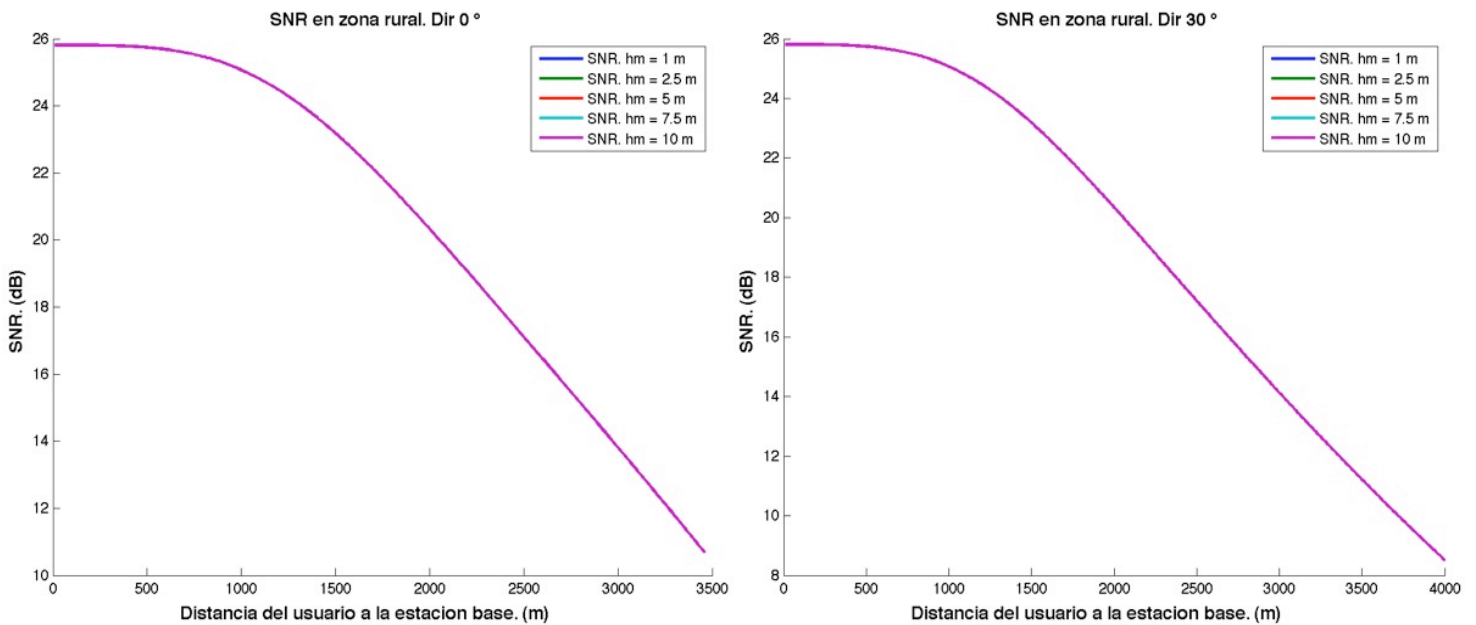


**Figura 3.19:** SNR recibida ante distintos valores de la altura de la antena receptora.

Rodeado de muros. Ciudad Suburbana.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

#### 3° escenario: zona rural.



**Figura 3.20:** SNR recibida ante distintos valores de la altura de la antena receptora.

#### Rodeado de muros. Zona Rural.

Analizando los resultados que hemos obtenido tras realizar la simulación en una ciudad, se puede apreciar que a medida que aumentan las pérdidas en la señal debido a los obstáculos que ésta debe atravesar, las diferencias en la relación señal a ruido en recepción entre las distintas alturas, se van haciendo cada vez más notables. La señal de información será mucho más vulnerable a los posibles obstáculos que se pueda encontrar en el camino, cuanto menor sea la altura del terminal de recepción. Este hecho lo podemos corroborar gracias a la simulación, ya que como se puede apreciar en la **Figura 3.18**, la SRN recibida a una altura de un metro es inferior a la obtenida en la **Figura 3.15** en una cantidad de 1.5 dB, mientras que cuando el receptor se encuentra a la máxima altitud posible, la diferencia entre ambas trazas es prácticamente despreciable.

En cuanto a los otros dos escenarios bajo estudio, se puede advertir que las diferencias entre las **Figuras 3.16, 3.17** y las **Figuras 3.19, 3.20**, son mínimas, con unas diferencias máximas entre ambas inferior a medio decibelio. La causa de este fenómeno es la potencia de ruido del sistema; conclusión que procedemos a demostrar a continuación.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

En los entornos suburbanos y rurales donde las pérdidas de propagación son muy bajas, no es raro encontrar en los extremos de la celda, valores de potencia de señal y de interferencia entorno a los  $10^{-9}$  y  $10^{-8}$  vatios, mientras que la potencia de ruido permanece constante con valores aproximados a  $10^{-10}$  vatios en todos los entornos y situaciones. Cuando introducimos en el sistema unas pérdidas de doce decibelios para todas las potencias que entran en juego en la simulación, a excepción de la potencia de ruido que permanece invariante, es lo equivalente en unidades naturales, a dividir la potencia de señal, y las interferencias internas y externas por  $10^{1.2}$ , valor en unidades naturales de la atenuación provocada por la pared, quedando la ecuación (3.14) de la siguiente manera:

$$snr = \frac{g_p \cdot s \cdot \frac{1}{10^{1.2}}}{(F_{sector} \cdot (i_{int} \cdot \frac{1}{10^{1.2}} + i_{ext} \cdot \frac{1}{10^{1.2}})) + n} \quad (3.15)$$

Haciendo mención a los posibles valores que toman los parámetros que entran en juego a la hora de calcular la SNR en recepción, podemos comprobar que la potencia de ruido sólo influirá en una décima o centésima parte del valor total del dividendo. Un valor tan reducido como este, no influirá prácticamente sobre el resultado final de la relación señal a ruido pudiendo hacer, por consiguiente, la siguiente demostración:

$$snr = \frac{g_p \cdot s \cdot \frac{1}{10^{1.2}}}{(F_{sector} \cdot (i_{int} \cdot \frac{1}{10^{1.2}} + i_{ext} \cdot \frac{1}{10^{1.2}})) + n} \approx \frac{\frac{1}{10^{1.2}} \cdot g_p \cdot s}{\frac{1}{10^{1.2}} (F_{sector} \cdot (i_{int} + i_{ext})) + n} = \frac{10^{1.2}}{10^{1.2}} \frac{g_p \cdot s}{(F_{sector} \cdot (i_{int} + i_{ext}))} \quad (3.16)$$

Como podemos apreciar, la fórmula (3.16) obtenida tras la demostración, es idéntica a la (3.14); de ahí que en entornos suburbanos y rurales apenas haya diferencia, en cuando al SNR recibido, entre un contexto en el que el usuario se encuentre al aire libre y otro en el que el usuarios se localice en el interior de un inmueble.

En entornos urbanos, las pérdidas de propagación son bastante elevadas a pesar de que el radio de la célula sea reducido. Tanto la señal de información como las señales interferentes toman valores comprendidos entre los  $10^{-10}$  y los  $10^{-11}$  vatios. Estos valores de potencia poseen unos órdenes de magnitud iguales a los de la potencia de ruido, por lo que la simplificación de la demostración anterior no puede

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

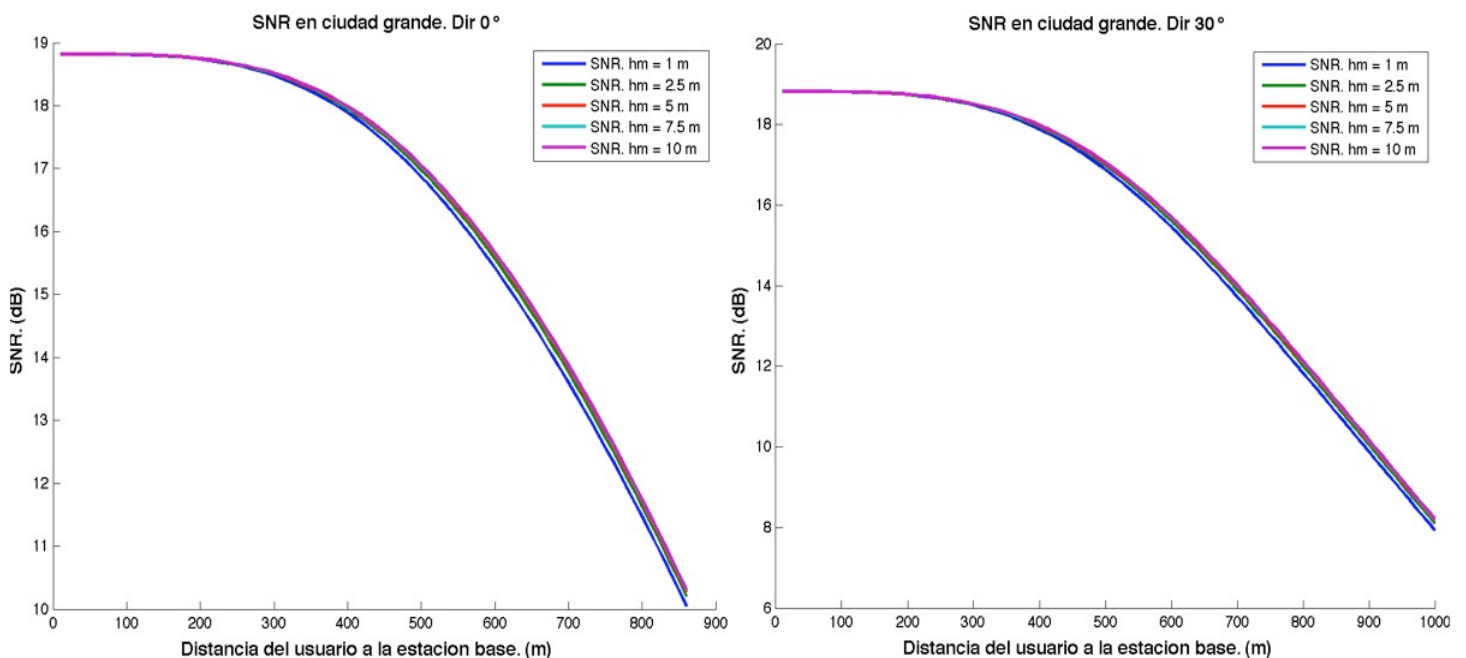
ser realizada, provocando un aumento en el valor del denominador en la ecuación, que desemboca en una disminución de la calidad de señal recibida como se ha podido apreciar en la **Figura 3.17**.

**Tercer contexto. El usuario se encuentra en el interior de un inmueble rodeado por ventanas o cualquier otra superficie vítrea.**

En este contexto vamos a estudiar como influye en la relación señal a ruido final, que el usuario que esté accediendo al servicio se encuentre en el interior de un inmueble, rodeado de ventanas. Este escenario será el característico para todos aquellos clientes que intenten acceder desde una torre de control de un aeropuerto o desde un mirador, ya sea forestal o turístico.

Para simular estas condiciones, hemos empleado el mismo método que en el apartado anterior con la salvedad de que en este caso las atenuaciones por obstáculo serán sólo de cuatro decibelios. Tras las realizar las simulaciones, los resultados quedan representados en las **Figuras 21, 22 y 23**:

*1º escenario: ciudad grande.*

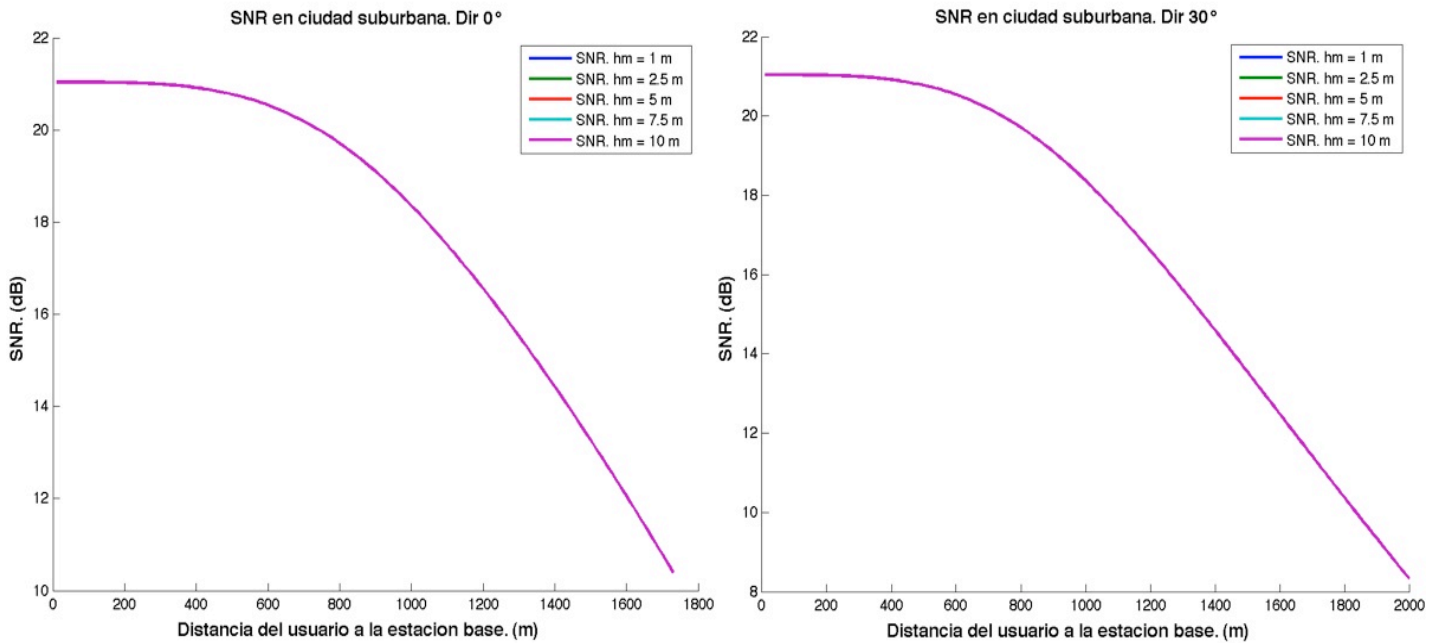


**Figura 3.21:** SNR recibida ante distintos valores de la altura de la antena receptora.

Rodeado de vidrios. Ciudad Grande.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

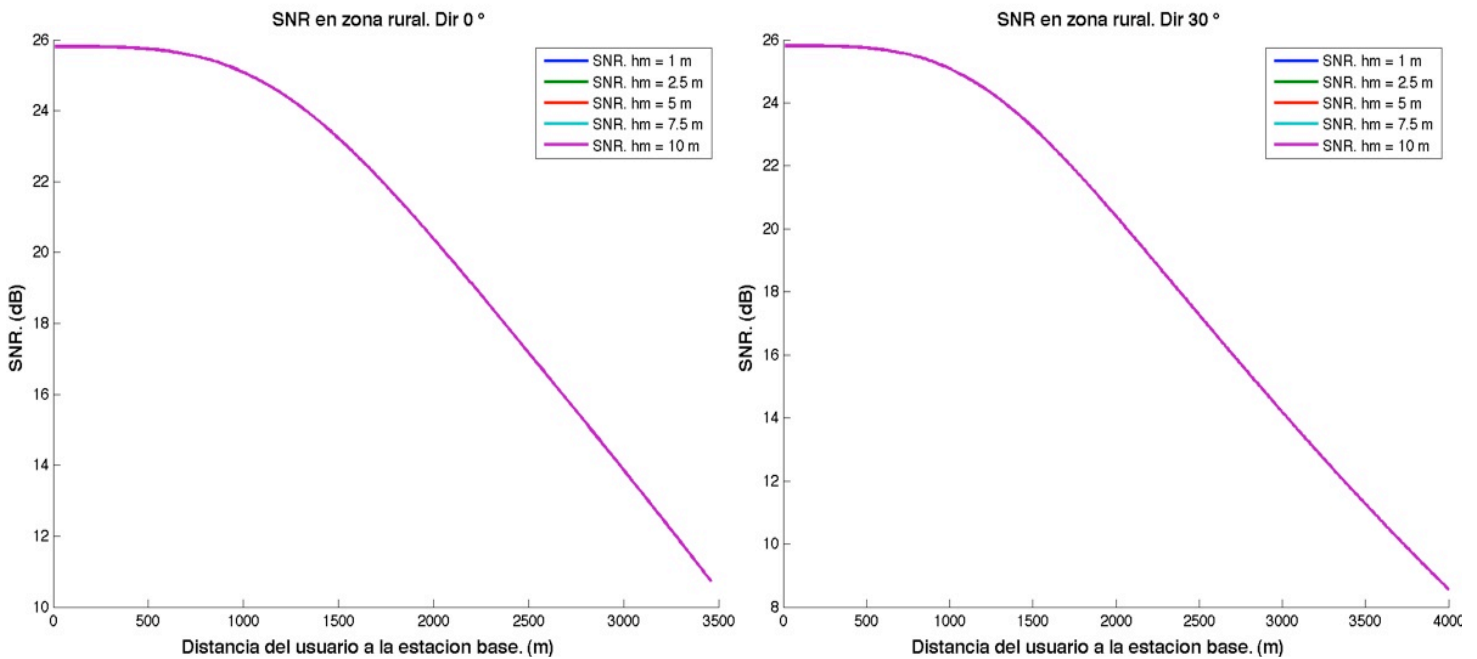
#### 2º escenario: ciudad suburbana.



**Figura 3.22:** SNR recibida ante distintos valores de la altura de la antena receptora.

Rodeado de vidrios. Ciudad suburbana.

#### 3º escenario: zona rural.



**Figura 3.23:** SNR recibida ante distintos valores de la altura de la antena receptora.

Rodeado de vidrios. Zona Rural.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

Como se puede apreciar en los gráficos, los resultados son muy parecidos a los obtenidos en el apartado anterior. La única diferencia es una menor separación entre las trazas de SNR a distintas alturas en el análisis para una ciudad grande, debido a las menores pérdidas extras sufridas por la señal. Al igual que en el caso anterior, los entornos rurales y suburbanos no presencian casi modificación en la calidad de señal recibida, en comparación con el estudio realizado al aire libre. En este contexto, al igual que en el anterior, la explicación del porqué de este fenómeno, queda demostrado y explicado en el estudio realizado en el apartado precedente, con la única diferencia, de que en este caso las pérdidas extras son de cuatro decibelios.

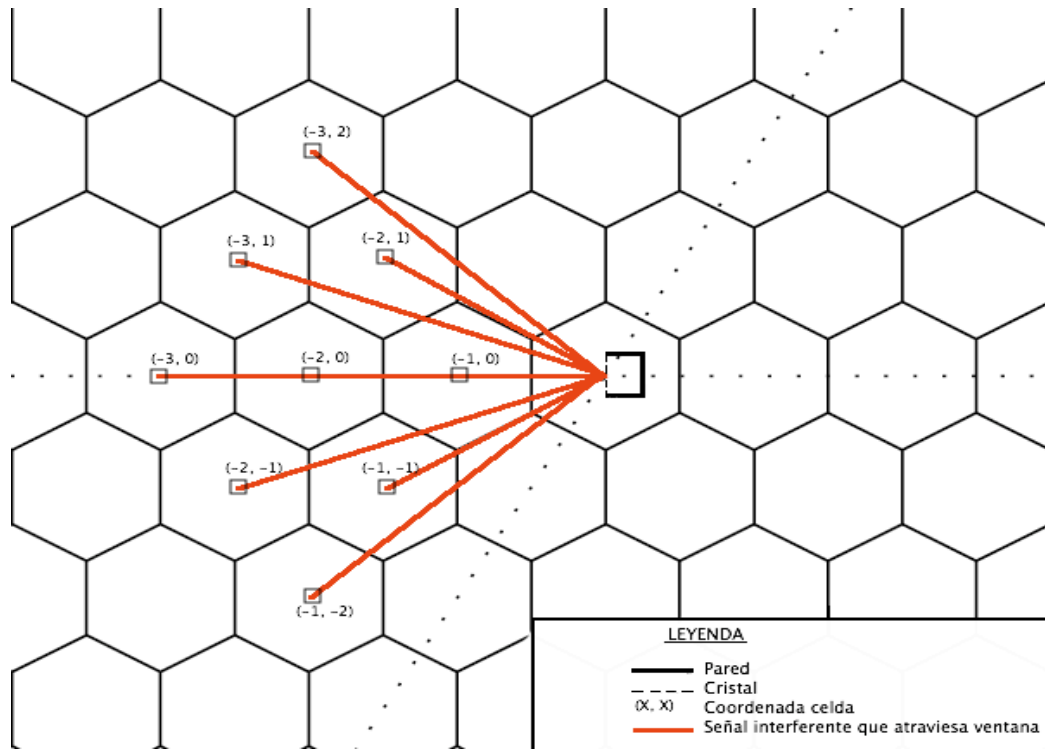
#### **Cuarto contexto. El usuario se encuentra en el interior de un inmueble rodeado por tres paredes y una ventana.**

En este contexto, vamos a estudiar una situación muy común. Vamos a simular un escenario, en el cual el usuario que está utilizando el servicio HSDPA, se encuentra en el interior de un edificio situado frente a una ventana. La señal de información que le llega al cliente, y las señales interferentes provenientes de las estaciones bases situadas detrás de la que nos proporciona la información, sufren una atenuación extra de cuatro decibelios, la correspondiente a atravesar una ventana de vidrio. El resto de la estancia en la que se encuentra el usuario, está rodeado de paredes, por lo que las demás señales interferentes que entran dentro del análisis, se verán afectadas por una atenuación extra de doce decibelios, la correspondiente a atravesar una pared. Este escenario será el más característico de todos aquellos clientes que accedan al servicio desde un bloques de oficinas o desde una estancia de su domicilio.

Para poder simular este entorno, en primer lugar, hemos hallado las coordenadas de las células que se encuentran detrás de la estación base que nos proporciona el servicio, y cuyas señales interferentes sólo deben atravesar una ventana de vidrio para llegar al terminal de recepción. A continuación hemos asignado a cada una de las potencias que intervienen en la simulación, la atenuación extra que le corresponda. A la señal de información, a la señal de interferencia interna y a las señales de interferencia externa que provengan de las estaciones bases cuyas coordenadas hemos calculado en el paso previo, se les asignará una atenuación extra de cuatro decibelios. Al resto de las señales de interferencia externa, se les asignará una atenuación extra de doce decibelios.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

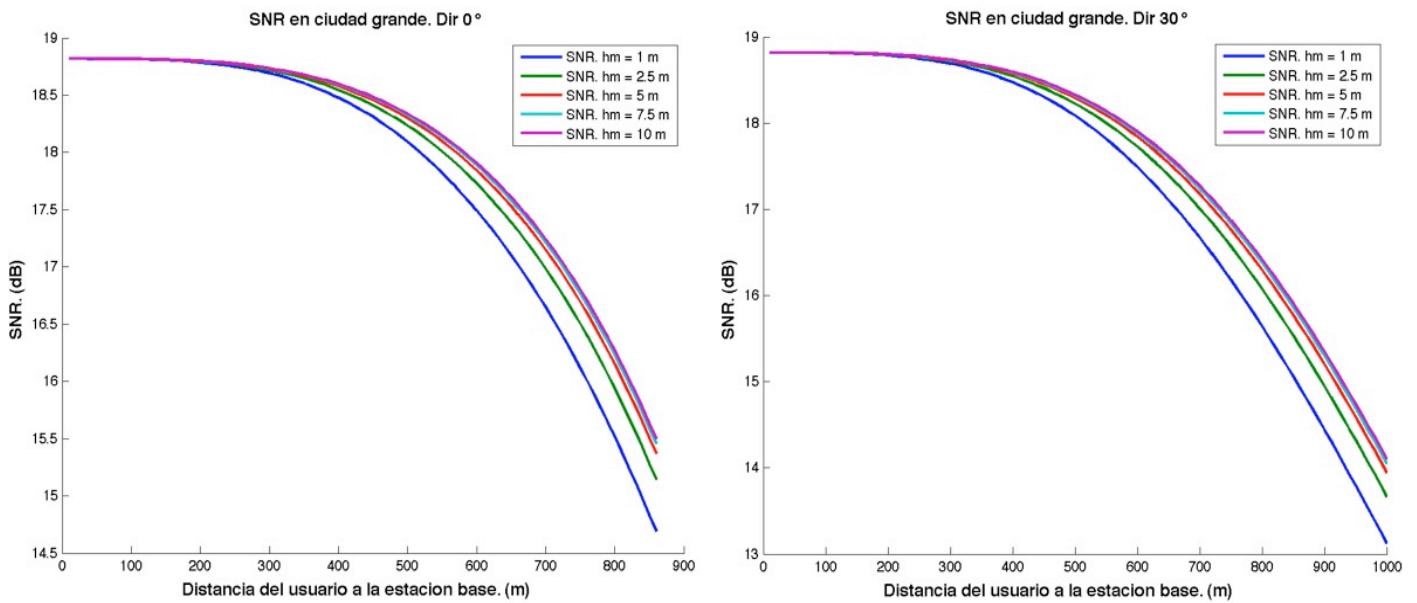
En la **Figura 3.24** se muestra un ejemplo gráfico de las coordenadas de las estaciones base cuyas señales sufrirán una atenuación extra de cuatro decibelios.



**Figura 3.24:** Células cuyas señales sufren una atenuación de 4 dB.

Una vez realizadas las simulaciones del sistema sintetizado, los resultados se muestran en las **Figuras 3.25, 3.26 y 3.27**.

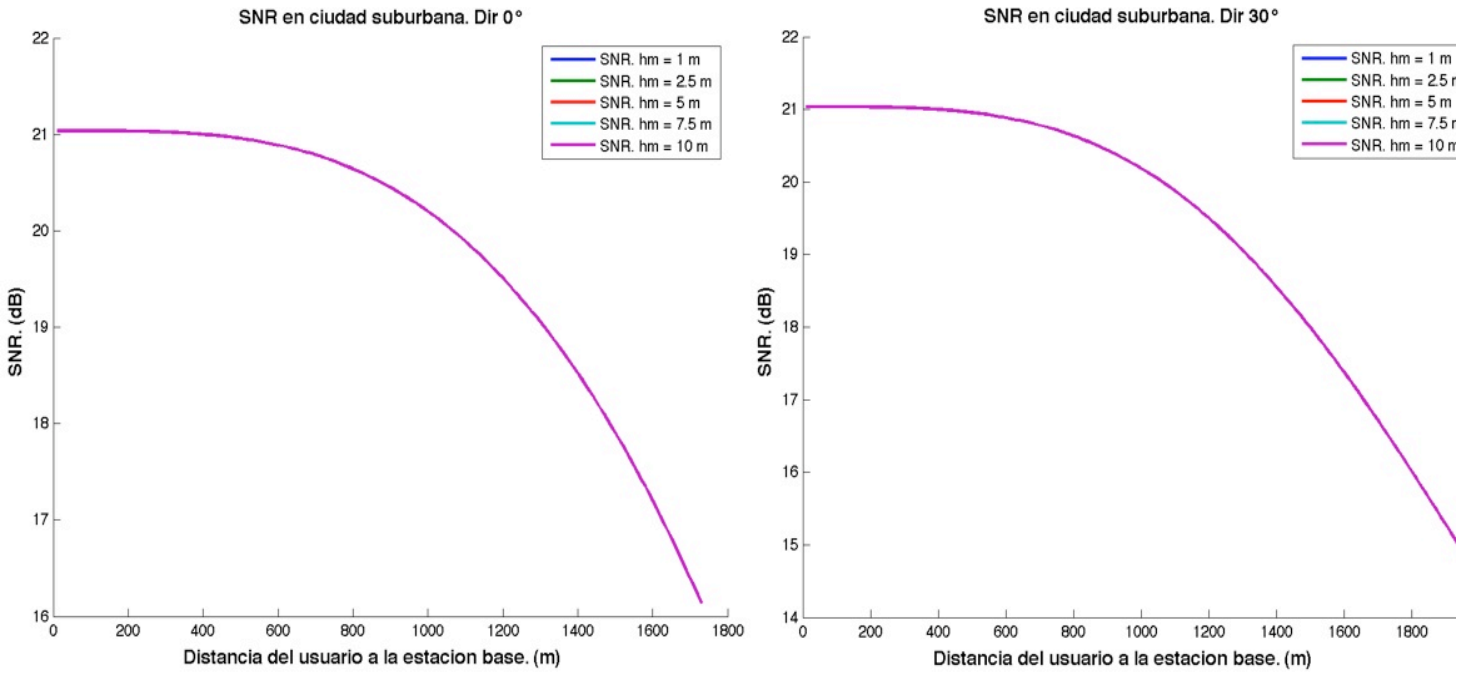
*1º escenario: ciudad grande.*



**Figura 3.25:** SNR recibida ante distintos valores de la altura de la antena receptora. Rodeado de tres muros y un vidrio. Ciudad Grande.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

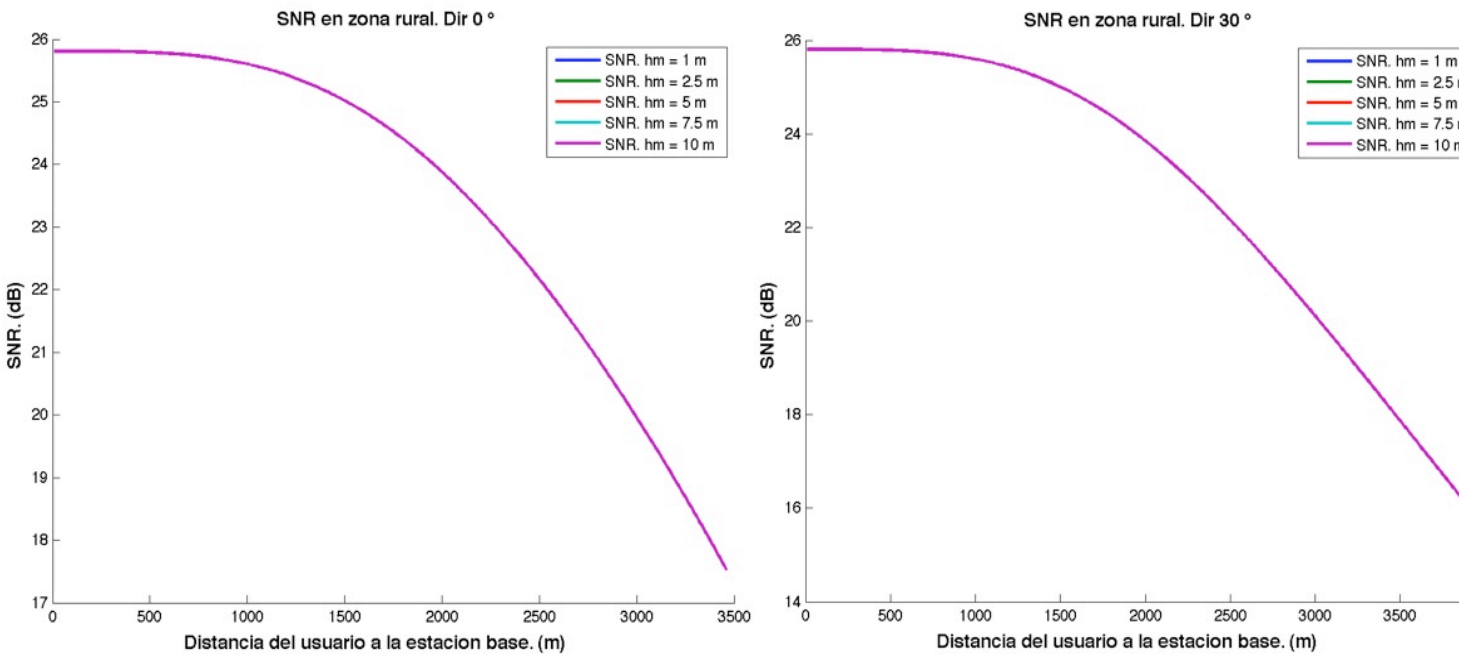
#### 2º escenario: ciudad suburbana.



**Figura 3.26:** SNR recibida ante distintos valores de la altura de la antena receptora.

Rodeado de tres muros y un vidrio. Ciudad Suburbana.

#### 3º escenario: zona rural.



**Figura 3.27:** SNR recibida ante distintos valores de la altura de la antena receptora.

Rodeado de tres muros y un vidrio. Zona rural.



### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

Los resultados muestran que lejos de sufrir un empeoramiento de la calidad de señal, como en un principio se podía suponer, se puede apreciar una mejora en la SNR de recepción en comparación a los modelos anteriormente estudiados. En este escenario, sólo la señal de nueve de las treinta y seis celdas vecinas que hemos tenido en cuenta para el cálculo de la interferencia externa, atraviesan la ventana de vidrio, al igual que la señal de información y la señal de interferencia interna. Esto provoca que el conjunto de las señales interferentes sufra mayores atenuaciones que la señal de información, aumentando la diferencia entre ambas magnitudes, y obteniendo como resultado final una relación señal a ruido recibida superior, que la obtenida en los contextos anteriores.

#### 3.3.1.6 Variación de la SNR ante distintos valores del factor de ruido del terminal móvil

La calidad del terminal con el que estemos realizando la recepción de la información, es también importante a la hora de obtener la relación señal a ruido resultante.

A medida que la implantación de la tecnología HSDPA avance, irán apareciendo nuevos terminales en el mercado que aporten mejoras a la hora de procesar la señal que se reciba. De todos los componentes que componen el terminal, el factor que más influye sobre la señal, es el factor de ruido total de la cadena de cuadripolos que forman el receptor. Nuestro objetivo en este apartado, es comprobar como influye la variación del factor de ruido en la potencia de ruido resultante y en la relación señal a ruido en recepción.

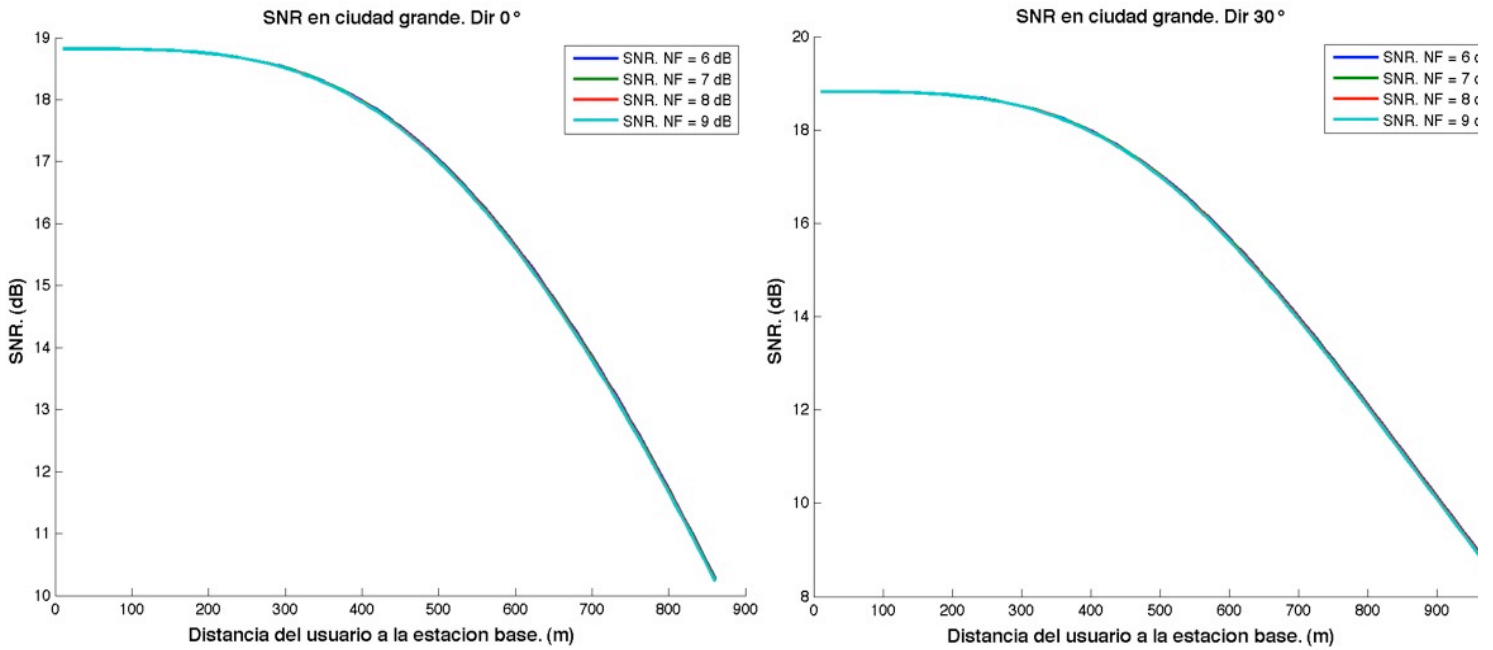
Los valores del factor de ruido oscilarán entre los 6 dB, en terminales de buena calidad, y los 9 dB en los de mala. Los demás parámetros variables toman los siguientes valores:

- $P_{\max} = 20 \text{ W}$
- $P_{\text{HSDPA}} = 10 \text{ W}$
- Radio célula = Radio célula = 1 Km. en ciudad, 2 Km. en entorno suburbano y 4 Km. en zona rural.
- Altura antena = 30 m
- Altura terminal = 1.5 m
- Factor de ruido = [6:9] dB

Los resultados se muestran en la **Figura 3.28, 3.29 y 3.30.**

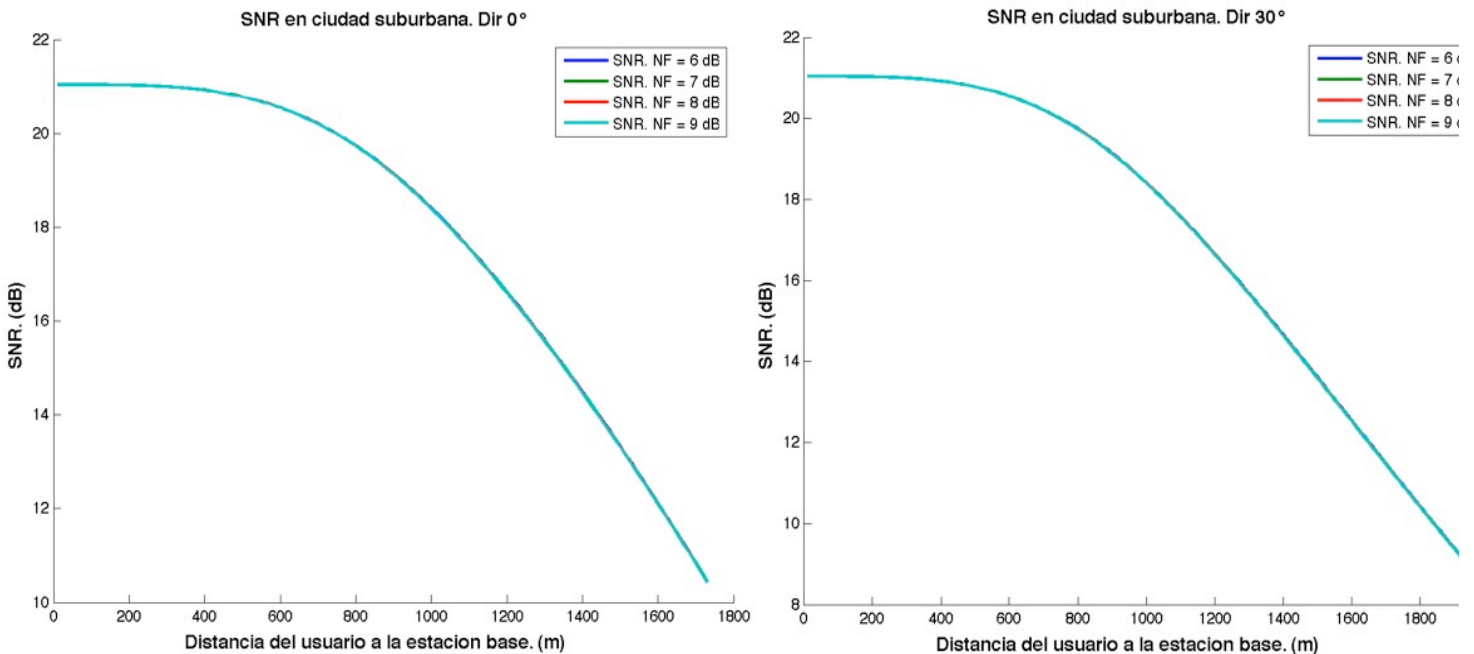
### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

#### 1° escenario: ciudad grande.



**Figura 3.28:** SNR recibida ante distintos valores del factor de ruido. Ciudad Grande.

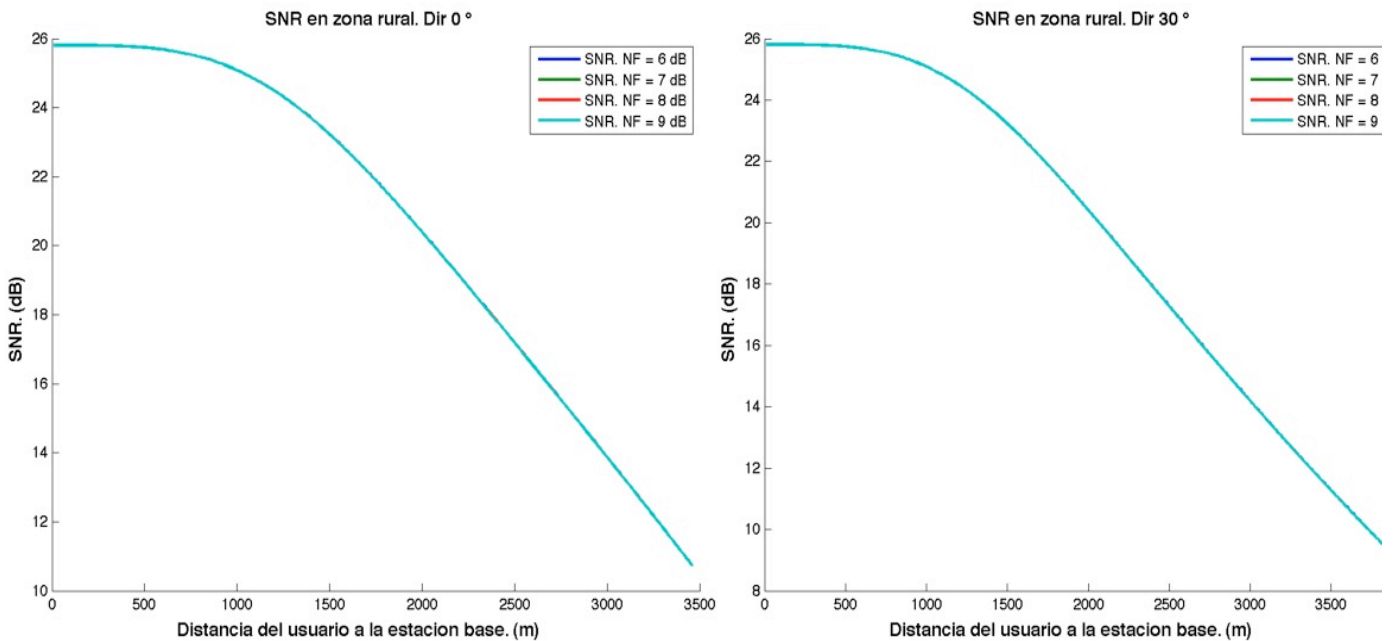
#### 2° escenario: ciudad suburbana.



**Figura 3.29:** SNR recibida ante distintos valores del factor de ruido. Ciudad Suburbana.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

#### 3° escenario: zona rural.



**Figura 3.30:** SNR recibida ante distintos valores del factor de ruido. Zona rural.

Como podemos apreciar en los resultados, la calidad del terminal móvil que empleemos influye de una forma prácticamente inapreciable sobre la calidad de señal recibida, destacándose ligeramente, en entornos urbanos donde las atenuaciones sufridas por la señal son mayores.

El aumento del factor de ruido, sólo afecta a la potencia de ruido total que recibe el terminal. Este valor se mantiene constante debido a que ninguno de los factores que determinan su valor, depende de parámetros relacionados con la comunicación como puede apreciarse en (3.8). En entornos rurales y suburbanos, donde las pérdidas de propagación son pequeñas, la potencia de señal interferente, sobretudo la externa, toma valores mucho mayores que la potencia de ruido total, convirtiendo a dicho factor, en un valor prácticamente despreciable a la hora de determinar la SNR recibida. Cuanto menores sean las pérdidas de propagación que sufra la señal, menor será la influencia del factor de ruido.

#### 3.3.1.7 Interpolación de resultados y conclusiones finales del apartado.

Hasta el momento, hemos representado como afecta a la relación señal a ruido en recepción la variación de todos los parámetros variables que influyen en la comunicación, pero no hemos analizado como sería la SNR en el caso de que más de

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

un parámetro tome valores distintos a los que hemos tenido en cuenta en las simulaciones.

En caso de que deseemos obtener un valor de relación señal a ruido que no esté representado en las gráficas que hemos expuesto en los apartados anteriores, deberemos interpolar entre los resultados de los que disponemos. El efecto sobre la SNR, de la variación de los valores de los factores que influyen en la comunicación, son complementarios, es decir, ningún efecto que produzca un valor en la simulación en la SNR resultante, se verá anulado por el efecto de otro valor. Sucederá exactamente lo contrario, se sumarán los resultados pudiendo elaborar fácilmente una gráfica solución, en función de las que ya disponemos.

Con este método podemos obtener una solución aproximada y rápida de la relación señal a ruido que obtendremos en recepción. Si el usuario desea obtener resultados más exactos, podrá dirigirse al **Anexo A**, donde encontrará el código Matlab que ha sido empleado para obtener los resultados, en el cual sólo deberá realizar los cambios oportunos en los parámetros de la simulación, para obtener el resultado deseado.

#### **3.3.2 Calculo de la modulación binaria en función de la calidad de señal recibida**

El nivel de calidad de señal recibida en el terminal, está estrechamente relacionado con la tasa binaria de descarga. Cuanto mayor sea el nivel de relación señal a ruido recibida, el sistema podrá utilizar modulaciones más potentes y un código convolucional menos fuerte que permita que la tasa binaria de descarga neta sea cada vez superior.

En la actualidad, todos los terminales y estándares sobre los que funciona la tecnología HSDPA están basados en el estándar *Release 6* diseñado por la organización 3GPP. Este estándar especifica para el canal de transporte compartido dos tipos de modulaciones. La primera de ellas, al igual que la usada en el canal DCH empleado en las comunicaciones UMTS, es una modulación QPSK, mientras que la segunda es una modulación de orden superior, 16QAM. Durante los estudios originales sobre la viabilidad de HSDPA, se estudiaron otras alternativas como usar modulaciones 8PSK o 64QAM. Estas alternativas fueron discutidas pero no consideradas principalmente por dos motivos. El primero de ellos era que había que añadir al sistema un nuevo control de adaptación al enlace capaz de soportar estas

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

modulaciones, cuando el que estaba ya disponibles, trabajaba con QPSK y 16QAM. El segundo motivo estaba relacionado con unas diferentes tasas de repetición y picado en los turbo códigos. [1]

En la actualidad, debido a las mejoras tecnológicas desarrolladas en los últimos años en los terminales de recepción, la organización 3GPP ha desarrollado un nuevo estándar que abre el camino a considerables aumentos en la tasa binaria de descarga. La norma *Release 7* presenta mejoras entre las que destaca el empleo de la modulación 64QAM en el enlace de bajada, en entornos donde la el nivel de calidad de señal recibida, sea muy bueno.

En el estudio de este proyecto, emplearemos la norma *Release 7* para especificar la modulación que se debe emplear en cada situación, ya que entendemos que no se tardará mucho en comercializar terminales que admitan estas mejoras, convirtiendo en antiguos todos los estudios que se hayan realizado bajo la norma *Release 6*.

En la **Tabla 3.1**, se representan los esquemas de modulación con sus tasas de turbo código empleados en *Release 7*, asociados a su correspondiente SNR en recepción. Esta información será la que empleemos a la hora de deducir cual es la modulación que mejor se adapta a las características del sistema que estemos estudiando en cada momento.

**Tabla 3.1:** Órdenes de modulación con su valor de SNR asociado [10].

ORDEN	ESQUEMA DE MODULACIÓN	SNIR (DB)
0	Sin servicio	-----
1	QPSK $\frac{1}{2}$	3.6
2	QPSK $\frac{2}{3}$	5.7
3	QPSK $\frac{3}{4}$	6.8
4	QPSK $\frac{5}{6}$	8
5	QPSK $\frac{7}{8}$	8.7
6	16-QAM $\frac{1}{2}$	9.6

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

7	16-QAM $\frac{2}{3}$	11.6
8	16-QAM $\frac{3}{4}$	13.6
9	16-QAM $\frac{5}{6}$	14.4
10	16-QAM $\frac{7}{8}$	15
11	64-QAM $\frac{2}{3}$	17.1
12	64-QAM $\frac{3}{4}$	18.6
13	64-QAM $\frac{5}{6}$	20
14	64-QAM $\frac{7}{8}$	21

El objetivo de este apartado es el de analizar el impacto que tiene sobre el esquema de modulación de la comunicación, las variaciones sufridas en el perfil de SRN obtenido en recepción cuando se modifican los parámetros de la simulación. Como podemos ver en la **Tabla 3.1**, las posible modulaciones de la comunicación están relacionadas con un valor discreto de SNR, por lo que puede suceder que unas pequeñas variaciones en el perfil de SNR no se vean reflejados con un cambio el esquema de la modulación de la comunicación.

Además de este fin, con este estudio pretendemos determinar si en el estado del arte actual de la tecnología, se puede alcanzar la máxima modulación normalizada en el *Release 7*, y si existe margen para futuras ampliaciones del estándar, con el empleo de macroceldas como medio de propagación de la señal.

Para evitar sobrecargar la memoria con gráficas que no aporten nueva información, sólo se va a realizar el análisis para aquellas configuraciones en las que los cambios producidos en la SNR recibida ante la variación de los parámetros de simulación, sea suficiente para producir variaciones en el esquema de modulación de la comunicación.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

#### 3.3.2.1 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores de potencia dedicada a la tecnología HSDPA

En este apartado analizaremos el efecto del aumento de la potencia dedicada en exclusiva a la tecnología HSDPA sobre el esquema de modulación, basándonos en la **Tabla 3.1** expuesta anteriormente. Como cabe esperar, cuanto mayor sea la potencia dedicada, mayor será el orden del esquema de modulación que se podrá emplear, pudiendo obtener así una mayor tasa binaria de descarga.

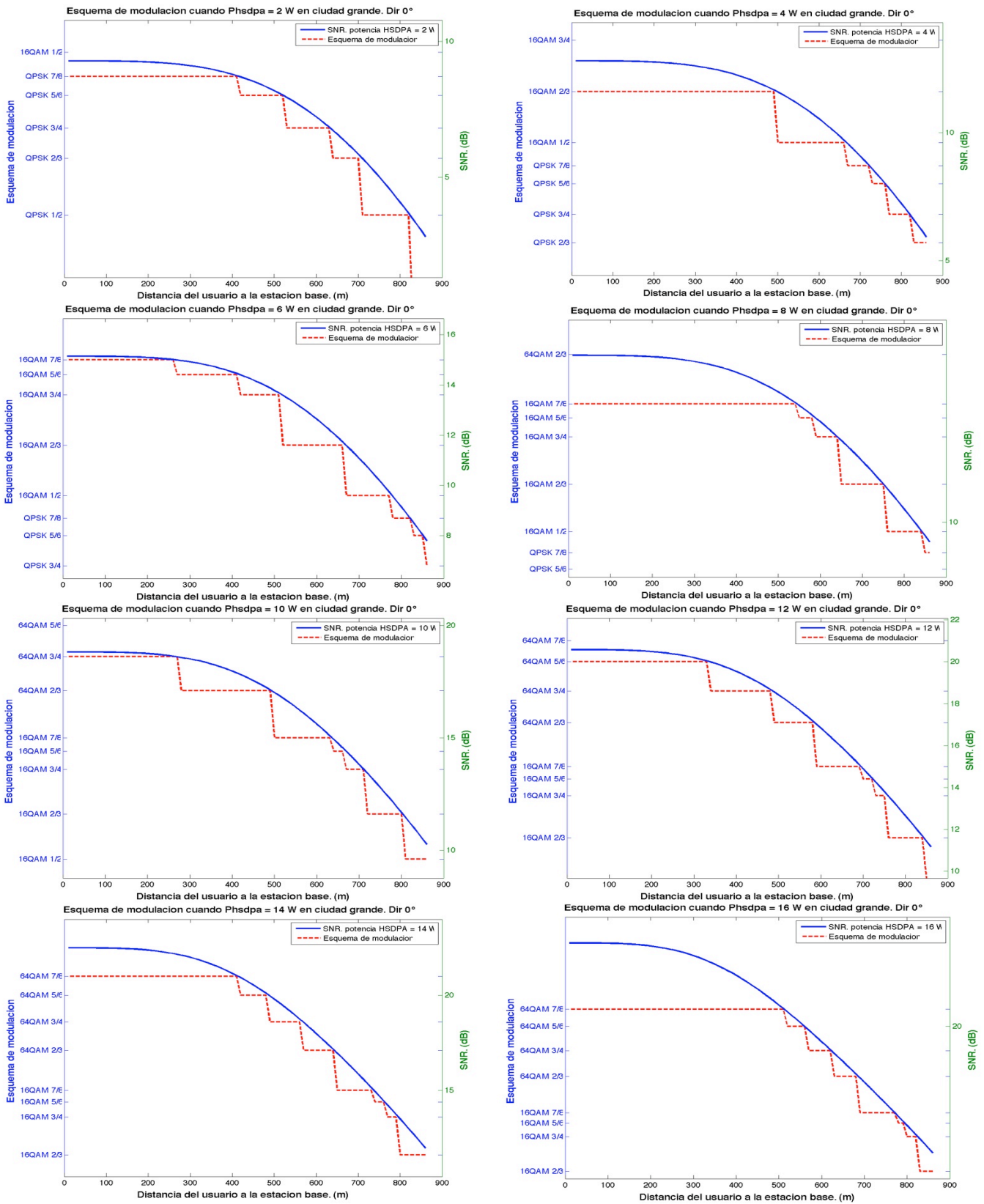
Para la realización de esta simulación, hemos dado a los parámetros del sistema exactamente los mismos valores que los escritos en el apartado **3.3.1.2** a excepción de la potencia dedicada a HSDPA.

Vamos a omitir en todas las configuraciones la gráfica que representa el esquema de modulación cuando la potencia dedicada en exclusiva a la tecnología HSDPA es igual a dieciocho vatios. Una asignación de potencia dedicada de tal valor, significaría que dicha célula no proporcionaría ningún servicio convencional de telefonía de tercera generación. Esta situación cuenta con unas probabilidades ínfimas de poder ocurrir, no sólo debido a la prioridad del tráfico de voz sobre el de datos, si no también a la práctica imposibilidad de que en algún momento del día exista un largo periodo de tiempo en la que la estación base carezca de actividad alguna, ya que a la hora de diseñar las células de cobertura, se intenta siempre obtener el máximo factor de ocupación en cualquier momento del día, siempre cumpliendo con las probabilidades de bloqueo establecidas. Haciéndonos eco de datos más reales, es muy difícil que el valor de potencia dedicada sobrepase los doce vatios.

Los resultados obtenidos para cada uno de los entornos quedan mostrados en las **Figuras 3.31, 3.32, 3.33, 3.34, 3.35 y 3.36**.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

#### 1º escenario: ciudad grande.

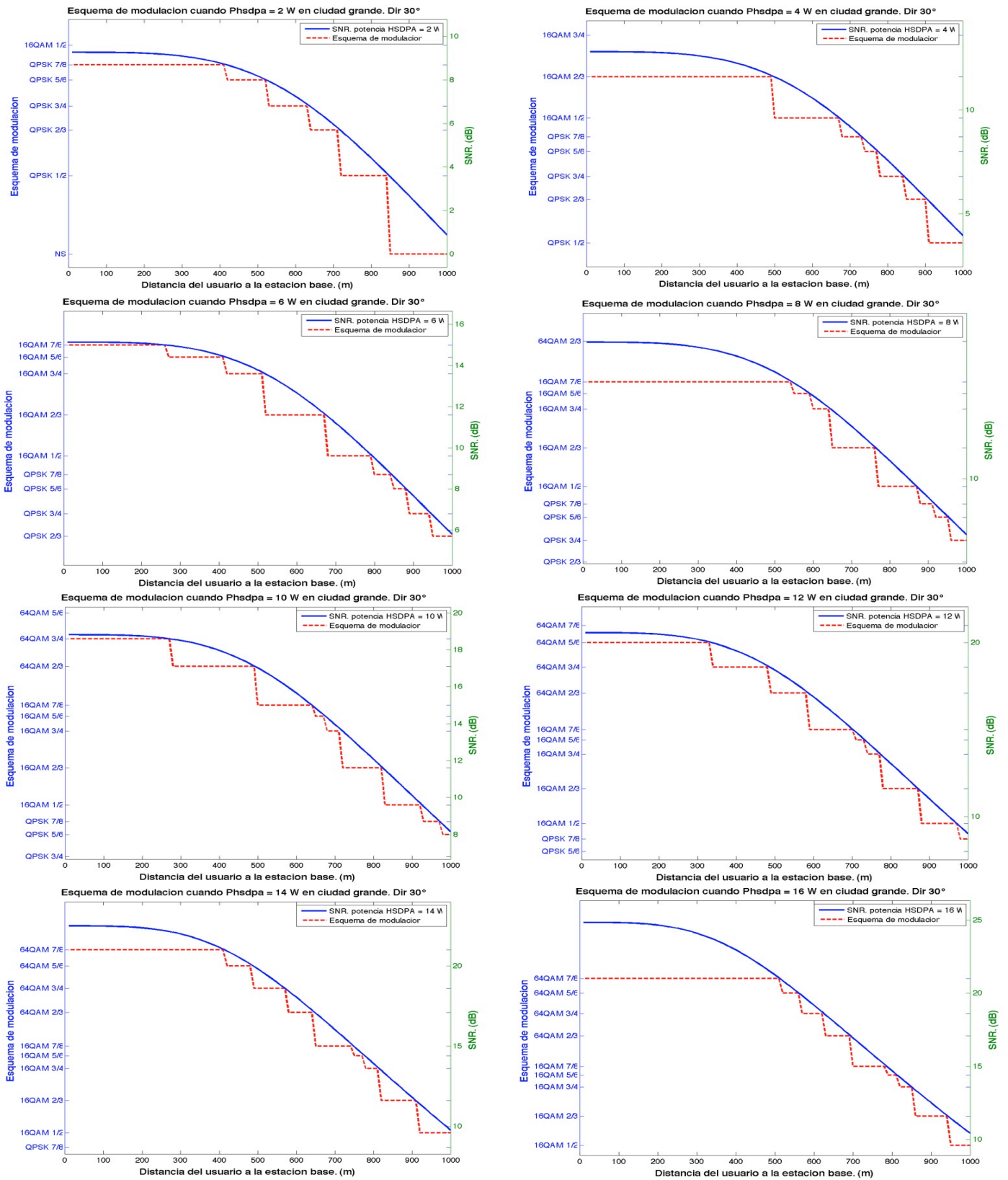


**Figura 3.31:** Esquema de modulación ante distintos valores de las potencias dedicadas. Ciudad Grande. Dirección 0°.



### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

Resultados obtenidos cuando el usuario sigue la dirección de treinta grados:



**Figura 3.32:** Esquema de modulación ante distintos valores de las potencias dedicadas. Ciudad Grande. Dirección 30°.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

#### 2º escenario: ciudad suburbana.

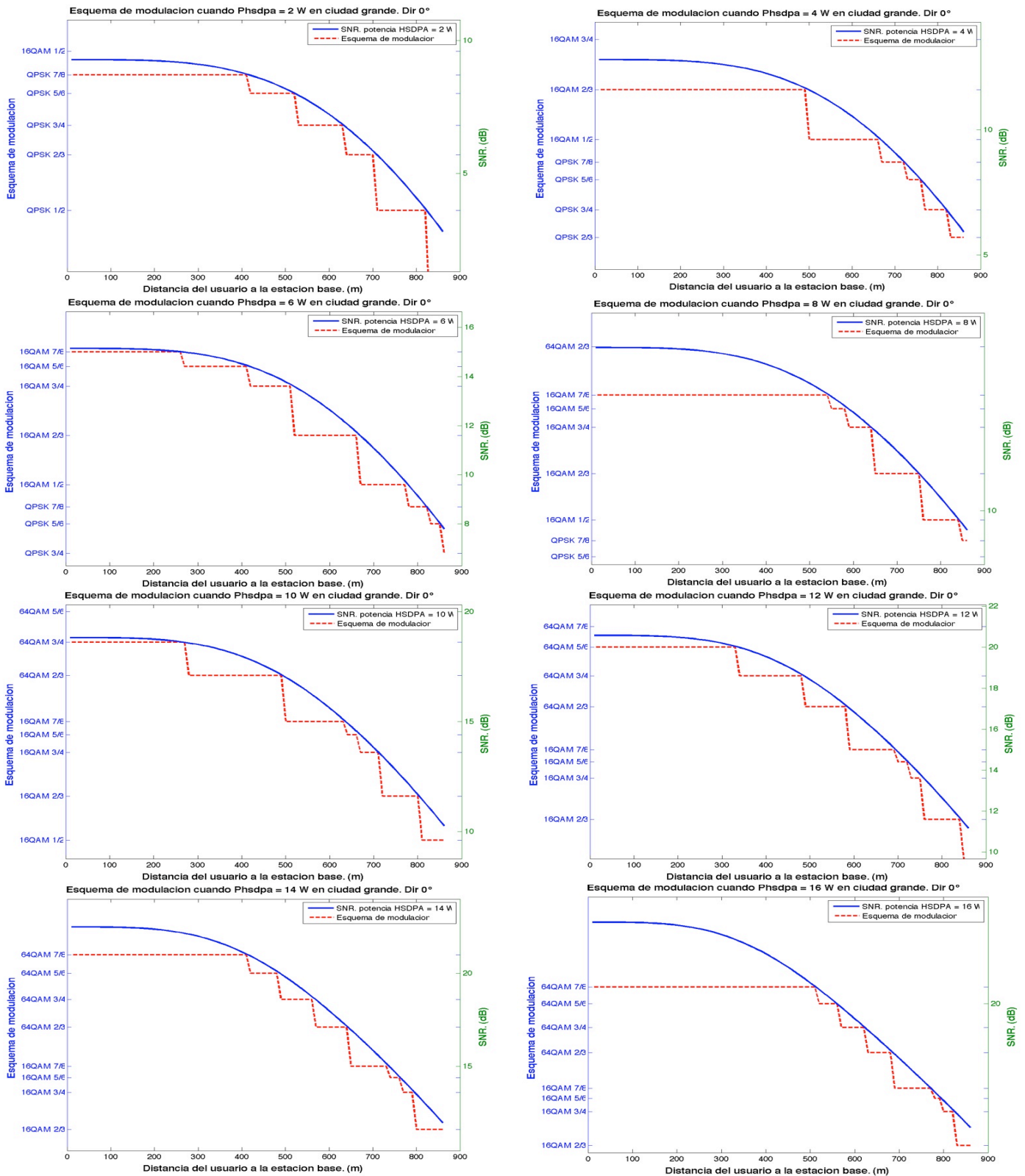


Figura 3.33: Esquema de modulación ante distintos valores de las potencias dedicadas. Ciudad Suburbana. Dirección 0°.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

Resultados obtenidos cuando el usuario sigue la dirección de treinta grados:

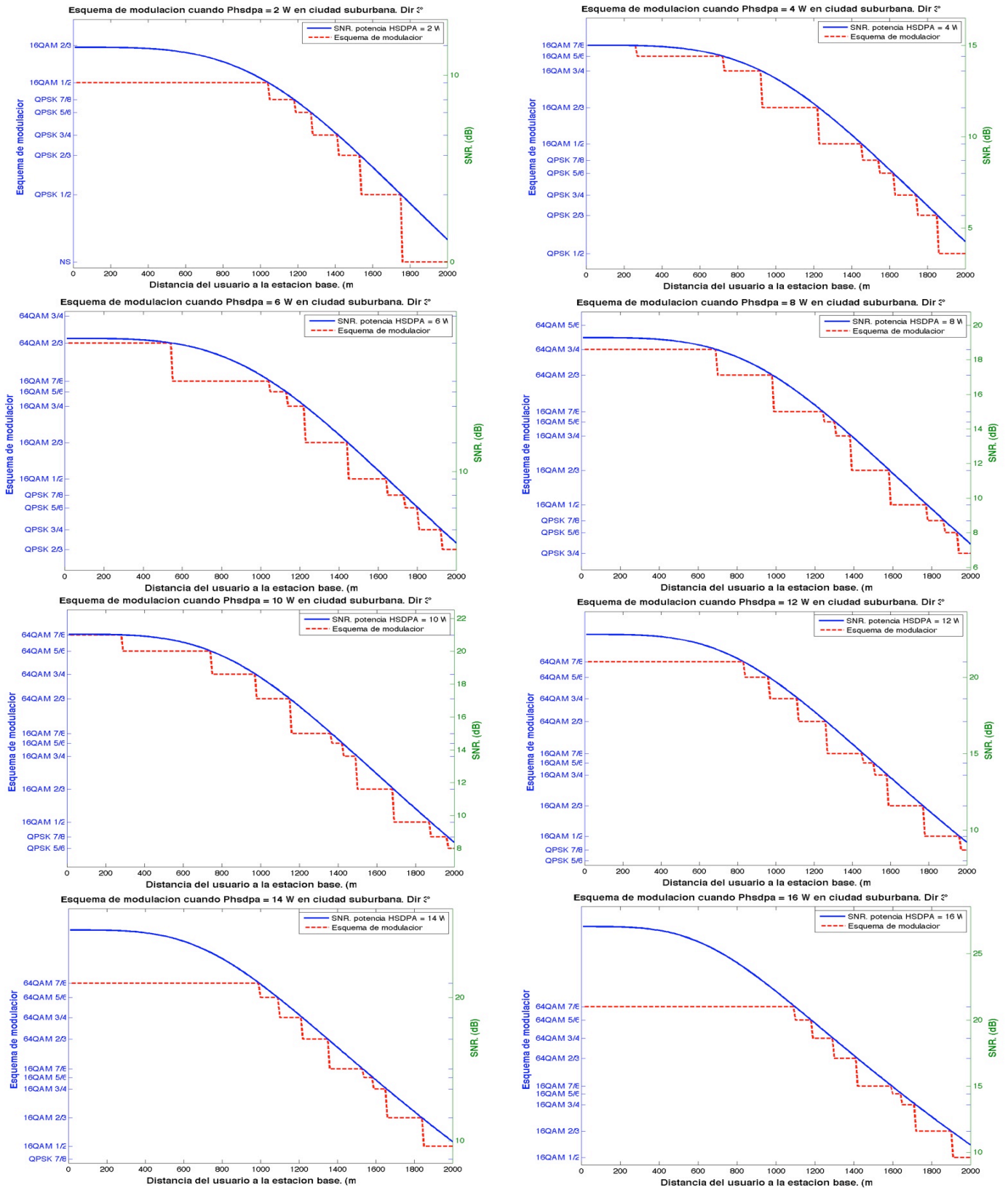


Figura 3.34: Esquema de modulación ante distintos valores de las potencias dedicadas. Ciudad Suburbana. Dirección 30°.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

#### 3° escenario: zona rural.

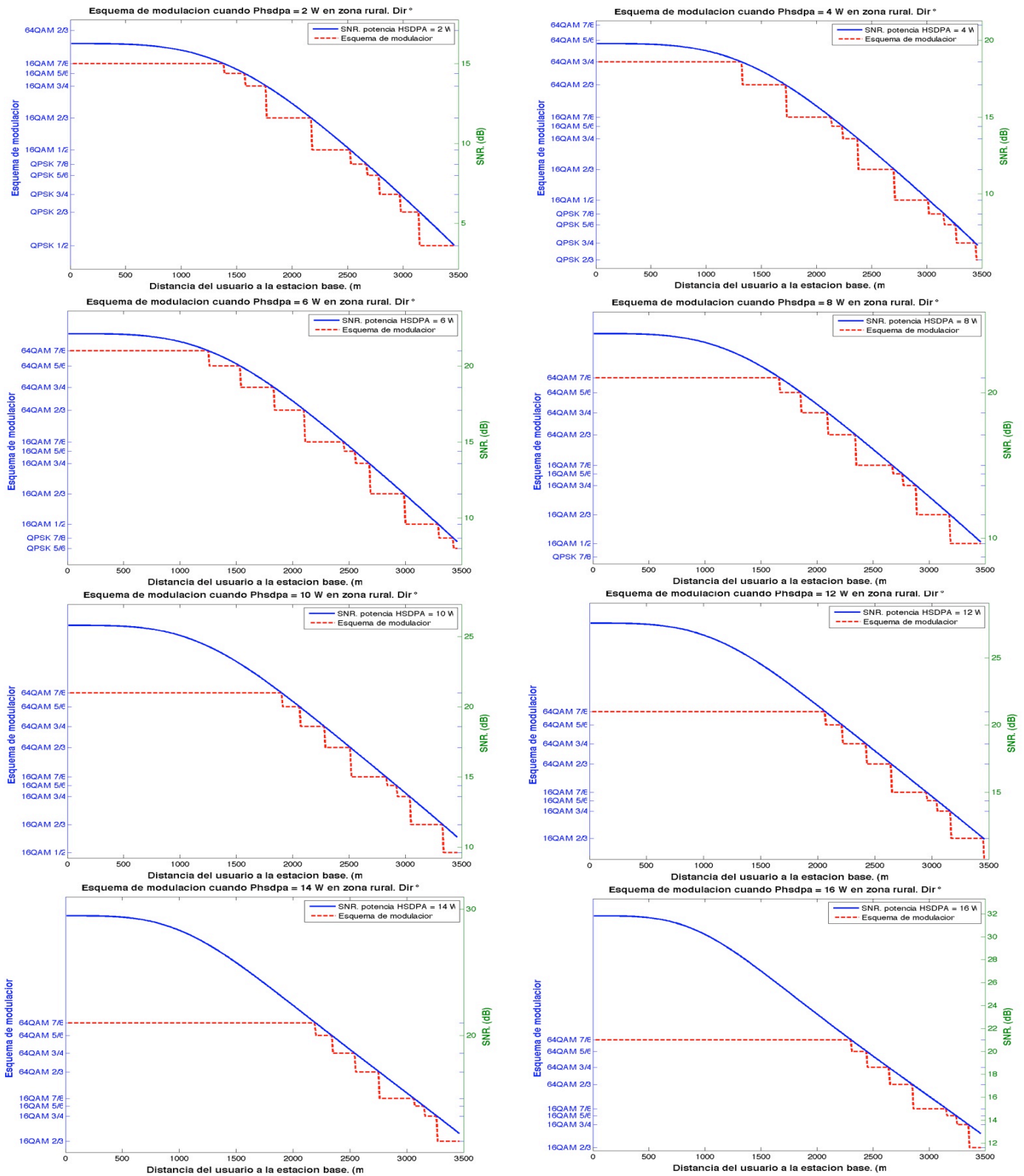


Figura 3.35: Esquema de modulación ante distintos valores de las potencias dedicadas. Zona Rural. Dirección 0°.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

Resultados obtenidos cuando el usuario sigue la dirección de treinta grados:

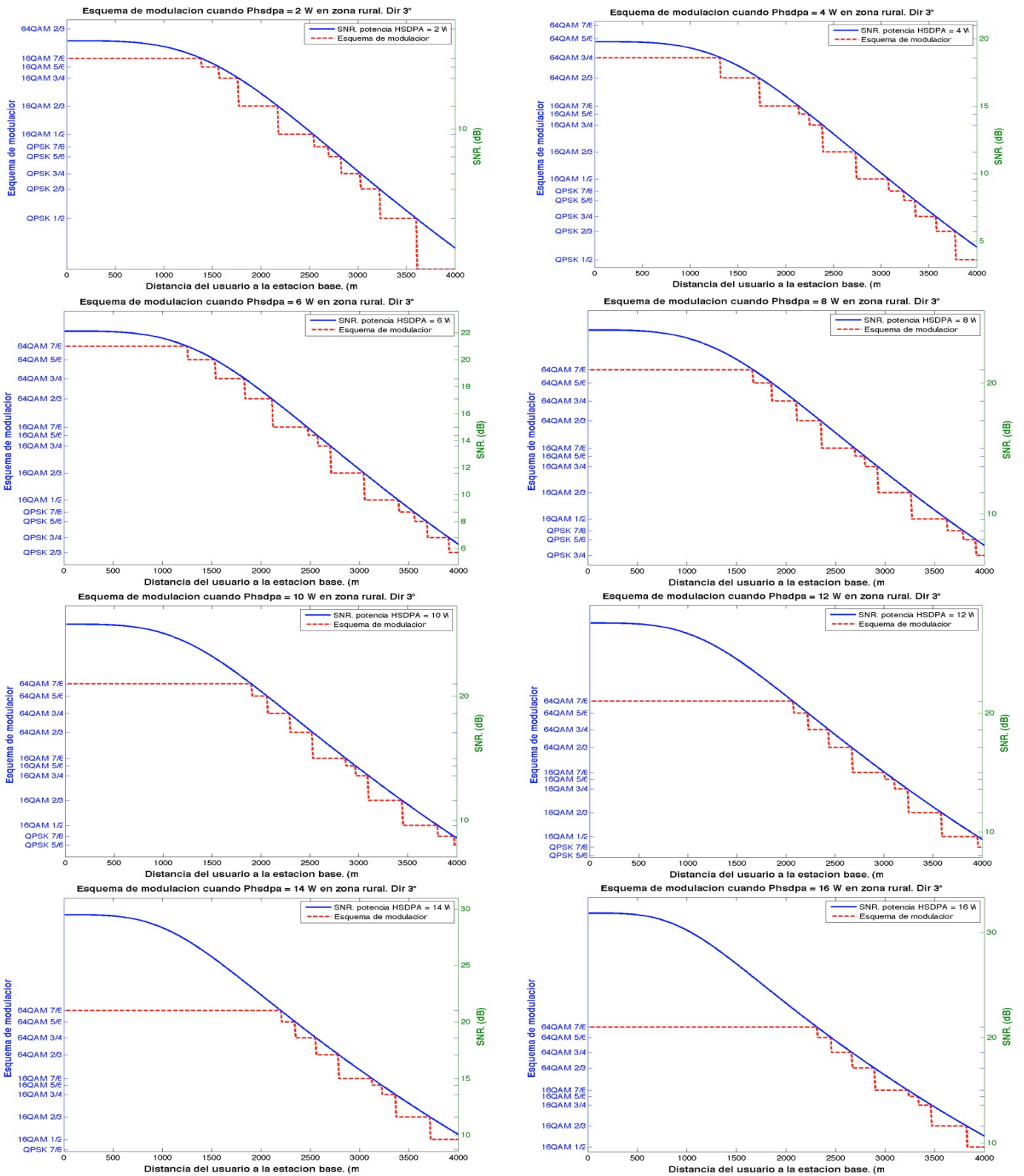


Figura 3.36: Esquema de modulación ante distintos valores de las potencias dedicadas. Zona Rural. Dirección 30°.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

Analizando la gráficas resultados, podemos apreciar la gran diferencia existente entre los entornos urbanizados y los rurales. Por un lado vemos el análisis realizado en una ciudad grande donde para poder obtener el máximo orden de modulación, será necesario que nuestra potencia dedicada sobrepase el valor de los catorce vatios. Como ya hemos comentado anteriormente, esta potencia es prácticamente imposible de alcanzar, lo que provoca que en entornos urbanos sea muy complicado lograr la máxima tasa binaria de descarga que nos permite esta tecnología. Por otro lado tenemos los entornos rurales donde, como podemos apreciar, a partir de una potencia dedicada de seis vatios, el sistema comenzará a trabajar con el orden de modulación máximo, proporcionando altas tasas binarias de descarga al usuario que acceda al servicio. Es interesante destacar, como en determinadas configuraciones del sistema, existen ciertas zonas de la célula donde no existe la posibilidad de proporcionar el servicio HSDPA, debido a que la relación señal ruido en dicha posición, no es suficiente para poder soportar el sistema. Si bien es verdad que el servicio está garantizado en todo el área de la célula en más del noventa por ciento de los casos, hay que tener en consideración el hecho de que con una baja potencia dedicada y en posiciones lejanas a la base de la estación base, es probable que no se pueda acceder al servicio.

Independientemente de la configuración que estemos analizando, podemos comprobar como un ligero aumento de dos vatios en la potencia dedicada se ve recompensado con un aumento de uno o dos órdenes de modulación en el sistema, proporcionando unas mejores prestaciones de calidad y velocidad de descarga a la comunicación. Esta conclusión viene a corroborar lo que ya se había comentado en apartados anteriores, la gran importancia de disponer de un buen planificador de red que asigne en cada momento la máxima potencia posible a la tecnología HSDPA en función de la demanda de servicio telefónico.

#### 3.3.2.2 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores del radio de la célula

Al igual que hemos hecho en el apartado anterior, a continuación vamos a analizar como influye sobre el esquema de modulación del sistema, la variación del radio de la célula que empleemos en cada caso.

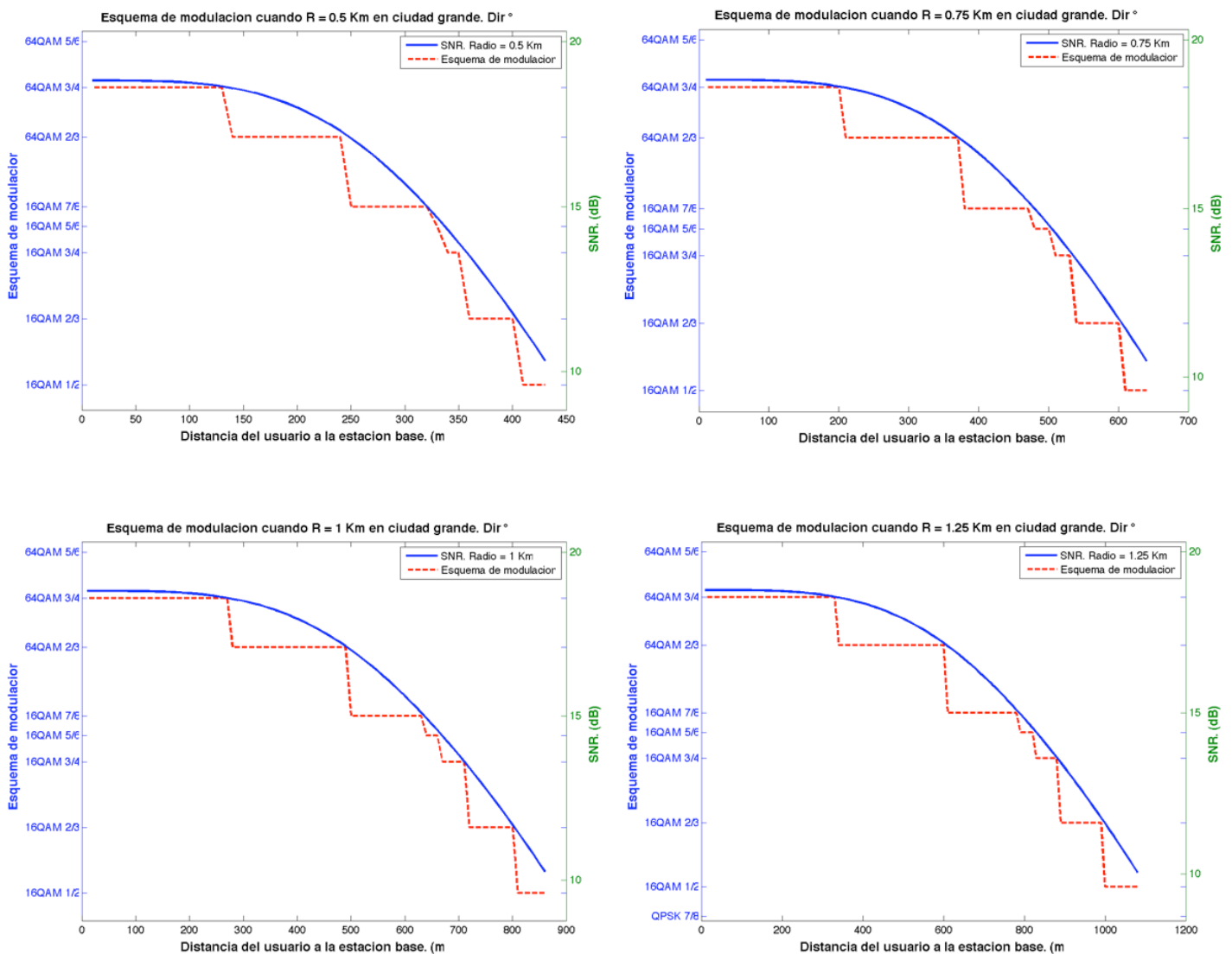
Como ya hemos demostrado en el apartado **3.3.1.3**, cuanto menor es el radio de la célula bajo estudio, mayor es la caída de la relación señal a ruido en recepción

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

con la distancia, lo que implica que cuanto menor sea el radio de la célula, menor será la distancia entre dos saltos consecutivos en el orden de modulación del sistema.

Para la realización de la simulación, hemos empleado la misma configuración del sistema que la expuesta en el apartado anteriormente citado. Los resultados obtenidos, quedan mostrados en las Figuras 3.37, 3.38, 3.39, 3.40, 3.41 y 3.42:

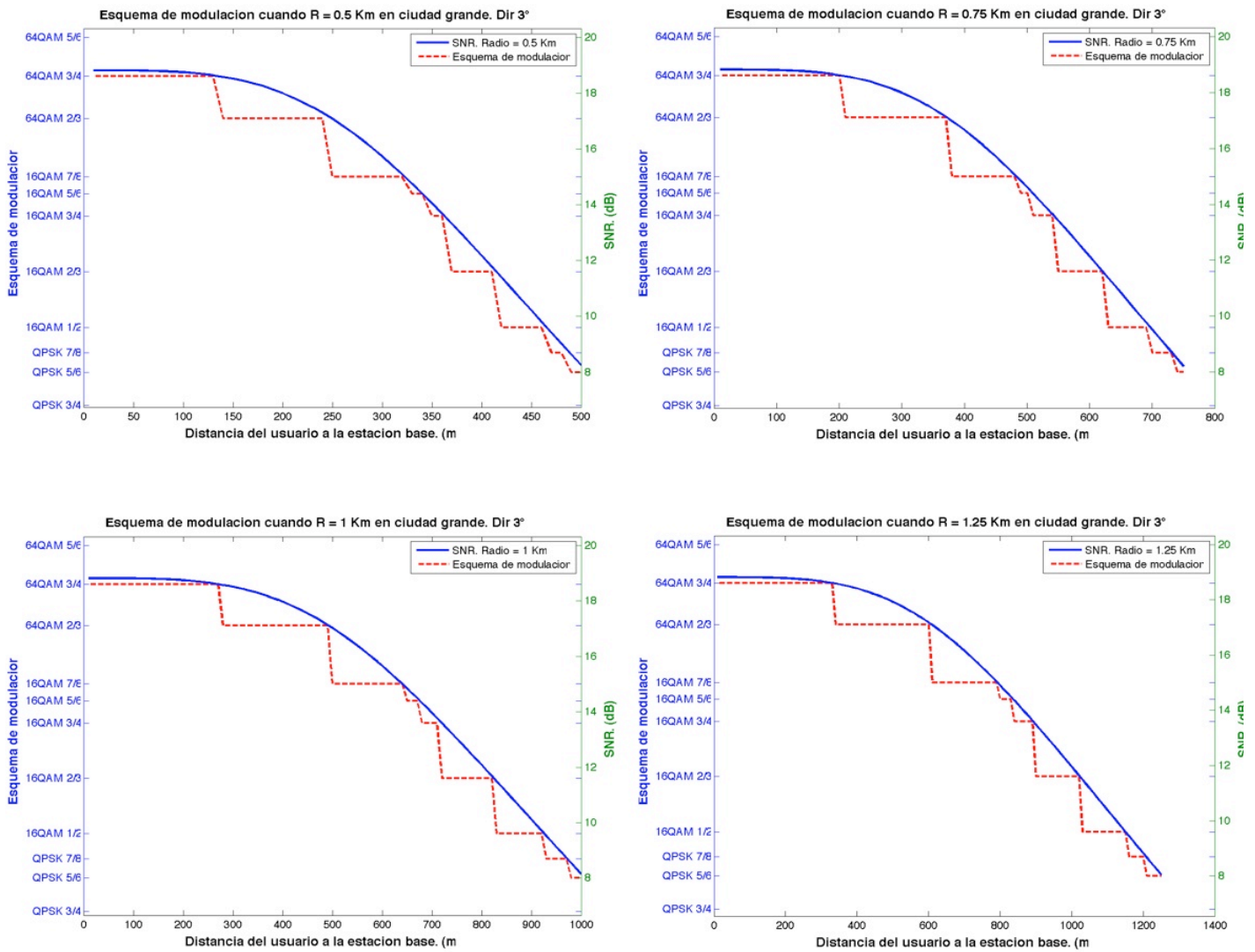
*1º escenario: ciudad grande.*



**Figura 3.37:** Esquema de modulación ante distintos valores de radios de la célula. Ciudad Grande. Dirección 0°.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

Resultados obtenidos cuando el usuario sigue la dirección de treinta grados:

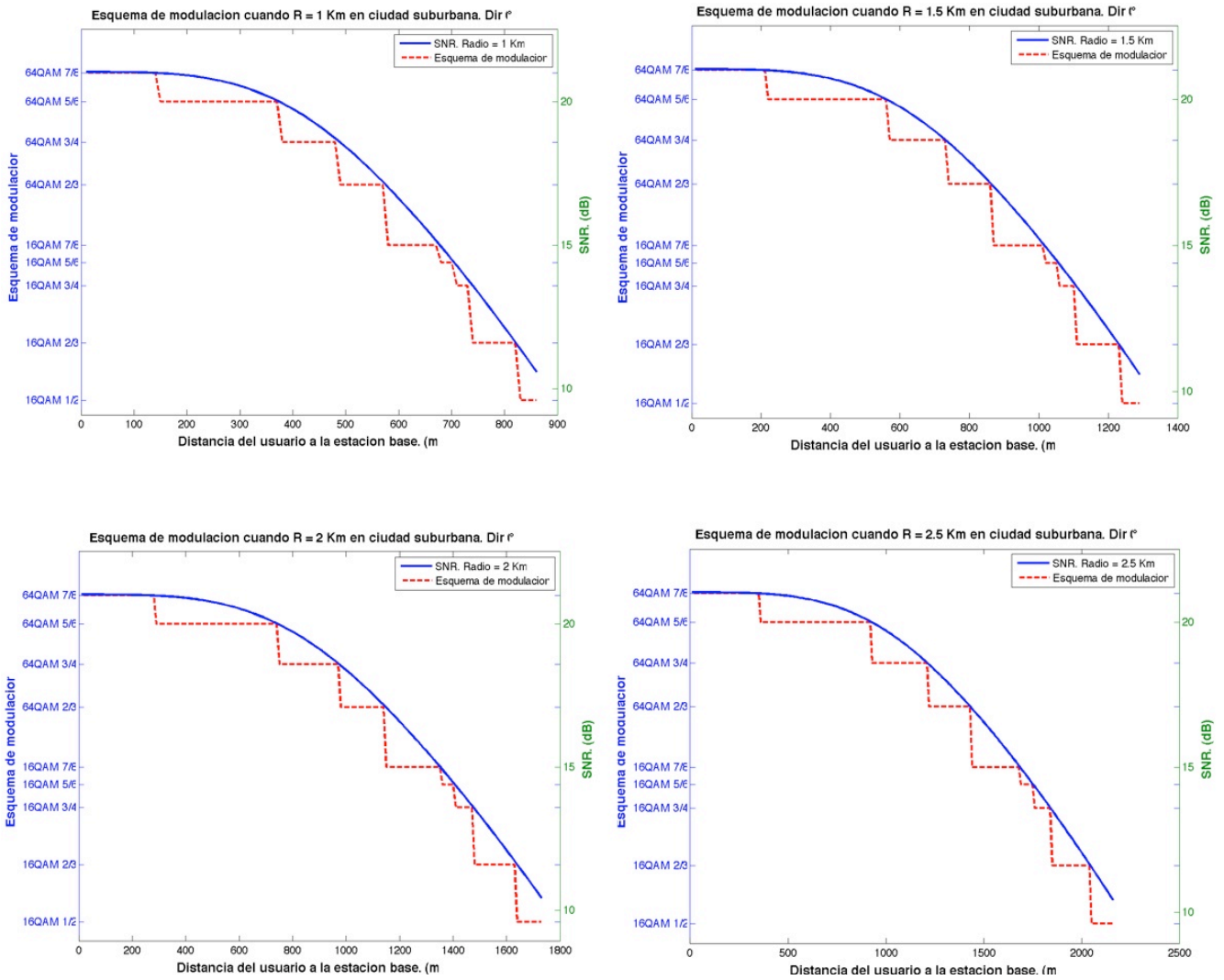


**Figura 3.38:** Esquema de modulación ante distintos valores de radios de la célula.  
Ciudad Grande. Dirección 30°.



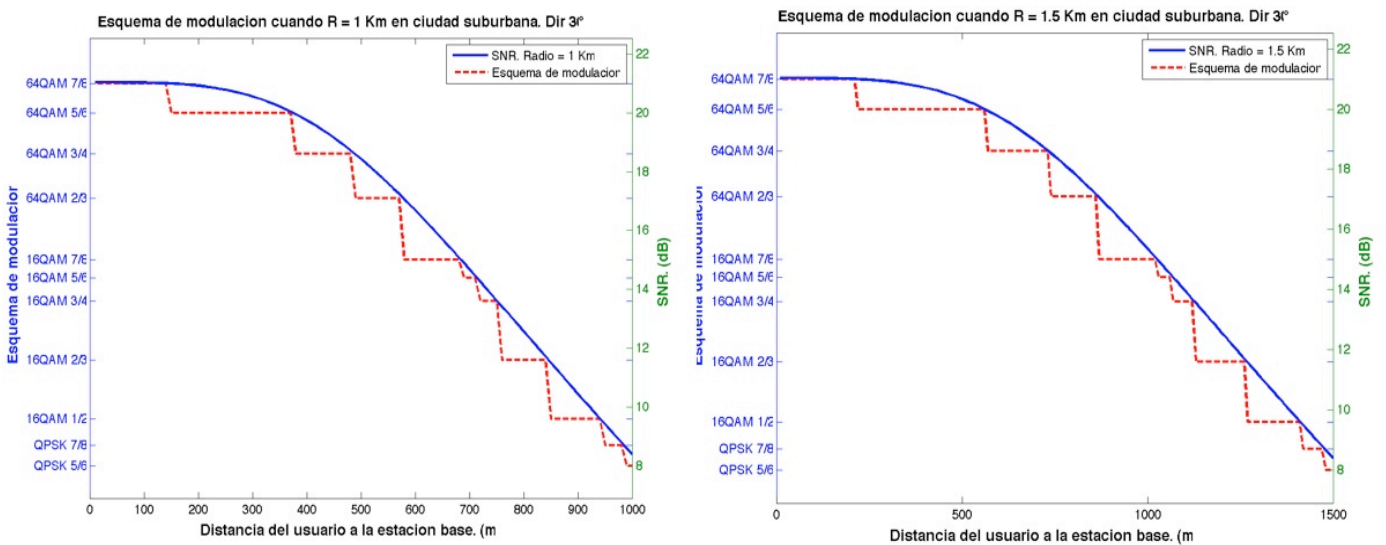
### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

#### 2º escenario: ciudad suburbana.

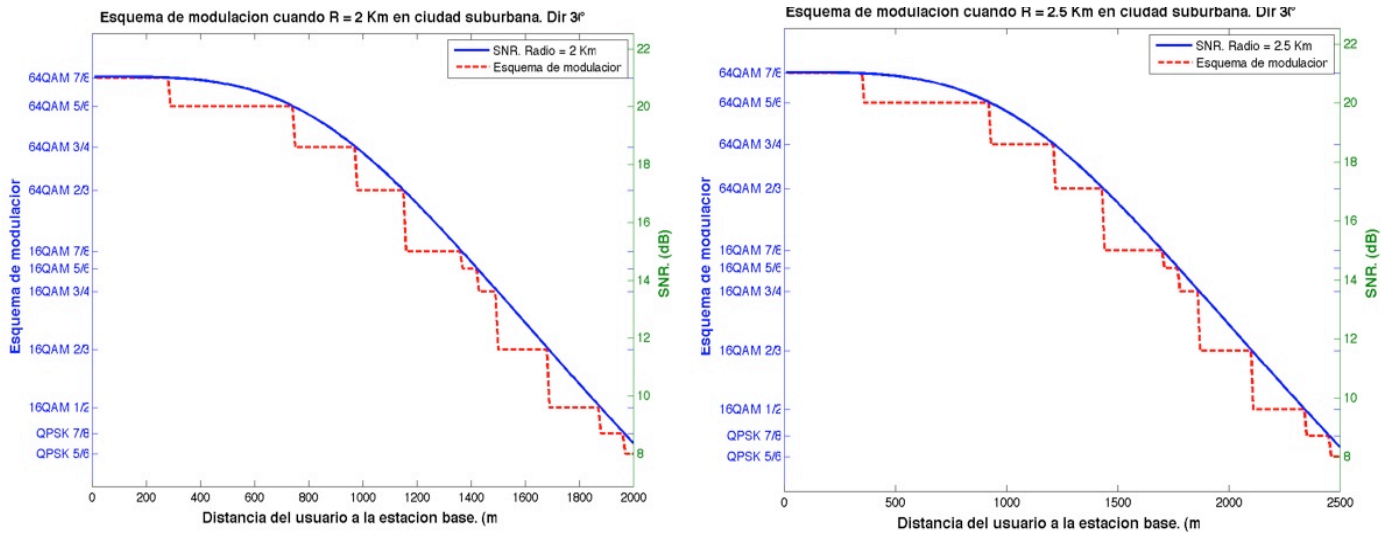


**Figura 3.39:** Esquema de modulación ante distintos valores de radios de la célula. Ciudad Suburbana. Dirección 0°.

Resultados obtenidos cuando el usuario sigue la dirección de treinta grados:

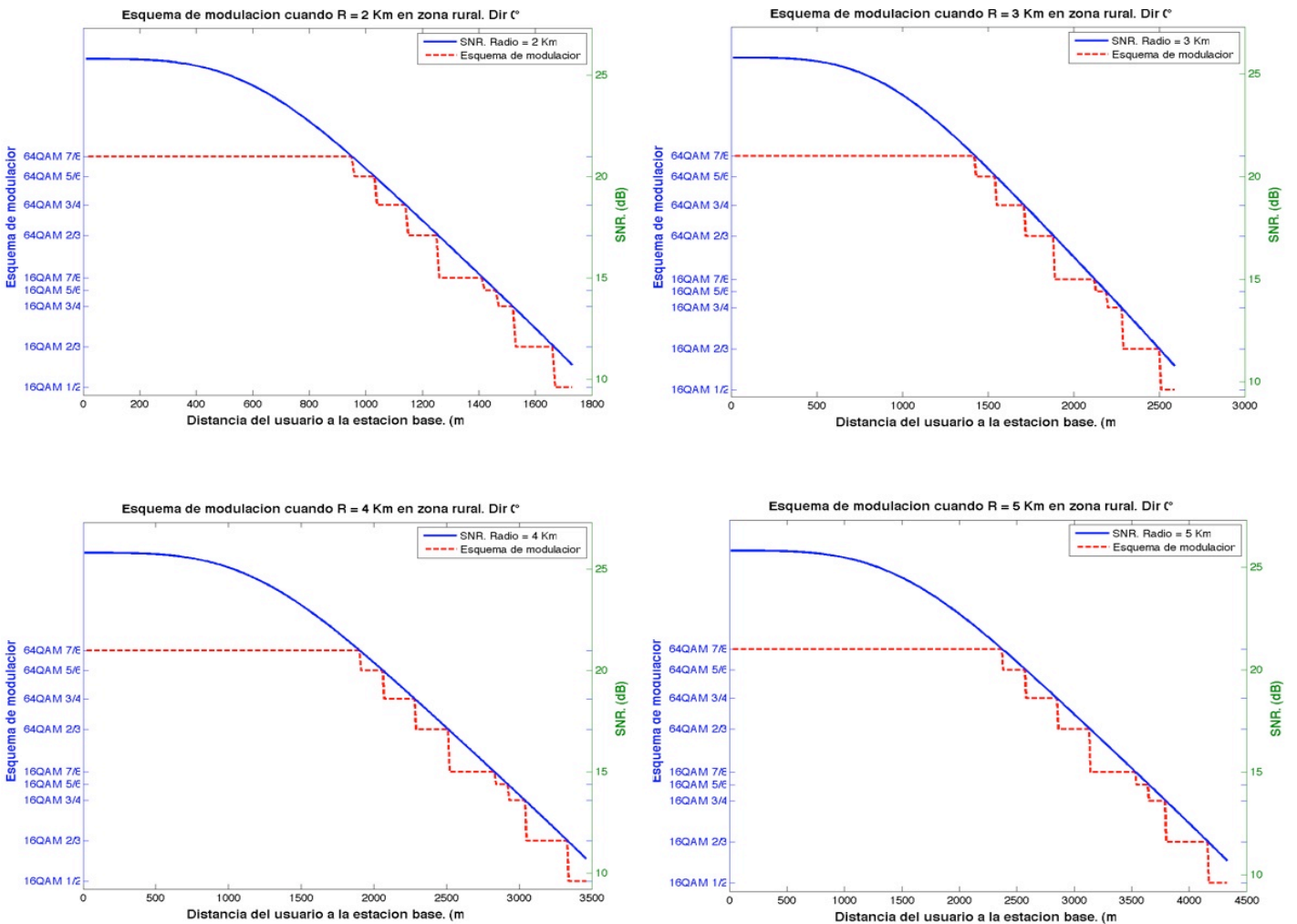


### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas



**Figura 3.40:** Esquema de modulación ante distintos valores de radios de la célula. Ciudad Suburbana. Dirección 30°.

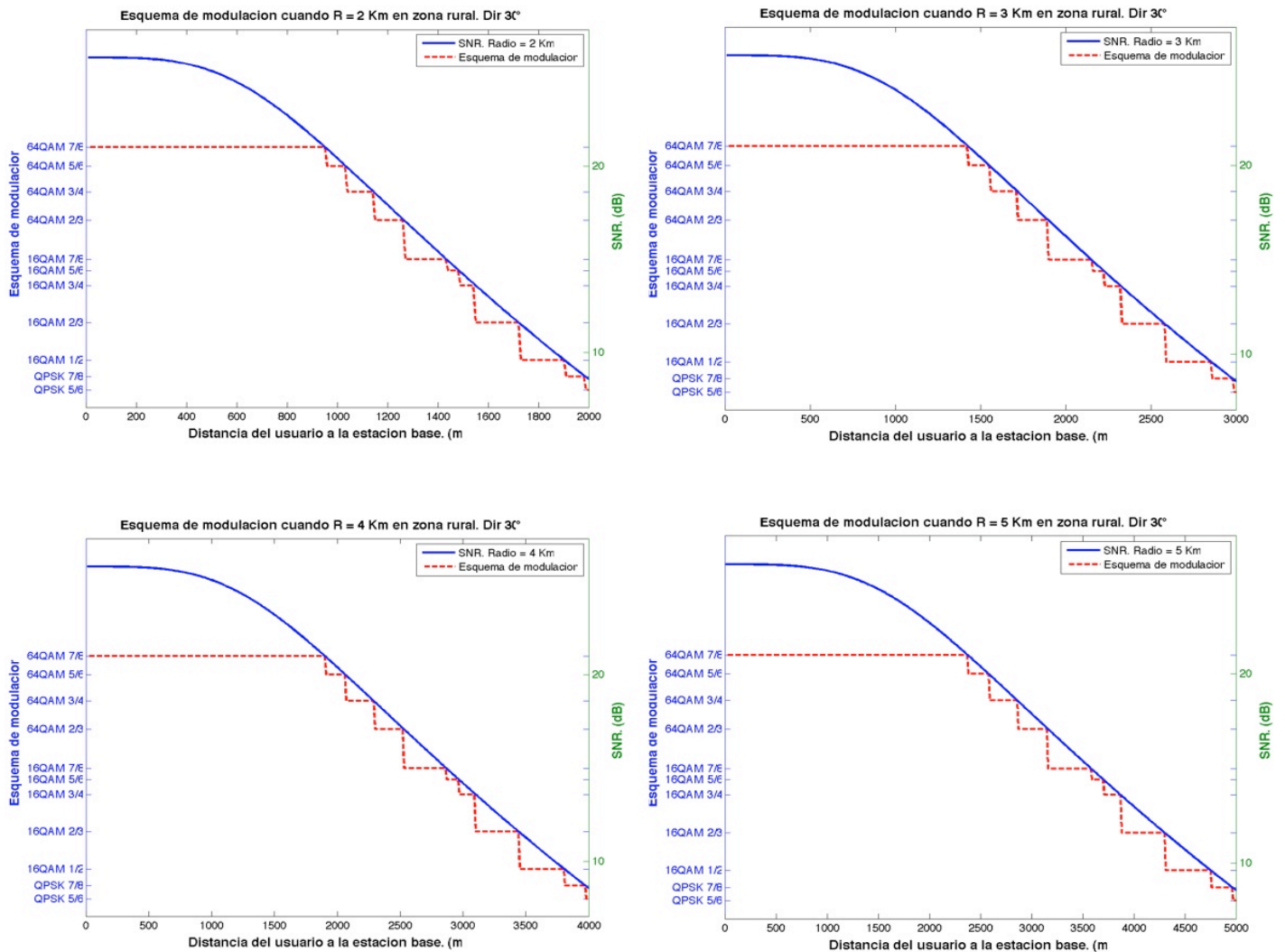
*3° escenario: zona rural.*



**Figura 3.41:** Esquema de modulación ante distintos valores de radios de la célula. Zona Rural. Dirección 0°.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

Resultados obtenidos cuando el usuario sigue la dirección de treinta grados:



**Figura 3.42:** Esquema de modulación ante distintos valores de radios de la célula.

Zona Rural. Dirección 30°.

Tras realizar las simulaciones pertinentes, podemos apreciar como las suposiciones previas que habíamos realizado se cumplen para todos los entornos bajo estudio. Como se puede ver en cada una de las imágenes que hemos mostrado, el radio de la célula que estemos empleando no influye en el nivel de la relación señal a ruido recibido, ya que ésta es el mismo para todos los apartados, sólo actúa sobre su pendiente de caída, ya que cuanto más pequeño sea el radio de la célula en la que nos encontremos, más rápido será el descenso de la SNR en función de la distancia.

Esta característica provocará que las distancias existentes entre dos saltos de orden de modulación consecutivos, se reduzcan considerablemente con el descenso del radio de la célula. Un ejemplo de este fenómeno, lo podemos apreciar fácilmente

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

en el escenario de una ciudad grande, donde se puede comprobar en la **Figura 3.37**, que esta distancia puede llegar a reducirse hasta una distancia de 200 metros entre los escenarios con mayor y menor radio.

A la hora de planificar los radios de las células que forman parte de la red mallada hexagonal, estas conclusiones no influyen en las decisiones finales. El radio de la célula viene determinado principalmente en función del número de clientes potenciales que pueda existir en una zona determinada; a mayor concentración de posibles clientes, menores radio de célula tendremos que emplear para poder proporcionar servicio a todos ellos.

#### 3.3.2.3 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante cambios en el resto de los parámetros variables.

Una vez estudiados los cambios producidos en el esquema de modulación cuando cambiamos los valores de la potencia dedicada y del radio de la célula, procedemos al estudio de la variación del orden de modulación ante cambios producidos en el resto de los parámetros variables que hemos analizado en los apartados secundarios de la sección 3.3.1

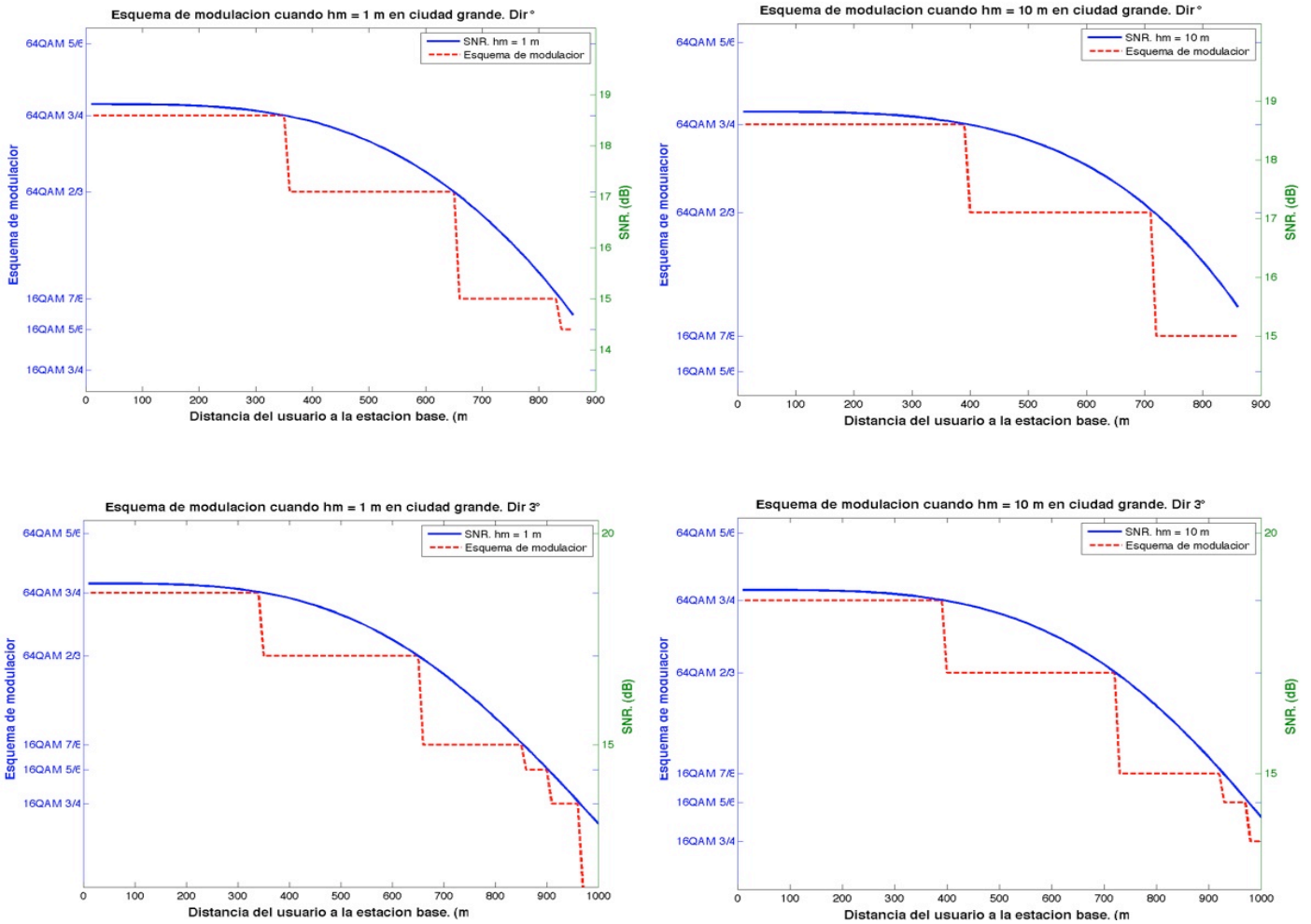
Como hemos podido apreciar en los resultados obtenidos en los apartados 3.3.1.4, 3.3.1.5 y 3.3.1.6, la relación señal a ruido en recepción no sufre apenas variaciones ante ninguno de los cambios introducidos en el parámetro bajo estudio. En aquellos casos donde la diferencia se hace más apreciable, ésta apenas sobrepasa un decibelios de diferencia entre la traza mayor y menor.

Con una diferencia tan pequeña entre valores de la SNR recibida, cabe esperar que el esquema de modulación no sufra variaciones entre una configuración y otra, siendo para todo el mismo, independientemente del valor que tome el parámetro bajo análisis. Para evitar añadir imágenes que no aporten nueva información, vamos a realizar el estudio, únicamente sobre los resultados obtenidos del cuatro contexto de la sección 3.3.1.5. Los resultados obtenidos en ese apartado son, los que mayor diferencia presenta en la traza resultado con respecto al resto del mismo apartado, y donde mayor diferencia existe entre la traza superior e inferior .

Los resultados obtenidos en la simulación, quedan reflejados en las **Figuras 3.43, 3.44 y 3.45**.

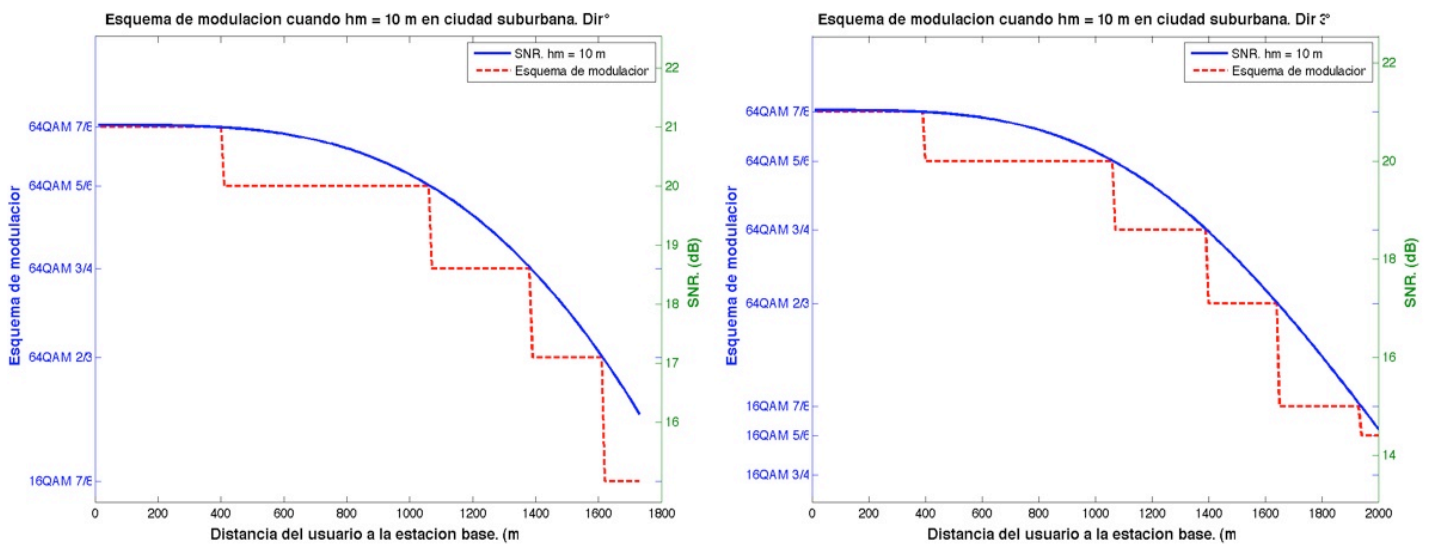
### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

#### *1º escenario: ciudad grande.*



**Figura 3.43:** Esquema de modulación ante distintos valores de la altura de la antena receptora. Rodeado de tres muros y un vidrio. Ciudad Grande.

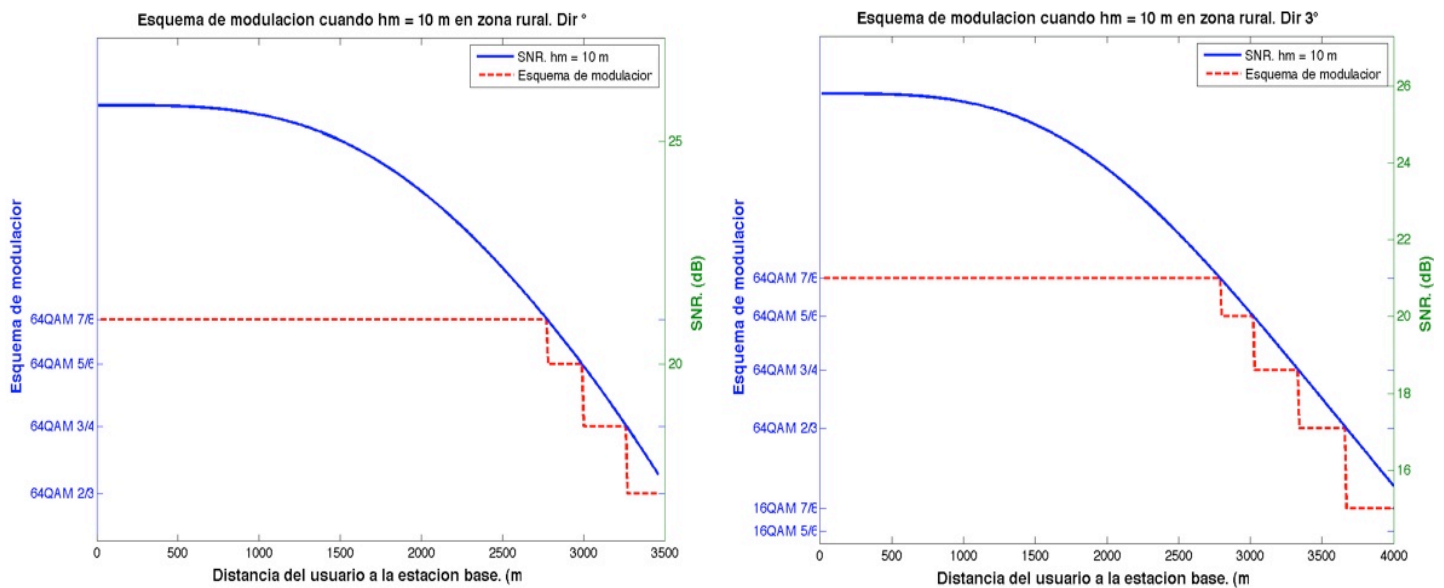
#### *2º escenario: ciudad suburbana.*



**Figura 3.44:** Esquema de modulación ante distintos valores de la altura de la antena receptora. Rodeado de tres muros y un vidrio. Ciudad Suburbana.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

#### 3° escenario: Zona rural.



**Figura 3.45:** Esquema de modulación ante distintos valores de la altura de la antena receptora. Rodeado de tres muros y un vidrio. Zona Rural.

En la **Figura 3.43** hemos representado en la primera fila la relación señal a ruido recibida cuando el usuario se desplaza en la dirección de cero grados, y en la segunda, los resultados cuando el usuario se desplaza por la dirección de treinta grados. Como se puede apreciar en la leyenda de la imagen, sólo hemos representado la SNR recibida cuando la altura del terminal móvil es de un metro, y cuando se encuentra a la altura máxima, es decir, a diez metros de altura. Esto se debe, a que el resto de las gráficas obtenidas son muy similares a las expuestas y no aportan datos nuevos, por lo que se ha optado por mostrar únicamente aquellas imágenes más representativas en las dos direcciones, que nos permitan extraer conclusiones. En la **Figura 3.44** y en la **Figura 3.45** hemos representado los esquemas de modulación para los entornos suburbano y rural respectivamente. Como ya se comentó en la sección en la que se estudió con detalle esta configuración, en estos dos últimos entornos, la altura del terminal móvil no modifica la relación señal a ruido recibida. por ese motivo sólo se ha expuesto una imagen resultado por cada dirección y por cada entorno, ya que los demás resultados son exactamente iguales a los ya mostrados.

Analizando la figura que acabamos de mostrar, podemos extraer principalmente dos conclusiones. Como podemos apreciar en la imagen, el esquema de modulación obtenido, con cualquiera de las dos alturas, es distinto al de otras configuraciones muy similares cuyos resultados ya hemos mostrado anteriormente.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

Este nuevo esquema de modulación, proporciona menores saltos de órdenes de modulación, mayor distancia entre dos saltos consecutivos y unos órdenes de modulación más altos a elevadas distancias de la estación base. Esta ganancia, respecto a una configuración similar que podemos encontrar en el apartado 3.3.2.1, viene determinada por el entorno en el que se ha realizado el análisis, es decir, la causa excepcional de que no todas las señales que intervienen en la simulación poseen la misma atenuación extra. Exceptuando esta configuración cuyo análisis nos incumbe en estos momentos, los resultados obtenidos en el resto de las secciones que pretendemos estudiar en este apartado, muestran una gran similitud con otros resultados ya mostrados y analizados en este mismo capítulo.

Cuando deseemos calcular el esquema de modulación de alguna configuración que no se haya estudiado, deberemos buscar entre aquellas simulaciones que mayores similitudes tenga con la situación que queramos estudiar. En caso de que ninguna simulación se asemeje al caso que se desee estudiar en ese momento, se puede proceder a realizar una sencilla interpolación entre varias soluciones existentes, o realizar una nueva simulación ayudándonos del código Matlab mostrado en el **Anexo A**.

#### **3.3.3 Optimización de la potencia dedicada a la tecnología HSDPA.**

Analizando los resultados obtenidos en el apartado anterior, hemos podido observar como en determinados análisis existe una relación señal a ruido en recepción, con un valor muy superior al que le corresponde a cada orden de modulación. Esta situación no afecta al comportamiento general de la comunicación, pero si supone un desperdicio de energía y una pérdida en la oportunidad de reducir ligeramente la interferencia externa.

En la situación mundial en la que vivimos en la actualidad, donde el precio de la energía está en constante aumento y se aboga siempre por el ahorro energético, una posible reducción de la potencia dedicada a la tecnología HSDPA para ajustar la relación señal a ruido recibida a la necesaria en función del orden de modulación que se utilice, significaría una reducción de la potencia máxima emitida por la estación base, una disminución de los costes de la factura eléctrica, y un ligero decremento de la interferencia externa.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

Dentro del marco de estudio de este proyecto, vamos a proponer, estudiar y analizar esta posible mejora, que a pesar de que en la actualidad no se aplica en ninguno de los casos, si los resultados son satisfactorios, podría quedar estandarizada en futuras normalizaciones de HSDPA.

Para realizar este estudio, hemos partido de los resultados obtenidos en el capítulo anterior, donde hemos analizado los esquemas de modulación de posibles configuraciones del sistema siendo en todos ellos, la potencia dedicada a la tecnología HSDPA constante. Esta adaptación de la potencia dedicada, sin sobrepasar nunca la potencia máxima dedicada, consiste básicamente en determinar la potencia mínima necesaria que proporcione a la comunicación el orden de modulación que le corresponda al sistema, en función de la distancia a la que se encuentre en la estación base y de las características de la comunicación. Para ello nos hemos basado en la **Tabla 3.1** anteriormente mostrada, que relaciona un orden de modulación con el nivel de relación señal a ruido necesario para poder soportarlo, y en (3.14), que relaciona la potencia dedicada con la relación señal a ruido en recepción. Despejando la variable que representa la señal de información, obtenemos (3.17):

$$s = \frac{snr \cdot (F_{sector} \cdot (i_{int} + i_{ext})) + n}{g_p} \quad (3.17)$$

La potencia dedicada en exclusiva a la tecnología HSDPA, está relacionada proporcionalmente con el nivel de la señal de información. La relación analítica entre estas dos magnitudes, es la expresada en (3.18):

$$P_{HSDPA} = \frac{s \cdot l_{propagación}}{g_{antena}} \quad (3.18)$$

Donde  $l_{propagación}$  son las pérdidas de propagación introducidas por el modelo y  $g_{antena}$  es la ganancia de la antena transmisora, y  $P$  es la potencia dedicada en exclusiva a HSDPA. Todas las magnitudes en unidades naturales.

Para poder determinar potencia dedicada que es necesaria para el usuario en cada momento, en función de la distancia a la que se encuentre de la estación base que le proporciona el servicio, es necesario realizar una fusión de (3.17) y de (3.18). El resultado obtenido es (3.20):

$$P_{HSDPA} = \frac{l_{propagación} \cdot \{snr \cdot (F_{sector} \cdot (i_{int} + i_{ext})) + n\}}{g_p \cdot g_{antena}} \quad (3.19)$$



### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

Esta fórmula, nos determinará en función de la distancia a la que se encuentre el usuario de la estación base, la potencia dedicada que deberemos emitir para proporcionar el mismo servicio que en el capítulo anterior, pero con una mayor eficiencia tanto desde el punto de vista energético, como desde el punto de vista de las interferencias. Sin embargo, para que la calidad del servicio sea correcta, a la potencia óptima hallada en la simulación será necesario añadirle aproximadamente medio decibelio extra. Con esta medida evitaremos que un pequeño desvanecimiento en la comunicación no produzca un salto repentino de orden de modulación, reduciendo el rendimiento del sistema. Si empleamos exactamente la misma potencia obtenida tras el proceso de optimización, la relación señal a ruido obtenida apenas tendrá un margen de décimas de decibelio sobre la SNR umbral que delimita dos índices de modulación consecutivos, margen insignificante para impedir el cambio de orden en caso de sufrir la señal de información algún tipo de desvanecimiento.

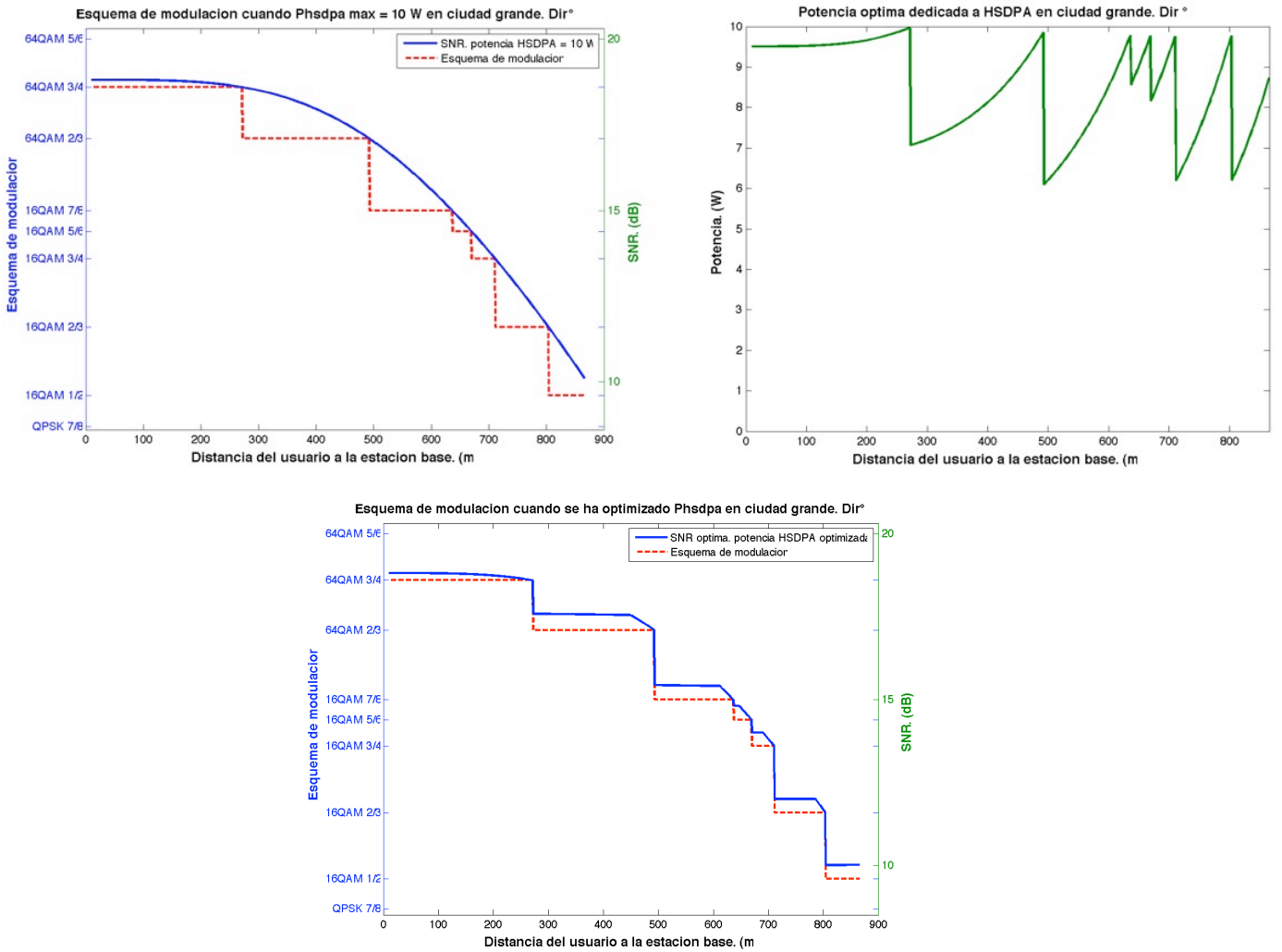
Estas mediciones de optimización de la potencia, deberán ser realizadas por el terminal móvil en el momento que calcule el nivel de relación señal a ruido recibido. Para que la estación base varíe el nivel de su potencia dedicada, será necesaria una comunicación en sentido ascendente en la cual el terminal informe cual sería la potencia dedicada que optimizaría su funcionamiento, dejando en manos de la estación base, la decisión sobre la cuantía final de la potencia emitida. Esta comunicación puede realizarse sin ningún problema por el canal físico HS-DPCCH, pero como ya hemos comentado anteriormente, al tratarse de un estudio que no se encuentra normalizado, será necesario crear el estándar de comunicación entre la estación base y el terminal.

Para corroborar que todas las demostraciones y conclusiones que hemos formulado son ciertas, hemos realizado una simulación en la que hemos representado la optimización de potencia. Para cada entorno de la simulación, sólo vamos a representar un ejemplo, pero en cada una de ellos hemos representado una configuración distinta, con potencias dedicadas y direcciones diferentes, ya que nuestro objetivo es demostrar que independientemente de la configuración del sistema, se pueden afirmar nuestras deducciones iniciales.

Tras realizar las simulaciones, los resultados obtenidos quedan representados en las **Figuras 3.46, 3.47 y 3.48**.

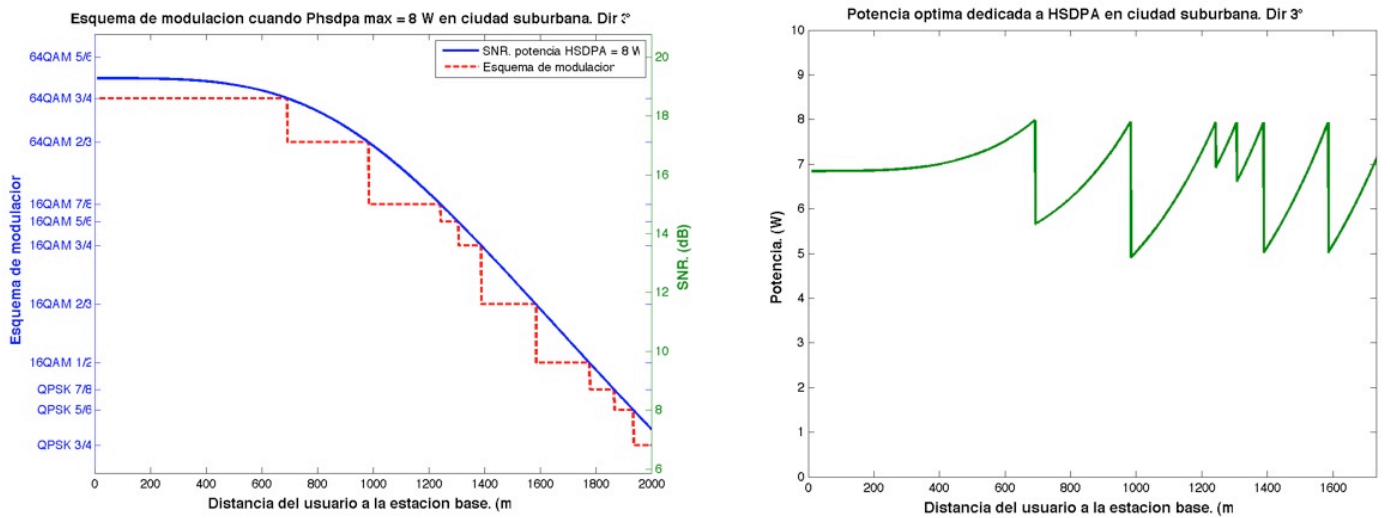
### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

#### *1º escenario: ciudad grande.*



**Figura 3.46:** Optimización de potencia en ciudad grande.

#### *2º escenario: ciudad suburbana.*



### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

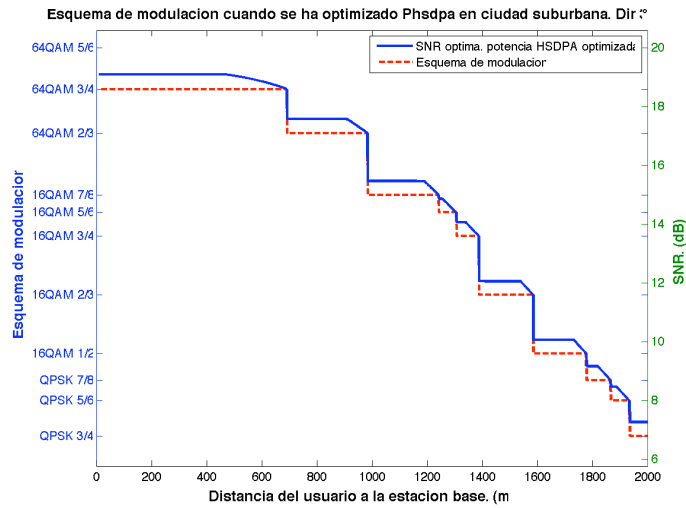


Figura 3.47: Optimización de potencia en ciudad suburbana.

#### 3° escenario: zona rural.

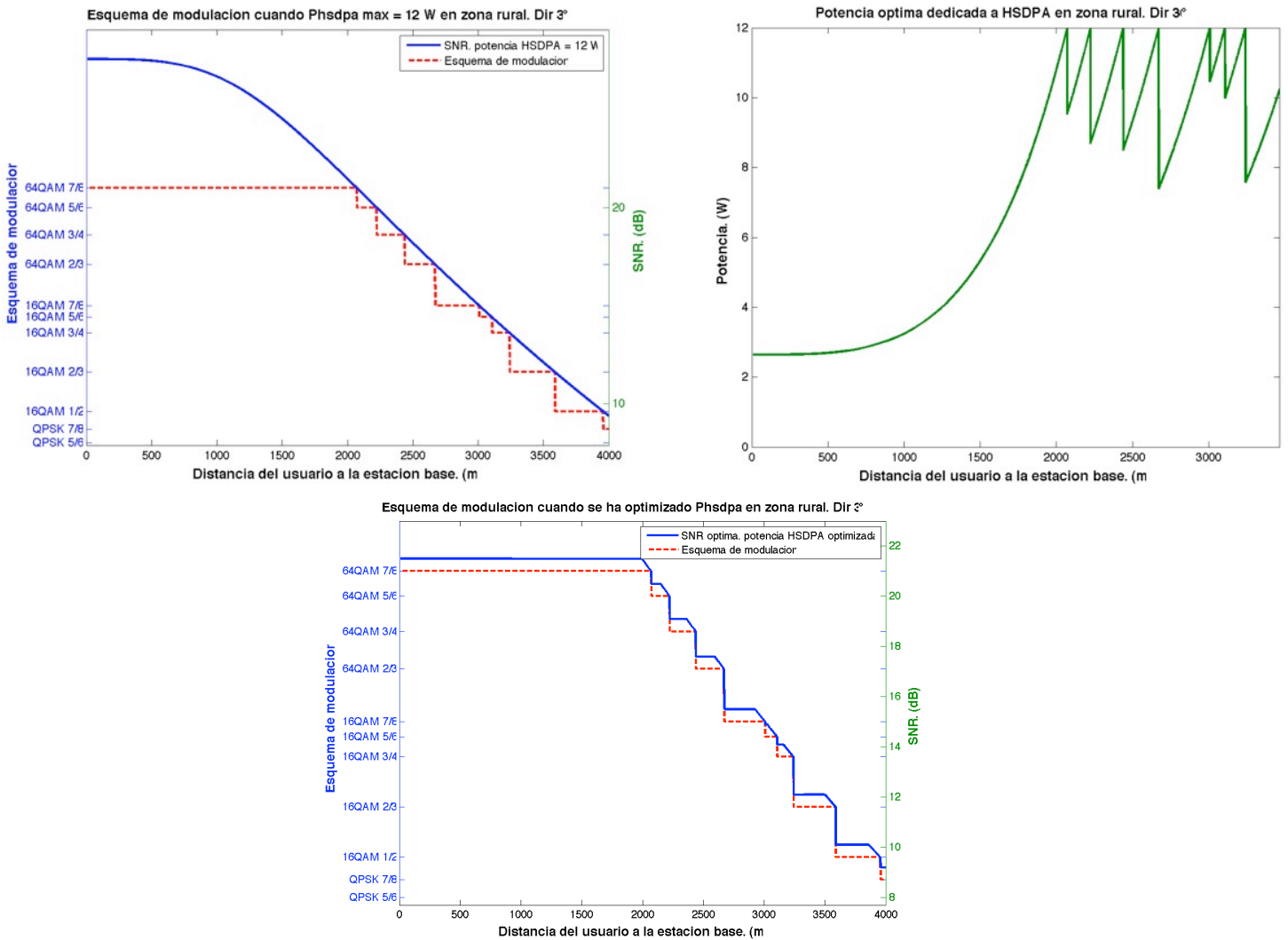


Figura 3.48: Optimización de potencia en zona rural.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

Para cada uno de los entornos, hemos representado un grupo de tres imágenes diferentes. En la primera de ellas se puede apreciar la relación señal a ruido en recepción junto con su esquema de modulación correspondiente. En la segunda gráfica queda representada la variación de la potencia óptima en función de la distancia a la que se encuentra el usuario de la estación base. Como se puede apreciar fácilmente, los descensos bruscos en la potencia óptima coinciden exactamente con la distancia a la que ocurren los cambios en el orden de modulación. En la tercera gráfica podemos ver como será la relación señal a ruido en recepción una vez se haya aplicado la optimización de potencia junto con el medio decibelio de potencia extra que hemos añadido.

Como bien es sabido, la potencia con la que la estación base transmite es común para todos los usuarios que se encuentren en el interior de su área de acción, por lo que en el caso de que más de un usuario deseara acceder al servicio, la potencia dedicada con la que se debería transmitir, sería la mayor de entre todas las potencias que precisen cada uno de los clientes. Esta medida provoca que el ahorro energético final por cada estación base, no sea demasiado grande, ya que es muy probable que en una célula se encuentren más de un usuarios o que alguno de ellos se encuentre en una posición próxima a un cambio de orden, donde las potencia dedicadas son más elevadas. Para ver la mejora real, habría que extrapolar el ahorro energético que se produce en una estación base, a las aproximadamente diez mil estaciones bases que se encuentran repartidas por nuestro territorio.

Como ya hemos demostrado, esta mejora proporciona sustanciales mejoras al comportamiento global del sistema además de colaborar con el ahorro. Para llevar a cabo la implementación real de este sistema, sería necesario la estandarización de todo lo necesario para la comunicación entre el terminal móvil y la estación base para informar de cual sería la potencia optima que precisaría un terminal en una determinada situación, además de una mejora en el planificador de red, que determine en cada momento y en función de la información que le llega desde los terminales móviles, cual es la potencia dedicada con la que debe transmitir en cada momento. Esta continua reasignación de potencia puede ser bastante tediosa, ya que el número de usuarios que se encuentran en la celda y su posición, puede provocar una variación de la potencia dedicada en una fracción de tiempo muy reducida, cercana al segundo. Para solucionar este problema, será muy común que las compañías de telefonía móvil

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

diseñen el planificador de tal manera que sólo realice reasignaciones de potencia en saltos discretos, es decir, que sólo varíe la potencia dedicada cuando el nuevo valor de la potencia a asignada calculado, sobrepase al que en ese momento se encuentre asignado, en la cantidad oportuna que determine la compañía telefónica en función del entorno en la que se encuentre la célula.

#### **3.3.4 Configuración óptima de códigos cuando más de un cliente está accediendo al servicio**

El estado del arte de la tecnología HSDPA está relacionada con el escenario más favorable para la comunicación, en el que se pueda apreciar toda la capacidad operativa que nos brinda este sistema a la hora de descargar datos de la red a nuestro terminal, a pesar de que llegar a estas velocidades sólo sea viable desde el punto de vista teórico. Según la teoría, esta máxima capacidad, será alcanzable cuando sólo exista un usuario en toda la célula, toda la potencia dedicada sea asignada en exclusiva a ese cliente y se encuentre situado en posiciones muy cercanas a la base de la estación base. Todos los estudios, previos a este apartado, han sido realizados bajo esta premisa, con el objetivo de realizar nuestro proyecto acorde con el estado del arte actual de la tecnología, y la de analizar el efecto de la variación de los parámetros que entran en juego en la simulación sobre la relación señal a ruido final.

Sin embargo, una situación en la que solamente se encuentre un usuario en toda la célula es muy improbable. Cuando un usuario intente acceder al servicio, lo más común es que ya exista un número indeterminado de clientes repartidos equitativamente entre los tres sectores de la célula accediendo al servicio, por lo que deberá compartir los recursos existentes. Este reparto de los recursos repercutirá enormemente en la SNR recibida. La potencia dedicada se deberá repartir en partes iguales entre todos los códigos que esté empleando en ese momento la estación base, además de actuar cada uno de ellos, como interferencia interna sobre los demás códigos excepto sobre él mismo. Los terminales que empleen los usuarios podrán tener la capacidad de recibir en paralelo más de un código como se vio en la **Tabla 2.3**, por lo que el descenso en la calidad de señal recibida puede verse recompensado con un aumento de la tasa binaria de descarga en caso de que la estación base de la celda asigne más de un código a un usuario.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

Para tener en cuenta estas nuevas condiciones en la comunicación, hemos tenido que realizar ciertos cambios en las ecuaciones que definen analíticamente las señales tanto de información como de interferencia, aplicando posteriormente estos cambios, al programa realizado que nos representa el perfil de SNR obtenido.

Como ya se ha explicado con anterioridad, el número máximo de códigos que se puede emplear en la tecnología HSDPA es de quince, aunque no todos ellos tienen por qué ser repartidos entre los clientes, al igual que tampoco tienen por qué ser distribuidos a partes iguales entre los sectores de la celda. La potencia con la que emite cada código dependerá de la potencia dedicada a HSDPA en ese preciso momento repartiéndose a partes iguales entre cada uno de los códigos que decida en ese preciso momento emplear la estación base. Al tratarse cada código con independencia de los demás, implica que la potencia de código que usaremos para hallar el valor de la señal de información, decrecerá cuanto mayor sea el número de códigos empleados. Tomando en cuenta estas consideraciones, la ecuación que representa la señal de información tomará la expresión (3.21):

$$P_{\text{código}} = \frac{P_{\text{HSDPA}}}{\# \text{códigos empleados}} \quad (3.20)$$

$$s = \frac{P_{\text{código}} \cdot g_{\text{antena}}}{l_{\text{propagación}} \cdot l_{\text{extra}}} \quad (3.21)$$

Donde  $p_{\text{código}}$  es la potencia asignada a cada código,  $p_{\text{HSDPA}}$  es la potencia dedicada en exclusiva a la tecnología HSDPA,  $s$  es el valor de la señal de información,  $\# \text{códigos empleados}$  es el número total de códigos empleados por la estación base,  $g_{\text{antena}}$  es la ganancia de la antena de la estación base,  $l_{\text{propagación}}$  son las pérdidas provocadas por al propagación de la señal, y  $l_{\text{extra}}$  son las pérdidas extra sufridas por la señal al tener que atravesar obstáculos.

Como ya hemos explicado anteriormente, las interferencias internas y externas sufren variaciones en sus fórmulas analíticas ya que en este caso, no toda la señal dedicada a HSDPA es para un usuario en concreto. Toda aquella potencia dedicada que no sea la propia de un código será considerada como interferencia. Sin embargo, el nivel de interferencia recibido dependerá de cómo hayan sido distribuidos los códigos en el interior de la célula, ya que la potencia que la estación base transmita a los demás sectores en los que no se encuentra el usuario bajo estudio, sólo llegará a interferir con los códigos del sector en el que se localiza el cliente a través de los

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

lóbulo secundario de la antena, por lo que su influencia sobre la SNR final será prácticamente despreciable. Por el contrario, aquella potencia que la antena de la celda dirige hacia los demás códigos que se encuentren en el sector bajo estudio, actuará íntegramente como interferencia para nuestro código de información influyendo considerablemente en la pérdida de calidad de señal recibida.

Teniendo en cuenta todas estas premisas, las fórmulas analíticas que representan las interferencias del sistema, son las expresadas en (3.22), (3.23), (3.24) y (3.25):

$$i_{int1} = \frac{P_{umts} \cdot g_{antena}}{l_{propagación} \cdot l_{extra}} \quad (3.22)$$

$$i_{int2} = \frac{\left[ P_{código} \cdot \left( \sum_{n=0}^N \#_{CodsAsigandosSector} - 1 \right) \right] \cdot g_{antena}}{l_{propagación} \cdot l_{Extra}} \quad (3.23)$$

$$i_{int3} = \frac{\left\{ F_{Lob\ Secundario} \cdot \left[ P_{código} \cdot \sum_{k=1}^2 \left( \sum_{m=0}^M \#_{CodsAsignadosSector} \right) \right] \right\} \cdot g_{antena}}{l_{propagación} \cdot l_{Extra}} \quad (3.24)$$

$$i_{int} = (F_{Sector} \cdot i_{int1}) + i_{int2} + i_{int3} \quad (3.25)$$

Donde  $i_{int1}$  representa la interferencia interna provocada por la potencia de señal destinada a las conversaciones de voz UMTS,  $i_{int2}$  representa la interferencia interna provocada por los códigos que son repartidos en mi sector,  $i_{int3}$  representa la interferencia provocada por los códigos repartidos en los otros dos sectores de la célula e  $i_{int}$  es la interferencia interna total.  $p_{umts}$  es la potencia dedicada a la tecnología UMTS más la de la señal de piloto,  $N$  es el número de clientes que se encuentran en el mismo sector que el usuario bajo estudio y están accediendo a HSDPA,  $M$  es el número de clientes que se encuentran en cualquiera de los otros dos sectores de la célula y están accediendo a la tecnología HSDPA,  $k$  número de sector que estamos analizando y en el que no se encuentra el usuario bajo estudio,  $F_{Lob. Secundario}$  es el factor que determina la proporción de señal que interfiere debido a los lóbulos secundarios de las antenas de los 2 sectores restantes.  $F_{Lob.Secundario} = (F_{Sector} - 1/3)$

El objetivo que se persigue en esta sección es el de realizar un análisis del sistema bajo la premisa de que existen varios usuarios que se encuentran accediendo al sistema al mismo tiempo y deben compartir recursos. Se realizarán una serie de simulaciones con las que intentaremos determinar cual es el número máximo de

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

códigos que se deben emplear en función de las condiciones del sistema, y de que manera deben estar distribuidos entre los tres sectores de la célula, para maximizar el tráfico binario de descarga de la red a los clientes. Con los resultados obtenidos, hallaremos la configuración óptima desde el punto de vista del operador de telefonía, al cual le interesa que sus equipos se encuentren al máximo rendimiento, intereses que pueden no coincidir con el de los clientes, ya que la asignación de códigos que le corresponda, puede no ser la más ventajosa para él.

A la hora de aplicar la política de maximizar el tráfico de datos entre la red y los usuarios, nos vamos a basar en las velocidades media de descarga en todo el sector para tomar decisiones. El estándar por el que se rige la tecnología HSDPA no tiene ningún mecanismo por el cual la estación base pueda determinar la posición exacta de cada cliente en el interior de un sector. Debido a esto no es posible asignarle un número de códigos que optimice el tráfico de datos en función de su posición, por lo que tendremos que promediar la velocidad del sector teniendo en cuenta todos los órdenes por los que va pasando la comunicación a medida que nos alejamos de la base de la antena, para poder obtener una medida fiable sobre la que tomar medidas. Esta decisión implica que en simulaciones reales el valor del tráfico total gestionado por la red puede incrementarse si los clientes se encuentran cerca de la estación base, o por el contrario disminuir si éstos se encuentran en posiciones alejadas. Sin embargo como, posteriormente comentaremos, estadísticamente los clientes que se encuentran en el interior de una célula tienden a situarse en toda su área de manera equidistante por lo que nuestros datos no diferirán demasiado con los reales promediando entre todos los clientes que se encuentren accediendo al servicio.

Mediante (2.1), podemos hallar la velocidad binaria de descarga que se alcanzaría con un orden de modulación determinado de los mostrados anteriormente en la **Tabla 3.1**. Sin embargo lo que a nosotros nos interesa es el cálculo de la velocidad media por lo que habrá que ponderar la velocidad obtenida en cada orden de modulación, por el porcentaje de radio de celda sobre el que se aplica. La fórmula matemática que modela este proceso, es (3.26):

$$V_{media} = \sum_{n=1}^N \left( V_n \cdot \frac{d}{R} \right) \quad (3.26)$$



### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

Donde  $V_{media}$  es la velocidad media de descarga del sector de la célula,  $n$  es el número de órdenes de modulación diferentes que existen en todo el radio de la celda,  $V_n$  es la velocidad neta obtenida con (2.1) con el orden de modulación  $n$ ,  $d$  es la distancia bruta en la que se empleará el orden de modulación  $n$ . Ej.: 150 m, y  $R$  es el radio de la celda.

Las posibles combinaciones a la hora de repartir los códigos entre los tres sectores de la célula son elevados, 15 cuando solo se proporciona servicio a un sector, 56 cuando sólo se proporciona a dos sectores, y 102 cuando el servicio se proporciona en los tres. Debido a la imposibilidad de mostrar en una tabla todas estas combinaciones para cada uno de los diferentes entornos, únicamente se escribirán unas tablas con los resultados más significativos para las configuraciones del sistema más comunes acorde con el entorno que estemos estudiando, que nos permita extraer unas conclusiones globales para poder aplicar a todo el sistema en general.

Independientemente de los resultados que obtengamos, existe otro factor de vital importancia que puede ser un factor determinante a la hora de limitar la velocidad máxima de descarga, tanto para el usuario como para la red general, el terminal de recepción. En el capítulo de introducción a la tecnología, se ha mostrado una tabla en la que se expresaban los tipos de terminales estandarizados en función del número de códigos simultáneos que podía gestionar y de la modulación de éstos. Sin embargo en la actualidad es imposible encontrar un terminal que sea capaz de gestionar más de cinco códigos a la vez y con una modulación superior a 16-QAM. Este factor que no entra en juego en la simulación, es considerablemente importante a la hora de intentar conseguir la velocidad óptima de descarga, sobretodo en aquellas circunstancias en las que el número de usuarios por celda sea reducido y se asignen un número elevado de códigos por cliente.

A continuación se procede a mostrar una serie de tablas en las que se mostrarán los resultados mencionados anteriormente obtenidos tras la simulaciones. Como ya hemos comentado, sólo se va a mostrar los resultados más representativos por lo que si el lector desea obtener una información más detallada, podrá encontrar en el **Anexo A** de este mismo proyecto, el programa que hemos empleado para la simulación, donde se calculan todas las opciones posibles además de poder modificar las condiciones de sistema al gusto del lector.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

#### 1º escenario: Ciudad grade.

A continuación vamos a detallar los valores que vamos a proporcionar a los parámetros del sistema para simular tres de las situaciones más comunes que se pueden dar para una comunicación en el interior de una ciudad.

1. En esta primera configuración se representan las condiciones del sistema cuando los usuarios se encuentran en una zona empresarial, donde existe una alta tasa de tráfico de voz y de datos además de una alta densidad de población. Los valores tomados son los siguientes:
  - Potencia dedicada HSDPA = 4 W.
  - Radio celda: 500 m.
  - Altura antena estación base = 30 m.
  - Altura usuario = 10 m.
  - Configuración del lugar desde el que se accede: Contexto 4, apartado 3.3.1.5
2. En esta segunda configuración, se representa las condiciones del sistema cuando el usuario accede al servicio en una hora nocturna desde su domicilio, donde la tasa de voz y de datos es muy reducida. Los valores tomados son los siguientes:
  - Potencia dedicada HSDPA = 10 W.
  - Radio celda: 1 Km.
  - Altura antena estación base = 30 m.
  - Altura usuario = 5 m.
  - Configuración del lugar desde el que se accede: Contexto 2, apartado 3.3.1.5
3. En la tercera configuración, se representa las condiciones del sistema cuando el usuario accede al servicio desde una zona residencial con viviendas bajas, donde el tráfico de voz y datos no es muy alto al igual que la densidad de población. Los valores tomados son los siguientes:
  - Potencia dedicada HSDPA = 7 W.
  - Radio celda: 1 Km.
  - Altura antena estación base = 30 m.
  - Altura usuario = 1,5 m.

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

- Configuración del lugar desde el que se accede: Contexto 2, apartado 3.3.1.5

Los resultados obtenidos son los mostrados en las **Tablas 3.2, 3.3 y 3.4**:

**Tabla 3.2:** N° de códigos óptimos en un sector. Ciudad Grande.

Configuración	#Códigos	$V_{media}$	$V_{media}$	$V_{media}$	Tasa Total (Mbps)
	1° Sector	1° Sector (Mbps)	2° Sector (Mbps)	3° Sector (Mbps)	
1	1	0.6118	0	0	0.6118
	2	0.8064	0	0	0.8064
	3	0.9835	0	0	0.9835
	4	0.9412	0	0	0.9412
2	5	1.3069	0	0	1.3069
	6	1.3117	0	0	1.3117
	7	1.2808	0	0	1.2808
	8	1.1786	0	0	1.1786
3	4	0.9521	0	0	0.9521
	5	0.9545	0	0	0.9545
	6	0.8412	0	0	0.8412
	7	0.8483	0	0	0.8483

**Tabla 3.3:** N° de códigos óptimos en dos sectores. Ciudad Grande.

Configuración	#Códigos	#Códigos	$V_{media}$	$V_{media}$	$V_{media}$	Tasa Total (Mbps)
	1° Sector	2° Sector	1° Sector (Mbps)	2° Sector (Mbps)	3° Sector (Mbps)	
1	1	1	0.4514	0.4514	0	0.9027
		2	0.3828	0.6792	0	1.062
		6	0.1835	0	0	0.1835
	2	2	0.618	0.618	0	1.2361
		3	0.5114	0.6212	0	1.1325
		4	0.3859	0.6776	0	1.0635
	3	3	0.5506	0.5506	0	1.1012

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

	4	4	0	0	0	0
2	1	1	0.665	0.665	0	1.33
		5	0.3794	1.2238	0	1.6032
	2	5	0.5853	1.1505	0	1.7358
		8	0.4935	1.0646	0	1.558
	3	3	0.8768	0.8768	0	1.7537
	4	4	0.9362	0.9362	0	1.8725
	5	5	0.9347	0.9347	0	1.8693
	6	8	0.7556	0.8364	0	1.5921
3	1	1	0.504	0.504	0	1.0079
	2	3	0.5093	0.682	0	1.1913
		4	0.4594	0.7477	0	1.2071
	3	3	0.6285	0.6285	0	1.257
		4	0.5667	0.6844	0	1.2511
	4	4	0.6147	0.6147	0	1.2293
	5	6	0.499	0.5275	0	1.0265
	6	6	0.4562	0.4562	0	0.9125

Tabla 3.4: N° de códigos óptimos en tres sectores. Ciudad Grande.

Configuración	#Códigos 1° Sector	#Códigos 2° Sector	#Códigos 3° Sector	V <sub>media</sub>	V <sub>media</sub>	V <sub>media</sub>	Tasa	
				1° Sector (Mbps)	2° Sector (Mbps)	3° Sector (Mbps)	Total (Mbps)	
1	1	1	1	0.3828	0.3828	0.3828	1.1484	
			2	0.3294	0.3294	0.618	1.2769	
		2	2	0.2832	0.5114	0.5114	1.3059	
			3	0.2275	0.3859	0.5506	1.1639	
			4	0.1835	0.3388	0.5271	1.0494	
		3	3	0.1835	0.4659	0.4659	1.1153	
			4	0.16	0.3388	0	0.4988	
			5	0.1271	0	0	0.1271	
		2	2	2	0.3859	0.3859	0.3859	1.1576

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

			3	0.3388	0.3388	0.4659	1.1435	
			3	0.2824	0.3388	0.3388	0.96	
	3	3	3	0	0	0	0	
2	1	1	1	0.5749	0.5749	0.5749	1.7246	
			2	0.4739	0.4739	0.7596	1.7073	
		2	7	0.2677	0.4935	0.9814	1.7426	
			8	0.257	0.4657	1.0075	1.7303	
	2	2	2	0.6618	0.6618	0.6618	1.9853	
		4	5	0.4657	0.7604	0.8871	2.1133	
	3	3	3	0.7034	0.7034	0.7034	2.1101	
		4	5	0.6107	0.7287	0.8198	2.1592	
	4	4	4	4	0.7287	0.7287	0.7287	2.1861
			5	5	0.697	0.697	0.6891	2.0832
			5	6	0.6115	0.6416	0.7271	1.9802
	5	5	5	0.6416	0.6416	0.6416	1.9248	
3	1	1	1	0.4048	0.4048	0.4048	1.2143	
			4	0.2523	0.2523	0.7477	1.2523	
		2	3	0.2523	0.4594	0.6285	1.3402	
		3	3	0.2273	0.5667	0.5667	1.3608	
	2	2	2	0.4594	0.4594	0.4594	1.3782	
			3	0.4111	0.4111	0.5667	1.3889	
		3	3	0.3762	0.5038	0.5038	1.3838	
		5	5	0.2329	0.4515	0.4515	1.1358	
	3	3	3	0.4634	0.4634	0.4634	1.3901	
	4	4	4	0.3992	0.3992	0.3992	1.1976	
			5	0.3707	0.3707	0.3921	1.1335	
	5	5	5	0.1426	0.1426	0.1426	0.4277	

#### 2° escenario: Ciudad suburbana.

Al igual que en el caso anterior, vamos a estudiar las configuraciones óptimas de red para tres de las situaciones más comunes que pueden existir dentro de un

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

entornos suburbano. Los valores que hemos dado a cada uno de los parámetros de la simulación para simular los entornos, son los siguientes:

1. En esta primera configuración vamos a analizar la velocidad binaria de descarga cuando el usuario se encuentra en el interior de su domicilio en una zona residencial en un momento diurno del día, donde la tasa de tráfico no es muy alta. Los valores tomados son los siguientes:
  - Potencia dedicada HSDPA = 9 W.
  - Radio celda: 2 Km.
  - Altura antena estación base = 30 m.
  - Altura usuario = 5 m.
  - Configuración del lugar desde el que se accede: Contexto 2, apartado 3.3.1.5
2. En la segunda configuración vamos a analizar el sistema cuando el usuario acceda al sistema en un momento nocturno donde la tasa de tráfico de voz sea baja y la potencia dedicada pueda ser lo más elevada posible. Los valores tomados son los siguientes:
  - Potencia dedicada HSDPA = 12 W.
  - Radio celda: 1.5 Km.
  - Altura antena estación base = 30 m.
  - Altura usuario = 5 m.
  - Configuración del lugar desde el que se accede: Contexto 2, apartado 3.3.1.5
3. En esta tercera y última configuración, vamos a analizar el sistema cuando el usuario se encuentre en el centro de la ciudad, ya sea en la calle o en el interior a un pequeño local. Esta será una de las peores condiciones del sistema ya que será el entorno donde la red tendrá que controlar mayor cantidad de tráfico. Los valores tomados son los siguientes:
  - Potencia dedicada HSDPA = 6 W.
  - Radio celda: 1 Km.
  - Altura antena estación base = 30 m.
  - Altura usuario = 1.5 m.
  - Configuración del lugar desde el que se accede: Contexto 1, apartado 3.3.1.5

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

Los resultados obtenidos son los mostrados en las **Tablas 3.5, 3.6 y 3.7**:

**Tabla 3.5:** N° de códigos óptimos en un sector. Ciudad Suburbana.

Configuración	#Códigos	$V_{media}$	$V_{media}$	$V_{media}$	Tasa Total (Mbps)
	1° Sector	1° Sector (Mbps)	2° Sector (Mbps)	3° Sector (Mbps)	
1	1	0.9088	0	0	0.9088
	5	1.5463	0	0	1.5463
	8	1.7783	0	0	1.7783
	13	1.5833	0	0	1.5833
2	2	1.3449	0	0	1.3449
	5	1.8596	0	0	1.8596
	9	2.1695	0	0	2.1695
	11	2.1854	0	0	2.1854
3	2	1.0166	0	0	1.0166
	5	1.3287	0	0	1.3287
	8	1.3877	0	0	1.3877
	10	1.2594	0	0	1.2594

**Tabla 3.6:** N° de códigos óptimos en dos sectores. Ciudad Suburbana.

Configuración	#Códigos	#Códigos	$V_{media}$	$V_{media}$	$V_{media}$	Tasa Total (Mbps)
	1° Sector	2° Sector	1° Sector (Mbps)	2° Sector (Mbps)	3° Sector (Mbps)	
1	1	1	0.706	0.706	0	1.4119
		6	0.3899	1.5666	0	1.9564
		8	0.3096	1.6796	0	1.9892
	2	2	0.9108	0.9108	0	1.8217
		9	0.5174	1.6048	0	2.1222
	4	6	1.0036	1.0036	0	2.0072
	6	6	1.2191	1.2191	0	2.4382
	7	8	1.1618	1.2545	0	2.4163
2	1	9	0.4091	2.098	0	2.5072

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

	2	2	0.9108	0.9108	0	1.8217
		7	0.596	1.5504	0	2.1465
	3	7	0.7803	1.478	0	2.2583
	4	8	0.8995	1.4297	0	2.3292
	5	5	1.1672	1.1672	0	2.3343
	6	6	1.2191	1.2191	0	2.4382
	7	7	1.2036	1.2036	0	2.4072
3	1	5	0.3101	1.1881	0	1.4982
	2	2	0.7002	0.7002	0	1.4004
		6	0.4871	1.1453	0	1.6325
	3	5	0.6749	1.0376	0	1.7125
	4	4	0.8729	0.8729	0	1.7457
	5	5	0.8832	0.8832	0	1.7663
		7	0.7644	0.8816	0	1.6459
6	7	0.7414	0.8317	0	1.5731	

**Tabla 3.7:** N° de códigos óptimos en tres sectores. Ciudad Suburbana.

Configuración	#Códigos 1° Sector	#Códigos 2° Sector	#Códigos 3° Sector	V <sub>media</sub>	V <sub>media</sub>	V <sub>media</sub>	Tasa
				1° Sector (Mbps)	2° Sector (Mbps)	3° Sector (Mbps)	Total (Mbps)
1	1	1	1	0.6039	0.6039	0.6039	1.8116
			5	0.3899	0.3899	1.3811	2.1608
		2	5	0.3572	0.6257	1.2925	2.2754
		3	3	0.3899	0.9478	0.9478	2.2854
		6	6	0.2591	1.1678	1.1678	2.5946
	2	2	2	0.7441	0.7441	0.7441	2.2322
		4	5	0.5174	0.9449	1.0925	2.5548
	3	3	4	0.7803	0.7803	0.9839	2.5445
		5	5	0.6836	1.0139	1.0139	2.7114
	4	4	6	0.8111	0.8111	1.0973	2.7196
		5	6	0.7857	0.9433	1.0388	2.7678



### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

	5	5	5	0.9433	0.9433	0.9433	2.8299
2	1	1	9	0.3943	0.3943	2.0265	2.8151
		2	9	0.3803	0.6347	1.9478	2.9628
		3	6	0.4091	0.9815	1.6228	3.0134
		4	8	0.3641	1.0829	1.7717	3.2187
		7	7	0.3034	1.5205	1.5205	3.3445
	2	3	5	0.755	0.9815	1.4318	3.1682
			8	0.6196	0.8952	1.7717	3.2865
		5	8	0.5886	1.2119	1.6593	3.4599
	3	3	7	0.8952	0.8952	1.6077	3.3981
	4	4	5	1.0829	1.0829	1.2967	3.4625
		5	6	1.0283	1.2119	1.3478	3.5881
	5	5	5	1.2119	1.2119	1.2119	3.6358
3	1	1	5	0.2818	0.2818	1.1109	1.6745
		2	4	0.2818	0.5291	0.9236	1.7345
		3	6	0.2202	0.5976	1.0028	1.8206
		5	5	0.2036	0.8238	0.8238	1.8511
	2	2	3	0.5291	0.5291	0.7509	1.8091
		3	4	0.4388	0.638	0.819	1.8958
		4	4	0.4143	0.7287	0.7287	1.8717
	3	3	3	0.638	0.638	0.638	1.9141
		4	4	0.5525	0.697	0.697	1.9465
	4	4	4	0.6495	0.6495	0.6495	1.9485
			5	0.6051	0.6051	0.6416	1.8519
	5	5	5	0.5822	0.5822	0.5822	1.7465

#### 3° escenario: Zona rural.

En esta tercera y última sección vamos a realizar el mismo análisis de optimización de la red, pero en este caso en un entorno rural. Para ello hemos simulado tres de las situaciones más comunes que se pueden encontrar en estas circunstancias con los siguientes parámetros de simulación:

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

1. En esta primera configuración vamos a analizar la velocidad binaria de descarga cuando la estación base se encuentra situada en una zona rural desabitada proporcionando servicio sólo a aquellos clientes que esporádicamente transiten por sus proximidades, como pueden ser agricultores o pasajeros de un vehículo. Los valores tomados son los siguientes:
  - Potencia dedicada HSDPA = 10 W.
  - Radio celda: 5 Km.
  - Altura antena estación base = 30 m.
  - Altura usuario = 1.5 m.
  - Configuración del lugar desde el que se accede: Contexto 1, apartado 3.3.1.5
2. En la segunda configuración analizaremos una situación muy parecida a la anterior, con la variante de que en este caso nos encontraremos en un momento nocturno del día donde el tráfico de voz es prácticamente inexistente. Los valores tomados son los siguientes:
  - Potencia dedicada HSDPA = 16 W.
  - Radio celda: 4 Km.
  - Altura antena estación base = 30 m.
  - Altura usuario = 1.5 m.
  - Configuración del lugar desde el que se accede: Contexto 1, apartado 3.3.1.5
3. En la tercera y última configuración, vamos a analizar la tasa binaria de descarga cuando la estación base se encuentre situada en el exterior de una pequeña población para poder proporcionarle servicio de telefonía móvil. Los valores tomados son los siguientes:
  - Potencia dedicada HSDPA = 8 W.
  - Radio celda: 3 Km.
  - Altura antena estación base = 30 m.
  - Altura usuario = 3 m.
  - Configuración del lugar desde el que se accede: Contexto 1, apartado 3.3.1.5

Los datos obtenidos Vienen mostrados en las **Tablas 3.8, 3.9 y 3.10**:

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

**Tabla 3.8:** N° de códigos óptimos en un sector. Zona Rural.

Configuración	#Códigos	$V_{media}$	$V_{media}$	$V_{media}$	Tasa Total (Mbps)
	1° Sector	1° Sector (Mbps)	2° Sector (Mbps)	3° Sector (Mbps)	
1	1	1.0252	0	0	1.0252
	5	2.6253	0	0	2.6253
	10	3.2423	0	0	3.2423
	15	3.8341	0	0	3.8341
2	1	1.0992	0	0	1.0992
	5	3.1267	0	0	3.1267
	10	4.2244	0	0	4.2244
	15	4.7618	0	0	4.7618
3	1	0.9857	0	0	0.9857
	5	2.3635	0	0	2.3635
	10	3.0066	0	0	3.0066
	15	3.4425	0	0	3.4425

**Tabla 3.9:** N° de códigos óptimos en dos sectores. Zona Rural.

Configuración	#Códigos	#Códigos	$V_{media}$	$V_{media}$	$V_{media}$	Tasa
	1° Sector	2° Sector	1° Sector (Mbps)	2° Sector (Mbps)	3° Sector (Mbps)	Total (Mbps)
1	1	13	0.428	3.6369	0	4.0649
	2	8	0.9606	2.9487	0	3.9092
		13	0.7777	3.5284	0	4.3061
	3	11	1.1225	3.199	0	4.3215
	5	5	2.0078	2.0078	0	4.0156
	6	7	2.1574	2.4043	0	4.5617
		9	2.0244	2.6307	0	4.6551
7	7	2.2573	2.2573	0	4.5147	
2	1	1	1.0015	1.0015	0	2.0031
		14	0.6105	4.5058	0	5.1164

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

	2	10	1.1653	4.0234	0	5.1887
	3	8	1.684	3.4733	0	5.1574
	4	7	2.1375	3.0936	0	5.2311
	5	7	2.4771	3.0262	0	5.5033
	6	9	2.6068	3.5214	0	6.1282
	7	7	2.9103	2.9103	0	5.8206
3	1	7	0.4847	2.6153	0	3.1
		14	0.342	3.3098	0	3.6518
	2	9	0.7712	2.6629	0	3.4341
		13	0.6684	3.1217	0	3.7902
	4	9	1.3459	2.5224	0	3.8683
	5	5	1.8276	1.8276	0	3.6551
	7	7	1.966	1.966	0	3.9321
8		1.9195	2.1613	0	4.0809	

Tabla 3.10: N° de códigos óptimos en tres sectores. Zona Rural.

Configuración	#Códigos 1° Sector	#Códigos 2° Sector	#Códigos 3° Sector	$V_{media}$	$V_{media}$	$V_{media}$	Tasa
				1° Sector (Mbps)	2° Sector (Mbps)	3° Sector (Mbps)	Total (Mbps)
1	1	1	13	0.4145	0.4145	3.5284	4.3573
		2	12	0.4145	0.7777	3.3504	4.5426
		3	10	0.428	1.1225	2.9453	4.4958
		4	7	0.4643	1.5463	2.5013	4.5119
		5	9	0.4145	1.7501	2.6307	4.7952
	2	2	5	0.9986	0.9986	2.0715	4.0686
		3	10	0.7777	1.0976	2.8846	4.76
	3	3	7	1.1939	1.1939	2.4043	4.7921
		4	8	1.0976	1.4336	2.3626	4.8939
	4	4	4	1.5463	1.5463	1.5463	4.639
		5	6	1.4336	1.7501	2.0244	5.2081
	5	5	5	1.7501	1.7501	1.7501	5.2503

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

2	1	1	10	0.6715	0.6715	4.0234	5.3664	
			13	0.6105	0.6105	4.2313	5.4524	
		2	10	0.6466	1.1397	3.9317	5.718	
		3	10	0.6288	1.5425	3.8494	6.0207	
		5	9	0.6105	2.316	3.5214	6.4479	
	2	2	2	10	1.1144	1.1144	3.8494	6.0782
			3	10	1.0916	1.5142	3.7681	6.3739
			4	9	1.0916	1.9597	3.5214	6.5727
	3	3	9	1.5142	1.5142	3.5214	6.5499	
			5	7	1.5142	2.316	2.8594	6.6895
4	5	6	1.9597	2.316	2.6068	6.8824		
	5	5	5	2.316	2.316	2.316	6.9479	
3	1	2	11	0.3516	0.6882	2.8498	3.8896	
		3	10	0.3516	1.0054	2.6791	4.0361	
		7	7	0.342	1.9195	1.9195	4.1811	
	2	2	3	10	0.6684	0.9698	2.6013	4.2395
			4	9	0.6684	1.1742	2.3908	4.2335
	3	3	3	3	1.2245	1.2245	1.2245	3.6736
			3	9	0.9698	0.9698	2.3908	4.3304
			4	8	0.9698	1.1742	2.1613	4.3053
	4	4	4	4	1.3975	1.3975	1.3975	4.1924
			4	6	1.2877	1.2877	1.7043	4.2797
			5	6	1.1742	1.404	1.6649	4.2431
			5	5	1.404	1.404	1.404	4.212

Como anteriormente se ha comentado, el gran número de combinaciones de códigos existente es enorme, por lo que en las tablas posteriores sólo hemos mostrado una colección de opciones distintas que proporcionan las mayores tasas totales de tráfico gestionado por la red. De todas las posibilidades analizadas, aquella que puede considerarse óptima desde el punto de vista de tráfico total de red gestionado por la estación base en cada una de las situaciones estudiadas, ha sido señalada en azul en cada una de las tablas, por lo que será la distribución de códigos a la que deberemos

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

acercarnos. En adición hemos de avisar al lector que todos los resultados obtenidos no están en absoluto relacionados con el orden en el que han sido asignados a cada uno de los sectores de la célula. Se obtendrá el mismo resultado si asignamos el paquete de códigos, que en las tablas hemos asignado a un sector en concreto, a otro sector de la misma celda mientras que en el resultado final, la asignación de códigos por sector se mantenga de la misma manera que la expresada en la tabla independientemente del sector al que se le asigne. Gracias a esto, en caso de que el reparto entre los sectores no sea equitativo, se puede asignar el paquete de mayor número de códigos al sector que tenga un mayor número de clientes accediendo al servicio al mismo tiempo.

Como podemos apreciar por los resultados obtenidos, las combinaciones de códigos óptima depende en gran medida del entorno en el que estemos trabajando, aunque se bien es verdad, podemos sacar unas pequeñas conclusiones globales que pueden aplicarse a todos los entornos en general.

Por norma general, lo más óptimo suele ser repartir los códigos de manera que existan el mismo número de ellos en cada uno de los sectores, aunque la suma de todos ellos no tiene porque ser quince. El número de códigos que deberá haber en cada uno de los sectores, dependerá de las condiciones del sistema, siendo esta cantidad menor cuanto peores sean las condiciones del sistema al igual que el perfil de SNR recibido. Por el contrario cuando las condiciones de propagación son muy favorables como suele ocurrir en entornos rurales, la configuración óptima suele estar relacionado con el reparto del número máximo de códigos, aunque el número de sectores impida un reparto equitativo de ellos.

Una segunda conclusión que se puede resaltar tras estudiar los resultados, es que la tasa binaria de descarga que se obtiene cuando se utiliza la configuración óptima de códigos, no es mucho mayor que la que se puede obtener con otras condiciones que no sean óptimas. Esto significa que en caso de que exista un número elevado de clientes intentado acceder al servicio, la estación base podrá optar por repartir los códigos entre los sectores de una manera más equitativa aunque sea subóptimas sin que el tráfico total entre la estación base y los usuario se vea gravemente afectado.

Con este estudio hemos demostrado que la obtención de una velocidad de descarga superior no está relacionada con las asignación de una gran número de códigos; de hecho como hemos podido ver en las simulaciones, en determinadas

### **3. Estudio de HSDPA en macro celdas**

---

ocasiones la asignación de un número de códigos mayor de lo debido puede acarrear el empeoramiento del comportamiento global del sistema y hasta la posibilidad de no poder proporcionar un el servicio HSDPA.

#### **3.3.5 Cálculo de las velocidades reales de descarga en la tecnología HSDPA.**

Una vez realizado el estudio anterior en el que hemos determinado cual debe ser el reparto de códigos entre los sectores para que se maximice el tráfico de descarga, vamos a profundizar en el estudio calculando las velocidades medias de descarga por usuario, empleando la política de optimización desarrollada en la sección anterior.

Un cálculo extremadamente preciso de la tasa binaria de descarga, es prácticamente imposible de obtener mediante una simulación por ordenador, ya que existen un gran número de factores que influyen sobre el resultado final con una aleatoriedad enorme. En el ámbito de estudio de este proyecto, vamos a realizar una simulación estática de la tasa binaria de descarga lo más fiel posible a la realidad, cuyos resultados podrán ser tenidos muy en cuenta ya que no divergirán notablemente de los resultados reales que se podrían obtener con una simulación sobre el terreno. Cuando hablamos de una simulación estática, nos referimos a que en nuestra simulación el número de usuarios que accedan al servicio nunca superará el número máximo de códigos disponibles, que como ya hemos explicado, es de quince. Cuando el número de usuarios que intenten acceder al servicio HSDPA sea superior a quince, sería necesario realizar una complicada simulación de continuas reasignaciones de códigos en función del algoritmo que emplee cada estación base que queda fuera del alcance de estudio de este proyecto de fin de carrera. En nuestro caso, cuando un usuario intente acceder al servicio, y todos los códigos se encuentre ocupados, se procederá a negarle el acceso y a proporcionarle un servicio convencional de descarga de datos por UMTS.

Para proceder a este estudio, vamos a limitar el número de códigos por celda en función de los resultados obtenidos en la sección anterior además de emplear la misma fórmula analítica de velocidad media (3.26) para calcular la velocidad media de descarga para cada uno de los usuarios en particular que vallamos a analizar.

La situación de los usuarios en el momento en el que se encuentre accediendo al servicio, es totalmente aleatoria, y prácticamente imposible de modelar con una

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

gran exactitud. A pesar de esto, se ha comprobado estadísticamente que los usuarios que se encuentran en el interior de una célula tienden a repartirse homogéneamente en toda el área de la célula, por lo que en nuestro estudio, vamos a repartir el número de usuarios de la manera más equitativa posible entre los tres sectores de la célula y a continuación el área de cada sector entre el número de clientes que haya en su interior a partes iguales. procediendo Posteriormente se procederá a calcular la tasa binaria de descarga media para cada usuario, suponiendo que en cada porción en la que hemos dividido el área total de la célula, se encuentra únicamente un usuario que se puede desplazar por el interior de su porción, pero nunca saldrá de ella.

Para el cálculo de la velocidad media de descarga de cada uno de los usuarios, se debe determinar en primer lugar los órdenes de modulación que atraviesan la zona por la cual se desplaza el cliente bajo estudio. A continuación se calcula la velocidad media de la misma manera que se explico en la sección previa, con la salvedad de que en esta situación el radio de la célula se sustituye por el radio máximo de desplazamiento que le corresponde a cada uno de los clientes que se encuentran en el interior de la célula.

En la Figura puede verse una representación gráfica de la operación que vamos a realizar.

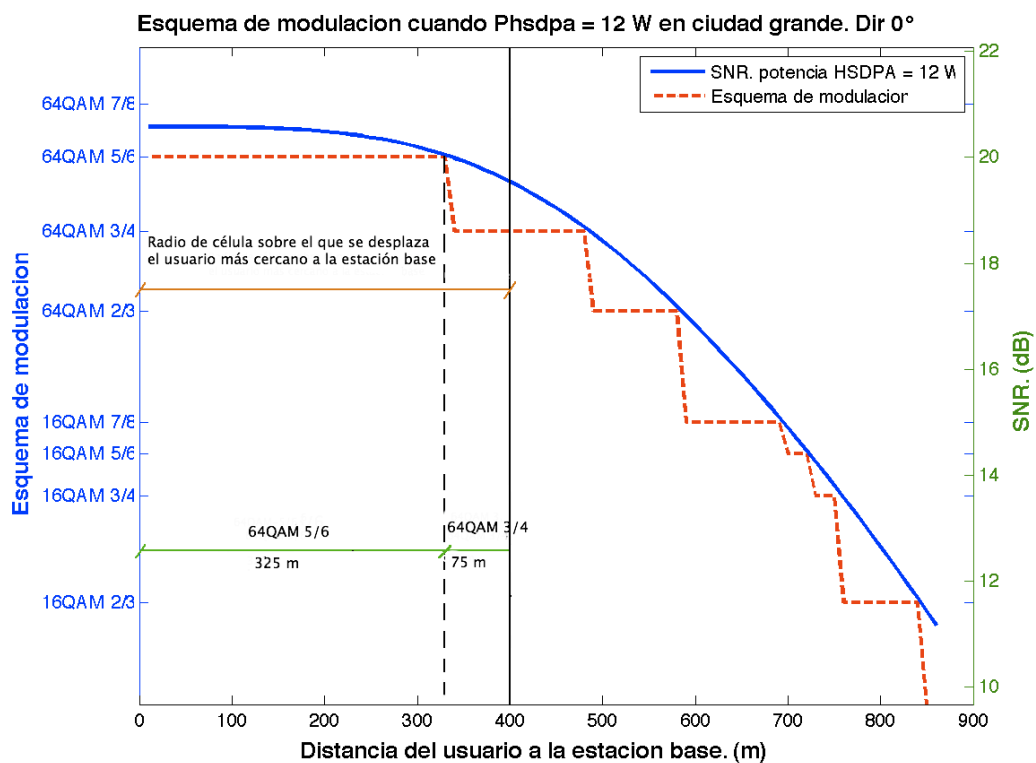


Figura 3.49: Esquema velocidad media por usuario.



### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

$$V_{media} = V_{1^{\circ}Tramo} \cdot \frac{325}{400} + V_{2^{\circ}Tramo} \cdot \frac{75}{400}$$

Donde  $V$  representa la velocidad binaria de descarga obtenida con (2.1),  $V_{1^{\circ}Tramo}$  la velocidad binaria obtenida con la modulación 64QAM 5/6 y  $V_{2^{\circ}Tramo}$  la velocidad obtenida con la modulación 64QAM 3/4.

La forma en la que se asignen los códigos dentro de los sectores de la celda, depende en gran medida del algoritmo de reparto que emplee la estación base. Este algoritmo no se encuentra estandarizado y cada compañía telefónica puede emplear el que mejor le convenga para sus necesidades. A pesar de esta gran variedad, en la actualidad el más empleado es el *Round Robin* que proporciona servicio a todos los que se encuentran en el área de cobertura, dando una ligera ventaja a aquellos usuarios que se encuentren más cercanos a la estación base, en caso de que el número de clientes en la celda, impida proporcionar el mismo número de códigos a todos ellos. Debido a la mayor universalidad de este algoritmo, este será el que emplearemos en todas nuestras simulaciones.

Todas las simulaciones se realizarán sin tener en cuenta factores como el terminal que se emplee o el número límite de canales HS-SCCH que se pueden usar. Nuestro objetivo es determinar las velocidades máximas que se pueden obtener en un entorno real para poder sacar conclusiones a partir de ellas. Si los resultados simulados no satisfacen las necesidades del cliente, tampoco satisfarán los que se obtengan en un escenario real.

A continuación se representarán una serie de tablas en las que se mostrarán los resultados obtenidos tras realizar las simulaciones. Al ser inviable mostrar una tabla de velocidades para cada una de las configuraciones posibles, sólo vamos a analizar las situaciones más comunes que se pueden dar en cada uno de los entornos que estamos estudiando, además de realizar el estudio para un número de usuarios que se encuentren en la celda accediendo al servicio al mismo tiempo, de siete y quince. Con esta medida intentamos dar una idea al lector de cómo será el sistema cuando se encuentre medianamente y muy cargado de clientes, ya que la situación en la que exista un número reducido de usuarios ya ha sido analizado en la sección posterior.

Las situaciones que vamos a analizar son las mismas que hemos simulado en la sección previa, por lo que emplearemos los mismo parámetros de simulación. Si aún así el lector desea simular un escenario distinto a los mostrados en esta memoria, en el

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

**Anexo A** podrá encontrar el código del programa que vamos a emplear en las simulaciones pudiendo replicar y/o modificar el valor de los parámetros a su gusto si desea obtener resultados diferentes a los que vamos a mostrar.

*1º escenario: Ciudad grade.*

En el siguiente apartado, vamos a mostrar las tablas de velocidades obtenidas tras las simulaciones en un entorno de gran ciudad. En cada tabla se mostrarán los resultados obtenidos en las configuraciones anteriormente mencionadas en función del número de clientes que existan en ese preciso momento en la estación base, que como hemos dicho, van a ser de siete y de quince y van a estar repartidos uniformemente entre los tres sectores de la celda.

Los datos obtenidos son los mostrados en las **Tablas 3.11** y **3.12**:

**Tabla 3.11:** Velocidades de descarga por usuario. 7 Usuarios por celda. Ciudad Grande.

Conf.	Datos	Usuarios						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Sector	1		2		3		
	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	2		2		1		
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.072	0.072	0.072	0.108	0.108	0.108	0.108
	Rango de Radios (Km.)	0 – 0.288	0.288 – 0.408	0.408 – 0.5	0 – 0.353	0.353 – 0.5	0 – 0.353	0.353 – 0.5
	Nº Códigos	1	1	0	1	1	1	0
	Órdenes de Modulación	2, 1	1	SC	2, 1	1, 0	2, 1	SC
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.3141	0.24	SC	0.2988	0.1920	0.3176	SC
2	Sector	1		2		3		
	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	4		4		4		
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.288	0.288	0.288	0.433	0.433	0.433	0.433
	Rango de Radios (Km.)	0 – 0.577	0.577 – 0.816	0.816 – 1	0 – 0.707	0.707 – 1	0 – 0.707	0.707 – 1

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

	N° Códigos	2	1	1	2	2	2	2
	Órdenes de Modulación	2, 1	1, 0	0	2, 1, 0	0	2, 1, 0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.5971	0.07	0	0.5333	0	0.5333	0
3	Sector	1			2		3	
	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	3			3		3	
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.288	0.288	0.288	0.433	0.433	0.433	0.433
	Rango de Radios (Km.)	0 – 0.577	0.577 – 0.816	0.816 – 1	0 – 0.707	0.707 – 1	0 – 0.707	0.707 – 1
	N° Códigos	1	1	1	2	1	2	1
	Órdenes de Modulación	2, 1, 0	0	0	2, 1, 0	0	2, 1, 0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.2786	0	0	0.4522	0	0.4522	0

**Tabla 3.12:** Velocidades de descarga por usuario. 15 Usuarios por celda. Ciudad Grande.

Conf.	Datos	Usuarios														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Sector	1					2					3				
	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	2					2					1				
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043
	Rango de radios (Km.)	0 – 0.223	0.223 – 0.316	0.316 – 0.387	0.387 – 0.447	0.447 – 0.5	0 – 0.223	0.223 – 0.316	0.316 – 0.387	0.387 – 0.447	0.447 – 0.5	0 – 0.223	0.223 – 0.316	0.316 – 0.387	0.387 – 0.447	0.447 – 0.5
	N° códigos	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
	Órdenes Modulación	2	2, 1	SC	SC	SC	2	2, 1	SC	SC	SC	2	SC	SC	SC	SC
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.32	0.275	SC	SC	SC	0.32	0.275	SC	SC	SC	0.32	SC	SC	SC	SC
2	Sector	1					2					3				
	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	4					4					4				

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

	Área (Km <sup>2</sup> )	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	
	Rango de radios (Km.)	0 – 0.447	0.447 – 0.632	0.632 – 0.774	0.774 – 0.894	0.894 – -1	0 – 0.447	0.447 – 0.632	0.632 – 0.774	0.774 – 0.894	0.894 – -1	0 – 0.447	0.447 – 0.632	0.632 – 0.774	0.774 – 0.894	0.894 – -1	
	Nº códigos	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	
	Órdenes Modulación	2, 1	1	1, 0	0	SC	2, 1	1	1, 0	0	SC	2, 1	1	1, 0	0	SC	
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.316	0.24	0.017	0	SC	0.316	0.24	0.017	0	SC	0.316	0.24	0.017	0	SC	
3	Sector	1					2					3					
	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	3					3					3					
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173
	Rango de radios (Km.)	0 – 0.447	0.447 – 0.632	0.632 – 0.774	0.774 – 0.894	0.894 – -1	0 – 0.447	0.447 – 0.632	0.632 – 0.774	0.774 – 0.894	0.894 – -1	0 – 0.447	0.447 – 0.632	0.632 – 0.774	0.774 – 0.894	0.894 – -1	
	Nº códigos	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	
	Órdenes Modulación	2, 1	1, 0	0	SC	SC	2, 1	1, 0	0	SC	SC	2, 1	1, 0	0	SC	SC	
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.295	0.151	0	SC	SC	0.295	0.151	0	SC	SC	0.295	0.151	0	SC	SC	

#### 2º escenario: Ciudad suburbana.

Una vez mostrados las tasas binarias de descarga que se pueden obtener en una gran ciudad, vamos a proceder a realizar los mismo cuando los usuarios accedan desde una centro suburbano, como pueden ser todas aquellas ciudades que se encuentran alrededor de las grandes urbes. En este caso, el procedimiento que vamos a seguir es el mismo del apartado anterior, con la salvedad de que en este caso las configuraciones del sistema que procederemos a simular serán ligeramente diferentes en comparación con el apartado anterior, ya que en este nuevo contexto el volumen de tráfico no es el mismo que en el caso de una gran ciudad. Como ya sucedió en la sección anterior, el valor de los parámetros que determinan el entornos que vamos a simular ya los hemos escrito en la sección 3.3.4 en el apartado de ciudad suburbana.

Los datos obtenidos, quedan mostrados en las **Tablas 3.13 y 3.14**:

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

**Tabla 3.13:** Velocidades de descarga por usuario. 7 Usuarios por celda. Ciudad Suburbana.

Conf.	Datos	Usuarios						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Sector	1		2		3		
	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	5		5		5		
	Área (Km <sup>2</sup> )	1.154	1.154	1.154	1.732	1.732	1.732	1.732
	Subradios (Km.)	0 – 1.154	1.154 –1.633	1.633 –2	0 – 1.414	1.414 – 2	0 – 1.414	1.414 – 2
	N° Códigos	2	2	1	3	2	3	2
	Órdenes de Modulación	3, 2, 1	1, 0	0	3, 2, 1, 0	0	3, 2, 1, 0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.64	0.06	0	0.812	0	0.812	0
2	Sector	1		2		3		
	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	5		5		5		
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.649	0.649	0.649	0.974	0.974	0.974	0.974
	Subradios (Km.)	0 – 0.866	0.866 –1.224	1.224 –1.5	0 – 1.06	1.06 – 1.5	0 – 1.06	1.06 – 1.5
	N° Códigos	2	2	1	3	2	3	2
	Órdenes de Modulación	4, 3, 2	1, 0	0	4, 3, 2, 1, 0	0	4, 3, 2, 1, 0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.753	0.253	0	1.045	0	1.045	0
3	Sector	1		2		3		
	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	4		4		4		
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.288	0.288	0.288	0.433	0.433	0.433	0.433
	Subradios (Km.)	0 – 0.577	0.577 –0.816	0.816 –1	0 – 0.707	0.707 – 1	0 – 0.707	0.707 – 1
	N° Códigos	2	2	1	3	2	3	2

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

	Órdenes de Modulación	2, 1	1, 0	0	2, 1, 0	0	2, 1, 0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.577	0.01	0	0.475	0	0.475	0

**Tabla 3.14:** Velocidades de descarga por usuario. 15 Usuarios por celda. Ciudad Suburbana.

Conf.	Datos	Usuarios														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Sector	1					2					3				
	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	5					5					5				
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692
	Subradios (Km.)	0 – 0.894	0.894 – 1.264	1.264 – 1.549	1.549 – 1.788	1.788 – -2	0 – 0.894	0.894 – 1.264	1.264 – 1.549	1.549 – 1.788	1.788 – -2	0 – 0.894	0.894 – 1.264	1.264 – 1.549	1.549 – 1.788	1.788 – -2
	Nº códigos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Órdenes Modulación	3, 2	1, 0	0	0	0	3, 2	1, 0	0	0	0	3, 2	1, 0	0	0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.343	0.207	0	0	0	0.343	0.207	0	0	0	0.343	0.207	0	0	0
2	Sector	1					2					3				
	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	5					5					5				
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389
	Subradios (Km.)	0 – 0.67	0.67 – 0.948	0.948 – 1.161	1.161 – 1.341	1.341 – -1.5	0 – 0.67	0.67 – 0.948	0.948 – 1.161	1.161 – 1.341	1.341 – -1.5	0 – 0.67	0.67 – 0.948	0.948 – 1.161	1.161 – 1.341	1.341 – -1.5
	Nº códigos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Órdenes Modulación	4, 3	3, 2, 1	1, 0	0	0	4, 3	3, 2, 1	1, 0	0	0	4, 3	3, 2, 1	1, 0	0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.389	0.305	0.12	0	0	0.389	0.305	0.12	0	0	0.389	0.305	0.12	0	0
3	Sector	1					2					3				
	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	4					4					4				
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173
	Subradios (Km.)	0 – 0.447	0.447 – 0.632	0.632 – 0.774	0.774 – 0.894	0.894 – -1	0 – 0.447	0.447 – 0.632	0.632 – 0.774	0.774 – 0.894	0.894 – -1	0 – 0.447	0.447 – 0.632	0.632 – 0.774	0.774 – 0.894	0.894 – -1

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

		0.632	0.774	0.894			0.632	0.774	0.894			0.632	0.774	0.894	
N° códigos	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
Órdenes Modulación	2, 1	1, 0	0	0	SC	2, 1	1, 0	0	0	SC	2, 1	1, 0	0	0	SC
Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.303	0.176	0	0	SC	0.303	0.176	0	0	SC	0.303	0.176	0	0	SC

#### 3° escenario: Zona rural.

En último lugar, vamos a proceder al realizar el mismo estudio que en los casos anteriores cuando el usuario acceda al servicio desde un entorno rural. Dicho entornos será el más propicio para tener una buena calidad de servicio, ya que la poca densidad de población unido a una menor cantidad de obstáculos que afecten a la señal, provocan que el tráfico de datos sea reducido y la calidad de la señal sea considerablemente alta. Al igual que en los anteriores apartados, los valores de los parámetros que simulan los entornos bajo estudio se encuentran en la sección 3.3.4 en el apartado de zona rural.

Los datos obtenidos quedan mostrados en las **Figuras 3.15** y **3.16**:

**Tabla 3.15:** Velocidades de descarga por usuario. 7 Usuarios por celda. Zona Rural.

Conf.	Datos	Usuarios						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Sector	1		2		3		
	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	5		5		5		
	Área (Km <sup>2</sup> )	7.216	7.216	7.216	10.825	10.825	10.825	10.825
	Subradios (Km.)	0 – 2.886	2.886 – 4.08	4.08 – 5	0 – 3.535	3.535 – 5	0 – 3.535	3.535 – 5
	N° Códigos	2	2	1	3	2	3	2
	Órdenes de Modulación	7, 6, 5, 4, 3	3, 2, 1, 0	0	7, 6, 5, 4, 3, 2, 1	1, 0	7, 6, 5, 4, 3, 2, 1	1, 0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	1.081	0.336	0	1.476	0.029	1.476	0.029
2	Sector	1		2		3		
	N° Códigos a	5		5		5		

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

	repartir. (Óptimo)							
	Área (Km <sup>2</sup> )	4.618	4.618	4.618	6.928	6.928	6.928	6.928
	Subradios (Km.)	0 – 2.309	2.309 – 3.26	3.26 – 4	0 – 2.828	2.828 – 4	0 – 2.828	2.828 – 4
	Nº Códigos	2	2	1	3	2	3	2
	Órdenes de Modulación	9, 8, 7, 6, 5	5, 4, 3, 2, 1	0	9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2	2, 1, 0	9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2	2, 1, 0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	1.356	0.634	0	1.863	0.189	1.863	0.189
3	Sector	1			2		3	
	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	9			3		3	
	Área (Km <sup>2</sup> )	2.598	2.598	2.598	3.897	3.897	3.897	3.897
	Subradios (Km.)	0 – 1.732	1.732 – 2.44	2.44 – 3	0 – 2.121	2.121 – 3	0 – 2.121	2.121 – 3
	Nº Códigos	3	3	3	2	1	2	1
	Órdenes de Modulación	6, 5, 4, 3, 2, 1	1, 0	0	7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0	0	7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	1.277	0.283	0	0.922	0	0.922	0

**Tabla 3.16:** Velocidades de descarga por usuario. 15 Usuarios por celda. Zona Rural.

Conf.	Datos	Usuarios														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Sector	1					2					3				
	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	5					5					5				
	Área (Km <sup>2</sup> )	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33
	Subradios (Km.)	0 – 2.236	2.236 –	3.162 –	3.873 –	4.472 – 5	0 – 2.236	2.236 –	3.162 –	3.873 –	4.472 – 5	0 – 2.236	2.236 –	3.162 –	3.873 –	4.472 – 5
	Nº códigos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Órdenes Modulación	7, 6, 5	5, 4, 3, 2	1, 0	0	0	7, 6, 5	5, 4, 3, 2	1, 0	0	0	7, 6, 5	5, 4, 3, 2	1, 0	0	0



### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.584	0.372	0.155	0	0	0.584	0.372	0.155	0	0	0.584	0.372	0.155	0	0	
2	Sector	1					2					3					
	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	5					5					5					
	Área (Km <sup>2</sup> )	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771
	Subradios (Km.)	0 – 1.788	1.788 – 2.529	2.529 – 3.098	3.098 – 3.577	3.577 – 4	0 – 1.788	1.788 – 2.529	2.529 – 3.098	3.098 – 3.577	3.577 – 4	0 – 1.788	1.788 – 2.529	2.529 – 3.098	3.098 – 3.577	3.577 – 4	
	Nº códigos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Órdenes Modulación	9, 8, 7	7, 6, 5, 4, 3	3, 2, 1	1, 0	0	9, 8, 7	7, 6, 5, 4, 3	3, 2, 1	1, 0	0	9, 8, 7	7, 6, 5, 4, 3	3, 2, 1	1, 0	0	
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.735	0.458	0.306	0.085	0	0.735	0.458	0.306	0.085	0	0.735	0.458	0.306	0.085	0	
	3	Sector	1					2					3				
Nº Códigos a repartir. (Óptimo)		9					3					3					
Área (Km <sup>2</sup> )		1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	
Subradios (Km.)		0 – 1.341	1.341 – 1.897	1.897 – 2.323	2.323 – 2.683	2.683 – 3	0 – 1.341	1.341 – 1.897	1.897 – 2.323	2.323 – 2.683	2.683 – 3	0 – 1.341	1.341 – 1.897	1.897 – 2.323	2.323 – 2.683	2.683 – 3	
Nº códigos		2	2	2	2	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	
Órdenes Modulación		6, 5, 4, 3	3, 2, 1	1, 0	0	0	7, 6, 5	5, 4, 3, 2, 1	1, 0	SC	SC	7, 6, 5	5, 4, 3, 2, 1	1, 0	SC	SC	
Velocidad Media Usuario (Mbps)		0.904	0.615	0.134	0	0	0.560	0.339	0.094	SC	SC	0.560	0.339	0.094	SC	SC	

En la colección de tablas que acabamos de mostrar, podemos ver dos tipos de nomenclatura para indicar que un usuario no dispone de servicio HSDPA y debe acceder a la red de datos mediante la red UMTS. Cuando en una celda de la tabla el lector encuentre las iniciales “SC” (Sin Código) se quiere decir que el número de personas que intentan acceder al servicio HSDPA en ese sector, es mayor que el número de códigos que la estación base puede repartir entre los clientes, de modo que al no disponer de al menos un código asignado, la transferencia de datos se realizará mediante UMTS. Cuando en la celda de la tabla se puede apreciar que la estación base ha asignado al cliente al menos un código y sin embargo la velocidad binaria de descarga aparece como cero, significa que en la zona en la que se encuentra el usuario

### **3. Estudio de HSDPA en macro celdas**

---

no se dispone de la suficiente calidad de señal recibida como para poder disfrutar del servicio HSDPA a pesar de que el usuario tenga asignado algún código.

Tras obtener los resultados, se pueden ver como guardan relación con los obtenidos en la sección anterior en la que analizábamos la configuración óptima de códigos en la comunicación, ya que más o menos todos los valores obtenidos en esta sección tienen consonancia con los hallados en la anterior. De todas formas hay que tener en cuenta, claro está, que en esta sección hemos tenido que repartir los códigos entre las personas que solicitaban el servicio, no como en el anterior donde se suponía que todos los códigos eran sólo para una persona, y que además el promediado de las velocidades no se ha hecho sobre el radio total de la celda, si no que sobre la sección por la que se desplaza el cliente, de modo que cuanto más cercana sea la posición de éste a la estación base, mayores tasas medias obtendremos.

#### **3.3.6 Conclusiones finales del capítulo.**

Una vez obtenidos los resultados en cada uno de los entornos que hemos estudiado, podemos apreciar que las velocidades binarias de descarga en cada uno de ellos se alejan bastante de la velocidad máxima que nos puede proporcionar la tecnología, y de la que nos aseguran las compañías de telefonía móvil que podemos obtener.

Cabe destacar la gran importancia la gran importancia que cobra el número de códigos empleados en la comunicación en general, y los asignados a cada usuario en particular, ya que un empleo inadecuado de ellos puede provocar que el sistema se venga abajo y sea imposible proporcionar servicio HSDPA, por lo que se deberá intentar aproximar el número de códigos empleados al número óptimo hallado.

Aún teniendo en cuenta estas premisas, destaca sobre todo las bajas tasa binarias que se obtienen en general en cualquiera de los entonos simulados, siendo aún así, un perfecto sustitutivo de las redes de alta velocidad de cable para aquellos lugares en los que no se tenga acceso a dicha red, ya sea por la dificultad del acceso, o por la falta de rentabilidad económica en la implantación de la infraestructura necesaria.

Tras realizar el estudio de HSDPA en propagación mediante macroceldas, se puede llegar a la conclusión de que esta tecnología nos puede proporcionar altas tasas binarias de descarga cuando las condiciones del sistema sean realmente favorables al

### 3. Estudio de HSDPA en macro celdas

---

usuario, es decir, que se encuentre muy cercano a la estación base, en un entorno que permita la propagación con un alto factor de ortogonalidad y que el número de usuarios con los que se deba compartir recursos sea muy limitado y a ser posible, inexistentes. Sin embargo los problemas aparecen en la situación opuesta, cuando la red se encuentra considerablemente cargada, situación en la cual las tasas binarias de descarga se reducen considerablemente hasta niveles próximos a los proporcionados con el servicio de datos UMTS.

Las nuevas modulaciones que estandariza el *Release 7*, pueden ser usadas en macroceldas, pero con cierta dificultad. En los entornos urbanos, para poder usar la modulación 64QAM, el usuario ha de estar muy cerca de la estación base y la potencia dedicada ser muy alta, condiciones muy severas sobretodo sabiendo que en una ciudad el número de clientes en una célula y el tráfico de voz y datos es muy elevado. En entornos suburbanos y rurales, se podrá hacer uso de las nuevas modulaciones en unas condiciones menos duras, pero aún así para gozar de una buena calidad del servicio en la mitad del radio de la célula, serán necesarias potencias dedicadas muy altas. La propagación de señales por macroceldas deja muy poco margen para futuras ampliaciones del estándar con modulaciones más potentes, por lo que cabe esperar que en este tipo de entornos sea muy difícil ampliar la velocidad binaria de descarga.

A pesar de sus puntos negativos, ésta es una tecnología más acorde con los tiempos actuales en los que la demanda de datos es cada vez mayor debido en gran medida al aumento de las ventas de terminales móviles con navegador Webs, y de los MODEM USB que permiten el acceso a la red desde cualquier lugar. No hay que olvidar que estamos ante un sistema nuevo y queda abierto a futuras mejoras, como la implantación de modulaciones más potentes, por lo que cabe esperar que a medida que la tecnología se valla implantando y desarrollando, se puedan mejorar ligeramente sus prestaciones.

## 4. Capítulo 4: Estudio de HSDPA en microceldas

### 4.1 Microceldas

Una microcelda es una celda de la red de telefonía móvil con una baja potencia de transmisión, capaz de cubrir una pequeña área de superficie con una gran direccionalidad. Las microceldas usan control de potencia para limitar el área de su cobertura, la cual no suele ser mayor de un kilómetro.

Las micro células usualmente son empleadas para proporcionar coberturas en sitios donde exista una gran utilización de la red móvil, como una estación de tren, en zonas muy concretas como puede ser el trazado de las vías del tren, o en ciertos emplazamientos donde temporalmente el número de clientes es muy elevado como pueden ser los estadios deportivos. [20] [21]

Las antenas de las microcelda se erigen al nivel de la calle, normalmente en los muros exteriores del algún edificio, en las farolas o el alguna otra parte del inmobiliario urbano a menudo pudiéndose disimular como atributos de los edificios. El tamaño de estas antenas es menor que las que se emplean en macroceldas pero proveen ganancias comprendidas entre los 10 y 15 dB y poseen radios de cobertura que pueden oscilar entre los 300 y 1000 metros.



**Figura 4.1:** Imagen de dos microceldas situadas en ciudad [7].

### 4.2 Modelo de propagación

La presencia de la Tierra modifica la geometría del enlace con respecto a las condiciones del espacio libre. Para estudiar estas modificaciones se considera la situación en la que se tiene un enlace entre dos antenas elevadas, separadas una distancia  $d$  mucho menor que el alcance máximo.

El modelo de propagación de tierra plana afirma que el campo eléctrico presente en la posición de la antena receptora puede calcularse como la suma de dos contribuciones: una debida a un rayo directo que uniese ambas antenas y otra debida a la reflexión de una parte de la energía radiada en la dirección de la tierra. Puesto que ambas contribuciones proceden de la misma fuente, en el receptor pueden generarse interferencias entre ellas en función de la diferencia de fase con la que lleguen. [22]

Bajo estas premisas está basado el modelo de propagación de dos pendientes para microceldas con visión directa entre el emisor y el receptor que vamos a emplear en este capítulo. La ecuación que determina el comportamiento de este modelo, es la siguiente [11]:

$$L_b(dB) = \begin{cases} L_{ref} + 10 \cdot n_1 \cdot \log\left(\frac{d}{d_{ref}}\right) & \text{si } d \leq R_b \\ L_{R_b} + 10 \cdot n_2 \cdot \log\left(\frac{d}{R_b}\right) & \text{si } d > R_b \end{cases} \quad (4.1)$$

$$R_b(m) = \frac{4h_t h_r}{\lambda} \quad (4.2)$$

$$L_{ref}(dB) = 20 \log\left(\frac{4\pi d_{ref}}{\lambda}\right) \quad (4.3)$$

Donde  $L_b$  representa las pérdidas de propagación  $L_{ref}$  las pérdidas de propagación a una distancia de referencia que será siempre de un metro,  $n_1$  es el valor del exponente de propagación antes de llegar a la distancia  $R_b$ ,  $n_2$  es el valor del exponente de propagación después de la distancia de ruptura,  $d$  es la distancia que separa al usuario de la estación base y vendrá determinada en metros,  $d_{ref}$  es la distancia de referencia que tomará un valor siempre de un metro,  $R_b$  es la distancia del punto de ruptura y vendrá determinada en metros,  $\lambda$  es la longitud de onda de la señal y vendrá determinada en metros,  $h_t$  es la altura de la antena transmisora en metros y  $h_r$  es la altura de la antena receptora en metros.

### **4.3 Simulaciones**

En este capítulo, vamos a presentar una serie de simulaciones con las que vamos a intentar determinar la tasa binaria de descarga con la tecnología HSDPA cuando se emplean micro células para proporcionar el servicio a los clientes. Este tipo de células son ampliamente utilizadas en entornos como autopistas y ciudades, debido a su gran direccionalidad y bajas pérdidas de propagación. Estas características las hacen muy apropiadas para zonas con una alta densidad de población como los distritos financieros de las grandes ciudades.

De todas las posibles aplicaciones que tiene el empleo de microceldas, en este capítulo nos vamos a centrar únicamente en su empleo en autovías y autopistas, donde el gran tráfico de vehículos y personas hace indispensable proporcionar un servicio de alta calidad para el tráfico de datos. Al ser unas vías en su mayor parte rectas y situadas en zonas alejadas de poblaciones, la direccionalidad de las antenas hacen de las microceldas el método idóneo para propagar la señal, ya que se enfocará el haz de la antena hacia la carretera evitando pérdidas de propagación innecesarias al transmitir señal en las inmediaciones de la carretera.

Al igual que en el anterior capítulo, se mostrarán una serie de gráficas donde se ilustrarán los resultados obtenidos tras la simulación acompañados de diversos comentarios que intentarán explicar detalladamente los resultados obtenidos.

#### **4.3.1 Calculo de la SNR**

Existen determinados entornos, en los que el empleo de macroceldas para proporcionar el servicio de telefonía móvil no es viable. Como ya hemos visto en el capítulo anterior, los radios de las células son considerablemente grandes y en determinados entornos donde existen numerosos clientes potenciales, éstos pueden llegar a saturar el sistema. Para evitar este problema, se suelen emplear células con un radio de acción mucho menor que las anteriores, con unas antenas situadas a escasa altura, y cuyo modelos de propagación basado en el de propagación por tierra plana. Éstas ocasionan bajas pérdidas de propagación, lo que propicia que la potencia máxima de emisión sea muy pequeña en comparación con las macrocélulas. Estas ventajas unido a sus gran directividad, provoca que sean ampliamente utilizadas, haciendo importante su análisis en este proyecto.

## 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

---

Al igual que en el capítulo anterior, el primer paso que vamos a emprender para analizar este sistema, es el de analizar como varían los perfiles de la relación señal a ruido recibida ante la variación de los valores de determinados parámetros de la comunicación. Es objetivo será el de determinar si para el estado del arte actual de la tecnología, es posible alcanzar la máxima modulación normalizada en el *Release 7* y bajo que condiciones.

Este análisis no será distinto del que se ha llevado a cabo con las macroceldas. Se emplearán las mismas ecuaciones y parámetros, con la salvedad de que en este caso el modelo de propagación será diferente, el factor de sectorización será de 0.55 ya que en las micro células no se emplean redes hexagonales, si no que simplemente se orientan en la dirección en la que se desee proporcionar el servicio, colocando el otro sector a 180 grados del anterior, el factor de ortogonalidad tendrá siempre un valor comprendido entre 0.9 y 1 y realizaremos todos los estudios para entornos abiertos.

Al tener este tipo de celdas unos usos muy específicos, los perfiles de SNR recibida no dependen del entorno en el que se encuentren, por lo que sólo vamos a analizar estas células en un solo entorno. Como posteriormente analizaremos, la diferencia entre entornos diferentes, reside en el valor de los exponentes de propagación.

### 4.3.1.1 Variación de la SNR ante distintos valores de potencia dedicada a la tecnología HSDPA.

El estándar que rige la tecnología HSDPA es independiente del tipo de célula que empleemos en la comunicación, por lo que en este caso también existirá un cierto porcentaje de la potencia máxima de la célula, dedicado en exclusiva a HSDPA. Como ya hemos comentado anteriormente, las bajas pérdidas de propagación que sufren las señales transmitidas a través de microcelda, hace innecesario que la potencia máxima de transmisión sobrepase los dos vatios, ya que esta cantidad será suficiente para poder proporcionar un servicio de calidad a los usuarios que se encuentren en el interior de la célula.

Al igual que en el caso de las macroceldas, el valor de la potencia dedicada variará en función del tráfico que voz que deba gestionar la estación base, ya que como se ha comentado en numerosas ocasiones, el tráfico de voz es siempre

#### 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

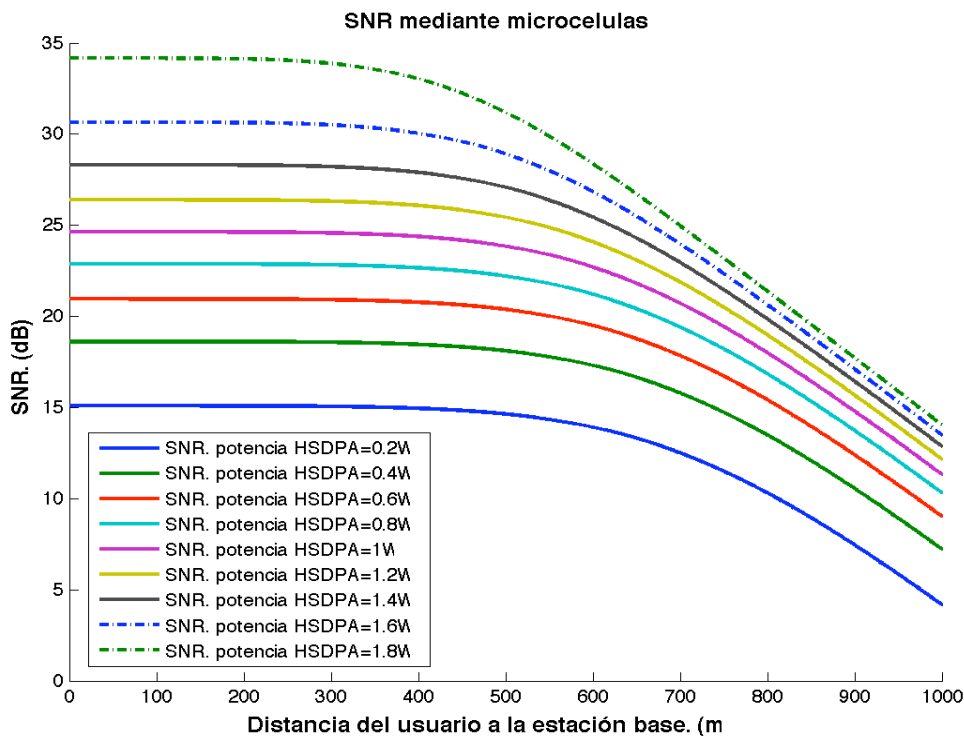
prioritario frente al de datos. En este escenario realizaremos la simulación cuando la potencia dedicada varía desde los 0.2W en los entornos donde la carga de la red es máxima, hasta los 1.8W donde el tráfico de voz es inexistente.

A pesar de trabajar con un modelo de propagación diferente, la potencia dedicada en exclusiva está estrechamente relacionada con la calidad de señal recibida, por lo que cabe esperar que al igual que en el caso de las macroceldas, cuanto mayor sea la potencia dedicada en exclusiva, mejor será la SNR en recepción.

Los valores que hemos dado a los parámetros que entran en juego en la simulación, son los siguientes:

- $P_{\max} = 2 \text{ W}$
- $P_{\text{HSDPA}} = [0.2:0.2:1.8] \text{ W}$
- Radio de acción de la célula = 1 Km.
- Altura antena = 7.5 m
- Altura terminal = 1 m
- $n1 = 2.13$
- $n2 = 4.35$
- Factor de ruido = 8 dB

El resultado obtenido tras la simulación, quedan reflejados en la **Figura 4.2**:



**Figura 4.2:** SNR recibida ante distintos valores de potencia dedicada.



## 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

---

Como se puede apreciar, los resultados obtenidos no muestran nada que no hayamos esperado obtener. Al igual que en el modelos de las macroceldas, cuando mayor es la potencia dedicada en exclusiva a la tecnología HSDPA, mejor calidad señal a ruido tenemos en recepción, lo que propiciará que podamos emplear modulaciones más potentes en la comunicación permitiendo mejores velocidades de descarga.

Para poder proporcionar el mejor servicio de descarga de datos a los usuarios, tendremos que emplear la máxima potencia dedicada que se pueda permitir en cada momento. Esta potencia vendrá determinada por el tráfico de voz que deba cursar en cada momento la red, por lo que será necesario un buen planificador de red como en el caso de macroceldas, que ajuste la potencia dedicada en cada momento en función de la carga de tráfico de voz.

Los valores de potencia dedicada están estrechamente relacionadas con el emplazamiento de la antena, ya que por ejemplo en el centro urbano de una gran ciudad esta potencia raramente podrá sobrepasar un vatio de potencia, mientras que en una autopista será bastante común tener potencias dedicadas muy altas.

### 4.3.1.2 Variación de la SNR ante distintos valores de la distancia de acción de la célula.

Las distancias de acción de las microceldas son bastante reducidos en comparación con los radios de las macroceldas, ya que difícilmente se puede encontrar alguna cuyo radio de acción sobrepase el kilómetro de longitud. En función del lugar en el que coloquemos la estación base, nos puede interesar emplear uno u otro radio de acción, de modo que será importante analizar el comportamiento del sistema en función del radio máximo de acción.

Al igual que en caso anterior, a pesar de trabajar con un modelos de propagación diferente, no cabe esperar obtener unos resultados muy diferentes a los que ya obtuvimos en el capítulo anterior.

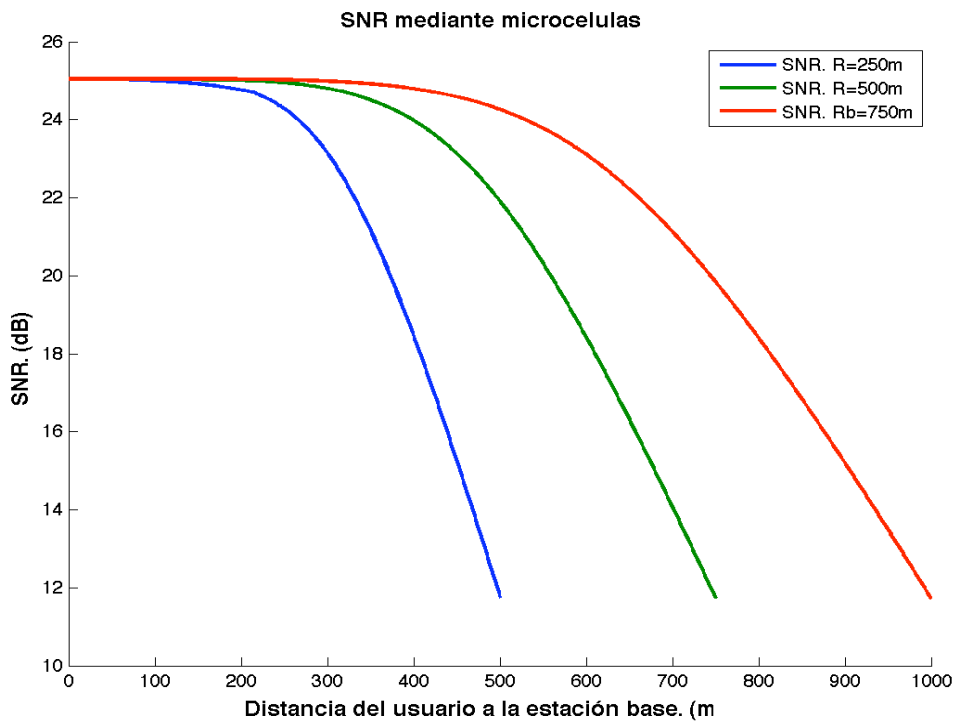
Los valores que hemos dado a los parámetros que entran en juego en la simulación, son los siguientes:

- $P_{\max} = 2 \text{ W}$
- $P_{\text{HSDPA}} = [1] \text{ W}$
- Radio de acción de la célula = [0.5:0.25:1] Km.

#### 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

- Altura antena = 7.5 m
- Altura terminal = 1 m
- $n_1 = 2.13$
- $n_2 = 4.35$
- Factor de ruido = 8 dB

Los resultados obtenidos quedan mostrados en la **Figura 4.3**:



**Figura 4.3:** SNR recibida ante distintos valores del radio de la célula.

Como podemos apreciar en la imagen, los resultados obtenidos son exactamente los que habíamos deducido anteriormente. Al igual que en el escenario en el que empleábamos macroceldas la disminución del radio de acción, no significa una pérdida en la calidad de señal recibida, si no un mayor descenso de la SNR con la distancia, ya que se obtiene el mismo valor final en una menor distancia.

Como ya hemos comentado en capítulos anteriores, el radio de la celda debe ir en función del entorno en el que deseamos proporcionar servicio, usando pequeños radios en espacios donde la densidad de población sea alta, y radios mayores en espacios con poco tráfico de red como pueden ser las autopistas o como veremos en futuros análisis, en túneles.

Cuanto menor sea el radio acción empleado, mayor será la caída de la SNR de la señal en recepción, lo que provocará que el usuario sufra un mayor número de

## 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

---

saltos en los órdenes de modulación cuando se esté desplazando a través de la celda. Estos continuos saltos, pueden provocar un descenso en la velocidad media de descarga.

### 4.3.1.3 Variación de la SNR ante distintos valores de $R_b$ .

Como ya se ha explicado anteriormente, el modelo de propagación por tierra plana que empleamos para modular la propagación de las señales transmitidas por microceldas, depende estrechamente de un parámetro  $R_b$  que es proporcional a la altura del transmisor y del receptor. Este valor marca la distancia en la cual la señal sufre un punto de inflexión y comienza a propagarse con el segundo exponente de propagación cuyo valor es considerablemente mayor que el del primero.

Cuanto mayor sea el valor de esta distancia, menores pérdidas sufrirá la señal de información ya que durante mayor distancia la señal se propagará con un bajo índice de modulación. Esta afirmación tiene su cierta lógica, ya que al estar estrechamente relacionado el valor  $R_b$  con la altura de la antena transmisora, cuanto mayor sea esta, de mayor visibilidad directa dispondrá y a mayor distancia se encontrará el punto de inflexión.

Como ya hemos comentado anteriormente, la altura de las antenas de microceldas suele ser bastante baja en comparación con la altura de las macroceldas, ya que en ningún caso su altura sobrepasa la treintena de metros. La altura del receptor no suele variar mucho del metro de altura, ya que las microceldas en autovías están pensadas para proporcionar servicio a clientes que se encuentren en el interior de un vehículo. Nuestra labor en esta sección del proyecto, es determinar como afecta sobre la calidad de señal recibida la variación del parámetro  $R_b$ .

Los valores de  $R_b$  que hemos tomado son los más comunes que se suelen encontrar en los escenarios en los que se implantan las microceldas. Los valores que hemos dado a los parámetros que entran en juego en la simulación, son los siguientes:

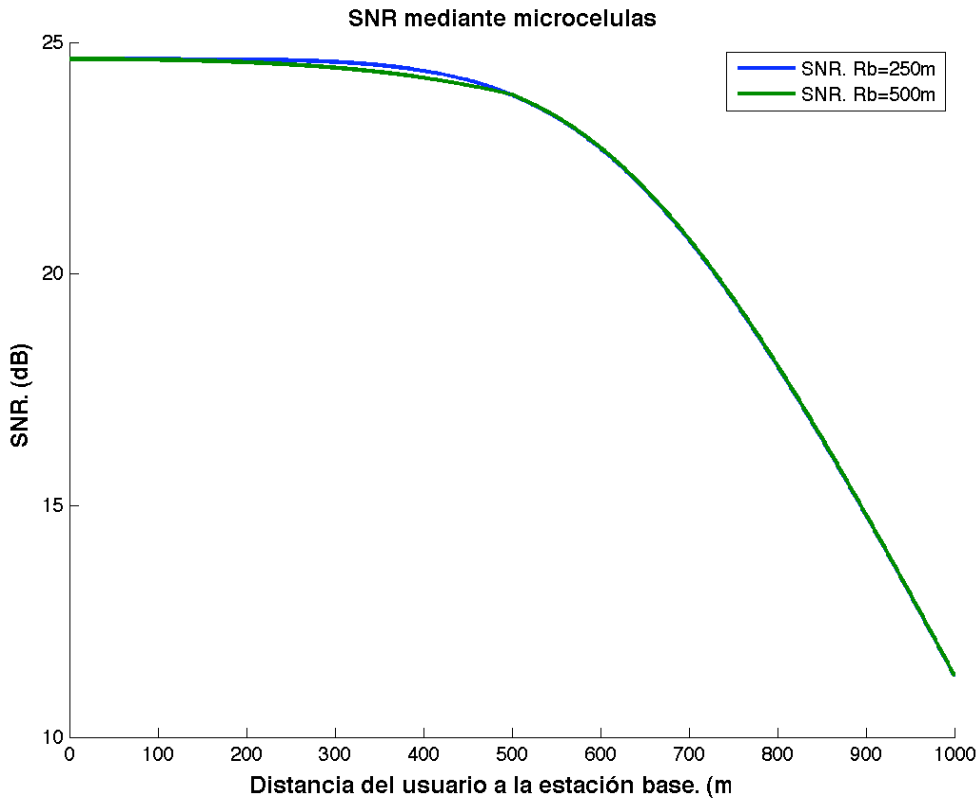
- $P_{\max} = 2 \text{ W}$
- $P_{\text{HSDPA}} = 1 \text{ W}$
- Radio de acción de la célula = 1 Km.
- $R_b = 250 \text{ m}$  para escenarios en los que el cliente se encuentre en el interior de un coche (1 m), 500 m para escenarios en los que el cliente se encuentre en el

#### 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

interior de un autobús (2 m). En todos estos casos la altura de la antena transmisora será de una altura comprendida entre 7.5 y 8 metros de altura.

- $n_1 = 2.13$
- $n_2 = 4.35$
- Factor de ruido = 8 dB

Los resultados obtenidos quedan mostrados en la **Figura 4.4**:



**Figura 4.4:** SNR recibida ante distintos valores de  $R_b$ .

A diferencia de lo que en un primer momento se pensaba obtener, los resultados muestran que a medida que aumenta el valor de  $R_b$  la relación señal a ruido en el terminal receptor decrece. La explicación de este suceso es sencilla y puede deducirse simplemente analizando la fórmula aritmética que implementa la propagación en tierra plana (4.1). A medida que aumentamos  $R_b$ , como ya hemos comentado, se reducen las pérdidas de propagación de la señal de información. Sin embargo en el caso de las interferencias externas ocurre lo contrario, aumentan. Independientemente del valor de  $R_b$  la distancia que separa a los usuarios de las antenas interferentes es siempre mayor que esta unidad, lo que implica que las pérdidas de propagación correspondientes a las señales interferentes externas, vendrán siempre determinadas por la segunda parte de (4.1). Como se puede ver en la

#### 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

---

ecuación, el término que determina a partir de que distancia las pérdidas de propagación dejan de hallarse con la primera línea de la ecuación, en beneficio de la segunda, es el factor  $R_b$ , lo que provoca que las pérdidas de propagación sean menores cuanto mayor sea el término  $R_b$  y la calidad de la señal recibida sea peor. A pesar de este fenómeno, la implicación de esta variación sobre el resultado final es apenas inapreciable, por lo que suponemos que no tendrá ningún efecto sobre los órdenes de modulación que pueda emplear la comunicación.

Como ya hemos comentado, el efecto de la variación de  $R_b$  sobre la SNR en recepción de la comunicación son prácticamente nulos, lo que significa que los factores que determinen la elección del valor de  $R_b$ , serán exclusivamente prácticos ya que no existe ninguna configuración determinada que proporcione unas mejores características finales al sistema.

##### 4.3.1.4 Variación de la SNR ante distintos valores de los exponentes de propagación.

Anteriormente se ha expuesto que a diferencia de las macroceldas, el modelo de propagación en tierra plana, no diferencia analíticamente entre los distintos escenarios en los que puedan emplearse las microceldas. La diferenciación entre una y otra situación vendrán determinados por el valor que tomen los exponentes de propagación.

El valor que tomen estos exponentes marcarán el nivel de señal recibida en el terminal, ya que cuanto mayores sean estos valores, mayores pérdidas de propagación sufrirá la señal. Existen numerosos estudios en los que se han determinado los valores de los exponentes de propagación en determinadas circunstancias aunque en escenarios abiertos como el de las autopistas, los valores más comunes están comprendidos entre 2 – 2.5 para  $n_1$  y entre 4 – 5.5 para  $n_2$ . En el caso de ciudades, estos valores, sobretodo los de  $n_2$ , aumentan considerablemente ya que los efectos de multitrayecto que sufre la señal debido a los continuos rebotes provocados por los edificios colindantes, afectan en gran medida al nivel de señal recibida. Al igual que en el caso anterior existen numerosos estudios en los que se ha determinado el valor que deben tomar estos parámetros, mostrando en la **Tabla 4.1**, los casos más comunes:

#### 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

**Tabla 4.1:** Exponentes de propagación comunes para ciudades [12].

TIPO DE CALLE	$L_0$ (DB)	$N_1$	$N_2$	$R_B$ (M)
Regular	45	2,3	6,9	770
Avenida amplia	44	2,1	5,7	516
Irregular	43,2	2,2	13,3	270

Valores del exponente de propagación  $n_2$  tan elevados, sólo tienen explicación si se trata de un modelo de propagación en el que no existe visión directa entre el transmisor y el receptor. La fórmula analítica que determina este modelo de propagación, muestra notables diferencias con el que estamos empleando actualmente, además de que sirve para tratar sistemas que no son el marco de estudio en nuestro proyecto, por lo que sólo realizaremos pruebas para el margen de valores de los exponentes de propagación, comentados anteriormente.

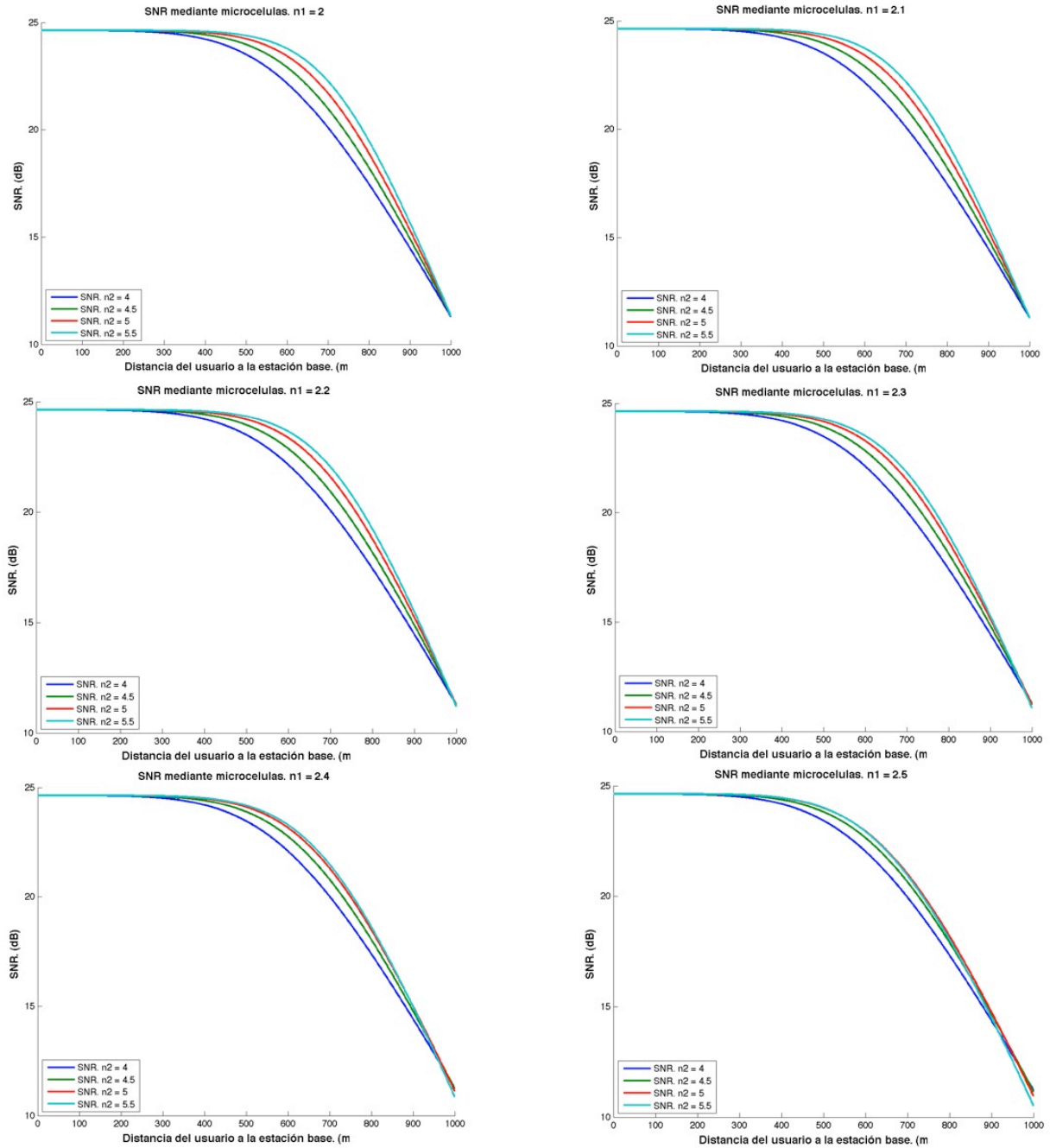
El objetivo de este apartado consiste en analizar las variaciones en la relación señal a ruido en recepción, ante la variación del valor de los exponentes de propagación, y analizar el porqué de los resultados obtenidos.

Al tener que analizar dos parámetros diferentes, vamos a representar seis imágenes en las que se mostrarán para cada valor de  $n_1$ , las variaciones que sufre la relación señal a ruido ante todos los valores que toma  $n_2$ . Los valores que hemos dado a los parámetros que entran en juego en la simulación, son los siguientes:

- $P_{\max} = 2 \text{ W}$
- $P_{\text{HSDPA}} = 1 \text{ W}$
- Radio de acción de la célula = 1 Km.
- Altura antena = 7.5 m
- Altura terminal = 1 m
- $n_1 = [2 : 0.1 : 2.5]$
- $n_2 = [4:0.5:5.5]$
- Factor de ruido = 8 dB

Los resultados obtenidos se muestran en la **Figura 4.5:**

## 4. Estudio de HSDPA en micro celdas



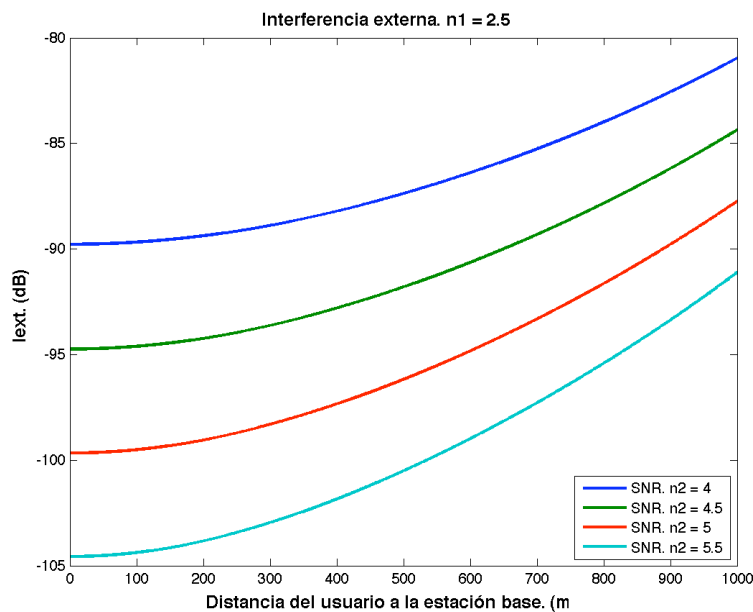
**Figura 4.5:** SNR recibida ante distintos valores de los exponentes de propagación  $n_1$  y  $n_2$ .

Una vez obtenidos los resultados de la simulación, se puede apreciar ciertas peculiaridades en el resultado final. Cabía esperar que cuanto mayores fueran los exponentes de propagación peor sería la calidad de la relación señal a ruido recibida en nuestro terminal, aunque sin embargo como podemos apreciar, existe un rango de valores de exponentes en los cuales la SNR se ve mejorada, valores que una vez superados, hacen que la traza que represente la relación señal a ruido en recepción,

#### 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

tome una forma más acorde con el resultado que esperábamos obtener. Este fenómeno tiene una explicación que intentaremos detallar a continuación.

Como cabe de esperar cuanto mayor sea el exponente de propagación, mayor será la caída del nivel de señal a medida que aumente la distancia entre el usuario y la estación base. Debido a que la señal interferente externa se propaga únicamente con el segundo exponente de propagación, como hemos explicado en el anterior apartado, cuanto mayor sea este exponente, menor será el nivel de interferencia externa recibida, de ahí que en un determinado rango de exponentes de propagación, se mejore la relación señal a ruido en recepción a medida que se aumenta el valor del índice de propagación. Sin embargo, el aumento del valor del exponente provoca que cuanto más se aleje el usuario de la estación base que le proporciona el servicio, mayor será el incremento en el nivel de interferencia externa recibida por unidad de distancia, debido sencillamente, a que el modelo de propagación sigue una distribución exponencial, lo que implica que cuanto mayor sea el exponente, mayor será el descenso en las pérdidas de propagación a medida que se disminuya la distancia entre las antenas interferentes y el usuario. Esta disminución en las pérdidas de propagación, provoca que a partir de cierto exponente o de cierta distancia, la relación señal a ruido en recepción sea menor a medida que el exponente de propagación sea más grande. Hemos realizado una pequeña simulación en la que quedan representado el fenómeno que acabamos de explicar.



**Figura 4.6:** Interferencia externa recibida en el terminal.  $n_1 = 2.5$



#### 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

---

En la **Figura 4.6** se puede apreciar fácilmente el fenómeno que acabamos de explicar, como a medida que se incrementa el exponente de propagación, mayor es la pendiente que determina el decremento de las pérdidas de propagación por unidad de distancia.

El segundo gran efecto que se puede apreciar tras analizar las gráficas resultado, es como a medida que aumenta el exponente de propagación  $n_1$ , la relación señal a ruido en recepción empeora además de reducir drásticamente el rango de valores del exponente de propagación  $n_2$  que generan una ligera ganancia en la SNR recibida. La explicación del porqué de este fenómeno es mucho más sencilla que la del caso anterior. Como ya hemos explicado en anteriores apartados, las señales que se ven afectadas por el índice  $n_1$ , son solamente la señal de información y la de interferencia interna, cuando el usuario se encuentra a una distancia de la estación base inferior a  $R_b$ . Además de esto, también se ha comentado que cuanto mayor sea el exponente de propagación que afecte a la señal, mayor será su degradación a medida que avance por el espacio, lo que propicia que el efecto que anteriormente de ha expuesto de la interferencia externa, haga efecto a una menor distancia, y con un menor valor de índice de propagación  $n_2$ .

Tras la simulación, podemos concluir que para obtener una calidad de información lo más óptima posible, deberíamos tener un valor de  $n_1$  cercano a 2 y un valor de  $n_2$  comprendido dentro del rango [4 - 5]. Si bien es verdad, este índice será imposible de modular para otorgarle la cantidad que deseemos, ya que este valor será intrínseco del lugar en el que coloquemos la microcelda, ya que cuanto más cerrado sea el lugar y más obstáculos encuentre la señal en su camino, mayor número de rebotes sufrirá provocando que el número de rayos en recepción, provocados por el multitrayecto, aumente al igual que el exponente de propagación. La única garantía que podemos tener es la de conocer que cuanto más abierto sea el terreno donde deseemos proporcionar el servicio, como es el caso de una autopista, mejor servicio se podrá proporcionar a los clientes.

## 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

---

### **4.3.2 Calculo de la modulación binaria para microceldas en función de la calidad de señal recibida.**

Una vez analizados los efectos de la variación de los principales parámetros sobre la relación señal a ruido, procedemos a evaluar como afectan estos cambios sobre los esquemas de modulación de la comunicación. A pesar de que trabajamos con un sistema de propagación diferente, los estándares que rigen la tecnología HSDPA siguen siendo los mismos que en el caso de transmisión a través de macroceldas, lo que conlleva que se pueda emplear la información mostrada en la **Tabla 3.1** para determinar los órdenes de modulación que se emplearán en las configuraciones simuladas.

Al igual que en el caso de macroceldas, sólo vamos a realizar este análisis con aquellas configuraciones en las que consideremos que la variación sufrida en los perfiles de modulación ante los cambios provocados en los parámetros, sean suficientes como para producir un cambio en los órdenes de modulación de la comunicación.

#### *4.3.2.1 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores de potencia dedicada a la tecnología HSDPA.*

A continuación vamos a proceder a analizar las variaciones sufridas en los órdenes de modulación de la comunicación, a medida que aumentamos la potencia dedicada a la tecnología HSDPA. Al igual que en anteriores casos, la potencia dedicada está estrechamente relacionado con el nivel de señal de información recibida, por lo que esperamos obtener unos mejores esquemas de modulación cuanto mayor sea la potencia dedicada en exclusiva.

El valor de los parámetros de la simulación son exactamente los mismos que los expuesto en la sección 4.3.1.1 con la salvedad de que en este apartado sólo analizaremos la potencia dedicada entre los valores [0.2 – 1.6] W, ya que una potencia dedicada ha HSDPA de 1.8 W supondría la imposibilidad de realizar una llamada de voz ya que toda la potencia de la antena estaría dedicada al tráfico de datos. Ante la imposibilidad de que surja un escenario como éste, hemos decidido eliminar de la simulación dicho valor.

Tras la simulación, los resultados obtenidos son los siguientes:

## 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

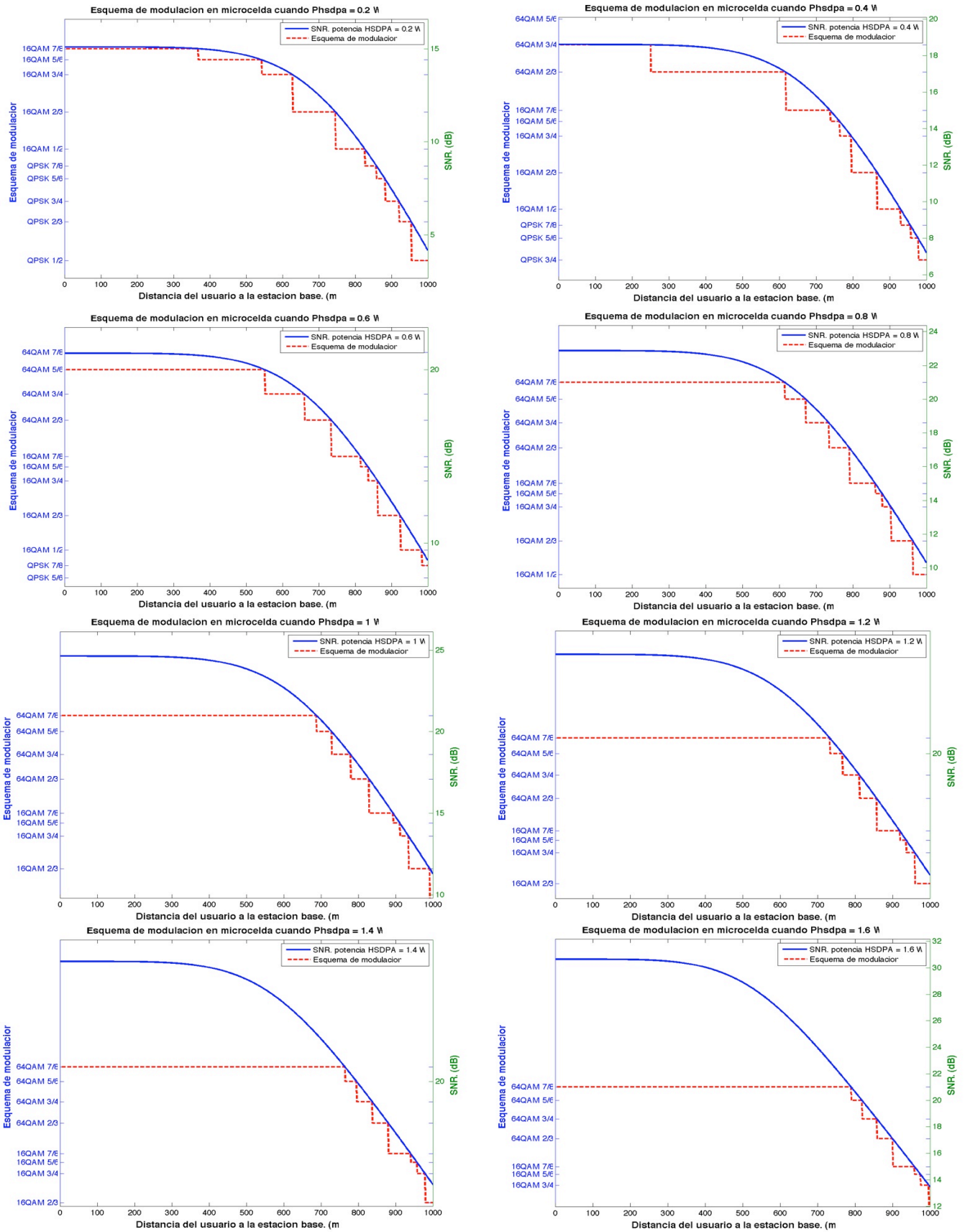


Figura 4.7: Esquema de modulación ante distintos valores de las potencias dedicadas.

#### 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

---

Los resultados obtenidos son acordes con lo que habíamos deducido en la introducción del apartado, a medida que se aumenta la potencia dedicada a la tecnología, mayores son los órdenes de modulación que podemos emplear en la comunicación repercutiendo finalmente en un aumento de la tasa binaria de descarga.

A la vista de los resultados, destaca principalmente los altos órdenes de modulación que se pueden alcanzar, ya que a partir de una potencia dedicada de 0.8 W ya podemos emplear el máximo orden de modulación disponible en el estándar *Release 7*. El margen existente entre la SNR necesaria para poder funcionar con la máxima modulación, y la obtenida con altas potencias dedicadas, hace viable la implementación en un futuro de modulaciones más potentes, que permitan el aumento de la tasa binaria de descarga.

Los resultados obtenidos en microceldas son muy parecidos a los de entornos rurales cuando se emplean macro células, pero su principal ventaja reside en que las microceldas pueden emplearse perfectamente en un entorno urbano con unos resultados similares siempre y cuando se mantuviese una línea de visión directa entre la antena y la persona. Esto provocaría un considerable aumento de la tasa binaria de descarga en centros urbanos, a costa de tener que emplear un número de estaciones base sustancialmente grande. Debido al alto coste que supondría para una compañía emplear únicamente micro células para proporcionar servicio a una gran ciudad, estas sólo se emplean en aquellos lugares donde la alta concentración de clientes pueda provocar una pésima calidad en el servicio de datos al tener la red que gestionar gran cantidad de tráfico de voz. Estos lugares suelen ser centros financieros o sitios en la ciudad donde las calles fuesen anchas y largas para no impedir la visión directa.

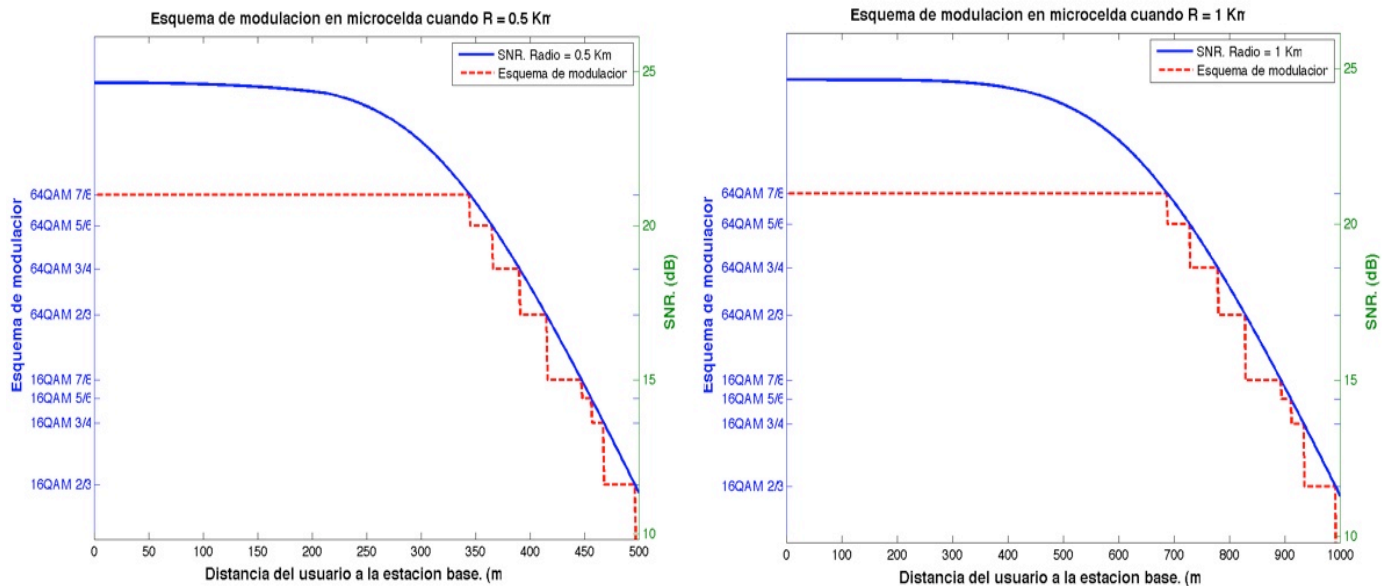
##### 4.3.2.2 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores del radio de acción de la celda.

En esta sección vamos a proceder a analizar la variación de los órdenes de modulación cuando varía el radio de acción de las micro células. Los efectos producidos sobre el perfil de señal a ruido recibido, ha sido el mismo en el caso de las macroceldas que en el de las microceldas, lo que nos lleva a pensar que también se obtendrán los mismos efectos en el caso de los esquemas de modulación.

## 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

A continuación mostraremos los resultados obtenidos tras realizar las simulaciones oportunas, sabiendo que el valor de los parámetros son los mismos que los otorgados en la sección 4.3.1.2.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla :



**Figura 4.8:** Esquema de modulación ante distintos valores de radios de la célula.

Tras obtener los resultados de la simulación, hemos podido corroborar nuestras deducciones, y al igual que en caso de las macroceldas, el aumento del radio de acción de la célula sólo provoca un menor descenso de la relación señal a ruido en recepción con la distancia, obteniendo en cualquier caso los mismos valores de SNR, además de los mismos órdenes de modulación. Ante dicho resultado, hemos decidido incluir únicamente dos imágenes que representan los casos más extremos, ya que del resto de imágenes no se obtiene nueva información, para que el lector pueda corroborar que nuestras deducciones son efectivamente correctas.

### 4.3.2.3 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores del de los exponentes de propagación.

El fin de esta sección es analizar las variaciones del perfil señal a ruido recibido en función de los valores que tomen los exponentes de propagación. Como ya se ha explicado en apartados anteriores, el valor que tomen los exponentes de propagación vendrán determinados por el lugar en el que se encuentren situadas las estaciones bases, siendo este valor más grande, cuanto más irregular y menos abierto sea su localización. Cabe esperar que cuanto mayores sean los exponentes de

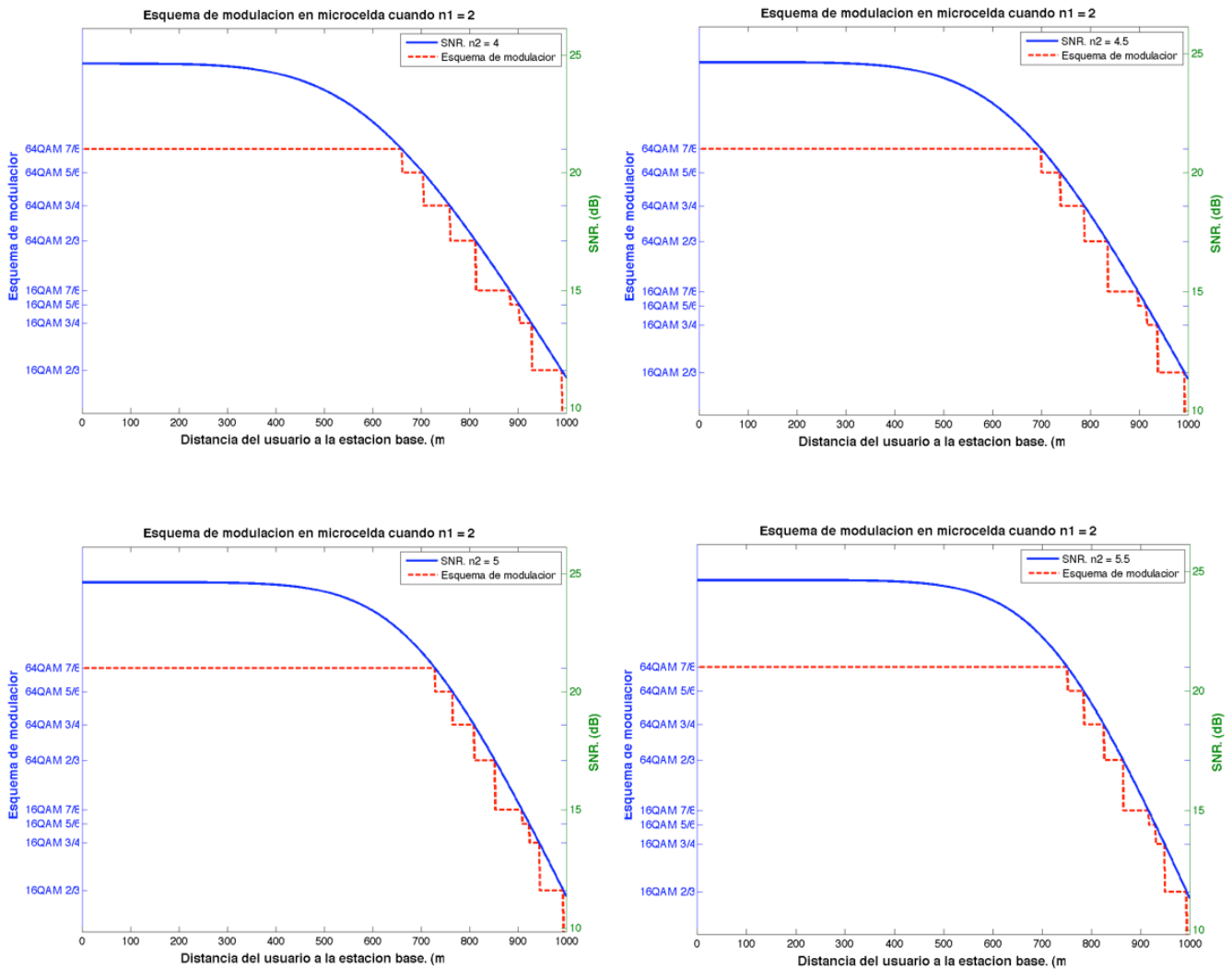
## 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

propagación, con los que se propaga la señal, peor será la calidad de la señal recibida, lo que implicará unos órdenes de modulación menores en la comunicación.

En el apartado 4.3.1.4, donde se ha estudiado el comportamiento de la relación señal a ruido ante la variación de los valores de los exponentes de propagación, se han mostrado un total de 24 trazas resultado. Ante la imposibilidad de mostrar lo órdenes de modulación que le corresponden a cada una de las trazas, y al ser la gran mayoría de ellas muy parecidas entre sí, sólo vamos a mostrar las gráficas de aquellas configuraciones que tengan esquemas de modulación diferentes, indicando posteriormente, que configuraciones poseen el mismo esquema de modulación que el mostrado.

Los resultados se muestran en la las **Figuras 4.9**.

*1º caso:  $n_1 = 2$*



**Figura 4.9:** Esquema de modulación ante distintos valores del exponente de propagación.  $n_1 = 2$

## 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

2º caso:  $n_1 = 2.3$

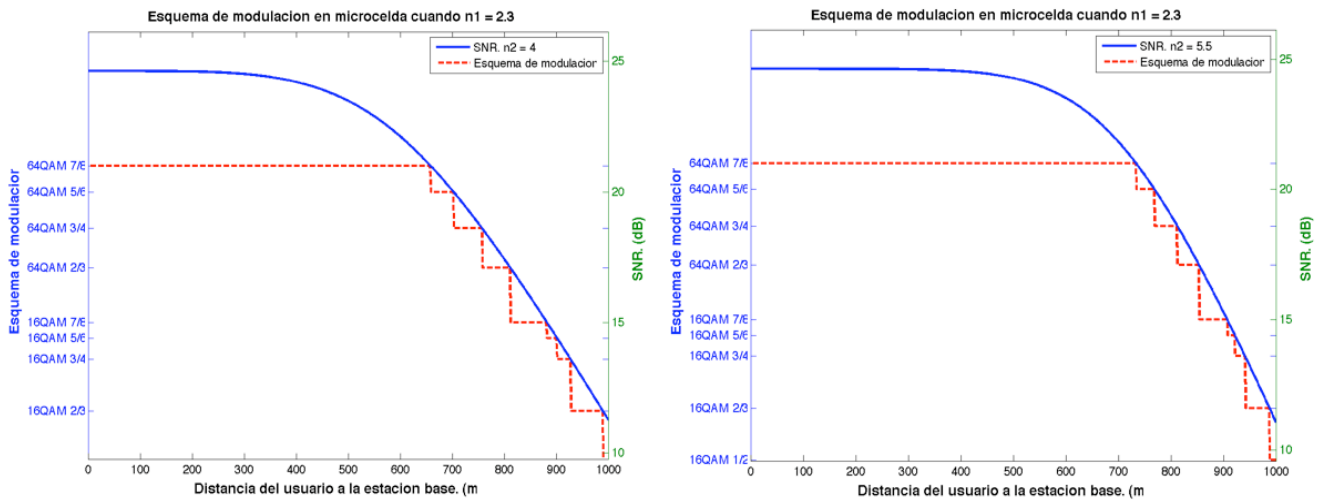


Figura 4.10: Esquema de modulación ante distintos valores del exponente de propagación.  $n_1 = 2.3$

3º caso:  $n_1 = 2.5$

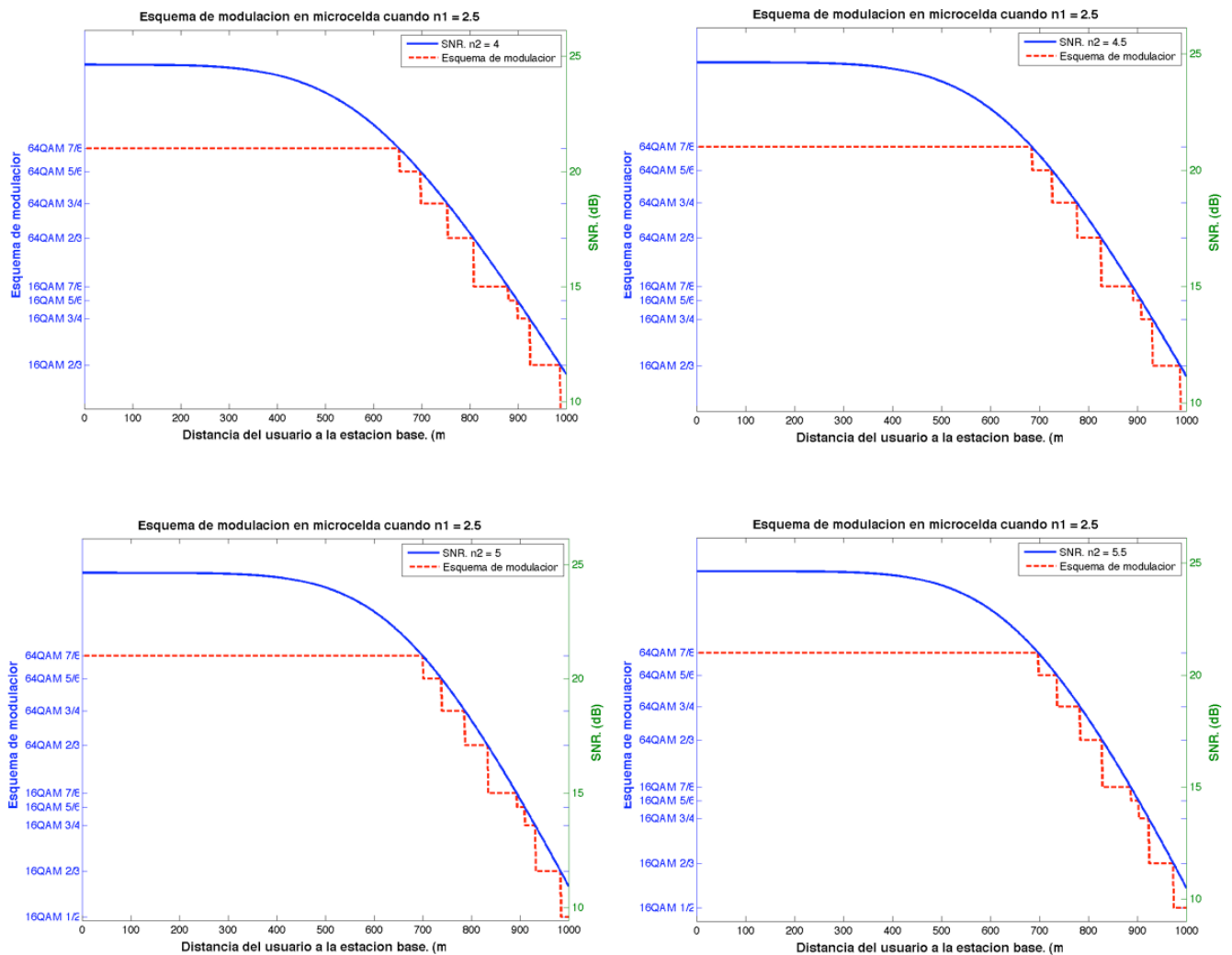


Figura 4.11: Esquema de modulación ante distintos valores del exponente de propagación.  $n_1 = 2.5$

#### **4. Estudio de HSDPA en micro celdas**

---

Hemos representado sólo los resultados que hemos considerado más determinantes a la hora de poder sacar conclusiones. No hemos representado ningún resultado cuando  $n_1$  toma el valor 2.1, 2.2 y 2.4 ya que en el caso de los dos primeros valores el resultado es idéntico al obtenido cuando  $n_1$  es 2, al igual que el esquema de modulación obtenido cuando  $n_1$  es 2.4, no muestra diferencia con el calculado cuando  $n_1$  es 2.3. Como podrá apreciar en lector, en el segundo caso bajo análisis, sólo hemos representado 2 imágenes correspondientes a sólo dos valores del exponente de propagación  $n_2$ . Simplemente no se han representado ya que únicamente el sistema en el que el índice de propagación  $n_2$  que toma un valor de 2.5, mostraba un esquema de modulación ligeramente diferente al del resto de las configuraciones.

Como se puede apreciar en los resultados obtenidos de las simulaciones, la tónica general es siempre la misma. Cuando los índices de propagación toman valores bajos, las diferencias provocadas en la relación señal a ruido recibida es insuficiente para provocar un cambio en el esquema de modulación de la comunicación. Esta característica implica que en terrenos abiertos como pueden ser las autopistas o las vías del ferrocarril, la calidad de la comunicación será considerablemente alta, pudiendo obtener altas tasas binarias de servicio. En el lado opuesto encontramos los entornos abruptos donde los exponentes de propagación toman valores altos, en donde hemos podido comprobar, que a partir de que el exponente  $n_2$  tome un valor mayor o igual a cinco, la caída de la SNR por unidad de distancia es muy pronunciada, pudiendo provocar que existan zonas dentro del radio de acción de la célula en la que sea imposible proporcionar el servicio HSDPA.

##### **4.3.3 Configuración óptima de códigos cuando más de un cliente está accediendo al servicio**

Al igual que sucedía en el anterior capítulo en el caso de las macroceldas, el estado del arte de esta tecnología cuando la señal se propaga mediante microceldas, está relacionado con el mejor escenario posible para que se pueda mostrar toda la capacidad real que nos puede brindar en esta tecnología. Sin embargo, a pesar del estado del arte actual nuestro objetivo es realizar un análisis lo más fiel posible a la realidad, por lo que nos vemos obligados a realizar un estudio del sistema cuando varios usuarios acceden al sistema al mismo tiempo y se ven obligados a tener que compartir los recursos disponibles.



#### 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

---

La necesidad de tener que compartir recursos, afectará enormemente a la calidad de señal recibida, ya que al igual que sucedía en el caso de las macroceldas, en esta situación la potencia dedicada se debe repartir a partes iguales entre todos los códigos, actuando cada uno de ellos, como interferencia interna excepto con sí mismo. El proceso seguido para tener en cuenta estas variantes en las simulaciones siguientes, es el mismo que el explicado en el capítulo anterior con las mismas fórmulas y parámetros sólo con la diferencia de que en este caso la pérdidas de propagación vendrán determinadas por un modelo diferente. La principal diferencia en cuanto al comportamiento, viene determinada por la propia configuración del sistema, ya que al estar analizando la propagación por microceldas localizadas en entornos abiertos, consideraremos únicamente dos sectores en lugar de tres como en el capítulo anterior. Esta pequeña diferencia provocará un descenso en el factor de sectorización mientras que por otro lado, al haber menor número de sectores en los que poder situarse los usuarios, el número medio de clientes por sector será mayor, afectando considerablemente a la SNR final.

El objetivo de esta sección es la de realizar un análisis teniendo en cuenta que en estos momentos los recursos del sistema deben ser compartidos entre todas las personas que estén accediendo al sistema HSDPA, para hallar el número máximo de códigos que se deben emplear en la comunicación en función de las condiciones del sistema, además de como deben estar repartidos entre los dos sectores. De esta manera hallaremos cual será la configuración óptima del sistema desde el punto de vista del operador de telefonía, al cual le interesa que sus estaciones bases gestionen la mayor tasa de tráfico posible.

Al igual que sucedía en la propagación mediante macroceldas, nos basaremos en la tasa media de descarga promediando en todo el radio de acción de la antena para tomar decisiones, teniendo en cuenta que los resultados obtenidos serán siempre los más ventajosos para el operador, pudiendo no ser éstos igual de beneficiosos para el cliente.

Como el número de posibles combinaciones a la hora de repartir los códigos entre los sectores de la antena son considerablemente grande, vamos a proceder de la misma forma que en el capítulo anterior, mostrando en una tabla solamente aquellos resultados que consideramos más relevantes.

#### 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

---

A continuación procederemos a mostrar los parámetros que nos servirán para simular tres de los entornos más comunes en los que se empleen microceldas, para posteriormente emplear dichos valores en la simulación con la que se hallarán las condiciones óptimas de propagación. Todos aquellos valores que no aparezcan a continuación, tomarán los mismo valores que los ya expuestos en la sección 2.1.4.

1. En esta primera configuración se representará la autovía en un momento cualquiera diurno en el cual el tráfico de vehículos es considerablemente grande y existe un considerable tráfico de voz y de datos.
  - Potencia dedicada HSDPA = 0.7 W.
  - Radio acción de la celda: 1 Km.
  - Altura antena estación base = 7.5 m.
  - Altura usuario = 1 m.
  - $n_1 = 2.13$
  - $n_2 = 4.35$
2. En esta segunda configuración se representará la autovía en un momento nocturno del día, donde el tráfico de vehículos es escaso y se reduce básicamente a autobuses de largo recorrido y camiones.
  - Potencia dedicada HSDPA = 1.5 W.
  - Radio acción de la celda: 1 Km.
  - Altura antena estación base = 7.5 m.
  - Altura usuario = 2 m.
  - $n_1 = 2.13$
  - $n_2 = 4.35$
3. En la tercera configuración vamos a analizar un tramo de autovía que no se encuentra en un entorno abierto, si no que en uno escarpado con gran número de curvas y cambios de rasante.
  - Potencia dedicada HSDPA = 0.8 W.
  - Radio acción de la celda: 500 m.
  - Altura antena estación base = 7.5 m.
  - Altura usuario = 1 m.
  - $n_1 = 2.3$
  - $n_2 = 5.1$

Los resultados obtenidos se muestran en las **Tablas 4.2 y 4.3**:

#### 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

**Tabla 4.2:** N° de códigos óptimos en un sector.

Configuración	#Códigos	$V_{media}$	$V_{media}$	Tasa Total (Mbps)
	1° Sector	1° Sector (Mbps)	2° Sector (Mbps)	
1	1	1.0942	0	1.0942
	5	2.6504	0	2.6504
	10	3.3778	0	3.3778
	15	4.04	0	4.04
2	1	1.1903	0	1.1903
	5	3.5756	0	3.5756
	10	5.0394	0	5.0394
	15	5.8499	0	5.8499
3	1	1.1385	0	1.1385
	4	2.5217	0	2.5217
	9	3.6471	0	3.6471
	14	4.4666	0	4.4666

**Tabla 4.3:** N° de códigos óptimos en dos sectores.

Configuración	#Códigos	#Códigos	$V_{media}$	$V_{media}$	Tasa Total (Mbps)
	1° Sector	2° Sector	1° Sector (Mbps)	2° Sector (Mbps)	
1	1	8	0.4881	3.0458	3.5339
		14	0.3576	3.7986	4.1562
	2	12	0.7226	3.547	4.2697
		3	7	1.1655	2.6257
	12		1.043	3.2967	4.3397
	5	9	1.6217	2.7491	4.3708
	6	9	1.8964	2.6973	4.5937
	7	8	2.1901	2.419	4.6091
2	1	9	0.8263	4.7336	5.5598
		14	0.7029	5.5432	6.2461

#### 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

	2	9	1.418	4.648	6.066
	3	9	1.9934	4.5628	6.5561
	4	8	2.5175	4.1621	6.6796
	5	8	2.8574	4.1017	6.9591
	6	8	3.1331	4.0419	7.1749
	7	8	3.5586	3.9824	7.541
3	2	12	0.7851	3.8917	4.6768
		13	0.7752	4.1237	4.8989
	4	10	1.5513	3.3928	4.9441
	5	9	1.9226	3.0751	4.9976
	6	7	2.3229	2.6784	5.0013
		9	2.2338	3.0331	5.2668
	7	7	2.615	2.615	5.23
		8	2.3903	2.7149	5.1052

Al ser el número de posibles combinaciones de códigos muy elevados, sólo se han mostrado en la tabla aquellas configuraciones que se han considerado más ventajosas para la compañía telefónica desde el punto de vista del total de tráfico gestionado en el downlink, señalándose en azul la combinación óptima. Al igual que sucedió en el anterior apartado donde se estudiaron las macroceldas, la configuración óptima no proporciona una tasa binaria de descarga mucho mayor que otras combinaciones subóptimas por lo que en caso de que el número de clientes sea elevado y se necesiten asignar un mayor número de códigos, el empleo de otra combinación no afectará gravemente al comportamiento global del sistema. Como detalle final, debemos comentar que nuevamente no importará el sector en el que coloquemos los códigos de la combinación elegida, ya que el resultado final no sufrirá ninguna alteración.

Tras analizar los resultados, nos damos cuenta de que el tráfico gestionado por la red cuando se emplean microceldas es considerablemente grande, llegando a puntos en los que puede sobrepasar los 5 Mbps. Esto se debe a que el modelo de propagación de la señal empleado en este tipo de celdas, estipula que las pérdidas de propagación sean muy bajas, sobretodo cuando existe visibilidad directa entre transmisor y

#### 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

---

receptor, lo que propicia que las condiciones de propagación sean muy buenas obteniendo como resultado una alta calidad de señal en recepción. Esta alta calidad provoca que los órdenes de modulación usados en la comunicación sean muy elevados, por lo que por norma general cuanto mayor número de códigos se empleen mayor tasa binaria de descarga obtendremos a diferencia de lo que ocurre en el caso de las macroceldas.

Al estar simulando la implantación de las microceldas en autopistas, y tras la obtención de las velocidades halladas en las tablas precedentes, mediante sencillos cálculos podemos determinar cual será la cantidad máxima de datos descargados mientras nos desplazamos en el interior del radio de acción de la célula en nuestro vehículo. Aplicando la normativa española de carreteras mediante la cual un vehículo no puede circular a las de 120 Km/h, y sabiendo que mientras no exista más un usuario por sector podemos emplear los resultados obtenidos en las tablas precedentes, podemos calcular la cantidad de datos descargados mientras atravesamos una estación base únicamente multiplicando la tasa media de descarga en un sector por el número de segundos que tarda el vehículo en atravesar dos veces el radio de acción de la célula.

##### **4.3.4 Cálculo de las velocidades reales de descarga en la tecnología HSDPA.**

Una vez finalizado el estudio anterior con el que hemos hallado la combinación de códigos que maximice el tráfico binario de descarga, procederemos a realizar un nuevo análisis en el que se mostrarán unas velocidades de descarga más reales en los que varios usuarios repartidos equitativamente en el radio de acción de la célula, deben compartir los recursos existentes.

Realizar una simulación con máxima precisión, resultaría prácticamente imposible con un ordenador ya que existen innumerables parámetros aleatorios imposibles de simular, como el movimiento que realiza un determinado coche, que puede influir ligeramente en el resultado final. En nuestro caso vamos a realizar una simulación estática lo más fidedigna posible con la realidad en la que ajustaremos los valores de los parámetros que entran en juego en la simulación para asemejar fielmente los entornos de simulación con los reales.

Al igual que en el caso de las macroceldas, se utilizará el algoritmo *Round Robin* para repartir los códigos entre los usuarios de la celda y se evitarán factores que

#### 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

puedan limitar la velocidad de descarga como el terminal empleado. El objetivo sigue siendo determinar la máxima velocidad de descarga que se puede obtener.

El mecanismo empleado para calcular las tasas binarias de descarga, es el mismo que en el caso de las macroceldas, ya que lo único que cambia es el modelo de propagación, por lo que no se va a añadir nada al respecto.

Los resultados obtenidos tras la simulación serán mostrados en una serie de tablas que irán en función del número de usuarios que se encuentren accediendo al sistema el mismo tiempo. El número de usuarios que analicemos será de siete y quince, distribuidos todos ellos de la manera más equitativa posible entre los dos sectores de la estación base.

Los entornos que vamos a estudiar, junto con el valor de los parámetros que los caracterizan, son los mismos que los del apartado 4.3.4.

Los resultados obtenidos son mostrados en las **Tablas 4.4 y 4.5** :

**Tabla 4.4:** Velocidades de descarga por usuario. 7 Usuarios por celda.

Conf.	Datos	Usuarios						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Sector	1				2		
	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	8				7		
	Subradios (Km.)	0 – 0.25	0.25 – 0.5	0.5 – 0.75	0.75 – 1	0 – 0.333	0.333 – 0.66	0.66 – 1
	Nº Códigos	2	2	2	2	3	2	2
	Órdenes de Modulación	4	4	4, 3, 2, 1	1, 0	5	5, 4, 3	3, 2, 1, 0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.8	0.8	0.692	0.132	1.26	0.787	0.255
2	Sector	1				2		
	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	8				7		
	Subradios (Km.)	0 – 0.25	0.25 – 0.5	0.5 – 0.75	0.75 – 1	0 – 0.33	0.33 – 0.66	0.66 – 1
	Nº Códigos	2	2	2	2	3	2	2
	Órdenes de	7	7	7, 6, 5	4, 3, 2	7	7, 6	6, 5, 4,

#### 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

	Modulación			4	1, 0			3, 2, 1, 0	
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	1.28	1.28	0.969	0.461	1.92	1.195	0.583	
3	Sector	1				2			
	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	9				6			
	Subradios (Km.)	0 – 0.125	0.125 – 0.25	0.25 – 0.375	0.375 – 0.5	0 – 0.166	0.166 – 0.33	0.33 – 0.5	
	Nº Códigos	3	2	2	2	3	2	2	
	Órdenes de Modulación	5	5, 4	4, 3, 2	2, 1, 0	6, 5	5, 4, 3	4, 3, 2, 1, 0	
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	1.26	0.825	0.718	0.23	0.949	0.813	0.362	

**Tabla 4.5:** Velocidades de descarga por usuario. 15 Usuarios por celda.

Conf.	Datos	Usuarios														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Sector	1								2						
	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	8								7						
	Subradios (Km.)	0 – 0.125	0.125 – 0.25	0.25 – 0.375	0.375 – 0.5	0.5 – 0.625	0.625 – 0.75	0.75 – 0.875	0.875 – 1	0 – 0.142	0.142 – 0.285	0.285 – 0.428	0.428 – 0.571	0.571 – 0.714	0.714 – 0.857	0.857 – 1
	Nº códigos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Órdenes Modulación	5	5	5	5	5, 4, 3	3, 2	2, 1, 0	0	5	5	5	5, 4	4, 3, 2	2, 1, 0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.42	0.42	0.42	0.42	0.401	0.344	0.176	0	0.42	0.42	0.42	0.418	0.374	0.242	0
2	Sector	1								2						
	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	8								7						
	Subradios (Km.)	0 – 0.125	0.125 – 0.25	0.25 – 0.375	0.375 – 0.5	0.5 – 0.625	0.625 – 0.75	0.75 – 0.875	0.875 – 1	0 – 0.142	0.142 – 0.285	0.285 – 0.428	0.428 – 0.571	0.571 – 0.714	0.714 – 0.857	0.857 – 1
	Nº códigos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Órdenes Modulación	7	7	7	7	7, 6	6, 5	4, 3	1, 0	7	7	7	7	7, 6	6, 5	2, 1, 0
	Modulación	4								2, 1						

#### 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

															2		
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.64	0.64	0.64	0.64	0.512	0.457	0.348	0.113	0.64	0.64	0.64	0.64	0.487	0.38	0.139	
3	Sector	1								2							
	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	9								6							
	Subradios (Km.)	0 – 0.062	0.062 – 0.125	0.125 – 0.187	0.187 – 0.25	0.25 – 0.312	0.312 – 0.375	0.375 – 0.437	0.437 – 0.5	0 – 0.071	0.071 – 0.142	0.142 – 0.214	0.214 – 0.285	0.285 – 0.357	0.357 – 0.428	0.428 – 0.5	
	Nº códigos	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
	Órdenes Modulación	5	5	5	5, 4	4, 3	3, 2	2, 1, 0	0	6	6	6, 5	5, 4	4, 3	2, 1	SC	
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.84	0.42	0.42	0.406	0.379	0.339	0.232	0	0.48	0.48	0.427	0.415	0.373	0.277	SC	

La nomenclatura que hemos empleado en las tablas previas es la misma que la utilizada en las mostradas en el capítulo anterior.

#### **4.3.5 Conclusiones finales del capítulo.**

Los resultados obtenidos tras las simulaciones realizadas muestran una tasa binaria de descarga considerablemente alta, destacando sobretodo aquellas situaciones en las que el número de usuarios que se encuentran compartiendo los recursos es elevado, ya que a la gran mayoría de ellos se les puede proporcionar el servicio HSDPA, con una alta calidad.

Gracias a las bajas pérdidas de propagación de este modelo, la calidad de la señal recibida es muy alta, pudiendo hacer uso de las nuevas modulaciones estandarizadas en el *Release 7*, a partir de valores de potencia dedicados pequeños. Los elevados niveles de SNR que se consiguen, hasta distancias superiores al 50% del radio de la celda, hacen viable futuras ampliaciones del estándar en donde se regularice el empleo de modulaciones más potentes como 256QAM que permitan aumentar la tasa binaria de descarga.

Las altas velocidades que se pueden conseguir, son también fruto del gran número de códigos que se reparten entre los usuarios. Las bajas pérdidas de propagación de las señales transmitidas por microceldas, unido a las buenas condiciones para HSDPA de los entornos que hemos estudiado en este capítulo,



#### 4. Estudio de HSDPA en micro celdas

---

propician que el throughput óptimo de la célula vaya relacionado con el reparto del número máximo posible de códigos entre los clientes del sistema.

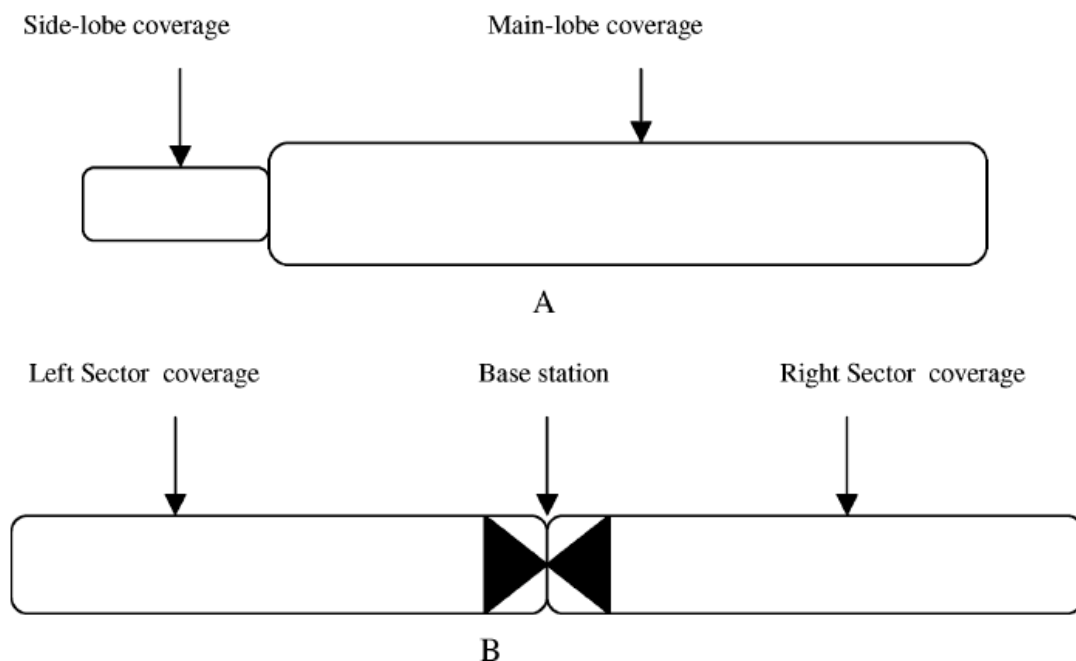
Ante las vistas de estos resultados, cabe la posibilidad de intentar implantar este tipo de células en grandes núcleos urbanos, sobretodo en aquellas situaciones en las que acceder al servicio HSDPA cuando la señal se propaga a través de macroceldas, es prácticamente imposible. Aún así se debe tener en cuenta que en entornos irregulares, como pueden ser las calles de una ciudad, no suele existir visibilidad directa entre transmisor y receptor y el valor de los exponentes de propagación se agrandan considerablemente, por lo que previsiblemente se obtendrán unos resultados comprendidos entre los obtenidos en propagación con macroceldas y en propagación con microceldas.

Sin embargo, el principal inconveniente de HSDPA en microceldas, es el lugar en el que se puede acceder a él. Como hemos comentado anteriormente, estas tasas se obtienen cuando existe visibilidad directa entre el transmisor y el receptor, y estas condiciones sólo se pueden asegurar en entornos abiertos y poco poblados como lo son las autopistas, lugares en los que una alta velocidad de descarga puede no ser una necesidad como sí lo es en las grandes ciudades.

## 5. Capítulo 5: Estudio de HSDPA en microcelda en el interior de un túnel

### 5.1 Microceldas en el interior de un túnel

Es conocido que la forma del haz de las microceldas empleadas en entornos urbanos se ajustan al patrón de la calle en la que se sitúa la antena, obteniendo lo que se llama haz con forma de cigarro (*cigar-shaped*). Este tipo de haces es posible obtenerlos también en el interior de túneles, por lo que debido a las características tubulares de éstos, las microceldas se convierten en el modo de propagación idóneo, empleándose en su instalación dos antenas directivas por cada estación base. [13]



**Figura 5.1:** Cobertura y sector de la microcelda. Cobertura del sector con una antena direccional (A), y cobertura con dos antenas directivas (B). [13]

La ganancia de este tipo de antenas, suele ser unos 10 dB para el lóbulo principal y comprendida entre -13 y -20 dB para los lóbulos secundarios. Los lóbulos secundarios tendrán un efecto negativo sobre la relación señal a ruido, ya que

## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel

contribuirán al incremento de la interferencia interna a pesar de ser con una potencia mucho menor que la del lóbulo principal.

### 5.2 Modelo de propagación

El modelo de propagación en el interior de túneles, puede ser aproximado por un modelo de dos o más pendientes, aunque el que empleemos en nuestras simulaciones será un modelo híbrido con shadowing lognormal y pérdidas extras por curvas. El exponente de propagación será  $s$  hasta el punto de ruptura, situado a una distancia  $R_b$  desde la estación base, a partir de la cual, la señal se verá atenuada por una atenuación específica de  $n$  dB/m. [13]

La ecuación que determina el comportamiento del modelo de propagación es la siguiente: [13]

$$\left. \begin{aligned} L_p(dB) &= K + 10 \log r^s + L_1 + \xi_1 & \text{si } r \leq R_b \\ L_p(dB) &= K + 10 \log R_b^s + n \cdot (r - R_b) + L_2 + \xi_2 & \text{si } r > R_b \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

$$K(dB) = 20 \cdot \log \left( \frac{4 \cdot \pi \cdot 1}{\lambda} \right) \quad (5.2)$$

$$R_b(m) = \min \left( \frac{\text{anchura}^2}{\lambda}, \frac{\text{altura}^2}{\lambda} \right) \quad (5.3)$$

Donde  $L_p$  son las pérdidas de propagación,  $K$  es la atenuación a un metro de distancia obtenido mediante el modelo de propagación por tierra plana,  $s$  es el exponente de propagación hasta  $R_b$ ,  $n$  es la atenuación específica después de  $R_b$ ,  $L_1$  y  $L_2$  son las pérdidas extras por las curvas que existan en el interior del túnel,  $\xi_1$  y  $\xi_2$  son las variables aleatorias gaussianas que representan el shadowing,  $r$  es la distancia en metros que separan al usuario de la estación base,  $R_b$  representa el punto de ruptura a partir del cual cambia el exponente de propagación,  $\lambda$  es la longitud de onda de la señal, *anchura* es el valor en metro de la anchura del túnel que vamos a analizar, y *altura* es la altura en metros del túnel que vamos a estudiar.

### 5.3 Simulaciones

El fin de esta sección es la de determinar la velocidad binaria de descarga cuando la propagación se realiza mediante microceldas que se encuentran en el interior de un túnel. El estudio de esta variante posee cierta importancia ya que las variaciones que se producen en el modelo de propagación son considerablemente

## **5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel**

---

grandes, proporcionando una propagación con unas pérdidas ínfimas que permiten largas distancias de cobertura por estación base. Esta peculiaridad unida a los innumerables lugares a los que este modelo de propagación se puede aplicar, como por ejemplo túneles del metro, de trenes de alta velocidad o de autovía, hacen que nuestro estudio adquiera cierta importancia.

Al igual que hemos procedido en los capítulos anteriores, para llegar al resultado final debemos analizar previamente distintos comportamientos del modelo de propagación empleado, que nos ayudarán a obtener el resultado final.

### **5.3.1 Calculo de la SNR**

La primera labor que deberemos realizar será la de calcular el perfil de relación señal a ruido obtenido en el terminal receptor en función del estado del arte actual de la tecnología, que como ya hemos explicado anteriormente, está enfocado siempre al entorno más favorable para el usuario. Una vez obtenido, someteremos al sistema a numerosas modificaciones de los parámetros que tienen una relación directa con el cálculo de la SNR que nos permita observar de que manera se ve alterada esta magnitud ante una variación de los parámetros de la comunicación. Además de este objetivo, con este análisis pretendemos determinar si en el interior de túneles, es posible proporcionar el servicio en todo el radio de acción de la célula, y con la calidad suficiente como para alcanzar la máxima modulación estandarizada.

Para la realización de estas simulaciones, hemos realizado el mismo análisis que en el capítulo anterior en el que hemos analizado las microceldas, variando únicamente el modelo de propagación, ya que la gran similitud existente entre los dos sistemas en cuanto a configuración y valores de los parámetros constantes, propicia que no se tenga que producir ningún cambio importante en el método de análisis.

#### **5.3.1.1 Variación de la SNR ante distintos valores de potencia dedicada a la tecnología HSDPA.**

El objetivo de esa sección es la de comprobar como afecta a la relación señal a ruido en recepción, la variación de la potencia dedicada en exclusiva a la tecnología HSDPA. Al igual que en todos los casos anteriormente analizados, la cantidad de potencia que se dedique en exclusiva dependerá de la cantidad de tráfico que deba

## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel

---

cursar la estación base en ese preciso momento teniendo en cuenta, al igual que en los demás casos, que siempre dispondrá de prioridad el tráfico de voz sobre el de datos.

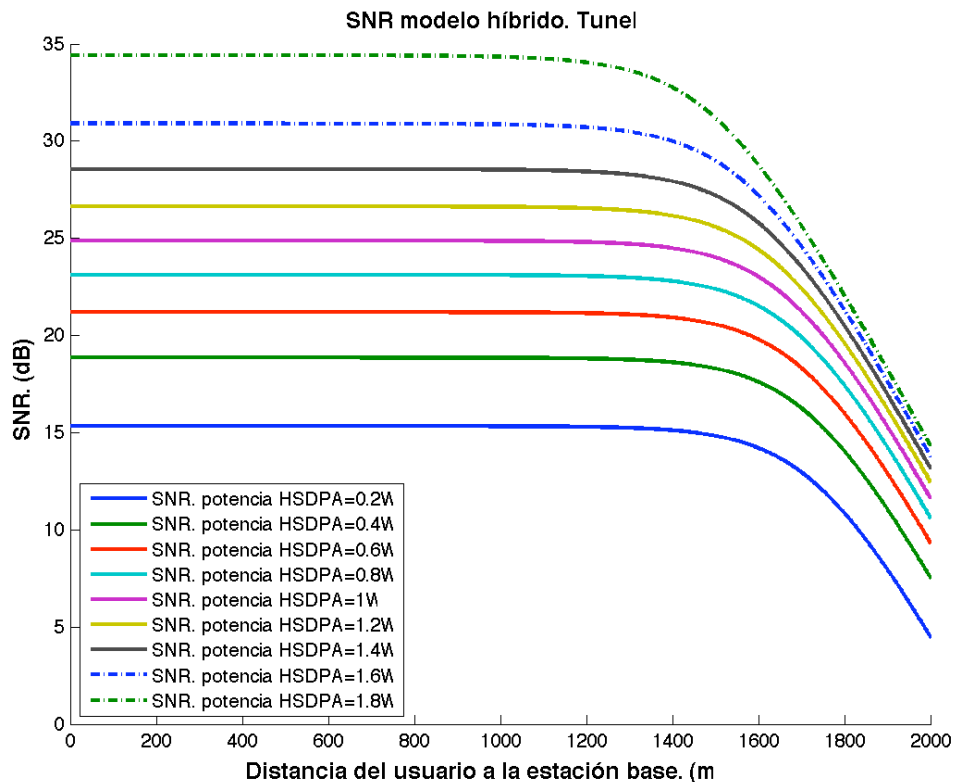
El nivel de potencia dedicada que empleemos en nuestra comunicación, influirá de manera determinante en la relación señal a ruido recibida, siendo esta mayor cuanto mayor sea el número de vatios dedicados a cada uno de los códigos. Para analizar de que manera influye este aumento sobre el sistema, realizaremos la simulación para valores de potencia dedicada comprendidos entre los 0.2 y los 1.8 vatios, siendo en todo momento la potencia máxima de la antena de 2 vatios. Esta potencia máxima no muestra variación con respecto al caso de las microceldas, ya que la propagación en túneles no es más que una variante del caso de propagación con microceldas, con lo que el tipo de las antenas empleadas y sus características, no presentan ninguna modificación.

Los valores que hemos dado a los parámetros que entran en juego en la simulación, son los siguientes:

- $P_{\max} = 2 \text{ W}$
- $P_{\text{HSDPA}} = [0.2:0.2:1.8] \text{ W}$
- Radio de acción de la célula = 2 Km.
- Altura túnel = 5 m
- Anchura del túnel = 12 m
- $n = 2$ .
- $\alpha = 0.02 \text{ dB/m}$
- Factor de ruido = 8 dB

Los resultados obtenidos se mostrarán en la **Figura 5.1**.

## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel



**Figura 5.1:** SNR recibida ante distintos valores de potencia dedicada.

Los resultados obtenidos, nos muestran los resultados que se pensaban obtener, a medida que aumenta la potencia dedicada a la tecnología HSDPA, de modo que cuanto mayor sea ésta, mejores prestaciones tendrá la comunicación de datos. Al igual que los casos anteriores, esta potencia dedicada irá en función de las necesidades de la red, siendo modificada por el planificador de red de la antena.

Cabe destacar en los resultados obtenidos, la escasa pendiente de la curva de la SNR, estando muy próxima a cero, en la gran mayoría del radio de acción de la célula. Esta característica, propiciará que el orden de modulación que se obtenga, permanezca constante durante una gran parte del radio de acción de la célula proporcionando unas velocidades medias de descarga más elevadas así como un descenso en el número de re-sincronizaciones que se deben realizar entre la estación base y el terminal móvil al tener que cambiar el orden de modulación empleado en la comunicación.

## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel

---

### 5.3.1.2 Variación de la SNR ante distintos valores de la distancia de acción de la célula.

Las escasas pérdidas de propagación que afectan a la señal que se propaga por el interior de un túnel, propicia que los radios de acción en estos sistemas sean considerablemente grandes pudiendo alcanzar distancias de hasta cuatro kilómetros. El objetivo de este apartado es el comprobar como le afecta al perfil de señal a ruido recibido el aumento del radio de acción de la célula, así como intentar delimitar el radio máximo de acción que se pueda alcanzar en este tipo de sistema.

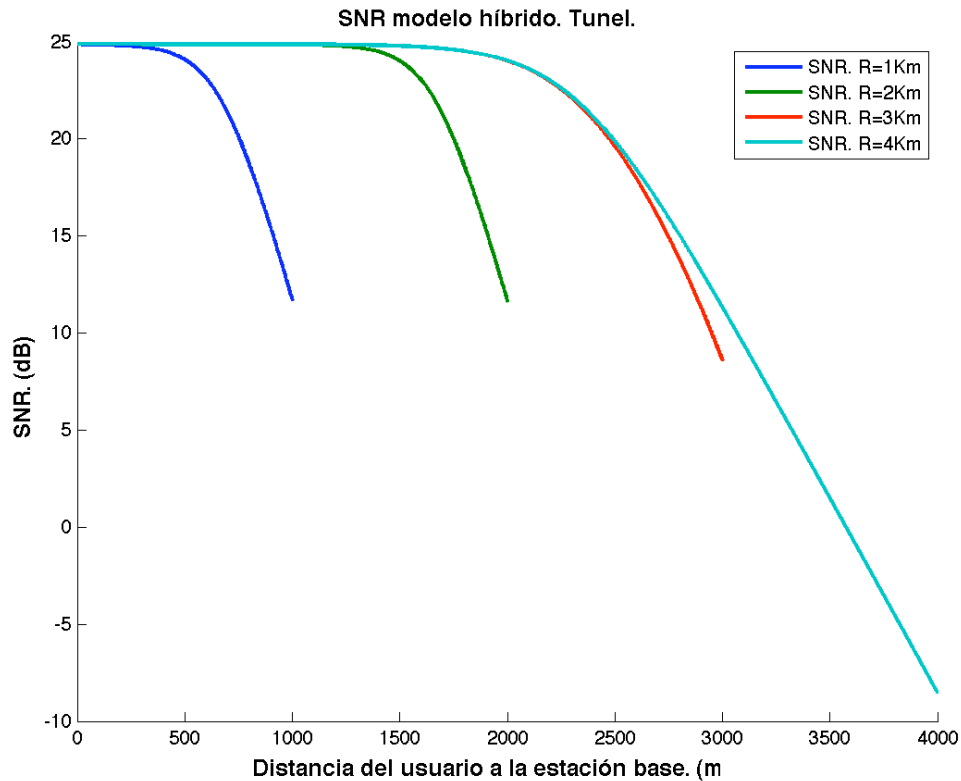
Con las actuales infraestructuras de tren de alta velocidad que se están llevando a cabo tanto en España como en el resto del mundo, los túneles de larga distancia se están convirtiendo en escenarios comunes, por lo que merece la pena realizar un estudio en el que entren en juego este tipo de situaciones.

Los valores que hemos dado a los parámetros que entran en juego en la simulación, son los siguientes:

- $P_{\max} = 2 \text{ W}$
- $P_{\text{HSDPA}} = 1 \text{ W}$
- Radio de acción de la célula = [1:4] Km.
- Altura túnel = 5 m
- Anchura del túnel = 12 m
- $n = 2$ .
- $\alpha = 0.02 \text{ dB/m}$
- Factor de ruido = 8 dB

Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 5.2.**:

## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel



**Figura 5.2:** SNR recibida ante distintos valores del radio de la célula.

El resultado obtenido nos muestra como el aumento del radio de acción de la microcelda afecta en gran medida al perfil de relación señal a ruido recibido, sobretodo cuando el valor de estos radios es alto. Como se puede apreciar a medida que la distancia de acción aumenta, la pendiente de caída de la SNR en recepción aumenta considerablemente hasta hacer caer a esta magnitud a valores en los que sería imposible proporcionar servicio HSDPA e incluso el de telefonía de tercera generación UMTS. Esta caída en picado es debido a la potencia de ruido del sistema, ya que cuando el radio de acción de la célula es muy grande, los niveles de señal de información, interferencia interna y externa son muy bajos tomando valores inferiores a los de la potencia de ruido del sistema. Esta diferencia existente en el valor de estas magnitudes provoca que el valor de interferencia interna y externa sea prácticamente despreciable en comparación con el de potencia de ruido, haciendo que el denominador de la ecuación que determina el valor de la relación señal a ruido final, sea prácticamente constante en todo el análisis. Esta circunstancia unida al bajo nivel de señal de información recibida en distancias próximas al radio de acción de la celda debido a la gran distancia de propagación, provocan la gran pendiente descendente en la SNR recibida llevando a ésta, hasta valores inferiores a los 0 dB. Cuando el radio



## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel

---

de acción de la celda no es tan grande, no se aprecia este fenómeno debido al efecto contrario, ya que en estas situaciones la magnitud despreciable es la potencia de ruido ya que la escasa distancia de propagación, hace que tanto la señal de información como las dos clases de interferencias existentes, tomen valores elevados que irán cambiando a medida que el usuario se desplace por la célula.

Estudiando los resultados obtenidos, podemos delimitar un radio máximo de acción de este tipo de entornos en torno a los tres kilómetros. Como podemos apreciar en la imagen, una distancia superior provocaría una rápida caída de la relación señal a ruido impidiendo que se pueda proporcionar el servicio HSDPA.

### 5.3.1.3 Variación de la SNR ante distintos valores de $R_b$ .

Como se ha explicado anteriormente en los apartados de introducción al nuevo modelo de propagación, en este escenario el valor de  $R_b$  va relacionado con las dimensiones de los túneles sobre los que realicemos el estudio. En este apartado vamos a estudiar como afecta a la relación señal a ruido recibida las diferentes medidas que pueda tener un túnel.

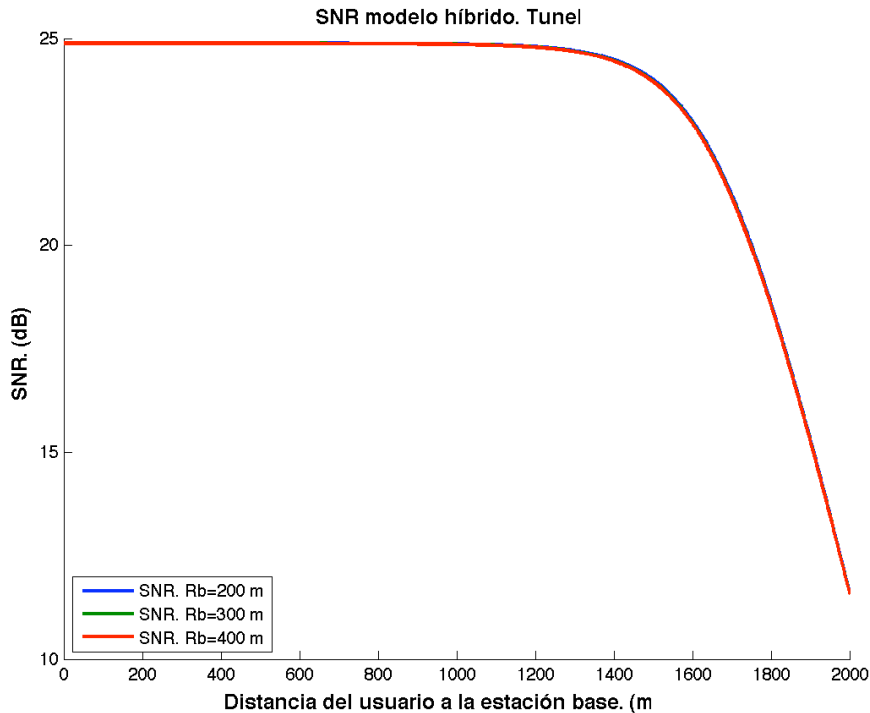
Hoy en día podemos encontrar una gran cantidad de túneles cuyas medidas irán en función del tipo de servicio a los que estén destinados. Desde los más anchos destinados al tráfico de vehículos, a los más estrechos como los destinados al transporte ferroviario ya sea de metro o de ferrocarril. En nuestro caso vamos a estudiar tres tipos de túneles, de los más comunes para analizar como influyen sobre la SNR recibida.

Los valores que hemos dado a los parámetros que entran en juego en la simulación, son los siguientes:

- $P_{\max} = 2 \text{ W}$
- $P_{\text{HSDPA}} = 1 \text{ W}$
- Radio de acción de la célula = 2 Km.
- $R_b = [200:100:400]$
- $n = 2$ .
- $\alpha = 0.02 \text{ dB/m}$
- Factor de ruido = 8 dB

Los resultados quedan mostrados en la **Figura 5.3**.

## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel



**Figura 5.3:** SNR recibida ante distintos valores de  $R_b$ .

Los resultados muestran ínfimas variaciones ante cambios de  $R_b$  que no provocarán ningún cambio a la hora de asignar los órdenes de modulación correspondientes a la comunicación. Esto se debe principalmente a que la diferencia máxima entre los valores en los que puede oscilar  $R_b$ , no sobrepasa la cantidad de los 150 metros, cantidad insuficiente para poder provocar cambios en la SNR recibida, como ya se puede ver en el capítulo anterior, donde eran necesarias variaciones del  $R_b$  cercanas a los 250 metros para que las variaciones en la relación señal a ruido final pueda ser apreciable.

### 5.3.1.4 Variación de la SNR ante distintos valores de los exponentes de propagación.

Como se ha podido apreciar en cada uno de los apartados, hemos dado a  $n$  un valor de dos, exactamente el mismo que toman las comunicaciones que se propagan por el espacio libre. Esto se debe a que en el interior de un túnel la propagación de la señal es prácticamente ideal ya que el único obstáculo que se puede encontrar en el interior de un túnel son los vehículos en los que se encuentran los usuarios que acceden al servicio. Esta característica unida a la gran directividad de las antenas que se emplean en la instalación del sistema, propician que el exponente de propagación

## **5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel**

---

no alcance un valor superior al de 2.1, cifra del todo insuficiente para provocar un cambio en los órdenes de modulación de la comunicación.

Gracias a esta conclusión, deducimos que carece de interés desarrollar un estudio en el que se evalúen valores de  $n$  comprendidos entre 2 y 2.1, por lo que no ampliaremos la información de esta sección.

### **5.3.2 Cálculo de la modulación binaria para microceldas en función de la calidad de señal recibida.**

Una vez terminadas todas las simulaciones de la sección anterior en la que hemos analizado como influyen sobre la relación señal a ruido las variaciones que puedan ocurrir sobre los parámetros que entran en juego en la simulación, procedemos a realizar la segunda parte del estudio, en la que analizaremos como afectan los cambios anteriormente estudiados, sobre los esquemas de modulación de la comunicación. De esta manera nos podemos hacer una idea de cómo cambiará la velocidad binaria de descarga ante una variación de algún parámetro de la comunicación.

A igual que en todos los sistemas que hemos estudiado en los capítulos anteriores, la tecnología HSDPA cuando se propaga en el interior de un túnel, sigue los mismos estándares y normas que los sistemas previos, por lo que la correspondencia entre el orden de modulación y la SNR mínima para alcanzarlo, será la expresada en la **Tabla 3.1**, al igual que en los sistemas anteriores.

Para evitar sobrecargar la memoria con gráficas que no aporten nueva información, sólo se va a realizar el análisis para aquellas configuraciones en las que los cambios producidos en la SNR recibida ante la variación de los parámetros de simulación, sea suficiente para producir variaciones en el esquema de modulación de la comunicación.

#### **5.3.2.1 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores de potencia dedicada a la tecnología HSDPA.**

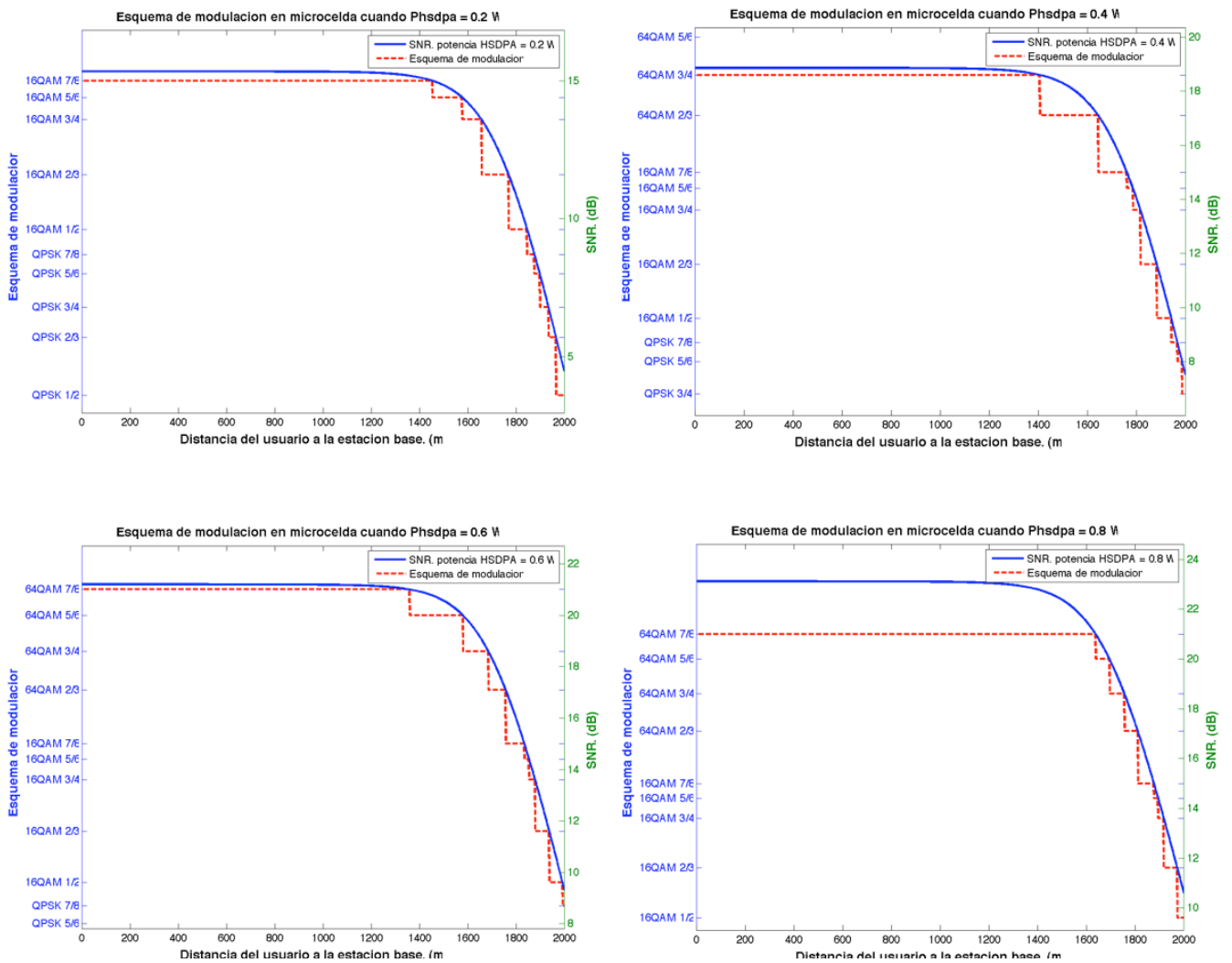
En primer lugar vamos a analizar las variaciones de los órdenes de modulación ante los distintos perfiles de SNR recibida cuando la potencia dedicada a la tecnología HSDPA va incrementándose desde un valor de 0.2 W hasta los 1.6 W máximos. Al igual que en escenarios anteriores, la posibilidad de una potencia dedicada de 1.8 W

## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel

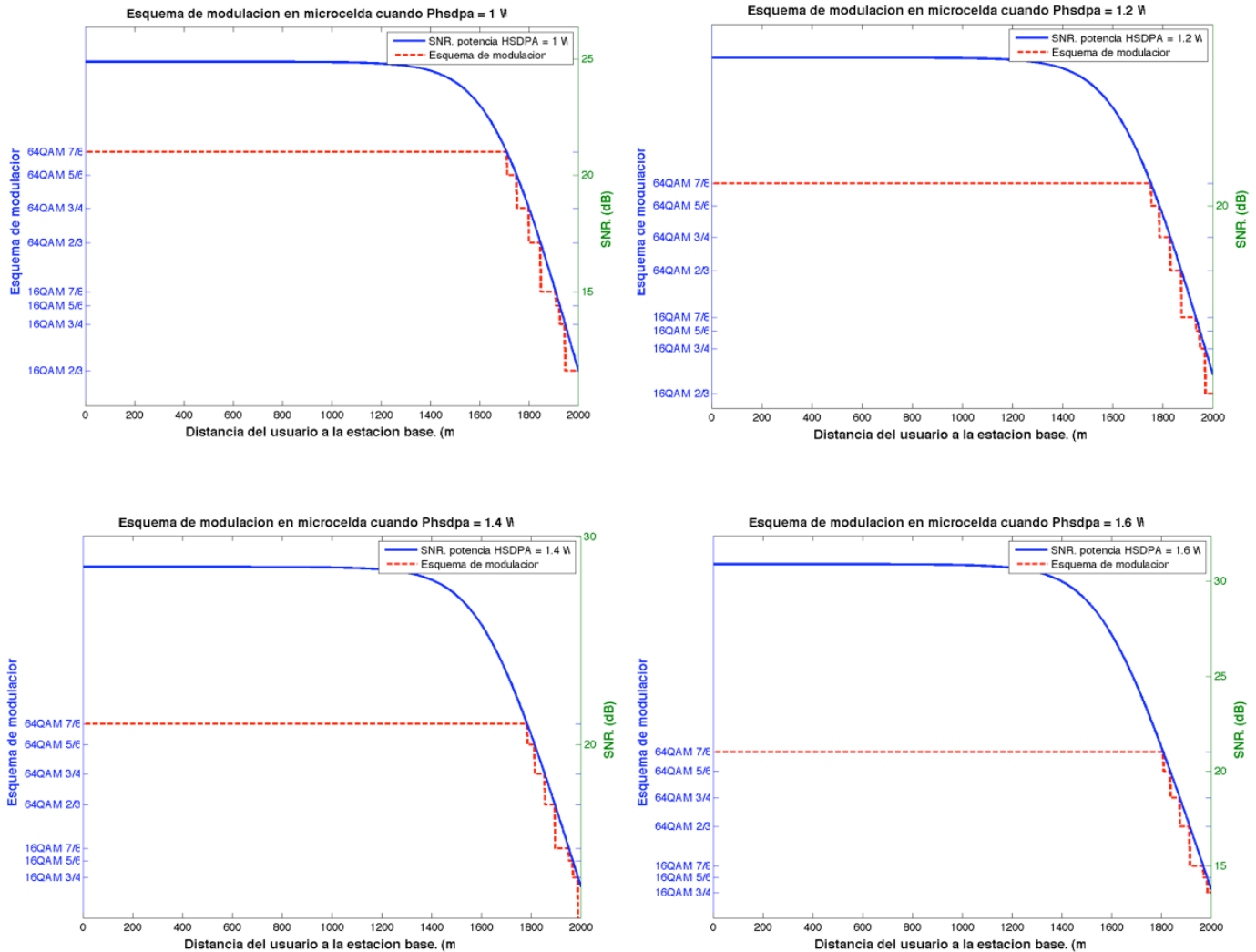
no se contempla ya que supondría que la estación base bajo estudio no proporcionaría servicio de telefonía, opción inviable en todas las circunstancias. El resto de los parámetros de la simulación, tomarán los mismo valores que en la sección 5.3.1.1.

Ante los resultados obtenidos en la sección previa, cabe esperar que cuanto mayor sea la potencia dedicada, mayor será el índice de modulación que se podrá emplear en la comunicación.

Los resultados obtenidos son en la **Figura 5.4**:



## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel



**Figura 5.4:** Esquema de modulación ante distintos valores de las potencias dedicadas.

Los resultados confirman la deducción que habíamos hecho al inicio de la sección, ya que a medida que aumenta la potencia dedicada a la tecnología HSDPA, mayor es el índice de modulación que se emplea en la comunicación.

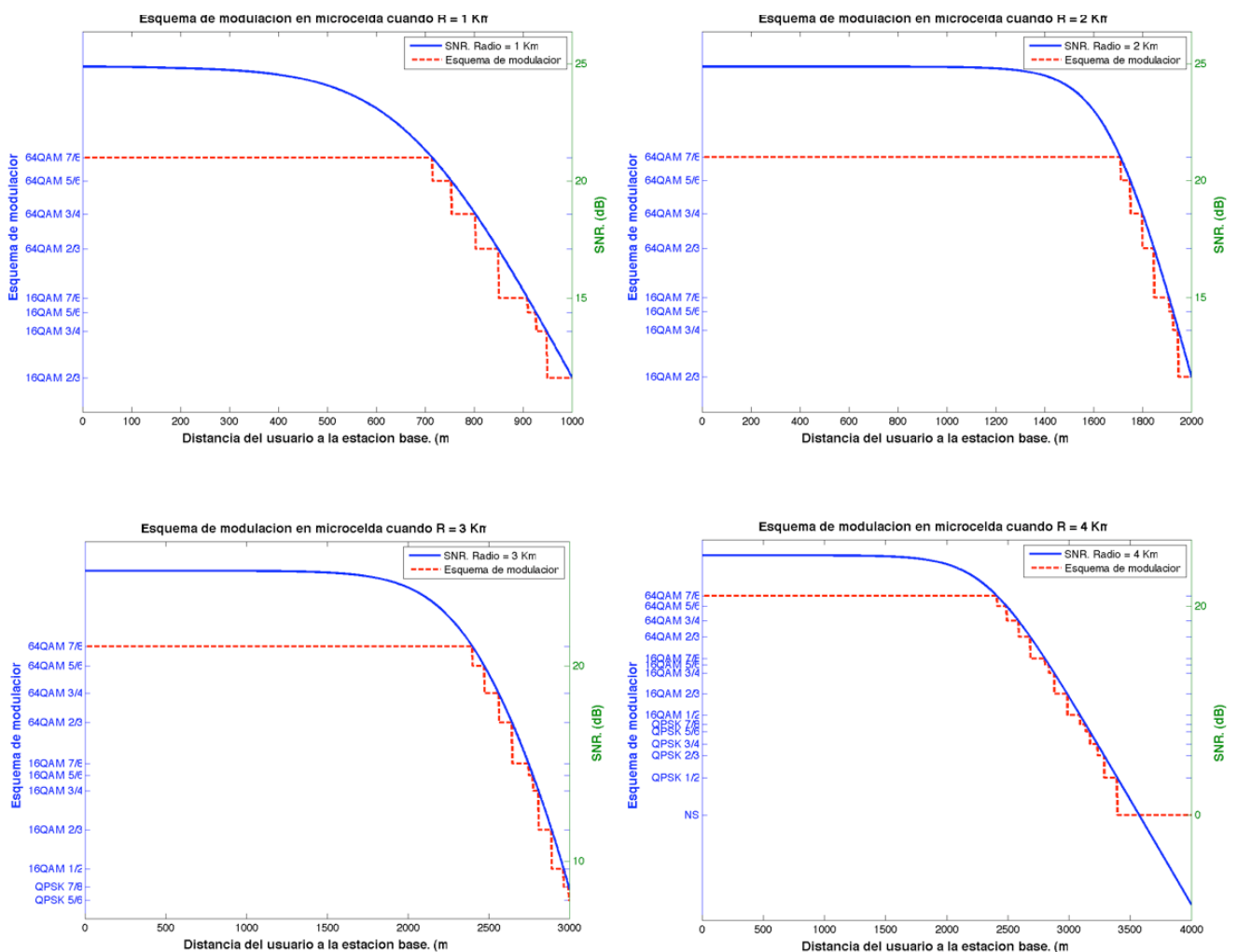
La principal característica que se puede apreciar tras los resultados es la gran estabilidad que muestra el perfil de SNR hasta una distancia superior del 50% del radio de acción de la célula. Esta peculiaridad permitirá que la mayoría de los clientes que se encuentren en la célula obtendrán la modulación máxima de la célula además de aumentar la tasa media de descarga de la célula ya que más de la mitad del radio de acción, se cubrirán con la modulación máxima. Por el contrario a partir de la distancia en la que la SNR recibida pierde la estabilidad, la pendiente de caída del perfil es mucho mayor que en los anteriores casos anteriores, bajando un gran número de órdenes en escasos metros. Si ocurriese el caso de que el usuario accediese al servicio

## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel

estando en esta zona, su tasa binaria de descarga descendería gravemente ya que al moverse unos metros a través de la celda, el orden de modulación de la comunicación del usuario puede descender.

### 5.3.2.2 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores del radio de acción de la celda.

El objetivo de esta sección es la analizar como influye sobre los órdenes de modulación de la comunicación el incremento del radio de acción de la célula. Como pudimos ver en la sección anterior en la que analizamos este parámetro, cuando el radio de acción es alto, el perfil de SNR descendiendo rápidamente por lo que en esta sección intentaremos ver, las verdaderas consecuencias de este fenómeno. Los valores de los parámetros que entran en juego en la simulación, son los mismos que los del apartado 5.3.1.2. Los resultados obtenidos son mostrados en la **Figura 5.5**:



**Figura 5.5:** Esquema de modulación ante distintos valores del radio de la celda.

## **5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel**

---

Las conclusiones que se obtuvieron en la sección anterior en la que analizábamos los perfiles de SNR al variar el radio de acción de la célula, son correctas, ya que como podemos ver cuando el radio de acción de la célula es muy grande, la pendiente de bajada de la SNR es muy elevada hasta llegar al punto de que no se pueda proporcionar servicio en las distancias mas alejadas de la antena. En este tipo de entorno esta situación no puede darse, ya que aquí el usuario no es libre de moverse por donde quiera sino que tiene que seguir la carretera o vía férrea, por lo que debemos garantizar que durante el trayecto no se corte el servicio por circunstancias que podemos evitar como es este el caso.

Tras analizar los resultados, podemos concluir que el radio de acción de estas células deberá estar en torno a los tres kilómetros de longitud, intentando evitar tener que introducir antenas con un radio mayor a los tres kilómetros con doscientos cincuenta metros.

### **5.3.3 Configuración óptima de códigos cuando más de un cliente está accediendo al servicio**

Al igual que hemos procedido en los capítulos anteriores, vamos a realizar un estudio del sistema en el que varios usuarios se encuentran accediendo al servicio HSDPA al mismo tiempo y para ello, deben compartir los recursos que el sistema pone a su disposición.

Para llevar a cabo este estudio, hemos procedido del mismo modo que en el capítulo anterior cuando se realizó este mismo estudio para las microceldas. Al tratarse la propagación en túneles de una ligera variante de la propagación por microceldas, todos los parámetros, fórmulas y métodos empleados en la simulación que fueron usados en el capítulo previo, serán utilizados en este del mismo modo con la única salvedad de que en este caso el modelo de propagación no es el mismo que en el caso anterior.

El objetivo del apartado es la de realizar un análisis del sistema teniendo en cuenta la necesidad de compartir los recursos entre todos los usuarios que en un momento determinado accedan al servicio HSDPA al mismo tiempo, para hallar la combinación de códigos que optimice el tráfico de datos en sentido descendente, desde el punto de vista del operador de telefonía.

## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel

---

Al igual que el proceso seguido en los dos capítulos empleados, nos vamos a basar en las velocidades media de descarga promediando en todo el radio de acción de la célula para determinar cual de las combinaciones muestra un mejor comportamiento respecto a las demás, del mismo modo que sólo mostraremos aquellos resultados que consideremos más relevantes.

Al ser la propagación en el interior de túneles y tener todos ellos más o menos las mismas características, es complicado que existan un numeroso número de entornos con unos parámetros considerablemente distintos entre si. En lo que concierne al estudio de este proyecto vamos a analizar tres tipos de entornos correspondientes a tres tipos de situaciones, cuyos parámetros de simulación apenas diferirán demasiado unos de otros, por lo que suponemos que los resultados obtenidos serán muy similares entre sí. Los parámetros que definen los lugares a estudio son los siguientes:

1. En primer lugar vamos a analizar un túnel de autopista, caracterizados principalmente por ser considerablemente largos, anchos, altos y rectos. Los parámetros son los siguientes:
  - Potencia dedicada HSDPA = 0.8 W.
  - Radio acción de la celda: 2 Km.
  - Altura del túnel = 12 m.
  - Anchura del túnel = 6 m.
  - $n_1 = 2$
  - $\alpha = 0.02$
2. El segundo escenario que vamos a analizar, es el correspondiente a un túnel del tren de alta velocidad, caracterizado por ser unos túneles muy largos, estrechos y no demasiado altos. Al ser unos túneles tan largos los radios de acción no son demasiado grandes y por el contrario se emplean numerosas antenas. Los parámetros son los siguientes:
  - Potencia dedicada HSDPA = 1 W.
  - Radio acción de la celda: 1 Km.
  - Altura del túnel = 4m.
  - Anchura del túnel = 3 m.
  - $n_1 = 2$
  - $\alpha = 0.02$



## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel

3. El tercer entorno que vamos a analizar, es el escenario más parecido a un túnel del suburbano de una gran ciudad, donde los túneles no son considerablemente largos, pero sin embargo las numerosas curvas y los numerosos usuarios que emplean la red provocan que la potencia dedicada no sea muy alta. Los parámetros son los siguientes:

- Potencia dedicada HSDPA = 0.6 W.
- Radio acción de la celda: 1 Km.
- Altura del túnel = 4m.
- Anchura del túnel = 4.5 m.
- $n_1 = 2.1$
- $\alpha = 0.02$

Los resultados obtenidos, son las mostradas en las **Tablas 5.1** y **5.2**.

**Tabla 5.1:** N° de códigos óptimos en un sector.

Configuración	#Códigos	$V_{media}$	$V_{media}$	Tasa Total (Mbps)
	1° Sector	1° Sector (Mbps)	2° Sector (Mbps)	
1	1	1.1893	0	1.1893
	5	2.9709	0	2.9709
	9	3.9245	0	3.9245
	14	4.93	0	4.93
2	1	1.1571	0	1.1571
	5	3.0537	0	3.0537
	10	4.0679	0	4.0679
	15	4.8569	0	4.8569
3	1	1.068	0	1.068
	4	2.549	0	2.549
	9	3.2783	0	3.2783
	14	3.8739	0	3.8739

## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel

Tabla 5.2: N° de códigos óptimos en dos sectores.

Configuración	#Códigos	#Códigos	$V_{media}$	$V_{media}$	Tasa
	1° Sector	2° Sector	1° Sector (Mbps)	2° Sector (Mbps)	Total (Mbps)
1	1	14	0.4275	4.8687	5.2962
	2	11	0.8646	4.1158	4.9804
		13	0.852	4.5636	5.4156
	3	12	1.2729	4.2372	5.5101
	4	8	1.7315	3.3884	5.1198
	5	9	2.1181	3.3689	5.487
	6	9	2.4882	3.3416	5.8298
7	7	2.9052	2.9052	5.8105	
2	1	11	0.5504	4.2598	4.8102
	2	11	1.0062	4.1633	5.1695
		13	0.9665	4.3987	5.3652
	3	12	1.4083	4.0939	5.5022
	4	10	1.8534	3.7854	5.6388
	5	9	1.9864	3.4592	5.4456
	6	9	2.338	3.4004	5.7384
7	8	2.7046	3.0608	5.7654	
3	1	14	0.3188	3.6699	3.9887
	2	13	0.6323	3.4468	4.0791
	3	11	0.9599	3.0233	3.9832
	4	11	1.2241	2.9666	4.1907
	5	8	1.6064	2.4372	4.0436
		10	1.4997	2.7173	4.217
	6	9	1.78	2.4599	4.2399
7	7	2.0456	2.2179	4.2635	

## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel

---

Del mismo modo que se ha precedido en los capítulos posteriores, se han señalado en azul aquellas filas de las tablas que representan el reparto óptimo de códigos entre los sectores de la celda. Sin embargo las tasas binarias que obtendremos con la configuración óptima, no destacan notablemente sobre las obtenidas con otras combinaciones posibles, por lo que podremos emplear otras configuraciones en función del número de personas que quieran acceder al servicio sin sufrir una gran bajada en el tráfico total gestionado.

De los resultados obtenidos destaca principalmente las altas tasas binarias que se obtienen incluso en aquellos túneles en las que las condiciones de propagación no son muy favorables. Estas velocidades de descarga se pueden obtener gracias a las bajas pérdidas de propagación que sufre la señal que permiten una alta calidad de señal recibida, y al perfil de SNR recibido, que como hemos podido observar en simulaciones previas, muestra una pendiente de descenso ínfima en una gran parte del radio de acción de la célula.

Al igual que lo que se ha comentado en el **capítulo 4**, conociendo la velocidad a la que se mueve el vehículo en el que se encuentra el usuario, podemos hallar fácilmente la cantidad de datos descargados por célula a medida que vamos avanzando.

### **5.3.4 Cálculo de las velocidades reales de descarga en la tecnología HSDPA.**

Tras hallar cual debe ser la combinación correcta de códigos que maximice la tasa binaria gestionada por la estación base, procedemos a realizar un análisis más detallado en que calcularemos las tasas binarias de descarga individualizando en cada uno de los clientes que accedan a la celda. Al igual que hemos hecho anteriormente, vamos a realizar este estudio cuando el número de personas que accedan al servicio sea de siete y de quince y sobre los mismo entornos que ya hemos explicado en el apartado 5.3.3.

El método seguido para calcular los resultados en los dos capítulos anteriores no nos servirán para el segundo y tercer entorno, ya que lo que estamos analizando es un túnel por el cual circula un tren, de modo que los clientes no se encontrarán repartidos de manera uniforme por el radio de acción de la célula, si no que se encontrarán todos juntos pudiéndose desplazar en una distancia de 100 metros, que es la longitud media que mide un tren. Dividiremos el radio de acción de la célula en

## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel

tramos de 100 metros y calcularemos la velocidad binaria de cada uno de los usuarios empleando la configuración óptima de códigos obtenidos cuando todos los usuarios se encuentran en un solo sector de la estación base.

A continuación mostraremos una serie de tablas con los resultados obtenidos tras las simulaciones. Para el primer entorno mostraremos realizaremos el mismo estudio que en los capítulos anteriores, mientras que para el segundo y el tercero escribiremos las velocidades medias de cada uno de los clientes promediando en sus 100 metros de disponibilidad. La nota común en ambos exámenes, es el empleo del algoritmo *Round Robin* a la hora de repartir los códigos entre los clientes, y el no tener en cuenta ningún factor externo que pueda limitar la velocidad de descarga.

Los resultados obtenidos para el primer entorno son los mostrados en la **Tabla 5.3** y **5.4**:

**Tabla 5.3:** Velocidades de descarga por usuario. 7 Usuarios por celda.

Conf.	Datos	Usuarios						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Sector	1				2		
	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	9				6		
	Subradios (Km.)	0 – 0.5	0.5 – 1	1 – 1.5	1.5 – 2	0 – 0.666	0.666 – 1.33	1.33 – 2
	Nº Códigos	3	2	2	2	2	2	2
	Órdenes de Modulación	5	5	5, 4	4, 3, 2, 1, 0	6	6, 5	5, 4, 3, 2, 1, 0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	1.26	0.84	0.835	0.457	0.96	0.956	0.575

**Tabla 5.4:** Velocidades de descarga por usuario. 15 Usuarios por celda.

Conf.	Datos	Usuarios														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Sector	1							2							
	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	9							6							
	Subradios (Km.)	0 – 0.25	0.25 – 0.5	0.5 – 0.75	0.75 – 1	1 – 1.25	1.25 – 1.5	1.5 – 1.75	1.75 – 2	0 – 0.285	0.285 – 0.571	0.571 – 0.857	0.857 – 1.142	1.142 – 1.428	1.428 – 1.714	1.714 – 2

## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel

											0.571	0.857	1.142	1.428	1.714	
	Nº códigos	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	Órdenes Modulación	5	5	5	5	5	5, 4	4, 3, 2	2, 1, 0	6	6	6	6	6, 5	5, 4, 3	SC
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.84	0.42	0.42	0.42	0.42	0.415	0.365	0.092	0.48	0.48	0.48	0.48	0.455	0.399	SC

A continuación procedemos a mostrar las tablas con los resultados obtenidos en el segundo y tercer entorno. En vista de que los resultados que vamos a obtener cuando el número de usuarios que deben compartir recursos es escaso no se parecen a los obtenidos en la **Tabla 5.2** como sucedía en los anteriores capítulos, vamos a realizar este examen para el caso en el que hayan tres, siete y quince usuarios en la misma célula.

Es bastante probable que el número de códigos asignados a cada uno de los clientes no sea el mismo, por lo que vamos a clasificar a las personas que se encuentran en el interior del vehículo en función del número de códigos que tenga asignados, ya que al estar todos ellos en el mismo tren, todos los usuarios con el mismo número de códigos tendrán la misma velocidad de descarga.

Los resultados obtenidos son los mostrados en las **Tablas 5.5 y 5.6**:

*2º escenario: túnel del ferrocarril.*

**Tabla 5.5:** Velocidades obtenidas por los usuarios de un tren en el interior de un túnel de ferrocarril.

# clientes	Datos	Distancia (Km.)										
		0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	0.7-0.8	0.8-0.9	0.9-1	
Común	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	Órdenes de modulación	4	4	4	4	4	4, 3	3	3, 2, 1	1, 0	0	
3	Velocidad Media de 3 Usuarios con 5 códigos (Mbps)	2	2	2	2	2	1.978	1.8	1.572	0.876	0	
7	Velocidad Media de 1 Usuario con 3 códigos (Mbps)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.186	1.08	0.943	0.525	0	
	Velocidad Media de 6 Usuarios con 2 códigos (Mbps)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.791	0.72	0.628	0.35	0	
15	Velocidad Media de 15 Usuarios con 1 códigos (Mbps)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.395	0.36	0.314	0,175	0	

## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel

### 3º escenario: túnel del tren suburbano.

**Tabla 5.6:** Velocidades obtenidas por los usuarios del metro en el interior de un túnel del tren suburbano.

# clientes	Datos	Distancia (Km.)									
		0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	0.7-0.8	0.8-0.9	0.9-1
Común	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	Órdenes de modulación	3	3	3	3	3	3, 2	2, 1	1	1, 0	0
3	Velocidad Media de 2 Usuarios con 5 códigos (Mbps)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.674	1.532	1.2	0.048	0
	Velocidad Media de 1 Usuario con 4 códigos (Mbps)	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.339	1.225	0.96	0.038	0
7	Velocidad Media de 7 Usuarios con 2 códigos (Mbps)	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.669	0.612	0.48	0.019	0
15	Velocidad Media de 15 Usuarios con 1 códigos (Mbps)	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.334	0.306	0.24	0.009	0
	Velocidad Media de 1 Usuarios con 0 códigos (Mbps)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

La nomenclatura empleada en las tablas donde se han mostrado los resultados, no ha mostrado variación con respecto a la empleada en anteriores apartados.

Tras una detenida observación de los resultados obtenidos, podemos resaltar dos características principales del sistema. La primera de ellas, va en relación a la tasa binaria de descarga obtenida, que como podemos apreciar es considerablemente alta hasta en aquellos entornos que no son tan propicios para la propagación de la señal, sobre todos cuando el cliente se ve recompensado con la asignación de más de un código. Gracias a la casi nula pendiente de descenso del perfil de SNR durante una distancia superior al 50% del radio de acción, del cual queda constancia en los resultados mostrados en las tablas, estas altas velocidades permaneces contantes en una larga distancia favoreciendo un mejor rendimiento del sistema al evitar el cambio continuo de los órdenes de modulación a emplear.

El segundo detalle que hemos observado y merece una especial mención, es el hecho de que el empleo de una estrategia óptima en el uso de los códigos, implica que

## **5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel**

---

en las secciones más alejadas de la estación base, exista la imposibilidad de proporcionar el servicio HSDPA ya que el valor de SNR recibido es insuficiente. Al estar todos los usuarios en el interior de un tren que se desplaza a través del radio de acción de la celda, todos ellos deben atravesar las mismas condiciones del sistemas, por lo que ninguno tiene la posibilidad de mantener el servicio durante todo el trayecto. El proceso de perder la comunicación para posteriormente recuperarla requiere de una serie de procedimientos de intercambio de información entre el terminal y la estación base que permitan nuevamente continuar con la descarga de datos, lo que conlleva una pérdida de tiempo que dependerá principalmente de la rapidez con la que nuestro terminal sea capaz de sincronizarse con la red. Esta peculiaridad obliga a las compañías de telefonía móvil a tener que replantearse el número de códigos a asignar por estación base, ya que si el tren en el que nos encontramos es de alta velocidad y nuestro terminal se sincroniza de manera lenta con la red, esta interrupción del servicio será grave y podrá provocar que nuestro terminal no sea capaz de volver a conectarse a la red o de hacerlo por un corto periodo de tiempo. El problema a la resolución de este problema se encuentra cuando tras realizar un sencillo examen descubrimos que para asegurar servicio HSDPA en el 100% del radio de acción de la célula, sería necesario reducir el número de códigos a 5 en el segundo escenario y a 3 en el tercero, reduciendo de manera drástica tanto el número de clientes que pueden disfrutar del servicio y de la velocidad media de descarga. En función de estos resultados será decisión de la compañía telefónica el número de códigos que se reparten en función de la clase de terminales vendidos, de la velocidad del vehículo y del compromiso de calidad alcanzado con el cliente.

### **5.3.5 Conclusiones finales del capítulo.**

Como cabía esperar, tanto los resultados como las conclusiones obtenidas tras realizar en detalle todos los estudios pertinentes, son muy similares a los sacados en el anterior capítulo, ya que a pesar de tener entre sí unas serias diferencias, la propagación por túneles no deja de ser una variante de la propagación de señal mediante micro células.

HSDPA obtiene unas condiciones óptimas para su funcionamiento, cuando la señal se transmite por microceldas en el interior de un túnel. No sólo por los altos niveles de SNR recibidos que permiten el uso de la modulación 64QAM con potencias

## 5. Estudio de HSDPA en micro celdas en el interior de un túnel

---

dedicadas bajas, si no por la alta estabilidad de la que dispone el perfil de SNR recibido, que mantiene un valor prácticamente constante hasta una distancia superior al 70% del radio de la celda. Esta baja pendiente de caída del perfil de SNR recibido, permite al usuario disfrutar de máximas velocidades binarias de descarga durante la mayor parte de la distancia.

Las bajas pérdidas de propagación unidas a la alta estabilidad del perfil de SNR a lo largo de la mayoría del radio de acción de la célula, permiten que el throughput máximo del sistema vaya relacionado con el reparto del número máximo de códigos posible, además de dejar capacidad suficiente para poder en un futuro, ampliar el estándar y permitir la comunicación con una serie de modulaciones más potentes que permitan el aumento de la tasa binaria de descarga.

El único problema del que dispone este modelo, es la rápida caída de la SNR recibida a partir de la distancia en la que el perfil deja de tener estabilidad. Esta rápida pendiente de caída puede provocar que no exista servicio en los extremos de la célula, sobretodo con potencias dedicadas bajas, pudiéndose convertir en un problema para túneles ferroviarios como ya se contó en la sección 5.3.4.

Al igual que comentamos en las conclusiones finales del capítulo anterior, su principal problema sigue siendo el lugar en los que se puede disfrutar, que al igual que sucedía en el capítulo anterior, los clientes pueden no tener expresa necesidad de las altas tasas binarias de descarga.



# 6. Capítulo 6: Estudio de HSDPA basado en HAP

---

## 6.1 HAPs

En los últimos años, se ha puesto mucha atención sobre las plataformas situadas en la estratosfera para la repetición de señales, comúnmente llamados High Altitude Platforms (HAPs). Los HAPs pueden ser un dirigible o un avión no tripulado que se eleva en la estratosfera a una altitud comprendida entre los 17 y 22 Km. sobre la superficie terrestre. Gracias a algunas de sus características más destacables, como son una amplia zona de cobertura y el bajo tiempo de propagación, los HAPs serán indiscutiblemente un instrumento en las futuras redes de comunicación capaces de proporcionar numerosos servicios. Para profundizar en los HAPs, el lector puede dirigirse al texto [24].

Los HAPs son unos elementos muy valiosos para las compañías de infraestructuras inalámbricas que proveen de servicio de telecomunicaciones a zonas rurales o remotas, donde ya sea por su dificultad o por su inviabilidad económica, no se han implantados redes celulares terrestres. Además, el coste del desarrollo de un sistema por satélite es mucho mayor que el de un HAP, siendo más eficiente, desde le punto de vista económico, cubrir un área de terrenos con numerosos HAPs antes que recurrir a los sistemas por satélite.

Otra gran ventaja de la que disponen los HAPs es su movilidad, por lo que pueden ser empleados para cubrir eventos temporales como, por ejemplo, unos juegos olímpicos; para satisfacer el incremento de la demanda en determinadas temporadas, como por ejemplo, en la zona de la costa en verano; o para proporcionar servicio en situaciones de desastre donde la red terrestre ha quedado destruida. [14, 18]

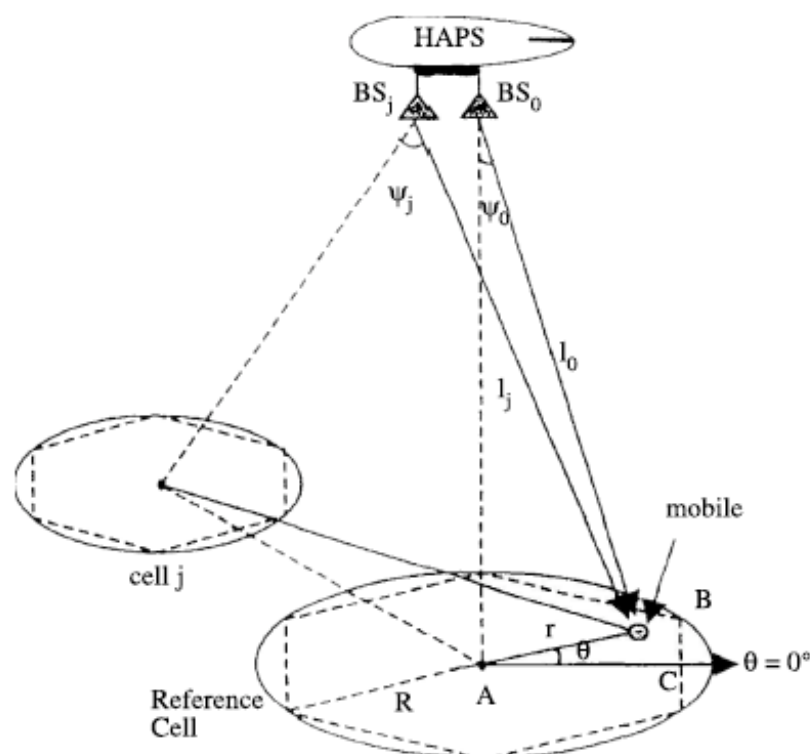
Con un único HAP, se puede obtener una cobertura equivalente a la que se obtendrían con 60 redes celulares terrestres. Para poder proporcionar servicio a esta superficie, será necesario dividir el terreno en células, y colocar sobre el HAP una antena por cada célula en la que hayamos dividido la superficie, orientando cada una de ellas al centro de la célula que le haya sido asignada. La ganancia de estas antenas, a diferencia de las redes terrestres, no son constantes y su valor dependerá del ángulo

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

con el cual el móvil recibirá el haz de la antena que debe cubrir todo el área de la célula asignada, sabiendo que el haz de la antena apunta siempre al centro de la celda obteniéndose en ese punto la máxima ganancia posible. La ecuación que determina la ganancia de esta clase de antenas, es la siguiente: [14]

$$G(\vartheta)_{dB} = \begin{cases} 34.8 - 3\left(\frac{\vartheta}{1.57}\right)^2 & \text{si } 0^\circ \leq \vartheta \leq 4.53^\circ \\ 9.8 & \text{si } 4.53^\circ < \vartheta \leq 5.87^\circ \\ 55.95 - 60\log(\vartheta) & \text{si } 5.87^\circ < \vartheta \leq 37^\circ \\ -38.2 & \text{si } 37^\circ < \vartheta \leq 90^\circ \end{cases} \quad (6.1)$$

Al situarse siempre el HAP a una altura mínima de 17 Km, el ángulo con el que recibirá el usuario la señal de información será reducido, aún situándose en los bordes de la célula lo que propiciará que la ganancia con la que se transmitió la señal de información sea elevada, hasta 20 dB superior a la que ofrecen las antenas de redes terrestres. Estas grandes ganancias en la antena transmisora hacen que no sean necesarias grandes potencias de transmisión, siendo éstas de unos pocos vatios al igual que sucedía en las microceldas.



**Figura 6.1:** Geometría del enlace descendente con propagación por HAP [8].

En otros entornos estudiados como las macroceldas o las microceldas, no se han tenido en cuenta los efectos de shadowing que afecta a la señal. Las pérdidas de

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

---

shadowing muestran un comportamiento estadístico difícil de modelar que depende en gran medida del entorno en el que se coloca la antena de la estación base y que queda fuera del marco de estudio de nuestro proyecto. Sin embargo, cuando la propagación de las señales se realiza desde un HAP, estas pérdidas extras son mucho más fáciles de modular, ya que no dependen tanto de la posición de la antena porque la propagación se realiza desde una plataforma libre de obstáculos. Los valores de las pérdidas extra que tomaremos en las simulaciones será de 10 dB para ciudades, 5 dB para ciudades suburbanas y 2 dB para zonas rurales.

### **6.2 Modelo de propagación**

El modelo de propagación que se usará en este capítulo será el de pérdidas de propagación por el espacio libre. Este es el caso ideal de la propagación no guiada, es decir, existe un camino de características eléctricas idénticas a las del vacío por el que la onda puede propagarse sin obstáculos desde el emisor hasta el receptor. Este es un caso ideal, que no existe en la realidad, si bien permite conocer las mínimas pérdidas que existen en la propagación, además de ser el modelo que más se aproxima al del caso que nos ocupa, ya que no existe ningún obstáculo entre el HAP y la antena receptora y la única diferencia reside en la propagación por aire en vez de ser en el vacío. [16]

Las pérdidas básicas de propagación en condiciones del espacio libre se definen como el cociente entre la potencia radiada por la antena transmisora y la captada por la receptora, expresándose en decibelios como [16]:

$$L_{bf}(dB) = 92.45 + 20\log f(GHz) + 20\log d(Km) \quad (6.2)$$

Donde  $L_{bf}$  son las pérdidas por propagación en el espacio libre,  $f$  es la frecuencia del sistema en decibelios y  $d$  la distancia que debe recorrer la señal desde la antena transmisora hasta el receptor.

Independientemente de la antena que estemos empleando, estas pérdidas se deben a que la onda electromagnética al propagarse, se atenúa según la ley de la inversa de la distancia.

### **6.3 Simulaciones**

El fin de esta sección es la de determinar la velocidad binaria de descarga cuando la propagación de la señal se realiza mediante un HAP en lugar de utilizar las

## **6. Estudio de HSDPA basado en HAP**

---

antenas de propagación terrestres. Ante la posibilidad de desastres naturales, operaciones militares o un grave fallo eléctrico que deje sin corriente a un gran número de antenas terrestres, podemos emplear este sistema de propagación para continuar ofreciendo servicio en los momentos en los que más se necesita, lo que incita a estudiar en detalle la tecnología HSDPA sobre este nuevo medio de propagación para analizar su comportamiento y capacidad.

Al igual que hemos procedido en los capítulos anteriores, para llegar al resultado final debemos analizar previamente distintos comportamientos del modelo de propagación empleado, que nos ayudarán a obtener el resultado final.

### **6.3.1 Calculo de la SNR**

Este nuevo estudio comenzará de la misma manera con la que hemos empezado los demás, con un estudio en detalle del perfil de SNR que se obtiene en recepción con relación al estado del arte actual de la tecnología. Este estado del arte al igual que en otros medios de propagación, está relacionado con el mejor entorno posible donde sólo existe un usuario y toda la potencia dedicada al servicio HSDPA está asignada en exclusiva a un solo usuario. Además, este estudio nos permitirá estudiar como varía el perfil de SNR en recepción ante posibles cambios de los valores de los parámetros de la comunicación que puedan ocurrir durante el servicio, y comprobar que para el escenario más propicio para el cliente el servicio se puede proporcionar sin problemas y acceder a las nuevas modulaciones que el estándar *Release 7* ha introducido.

El método empleado para estas simulaciones, tendrá mucha relación con el usado en el capítulo dos, ya que nuevamente volvemos a la estructura celular de redes hexagonales, aunque en este escenario desaparecen los factores de sectorización ya que una sola antena situada en el HAP cubre todo el área de la celda, las pérdidas de propagación vendrán determinadas por las del espacio libre, y la ganancia de la antena será dinámica y tendrá relación con el ángulo que forme la antena del usuario con el haz de la estación base que apunta al centro de la celda.

#### **6.3.1.1 Calculo de la SNR en función de la dirección seguida por el usuario.**

Como ya hemos dicho, en este estudio volvemos a las redes hexagonales de células, por lo que al igual que sucedía en el capítulo dos, vamos a estudiar las dos principales direcciones de movimientos que puede seguir un usuario cuando se

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

desplace por su interior. Con este examen pretendemos hallar cual de las dos trayectorias recibe una peor relación señal a ruido además de poder determinar la SNR recibida aproximada en caso de que el usuario se desplace en una dirección diferente a la analizada simplemente ponderando entre las dos medidas obtenidas.

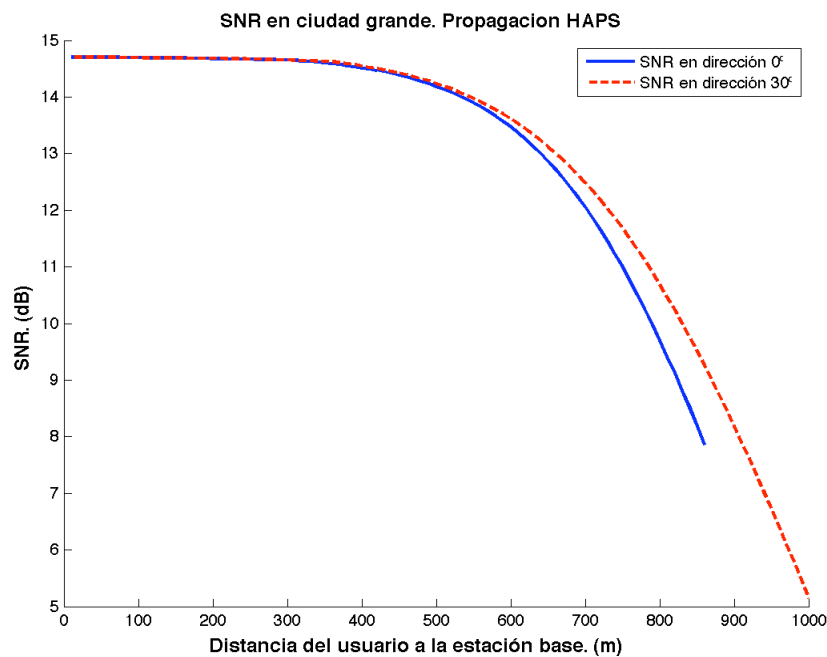
Al igual que se hizo en el capítulo dos, vamos a realizar la misma simulación para tres entornos distintos, ciudad grande, centro suburbano y zona rural, aunque en este caso la única diferencia entre ellos residirá en el coeficiente de ortogonalidad (0.5 para ciudad, 0.3 para centro suburbano y 0.1 para zona rural) ya que el modelo de propagación será el mismo para todos ellos.

Los valores de la simulación son los siguientes:

- $P_{\max} = 2 \text{ W}$
- $P_{\text{HSDPA}} = 1 \text{ W}$
- Radio célula = 1 Km. en ciudad, 2 Km. en entorno suburbano y 4 Km. en zona rural.
- Altura HAP = 18 Km.
- Factor de ruido = 8 dB
- $L_{\text{extra}} = 10 \text{ dB}$  en ciudad, 5 dB en entorno suburbano y 2 dB en zona rural.

Los resultados obtenidos quedan mostrados en las **Figuras 6.2, 6.3 y 6.4.**

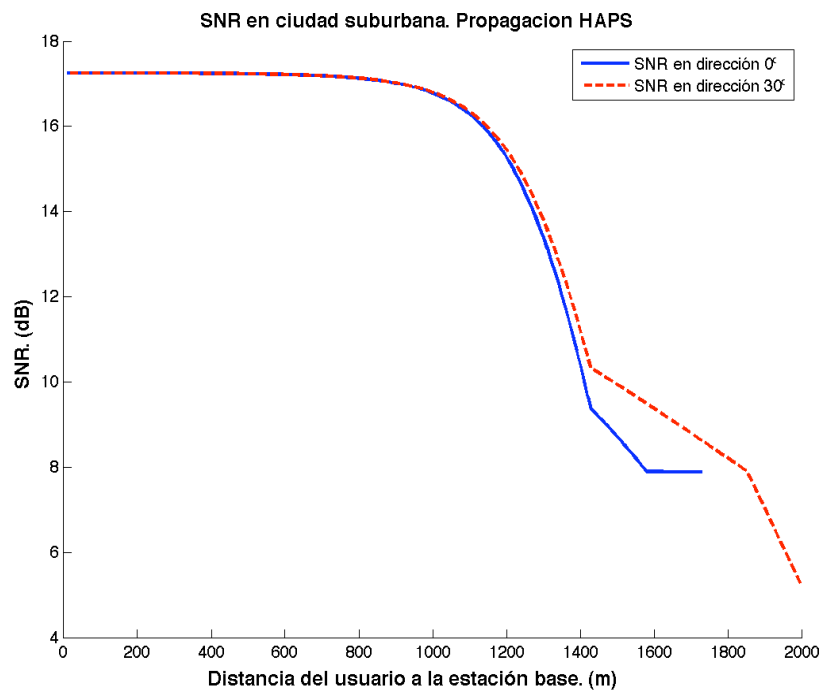
1º escenario: ciudad grande.



**Figura 6.2:** SNR recibida en ciudad grande en las dirección de 0° y 30°.

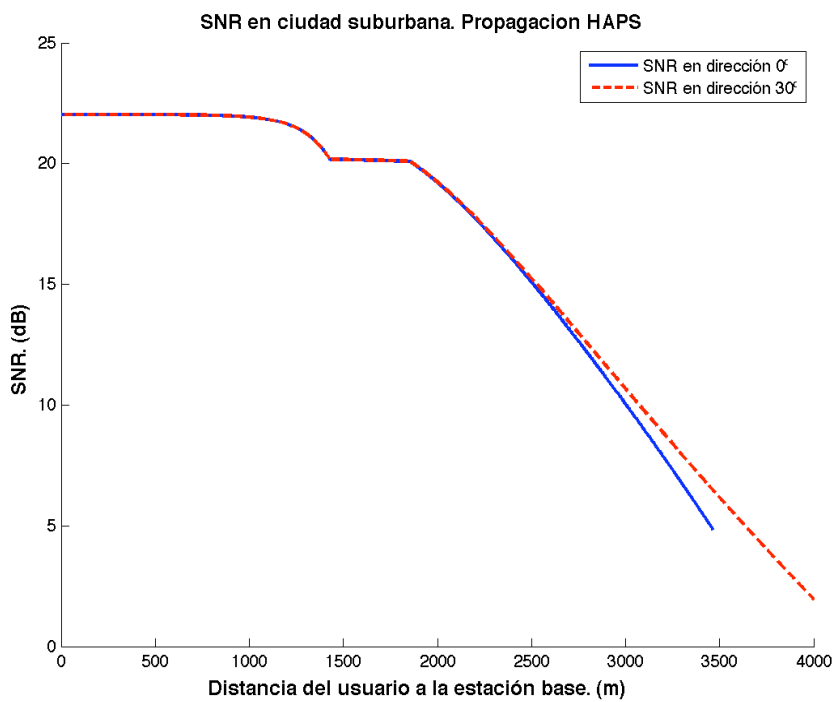
## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

### 2° escenario: ciudad suburbana.



**Figura 6.3:** SNR recibida en ciudad suburbana en las direcciones de 0° y 30°.

### 3° escenario: zona rural.



**Figura 6.4:** SNR recibida en zona rural en las direcciones de 0° y 30°.

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

---

Los resultados obtenidos nos muestran la misma solución que en el escenario de las macro célula en el cual el camino de  $0^\circ$  presenta una relación señal a ruido en recepción ligeramente peor que la que puede recibir un usuario que se desplace por la de  $30^\circ$ . La explicación del porqué de este fenómeno quedó ya explicada en el apartado correspondiente del capítulo dos y debemos añadir que a excepción de los tramos finales, la diferencia entre una y otra traza no es lo suficiente como para poder provocar un cambio en los órdenes de modulación de la comunicación.

En las figuras donde se muestran los resultados obtenidos del segundo y tercer entorno, quedan reflejados unas irregularidades en las trazas que llaman la atención. Estas irregularidades son debidas a la no linealidad de la ganancia de la antena la cual depende del ángulo con el que recibe la señal de información, y sigue una función discontinua definida a trozos. Al ser un radio de celda tan grande, el ángulo con el que recibe el usuario la señal de información es cada vez es mayor a medida que se aleja del centro, de modo que cuando el ángulo es suficiente para provocar que la ganancia venga definida por otra ecuación, la SNR mostrará una irregularidad como consecuencia del cambio de ecuación que define la ganancia de la antena de la estación base.

A pesar de que las conclusiones siempre se deben realizar para el caso peor para saber que las conclusiones obtenidas serán válidas para todos los entornos, en las siguientes simulaciones obtendremos soluciones para ambos caminos, ya que únicamente con el camino de  $0^\circ$  no podemos hallar los resultados en el borde de la célula.

### 6.3.1.2 Variación de la SNR ante distintos valores de potencia dedicada a la tecnología HSDPA.

El objetivo de esta función es la de determinar como influye sobre la relación señal a ruido recibida, un cambio en la potencia dedicada en exclusiva a la tecnología HSDPA. Al igual que en todos los escenarios anteriores, la potencia dedicada tiene una relación directa con el perfil de SNR recibido por lo que se supone que cuanto mayor sea esta, mayor será el nivel de calidad de la señal recibida. La decisión de la cantidad de potencia que se dedica a HSDPA, depende exclusivamente del planificador de red de la estación base el cual deberá controlar la potencia en función

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

del tráfico de voz que esté cursando, ya que este siempre tiene prioridad sobre el de datos.

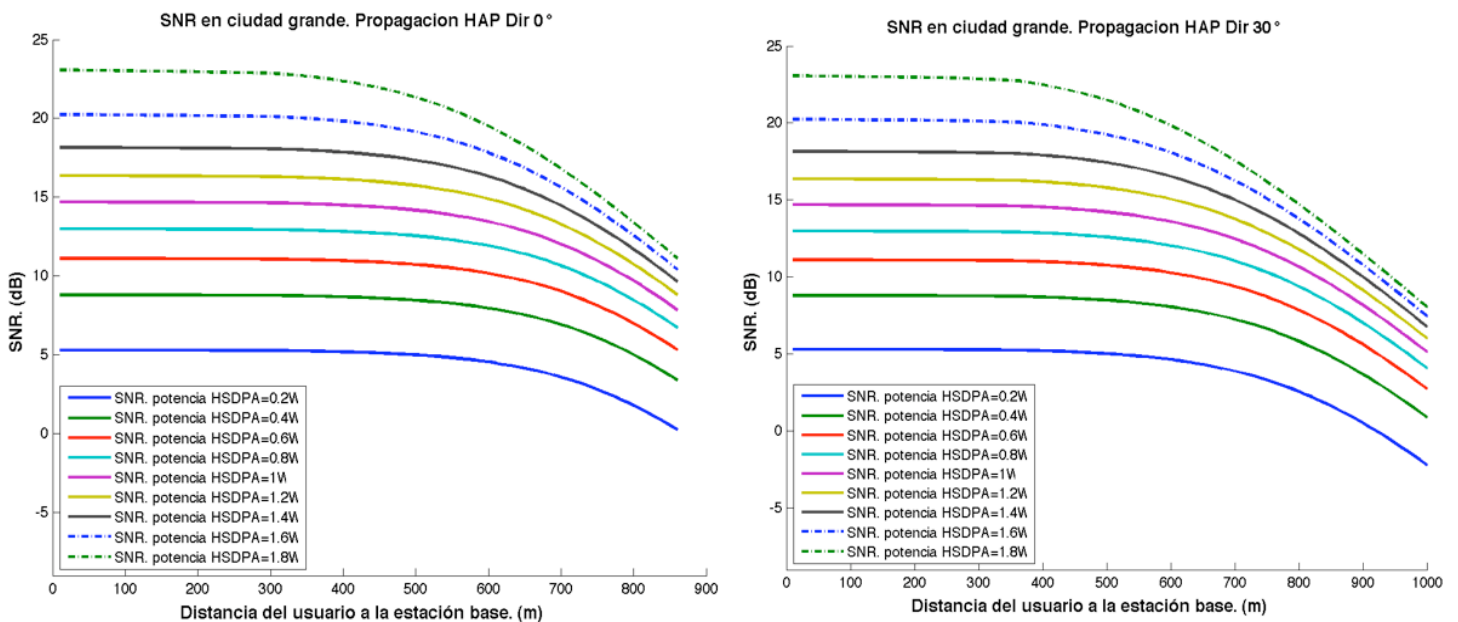
El estudio lo realizaremos analizando un rango de potencias dedicadas que abarque desde los 0.2 W, mínima potencia necesaria, hasta los hipotéticos 1.8 W con los que en caso de ser dedicados, sería imposible realizar una llamada de voz.

Los valores de los parámetros son los siguientes:

- $P_{\max} = 20 \text{ W}$
- $P_{\text{HSDPA}} = [0.2:0.2:1.8] \text{ W}$
- Radio célula = 1 Km. en ciudad, 2 Km. en entorno suburbano y 4 Km. en zona rural.
- Altura HAP = 18 Km.
- Factor de ruido = 8 dB
- $L_{\text{Extra}} = 10 \text{ dB}$  en ciudad, 5 dB en entorno suburbano y 2 dB en zona rural.

Los resultados quedan mostrados en las **Figuras 6.5, 6.6 y 6.7**.

### 1º escenario: ciudad grande.

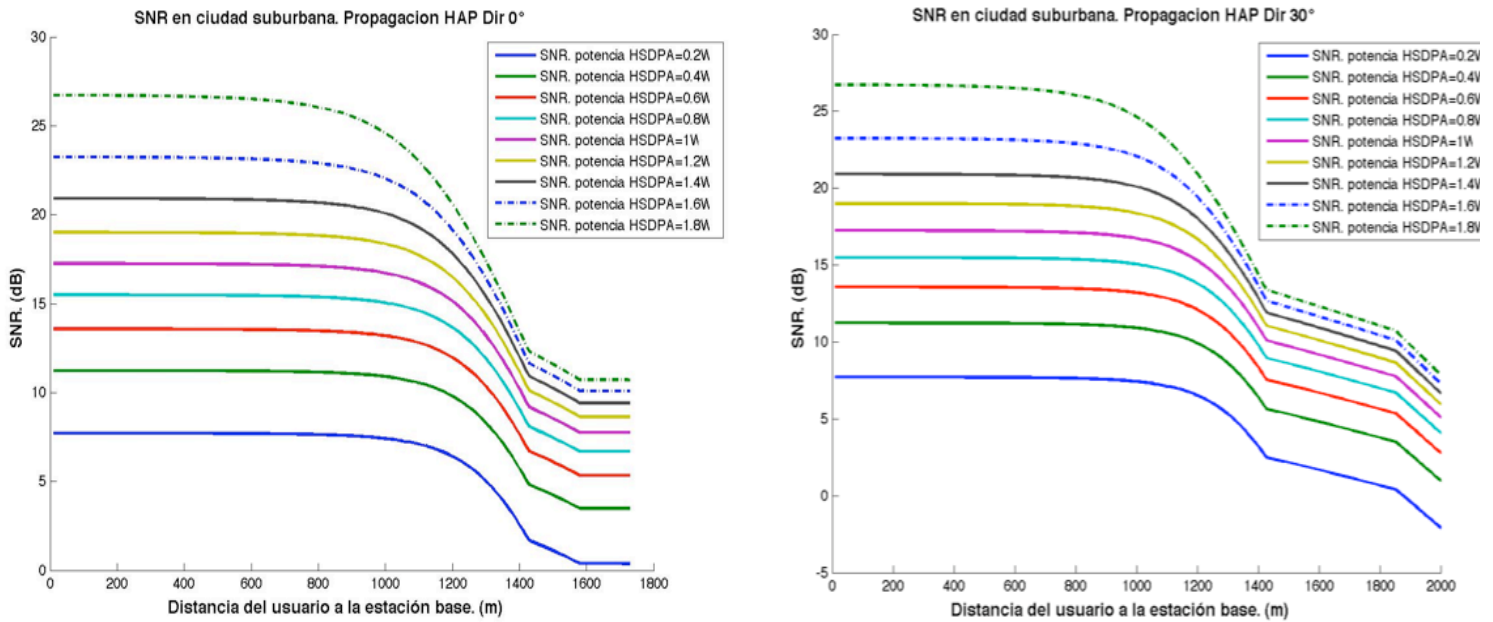


**Figura 6.5:** SNR recibida ante distintos valores de potencia dedicada. Ciudad grande.



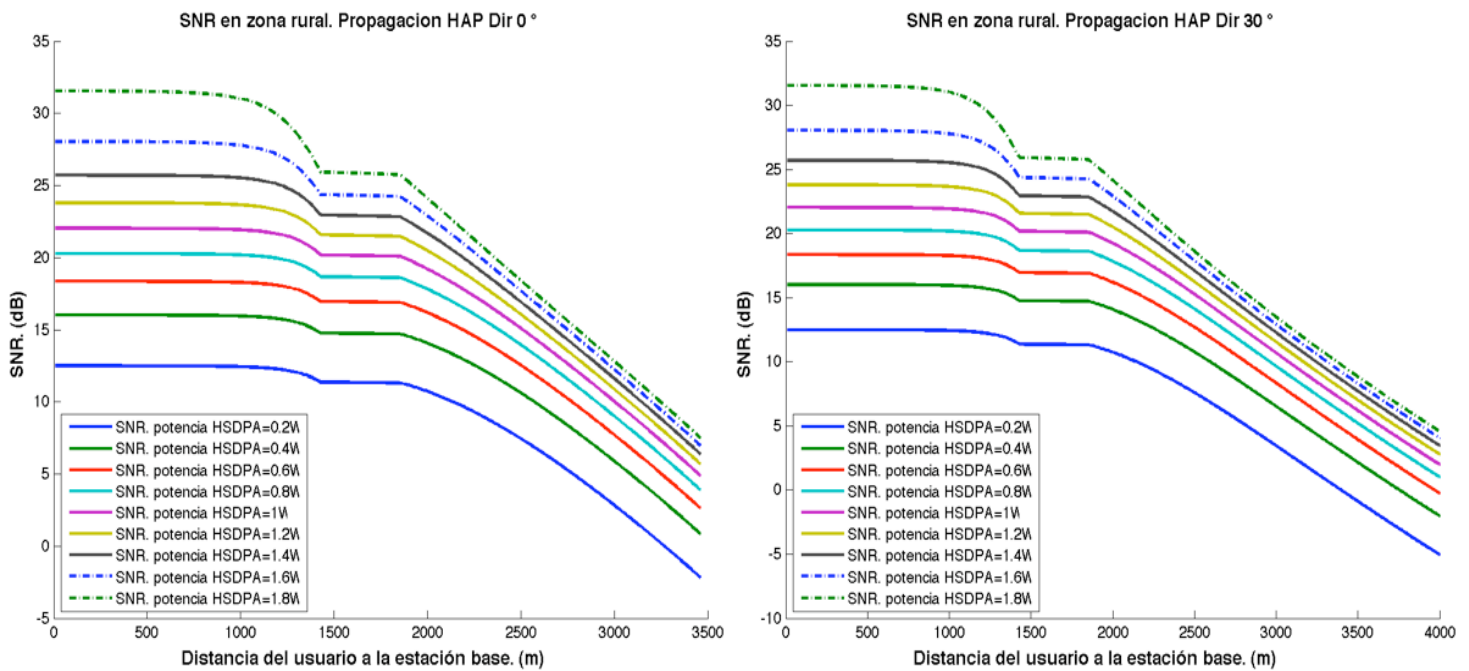
## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

### 2° escenario: ciudad suburbana.



**Figura 6.6:** SNR recibida ante distintos valores de potencia dedicada. Ciudad Suburbana.

### 3° escenario: zona rural.



**Figura 6.7:** SNR recibida ante distintos valores de potencia dedicada. Zona Rural.

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

---

Los resultados obtenidos muestran exactamente lo que esperábamos obtener, a medida que aumenta la potencia dedicada la SNR recibida es mejor y cabe la posibilidad de emplear órdenes de modulación más elevados. Nuestro interés será el de poder emplear en cada momento la máxima potencia dedicada posible para poder proporcionar un servicio de descarga de datos de alta calidad a los clientes.

### 6.3.1.3 Variación de la SNR ante distintos valores de la altura del HAP.

El fin de este apartado es el de determinar como influye sobre la relación señal a ruido recibida el cambio de la altura a la que se encuentra el HAP sobre la superficie terrestre. Al ser un sistema que se encuentra en el aire y debe desplazarse a la misma velocidad de rotación de la Tierra para poder actuar como un satélite geoestacionario, pueden existir innumerables factores que influyan en su desplazamiento y puedan afectar al servicio, como por ejemplo pueden ser las corrientes de aire. Para evitar estos inconvenientes o simplemente para tener una mayor radio de acción, se puede modificar la altura del HAP para intentar lograr en cada momento las mejores condiciones posibles para la comunicación.

Un cambio en la altura del HAP provoca que el ángulo con el que el usuario recibe la señal sea menor, pudiendo gozar de una mayor ganancia en la antena transmisora, mientras que por el contrario la distancia que tendrá que recorrer la señal será considerablemente mayor, provocando mayores pérdidas de propagación lo que puede llevar a una disminución del nivel de SNR recibida. Nuestro objetivo es cuantificar este efecto.

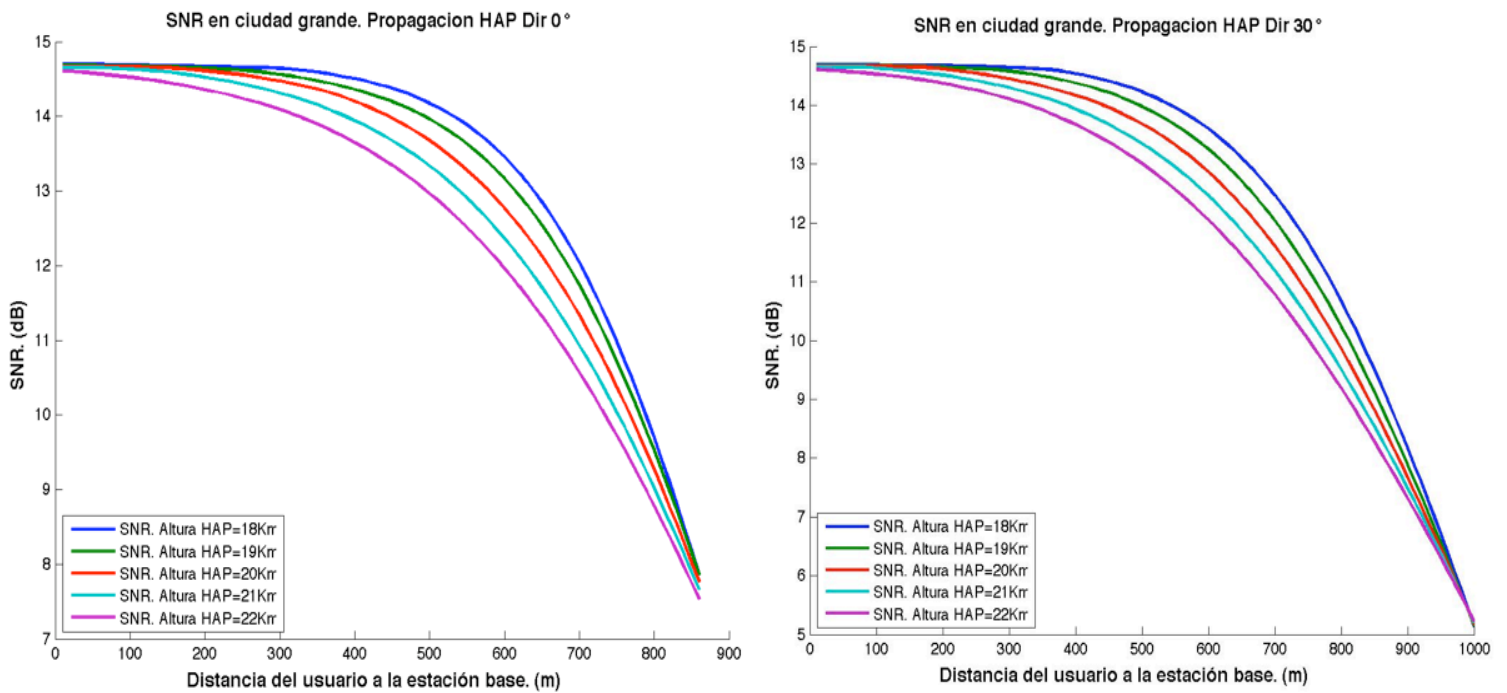
Los valores de los parámetros son los siguientes:

- $P_{\max} = 2 \text{ W}$
- $P_{\text{HSDPA}} = 1 \text{ W}$
- Radio célula = 1 Km. en ciudad, 2 Km. en entorno suburbano y 4 Km. en zona rural.
- Altura HAP = [18:22]Km.
- Factor de ruido = 8 dB
- $L_{\text{Extra}} = 10 \text{ dB}$  en ciudad, 5 dB en entorno suburbano y 2 dB en zona rural.

Los resultados obtenidos se muestran en las **Figuras 6.8, 6.9 y 6.10.**

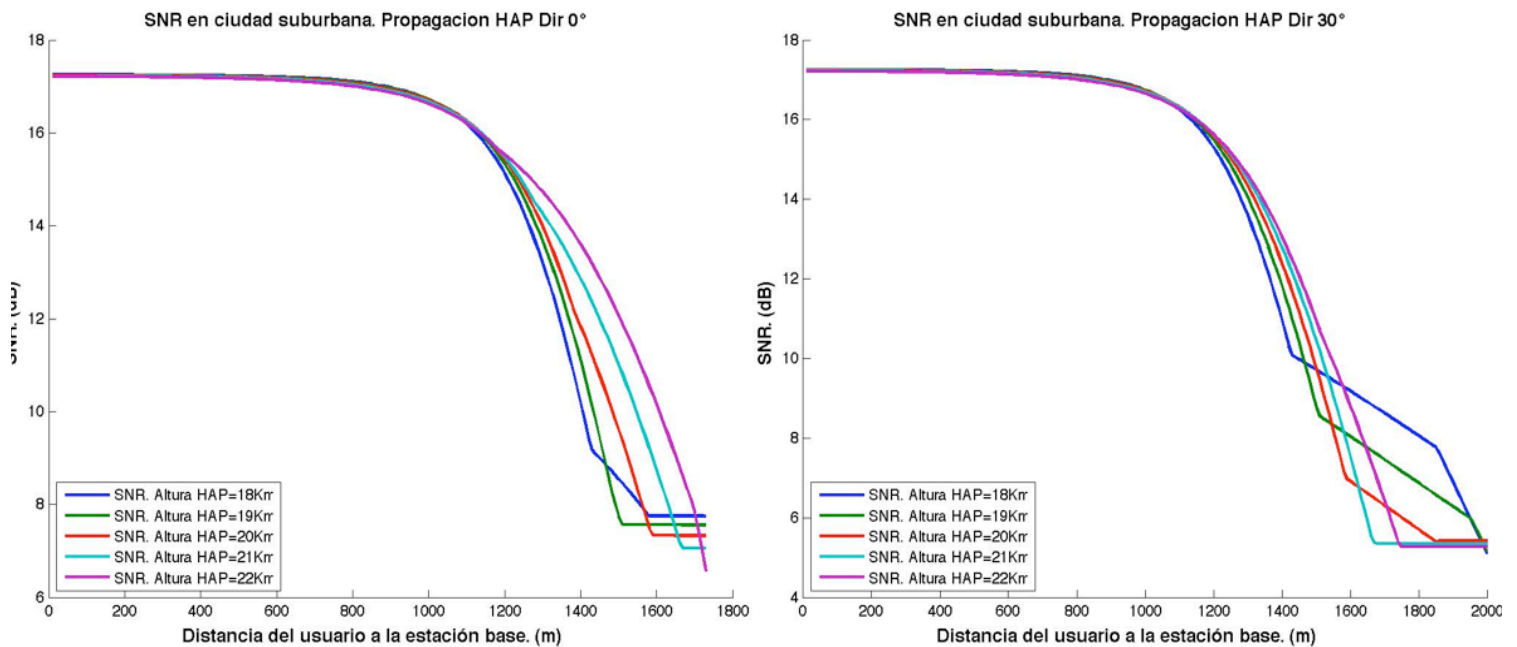
## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

### 1° escenario: ciudad grande.



**Figura 6.8:** SNR recibida ante distintos valores de la altura del HAP. Ciudad Grande.

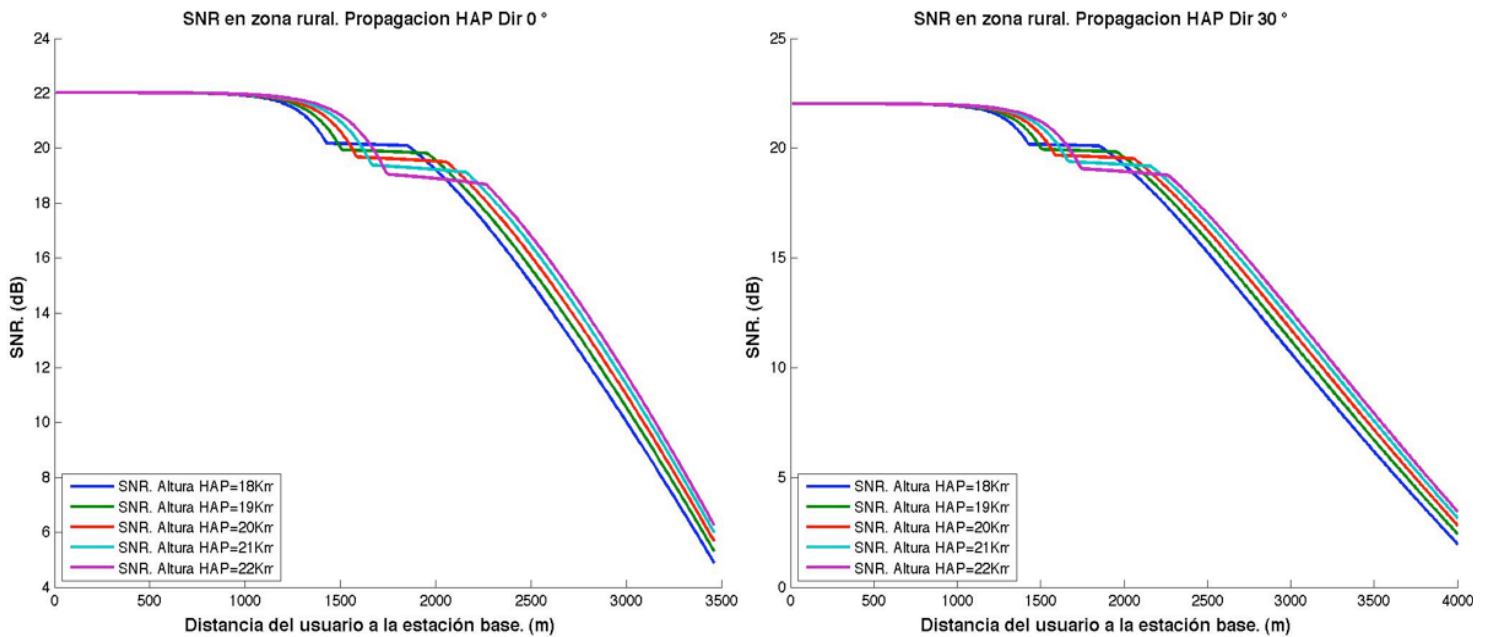
### 2° escenario: ciudad suburbana.



**Figura 6.9:** SNR recibida ante distintos valores de la altura del HAP. Ciudad Suburbana.

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

### 3° escenario: zona rural.



**Figura 6.10:** SNR recibida ante distintos valores de la altura del HAP. Zona Rural.

Observando las trazas de los resultados obtenidos, podemos sacar unas conclusiones globales que se pueden aplicar a todos los entornos estudiados.

Como podemos ver en las gráficas mostradas, a medida que se incrementa la altura a la que se encuentra el HAP, disminuye ángulo de incidencia de la señal sobre el usuario cuanto mayor es la altura del HAP respecto a la superficie de la tierra, lo que permite disfrutar de una mayor ganancia de antena durante una mayor distancia. Sin embargo a pesar de esta ventaja, el aumento de la altura repercute seriamente en la distancia que debe recorrer la señal hasta llegar al terminal del usuario, haciendo que las pérdidas de propagación sean mayores y que la potencia de ruido del terminal tome más importancia a la hora de la SNR resultado final, obteniendo como resultado una peor calidad de señal recibida en la primera zona a medida que aumentamos la altura del HAP.

En el entorno de ciudad urbana, donde la interferencia interna es alta, puede apreciarse como un aumento en la distancia que debe recorrer la señal provoca una disminución de la SNR recibida, por lo que cuanto mayor sea la altura del HAP, peor serán las condiciones del sistema.

En otros entornos diferentes a los de una gran ciudad, las bajas interferencias internas que sufre nuestra señal, evitan que el aumento de la distancia a recorrer

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

---

influya negativamente en la SNR recibida, a excepción de aquellos tramos en las configuraciones con una mayor altura de HAP, en los que el cambio de ecuación de la ganancia se produce a una distancia mayor debido a ángulo de incidencia, y la SNR recibida se sitúa en niveles inferiores a los de otras configuraciones con alturas de HAP menores, hasta que el ángulo de incidencia de la señal sea el suficiente para provocar otro cambio en la ecuación que determina la ganancia y nuevamente la calidad de señal recibida vuelva a ser mayor, cuanto más alto se sitúe el HAP.

### 6.3.1.4 Variación de la SNR ante distintos valores del radio de la célula.

La intención de este apartado es la de analizar como afecta a la relación señal a ruido recibida en nuestro terminal un cambio en el radio de la célula. En anteriores capítulos hemos podido ver como esta variación no provocaba cambios importantes en la SNR recibida, pero en este caso, al no existir una ganancia constante de la antena y depender ésta del ángulo de incidencia de la señal, nos hace pensar que un cambio en el radio de la celda provocará significativos cambios en la calidad de señal recibida.

A continuación procederemos a realizar este análisis empleando unos radios de células que tengan relación con el entorno en el que nos encontremos.

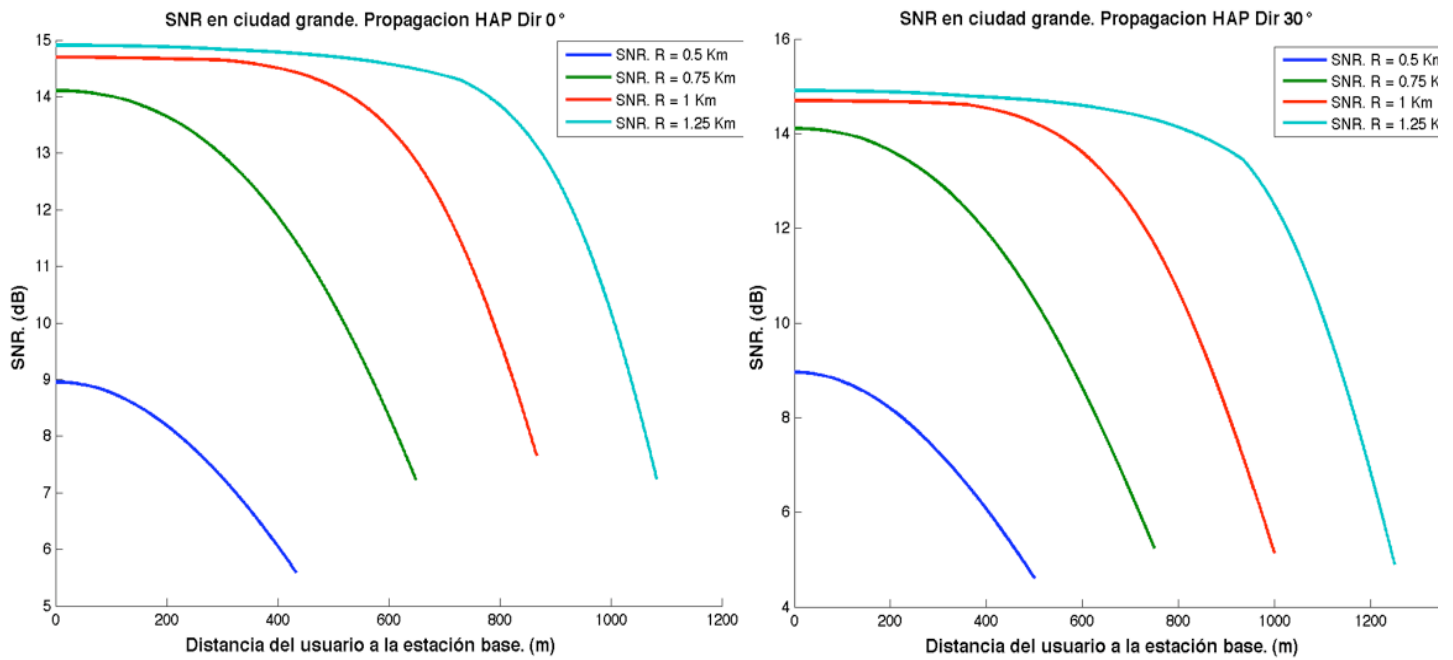
El valor de los parámetros es el siguiente

- $P_{\max} = 2 \text{ W}$
- $P_{\text{HSDPA}} = 1 \text{ W}$
- Radio célula = [0.5:0.25:1.25] Km. en el entorno de ciudad grande, [1:0.5:2.5] en el entorno de centro suburbano, y [2:5] en el caso de zona rural.
- Altura HAP = 18 Km.
- Factor de ruido = 8 dB
- $L_{\text{Extra}} = 10 \text{ dB}$  en ciudad, 5 dB en entorno suburbano y 2 dB en zona rural.

Los resultados obtenidos son los mostrados en las **Figuras 6.11, 6.12, y 6.13**:

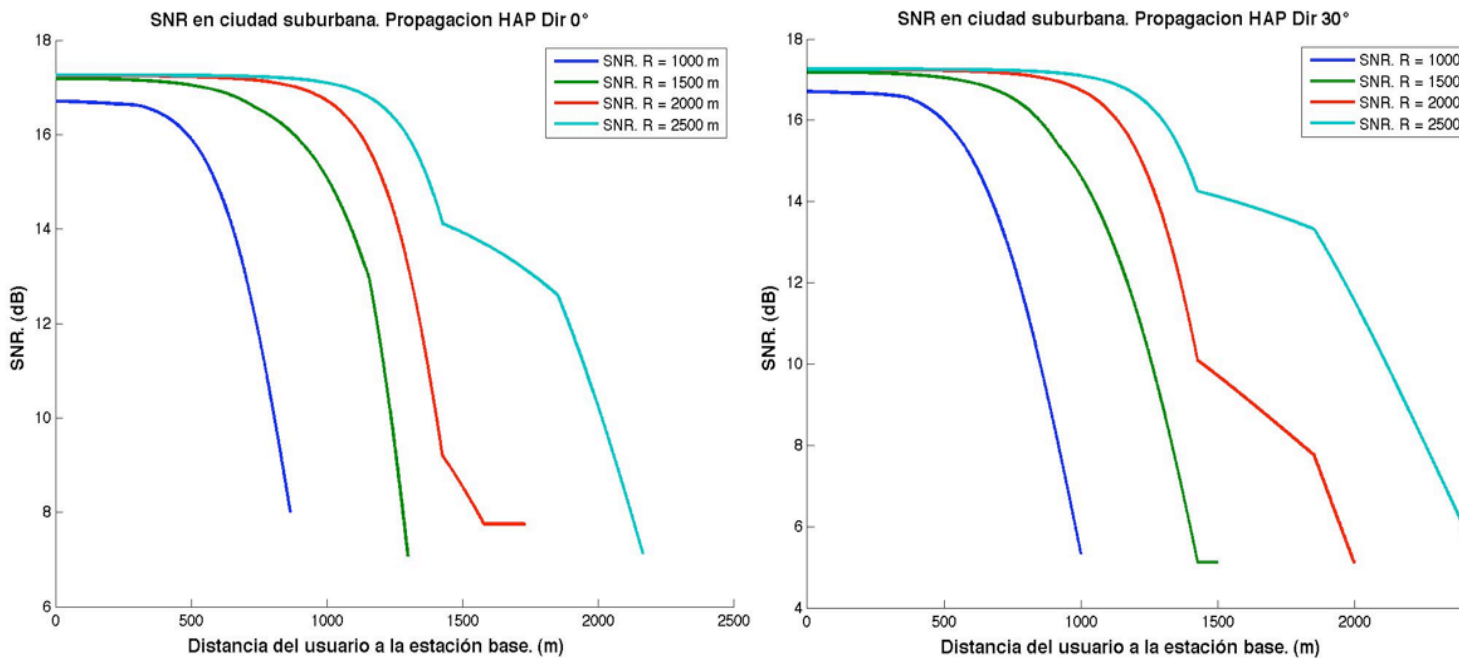
## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

### 1° escenario: ciudad grande.



**Figura 6.11:** SNR recibida ante distintos valores del radio de la celda. Ciudad Grande.

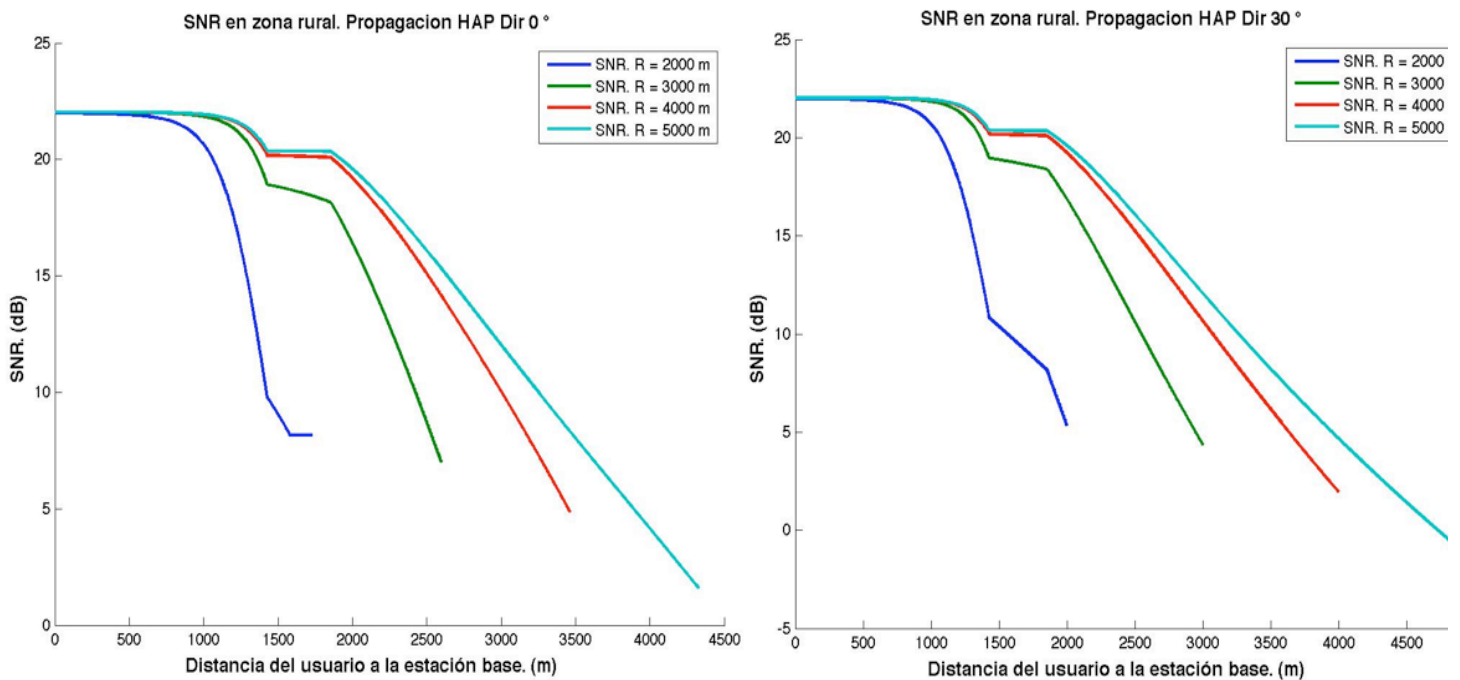
### 2° escenario: ciudad suburbana.



**Figura 6.12:** SNR recibida ante distintos valores del radio de la celda. Ciudad Suburbana.

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

### 3° escenario: zona rural.



**Figura 6.13:** SNR recibida ante distintos valores del radio de la celda. Zona Rural.

Los resultados obtenidos no dejan lugar a dudas de que este es el medio de propagación de la señal en el cual más influye sobre la SNR recibida el cambio en el radio de la celda, pudiendo destacar dos grandes diferencias entre los resultados obtenidos en este medio de propagación y los demás que hemos estudiado.

La primera de ellas es que cuando los radios de las células son pequeños, inferiores a un metro por lo que sólo atañe a las grandes ciudades, el número de decibelios en el centro de la célula es menor cuanto más pequeño es el radio.

Si realizamos un sencillo cálculo podemos determinar de manera aproximada el valor de SNR recibida si estamos en el centro de la celda. Simplemente deberemos aproximar la interferencia externa a cero ya que la distancia a la que se encuentran las estaciones bases interferentes es la máxima posible, y reducir las pérdidas de propagación a cero porque nos encontramos en el mismo centro de la celda, para a continuación, sumar la potencia dedicada a la ganancia por decodificación y a ligeras ganancias extras como el factor de sectorización, aunque en este escenario no exista, para posteriormente restar la potencia interferente interna teniendo en cuenta el valor del factor de ortogonalidad. Todo ello en decibelios. Realizando esta cuenta obtenemos que deberíamos disponer de una SNR de 15 dB en el centro de la célula en

## **6. Estudio de HSDPA basado en HAP**

---

una ciudad grande, sin embargo, cuando los radios son pequeños esta cantidad es inferior.

El porqué de este fenómeno es debido a la antena transmisora cuya ganancia de señal depende del ángulo de incidencia con la que la recibamos. Cuando el radio de las células que empleemos sea, el ángulo con el que recibamos las señales interferentes externas será pequeño por lo que serán percibidas con mayor energía debido a la gran ganancia de transmisión. Esta peculiaridad provoca que la ganancia externa no pueda dejar de tenerse en cuenta hasta incluso en posiciones muy cercanas al centro de la celda, tomando valores mucho mayores que la interferencia interna e incluso que la potencia de señal en el mismo centro de la celda, de ahí los bajos valores de SNR obtenidos cuando los radios son pequeños.

La segunda característica que se puede apreciar en los resultados, es la falta de similitud en las trazas obtenidas para uno y otro radio. Esto se debe simplemente a que a medida que se aumenta el radio el ángulo con el que se recibe la señal aumenta y puede que la ecuación que define la ganancia de nuestra señal cambie, provocando con ello, una variación anómala en el perfil obtenido.

La conclusión que podemos obtener tras realizar este apartado, es el de que siempre deberemos emplear el mayor radio de acción posible para poder obtener el mejor perfil, aunque en determinadas ocasiones, donde la densidad de población es muy elevada, la opción de grandes radios es imposible.

### **6.3.2 Calculo de la modulación binaria empleada en la comunicación, en función de la calidad de señal recibida**

Tras finalizar el estudio anterior en el que hemos estudiado como afectan a la relación señal a ruido recibida un cambio en los parámetros de la comunicación, procedemos a realizar un análisis similar con el que pretendemos analizar el impacto de estas modificaciones sobre los esquemas de modulación de la comunicación, que son realmente los que tienen una relación directa con la velocidad binaria de descarga final.



## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

---

El estándar que rige las condiciones en las que se debe dar la comunicación es el mismo para este método de propagación que para los demás, por lo que emplearemos la **Tabla 3.1** para realizar las correspondencias entre valor de SNR y orden de modulación empleado.

Para evitar mostrar más imágenes de las debidas, únicamente se añadirán a la memoria aquellas gráficas que muestren nueva información y no redundante.

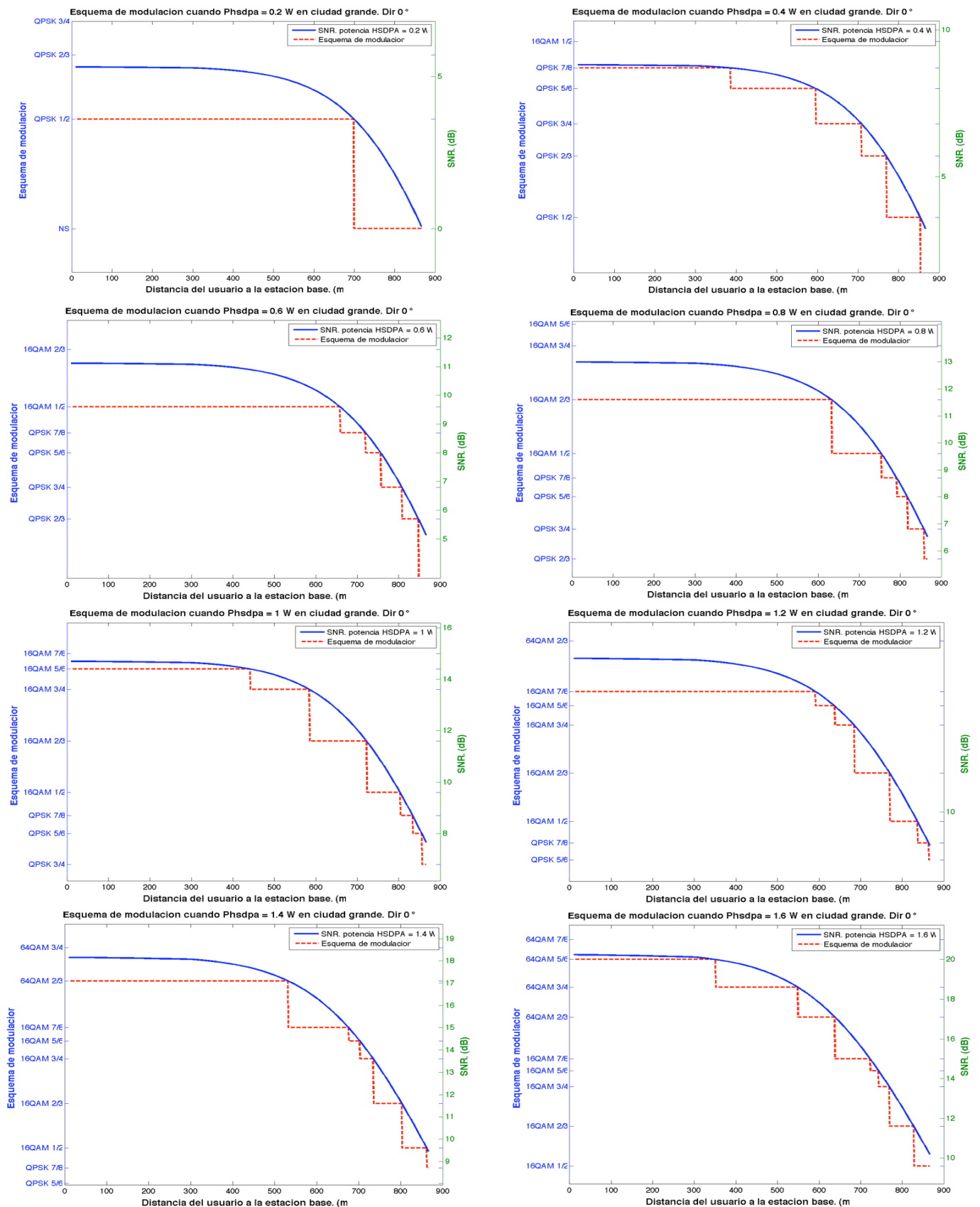
### 6.3.2.1 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores de potencia dedicada a la tecnología HSDPA

En esta primer sección analizaremos como influyen sobre los órdenes de modulación el cambio en la potencia dedicada en exclusiva a la potencia HSDPA. A continuación mostraremos las gráficas de los esquemas de modulación obtenidos para unas potencias dedicadas que abarcan desde los 0.2 W hasta los 1.6 W. Al igual que en anteriores capítulos, hemos eliminado la opción de que existan 1.8 W dedicados a HSDPA porque significaría que dicha célula no proporcionaría servicio de telefonía, una situación totalmente improbable. El resto de los valores de los parámetros de simulación, son los mismos que los mostrados en la sección 6.3.1.2.

Los resultados obtenidos, son los mostrados en las **Figuras 6.14, 6.15, 6.16, 6.17, 6.18 y 6.19.**

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

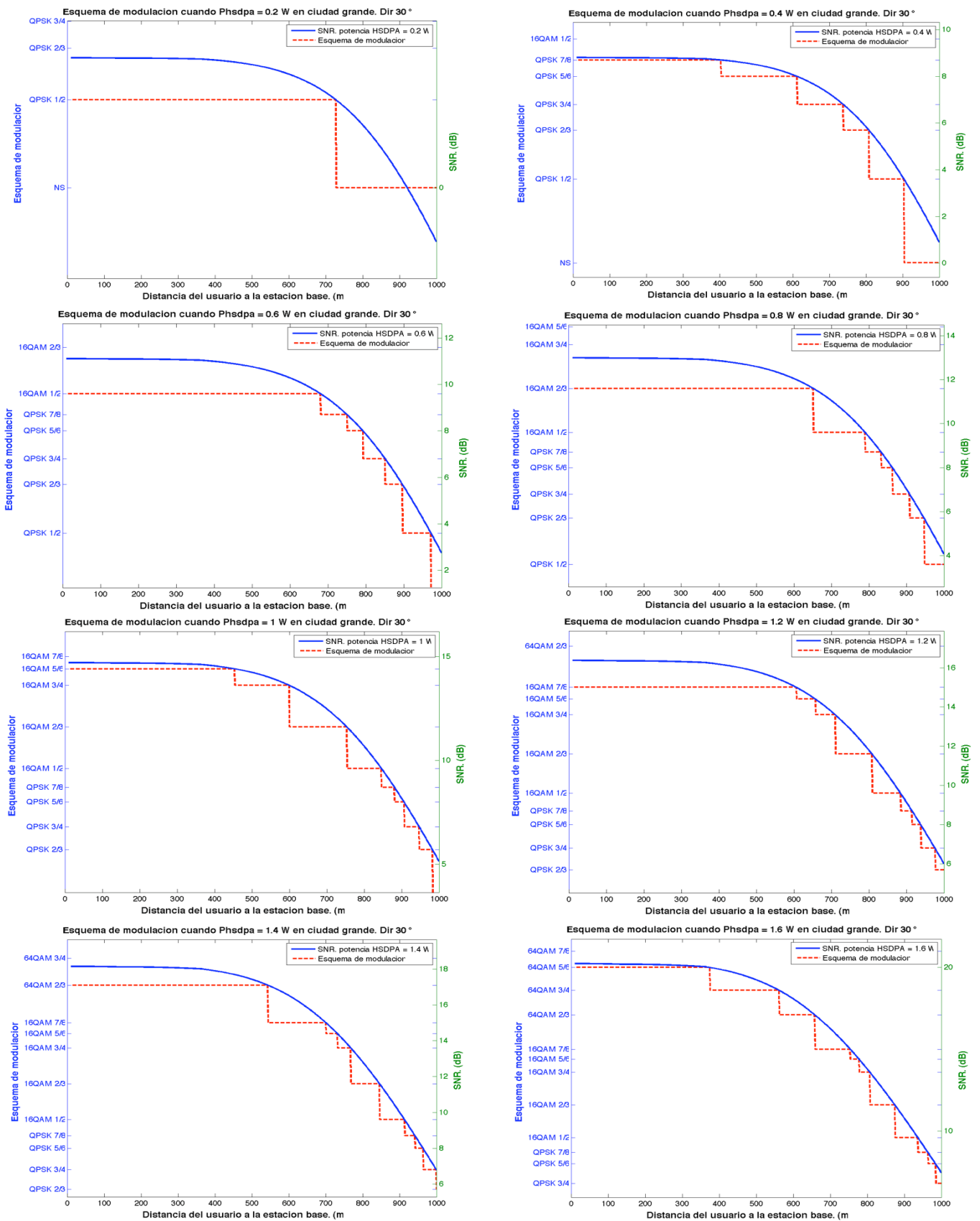
### 1º escenario: ciudad grande. Dirección de 0º



**Figura 6.14:** Esquema de modulación ante distintos valores de las potencias dedicadas. Ciudad Grande. Dir 0º.

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

### 1º escenario: ciudad grande. Dirección de 30°



**Figura 6.15:** Esquema de modulación ante distintos valores de las potencias dedicadas. Ciudad Grande. Dir 30°.

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

### 2º escenario: ciudad suburbana. Dirección de 0°

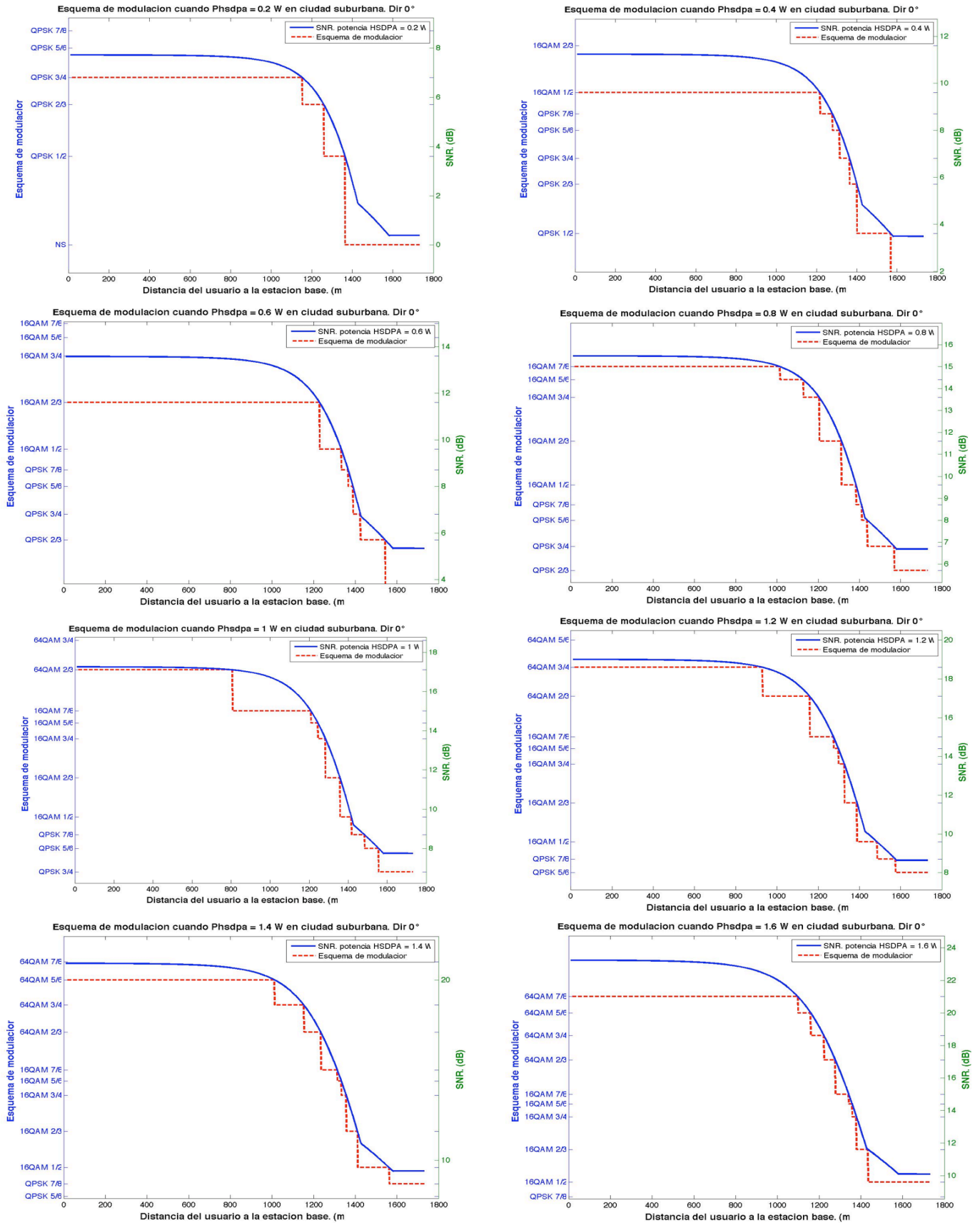


Figura 6.16: Esquema de modulación ante distintos valores de las potencias dedicadas. Ciudad Suburbana. Dir 0°.

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

### 2º escenario: ciudad suburbana. Dirección de 30°

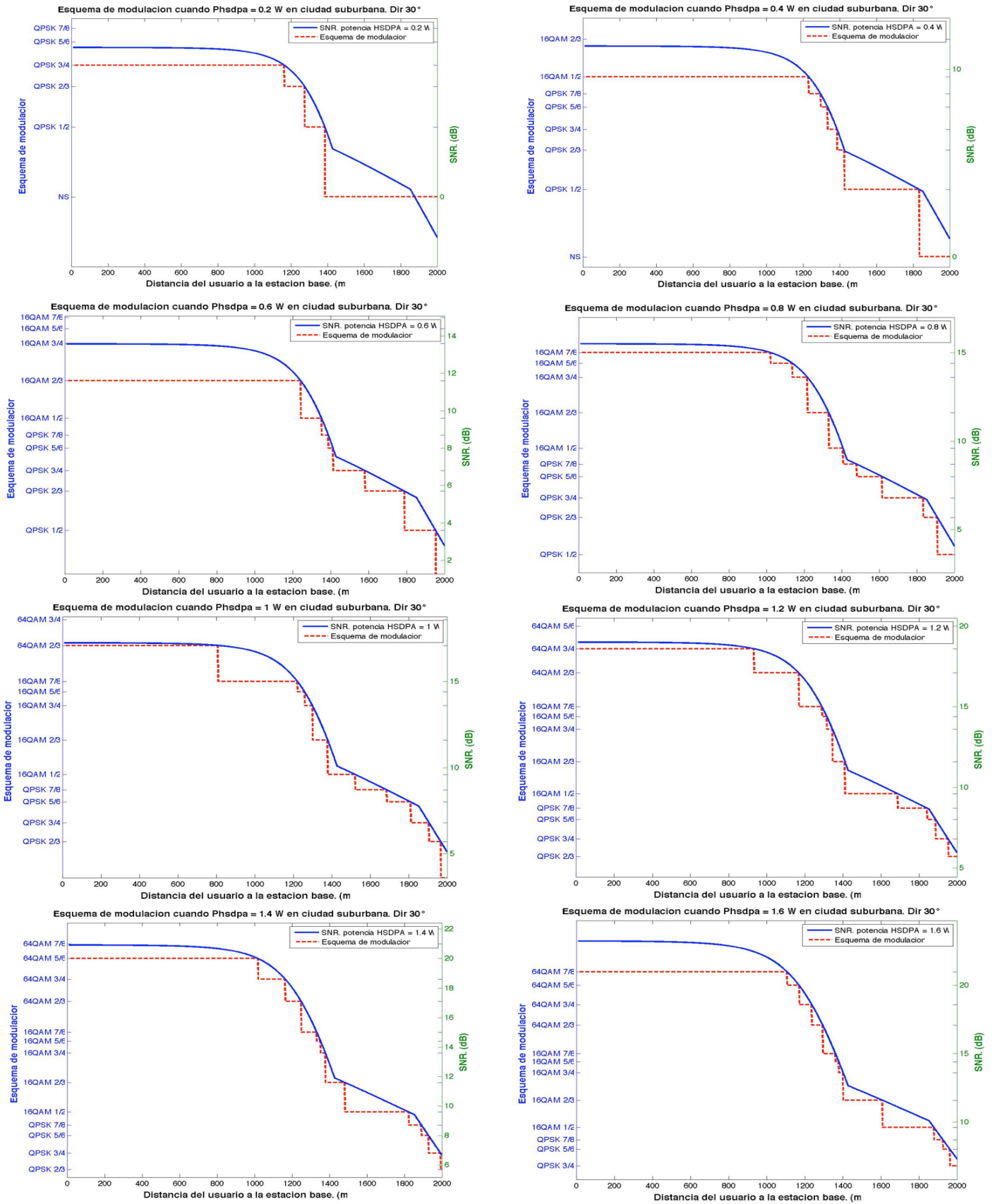


Figura 6.17: Esquema de modulación ante distintos valores de las potencias dedicadas. Ciudad Suburbana. Dir 30°.

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

### 3° escenario: zona rural. Dirección de 0°.

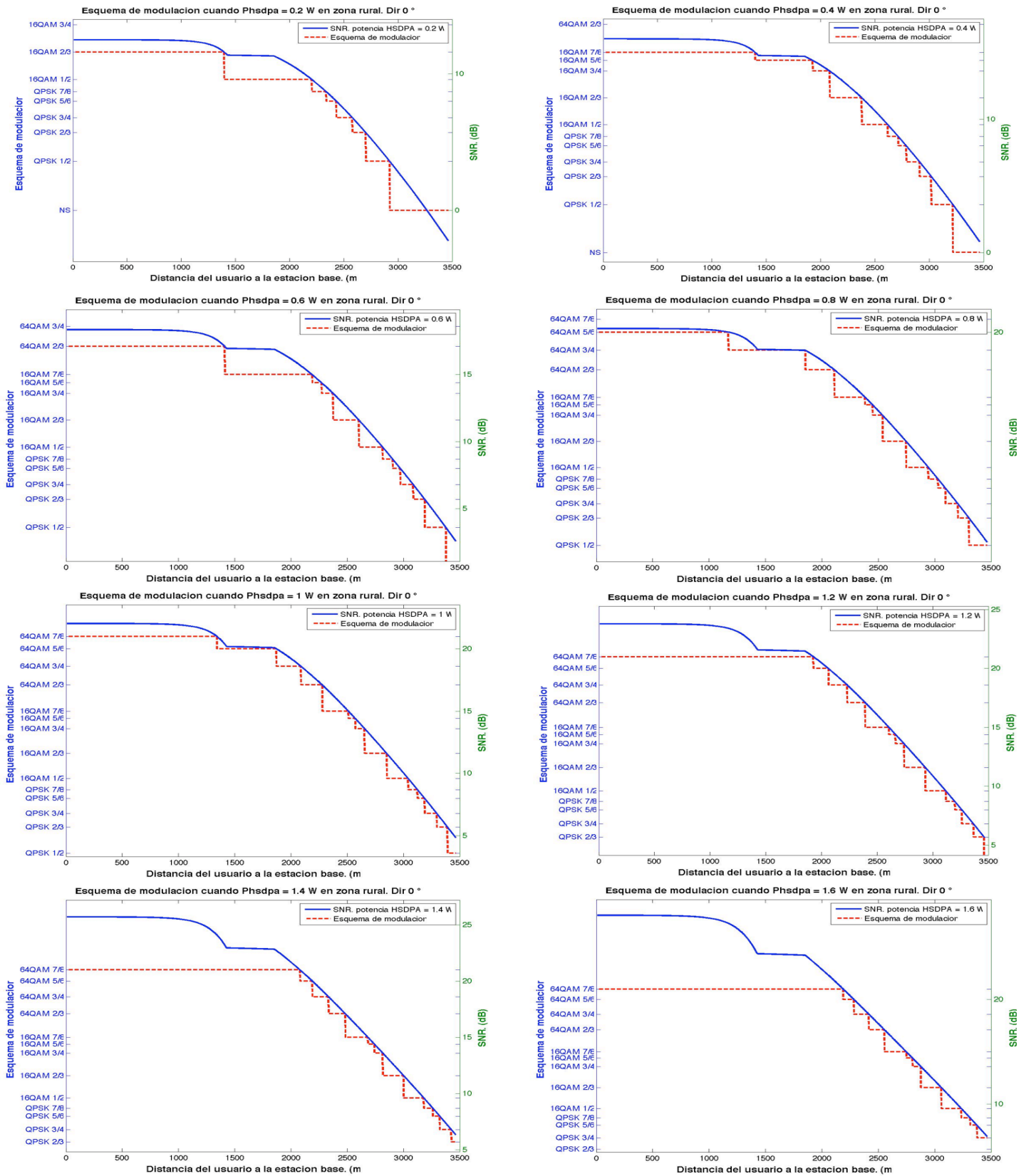


Figura 6.18: Esquema de modulación ante distintos valores de las potencias dedicadas. Zona Rural. Dir 0°.

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

### 3° escenario: zona rural. Dirección de 30 °

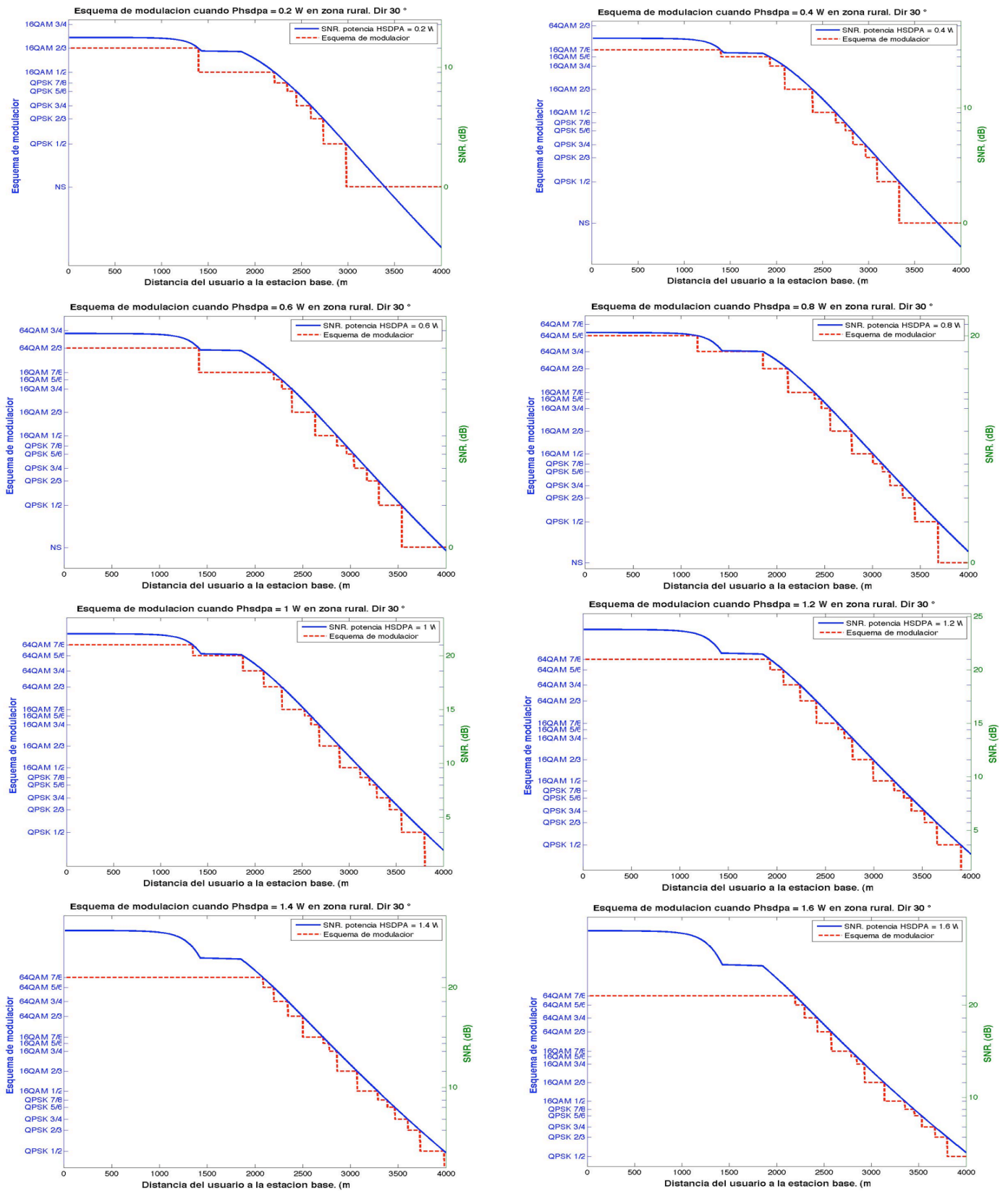


Figura 6.19: Esquema de modulación ante distintos valores de las potencias dedicadas. Zona Rural. Dir 0°.

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

---

Al igual que en la sección anterior en la que concluimos que el incremento de la potencia dedicada produce un aumento en el nivel de relación señal a ruido recibida, tras realizar este estudio podemos obtenerla misma conclusión, ya que como se puede apreciar en la colección de imágenes que hemos mostrado, un aumento de la potencia dedicada se ve siempre recompensada con un incremento en los órdenes de modulación de la comunicación, lo que a la postre se recompensará con un aumento en la tasa binaria de descarga. Además de esta conclusión, debemos destacar que la máxima modulación que marca el estándar *Release 7* para esta tecnología, se alcanza en potencias altas en entornos suburbanos y rurales, lo que significa que con medio de propagación se puede hacer uso de todo el potencial que normaliza el estándar.

Analizando los dos caminos que puede seguir el usuario, uno puede darse cuenta fácilmente que el nivel de SNR recibida cuando el usuario sigue la dirección de  $0^\circ$  es menor que cuando sigue el de  $30^\circ$ , aunque sin embargo, esta diferencia es tan escasa que apenas existe diferencia entre los esquemas de modulación de ambos caminos. Debido a esto, se puede emplear el camino de  $30^\circ$  grados para determinar la tasa binaria de un usuario que se desplaza por el de  $0^\circ$  cometiendo un error despreciable en el resultado final.

### 6.3.2.2 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores de la altura del HAP.

El fin de este apartado es el de determinar si las variaciones que sufre el perfil de SNR recibido cuando se modifica la altura del HAP, provocan algún cambio significativo en los órdenes de modulación que se pueden emplear en la comunicación. Tras observar los peculiares resultados obtenidos en el apartado anterior donde se estudiaba la variación de este mismo parámetro, cabe esperar que los esquemas de modulación sufran variaciones significativas entre una y otra altura.

Al igual que hemos hecho en el anterior apartado, sólo se van a mostrar aquellas configuraciones que muestren nueva información y no redundante. El resto de los valores de los parámetros es el mismo que en el apartado 6.3.1.3.

Los resultados obtenidos son los mostrados en las **Figuras 6.20, 6.21, y 6.22**:



## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

### 1º escenario: ciudad grande.

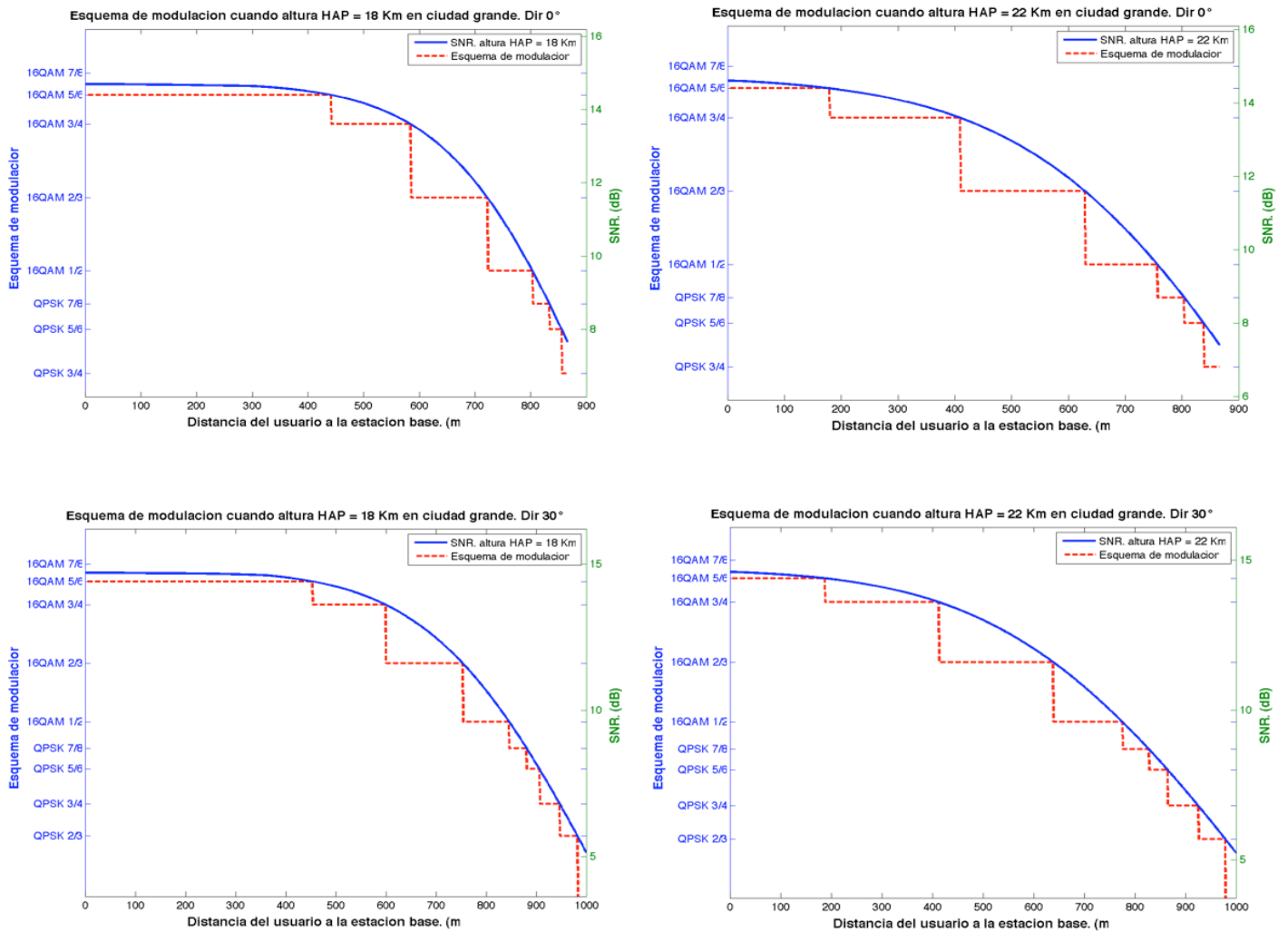
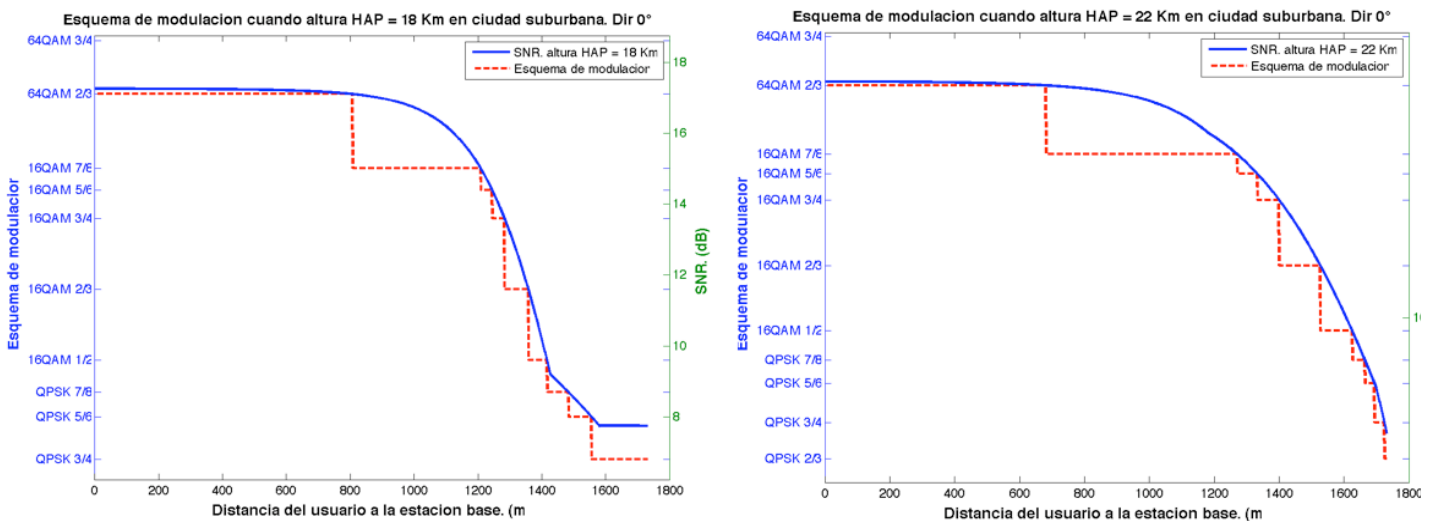


Figura 6.20: Esquema de modulación ante distintas alturas del HAP. Ciudad Grande.

### 2º escenario: ciudad suburbana.



## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

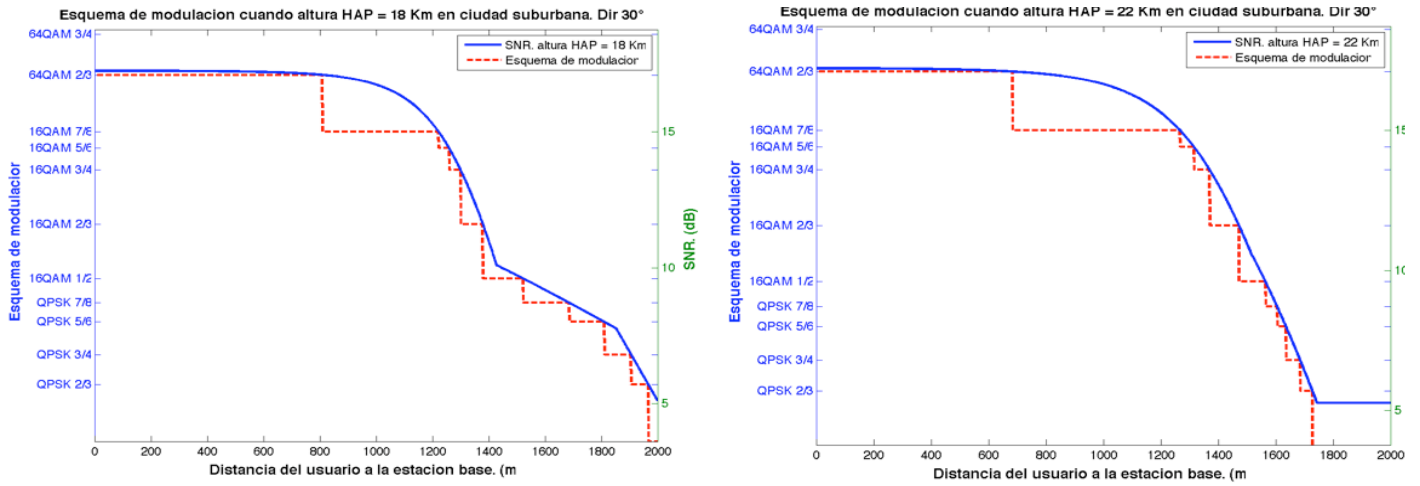


Figura 6.21: Esquema de modulación ante distintas alturas del HAP. Ciudad Suburbana.

### 3° escenario: zona rural.

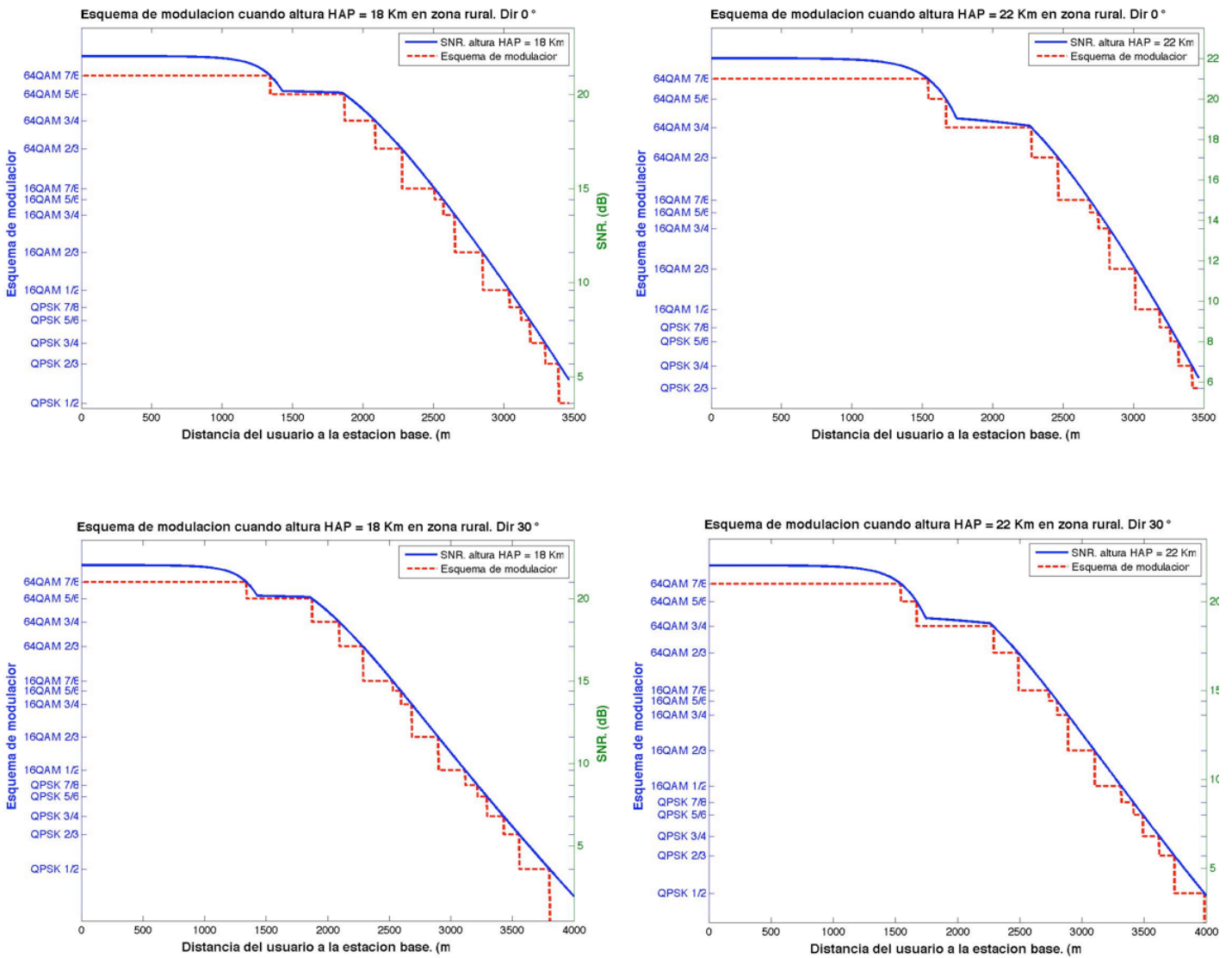


Figura 6.22: Esquema de modulación ante distintas alturas del HAP. Zona Rural.

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

---

Sólo se ha mostrado las imágenes correspondiente a la altura del HAP de 18 y 22 kilómetros para cada uno de los caminos, ya que las demás configuraciones analizadas para cualquiera de los dos caminos y de los tres entornos, muestran el mismo esquema de modulación que el sistema que dispone de una altura de 18 kilómetros.

Como podemos ver tras los resultados obtenidos, a pesar de las modificaciones que sufre el perfil de SNR recibido con el cambio de altura del HAP, este no es suficiente para producir cambios significativos en los órdenes de modulación, siendo estos iguales para cualquiera de las configuraciones a excepción de las que poseen una altura de HAP de 22 kilómetros, en las cuales, en los últimos metros de la célula pueden sufrir variaciones de no más de un orden de modulación con respecto a los obtenidos en el resto de las configuraciones.

La única diferencia que se puede apreciar entre aquellas configuraciones que presentan el mismo esquema de modulación, es la distancia sobre la que se aplica un orden de modulación determinado, siendo esta mayor, cuanto menor es la altura del HAP debido a que la pendiente de caída del perfil será menor como se ha podido ver en los resultados obtenidos en la sección 5.1.1.3. Aun a pesar de esto, la diferencia entre distancias de aplicación es muy pequeña, por lo que las tasas binarias de descarga medias de descarga no se verán prácticamente afectadas por la altura a la que se encuentre el HAP que les proporciona el servicio.

### 6.3.2.3 Variación de la modulación empleada en la comunicación ante distintos valores del radio de la celda.

El objetivo de este apartado es el de determinar como afecta al esquema de modulación de la comunicación un cambio en el radio de la célula. Como pudimos ver en el anterior apartado donde analizábamos como afectaba sobre el perfil de SNR el cambio del radio de la celda, cabe esperar grandes cambios en los esquemas de modulación de grandes ciudades mientras que en los demás entornos se esperan obtener resultados más o menos iguales entre sí.

Al igual que en las anteriores secciones, sólo se van a mostrar aquellas imágenes que muestren nueva información y no repetida.

Los resultados obtenidos son los mostrados en las **Figuras 6.23, 6.24, y 6.25.**

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

### 1° escenario: ciudad grande.

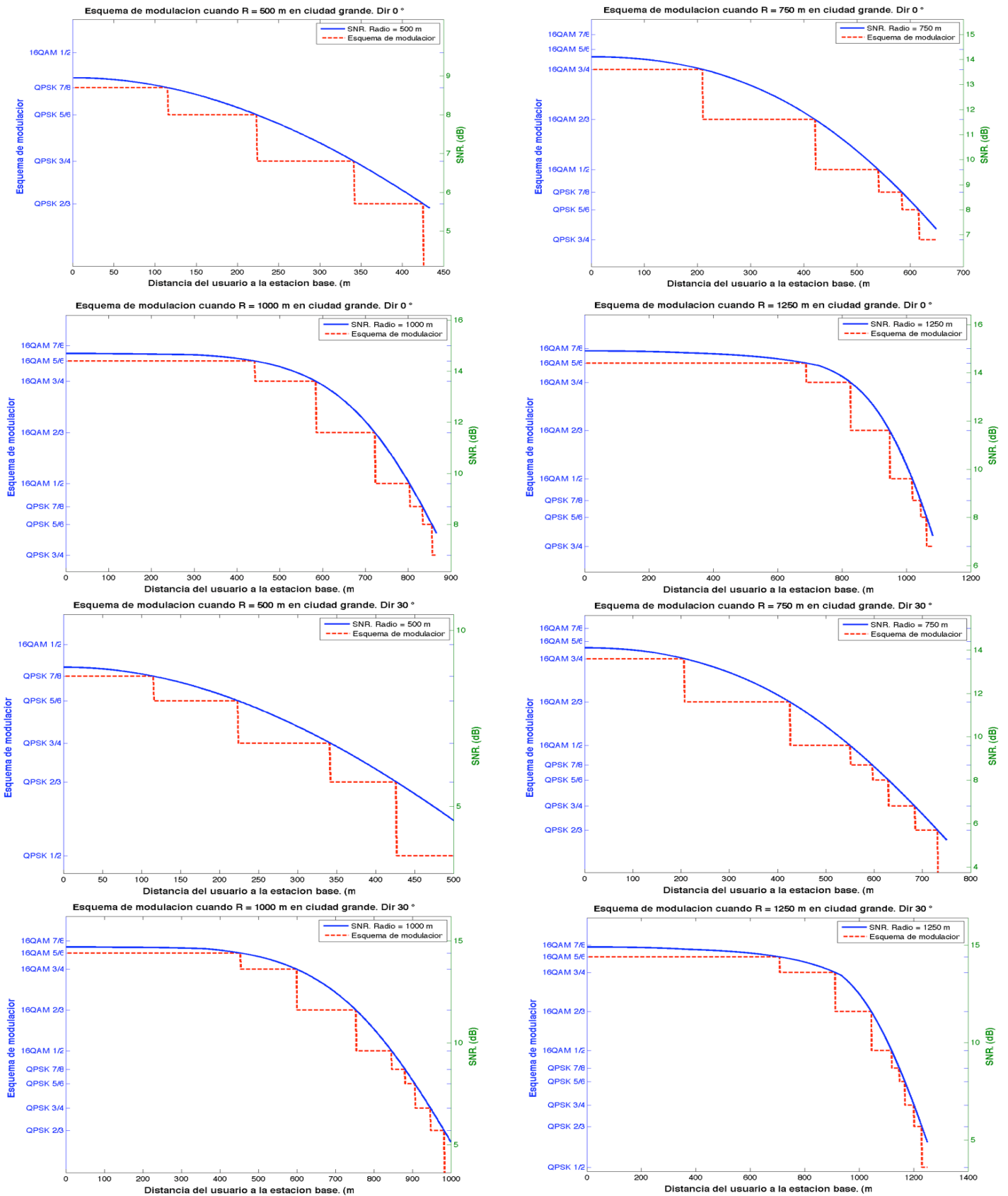


Figura 6.23: Esquema de modulación ante varios radios de celda. Ciudad Grande.

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

### 2° escenario: ciudad suburbana.

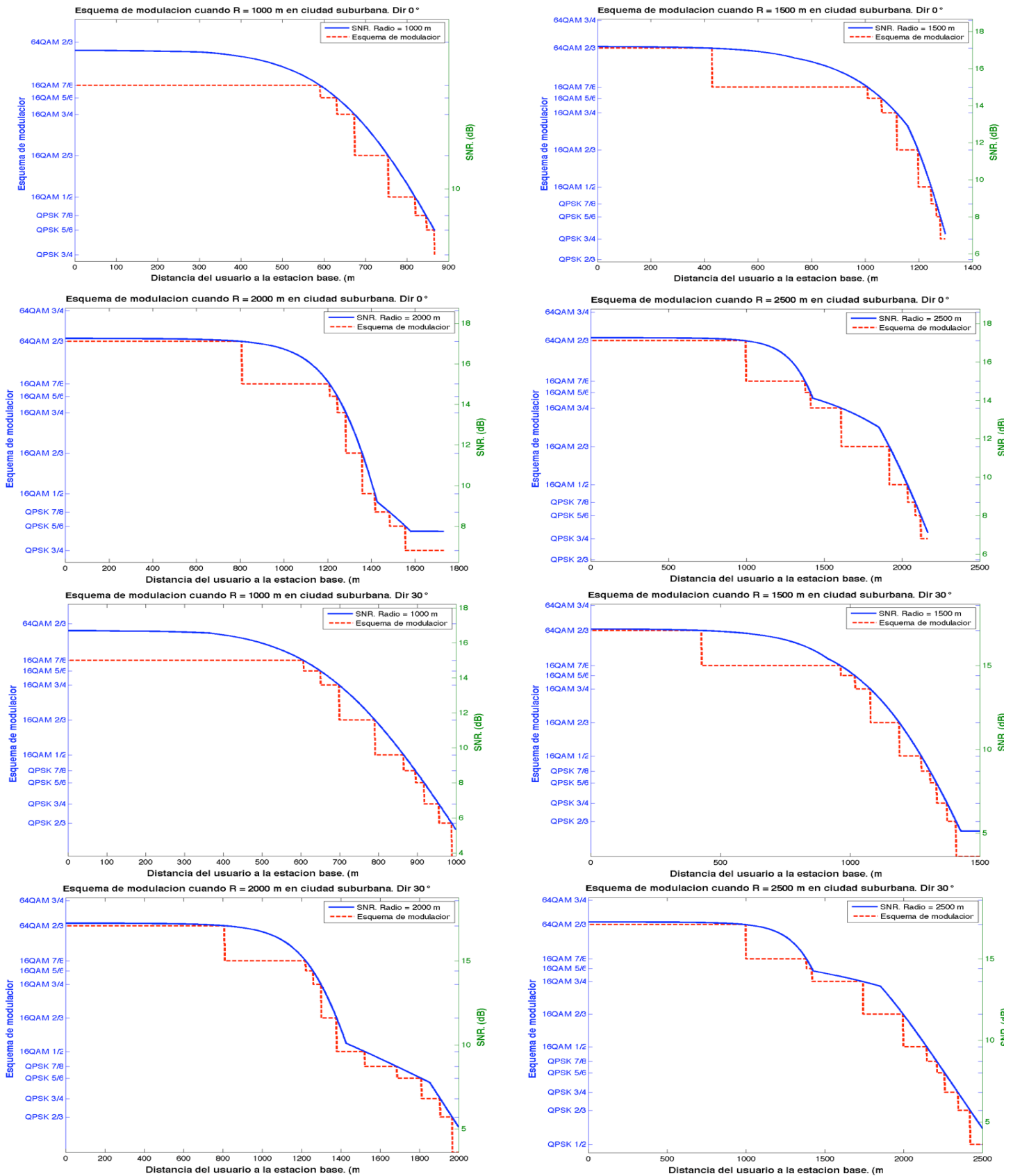


Figura 6.24: Esquema de modulación ante varios radios de celda. Ciudad Suburbana.

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

### 3° escenario: zona rural

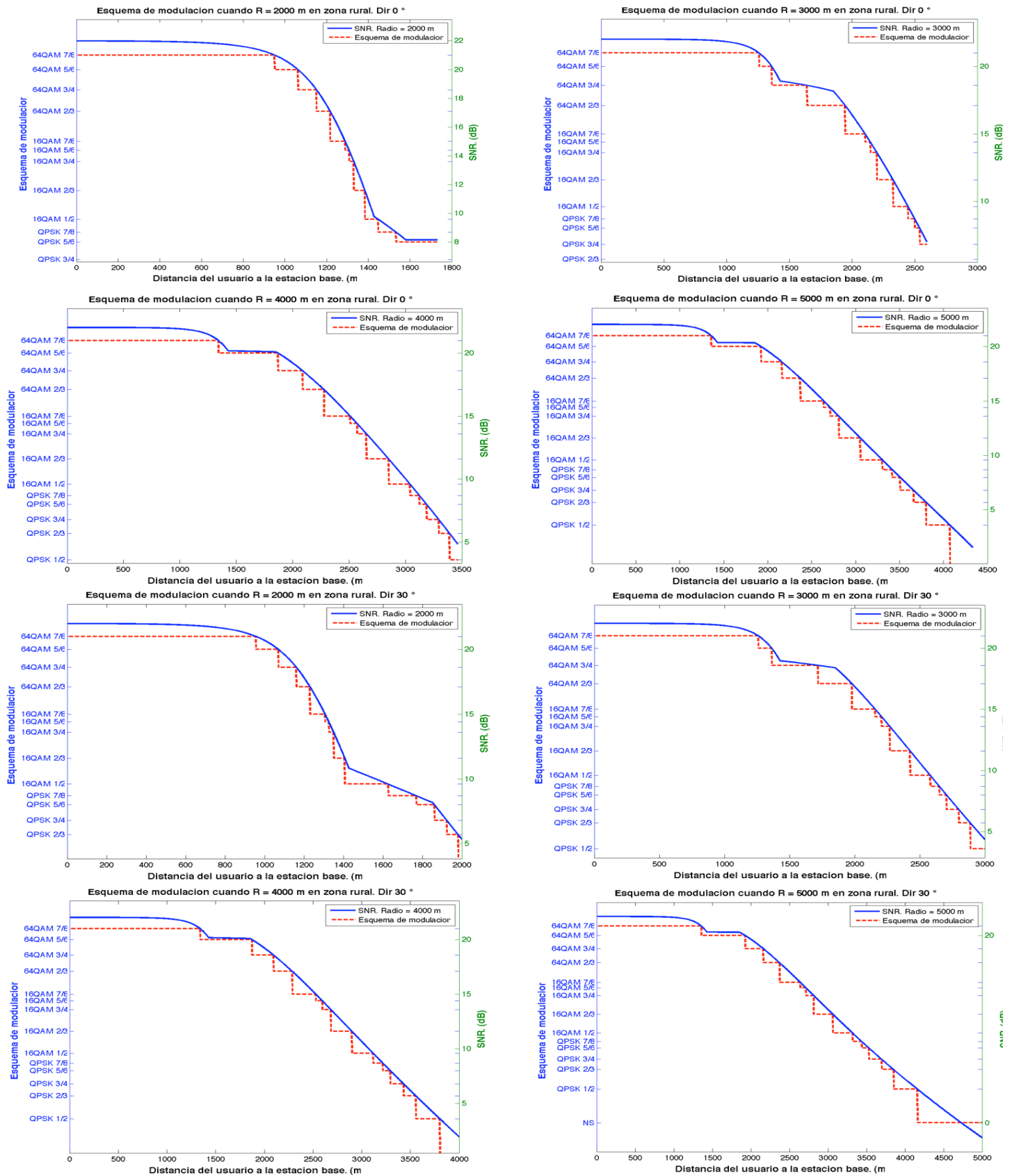


Figura 6.25: Esquema de modulación ante varios radios de celda. Zona Rural.

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

---

Analizando los resultados obtenidos, podemos ver como un cambio en el radio de la célula influye notablemente en el esquema de modulación de la comunicación, modificando no sólo la distancia de acción de un orden en particular, si no también haciendo entrar en juego uno o dos nuevos órdenes de modulación.

Viendo las gráficas mostradas, es sencillo determinar cual debe ser el radio de acción máxima para cada uno de los entornos estudiados. En el caso de una gran ciudad, el radio de celda debe ser lo más amplio posible, siendo su distancia óptima la de un kilómetro. En el caso de una ciudad suburbana, la conclusión es la misma que en el de ciudad grande, siendo la distancia de dos kilómetros. En el caso de zona rural, la conclusión no es la misma, ya que las grandes distancias afectan gravemente a la pendiente de caída del perfil de SNR recibido, provocando que en los últimos metros de la célula pueda ser imposible proporcionar servicio HSDPA. La distancia óptima del radio está comprendida entre los tres y cuatro kilómetros.

Al igual que sucede con todos los análisis que estamos realizando, las discrepancias se producen entre uno y otro radio, mientras que los esquemas de modulación para un mismo radio pero diferentes direcciones, apenas presentan diferencias, pudiendo emplearse el esquema del camino de 30 ° para determinar la velocidad media de descarga del usuario que sigue el de 0 ° cometiendo un error despreciable.

### **6.3.3 Configuración óptima de códigos cuando más de un cliente está accediendo al servicio**

El objetivo de este apartado es el de estudiar el comportamiento del sistema cuando varios usuarios acceden al servicio al mismo tiempo y deben compartir los recursos existentes entre ellos. Además de ello determinaremos el número de códigos que se deberá emplear la estación base, a repartir entre los clientes, que maximiza el tráfico de datos de descarga. Empleando tal número de códigos en la comunicación, optimizaremos el tráfico de datos desde el punto de vista del operador de telefonía, punto que puede no coincidir con el que espera el cliente.

El método que emplearemos para simular esta situación, será el mismo que el que se ha empleado en el resto de los capítulos a excepción de dos grandes diferencias. La primera de ellas es que en este caso calcularemos las pérdidas de propagación mediante el modelo de pérdidas en el espacio libre, ya que nuestro HAP

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

---

se encuentra a unos 18 Km. de altura. La segunda gran diferencia es que en este caso no existen sectores y el número de códigos óptimos que obtengamos, serán los que tengan que repartirse entre todos los clientes de la celda. Esto es debido a que una sola antena, situada en el HAP, proporciona servicio a todo el área de la célula y no a un solo sector de ella.

Para determinar la configuración óptima de códigos, nos vamos a basar en las velocidades media de descarga promediando en todo el radio de la célula para determinar cual de las combinaciones muestra un mejor comportamiento respecto a las demás, del mismo modo que sólo mostraremos aquellos resultados que consideremos más relevantes.

Al emplearse la propagación de señal mediante HAP en las mismas situaciones que las macroceldas, vamos a simular los mismos entornos que hemos explicado en la sección 2.1.4 en las que sólo añadiremos las variaciones necesarias para adaptar esas situaciones a las nuevas condiciones de propagación.

Los parámetros que definen los lugares a estudio son los siguientes:

### 1º escenario: Ciudad grade.

1. Zona empresarial de la ciudad. Los valores tomados son los siguientes:
  - Potencia dedicada HSDPA = 0.4 W.
  - Radio celda: 500 m.
  - Altura HAP = 18 Km.
  - $L_{\text{shadowing}} = 10$  dB
2. Se accede al sistema en un momento nocturno del día. Los valores tomados son los siguientes:
  - Potencia dedicada HSDPA = 1 W.
  - Radio celda: 1 Km.
  - Altura HAP = 18 Km.
  - $L_{\text{shadowing}} = 10$  dB
3. Se accede al sistema en un momento diurno del día. Los valores tomados son los siguientes:
  - Potencia dedicada HSDPA = 0.7 W.
  - Radio celda: 1 Km.
  - Altura HAP = 18 Km.
  - $L_{\text{shadowing}} = 10$  dB



## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

Los resultados obtenidos son los mostrados en la **Tabla 6.1**:

**Tabla 6.1:** N° de códigos óptimos en un sector.

Configuración	#Códigos 1° Sector	V <sub>media</sub> 1° Sector (Mbps)	Tasa Total (Mbps)
1	1	0.0988	0.0988
	5	0	0
	10	0	0
	15	0	0
2	3	0.8673	0.8673
	4	0.941	0.941
	5	0.8554	0.8554
	6	0.8982	0.8982
3	2	0.6186	0.6186
	3	0.6796	0.6796
	4	0.6273	0.6273
	5	0.3208	0.3208

### 2° escenario: Ciudad suburbana.

1. Se accede al sistema en un momento diurno del día. Los valores tomados son los siguientes:
  - Potencia dedicada HSDPA = 0.9 W.
  - Radio celda: 2 Km.
  - Altura HAP = 19 Km.
  - $L_{\text{shadowing}} = 5$  dB
2. Se accede al sistema en un momento nocturno del día. Los valores tomados son los siguientes:
  - Potencia dedicada HSDPA = 1.2 W.
  - Radio celda: 1.5 Km.
  - Altura HAP = 19 Km.
  - $L_{\text{shadowing}} = 5$  dB

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

3. Zona céntrica de una localidad suburbana. Los valores tomados son los siguientes:

- Potencia dedicada HSDPA = 0.6 W.
- Radio celda: 1 Km.
- Altura HAP = 19 Km.
- $L_{\text{shadowing}} = 5$  dB

Los resultados obtenidos son los mostrados en la **Tabla 6.2**:

**Tabla 6.2:** N° de códigos óptimos en un sector.

Configuración	#Códigos 1° Sector	$V_{\text{media}}$ 1° Sector (Mbps)	Tasa Total (Mbps)
1	1	0.6713	0.6713
	4	1.0722	1.0722
	7	1.0866	1.0866
	9	1.2573	1.2573
2	5	1.5881	1.5881
	7	1.8154	1.8154
	8	1.8225	1.8225
	11	1.7309	1.7309
3	2	0.6499	0.6499
	3	0.7556	0.7556
	4	0.7889	0.7889
	5	0.7248	0.7248

### 3° escenario: Zona rural.

1. Zona rural con escasa población. Los valores tomados son los siguientes:

- Potencia dedicada HSDPA = 1 W.
- Radio celda: 5 Km.
- Altura HAP = 22 Km.
- $L_{\text{shadowing}} = 2$  dB

2. Se accede al sistema en un momento nocturno del día. Los valores tomados son los siguientes:

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

- Potencia dedicada HSDPA = 1.6 W.
  - Radio celda: 4 Km.
  - Altura HAP = 22 Km.
  - $L_{\text{shadowing}} = 2$  dB
3. Se proporciona servicio a una pequeña localidad rural. Los valores tomados son los siguientes:
- Potencia dedicada HSDPA = 0.8 W.
  - Radio celda: 3 Km.
  - Altura HAP = 22 Km.
  - $L_{\text{shadowing}} = 2$  dB

Los datos obtenidos son los mostrados en la **Tabla 6.3**:

**Tabla 6.3:** N° de códigos óptimos en un sector.

Configuración	#Códigos 1° Sector	$V_{\text{media}}$ 1° Sector (Mbps)	Tasa Total (Mbps)
1	1	0.8231	0.8231
	5	1.808	1.808
	10	2.3054	2.3054
	15	2.7485	2.7485
2	2	1.6956	1.6956
	8	3.3309	3.3309
	8	3.5518	3.5518
	11	4.1623	4.1623
3	1	0.8831	0.8831
	5	1.7282	1.7282
	10	2.3535	2.3535
	15	2.5475	2.5475

Tras realizar todas las simulaciones, hemos señalado en color azul aquella fila de la tabla que representa la configuración óptima de códigos. A diferencia de los demás métodos de propagación, en esta situación la diferencia de velocidad entre una

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

---

configuración óptima y otra subóptimas es apreciable, por lo que deberemos intentar emplear siempre el número de códigos señalado en la tabla.

Lo más destacable de los resultados obtenidos, son las bajas tasas binarias obtenidas además del pequeño número de códigos que se pueden asignar, sobretodo en aquellos entornos muy poblados donde la potencia dedicada y los radios de las células son pequeños. En otros entornos, las tasas binarias también decrecen respecto a las obtenidas en macroceldas, sin embargo el alto número de códigos que se pueden emplear, propicia que el servicio final del servicio proporcionado por el sistema no sea del todo malo.

### **6.3.5 Cálculo de las velocidades reales de descarga en la tecnología HSDPA.**

Tras haber obtenido en el apartado anterior el número óptimo de códigos que maximiza la tasa binaria de descarga, en este apartado vamos a calcular unas tasas binarias más reales para cada uno de los clientes que se encuentran distribuidos en todo el área de la celda, y deben compartir los recursos del sistema. Estadísticamente los usuarios se encuentran repartidos por el área de la célula de manera equitativa, por lo que vamos a repartir el área de la celda en partes iguales entre el número de clientes que haya en el sistema, y calcularemos la tasa binaria media de descarga suponiendo que sólo existe un usuario por zona. De este modo el dato obtenido será mucho más real en función de la distancia que nos encontremos del centro de la celda.

En nuestro caso vamos a realizar una simulación estática estudiando el sistema cuando se encuentren tres, siete y quince clientes accediendo al servicio HSDPA al mismo tiempo, ya que de esta manera obtendremos una imagen del sistema cuando se encuentre poco cargado, cargado, y muy cargado de usuarios. Al igual que hemos hecho en este mismo estudio de los demás capítulos, emplearemos el algoritmo *Round Robin* para simular el planificador de red.

Los resultados se mostrarán en una serie de tablas en las que se mostrarán las tasas binarias obtenidas para cada usuario en las mismas situaciones que hemos comentado en la sección 6.3.4.

Los resultados obtenidos son los mostrados en las **Tablas 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11 y 6.12:**

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

*1° escenario: Ciudad grade.*

**Tabla 6.4:** Velocidades de descarga por usuario. 3 Usuarios por celda. Ciudad Grande

Conf.	Datos	Usuarios		
		1	2	3
1	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	1		
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.2165	0.2165	0.2165
	Subradios (Km.)	0 – 0.288	0.288 – 0.408	0.408 – 0.5
	N° Códigos	1	0	0
	Órdenes de Modulación	1, 0	SC	SC
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.179	SC	SC
2	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	4		
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.866	0.866	0.866
	Subradios (Km.)	0 – 0.577	0.577 – 0.816	0.816 - 1
	N° Códigos	2	1	1
	Órdenes de Modulación	2	2, 1, 0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.64	0.19	0
3	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	3		
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.866	0.866	0.866
	Subradios (Km.)	0 – 0.577	0.577 – 0.816	0.816 - 1
	N° Códigos	1	1	1
	Órdenes de Modulación	2, 1	1, 0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.311	0.169	0

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

**Tabla 6.5:** Velocidades de descarga por usuario. 7 Usuarios por celda. Ciudad Grande

Conf.	Datos	Usuarios						
		1	2	3	4	5	6	7
1	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	1						
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092
	Subradios (Km.)	0 – 0.189	0.189 – 0.26	0.26 – 0.327	0.327 – 0.37	0.37 – 0.422	0.422 – 0.46	0.46 – 0.5
	N° Códigos	1	0	0	0	0	0	0
	Órdenes de Modulación	1	SC	SC	SC	SC	SC	SC
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.24	SC	SC	SC	SC	SC	SC
2	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	4						
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.371	0.371	0.371	0.371	0.371	0.371	0.371
	Subradios (Km.)	0 – 0.378	0.378 – 0.53	0.53 – 0.654	0.654 – 0.75	0.75 – 0.845	0.845 – 0.92	0.92 – 1
	N° Códigos	1	1	1	1	0	0	0
	Órdenes de Modulación	2	2	2, 1	1	SC	SC	SC
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.32	0.32	0.275	0.24	SC	SC	SC
3	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	3						
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.371	0.371	0.371	0.371	0.371	0.371	0.371
	Subradios (Km.)	0 – 0.378	0.378 – 0.53	0.53 – 0.654	0.654 – 0.75	0.75 – 0.845	0.845 – 0.92	0.92 – 1
	N° Códigos	1	1	1	0	0	0	0
	Órdenes de Modulación	2	2, 1	1	SC	SC	SC	SC
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.32	0.309	0.24	SC	SC	SC	SC

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

**Tabla 6.6:** Velocidades de descarga por usuario. 15 Usuarios por celda. Ciudad Grande.

Conf.	Datos	Usuarios														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	1														
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043
	Subradios (Km.)	0 - 0.129	- 0.129	- 0.223	- 0.258	- 0.288	- 0.316	- 0.341	- 0.365	- 0.387	- 0.408	- 0.428	- 0.447	- 0.465	- 0.483	- 0.5
	Nº códigos	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Órdenes Modulación	1	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.24	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC
2	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	4														
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173
	Subradios (Km.)	0 - 0.258	0.258 - 0.365	0.365 - 0.447	0.447 - 0.516	0.516 - 0.577	0.577 - 0.632	0.632 - 0.683	0.683 - 0.73	0.73 - 0.774	0.774 - 0.816	0.816 - 0.856	0.856 - 0.894	0.894 - 0.93	0.93 - 0.966	- 1
	Nº códigos	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Órdenes Modulación	2	2	2	2	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.32	0.32	0.32	0.32	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC
3	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	3														
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173
	Subradios (Km.)	0 - 0.258	0.258 - 0.365	0.365 - 0.447	0.447 - 0.516	0.516 - 0.577	0.577 - 0.632	0.632 - 0.683	0.683 - 0.73	0.73 - 0.774	0.774 - 0.816	0.816 - 0.856	0.856 - 0.894	0.894 - 0.93	0.93 - 0.966	- 1
	Nº códigos	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Órdenes Modulación	2	2	2	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.32	0.32	0.32	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

*2º escenario: Ciudad suburbana.*

**Tabla 6.7:** Velocidades de descarga por usuario. 3 Usuarios por celda. Ciudad suburbana.

Conf.	Datos	Usuarios		
		1	2	3
1	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	9		
	Área (Km <sup>2</sup> )	3.464	3.464	3.464
	Subradios (Km.)	0 – 1.154	1.154 – 1.633	1.633 - 2
	Nº Códigos	3	3	3
	Órdenes de Modulación	1	1, 0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.72	0.016	0
2	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	8		
	Área (Km <sup>2</sup> )	1.948	1.948	1.948
	Subradios (Km.)	0 – 0.866	0.866 – 1.224	1.224 – 1.5
	Nº Códigos	3	3	2
	Órdenes de Modulación	2	2, 1, 0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.96	0.566	0
3	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	4		
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.866	0.866	0.866
	Subradios (Km.)	0 – 0.577	0.577 – 0.816	0.816 - 1
	Nº Códigos	2	1	1
	Órdenes de Modulación	2, 1	1, 0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.595	0.104	0



## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

**Tabla 6.8:** Velocidades de descarga por usuario. 7 Usuarios por celda. Ciudad Suburbana.

Conf.	Datos	Usuarios						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	9						
	Área (Km <sup>2</sup> )	1.484	1.484	1.484	1.484	1.484	1.484	1.484
	Subradios (Km.)	0 – 0.755	0.755 – 1.06	1.06 – 1.3	1.3 – 1.51	1.51 – 1.69	1.69 – 1.85	1.85 – 2
	Nº Códigos	2	2	1	1	1	1	1
	Órdenes de Modulación	1	1	1, 0	0	0	0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.48	0.48	0.096	0	0	0	0
2	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	8						
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.835	0.835	0.835	0.835	0.835	0.835	0.835
	Subradios (Km.)	0 – 0.566	0.566 – 0.8	0.8 – 0.98	0.98 – 1.133	1.133 – 1.27	1.27 – 1.388	1.388 – 1.5
	Nº Códigos	2	1	1	1	1	1	1
	Órdenes de Modulación	2	2	2, 1	1	1, 0	0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.64	0.32	0.271	0.24	0.023	0	0
3	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	4						
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.371	0.371	0.371	0.371	0.371	0.371	0.371
	Subradios (Km.)	0 – 0.378	0.378 – 0.53	0.53 – 0.654	0.654 – 0.75	0.75 – 0.845	0.845 – 0.92	0.92 – 1
	Nº Códigos	1	1	1	1	0	0	0
	Órdenes de Modulación	2	2, 1	1	1, 0	SC	SC	SC
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.32	0.259	0.24	0.064	SC	SC	SC

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

**Tabla 6.9:** Velocidades de descarga por usuario. 15 Usuarios por celda. Ciudad Suburbana.

Conf.	Datos	Usuarios															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	9															
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692
	Subradios (Km.)	0 - 0.516	0.516 - 0.73	0.73 - 0.894	0.894 - 1.032	1.032 - 1.154	1.154 - 1.264	1.264 - 1.366	1.366 - 1.46	1.46 - 1.549	1.549 - 1.633	1.633 - 1.712	1.712 - 1.788	1.788 - 1.861	1.861 - 1.932	1.932 - -	1.932 - -2
	Nº códigos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Órdenes Modulación	1	1	1	1	1	1,0	0	0	0	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.024	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC
2	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	8															
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389	0.389
	Subradios (Km.)	0 - 0.387	0.387 - 0.547	0.547 - 0.67	0.67 - 0.776	0.776 - 0.866	0.866 - 0.948	0.948 - 1.02	1.02 - 1.09	1.09 - 1.161	1.161 - 1.224	1.224 - 1.284	1.284 - 1.341	1.341 - 1.396	1.396 - 1.449	1.449 - -	1.449 - -1.5
	Nº códigos	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Órdenes Modulación	2	2	2	2	2	2,1	1	1	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.244	0.24	0.24	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC
3	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	4															
	Área (Km <sup>2</sup> )	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173
	Subradios (Km.)	0 - 0.258	0.258 - 0.365	0.365 - 0.447	0.447 - 0.516	0.516 - 0.577	0.577 - 0.632	0.632 - 0.683	0.683 - 0.73	0.73 - 0.774	0.774 - 0.816	0.816 - 0.856	0.856 - 0.894	0.894 - 0.93	0.93 - 0.966	0.966 - -	0.966 - -1
	Nº códigos	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Órdenes Modulación	2	2	2,1	1	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.32	0.32	0.288	0.24	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

*3° escenario: Zona rural.*

**Tabla 6.10:** Velocidades de descarga por usuario. 3 Usuarios por celda. Zona Rural.

Conf.	Datos	Usuarios		
		1	2	3
1	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	15		
	Área (Km <sup>2</sup> )	21.65	21.65	21.65
	Subradios (Km.)	0 – 2.886	2.886 – 4.085	4.085 - 5
	N° Códigos	5	5	5
	Órdenes de Modulación	3, 2, 1, 0	0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	1.589	0	0
2	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	11		
	Área (Km <sup>2</sup> )	13.85	13.85	13.85
	Subradios (Km.)	0 – 2.3	2.3 – 3.266	3.266 - 4
	N° Códigos	4	4	3
	Órdenes de Modulación	6, 5, 4	4, 3, 2, 1, 0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	1.855	0.841	0
3	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	15		
	Área (Km <sup>2</sup> )	7.79	7.79	7.79
	Subradios (Km.)	0 – 1.732	1.732 – 2.449	2.449 - 3
	N° Códigos	5	5	5
	Órdenes de Modulación	2, 1, 0	0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	1.475	0	0

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

**Tabla 6.11:** Velocidades de descarga por usuario. 7 Usuarios por celda. Zona Rural.

Conf.	Datos	Usuarios						
		1	2	3	4	5	6	7
1	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	15						
	Área (Km <sup>2</sup> )	9.278	9.278	9.278	9.278	9.278	9.278	9.278
	Subradios (Km.)	0 – 1.889	1.889 – 2.67	2.67 – 3.27	3.27 – 3.78	3.78 – 4.22	4.22 – 4.629	4.629 – 5
	N° Códigos	3	2	2	2	2	2	2
	Órdenes de Modulación	3, 2	2, 1	1, 0	0	0	0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	1.06	0.572	0.082	0	0	0	0
2	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	11						
	Área (Km <sup>2</sup> )	5.938	5.938	5.938	5.938	5.938	5.938	5.938
	Subradios (Km.)	0 – 1.511	1.511 – 2.13	2.13 – 2.618	2.618 – 3.02	3.02 – 3.38	3.38 – 3.7	3.7 – 4
	N° Códigos	2	2	2	2	1	1	1
	Órdenes de Modulación	6	6, 5	5, 4, 3, 2	2, 1, 0	0	0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.96	0.874	0.774	0.428	0	0	0
3	N° Códigos a repartir. (Óptimo)	15						
	Área (Km <sup>2</sup> )	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34
	Subradios (Km.)	0 – 1.133	1.133 – 1.603	1.603 – 1.96	1.96 – 2.267	2.267 – 2.535	2.535 – 2.777	2.777 – 3
	N° Códigos	3	2	2	2	2	2	2
	Órdenes de Modulación	2	2, 1	1, 0	0	0	0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.96	0.575	0.074	0	0	0	0

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

**Tabla 6.12:** Velocidades de descarga por usuario. 15 Usuarios por celda. Zona Rural.

Conf.	Datos	Usuarios														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	15														
	Área (Km <sup>2</sup> )	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33
	Subradios (Km.)	0 – 1.29	1.29 – 1.825	1.825 – 2.236	2.236 – 2.582	2.582 – 2.886	2.886 – 3.162	3.162 – 3.415	3.415 – 3.651	3.651 – 3.87	3.87 – 4.08	4.08 – 4.281	4.281 – 4.472	4.472 – 4.654	4.654 – 4.83	4.83 – 5
	Nº códigos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Órdenes Modulación	3	3, 2	2	2, 1	1, 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.36	0.343	0.32	0.264	0.152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	11														
	Área (Km <sup>2</sup> )	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77
	Subradios (Km.)	0 - 1.032	1.032 - 1.46	1.46 - 1.788	1.788 - 2.065	2.065 - 2.3	2.3 - 2.529	2.529 - 2.732	2.732 - 2.921	2.921 - 3.098	3.098 - 3.266	3.266 - 3.425	3.425 - 3.577	3.577 - 3.723	3.723 - 3.864	3.864 - 4
	Nº códigos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Órdenes Modulación	6	6	6, 5	5	5, 4	4, 3	3, 2, 1	1	1, 0	0	0	SC	SC	SC	SC
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.48	0.48	0.462	0.42	0.419	0.379	0.327	0.24	0.032	0	0	SC	SC	SC	SC
3	Nº Códigos a repartir. (Óptimo)	15														
	Área (Km <sup>2</sup> )	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558
	Subradios (Km.)	0 - 0.774	0.774 - 1.095	1.095 - 1.341	1.341 - 1.549	1.549 - 1.732	1.732 - 1.897	1.897 - 2.049	2.049 - 2.19	2.19 - 2.323	2.323 - 2.449	2.449 - 2.569	2.569 - 2.683	2.683 - 2.792	2.792 - 2.898	2.898 - 3
	Nº códigos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Órdenes Modulación	2	2	2	2, 1	1, 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Velocidad Media Usuario (Mbps)	0.32	0.32	0.32	0.267	0.144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## 6. Estudio de HSDPA basado en HAP

---

La nomenclatura empleada en las tablas que acabamos de mostrar es la misma que hemos usado en las tablas de los capítulos precedentes.

La principal notoriedad de los resultados son las bajas tasas binarias de descarga obtenidas, incluso menores que en el caso de las macroceldas además del escaso número de códigos a repartir que limita notablemente el número de clientes a los que se les puede proporcionar servicio HSDPA. La ausencia de sectores provoca que los códigos se tengan que repartir entre todos los usuarios que se encuentren en la celda, lo que propicia que el número de códigos que le es asignado, es menor que en el caso en el que la celda se encuentra dividida en sectores, ya que la configuración óptima determina la manera en la que deben estar repartidos los códigos en cada uno de los sectores de los que disponga la celda.

### **6.3.5 Conclusiones finales del capítulo.**

Una vez se han realizado todas las pruebas pertinentes que permiten un estudio en detalle, hemos descubierto que el empleo de HAP como plataforma donde situar las antenas que actúan como estaciones bases, permiten proporcionar servicio HSDPA en todo el radio de la célula además de poder emplear todo el rango de modulaciones que normaliza el estándar *Release 7*.

Sin embargo las tasas binarias de descarga obtenidas son del todo insatisfactorias, ya que incluso son menores que las de que podemos obtener empleando macroceldas, el número de códigos a repartir empleando la configuración óptima es reducido y en condiciones urbanas, donde la densidad de población es alta y los radio de las células deben de ser pequeños, las condiciones del sistema son pésimas proporcionando una calidad de servicio HSDPA muy baja.

El empleo de HAP como estación para colocar estaciones bases, queda muy lejos de poder ser un sustitutivo de las redes clásicas de propagación terrestre como pueden ser las macroceldas y las microceldas, ni siquiera en entornos rurales.

Ante las bajas prestaciones que nos proporciona este sistema de propagación y el elevado coste económico que supone tener desplegado este aparato en el aire, hace que este sistema sólo posea interés en situaciones anómalas que acarreen grandes destrozos como puede ser un corte de luz a gran escala o una catástrofe como un terremoto que destruya la infraestructura ya implantada.

# 7. Capítulo 7: Conclusiones y líneas abiertas de investigación

## 7.1 Conclusiones finales

Una vez se ha realizado el estudio en profundidad de HSDPA, estamos en condiciones de sacar unas conclusiones globales acerca de la tecnología y su funcionamiento.

HSDPA es una tecnología novedosa conocida como 3.5G, que ha sido diseñada a partir de la evolución de UMTS. Esta cualidad permite que ambos sistemas coexistan sin problemas, y puedan aprovechar al máximo las posibilidades que ofrecen los sistemas de propagación que se encuentran implantados. Al tratarse HSDPA de una evolución de una tecnología ya implantada, se obtiene una gran ventaja, ya que con unos reducidos costes de implantación, (sólo se requieren ciertos cambios en el *software* de la UTRAN de la red) se podrán ofertar a los clientes nuevas aplicaciones que requieran una alta transferencia de datos.

HSDPA abre grandes posibilidades de negocio para las operadoras y para los desarrolladores de nuevas aplicaciones, gracias a sus altas capacidades de descarga de datos, muy superiores a las que se obtenían con UMTS. Esta tecnología se encuentra todavía en proceso de implantación, pero se espera que se desarrolle rápidamente hasta convertirse en la antesala de la cuarta generación de telefonía móvil.

El comportamiento de HSDPA cuando se propaga a través de macroceldas, depende mucho del lugar en el que se encuentre la antena. En grandes ciudades, donde las pérdidas de propagación son elevadas y las potencias dedicadas son bajas, debido a la gran densidad de población a la que proporcionan servicio; las tasas binarias no son muy elevadas, las condiciones necesarias para poder usar las nuevas modulaciones del *Release 7* son tan severas que hacen prácticamente imposible su uso, y el número de códigos por sector que maximiza el throughput de la célula, es reducido. En los escenarios de ciudades suburbanas y zonas rurales, esta situación mejora ligeramente, ya que se pueden obtener modulaciones de 64QAM en posiciones cercanas a la estación base, el número de códigos por celda óptimos es algo superior que en zona

## 7. Conclusiones y líneas abiertas de investigación

---

urbana proporcionando un aumento de la tasa binaria de descarga, y en entornos rurales queda disponible un pequeño margen sobre el que queda abierta la posibilidad de añadir nuevas modulaciones más potentes. El principal problema que se obtiene en macroceldas, es el corto radio de acción sobre el que se puede usar HSDPA, ya que si empleamos el número de códigos óptimo, aproximadamente el 40% del radio de la célula quedará sin servicio.

El comportamiento de HSDPA cuando se propaga por microceldas en entornos abiertos, es muy diferente al de macroceldas. Los altos niveles de SNR que se reciben, hasta incluso con malas condiciones de propagación, permiten el empleo de la modulación 64QAM en una larga distancia, además de tener un gran margen para poder usar en un futuro modulaciones más potentes, como 256QAM, que puedan quedar estandarizadas en el *Release 8*. Debido a estos altos niveles de SNR, la velocidad binaria de descarga que se puede obtener, es muy elevada llegando incluso hasta los 5 Mbps, gracias entre otras cosas, al elevado número de códigos por sector que se usan para maximizar el throughput de la celda. En este escenario, el radio de cobertura de HSDPA es muy elevado, pudiendo llegar a ser de hasta el 100% del radio de la célula en caso de emplear altas potencias dedicadas.

El comportamiento de HSDPA en el interior de túneles, se acerca mucho a lo que podríamos decir que es la situación óptima. Todas las características que hemos enunciado que ocurren en microceldas en entornos abiertos, suceden de la misma forma en el interior de túneles. A pesar de las similitudes entre los dos modelos, existe una gran diferencia, y es la gran estabilidad del perfil de SNR obtenido cuando la señal se propaga en el interior de túneles. Esta estabilidad que se extiende hasta aproximadamente el 70% del radio de la célula, permite un aumento de la velocidad media de descarga con respecto al escenario anterior, gracias a la posibilidad de poder usar un elevado orden de modulación durante una gran distancia.

El comportamiento de HSDPA cuando se emplean HAPs como plataforma para la propagación de la señal, es el peor de los 4 escenarios estudiados en este proyecto. Las altas pérdidas de propagación debido a la larga distancia que debe recorrer la señal, las altas pérdidas extra por shadowing y la ausencia de sectores, provocan que los niveles recibidos de SNR sean bajos. Eso provoca que las velocidades de descarga sean reducidas incluso inferiores que en macroceldas. En zonas urbanas, donde los radios de las células son pequeños, los niveles de SNR son



## **7. Conclusiones y líneas abiertas de investigación**

---

muy reducidos, provocando que el número de códigos que optimiza el throughput de la célula no sea superior a cinco, que no se puedan usar las modulaciones estandarizadas en el *Release 7*, que el radio de acción de HSDPA sea pequeño, y que sea imposible que se puedan usar modulaciones más potentes. En el caso de zonas rurales y entornos suburbanos, la situación mejora ligeramente. En estos caso si que se puede usar la modulación 64QAM en zonas muy próximas a la estación base y la velocidad de descarga aumenta, pero el número de clientes a los que se les puede proporcionar el servicio sigue siendo pequeño, al igual que el radio de acción de HSDPA.

Existe la posibilidad de mejorar las prestaciones de HSDPA para que sus capacidades de transferencia de datos, vayan creciendo a la par de la demanda de datos. Para mejorar estas prestaciones se pueden estandarizar modulaciones más potentes como HSDPA, se pueden usar métodos de control de potencia como el estudiado en la sección 3.3.3, se pueden desarrollar los terminales móviles para que sean capaces de procesar un mayor número de códigos en paralelo, y en un futuro lejano, ampliar el ancho de banda de la comunicación aprovechando el rango de frecuencias de la telefonía móvil de segunda generación.

Con HSDPA se ha comenzado a cambiar el concepto de telefonía móvil. Los terminales se están convirtiendo en pequeños ordenadores, y cada vez más se emplea se emplea la red móvil, como puerta de acceso a Internet gracias a los nuevos módem USB. Este es el comienzo de las futuras redes de telefonía, donde los canales dedicados para el transporte de información de voz, quedarán sustituidos por canales compartidos de datos capaces de soportar aplicaciones en tiempo real como VoIP.

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

A pesar de que en este proyecto, se ha intentado abarcar el mayor número de escenarios posibles para obtener un gran número de resultados, las situaciones y estudios que se pueden hacer sobre HSDPA es enorme. A continuación se enunciarán una serie de líneas de investigación sobre las que profundizar en HSDPA:

- Determinar la configuración que debe tomar la estación base de la célula para maximizar el throughput total, teniendo en cuenta HSDPA y UMTS.

## 7. Conclusiones y líneas abiertas de investigación

---

- Realizar el mismo estudio que hemos desarrollado en este proyecto teniendo en cuenta las pérdidas por shadowing. Se deberá determinar la función estadística que determine estas pérdidas para cada uno de los entornos.
- Realizar medidas reales sobre el terreno de los estudios realizados en este proyecto.
- Tener en cuenta las pérdidas por curvatura del escenario en el interior por túneles. Se deberán medir el ángulo de curvatura de cada uno de los túneles que se vayan a estudiar.
- Realizar el mismo estudio que hemos desarrollado en este proyecto, teniendo en cuenta que todas las células que forman la red mallada, no tienen todas el mismo tamaño.

# Referencias

---

- [1] Holma Harri, Toskala Antti (eds.), “HSDPA/HSUPA for UMTS”, JOHN WILEY & SONS LTD, 2006.
- [2] QUALCOMM CDMA technologies white paper (eds), “HSDPA for improved downlink data transfer”, QUALCOMM incorporated, San Diego California (USA), October 2004
- [3] Chris Johnson, “Radio Access Network for UMTS” Capítulo 6, WILEY & SONS LTD, 2008.
- [4] Pablo Felipe Goffard Molina, “Descarga de datos a alta velocidad con HSDPA sobre UMTS”, Memoria para optar al título de ingeniero civil eléctrico, Universidad de Chile, departamento de ingeniería eléctrica, Enero 2007.
- [5] Stefan Parkvall, Eva Englund, Peter Malm, Tomas Hedberg, Magnus Persson and Janne Peisa, “WCDMA evolved High speed data packet data services”, Ericsson review N° 2, 2003
- [6] David Fajardo Patrón, “Descripción detallada de WCDMA”, Capítulo tercero del proyecto fin de carrera “Simulación de tramas WCDMA”, Universidad de las américas, Puebla Méjico. 18 mayo 2004.
- [7] Mobile Phone Jargon Explained.  
<http://www.sitefinder.ofcom.org.uk/jargon.htm>
- [8] Jose María Hernando Rábanos. “Transmisión por radio” capítulo 3, Editorial Universitaria Ramón Areces, Quinta edición, 2006.
- [9] Luis Mendo. Material de la asignatura “Comunicaciones móviles” capítulos 5, 8, y 8b (HSDPA). Febrero 2008.
- [10] Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television (DVB-T), European Broadcasting Union ETS300 744 page 40.
- [11] Bazil Taha Ahmed, Material de la asignatura “Radiocomunicaciones 1” capítulo 10. Septiembre 2008.
- [12] Jose María Hernando Rábanos. “Comunicaciones móviles” capítulo 2 y 3, Editorial Universitaria Ramón Areces, Segunda edición, 2004.
- [13] Bazil Taha Ahmed, Miguel Calvo Ramón and Leandro de Haro, “W-CDMA

## Referencias

---

- Uplink Capacity and Interference Statistics of a Long Tunnel Cigar-shaped Microcells Using the Hybrid Model of Propagation with Imperfect Power Control”, Wireless personal communication N° 31, Kluwer Academic Publisher, 2004.
- [14] Stylianos Karapantazis y Fotini-Niovi Pavlidou. “Call admission control in multiservice high altitude platform WCDMA cellular system”, Revista Computer Network N° 51, 2007.
- [15] Bazil Taha Ahmed, Miguel Calvo Ramón and Leandro de Haro, UMTS – HSDPA in High Altitude Platform (HAP) communication, Turk J Elec Engin, VOL.15, NO.1 2007
- [16] J.Alpuente, “Propagación en el espacio libre” Capítulo 9 del material de clase de la asignatura Sistemas de Telecomunicación. Universidad de Alcalá. 2008. [agamenon.tsc.uah.es/Asignaturas/it/po/apuntes/PropEL.pdf](http://agamenon.tsc.uah.es/Asignaturas/it/po/apuntes/PropEL.pdf)
- [17] Vinuesa Trujillo, Christian David, “Estudio de la Tecnología High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) y su posible implementación en el Ecuador” Capítulo 2 “UMTS”, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Universidad Nacional de Ecuador, 27/3/2008.
- [18] Qucom HAPs Stratosferic communication infrastructure, “Introduction to HAPs technology”. [http://www.qucomhaps.net/01hapsconcept\\_01intro.htm](http://www.qucomhaps.net/01hapsconcept_01intro.htm)
- [19] Información Macrocelas. <http://en.wikipedia.org/wiki/Macrocell>
- [20] Información macrocelda y microcelda. [http://www.femp.es/index.php/femp/sati\\_servicio\\_de\\_asesoramiento\\_tcnico\\_e\\_informacion/glosario\\_de\\_t\\_rminos/m\\_p](http://www.femp.es/index.php/femp/sati_servicio_de_asesoramiento_tcnico_e_informacion/glosario_de_t_rminos/m_p)
- [21] Información Microcelas. <http://en.wikipedia.org/wiki/Microcell>
- [22] J. Alpuente. “Modelo de dos rayos para la tierra plana” Capítulo 12 del material de clase de la asignatura Sistemas de Telecomunicación. Universidad de Alcalá. 2008.
- [23] Parámetros Signalling Radio Bearer. [http://wireless.agilent.com/rfcomms/refdocs/wcdma/wcdma\\_gen\\_bse\\_dl\\_srb.php](http://wireless.agilent.com/rfcomms/refdocs/wcdma/wcdma_gen_bse_dl_srb.php)
- [24] S. Karapantazis, F.N.pavlidou, Broadband communications via high-altitude platforms, a survey, IEEE communications Surveys & Tutorials 7(1) 2 – 31

## Referencias

---

- [25] Información relación señal a ruido. Wikipedia.  
<http://es.wikipedia.org/wiki/SNR>
- [26] Garpar Pedreño López, Juan José Alcaraz Espín, Fernando Cerdán Cartagena, “Simulación de redes de tercera generación con HSDPA”, Escuela técnica superior de ingeniería de telecomunicación, Universidad Politécnica de Cartagena, 2007.

# Bibliografía

- Maciej J. Nawrocki, Mischa Dohler, A. Hamid Aghvami (eds), “Understanding UMTS radio network modelling, planning and automated optimitation”, WILEY & SONS LTD, 2006.
- Ericsson white paper, “Basics concepts of HSDPA”, Ericsson Corporation, February 2007.
- Carlos Sánchez, “HSDPA multitud de posibilidades de movilidad”, Revista PCWORLD profesional, 04/07/2008
- ETSI TS 125 213 v7.4, “UMTS, spreading and modulation”, 3GPP TS 25.213 Version 7.4 Release 7. Junary 2008. <http://www.3gpp.org>
- ETSI TS 125.213 version 6.4.0 Release 6, “UMTS, spreading and modulation”, 2005. <http://www.3gpp.org>
- TR 101 112 v 3.2, “Selection Procedures for the Choice of Ratio Transmission Technologies of the UMTS”, ETSI UMTS 30.03 version 3.2, April 1998.
- Definiciones de terminus técnicos.  
<http://www.mpirical.com/companion/whnjs.htm>
- U. Bäder, “UMTS – High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)”, Rohde & Schwarz 1CM-T, 2004.
- Gregory Manuel and Mika Rinne, “performance of the Medium Access Control Protocol for the High Speed Downlink Packet Access”, Nokia Research Center, Finland 2006.
- Lluch Mesquida, Cayetano, “Comunicaciones móviles de tercera generación UMTS”, Telefónica Móviles España, 2000
- Holma, Harri, “WCDMA for UMTS radio access for third generation mobile communications”, John Wiley & Sons, 2004
- Calvo Ramón, Miguel, “Sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación IMT-2000 (UMTS)”, Fundación Airtel Vodafone, 2002
- Glisic, Savo, “Adaptive WCDMA: theory and practice”, JOHN WILEY & SONS, LTD.(2ª), 2002

# Glosario.

<b>3GPP</b>	Third Generation Partnership Project
<b>ACK</b>	Acknowledgement. Asentimiento o acuse de recibo.
<b>AMC</b>	Adaptative Modulation and Coding.
<b>ARQ</b>	Automatic Repeat reQuest.
<b>BS</b>	Base Station.
<b>Canal físico.</b>	frecuencia, secuencias código. Además pueden distinguirse por división temporal (en DL) o fase I/Q (en UL). Pueden estar asociados a canales de transporte o no.
<b>Canal lógico.</b>	Definen el tipo de información enviada. De control o de tráfico.
<b>Canal transporte</b>	Definen el formato de envío. Comunes o dedicados.
<b>CC</b>	Chase Combining.
<b>CPICH</b>	Common Pilot Channel
<b>CQI</b>	Channel Quality Indicator.
<b>DCH</b>	Dedicated Channel. Canal lógico de UMTS asignado a un usuarios que normalmente transporta información de conversación.
<b>DPCCH</b>	Physical Downlink Shared Channel
<b>DPDCH</b>	Dedicated Physical Data Channel.
<b>DSCH</b>	Downlink Shared Channel. Canal de transporte en UMTS que puede ser compartido por varios UE. Se emplea para llevar control o datos dedicados desde la estación base. Estará asociado a uno o varios DCH.
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute
<b>HAP</b>	High Altitude Platform
<b>HARQ</b>	Hybrid Automatic Repeat reQuest. Optimización de ARQ que proporciona la corrección de errores y retransmisión de paquetes a través de la interfaz inalámbrica.
<b>HSDPA</b>	High Speed Downlink Packet Access.
<b>HS-DPCCH</b>	High Speed Dedicated Physical Channel
<b>HS-DSCH</b>	High Speed Downlink Shared Channel.

## Glosario

---

<b>HS-SCCH</b>	High Speed Shared Control Channel.
<b>HS-PDSCH</b>	High-Speed Physical Downlink Shared Channel
<b>H-RNTI</b>	HS-DSCH Radio Network Temporary Identity
<b>IP</b>	Internet Protocol.
<b>IR</b>	Incremental Redundancy.
<b>Iub</b>	Interfaz de UMTS que se encuentra situada entre la RNC y la estación base.
<b>Kbps</b>	Kilo bits per second
<b>LOS</b>	Line Of Sight
<b>MAC</b>	Medium Access Control. Capa que se encarga de controlar el acceso a un medio compartido.
<b>MAC-d</b>	MAC - dedicated
<b>MAC-hs</b>	MAC – high speed
<b>Mbps</b>	Mega bits per second
<b>MCI</b>	Maximum Carriren Interference
<b>MIMO</b>	Multiple Input Multiple Output.
<b>NACK</b>	Negative Acknowledgement. Acuse de recibo negativo.
<b>NF</b>	Noise Factor
<b>PDCP</b>	Packet Data Convergence Protocol
<b>PDU</b>	Protocol Data Unit. Un PDU compone los datos y la información de control, en una pila de protocolos de todas las capas por las que pasa el paquete.
<b>PF</b>	Proportinal Fair.
<b>QAM</b>	Quadrature Amplitude Modulation.
<b>QoS</b>	Quality of Service.
<b>QPSK</b>	Quadrature Phase Shift Keying
<b>RABs</b>	Radio Access Bearers.
<b>RF</b>	Radio Frecuencia.
<b>RLC</b>	Radio Link Control. Subcapa en la interfaz radio que aporta fiabilidad al sistema.
<b>RNC</b>	Radio Network Controller. Responsable de todo el control de los recursos lógicos de una o varias estaciones bases.
<b>ROM</b>	Read Only Memory.



## Glosario

---

<b>RR</b>	Round Robin
<b>SAW</b>	Stop and Wait.
<b>SF</b>	Spread Factor
<b>SNR</b>	Signal-Noise Ratio. Relación señal a ruido.
<b>SR</b>	Selective Repeat.
<b>SRB</b>	Signalling Radio Bearer.
<b>TCP</b>	Transmission Control Protocol.
<b>TTI</b>	Time Transmission Interval.
<b>UDP</b>	User Datagram Protocol
<b>UE</b>	User Equipment. Combinación del terminal de recepción y la tarjeta SIM.
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunication System.
<b>UTRAN</b>	UMTS Terrestrial Radio Access Network.
<b>VoIP</b>	Voice over IP
<b>WCDMA</b>	Wideband Code Division Multiple Access

# Anexos

## Anexo A: Código Matlab

En esta primera parte de los anexos, vamos a mostrar los códigos de los programas realizados en Matlab, que han sido empleados para determinar todos los resultados que hemos obtenido en los capítulos anteriores. A pesar de que los medios de propagación en cada capítulos son diferentes, los códigos de los programas son muy similares, ya que sólo varía los modelos de propagación y los parámetros propios del medio de propagación usado como pueden ser la altura del HAP o la altura de la antena de la estación base de una macrocelda. Debido a esto, y para ahorrar espacio, sólo se van a mostrar los códigos de los programas que se consideren más relevantes. En caso de que el lector desee determinar un resultado para el cual se precise un código distinto al expuesto, el interesado sólo deberá copiar el código ejemplo escrito en la memoria que realice la función que se quiera calcular en un *script* Matlab, cambiar las llamadas a las funciones que determinan las pérdidas de propagación por las que simulan el modelo que se quiera emplear, y cambiar los parámetros propios del medio de propagación para que el programa obtenga los resultados.

### A.1 Modelo Hata-Cost231 modificado

```
%Función que calcula las pérdidas por propagación determinadas por el
%modelo empírico Hata_Cost modificado para poder ser empleado en
%tecnologías móviles de tercera generación.
%Modificación desarrollada en la UAM.
%Argumentos de entrada:
%freq: frecuencia de entrada. MHz
%ht: altura de la base. m
%hm: altura del teléfono móvil. m
%d: distancia. Km
%zona: Determina el tipo de zona sobre la que vamos a evaluar el modelo.
    %1-Ciudad Grande
    %2-Ciudad media-pequeña
    %3-Zona suburbana.
    %4-Zona rural.
%Unidades: determina las unidades en las que va a estar expresados el
%resultado. Por defecto decibelios.
    %1-dB
    %2-Unidades naturales.

%Argumentos de salida.
%Lb: Perdidas de propagación determinadas por el método. dB o unidades
%naturales.
%Todas los calculos y parámetros, a excepción de los de entrada, tendrán
%como unidades los decobelios.
```

## Anexos

---

```
function [Lb] = Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm, d, zona, unidades)

if nargin == 5
    unidades = 1;
end

%Calculo del parámetro a
if hm == 1.5
    a = 0;
elseif zona == 1
    if freq <=200
        a = 8.29*(log10(1.54*hm))^2 - 1.1;
    elseif freq >=400
        a = 3.2*(log10(11.75*hm))^2 - 4.97;
    else
        a = 0;
    end;
elseif zona ==2
    a = (1.1*log10(freq) - .7)*hm - (1.56*log10(freq) - .8);
else
    a = 0;
end;

%Calculo del parámetro cm
if zona == 1
    cm = 3;
else
    cm = 0;
end

%Cálculo de las pérdidas de propagación.
Lb = 46.3 + 33.9*log10(freq) - 13.82*log10(ht) - a + (44.9 -
6.55*log10(ht))*log10(d) + cm + 10*log10(freq/2000);

%Corección por zona de recepción.
if zona == 3
    Lb = Lb - 2*(log10(freq/28))^2 - 5.4;
elseif zona == 4
    Lb = Lb - 4.78*(log10(freq))^2 + 18.33*log10(freq) - 40.94;
end

%Calculamos las unidades del resultado.
if unidades == 2
    Lb = 10^(Lb/10);
end
```

### A.2 Modelo de dos pendientes para microceldas.

```
%Implementacion del modelos de propagación de dos pendientes para las
%microceldas basado en el modelo de propagación en tierra plana.
%Argumentos de entrada:
%freq: frecuencia de entrada. MHz
%ht: altura de la base. m
%hm: altura del teléfono móvil. m
%n1 = exponente de propagación de la primera pendiente.
%n2 = exponente de propagación de la segunda pendiente.
%d: distancia. Km
%Unidades: determina las unidades en las que va a estar expresados el
%resultado. Por defecto decibelios.
%1-dB
%2-Unidades naturales.
%Argumentos de salida.
%Lb: Perdidas de propagación determinadas por el método. dB o unidades
%naturales.
%Todas los calculos y parámetros, a excepción de los de entrada, tendrán
%como unidades los decobelios.
```

```
function [Lb] = Tierra_plana(freq, ht, hm, n1, n2, d, unidades)

if nargin == 6
    unidades = 1;
end

c = 3e8;    %m/s. Velocidad de la luz

%Calculo de la longitud de onda de la frecuencia de la señal.
lambda = c/(freq*1e6);

%Calculo de las perdidas de propagación en el espacio libre.
dref = 1;    %m
Lref = 20*log10((4*pi*dref)/lambda);
lref = 10^(Lref/10);

%Calculo de la distancia de referencia
Rb = (4*hm*ht)/lambda;

%Calculo de la perdida de propagacion total
if (d*1000)<=Rb
    Lb = Lref + 10*n1*log10(d*1e3);
else
    Lrb = Lref + 10*n1*log10(Rb);
    Lb = Lrb + 10*n2*log10(d*1e3/Rb);
end

if unidades == 2
    Lb = 10^(Lb/10);
end
```

### A.3 Modelo híbrido para propagación en túnel

```
%Implementacion del modelo hibrido de propagacion para la propagacion de
%señales en tuneles, basado en el modelo de propagacion de dos pendientes
%de tierra plana.
%Argumentos de entrada:
%freq: frecuencia de entrada. MHz
%altura: altura del tunel. m
%anchura: anchura dle tunel. m
%n1 = exponente de propagación de la primera pendiente.
%alfa = Atenuación específica despues de n1
%d: distancia. Km
%Unidades: determina las unidades en las que va a estar expresados el
%resultado. Por defecto decibelios.
    %1-dB
    %2-Unidades naturales.
%Argumentos de salida.
%Lb: Perdidas de propagación determinadas por el método. dB o unidades
%naturales.
%Todas los calculos y parámetros, a excepción de los de entrada, tendrán
%como unidades los decobelios.
```

```
function [Lb] = Modelo_Hibrido(freq, altura, anchura, n1, s, d, unidades)

if nargin == 6
    unidades = 1;
end

c = 3e8;    %m/s. Velocidad de la luz
```

```
%Calculo de la longitud de onda de la frecuencia de la señal.
lambda = c/(freq*1e6);
```

```
%Cálculo de las pérdidas de propagación en el espacio libre.
dref = 1; %m
Lref = 20*log10((4*pi*dref)/lambda);
lref = 10^(Lref/10);

%Cálculo de la distancia de referencia
Rb = min(anchura^2/lambda, altura^2/lambda);

%Cálculo de la pérdida de propagación total
if (d*1000)<=Rb
    Lb = Lref + 10*n1*log10(d*1e3);
else
    Lrb = Lref + 10*n1*log10(Rb);
    Lb = Lrb + s * (d*1e3 - Rb);
end

if unidades == 2
    Lb = 10^(Lb/10);
end
```

### **A.4 Modelo de propagación en el espacio libre.**

```
%Función que determina las pérdidas de propagación sufridas por la señal
%cuando empleamos el modelo de propagación en el espacio libre.
%Argumentos:
%freq: frecuencia de la señal de información. GHz
%d: distancia a la que se encuentra el usuario de la estación base. Km
%Unidades: 1 si se desea el resultado en dB, 2 si se desea en unidades
%naturales.

function [ Lfs ] = Espacio_libre(freq, d, unidades)

%Control de parámetros
if nargin == 2
    unidades = 1;
end

%Cálculo de las pérdidas.
Lfs = 92.45 + 20*log10(freq) + 20*log10(d);

%Cambio de unidades si procede.
if unidades == 2
    Lfs = 10^(Lfs/10);
end
```

### **A.5 Cálculo del perfil de SNR ante el cambio de los parámetros del sistema.**

#### **Macroceldas.**

El código que mostraremos calculará los perfiles de SNR recibidos en el terminal del cliente cuando varía la potencia dedicada de la tecnología HSDPA.

```
%Jorge Casamayón Antón
%Proyecto Fin de Carrera
%Script que determinara los distintos perfiles de SNR obtenidos cuando
%varía la potencia dedicada del sistema.
%Argumentos empleados para el cálculo.
%pmáx: Potencia máxima de transmisión de la estación base. W
%phsdpa: Potencia de la estación base dedicada exclusivamente a HSDPA. W
%R: Radio de la célula en estudio. Km
%d: distancia a la que se encuentra el usuario de la estación base. m
%NF: factor de ruido del enlace descendente. dB
```

## Anexos

---

```
%phi: factor de ortogonalidad.
%freq: frecuencia de funcionamiento del sistema. MHz.
%ht: altura de la base. m
%hm: altura del teléfono móvil. m
%zona: Determina el tipo de zona sobre la que vamos a evaluar el modelo.
    %1-Ciudad Grande
    %2-Ciudad media-pequeña
    %3-Zona suburbana.
    %4-Zona rural.
%SF: factor de ensanchamiento.
%B: ancho de banda efectivo que disponemos para la transmisión.

%Argumentos de salida.
%SNR: relación señal-ruido en decibelios.
%snir: relación señal-ruido en unidades naturales.
%Gráficas con los valores de los resultados obtenidos.

clear all
close all
clc

%Valores de los argumentos necesarios para el cálculo.
pmax = 20;      %W
R = 1;         %Km
NF = 8;        %dB
f = .5;
phi = (1-f);
freq = 2140;   %MHz
ht = 30;      %m
hm = 1.5;     %m
zona = 1;
SF = 16;
B = 4;        %MHz
Gant = 15;    %dB
Fsector = .42;

%Calculo de la potencia de ruido.
Pn = -114 + 10*log10(B) + NF;
pn = 10^(Pn/10);

%Cálculo de la interferencia externa con acción de tres coronas de celdas.
%se utilizará la geometría de redes celulares, es decir, ejes a 60° para
%dar las coordenadas de las células.
Ncoronas = 3;

% Calculo de las coordenadas de las células conlindantes y del ángulo que
forman
%respecto del eje x.
j = 1;
for k = 1:Ncoronas
    angulo = 360/(6*k);
    %Primer sector
    for i = 1:k+1
        coordenadas.x(j) = k;
        coordenadas.y(j) = -(i-1);
        coordenadas.x(j+1) = -k;
        coordenadas.y(j+1) = i-1;
        for l = j:j+1
            if sign(coordenadas.x(l)) == 1
                coordenadas.phi(l) = abs(coordenadas.y(l)) * angulo;
            else
                coordenadas.phi(l) = 180 - (abs(coordenadas.y(l)) * angulo);
            end
        end
        j = j+2;
    end
    %Segundo sector
```

```

for i = k-1:-1:0
    coordenadas.x(j) = i;
    coordenadas.y(j) = -k;
    coordenadas.x(j+1) = -i;
    coordenadas.y(j+1) = k;
    for l = j:j+1
        if sign(coordenadas.y(l)) == 1
            coordenadas.phi(l) = (abs(coordenadas.y(l)) * angulo) +
(abs(coordenadas.x(l)) * angulo);
        else
            coordenadas.phi(l) = 180 - (abs(coordenadas.y(l)) * angulo) +
(abs(coordenadas.x(l)) * angulo);
        end
    end
    j = j+2;
end
%Tercer sector
for i = 1:(2*(k-1))/2
    coordenadas.x(j) = k-i;
    coordenadas.y(j) = i;
    coordenadas.x(j+1) = -(k-i);
    coordenadas.y(j+1) = -i;
    for l = j:j+1
        if sign(coordenadas.x(l)) == 1
            coordenadas.phi(l) = abs(coordenadas.y(l)) * angulo;
        else
            coordenadas.phi(l) = 180 - (abs(coordenadas.y(l)) * angulo);
        end
    end
    j = j+2;
end
end

%% Cálculo de la relación señal-ruido en función de la distancia.
%Cálculo de las distancias cuando nos movemos en el eje de 0°.
dmax = cosd(30)*R;
d = [.01:.01:dmax]; %m
phsdpa = [2:2:18]; %W
distancia = sqrt(3)*R;
%potencias empleadas en la simulación.
%Pumts: toda la potencia que no se dedica a HSDPA y provoca interferencia
%interna.
ppiloto = 2; %Wattios
Ppiloto = 10*log10(2 * 1000); %dBm
Phsdpa = 10*log10(phsdpa * 1000); %dBm
Pmax = 10*log10(pmax * 1000); %dBm
pumts = pmax - phsdpa; %W
Pumts = Pmax - Phsdpa; %dBm

hold on
set(gca, 'LineStyleOrder', {'-', '-.'})
for h = 1:length(phsdpa)
    %Cálculo de la señal de información y de las señales de interferencia.
    for i = 1:length(d)
        %Calculo de la señal del usuario en unidades naturales
        S = Phsdpa(h) - Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm, d(i), zona) +
Gant;
        s = 10^(S/10);

        %Cálculo de la interferencia interna.
        iint = (pumts(h) * 1000 * phi)/Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm,
d(i), zona, 2) * 10^(Gant/10);
        Iint = 10*log10(iint);

        %Cálculo de la interferencia externa en las tres primeras coronas que
%rodean la célula bajo estudio.
        for j = 1:length(coordenadas.x)
            r = distancia*sqrt(coordenadas.x(j)^2 + coordenadas.y(j)^2 +

```

```

(coordenadas.x(j)*coordenadas.y(j));
    c = d(i)^2 + r^2 - 2*d(i)*r*cosd(coordenadas.phi(j));
    c = sqrt(c);
    perdidas(j) = (pmax*1000)/Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm, c,
zona, 2);
end
iext = sum(perdidas) * 10^(Gant/10);
Iext = 10*log10(iext);

%Cálculo final de la señal a ruido.
snir(1,i) = (SF * s)/(Fsector*(iint + iext) + pn);
SNR(1,i) = 10 * log10(snir(1,i));
end
%Representación gráfica del resultado final.
hold all
plot(d.*1000, SNR(1,:), 'LineWidth', 2);
end
title('\bf\fontsize{12} SNR en zona rural. Dir 0\circ', 'LineWidth', 18)
xlabel('\bf\fontsize{12}Distancia del usuario a la estación base. (m)');
ylabel('\bf\fontsize{12}SNR. (dB)')
hold off
legend('SNR. potencia HSDPA=2W', 'SNR. potencia HSDPA=4W', 'SNR. potencia
HSDPA=6W', 'SNR. potencia HSDPA=8W', 'SNR. potencia HSDPA=10W', ...
'SNR. potencia HSDPA=12W', 'SNR. potencia HSDPA=14W', 'SNR. potencia
HSDPA=16W', 'SNR. potencia HSDPA=18W')
figure

%% Cálculo de la interferencia externa cuando nos movemos en un ángulo de 30°
%Reajuste de los grados de movimiento.
for i=1:length(coordenadas.x)
    if sign(coordenadas.y(i)) == -1
        coordenadas.phi(i) = coordenadas.phi(i)+30;
    else
        coordenadas.phi(i) = abs(coordenadas.phi(i) - 30);
    end
end

%% Cálculo de la señal de información y de las señales de interferencia en
%la direccion de 30°.
hold on
d = [.01:.01:R];
set(gca, 'LineStyleOrder', {'-', '-.'})
for h = 1:length(phsdpa)
    %Cálculo de la señal de información y de las señales de interferencia.
    for i = 1:length(d)
        %Calculo de la señal del usuario en unidades naturales
        S = Phsdpa(h) - Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm, d(i), zona) +
Gant;
        s = 10^(S/10);

        %Cálculo de la interferencia interna.
        iint = (pumts(h) * 1000 * phi)/Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm,
d(i), zona, 2) * 10^(Gant/10);
        Iint = 10*log10(iint);

        %Cálculo de la interferencia externa en las tres primeras coronas que
%rodean la célula bajo estudio.
        for j = 1:length(coordenadas.x)
            r = distancia*sqrt(coordenadas.x(j)^2 + coordenadas.y(j)^2 +
(coordenadas.x(j)*coordenadas.y(j)));
            c = d(i)^2 + r^2 - 2*d(i)*r*cosd(coordenadas.phi(j));
            c = sqrt(c);
            perdidas(j) = (pmax*1000)/Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm, c,
zona, 2);
        end
        iext = sum(perdidas) * 10^(Gant/10);
        Iext = 10*log10(iext);
    end
end

```



```
        %Cálculo final de la señal a ruido.
        snir(1,i) = (SF * s)/(Fsector*(iint + iext) + pn);
        SNR(1,i) = 10 * log10(snir(1,i));
    end
%Representación gráfica del resultado final.
hold all
plot(d.*1000, SNR(1,:), 'LineWidth', 2);
end
index = find(SNR == 0);
SNR(index) = NaN;

title('\bf\fontsize{12} SNR en zona rural. Dir 30\circ', 'LineWidth', 18)
xlabel('\bf\fontsize{12}Distancia del usuario a la estación base. (m)');
ylabel('\bf\fontsize{12}SNR. (dB)')
hold off
legend('SNR. potencia HSDPA=2W', 'SNR. potencia HSDPA=4W', 'SNR. potencia
HSDPA=6W', 'SNR. potencia HSDPA=8W', 'SNR. potencia HSDPA=10W', ...
'SNR. potencia HSDPA=12W', 'SNR. potencia HSDPA=14W', 'SNR. potencia
HSDPA=16W', 'SNR. potencia HSDPA=18W');
figure
```

### **A.6 Cálculo de los esquemas de modulación empleados en la comunicación, en función de la calidad de señal recibida en macrocelda.**

El código que vamos a mostrar corresponde al cálculo de los órdenes de modulación de la comunicación cuando variamos la potencia dedicada a HSDPA.

```
%Script que determina los esquemas de modulación de la comunicación en
%función de la potencia dedicada a HSDPA
%Argumentos empleados para el cálculo.
%pmax: Potencia máxima de transmisión de la estación base. W
%phsdpa: Potencia de la estación base dedicada exclusivamente a HSDPA. W
%R: Radio de la c?lula en estudio. Km
%d: distancia a la que se encuentra el usuario de la estación base. m
%NF: factor de ruido del enlace descendente. dB
%phi: factor de ortogonalidad.
%freq: frecuencia de funcionamiento del sistema. MHz.
%ht: altura de la base. m
%hm: altura del tel?fono móvil. m
%zona: Determina el tipo de zona sobre la que vamos a evaluar el modelo.
    %1-Ciudad Grande
    %2-Ciudad media-peque?a
    %3-Zona suburbana.
    %4-Zona rural.
%SF: factor de ensanchamiento.
%B: ancho de banda efectivo que disponemos para la transmisión.

%Argumentos de salida.
%SNR: relación señal-ruido en decibelios.
%snir: relación señal-ruido en unidades naturales.
%Gr?ficas con los valores de los resultados obtenidos.

clear all
close all
clc

%Valores de los argumentos necesarios para el cálculo.
pmax = 20;      %W
R = 1;          %Km
NF = 8;         %dB
f = .5;
phi = (1-f);
freq = 2140;    %MHz
```

## Anexos

---

```
ht = 30;           %m
hm = 1.5;         %m
zona = 1;
SF = 16;
B = 4;           %MHz
Gant = 15;       %dB
Fsector = .42;

%Calculo de la potencia de ruido.
Pn = -114 + 10*log10(B) + NF;
pn = 10^(Pn/10);

%% Calculo de la interferencia externa con accion de tres coronas de celdas.
Ncoronas = 3;
%Calculo de las coordenadas de las c?elulas conlindantes y del angulo que
forman
%respecto del eje x.
j = 1;
for k = 1:Ncoronas
    angulo = 360/(6*k);
    %Primer sector
    for i = 1:k+1
        coordenadas.x(j) = k;
        coordenadas.y(j) = -(i-1);
        coordenadas.x(j+1) = -k;
        coordenadas.y(j+1) = i-1;
        for l = j:j+1
            if sign(coordenadas.x(l)) == 1
                coordenadas.phi(l) = abs(coordenadas.y(l)) * angulo;
            else
                coordenadas.phi(l) = 180 - (abs(coordenadas.y(l)) * angulo);
            end
        end
    end
    j = j+2;
end
%Segundo sector
for i = k-1:-1:0
    coordenadas.x(j) = i;
    coordenadas.y(j) = -k;
    coordenadas.x(j+1) = -i;
    coordenadas.y(j+1) = k;
    for l = j:j+1
        if sign(coordenadas.y(l)) == 1
            coordenadas.phi(l) = (abs(coordenadas.y(l)) * angulo) +
(abs(coordenadas.x(l)) * angulo);
        else
            coordenadas.phi(l) = 180 - (abs(coordenadas.y(l)) * angulo) +
(abs(coordenadas.x(l)) * angulo);
        end
    end
    j = j+2;
end
%Tercer sector
for i = 1:(2*(k-1))/2
    coordenadas.x(j) = k-i;
    coordenadas.y(j) = i;
    coordenadas.x(j+1) = -(k-i);
    coordenadas.y(j+1) = -i;
    for l = j:j+1
        if sign(coordenadas.x(l)) == 1
            coordenadas.phi(l) = abs(coordenadas.y(l)) * angulo;
        else
            coordenadas.phi(l) = 180 - (abs(coordenadas.y(l)) * angulo);
        end
    end
    j = j+2;
end
end
```

```

%% Calculo de la relacion senal-ruido en funcion de la distancia.
%Calculo de las distancias cuando nos movemos en el eje de 0°.
dmax = cosd(30)*R;
d = [.01:.01:dmax]; %m
phsdpa = [2:2:18]; %W
distancia = sqrt(3)*R;
%potencias empleadas en la simulación.
%Pumts: toda la potencia que no se dedica a HSDPA y provoca interferencia
%interna.
ppiloto = 2; %Wattios
Ppiloto = 10*log10(2 * 1000); %dBm
Phsdpa = 10*log10(phsdpa * 1000); %dBm
Pmax = 10*log10(pmax * 1000); %dBm
pumts = pmax - phsdpa; %W
Pumts = Pmax - Phsdpa; %dBm

for h = 1:length(phsdpa)
    %Calculo de la senal de informacion y de las senales de interferencia.
    for i = 1:length(d)
        %Calculo de la senal del usuario en unidades naturales
        S = Phsdpa(h) - Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm, d(i), zona) +
Gant;
        s = 10^(S/10);

        %Calculo de la interferencia interna.
        iint = (pumts(h) * 1000 * phi)/Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm,
d(i), zona, 2) * 10^(Gant/10);
        Iint = 10*log10(iint);

        %Calculo de la interferencia externa en las tres primeras coronas que
%rodean la c?lula bajo estudio.
        for j = 1:length(coordenadas.x)
            r = distancia*sqrt(coordenadas.x(j)^2 + coordenadas.y(j)^2 +
(coordenadas.x(j)*coordenadas.y(j)));
            c = d(i)^2 + r^2 - 2*d(i)*r*cosd(coordenadas.phi(j));
            c = sqrt(c);
            perdidas(j) = (pmax*1000)/Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm, c,
zona, 2);
        end
        iext = sum(perdidas) * 10^(Gant/10);
        Iext = 10*log10(iext);

        %Calculo final de la se?al a ruido.
        snir(h,i) = (SF * s)/(Fsector*(iint + iext) + pn);
        SNR(h,i) = 10 * log10(snir(h,i));
    end
end

%% Dibujo de los esquemas de modulacion
tamano = size(SNR);
for j = 1:(tamano(1))
    figure;
    for i = 1:tamano(2)
        mod(i) = equivalencia_modulacion(SNR(j, i));
    end
    maximo = max(SNR(j, :));
    minimo = min(SNR(j, :));
    [AX, H1, H2] = plotyy(d.*1000, mod, d.*1000, SNR(j,:));
    set(AX(1), 'ylim', [minimo-1.5 maximo+1.5])
    set(AX(2), 'ylim', [minimo-1.5 maximo+1.5])
    set(get(AX(1), 'Ylabel'), 'String', '\bf\fontsize{12}Esquema de modulacion')
    set(get(AX(2), 'Ylabel'), 'String', '\bf\fontsize{12}SNR. (dB)')
    title(['\bf\fontsize{12}Esquema de modulacion cuando Phsdpa = ',
num2str(phsdpa(j)), ' W en zona rural. Dir 0\circ'], 'LineWidth', 18');
    xlabel('\bf\fontsize{12}Distancia del usuario a la estacion base. (m)');
    H = [H2 H1];
end

```

```

legend(H, ['SNR. potencia HSDPA = ', num2str(phsdpa(j)), ' W'], 'Esquema
de modulacion');
set(H1, 'LineStyle', '--', 'LineWidth', 2, 'Color', 'r')
set(H2, 'LineWidth', 2, 'Color', 'b')
set(gca, 'ytick', [0 3.6 5.7 6.8 8.0 8.7 9.6 11.6 13.6 14.4 15 17.1 18.6
20 21], ...
'YTickLabel', {'NS'; 'QPSK 1/2'; 'QPSK 2/3'; 'QPSK 3/4'; 'QPSK
5/6'; 'QPSK 7/8'; '16QAM 1/2'; ...
'16QAM 2/3'; '16QAM 3/4'; '16QAM 5/6'; '16QAM 7/8'; '64QAM 2/3'; '64QAM
3/4'; '64QAM 5/6'; '64QAM 7/8'});
end
grid on;
grid off;

%% Cálculo de la interferencia externa cuando nos movemos en un ángulo de 30°
%%Reajuste de los grados de movimiento.
for i=1:length(coordenadas.x)
    if sign(coordenadas.y(i)) == -1
        coordenadas.phi(i) = coordenadas.phi(i)+30;
    else
        coordenadas.phi(i) = abs(coordenadas.phi(i) - 30);
    end
end

%% Calculo de la relacion senal-ruido en funcion de la distancia.
%%Calculo de las distancias cuando nos movemos en el eje de 30 grados.
d = [.01:.01:R]; %m
phsdpa = [2:2:18]; %W
distancia = sqrt(3)*R;
for h = 1:length(phsdpa)
    %Calculo de la senal de informacion y de las senales de interferencia.
    for i = 1:length(d)
        %Calculo de la senal del usuario en unidades naturales
        S = Phsdpa(h) - Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm, d(i), zona) +
Gant;
        s = 10^(S/10);

        %Calculo de la interferencia interna.
        iint = (pumts(h) * 1000 * phi)/Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm,
d(i), zona, 2) * 10^(Gant/10);
        Iint = 10*log10(iint);

        %Calculo de la interferencia externa en las tres primeras coronas que
%rodean la c?lula bajo estudio.
        for j = 1:length(coordenadas.x)
            r = distancia*sqrt(coordenadas.x(j)^2 + coordenadas.y(j)^2 +
(coordenadas.x(j)*coordenadas.y(j)));
            c = d(i)^2 + r^2 - 2*d(i)*r*cosd(coordenadas.phi(j));
            c = sqrt(c);
            perdidas(j) = (pmax*1000)/Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm, c,
zona, 2);
        end
        iext = sum(perdidas) * 10^(Gant/10);
        Iext = 10*log10(iext);

        %Calculo final de la se?al a ruido.
        snir(h,i) = (SF * s)/(Fsector*(iint + iext) + pn);
        SNR(h,i) = 10 * log10(snir(h,i));
    end
end

%% Dibujo de los esquemas de modulacion
tamano = size(SNR);
for j = 1:(tamano(1))
    figure;
    for i = 1:tamano(2)
        mod(i) = equivalencia_modulacion(SNR(j, i));
    end
end

```

```

end
maximo = max(SNR(j, :));
minimo = min(SNR(j, :));
[AX, H1, H2] = plotyy(d.*1000, mod, d.*1000, SNR(j,:));
set(AX(1), 'ylim', [minimo-1.5 maximo+1.5])
set(AX(2), 'ylim', [minimo-1.5 maximo+1.5])
set(get(AX(1), 'Ylabel'), 'String', '\bf\fontsize{12}Esquema de modulacion')
set(get(AX(2), 'Ylabel'), 'String', '\bf\fontsize{12}SNR. (dB)')
title(['\bf\fontsize{12}Esquema de modulacion cuando Phsdpa = ',
num2str(phsdpa(j)), ' W en zona rural. Dir 30\circ'], 'LineWidth', 18');
xlabel('\bf\fontsize{12}Distancia del usuario a la estacion base. (m)');
H = [H2 H1];
legend(H, ['SNR. potencia HSDPA = ', num2str(phsdpa(j)), ' W'], 'Esquema
de modulacion');
set(H1, 'LineStyle', '--', 'LineWidth', 2, 'Color', 'r')
set(H2, 'LineWidth', 2, 'Color', 'b')
set(gca, 'ytick', [0 3.6 5.7 6.8 8.0 8.7 9.6 11.6 13.6 14.4 15 17.1 18.6
20 21], ...
'YTickLabel', {'NS'; 'QPSK 1/2'; 'QPSK 2/3'; 'QPSK 3/4'; 'QPSK
5/6'; 'QPSK 7/8'; '16QAM 1/2'; ...
'16QAM 2/3'; '16QAM 3/4'; '16QAM 5/6'; '16QAM 7/8'; '64QAM 2/3'; '64QAM
3/4'; '64QAM 5/6'; '64QAM 7/8'});
end
grid on;
grid off;

```

### A.7 Cálculo del número de códigos a repartir entre los clientes de la celda que optimice la tasa binaria total gestionada por la estación base

```

%Script que determina el numero de codigos a repartir entre los usuarios de
%la celda que maximice la tasa binaria gestionada por la estacion base.
%Argumentos empleados para el calculo.
%pmax: Potencia maxima de transmision de la estacion base. W
%phsdpa: Potencia de la estacion base dedicada exclusivamente a HSDPA. W
%R: Radio de la c?lula en estudio. Km
%d: distancia a la que se encuentra el usuario de la estacion base. m
%NF: factor de ruido del enlace descendente. dB
%phi: factor de ortogonalidad.
%freq: frecuencia de funcionamiento del sistema. MHz.
%ht: altura de la base. m
%hm: altura del tel?fono movil. m
%zona: Determina el tipo de zona sobre la que vamos a evaluar el modelo.
    %1-Ciudad Grande
    %2-Ciudad media-pequena
    %3-Zona suburbana.
    %4-Zona rural.
%SF: factor de ensanchamiento.
%B: ancho de banda efectivo que disponemos para la transmision.

%Argumentos de salida.
%SNR: relacion senal-ruido en decibelios.
%snir: relacion senal-ruido en unidades naturales.
%Graficas con los valores de los resultados obtenidos.

tic
clear all
close all
clc

%% Configuración de los parámetros básicos en la simulación.
pmax = 20;      %W
R = .5;        %Km
NF = 8;        %dB
f = .5;
phi = (1-f);

```

## Anexos

---

```
freq = 2140;      %MHz
ht = 30;         %m
hm = 10;         %m
zona = 1;
SF = 16;
B = 4;           %MHz
Gant = 15;       %dB
Fsector = .35;
Lextral = 0;
Lextral2 = 0;
phsdpa = 8;      %W

%Solo para cuando Lextra sena diferentes
coordenadas_Lextral.x = [-1 -2 -2 -1 -3 -3 -3 -2 -1];
coordenadas_Lextral.y = [0 0 1 -1 0 1 2 -1 -2];

%Estructura con los valores clave de cada orden de modulación. Todos estos
%datos estan sacados de la memoria final del proyecto.
modulacion.valorClave = [.01 3.6 5.7 6.8 8 8.7 9.6 11.6 13.6 14.4 15 17.1
18.6 20 21];
modulacion.bitSimbolo = [0 2 2 2 2 2 4 4 4 4 4 6 6 6 6];
modulacion.codigo = [0 1/2 2/3 3/4 5/6 7/8 1/2 2/3 3/4 5/6 7/8 2/3 3/4 5/6
7/8];

%Calculo de la potencia de ruido.
Pn = -114 + 10*log10(B) + NF;
pn = 10^(Pn/10);

%% Cálculo de las clases de análisis que hay que realizar en función de
%sectores
Nsectores = 3; %Numero de sectores ha analizar
NcodMax = 15;
codigos = [];
if Nsectores == 1
    codigos = [(1:15); zeros(1, 15); zeros(1, 15)];
elseif Nsectores == 2
    for i = 1:8
        for j = i:15
            aux = i + j;
            if aux > NcodMax
                continue;
            else
                aux2 = [i;j];
                codigos = [codigos aux2];
            end
        end
    end
    codigos(3, :) = zeros(1, length(codigos(1, :)));
elseif Nsectores == 3
    for i = 1:5
        for j = i:15
            for k = j:15
                aux = i + j + k;
                if aux > NcodMax
                    continue;
                else
                    aux2 = [i;j;k];
                    codigos = [codigos aux2];
                end
            end
        end
    end
end

%% Calculo de las coordenadas de las c?lulas conlindantes y del angulo que
forman
%respecto del eje x. Empleamos geometria celular, ejes de 60°.
```

```
Ncoronas = 3;
j = 1;
for k = 1:Ncoronas
    angulo = 360/(6*k);
    %Primer sector
    for i = 1:k+1
        coordenadas.x(j) = k;
        coordenadas.y(j) = -(i-1);
        coordenadas.x(j+1) = -k;
        coordenadas.y(j+1) = i-1;
        for l = j:j+1
            if sign(coordenadas.x(l)) == 1
                coordenadas.phi(l) = abs(coordenadas.y(l)) * angulo;
            else
                coordenadas.phi(l) = 180 - (abs(coordenadas.y(l)) * angulo);
            end
        end
        j = j+2;
    end
    %Segundo sector
    for i = k-1:-1:0
        coordenadas.x(j) = i;
        coordenadas.y(j) = -k;
        coordenadas.x(j+1) = -i;
        coordenadas.y(j+1) = k;
        for l = j:j+1
            if sign(coordenadas.y(l)) == 1
                coordenadas.phi(l) = (abs(coordenadas.y(l)) * angulo) +
(abs(coordenadas.x(l)) * angulo);
            else
                coordenadas.phi(l) = 180 - (abs(coordenadas.y(l)) * angulo) +
(abs(coordenadas.x(l)) * angulo);
            end
        end
        j = j+2;
    end
    %Tercer sector
    for i = 1:(2*(k-1))/2
        coordenadas.x(j) = k-i;
        coordenadas.y(j) = i;
        coordenadas.x(j+1) = -(k-i);
        coordenadas.y(j+1) = -i;
        for l = j:j+1
            if sign(coordenadas.x(l)) == 1
                coordenadas.phi(l) = abs(coordenadas.y(l)) * angulo;
            else
                coordenadas.phi(l) = 180 - (abs(coordenadas.y(l)) * angulo);
            end
        end
        j = j+2;
    end
end

%% Reajuste de los angulos de los de las antenas interferente externas al
% movernos en una direccion de 30°
for i=1:length(coordenadas.x)
    if sign(coordenadas.y(i)) == -1
        coordenadas.phi(i) = coordenadas.phi(i)+30;
    else
        coordenadas.phi(i) = abs(coordenadas.phi(i) - 30);
    end
end

dmax = cosd(30)*R;
d = [.01:.01:R]; %m
distancia = sqrt(3)*R;

%% Calculo de la relacion senal-ruido en funcion de la distancia.
```

```

%potencias empleadas en la simulacion.
ppiloto = 2; %Watio
Ppiloto = 10*log10(2 * 1000); %dBm
Phsdpa = 10*log10(phsdpa * 1000); %dBm
Pmax = 10*log10(pmax * 1000); %dBm
pumts = pmax - phsdpa; %W
Pumts = Pmax - Phsdpa; %dBm

for h = 1:length(codigos)
    %Analizamos que configuración de codigos será la optima para cada uno de
    %los casos, subiendo éstos de uno en uno.
    %Cálculo de la potencia que le corresponde a cada codigo.
    Ncodigos = codigos(1, h) + codigos(2, h) + codigos(3, h);
    pcodigo = phsdpa / Ncodigos;
    Pcodigo = 10*log10(pcodigo*1e3);
    %Calculo de la señal de informacion y de las señales de interferencia.
    for q = 1:3
        if codigos(q, 1) == 0
            continue;
        elseif q == 2 && codigos(q, h) == codigos(1, h)
            Usuario.velocidadMedia(h, 1, q) = Usuario.velocidadMedia(h, 1,
1);
            continue;
        elseif q == 3 && codigos(q, h) == codigos(1, h)
            Usuario.velocidadMedia(h, 1, q) = Usuario.velocidadMedia(h, 1,
1);
            continue;
        elseif q == 3 && codigos(q, h) == codigos(2, h)
            Usuario.velocidadMedia(h, 1, q) = Usuario.velocidadMedia(h, 1,
2);
            continue;
        end
        for i = 1:length(d)
            %Calculo de la señal del usuario en unidades naturales
            S = Pcodigo - Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm, d(i), zona) +
Gant - Lextral;
            s = 10^(S/10);

            %CALCULO DE LA INTERFERENCIA INTERNA.
            %Calculo de la interferencia interna producido por los usuario
que se
            %encuentran en la misma celda que el usuario en estudio ademas de
la de
            %UMTS.
            %Interferencia de UMTS en mi sector
            iint = ((pumts) * 1000 * phi *
10^(Gant/10))/(Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm, d(i), zona, 2) *
10^(Lextral/10));
            %Interferencia usuarios en mi misma celda.
            Fresto = 1;
            iint2 = ((codigos(q, h)-1)* pcodigo * 1000 * phi * Fresto *
10^(Gant/10))/(Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm, d(i), zona, 2) *
10^(Lextral/10));

            %Calculo de la interferencia externa que se encuentra en otras
celdas.
            Fresto = Fsector-(1/3);
            %Interferencia de los usuarios que se encuentran fuera de mi
sector.
            iint5 = ((Ncodigos-codigos(q, h)) * pcodigo * 1000 * phi * Fresto
* 10^(Gant/10))/(Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm, d(i), zona, 2) *
10^(Lextral/10));
            %Interferencia interna final.
            iintfinal = iint5 + iint2;
            Iint = 10*log10(iintfinal);

            %Calculo de la interferencia externa en las tres primeras coronas
que

```



```

        %rodean la c?lula bajo estudio.
        for j = 1:length(coordenadas.x)
            exito = 0;
            r = distancia*sqrt(coordenadas.x(j)^2 + coordenadas.y(j)^2 +
(coordenadas.x(j)*coordenadas.y(j)));
            c = d(i)^2 + r^2 - 2*d(i)*r*cosd(coordenadas.phi(j));
            c = sqrt(c);
            for k = 1:length(coordenadas_Lextral.x)
                if (coordenadas.x(j) == coordenadas_Lextral.x(k)) &&
(coordenadas.y(j) == coordenadas_Lextral.y(k))
                    exito = 1;
                    break;
                end
            end
            if exito == 1
                perdidas(j) = (pmax*1000)/(Hata_Cost_Modificado(freq, ht,
hm, c, zona, 2) * 10^(Lextral/10));
            else
                perdidas(j) = (pmax*1000)/(Hata_Cost_Modificado(freq, ht,
hm, c, zona, 2) * 10^(Lextra2/10));
            end
            end
            iext = sum(perdidas) * 10^(Gant/10);
            Iext = 10*log10(iext);

            %C?lculo final de la se?al a ruido.
            snir(h, i, q) = (SF * s)/(Fsector*(iint + iext) + pn +
iintfinal);
            SNR(h, i, q) = 10 * log10(snir(h, i, q));
        end

        for i = 1:length(d)
            Mod(h,i, q) = equivalencia_modulacion(SNR(h, i, q));
        end

        %% Calculo del numero de ordenes de modulacion que ataciesan cada uno
de los
        %usuarios as? como la distancia de cada orden.
        muestrasDistancia = 0;
        modulacionesAux(1) = 0;
        for j = 1:length(d)
            if(modulacionesAux(length(modulacionesAux)) ~= Mod(h, j, q))
                modulacionesAux(length(modulacionesAux)+1) = Mod(h, j, q);
                muestrasDistancia(length(muestrasDistancia)+1) = 1;
            else
                if j == length(d)-1
                    muestrasDistancia(length(muestrasDistancia)) =
muestrasDistancia(length(muestrasDistancia)) + 2;
                else
                    muestrasDistancia(length(muestrasDistancia)) =
muestrasDistancia(length(muestrasDistancia)) + 1;
                end
            end
        end
        modulacionesUsuario.ordenes(h, :, q) = [modulacionesAux(2:end)
zeros(1, 16-length(modulacionesAux))];
        modulacionesAux = [];
        modulacionesUsuario.distancia(h, :, q) = [muestrasDistancia(2:end)
zeros(1, 16-length(muestrasDistancia))];
        modulacionesUsuario.distanciaTotal(h, :, q) =
sum(modulacionesUsuario.distancia(h, :, q));
        muestrasDistancia = 0;

        %% Calculo de la velocidad media de descarga para cada uno de los
usuarios.
        tamano = size(modulacionesUsuario.ordenes);
        numero = 0;
        suma = 0;

```

```
for j = 1:tamano(2)
    if(modulacionesUsuario.ordenes(h, j, q) == 0)
        break;
    end
    index = find(modulacion.valorClave ==
modulacionesUsuario.ordenes(h, j, q));
    velocidad = (3.84 * modulacion.bitSimbolo(index) *
modulacion.codigo(index)) / SF;
    velocidad = codigos(q, h) * velocidad *
(modulacionesUsuario.distancia(h, j, q)/modulacionesUsuario.distanciaTotal(h,
1, q));
    suma = suma + velocidad;
end
Usuario.velocidadMedia(h, 1, q) = suma;
if isnan(Usuario.velocidadMedia(h, 1)) == 1
    Usuario.velocidadMedia(h, 1) = 0;
end

end

end

%% Cálculo del tráfico total que puede otorgar la célula.
tamano2 = size(Usuario.velocidadMedia);
if length(tamano2) == 2
    throughputTotal = Usuario.velocidadMedia;
else
    for i = 1:tamano2(1)
        suma = 0;
        for j = 1:tamano2(3)
            suma = suma + Usuario.velocidadMedia(i, 1, j);
        end
        throughputTotal(i, 1) = suma;
    end
end
end
```

### **A.8 Cálculo de las tasas binarias recibidas por cada usuario cuando más de uno deben compartir los recursos del sistema**

```
%Script que determina la velocidad binaria obtenida por cada usuario cuando
%mas de uno deben compartir los recursos del sistema
%Argumentos empleados para el calculo.
%pmx: Potencia maxima de transmision de la estacion base. W
%phsdpa: Potencia de la esxtacion base dedicada exclusivamente a HSDPA. W
%R: Radio de la c?lula en estudio. Km
%d: distancia a la que se encuentra el usuario de la estacion base. m
%NF: factor de ruido del enlace descendente. dB
%phi: factor de ortogonalidad.
%freq: frecuencia de funcionamiento del sistema. MHz.
%ht: altura de la base. m
%hm: altura del tel?fono movil. m
%zona: Determina el tipo de zona sobre la que vamos a evaluar el modelo.
    %1-Ciudad Grande
    %2-Ciudad media-pequena
    %3-Zona suburbana.
    %4-Zona rural.
%SF: factor de ensanchamiento.
%B: ancho de banda efectivo que disponemos para la transmision.

%Argumentos de salida.
%SNR: relacion senal-ruido en decibelios.
%snir: relacion senal-ruido en unidades naturales.
%Graficas con los valores de los resultados obtenidos.

clear all
close all
```

```
clc

%% Configuración de los parámetros básicos en la simulación.
pmax = 20;      %W
R = 3;         %Km
NF = 8;        %dB
f = .9;
phi = (1-f);
freq = 2140;   %MHz
ht = 30;      %m
hm = 3;       %m
zona = 4;
SF = 16;
B = 4;        %MHz
Gant = 15;    %dB
Fsector = .35;
Lextral = 0;
Lextra2 = 0;
phsdpa = 8;   %W
Nusuarios = 15; %Numero de personas fisicas que acceden al servicio.
Nsectores = 3; %Determino en cuantos sectores hay gente
NcodMax = 15; %Numero maximo de codigos destinados a HSDPA
codigos = [3; 3; 9]; %Reparto optimo de codigos en funcion de lo que queramos
analizar.
NestudioSector = 3;

%Solo para cuando Lextra sean diferentes
coordenadas_Lextral.x = [-1 -2 -2 -1 -3 -3 -3 -2 -1];
coordenadas_Lextral.y = [0 0 1 -1 0 1 2 -1 -2];

%Estructura con los valores clave de cada orden de modulación. Todos estos
%datos estan sacados de la memoria final del proyecto.
modulacion.valorClave = [.01 3.6 5.7 6.8 8 8.7 9.6 11.6 13.6 14.4 15 17.1
18.6 20 21];
modulacion.bitSimbolo = [0 2 2 2 2 2 4 4 4 4 4 6 6 6 6];
modulacion.codigo = [0 1/2 2/3 3/4 5/6 7/8 1/2 2/3 3/4 5/6 7/8 2/3 3/4 5/6
7/8];

%Calculo de la potencia de ruido.
Pn = -114 + 10*log10(B) + NF;
pn = 10^(Pn/10);

%% Calculo de las coordenadas de las c?lulas conlindantes y del angulo que
forman
%respecto del eje x. Empleamos geometria celular, ejes de 60°.
Ncoronas = 3;
j = 1;
for k = 1:Ncoronas
    angulo = 360/(6*k);
    %Primer sector
    for i = 1:k+1
        coordenadas.x(j) = k;
        coordenadas.y(j) = -(i-1);
        coordenadas.x(j+1) = -k;
        coordenadas.y(j+1) = i-1;
        for l = j:j+1
            if sign(coordenadas.x(l)) == 1
                coordenadas.phi(l) = abs(coordenadas.y(l)) * angulo;
            else
                coordenadas.phi(l) = 180 - (abs(coordenadas.y(l)) * angulo);
            end
        end
        j = j+2;
    end
    %Segundo sector
    for i = k-1:-1:0
        coordenadas.x(j) = i;
```

```
    coordenadas.y(j) = -k;
    coordenadas.x(j+1) = -i;
    coordenadas.y(j+1) = k;
    for l = j:j+1
        if sign(coordenadas.y(l)) == 1
            coordenadas.phi(l) = (abs(coordenadas.y(l)) * angulo) +
(abs(coordenadas.x(l)) * angulo);
        else
            coordenadas.phi(l) = 180 - (abs(coordenadas.y(l)) * angulo) +
(abs(coordenadas.x(l)) * angulo);
        end
    end
    j = j+2;
end
%Tercer sector
for i = 1:(2*(k-1))/2
    coordenadas.x(j) = k-i;
    coordenadas.y(j) = i;
    coordenadas.x(j+1) = -(k-i);
    coordenadas.y(j+1) = -i;
    for l = j:j+1
        if sign(coordenadas.x(l)) == 1
            coordenadas.phi(l) = abs(coordenadas.y(l)) * angulo;
        else
            coordenadas.phi(l) = 180 - (abs(coordenadas.y(l)) * angulo);
        end
    end
    j = j+2;
end
end

%% Reajuste de los angulos de los de las antenas interferente externas al
% movernos en una direccion de 30°
for i=1:length(coordenadas.x)
    if sign(coordenadas.y(i)) == -1
        coordenadas.phi(i) = coordenadas.phi(i)+30;
    else
        coordenadas.phi(i) = abs(coordenadas.phi(i) - 30);
    end
end
%% calculo del numero de clientes en cada sector en 3 sectores.
clientes_sector = zeros(Nsectores, 1);
sector = 1;
for i = 1:Nusuarios
    if(rem(i, Nsectores) == 0)
        clientes_sector(3, 1) = clientes_sector(3, 1) + 1;
        sector = 1;
    else
        clientes_sector(sector, 1) = clientes_sector(sector, 1) + 1;
        sector = sector + 1;
    end
end
%% Reparto de los codigos entre los clientes.
codigos = sort(codigos, 'descend');
codigos_cliente = zeros(3, clientes_sector(1));
for i = 1:3
    aux = 1;
    for j = 1:codigos(i)
        if(rem(j, clientes_sector(i))~= 0)
            codigos_cliente(i, aux) = codigos_cliente(i, aux) + 1;
            aux = aux + 1;
        else
            codigos_cliente(i, aux) = codigos_cliente(i, aux) + 1;
            aux = 1;
        end
    end
end
end
```

```
dmax = cosd(30)*R;
d = [.01:.01:R]; %m
distancia = sqrt(3)*R;

%% Cálculo de las áreas de cada usuario y su radio de acción.
%al dividir la célula en sectores de 120º, tendremos celdas que cubrirán la
%superficie de un rombo, por lo que los radios de acción al dividir el
%rombo en áreas iguales, vendrán determinadas con la fórmula del área del
%rombo. A = sqrt((3*d^4)/4)
Acelula = ((3*sqrt(3))/2) * R^2;
Asector = Acelula/Nsectores;
radios = [0; 0; 0];
radios2 = [0; 0; 0];
for j = 1:NestudioSector
    Ausuario(j) = Asector/clientes_sector(j);
    for i=1:clientes_sector(j)
        radio = nthroot((4*(i*Ausuario(j))^2)/3, 4);
        radios2(j, i+1) = radio;
        radios(j, i+1) = radios2(j, i+1)-radios2(j, i);
    end
end
radios2 = radios2(:, 2:end);

%% Cálculo de los índices que determinan la distancia de radio a la que se
%encuentra cada una de las áreas.
indices = [];
for k = 1:NestudioSector
    index = [];
    for j = 1:length(d)-1
        if(radios2(k, 1+length(index))>=d(j) && radios2(k,
1+length(index))<d(j+1))
            index(1+length(index))=j;
        end
        if j == length(d)-1
            index(1+length(index)) = length(d);
        end
    end
    indices = [indices; [index zeros(1, clientes_sector(1) -
length(index))]];
end
a = ones(NestudioSector, 1);
b = zeros(NestudioSector, 1);
indices = [a indices b];

%% Calculo de la relacion senal-ruido en funcion de la distancia.
%potencias empleadas en la simulacion.
ppiloto = 2; %Watios
Ppiloto = 10*log10(2 * 1000); %dBm
Phsdpa = 10*log10(phsdpa * 1000); %dBm
Pmax = 10*log10(pmax * 1000); %dBm
pumts = pmax - phsdpa; %W
Pumts = Pmax - Phsdpa; %dBm

%Analizamos que configuración de codigos será la optima para cada uno de
%los casos, subiendo éstos de uno en uno.
%Cálculo de la potencia que le corresponde a cada codigo.
Ncodigos = sum(codigos);
pcodigo = phsdpa / Ncodigos;
Pcodigo = 10*log10(pcodigo*1e3);
%Calculo de la senal de informacion y de las senales de interferencia.
for q = 1:3
    if codigos(q, 1) == 0
        continue;
    elseif q == 2 && codigos(q, 1) == codigos(1, 1)
        SNR(1, :, q) = SNR(1, :, 1);
    end
end
```

```

        Mod(1, :, q) = Mod(1, :, 1);
        continue;
    elseif q == 3 && codigos(q, 1) == codigos(1, 1)
        SNR(1, :, q) = SNR(1, :, 1);
        Mod(1, :, q) = Mod(1, :, 1);
        continue;
    elseif q == 3 && codigos(q, 1) == codigos(2, 1)
        SNR(1, :, q) = SNR(1, :, 2);
        Mod(1, :, q) = Mod(1, :, 2);
        continue;
    end
    for i = 1:length(d)
        %Calculo de la senal del usuario en unidades naturales
        S = Pcodigo - Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm, d(i), zona) + Gant -
Lextral;
        s = 10^(S/10);

        %CALCULO DE LA INTERFERENCIA INTERNA.
        %Calculo de la interferencia interna producido por los usuario que se
        %encuentran en la misma celda que el usuario en estudio ademas de la
de
        %UMTS.
        %Interferencia de UMTS en mi sector
        iint = ((pumts) * 1000 * phi *
10^(Gant/10))/(Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm, d(i), zona, 2) *
10^(Lextral/10));
        %Interferencia usuarios en mi misma celda.
        Fresto = 1;
        iint2 = ((codigos(q, 1)-1)* pcodigo * 1000 * phi * Fresto *
10^(Gant/10))/(Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm, d(i), zona, 2) *
10^(Lextral/10));

        %Calculo de la interferencia externa que se encuantra en otras
celdas.
        Fresto = Fsector-(1/3);
        %Interferencia de los usuarios que se encuentran fuera de mi sector.
        iint5 = ((Ncodigos-codigos(q, 1)) * pcodigo * 1000 * phi * Fresto *
10^(Gant/10))/(Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm, d(i), zona, 2) *
10^(Lextral/10));
        %Interferencia interna final.
        iintfinal = iint5 + iint2;
        Iint = 10*log10(iintfinal);

        %Calculo de la interferencia externa en las tres primeras coronas que
        %rodean la c?lula bajo estudio.
        for j = 1:length(coordenadas.x)
            exito = 0;
            r = distancia*sqrt(coordenadas.x(j)^2 + coordenadas.y(j)^2 +
(coordenadas.x(j)*coordenadas.y(j)));
            c = d(i)^2 + r^2 - 2*d(i)*r*cosd(coordenadas.phi(j));
            c = sqrt(c);
            for k = 1:length(coordenadas_Lextral.x)
                if (coordenadas.x(j) == coordenadas_Lextral.x(k)) &&
(coordenadas.y(j) == coordenadas_Lextral.y(k))
                    exito = 1;
                    break;
                end
            end
            if exito == 1
                perdidas(j) = (pmax*1000)/(Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm,
c, zona, 2) * 10^(Lextral/10));
            else
                perdidas(j) = (pmax*1000)/(Hata_Cost_Modificado(freq, ht, hm,
c, zona, 2) * 10^(Lextra2/10));
            end
        end
        iext = sum(perdidas) * 10^(Gant/10);
        Iext = 10*log10(iext);
    
```

```

        %C?lculo final de la se?al a ruido.
        snir(1, i, q) = (SF * s)/(Fsector*(iint + iext) + pn + iintfinal);
        SNR(1, i, q) = 10 * log10(snr(1, i, q));
    end

    for i = 1:length(d)
        Mod(1,i, q) = equivalencia_modulacion(SNR(1, i, q));
    end
end

%% calculo de los ordenes de modulacion que atravisan cada uno de los
% usuarios así como la distancia de cada orden.
for k = 1:NestudioSector
    muestrasDistancia = 0;
    for i = 1:clientes_sector(k)
        modulacionesAux(1) = 0;
        for j = indices(k, i):indices(k, i+1)-1
            if(modulacionesAux(length(modulacionesAux)) ~= Mod(1, j, k))
                modulacionesAux(length(modulacionesAux)+1) = Mod(1, j, k);
                muestrasDistancia(length(muestrasDistancia)+1) = 1;
            else
                if j == indices(end)-1
                    muestrasDistancia(length(muestrasDistancia)) =
muestrasDistancia(length(muestrasDistancia)) + 2;
                else
                    muestrasDistancia(length(muestrasDistancia)) =
muestrasDistancia(length(muestrasDistancia)) + 1;
                end
            end
        end
        modulacionesUsuario.ordenes(i, :, k) = [modulacionesAux(2:end)
zeros(1, 16-length(modulacionesAux))];
        modulacionesAux = [];
        modulacionesUsuario.distancia(i, :, k) = [muestrasDistancia(2:end)
zeros(1, 16-length(muestrasDistancia))];
        modulacionesUsuario.distanciaTotal(i, :, k) =
sum(modulacionesUsuario.distancia(i, :, k));
        muestrasDistancia = 0;
    end
end

%% Calculo de la velocidad media de descarga para cada uno de los clietes.
for k = 1:NestudioSector
    tamano = size(modulacionesUsuario.ordenes);
    for i = 1:tamano(1)
        numero = 0;
        suma = 0;
        for j = 1:tamano(2)
            if(modulacionesUsuario.ordenes(i, j, k) == 0)
                break;
            end
            index = find(modulacion.valorClave ==
modulacionesUsuario.ordenes(i, j, k));
            velocidad = (3.84 * modulacion.bitSimbolo(index) *
modulacion.codigo(index)) / SF;
            velocidad = codigos_cliente(k, i)* velocidad *
(modulacionesUsuario.distancia(i, j, k)/modulacionesUsuario.distanciaTotal(i,
:, k));
            suma = suma + velocidad;
        end
        Usuario.velocidadMedia(i, 1, k) = suma;
        if isnan(Usuario.velocidadMedia(i, 1, k)) == 1
            Usuario.velocidadMedia(i, 1, k) = 0;
        end
    end
end

```

## **Anexo B: Presupuesto**

### **1) Ejecución Material**

- Compra de ordenador personal (Software incluido)..... 2.199 €
- Alquiler de impresora láser durante 6 meses..... 50 €
- Material de oficina..... 100 €
- Total de ejecución material ..... 2.349 €

### **2) Gastos generales**

- 16 % sobre Ejecución Material ..... 375,84 €

### **3) Beneficio Industrial**

- 6 % sobre Ejecución Material ..... 140,94 €

### **4) Honorarios Proyecto**

- 600 horas a 25 € / hora ..... 15000 €

### **5) Material fungible**

- Gastos de impresión ..... 100 €
- Encuadernación ..... 6 €

### **6) Subtotal del presupuesto**

- Subtotal Presupuesto ..... 17455 €

### **7) I.V.A. aplicable**

- 16% Subtotal Presupuesto..... 2793,8 €

### **8) Total presupuesto**

- Total Presupuesto ..... 20248,8 €

Madrid, Febrero de 2009

El Ingeniero Jefe de Proyecto

Fdo.: Jorge Casamayón Antón  
Ingeniero Superior de Telecomunicación



---

---

# Pliego de condiciones

---

---

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, de un estudio sobre la tasa binaria de descarga real obtenida por un usuario mediante la tecnología HSDPA. 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

## Pliego de condiciones

---

correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.

12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partidaalzada 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.

## **Pliego de condiciones**

---

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

## Pliego de condiciones

---

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.