



Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas

W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**



**PROYECTO FIN DE CARRERA**

“CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE  
SISTEMAS W-CDMA AIRE-TIERRA”

*DIANA MARTÍNEZ LOZANO*

*NOVIEMBRE 2007*



Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas  
W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano



Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas  
W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

**CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LA**  
**CAPACIDAD**  
**DE SISTEMAS W-CDMA AIRE-TIERRA**

**AUTOR: Diana Martínez Lozano**

**TUTOR: D. Bazil Taha Ahmed**

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

**Dpto. de Ingeniería Informática**

**Escuela Politécnica Superior**

**Universidad Autónoma de Madrid**

**Noviembre de 2007**



Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas  
W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano



Escuela  
Politécnica  
Superior

Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas  
W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

## **“PROYECTO FIN DE CARRERA”**

**-Título:** “Contribución al estudio de la capacidad de sistemas W-CDMA Aire-Tierra”.

**-Autor:** Diana Martínez Lozano.

**-Tutor:** D. Bazil Taha Ahmed.

**-Tribunal:**

**Presidente:** D. José Luis Masa Campos.

**Vocal:** D. Javier Aracil Rico.

**Vocal secretario:** D. Bazil Taha Ahmed.

**Presidente Suplente:** D. Antonio Aguilar.

**Vocal Suplente:** D. Jorge López de Vergara.

**-Fecha de lectura y defensa:**

Madrid, a            de            de 2007

**-Calificación obtenida:**



Escuela  
Politécnica  
Superior

Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas

W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

**-Palabras clave:**

Capacidad del Enlace Ascendente con W-CDMA en ENR.

Capacidad del Enlace Descendente con W-CDMA en TMA.

Capacidad del Enlace Ascendente con W-CDMA en TMA.

Capacidad del Enlace Descendente con W-CDMA en ENR.

Capacidad de Voz.

Capacidad de Datos.

Interferencia intracelular.

Interferencia extracelular.

Control de potencia.

HAPs.

Aviones.

UL Capacity of W-CDMA in ENR.

DL Capacity of W-CDMA in TMA.

UL Capacity of W-CDMA in TMA.

DL Capacity of W-CDMA in ENR.

Voice Capacity.

Data Capacity.

Intracellular Interference.

Intercellular Interference.

Power Control.

HAPs.

Airplanes.



## **-Resumen:**

El objetivo de este proyecto es el de constituir un documento de estudio acerca de la capacidad que posee W-CDMA en entornos móviles, enfocado tanto en sistemas de *comunicaciones terrestres* como *aéreos*.

Para abordar el estudio enfocado en sistemas terrestres en la actualidad se baraja la posibilidad de utilizar unas plataformas de alta altitud que reciben el nombre de HAPs, debido básicamente a las ventajas de estos sistemas en comparación con sistemas terrestres y de satélite.

También pretende investigar la reducción de la radiación electromagnética en la tierra y las potencias de transmisión en las estaciones móviles usando este sistema propuesto.

Finalmente, se abordan los sistemas celulares tridimensionales para las comunicaciones móviles con aviones, propuestas desde 1992, en donde se definió el concepto de un sistema celular de 3-D, con plano celular y asignación de frecuencia.

## **-Summary:**

The target of this project consists of a document of the study on W-CDMA Systems Capacity in mobile environments, specially focused attention on *terrestrial and aerial communications*.

Today in terrestrial communications are proposed to be used specific high platforms referred to as HAPs, basically due to the advantages of these systems compared with terrestrial and aerial systems.

Also the approach of this document includes the investigation to search for the reduction of electromagnetic radiation on earth and the transmitted power in mobile stations using this proposed system.

Finally, the document studies three dimensional cellular systems for mobile communications with airplanes, proposed since 1992, in which date was first defined as 3-D cellular system, with cellular plane and frequency assignment.



Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas  
W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano



## “AGRADECIMIENTOS”

La elaboración de este documento supone la culminación fructífera de un trabajo personal. Por la presente quiero expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a las personas que a continuación se detallan:

A mis padres Francisca y José, a mis hermanos Fátima y Pedro, y a mis abuelos Antonio, Trinidad y M<sup>a</sup> Teresa, a mis tíos Ana María y Antonio, a mis primos Alba y Antonio por sus ánimos infinitos, su apoyo constante y su entrega absoluta sin comesura.

A Bazil Taha Ahmed, por su plena dedicación y profesionalidad.

A todos los profesores de la E.P.S de Ing<sup>a</sup> de Telecomunicación de la U.A.M por la visión de conjunto y específica que me aportaron sobre Ingeniería y Telecomunicaciones, y por su vocación innata a la docencia.

A Diana Juárez de la Morena, por su complicidad y su amistad desde tiempos inmemoriales y por su gran carisma.

A Juan Jesús, por sus valiosos consejos y su apoyo incondicional.

A Fernando Alonso, Javier Castillo y Sergio Rico, por su constatada abnegación y sincera amistad y por los buenos momentos que hemos compartido y que guardaré siempre en el recuerdo.



Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas  
W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

“ÍNDICE DE CONTENIDOS”

<b>CAPÍTULO 0: “INTRODUCCIÓN”</b> .....	<b>- 23 -</b>
0.1 <i>Objetivos generales</i> .....	- 23 -
0.2 <i>Metodología implementada</i> .....	- 24 -
0.3 <i>Recursos empleados</i> .....	- 24 -
0.4 <i>Estructura</i> .....	- 25 -
<b>CAPÍTULO 1: “SISTEMAS UMTS: TECNOLOGÍA W-CDMA”</b> .....	<b>- 27 -</b>
1.1 <i>Retrospectiva General UMTS</i> .....	- 27 -
1.2 <i>Enclave tecnológico: UMTS</i> .....	- 28 -
1.2.1    Estructura general UMTS .....	- 28 -
1.2.2    Objetivos UMTS .....	- 30 -
1.2.3    Marco de Frecuencias .....	- 31 -
1.2.4    Tecnologías de acceso .....	- 31 -
1.2.5    Tipos de Celdas en UMTS .....	- 32 -
1.2.6    Tipos de Canales .....	- 32 -
1.3 <i>Qué es W-CDMA</i> .....	- 33 -
1.3.1    Introducción .....	- 33 -
1.3.2    Especificaciones técnicas en la interfaz radio .....	- 34 -
1.3.3    Aplicaciones .....	- 35 -
1.3.4    Ventajas .....	- 35 -
1.3.5    Marco comparativo entre WCDMA y CDMA2000 .....	- 37 -
<b>CAPÍTULO 2: “COMUNICACIONES AIRE-TIERRA MEDIANTE HAPs”</b> .....	<b>- 39 -</b>
2.1 <i>Definición</i> .....	- 39 -
2.2 <i>Motivaciones</i> .....	- 41 -
2.3 <i>Arquitectura de sistema de comunicaciones HAPs</i> .....	- 41 -
2.4 <i>Frecuencias</i> .....	- 42 -
2.5 <i>Ejemplos comerciales de empresas</i> .....	- 43 -

2.5.1	El StratSat.....	- 43 -
2.5.2	Sistema de Plataforma Estratosférico de Japón.....	- 44 -
2.5.3	ARCO System.....	- 45 -
2.5.4	SkyTower.....	- 46 -
2.5.5	AVCS.....	- 47 -
2.5.6	Heliplat.....	- 47 -
2.6	<i>Descripción del Sistema</i> .....	- 48 -
2.6.1	Red de haz de banda ancha.....	- 49 -
2.6.2	Metodología de comunicaciones HAPs :.....	- 51 -
2.7	<i>Modelos teóricos de aproximación</i> .....	- 53 -
2.7.1	ENLACE ASCENDENTE.....	- 53 -
2.7.1.1	Capacidad del Enlace Ascendente en HAPs.....	- 53 -
2.7.1.1.1	Interferencia intracelular.....	- 55 -
2.7.1.1.2	Interferencia intercelular.....	- 55 -
2.7.1.1.3	Potencia de Ruido.....	- 57 -
2.7.1.2	Resultados de simulación.....	- 58 -
2.7.1.2.1	“Voz”.....	- 59 -
2.7.1.2.2	“Datos”.....	- 65 -
2.7.1.2.3	Relación entre la Capacidad de Voz y Datos.....	- 70 -
2.7.2	ENLACE DESCENDENTE.....	- 71 -
2.7.2.1	Capacidad del Enlace Descendente en HAPs.....	- 72 -
2.7.2.2	Resultados de Simulación.....	- 76 -
2.7.2.2.1	“Voz”.....	- 76 -
2.7.2.2.2	“Datos”.....	- 84 -
2.7.2.2.3	Relación entre la Capacidad de Voz y Datos.....	- 89 -
<b>CAPÍTULO 3: “SISTEMAS TRIDIMENSIONALES CELULARES EN AIRE-TIERRA”.....</b>		<b>- 91 -</b>
3.1	<i>Introducción</i> .....	- 91 -
3.1	<i>Aspectos de Capacidad</i> .....	- 92 -
3.2	<i>Modelos de Propagación</i> .....	- 95 -
3.3	<i>Planteamiento General del Sistema</i> .....	- 96 -
3.4	<i>Modelos teóricos de aproximación</i> .....	- 100 -
3.4.1	ENLACE ASCENDENTE.....	- 100 -

3.4.1.1	Capacidad del enlace ascendente .....	- 101 -
3.4.1.2	Resultados de Simulación .....	- 102 -
3.4.1.2.1	“Voz” .....	- 102 -
3.4.1.2.2	“Datos” .....	- 118 -
3.4.1.2.3	Relación entre la Capacidad de Voz y Datos .....	- 126 -
3.4.2	ENLACE DESCENDENTE .....	- 128 -
3.4.2.1	Capacidad del enlace descendente .....	- 130 -
3.4.2.2	Resultados de Simulación .....	- 131 -
3.4.2.2.1	“Voz” .....	- 131 -
3.4.2.2.2	“Datos” .....	- 156 -
3.4.2.2.3	Relación entre la Capacidad de Voz y Datos .....	- 178 -
<b>CAPÍTULO 4: “CONCLUSIONES GENERALES” .....</b>		<b>- 181 -</b>
4.1	<i>Conclusiones Numéricas</i> .....	- 181 -
4.2	<i>Conclusiones Particulares</i> .....	- 181 -
4.2.1	HAPs: .....	- 181 -
4.2.1.1	Enlace Ascendente .....	- 182 -
4.2.1.1.1	“Voz”: .....	- 182 -
4.2.1.1.2	“Datos”: .....	- 183 -
4.2.1.2	Enlace Descendente .....	- 184 -
4.2.1.2.1	“Voz”: .....	- 184 -
4.2.1.2.2	“Datos”: .....	- 185 -
4.2.2	Comunicaciones Tridimensionales .....	- 186 -
4.2.2.1	Enlace Ascendente .....	- 186 -
4.2.2.1.1	“Voz”: .....	- 186 -
4.2.2.1.2	“Datos”: .....	- 187 -
4.2.2.2	Enlace Descendente .....	- 188 -
4.2.2.2.1	“Voz” .....	- 188 -
4.2.2.2.2	“Datos” .....	- 189 -
4.3	<i>Conclusiones Genéricas</i> .....	- 190 -
4.3.1	HAPs .....	- 190 -
4.3.1.1.1	Ventajas .....	- 190 -
4.3.1.1.2	Desafíos .....	- 192 -
4.3.2	Comunicaciones Tridimensionales .....	- 194 -
4.3.3	Líneas Abiertas de Investigación .....	- 195 -



**“ANEXOS”** ..... - 197 -

*Propuesta económica de un proyecto de ejecución técnica con HAPs*..... - 197 -

*Códigos de Simulación*..... - 198 -

    HAPs ..... - 198 -

        Enlace Ascendente..... - 198 -

        Enlace Descendente ..... - 210 -

**“RELACIÓN DE ACRÓNIMOS”** ..... - 229 -

**“BIBLIOGRAFÍA”** ..... - 231 -

“ÍNDICE DE FIGURAS”

Figura 1.1. Arquitectura general UMTS.....	30 -
Figura 1.2. Modulación W-CDMA .....	34 -
Figura 2.1. Vista aérea de un HAPs.....	40 -
Figura 2.2. Arquitectura de un sistema HAPs .....	42 -
Figura 2.3. StratSat Platform.....	43 -
Figura 2.4. Sistema de plataforma japonés estratosférico .....	44 -
Figura 2.5. Sistema de ARCO .....	45 -
Figura 2.6. SkyTower aircraft.....	46 -
Figura 2.7. Arquitectura de AVCS .....	47 -
Figura 2.8. Estudios de configuración. ....	47 -
Figura 2.9. Escenario general del HAPs.....	48 -
Figura 2.10. Modelo con ventana de Chebyshev con recomendación ITU-R221.....	50 -
Figura 2.11. Cobertura de un sistema HAPs aéreo-terrestre .....	52 -
Figura 2.12. Geometría de interferencia en HAPs.....	53 -
Figura 2.13. Número de usuarios de voz para HAPs en UL .....	60 -
Figura 2.14. Número de usuarios de voz para distintas alturas de HAPs en UL.....	61 -
Figura 2.15. Número de usuarios de voz para distintas potencias de HAPs en UL.....	62 -
Figura 2.16. Número de usuarios de voz para distintos factores de ruido en UL.....	64 -
Figura 2.17. Número de usuarios de datos para HAPs en UL.....	65 -

Figura 2.18. N° de usuarios de datos para distintas alturas de HAPs en UL .....	66 -
Figura 2.19. Número de usuarios de datos para distintas potencias de HAPs en UL.....	67 -
Figura 2.20. Número de usuarios de datos para distintos factores de ruido en UL.....	69 -
Figura 2.21. Gráfica ilustrativa de la relación capacidad datos-voz en UL .....	70 -
Figura 2.22. Disposición de células adyacentes.....	71 -
Figura 2.23 Disposición general entre HAPs y usuarios en DL.....	72 -
Figura 2.24. Número de usuarios de voz para HAPs en DL .....	77 -
Figura 2.25. Número de usuarios de voz para distintas alturas de HAPs en DL.....	78 -
Figura 2.26. Número de usuarios de voz en distintos entornos para HAPs en DL.....	79 -
Figura 2.27. N° de usuarios de voz para distintas potencias de HAPs en DL.....	81 -
Figura 2.28. N° usuarios de voz para distintos factores de ruido para HAPs en DL.....	83 -
Figura 2.29. Número de usuarios de datos para HAPs en DL.....	84 -
Figura 2.30. N° de usuarios de datos para distintas alturas de HAPs en DL .....	85 -
Figura 2.31. Número de usuarios de datos en distintos entornos para HAPs en DL.....	86 -
Figura 2.32. N° de usuarios de datos para distintas potencias de HAPs en DL .....	87 -
Figura 2.33. N° de usuarios de datos para distintos factores de ruido HAPs en DL .....	88 -
Figura 2.34. Gráfica ilustrativa de la relación capacidad datos-voz para HAPs en DL.....	89 -
Figura 3.1. Diagrama retrospectivo de factores potenciales que influyen en la capacidad EB-Aviación y viceversa. ....	94 -
Figura 3.2. Esquema del sistema Aire-Tierra. A) Vista transversal. B) Vista en 3D.....	96 -
Figura 3.3. Convenio adoptado para los DL (forward) y UL (reverse) .....	97 -
Figura 3.4. Células ENR, TMA y estación base.....	98 -



Figura 3.5. Número de usuarios de voz en ENR en UL.....	103 -
Figura 3.6. Número de usuarios de voz en TMA en UL.....	104 -
Figura 3.7. N° usuarios voz en ENR para distintas ganancias de EB en UL.....	105 -
Figura 3.8. N° usuarios voz en TMA para distintas ganancias de EB en UL.....	106 -
Figura 3.9. N° usuarios voz en ENR para distintas ganancias del avión en UL.....	107 -
Figura 3.10. N° usuarios voz en TMA para distintas ganancias del avión en UL.....	108 -
Figura 3.11. N° usuarios de voz en ENR para distintas alturas de EB en UL.....	109 -
Figura 3.12. N° usuarios de voz en TMA para distintas alturas de EB en UL.....	110 -
Figura 3.13. N° usuarios voz en ENR para distintas alturas del avión en UL.....	111 -
Figura 3.14. N° usuarios voz en TMA para distintas alturas del avión en UL.....	112 -
Figura 3.15. N° usuarios voz en ENR para distintas potencias del avión en UL.....	113 -
Figura 3.16. N° usuarios voz TMA para distintas potencias del avión en UL.....	115 -
Figura 3.17. N° usuarios voz en ENR para distintos factores de ruido en UL.....	116 -
Figura 3.18. N° usuarios voz en TMA para distintos factores de ruido en UL.....	117 -
Figura 3.19. Número de usuarios de datos para ENR en UL.....	118 -
Figura 3.20. Número de usuarios de datos para TMA en UL.....	119 -
Figura 3.21. N° usuarios de datos en ENR para distintas frecuencias en UL.....	120 -
Figura 3.22. N° usuarios de datos en TMA para distintas frecuencias en UL.....	121 -
Figura 3.23. N° usuarios datos en ENR para distintas alturas de EB en UL.....	122 -
Figura 3.24. N° usuarios de datos en TMA para distintas alturas de EB en UL.....	123 -
Figura 3.25. N° de usuarios de datos en ENR para distintas potencias del avión en UL.....	124 -



Figura 3.26. N° de usuarios de datos en TMA para distintas potencias del avión en UL.....	- 125 -
Figura 3.27. Relación capacidad datos-voz en ENR para UL .....	- 126 -
Figura 3.28. Relación capacidad datos-voz en TMA para UL.....	- 127 -
Figura 3.29. Esquema orientativo de la disposición entre EB y avión .....	- 128 -
Figura 3.30. Número de usuarios de voz en ENR para DL.....	- 132 -
Figura 3.31. Número de usuarios de voz en TMA para DL.....	- 133 -
Figura 3.32. N° de usuarios de voz en ENR para distintas frecuencias en DL.....	- 134 -
Figura 3.33. Número de usuarios de voz en TMA para distintas frecuencias en DL .....	- 136 -
Figura 3.34. N° de usuarios de voz en ENR para distintas alturas de EB en DL.....	- 137 -
Figura 3.35. N° de usuarios de voz en TMA para distintas alturas de EB en DL .....	- 138 -
Figura 3.36. Número de usuarios de voz en ENR para distintas alturas del avión en DL .....	- 139 -
Figura 3.37. N° de usuarios de voz en TMA para distintas alturas del avión en DL .....	- 141 -
Figura 3.38. Número de usuarios de voz en ENR para distintas potencias de EB en DL .....	- 142 -
Figura 3.39. N° de usuarios de voz en TMA para distintas potencias de EB en DL .....	- 144 -
Figura 3.40. N° usuarios de voz en ENR para diferente n° de células adyacentes en DL.....	- 146 -
Figura 3.41. N° usuarios de voz en ENR para distintos $\varphi$ en DL.....	- 148 -
Figura 3.42. N° usuarios de voz en TMA para diferentes $\varphi$ en DL .....	- 149 -
Figura 3.43. N° de usuarios de voz en ENR para distintos factores de ruido en DL .....	- 150 -
Figura 3.44. N° de usuarios de voz en TMA para distintos NF en DL.....	- 151 -
Figura 3.45. N° de usuarios de voz en ENR para distintas ganancias de EB en DL .....	- 152 -
Figura 3.46. N° de usuarios de voz en TMA para distintas ganancias de EB en DL .....	- 153 -



Figura 3.47. N° de usuarios de voz en ENR para distintas ganancias del avión en DL .....	154 -
Figura 3.48. N° usuarios de voz TMA para distintas ganancias del avión en DL .....	155 -
Figura 3.49. Número de usuarios de datos en ENR en DL .....	156 -
Figura 3.50. Número de usuarios de datos en TMA en DL .....	158 -
Figura 3.51. Número de usuarios de datos en ENR para distintas frecuencias en DL .....	159 -
Figura 3.52. Número de usuarios de datos en TMA para distintas frecuencias en DL .....	160 -
Figura 3.53. Número de usuarios de datos en ENR para distintas alturas de EB en DL .....	161 -
Figura 3.54. Número de usuarios de datos en TMA para distintas alturas de EB en DL .....	162 -
Figura 3.55. N° usuarios de datos en ENR para distintas alturas del avión en DL .....	163 -
Figura 3.56. N° usuarios de datos en TMA para distintas alturas del avión en DL .....	165 -
Figura 3.57. N° de usuarios de datos en ENR para distintas potencias de EB en DL .....	166 -
Figura 3.58. N° usuarios datos en TMA para distintas potencias de EB en DL .....	167 -
Figura 3.59. N° usuarios de datos en ENR para diferentes células adyacentes en DL .....	168 -
Figura 3.60. N° usuarios de datos en ENR para distintos $\varphi$ en DL .....	170 -
Figura 3.61. N° usuarios de datos en TMA para distintos $\varphi$ en DL .....	171 -
Figura 3.62. Número de usuarios de datos en ENR para distintos NF en DL .....	172 -
Figura 3.63. Número de usuarios de datos en TMA para distintos NF en DL .....	173 -
Figura 3.64. N° de usuarios de datos en ENR para distintas ganancias de EB en DL .....	174 -
Figura 3.65. N° usuarios de datos en TMA para distintas ganancias de EB en DL .....	175 -
Figura 3.66. N° usuarios de datos en ENR para distintas ganancias del avión en DL .....	176 -
Figura 3.67. N° usuarios de datos en TMA para distintas ganancias del avión en DL .....	177 -



**Figura 3.68. Gráfica ilustrativa de la relación capacidad datos-voz ENR en DL .....- 178 -**

**Figura 3.69. Gráfica ilustrativa de la relación capacidad datos-voz TMA en DL .....- 179 -**

**Figura 4.1. Fotografía retrospectiva de un HAPs.....- 193 -**

“ÍNDICE DE TABLAS”

Tabla 1.1. Cuadro de frecuencias bandas apareadas .....	31 -
Tabla 1.2. Cuadro de frecuencias banda desapareada.....	31 -
Tabla 2.1. Usuarios de voz para distintas alturas de HAPs en UL.....	62 -
Tabla 2.2. Usuarios de voz para distintas potencias de HAPs en UL.....	63 -
Tabla 2.3. Usuarios de datos para distintas alturas de HAPs en UL. ....	67 -
Tabla 2.4. Usuarios de datos para distintas potencias de HAPs en UL. ....	68 -
Tabla 2.5. Usuarios de usuarios de voz para distintas alturas de HAPs en DL. ....	79 -
Tabla 2.6. Número de usuarios de voz para distintas potencias de HAPs en DL .....	81 -
Tabla 2.7. Número de usuarios de datos para distintas alturas de HAPS en DL .....	85 -
Tabla 2.8. N° de usuarios de datos para distintas potencias de HAPs en DL.....	87 -
Tabla 3.1. Número de usuarios de voz en TMA en UL .....	104 -
Tabla 3.2. N° usuarios voz en ENR para distintas alturas del avión en UL .....	111 -
Tabla 3.3. N° usuarios voz en ENR para distintas potencias de EB en UL .....	114 -
Tabla 3.4. N° usuarios voz en ENR para distintos factores de ruido en UL.....	116 -
Tabla 3.5. Número de usuarios de voz en ENR para distintas frecuencias en DL.....	135 -
Tabla 3.6. N° usuarios de voz en ENR para distintas alturas de EB en DL .....	138 -
Tabla 3.7. Número de usuarios de voz en ENR para distintas alturas del avión en DL.....	140 -
Tabla 3.8. Número de usuarios de voz en ENR para distintas potencias de EB en DL.....	143 -
Tabla 3.9. Número de usuarios de voz en TMA para distintas potencias de EB en DL.....	145 -



Tabla 3.10. N° usuarios de voz en ENR para diferente n° de células adyacentes en DL .....	147 -
Tabla 3.11. N° usuarios de voz en ENR para distintos factores de ortogonalidad en DL .....	148 -
Tabla 3.12. N° usuarios de voz en TMA para diferentes $\varphi$ en DL.....	149 -
Tabla 3.13. Número de usuarios de voz en TMA para distintos factores de ruido en DL .....	151 -
Tabla 3.14. Número de usuarios de voz en TMA para distintas ganancias de EB en DL.....	153 -
Tabla 3.15. Número de usuarios de datos en ENR en DL.....	157 -
Tabla 3.16. Número de usuarios de datos en ENR para distintas alturas de EB en DL .....	162 -
Tabla 3.17. Número de usuarios de datos en ENR para distintas alturas del avión en DL .....	164 -
Tabla 3.18. N° usuarios de datos en TMA para distintas potencias de EB en DL .....	168 -
Tabla 3.19. N° usuarios de datos en ENR para diferente n° de células adyacentes en DL.....	169 -
Tabla 3.20. N° usuarios de datos en ENR para distintos factores de ortogonalidad en DL .....	170 -
Tabla 3.21. N° usuarios de datos en TMA para distintos $\varphi$ en DL.....	171 -
Tabla 3.22. Número de usuarios de datos en TMA para distintos NF en DL .....	173 -
Tabla 3.23. Número de usuarios de datos en TMA para distintas ganancias de EB en DL.....	175 -
Tabla 3.24. N° usuarios de datos en TMA para distintas ganancias de avión en DL .....	177 -

# ***CAPÍTULO 0:*** ***“INTRODUCCIÓN”***

## **0.1 Objetivos generales**

La *clasificación* general de los objetivos se puede resumir en los siguientes aspectos:

- Despliegue de las estaciones bases que incorporan el sistema W-CDMA.
- La Capacidad del Enlace Ascendente en un sistema HAPs.
- La Capacidad del Enlace Descendente en un sistema HAPs.
- La Capacidad del Enlace Descendente de los sistemas de comunicación entre los aviones y la tierra para el caso ENR.
- La Capacidad del Enlace Ascendente de los sistemas de comunicación entre los aviones y la tierra para el caso ENR.
- La Capacidad del Enlace Descendente de los sistemas de comunicación entre los aviones y la tierra para el caso TMA.
- La Capacidad del Enlace Ascendente de los sistemas de comunicación entre los aviones y la tierra para el caso TMA.

## 0.2 Metodología implementada

La metodología empleada para la culminación fructífera de este estudio ha sido:

- Recopilación de información actual relativa a sistemas W-CDMA.
- Elaboración del código a programar.
- Realización de simulaciones con Matlab a partir del código implementado.
- Interpretación de los resultados obtenidos.
- Extracción de conclusiones.
- Recopilación y resumen del trabajo realizado.

## 0.3 Recursos empleados

La Universidad Autónoma de Madrid dispone del material técnico, tecnológico y de desarrollo necesario para la correcta realización del proyecto en cualquiera de sus dependencias en el laboratorio.

A este efecto, dispone de:

- Ordenador personal en laboratorio para la realización de proyectos de fin de carrera.
- Programa Matlab versión 7.0
- Lugar de realización: EPS de la Universidad Autónoma de Madrid.



## 0.4 Estructura

El proyecto se divide en Cuatro Capítulos.

El capítulo Cero se trata de una descripción genérica de la estructuración de este proyecto y la metodología empleada.

El Primero contiene una breve introducción a la tecnología W-CDMA y el ámbito actual al que se circunscribe.

El Segundo Capítulo se centra en las comunicaciones W-CDMA mediante HAPs. Describe de forma concisa la información teórica y técnica necesaria para la correcta comprensión del Capítulo, así como las gráficas, resultados de simulación y las explicaciones pertinentes que justifican los datos obtenidos, junto a las conclusiones numéricas particularizadas para cada caso.

El Tercer Capítulo sigue la misma estructura general que el primero, pero se centra en los Sistemas Tridimensionales Celulares en Comunicaciones Aire-Tierra.

A continuación mostramos el Capítulo Cuarto, en donde se recogen los resultados genéricos que se desprenden de nuestras investigaciones, conclusiones genéricas y sus repercusiones sobre el ámbito de nuestro estudio junto a las líneas de investigación al respecto abiertas.

Ya por último se presentan los Anexos correspondientes, el Glosario y para concluir, la Bibliografía.



Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas  
W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

# **CAPÍTULO 1: “SISTEMAS UMTS: TECNOLOGÍA W-CDMA”**

## **1.1 Retrospectiva General UMTS**

En el expansivo mundo actual, donde imperan servicios eficaces, hechos posibles gracias a la rápida evolución en las tecnologías electrónica, óptica y móvil, los usuarios demandan cada vez de forma más ingente servicios de transmisión de voz y datos de mayor velocidad, seguridad y fiabilidad, y en general, de mayores prestaciones.

Varios planteamientos son posibles para satisfacer las esperadas, pero siempre cambiantes, demandas de los usuarios. Las estrategias más convenientes para implementar dichos servicios no siempre son evidentes, y los planteamientos generalmente adoptados incluyen:

- *Superposición*: lograr que los distintos servicios, tanto antiguos como nuevos, confluyan, subsistan e interaccionen mutuamente.

En este sentido, las ventajas inherentes a las nuevas *tecnologías* en unos casos pueden conllevar la desaparición de las obsoletas, si realmente se puede prescindir de ellas, o por otro lado, pueden constituir evoluciones, prolongaciones o un sistema complementario que suple las deficiencias y que conjuntamente forman una simbiosis potente.

- *Migración*: convergencia de los servicios en un sistema de simple aplicación.
- *Integración* de las funciones específicas de servicio en los elementos de sistema.

Sin embargo, el esfuerzo común se centra en concentrarse en qué funciones de conjunto son necesarias.

En lo que concierne al operador, tal planteamiento debe ser capaz de reaccionar a tiempo para cambiar formas de demanda de servicio y para proporcionar servicios punto a punto con el grado de calidad requerido por los clientes.

Unas veces las evoluciones se producen debido al deseo o necesidad de enviar información en el menor tiempo posible, y otras porque se deseaba crear una forma más adaptada al entorno. La flexibilidad de la red de transporte, su apertura a las diferentes modulaciones y protocolos y su capacidad para llevarlos en la forma más conveniente, serán los factores para atraer el mercado hoy día altamente competitivo, en donde es decisivo atender las necesidades de los clientes en la forma más *rápida*, al *mejor coste* y con una óptima *QoS*.

En este contexto surge CDMA y más concretamente W-CDMA, la versión ulterior a CDMA.

## 1.2 Enclave tecnológico: UMTS

### 1.2.1 *Estructura general UMTS*

La estructura general de UMTS está compuesta por dos grandes subredes:

- *La red de telecomunicaciones*, encargada de sustentar el trasvase de información entre los extremos de una conexión.
- *La red de gestión*, que tiene como misiones la provisión de medios para la facturación y tarificación de los abonados, el registro y definición de los perfiles de servicio, la gestión y seguridad en el manejo de sus datos, así como la operación de los elementos de la red, con el fin ya de asegurar el correcto funcionamiento de ésta, la detección y resolución de averías o anomalías, o también la recuperación del funcionamiento tras periodos de apagado o desconexión de algunos de sus elementos.

Una *red UMTS* se compone de los siguientes elementos:

- *Núcleo de Red (Core Network)*. El Núcleo de Red incorpora funciones de transporte y de inteligencia. Las primeras soportan el transporte de la información de tráfico y señalización, incluida la conmutación. El encaminamiento reside en las funciones de inteligencia, que comprenden prestaciones como la lógica y el control de ciertos servicios ofrecidos a través de una serie de interfaces bien definidas; también incluyen la gestión de la movilidad. A través del Núcleo de Red, el UMTS se conecta con otras redes de telecomunicaciones, de forma que resulte posible la comunicación no sólo entre usuarios móviles UMTS, sino también con los que se encuentran conectados a otras redes.
- *Red de acceso radio (UTRAN)*. La red de acceso radio proporciona la conexión entre los terminales móviles y el Core Network. En UMTS recibe el nombre de UTRAN (Acceso Universal Radioeléctrico Terrestre) y se compone de una serie de sistemas de red radio o RNC (Radio Network Controller) y una serie de Nodos B dependientes de él. Los Nodos B son los elementos de la red que se corresponden con las estaciones base.
- *Terminales móviles*. Las especificaciones UMTS usan el término User Equipment (UE).

En la siguiente figura se pueden ver recopilados todos los conceptos anteriormente descritos:

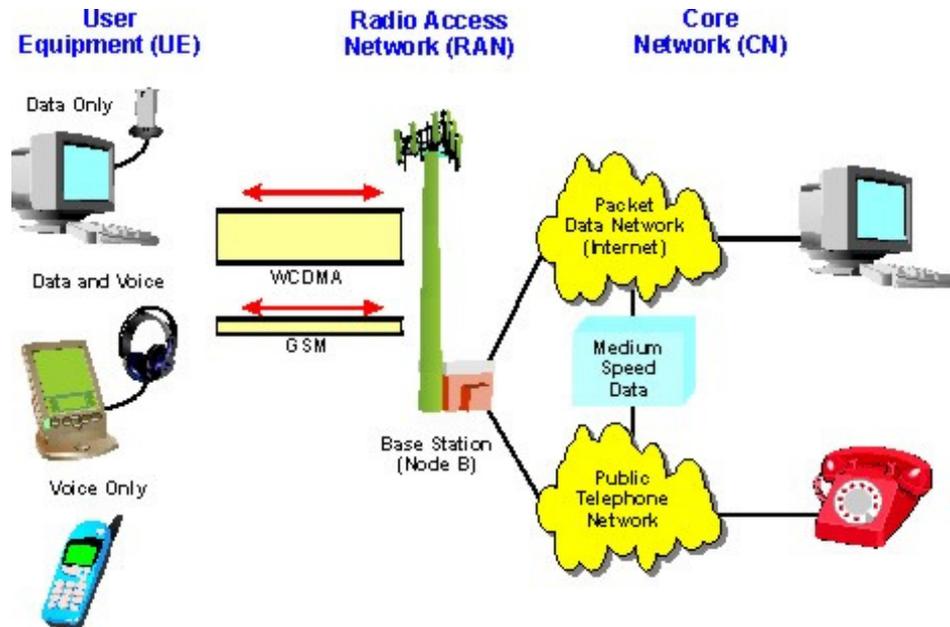


Figura 1.1. Arquitectura general UMTS

### 1.2.2 Objetivos UMTS

- Convergencia de redes fijas y móviles: idéntica QoS.
- Servicios multimedia simétricos y asimétricos.
- Roaming global.
- Asignación dinámica de ancho de banda hasta un máximo inicial de 2Mbps.
- Acceso personalizado. Concepto de VHE (Virtual Home Environment) para definir un perfil de servicio constante y homogéneo independiente de la red que sirve al abonado.
- Tecnología de paquetes y protocolos IP.
- Soporte para una amplia gama de terminales.
- Capacidad para una alta densidad de usuarios.

### 1.2.3 Marco de Frecuencias

UMTS emplea en general las siguientes bandas de frecuencias:

- Un par de bandas “apareada”:

<i>Bandas apareadas</i>	<b>UPLINK</b>	<b>DOWNLINK</b>
<b>FRECUENCIA (MHz)</b>	1920-1980	2110-2170

*Tabla 1.1. Cuadro de frecuencias bandas apareadas*

- Una banda de frecuencia “desapareada”:

<i>Banda desapareada</i>	<b>UPLINK</b>	<b>DOWNLINK</b>
<b>FRECUENCIA (MHz)</b>	1910-1920	2010-2025

*Tabla 1.2. Cuadro de frecuencias banda desapareada*

- Las que se van a emplear en este estudio son las citadas en primer lugar.

### 1.2.4 Tecnologías de acceso

La interfaz radio usa las siguientes tecnologías de acceso:

- Frequency Division/Wide Code Division Multiple Access (FDD/WCDMA) en la banda “apareada”.
- Time Division/Code Division Multiple Access (TDD/CDMA) en la banda “desapareada”.

### ***1.2.5 Tipos de Celdas en UMTS***

Existen tres tipos de celdas en UMTS, picoceldas, microceldas y macroceldas, cada una con unas características determinadas.

- *Macrocelas.* Ofrecen cobertura celular en grandes áreas abiertas, de entre 1 y 40 km. Sirven de celdas paraguas para cubrir huecos en zonas con microceldas.
- *Microceldas.* Ofrecen cobertura celular en áreas urbanas y autopistas, un rango de entre 50 a 1000 metros. Utilizan antenas direccionales y cubren zonas oscuras en macroceldas.
- *Picoceldas.* Su uso se centra en entornos residenciales e interiores de oficinas, radios inferiores a 50 metros. La zona cubierta depende de la estructura del edificio y de los materiales utilizados.

Dada la temática de nuestro estudio, nos vamos a centrar en las primeras, sin pérdida de generalidad, aunque habrá que particularizar según el caso en particular.

### ***1.2.6 Tipos de Canales.***

Para cada uno de los modos de W-CDMA (FDD y TDD) se definen tres tipos de canales que son los siguientes:

- *Canales lógicos.* Se definen por el tipo de información que transportan y se dividen en canales de control, para la transferencia de señalización, y de tráfico, que son los utilizados para la transferencia de los datos de usuario.
- *Canales de transporte.* Se definen en base a cómo y con qué características se transmite la información. Cada canal de transporte se ajusta a un determinado formato TFI (Transport Format Indication).
- *Canales físicos.* Todos los canales de transporte se corresponden con un canal físico y algunos de estos últimos no resultan visibles a los niveles superiores.



## 1.3 Qué es W-CDMA

### *1.3.1 Introducción*

CDMA es la técnica de modulación creada por NTT DoCoMo, desarrollado por el Proyecto de la Sociedad de la Tercera Generación (3GPP) cuya intención inicial era asegurar la interoperabilidad entre diversas redes 3G. Formalmente, ha sido adoptada por la ETSI como tecnología de acceso radio para UMTS/IMT-2000 en la banda apareada en Europa, Japón y los Estados Unidos.

Se trata de una tecnología de Espectro Ensanchado, es decir, la señal se expande sobre un ancho de banda mucho mayor que el original. Emplea códigos digitales únicos para cada usuario, conocidos tanto por la estación móvil como por la estación base que se llaman “Secuencias de Código Pseudos-Aleatorio”. De esta forma, todos los usuarios comparten el mismo ancho del espectro radioeléctrico.

W-CDMA es una prolongación de CDMA en donde la principal diferencia estriba en que aquella utiliza códigos con una velocidad mucho mayor que la señal a transmitir, por lo que la principal diferencia entre ambas es en la ganancia de procesado.

A los bits que componen el código W-CDMA se les llama chips para diferenciarlos de los bits de usuario.

### 1.3.2 Especificaciones técnicas en la interfaz radio

- Tasa básica de chip de 3.84 Mchip/s con espaciado de portadora a 5 MHz dependiendo del escenario o situación.
- Espaciado múltiple de la portadora de 200 kHz para la capacidad de la Segunda Generación (2G).
- Más altas tasa de chip con 7.68 y 15.36 Mchip/s.
- Tasa variable de esparcimiento para ambas direcciones bajas y medias tasas de bit con un código simple.
- Altas tasas de bit con soluciones multicódigo.
- Detección coherente en ambos enlaces: hacia arriba y hacia abajo
- Longitud de la trama de 10 milisegundos.
- Soporte flexible para servicios de tasa variable.

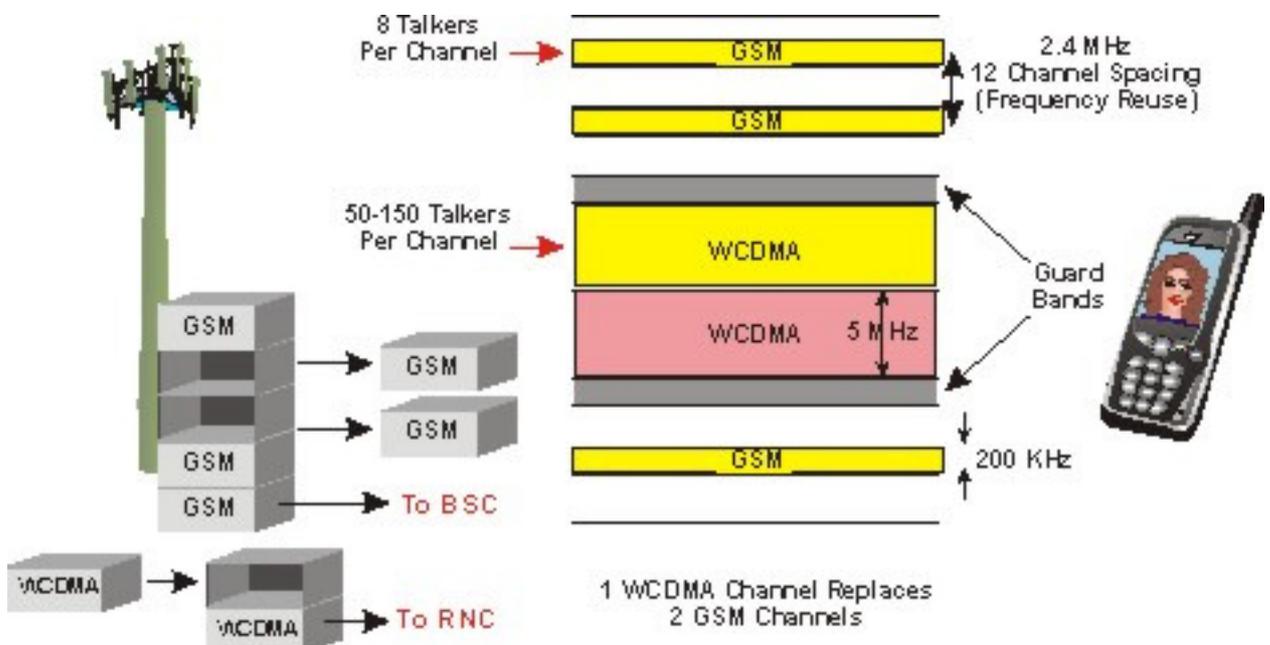


Figura 1.2. Modulación W-CDMA

### **1.3.3 Aplicaciones**

La tecnología W-CDMA está altamente optimizada para comunicaciones de alta calidad de voz y comunicaciones multimedia, como pueden ser las videoconferencias. También es posible acceder a diferentes servicios en un sólo terminal, como por ejemplo, estar realizando una videoconferencia y al mismo tiempo estar haciendo una descarga de archivos de gran tamaño, etc.

### **1.3.4 Ventajas**

Entre las ventajas que presenta W-CDMA caben enumerar las siguientes:

- Reducción de la densidad espectral de potencia. Al emplear un ancho de banda mucho mayor del que en realidad es necesario.
- De clara aplicación en entornos donde la seguridad es una máxima, como por ejemplo, en sistemas militares.
- Elevada resolución temporal.
- Protección frente a interferencias de banda estrecha. Se conocen como interferencias de banda estrecha aquellas en las que su período de variación es mucho inferior comparado con el período de variación de la señal. En este apartado, podemos considerar, por ejemplo, el desvanecimiento por sombra.
- Protección frente a interferencias de banda ancha, que en contraposición con las de banda estrecha, son aquellas en las que su período de variación es igual o mayor al de la señal. Estas pueden corresponder, por ejemplo, a las señales de códigos pseudo aleatorios correspondientes a usuarios de una misma LA de distinta, en caso de que la señal llegue con suficiente intensidad.
- Transmisores/receptores de bajo coste.
- Privacidad de información.



- Probabilidad pequeña de ser detectada la señal.
- Baja probabilidad de que interfiera con demás sistemas de baja emisión radioeléctrica.
- En el caso de detectar la señal se confunden con ruido de fondo.
- Se requiere conocer la señal código para poder conocer la señal que se transporta.
- Protección frente a desvanecimiento multitrayecto.
- Mayor velocidad de transmisión, desde 114 kbps a 2 Mbps.
- Control de potencia, ajustándose dinámicamente a las necesidades puntuales de transmisión de los usuarios diferenciando casos.



### ***1.3.5 Marco comparativo entre WCDMA y CDMA2000***

El debate acerca de la convergencia de CMA2000 y W-CDMA se ha basado en el hecho de que las propuestas de CDMA poseen cierta definición de parámetros que representan un compromiso.

El parámetro más discutido y debatido es la tasa de sistema de chip. WCDMA emplea un valor de tasa de chip de 3.84 Mbps. CDMA2000 utiliza 3.6864 Mbps. Los simpatizantes de WCDMA prefieren la tasa más alta para los llamados "caballos de fuerza" y se quejan de que las tasas más bajas de CDMA2000 degradan el objetivo.

Asimismo indican, que ésta provee una tasa de chip tanto de un 10% de capacidad de desempeño por encima de CDMA2000. Mientras algunas operadoras desplegaran 3G en tan poco como un espectro de 5 MHz, muchos utilizaran ubicaciones de 10, 15, ó 20 MHz. Esto es importante, ya que ésta es el espectro utilizable, en conjunción con las tasas de chip, lo cual afecta a la capacidad. Con esta configuración se puede demostrar que se logra hasta un 13% de mayor capacidad con un despliegue de 20 MHz, aunque algunos detractores muestran sus reservas.



Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas  
W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

## ***CAPÍTULO 2: “COMUNICACIONES AIRE-TIERRA MEDIANTE HAPs”***

### **2.1 Definición**

Como sustitución de las actuales infraestructuras de radiocomunicaciones, examinamos otras soluciones. A este respecto cabe mencionar los sistemas de satélite empleados en la actualidad, para el servicio en aviones o aeronaves.

En este contexto surgen los "High Altitude Platforms" (HAPs), que reciben su nombre debido a que se hallan “suspendidos” en el cielo en un radio que abarca de 18 a 22 Km. de altura.

HAPs es el nombre de una tecnología que proporciona servicios de telecomunicación inalámbricos de banda estrecha y de banda ancha y servicios de difusión con dirigibles o con aviones.

Fueron concebidos como plataformas para la provisión de servicios de telecomunicación. El coste de satélites convencionales, los gastos de lanzamiento y el presupuesto apretado de satélite lleva a las empresas de telecomunicaciones a colocar más cerca de la tierra sus instalaciones. Recientes estudios arrojan que la pérdida de señal acaecida en la tierra es del mismo orden que la pérdida de propagación básica.

La apuesta por HAPs permite lograr una gran superficie de cobertura, por lo que una gran multitud de usuarios pueden usar simultáneamente el mismo HAPs ya que atiende al mismo tiempo a muchas células terrestres, proponiéndose como una vía alternativa para la sustitución de los actuales sistemas de tercera generación inalámbricos IMT-2000.

Aunque los usos comerciales están sólo comenzando, el tema de la comunicación usando un avión o un dirigible no es nuevo. Los aeroplanos han sido usados en la difusión de TV sobre Vietnam a partir de 1966 llegando hasta 1972.

El sistema HAPs aporta las siguientes características:

- Prové directamente estaciones móviles o ligar estaciones de base terrestres con la red, como multipunto a punto, y también sirve para regiones rurales.
- No puede suministrar el mismo área de región geográfica en el mismo canal de un sistema de una estación base excepto cuando ambos sistemas empleen CDMA, en cuyo caso, experimentarán una reducción de su capacidad.
- La separación entre células cocanales es muy sensible a diversos factores, incluido el tamaño del área de cobertura, el método de acceso (TDMA/FDMA) y el comportamiento de la antena. Dependiendo de estos factores, las distancias de separación pueden variar de unas zonas a otras.
- Se requieren necesidades de investigación sobre todo en lo referente al reconocimiento más exacto de los movimientos HAPs y la postdirección, motivo por el cual se le otorgan a estas antenas, por sus especiales características, el nombre de “antenas inteligentes”.
- También se hace necesario el estudio sobre desarrollo de utensilios de vuelo que ahorren gastos y sin riesgo para la población de la periferia en la altura prevista en el rango de aprox. 18-22 Km.



*Figura 2.1. Vista aérea de un HAPs*



## 2.2 Motivaciones

El objetivo de este estudio es investigar la capacidad en UL y DL de voz y de datos que admite un sistema de comunicaciones empleando HAPs tanto en el enlace ascendente como en el descendente.

## 2.3 Arquitectura de sistema de comunicaciones HAPs

En este apartado introducimos la arquitectura de un sistema HAPs y la descripción los sistemas HAPs actuales. Se hace una breve presentación del concepto de “antenas inteligentes”, considerado como una de las técnicas claves en un sistema HAPs.

Al principio, los HAPs tuvieron la intención de emplear motores de ión para su dirección. En cualquier caso, se prevé que van a usar motores convencionales eléctricos y propulsores de peso ligero. Más detalles acerca de los motores de propulsión no están aún disponibles, al menos de forma pública.

El HAPs es capaz de comunicarse con usuarios dentro de una célula vía FDMA, TDMA, CDMA, o bien comunicarse a la red de comunicaciones existente por medio de una estación de tierra, a satélites y a otro/s HAPs.

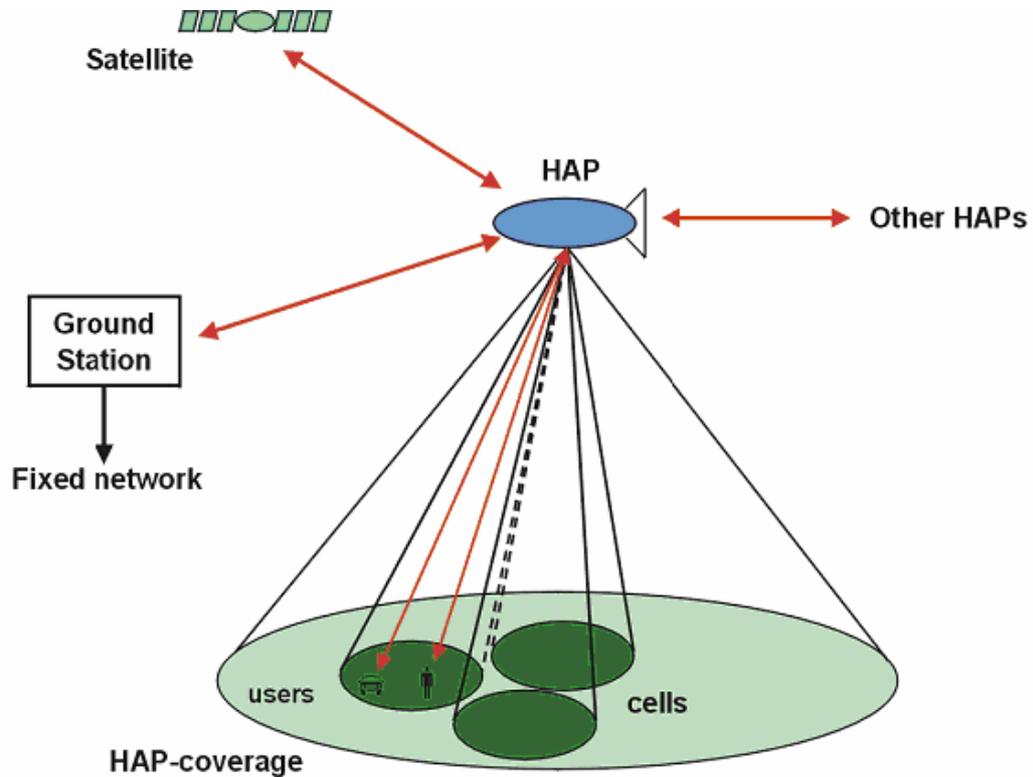


Figura 2.2. Arquitectura de un sistema HAPs

## 2.4 Frecuencias

WRC-97 designó en principio en la Resolución 122 un par de bandas de frecuencia de 300 MHz alrededor de 47 GHz (downlink: 47.2 - 47.5 GHz y uplink: 47.9 - 48.2 GHz) para los servicios fijos de HAPs.

Debido a la alta atenuación de lluvias en ciertas áreas, WRC-2000 propuso estudiar una asignación de frecuencia adicional para HAPs entre 18 y 32 GHz para la Región de ITU-R 3 (Asia), centrado en particular, pero no exclusivamente, sobre las bandas 27.5 - 28.35 GHz y 31.0 - 31.3 GHz .

Siguen en fase de investigación por parte de la ITU-R a fin de lograr un uso más eficiente del espectro y definir el criterio técnico que se usará.

Se debe resaltar que el *Servicio Fijo* está bajo responsabilidad nacional y que también la operación del avión requiere la autorización de las administraciones de aviación locales.

## 2.5 Ejemplos comerciales de empresas

### 2.5.1 *El StratSat*

StratSat es un sistema de dirigible ideado por la empresa británica Grupo de Tecnología Avanzada (ATG).

Tiene la intención de ofrecer una solución rentable y segura para comunicaciones geoestacionarias sobre grandes concentraciones de poblaciones.

Tanto con usos civiles como con militares, el StratSat puede estar a miles de kilómetros de la estación y un tiempo de vida medio de hasta cinco años.

El dirigible, posicionado en la estratosfera no influye en el tráfico aéreo convencional y no presenta ninguna amenaza.

Sus relativos gastos de lanzamiento, comparados a los satélites convencionales, auguran la reducción del coste de llamadas de un teléfono móvil, en un orden de magnitud, capturando así una alta cuota de mercado.



*Figura 2.3. StratSat Platform*

La pantalla solar, que ocupa más de tres cuartos de su longitud, proporciona la fuente exclusiva de energía renovable para el dirigible.

Puede ser realineada a la posición/ángulo diaria del sol por la rotación del dirigible entero.

Es propulsado y dirigido mediante un sistema de “Contragiro Rotor” montado sobre la envoltura, como parte de un sistema de propulsión compuesto. Esta unidad proporciona el empuje longitudinal (para contrarrestar los vientos predominantes estratosféricos) y la fuerza

lateral para maniobrar y permitir al dirigible sostener la estación dentro de un cubo de 1 kilómetro.

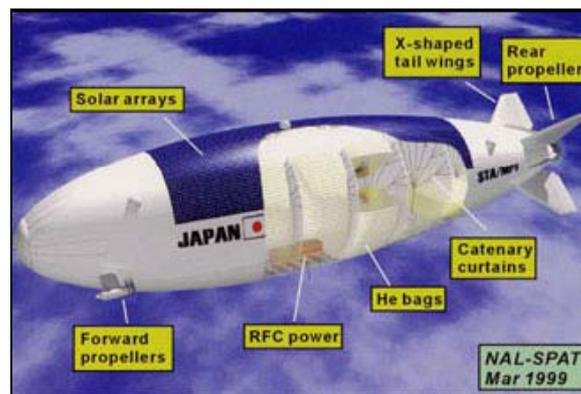
### ***2.5.2 Sistema de Plataforma Estratosférico de Japón***

El Grupo de Innovación de Sistemas Inalámbricos del Centro de investigación de Comunicaciones de Radio Yokosuka en Japón ha desarrollado el siguiente prototipo.

El dirigible tiene un casco semirígido de forma elipsoide con una longitud total de casi 200 m. Está compuesto de un casco presurizado por aire para mantener un contorno fijo, y bolsas internas llenas de gas de helio boyante. Se instalan dos bolsas de aire dentro del casco para mantener el dirigible en la actitud requerida.

Para el equilibrio de carga en el momento del levantamiento, las cortinas de catenaria se conectadas a una quilla inferior rígida, directamente atadas a la envoltura.

Los propulsores son montados tanto sobre el centro como sobre los extremos del dirigible, y las alas de cola son instaladas en el extremo final del casco. Un subsistema de potencia fotovoltaica de células solares y células regeneradoras de combustible suministra un ciclo de un día/noche de electricidad para su propulsión.



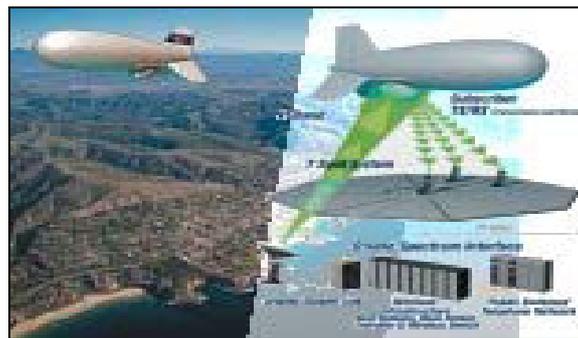
*Figura 2.4. Sistema de plataforma japonés estratosférico*

### 2.5.3 *ARCO System*

Los Sistemas de Comunicaciones de Relevé Aerotransportadas (ARCO) son el nombre de una plataforma de dirigible propuesta por la compañía estadounidense plataformas inalámbricas Internacionales.

Fueron diseñados como plataformas de defensa aerotransportadas para el empleo de radar de bajo nivel.

Inspirado por los dirigibles que supervisan la frontera entre EEUU y Méjico, desarrollan un sistema que proporcionará servicios inalámbricos de banda ancha así como servicios móviles de áreas de 55 a 225 kilómetros de diámetro por sistema y dando servicio a 1.500.000 clientes (dependiendo de la configuración de sistema y la potencia de la antena).



*Figura 2.5. Sistema de ARCO*

Un dirigible de ARCO es un globo de 46 m de largo relleno de Helio, que puede llevar casi 700 kilogramos de carga útil. Se diseña con dos soportes auxiliares, que son desplegados para asegurar la cobertura de servicio ininterrumpida en condiciones severas meteorológicas (vientos superiores a 145 Km/h).

A diferencia de otras estaciones de plataforma estratosféricas no usa células solares. La electricidad es suministrada a la carga útil mediante un cable de 2,5 cm de espesor, incorporando también incorpora un enlace de fibra óptica que conecta las estaciones base aereotransportadas al resto de la red.

Los usuarios podrán tener acceso a vídeo, datos, e Internet en los límites de 1 a 5 Mbps, y 52 Mbps.

### 2.5.4 SkyTower

Financiado con el apoyo de la NASA, AeroVironment ha desarrollado un aeroplano no tripulado, solar, eléctrico llamado Helios que será capaz de mantener un vuelo continuo de hasta seis meses o más en 60.000 pies en la estratosfera, encima del tráfico aéreo meteorológico y comercial (también desarrolló Pionero Plus, el precursor de Helio).



*Figura 2.6. SkyTower aircraft*

Las redes de comunicaciones estratosféricas de SkyTower están formadas por segmentos aerotransportados (o cargas útiles) que se comunican con los terminales de usuario y estaciones de entrada sobre la tierra. Las estaciones de entrada de tierra servirán como un interfaz intermedio entre el avión y el Internet existente y los sistemas de interconexión PSTN.

Estos sistemas de red interactivos están siendo diseñados para maximizar el rendimiento total de la red. El rendimiento fijo inalámbrico total de banda ancha es proyectado para que sea aproximadamente 10 a 20 Gbps por plataforma con velocidades de transmisión de usuario típicas de 1.5 Mbps o más grandes (125 Mbps es factible para un usuario solo).

### 2.5.5 AVCS

General Atomics, de EE. UU -fábrica de San Diego de Vehículos No tripulados Aéreos (UAV), desarrolla un Sistema de Comunicaciones de Vehículos Aéreos, AVCS.

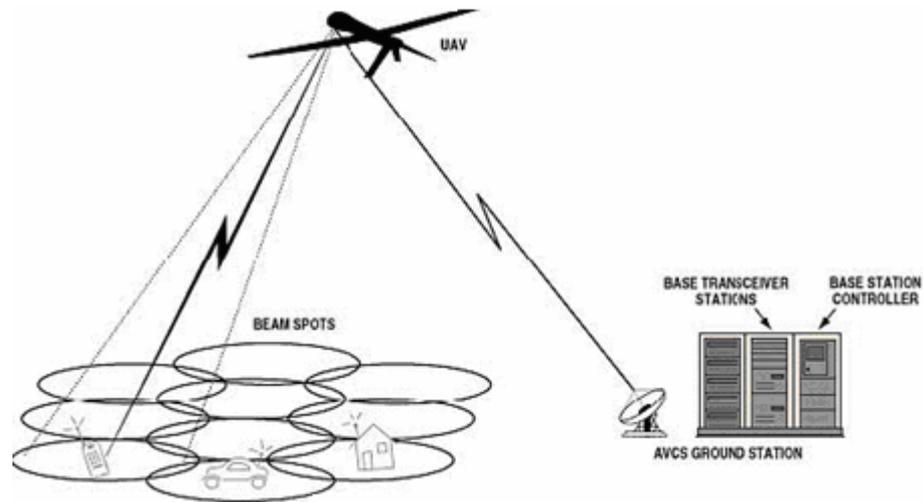


Figura 2.7. Arquitectura de AVCS

### 2.5.6 Heliplat

El Heliplat ha sido diseñado en el “Politecnico di Torino” bajo la ASI (Agencia italiana espacial). Se trata de una plataforma no tripulada con propulsión de células solares, permitiendo una carga útil de aproximadamente 100 kg.

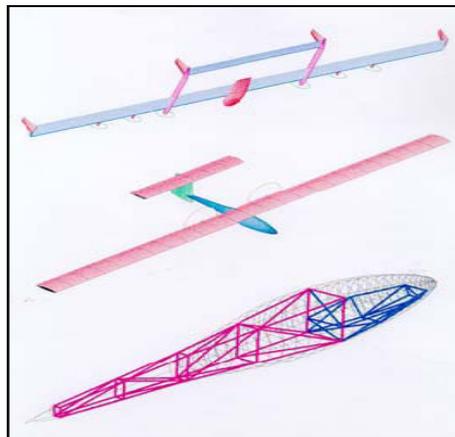


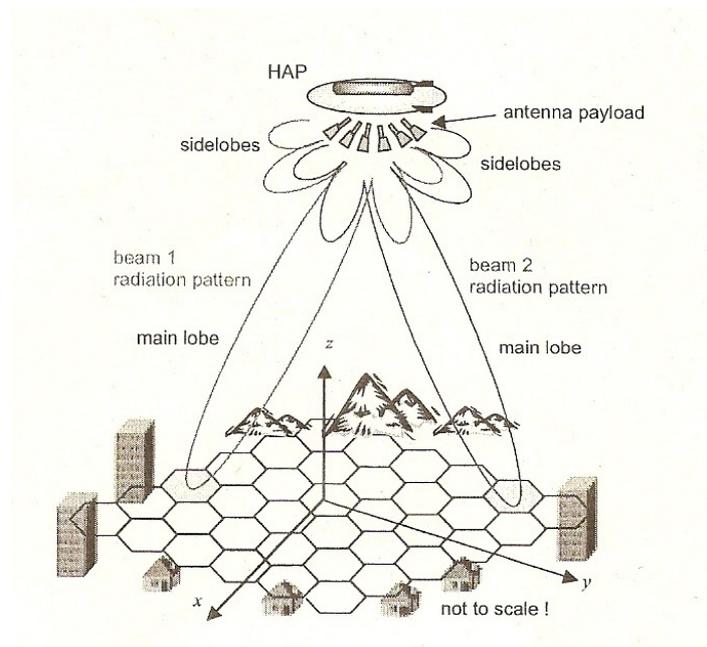
Figura 2.8. Estudios de configuración.

## 2.6 Descripción del Sistema

Nuestra atención se centra en esta sección en comunicaciones aire tierra mediante HAPs.

Los HAPs, como hemos comentado en la introducción, son plataformas estratosféricas situadas por encima de la altitud del vuelo de aviones comerciales, pensadas para ser utilizadas en casos de emergencia, como por ejemplo, cuando debido a algún percance las comunicaciones móviles terrestres estén saturadas o fuera de servicio, colapsadas o en definitiva, no sirvan para el fin que fueron concebidas.

El escenario general, tanto para entorno rural como para urbano que se propone, es el que se presenta a continuación:



*Figura 2.9. Escenario general del HAPs*

En la figura se observan los distintos vanos que sirven a distintas celdas cocanales

Cada célula puede ser atendida por un haz de la antena del HAPs. En la figura se observa el haz que atiende a cada célula en cuestión y la región de lóbulos adyacentes que contribuye a la interferencia externa.

La red celular permite la reutilización del espacio espectral y por tanto la eficiencia espectral, que tiende a incrementarse a medida que disminuye el tamaño de la celda hasta que la capacidad total se ve limitada por la interferencia adicional existente.

El nivel de  $E_b/N_0$  en una red celular de HAPs, asumiendo enlaces de visión directa, es consecuencia de la reutilización espacial del espectro y viene determinado por esquema de radiación de la antena, en particular por el diseño de sus lóbulos.

### ***2.6.1 Red de haz de banda ancha***

Los distintos haces producidos por el haz de banda ancha de la antena de los HAPs se dirige a las células en la tierra, requiriendo por tanto anchos de banda estrecho y bajos niveles de lóbulos, logrando así evitar la interferencia entre células.

El objetivo de este haz de banda ancha (WBN) es producir  $J$  rayos que se hallan dentro de la cobertura de las células. El WBN consiste en un conjunto de rayos de banda ancha.

En nuestro estudio, los rayos son diseñados en el dominio de la frecuencia. Una estructura general de modelado de rayo en el dominio de la frecuencia con un conjunto de antenas de  $M$  elementos, en donde las señales de banda ancha de cada antena son transformadas en el dominio de la frecuencia usando la FFT y cada subcanal es procesado entonces por una estructura de modelado de haces de banda estrecha.

Los pesos,  $w_{jm}$  ( $w_k$ ) en la figura,  $m=1..M$ ,  $j=1..J$ , requeridos por cada subcanal son seleccionados independientemente y apropiadamente tal que los modelos son invariantes en frecuencia. Esta selección puede ser realizada en paralelo, conduciendo a un procesamiento más rápido.

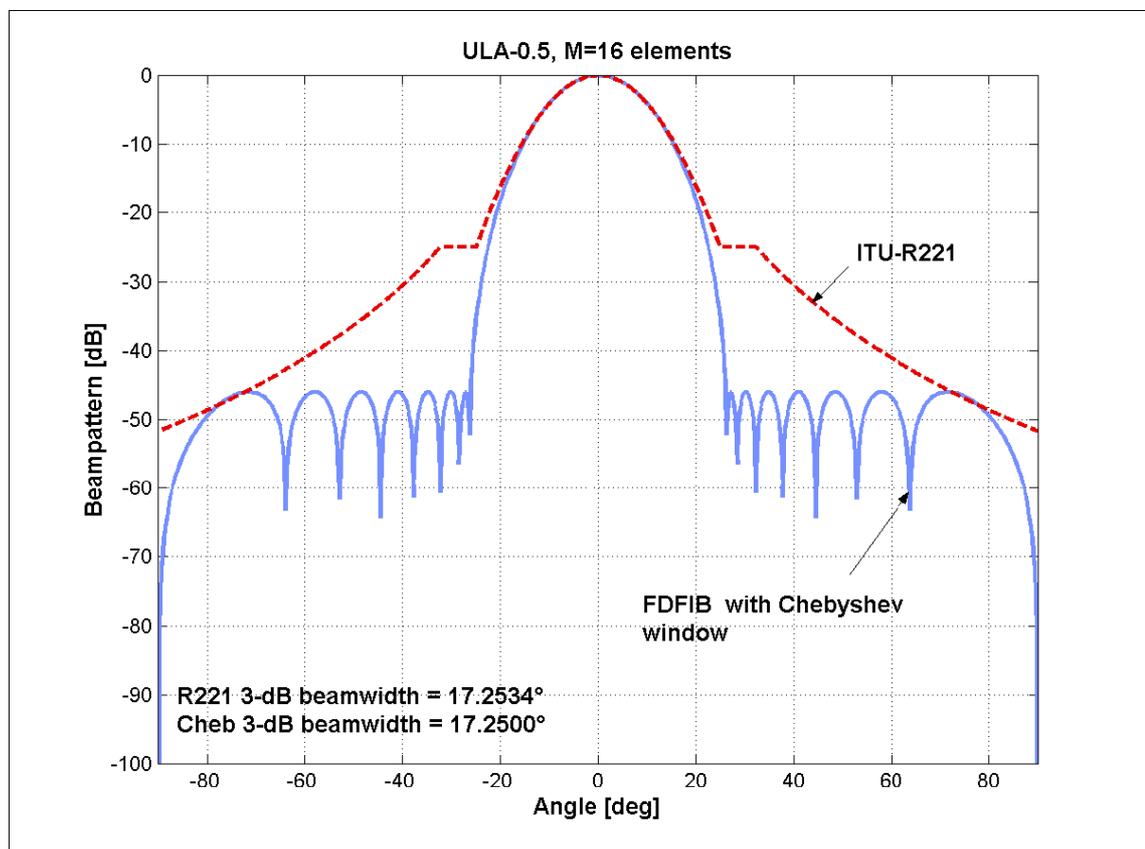
También son diseñados para funcionar con conjuntos de antenas arbitrarias.

El WBN puede ser aplicado para aplicaciones de banda ancha en 3G y más allá.

En aplicaciones HAPs, las características de modelo del haz (ancho del haz -3 dB, niveles lóbulos secundarios) son una de las cuestiones esenciales en el diseño de los haces de la antena. Más en concreto, su particular diseño confiere la especialidad que caracteriza a las comunicaciones mediante HAPs.

Nos referimos a la recomendación ITU resolución 221 (uso de HAPs en IMT-2000) para diseñar este modelo. Para cumplir esta exigencia, aplicamos el procesamiento espacial con la *ventana de Chebyshev* (amplitudes de peso,  $m = 1 \dots M$ ) en las salidas de los elementos de las antenas de HAPs.

Como resultado actual, con la ganancia de antena en la estación base HAPs como asumimos anteriormente obtenemos el modelo de haz como se representa en la siguiente figura.



**Rojo:** Resolución ITU 221

**Azul:** nuestro diseño

*Figura 2.10. Modelo con ventana de Chebyshev con recomendación ITU-R221.*

Como se aprecia el nivel de los lóbulos secundarios es menor que el de la recomendación ITU-R221, y el ancho de haz a  $-3$  dB es aproximadamente  $17.25^\circ$ , idéntico al de la recomendación ( $17.2534^\circ$ ).

El perfil de la ganancia de antena del HAPs se puede definir de la siguiente manera, en función del ángulo  $\theta$  que se forma del triángulo formado entre el radio de la celda y la altura del HAPs:

$$G(\theta) = \begin{cases} 34.8 - 3 & \text{para } 0^\circ \leq \theta \leq 4.53^\circ \\ 9.8 & \text{para } 4.53^\circ < \theta \leq 5.87^\circ \\ 52.95 - 60 \log(\theta) & \text{para } 5.87^\circ < \theta \leq 37^\circ \\ -38.2 & \text{para } 37^\circ < \theta \leq 90^\circ \end{cases}$$

En comunicaciones HAPs, éste variará en la posición que causa cambios en el ángulo de mirada de terminales de tierra. Si la variación angular es mayor que el ancho del haz de las antenas entonces es necesario usar antenas terminales dirigibles.

### 2.6.2 Metodología de comunicaciones HAPs :

Los HAPs son concebidos para funcionar sobre regiones urbanas en una altitud de 18 a 22 kilómetros, estando situados por encima del tráfico aéreo, empleando una tecnología de dirigible.

Para una “ $h_H$ ” de altitud de plataforma dada, el diámetro de la cobertura del HAPs puede ser calculado usando la fórmula:

$$d_H = 2R_H \left( \arccos\left(\frac{R_H}{R_H + h_H}\right) \cos(\theta) \right) - \theta \quad (2.1)$$

En donde

- $h_H$  = 18-22 kilómetros: altitud de HAPs,
- $h_T$  = 40 m: torre de antena en sistema terrestre,
- $d_H$  : distancia sobre la horizontal.

- $R_H$ : distancia entre HAPs y antenas móviles en borde de cobertura en sistema HAPs.
- $\theta$ : ángulo de elevación (de HAPs).
- 

Una de las mayores ventajas de sistemas móviles basados en HAPs es su exponente de pérdida de propagación en el espacio libre, muy favorable con relación a sistemas terrestres o con relación a sistemas de satélite. *Es la clave para reducir la potencia de transmisión tanto en estación base como en estación móvil.*

Esta situación se expone en la siguiente figura:

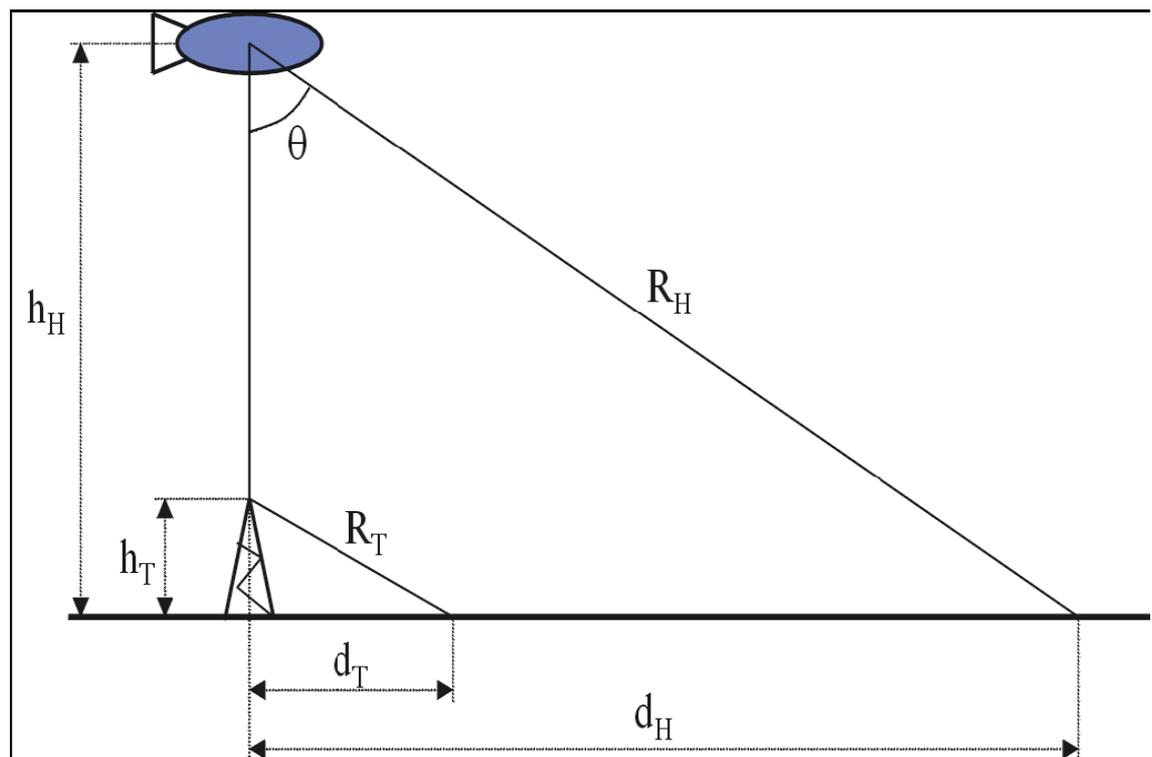


Figura 2.11. Cobertura de un sistema HAPs aéreo-terrestre

En donde  $d_T$  = radio de cobertura máximo en sistema terrestre,

## 2.7 Modelos teóricos de aproximación

En general, la capacidad de un sistema W-CDMA está limitado por la *interferencia*. Un usuario en el área de servicio del HAPs experimentará la *interferencia intracelular* de sus usuarios y la *interferencia de los usuarios de células adyacentes*.

El escenario de estudio en el caso general y variantes, será el entorno urbano, excepto cuando haya indicación expresa indicando lo contrario.

### 2.7.1 ENLACE ASCENDENTE

En este tipo de enlace no es necesario duplicar la potencia, como ocurre en el enlace descendente. De este modo, la potencia recibida de cada usuario es idéntica independientemente de la posición del usuario en la celda y el comportamiento de la antena del HAPs.

#### 2.7.1.1 Capacidad del Enlace Ascendente en HAPs

En esta sección vamos a estudiar la capacidad del enlace ascendente como función del radio de la célula.

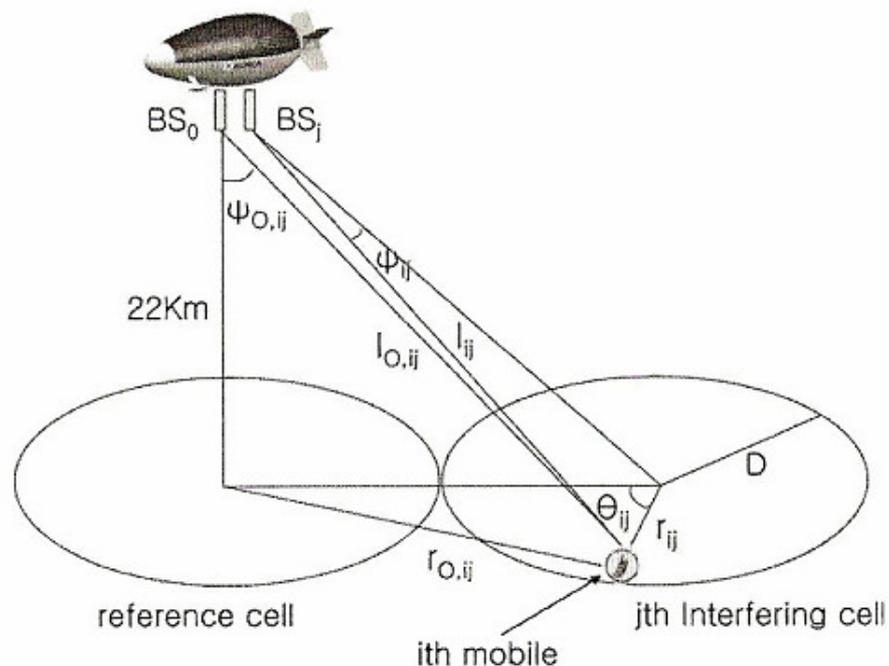


Figura 2.12. Geometría de interferencia en HAPs.

En donde

- 22 Km: altitud del HAPs,
- $r_{o,ij}$  : distancia entre el centro de la celda en la cual se halla el usuario y éste.
- $r_{ij}$  : distancia que existe entre el centro de una celda interferente y el usuario.
- $D$  : radio de la celda.
- $\theta_{ij}$  : ángulo resultante de la recta que une los centros de dos celdas contiguas y el centro de la celda interferente y el usuario.
- $\psi_{0,ij}$  : ángulo que forma la antena transmisora que sirve al usuario bajo estudio con la vertical.
- $\psi_{ij}$  : ángulo que forma la antena interferente con el usuario bajo estudio.
- $l_{0,ij}$  : distancia que existe entre la antena que sirve al usuario bajo estudio y éste mismo.
- $l_{ij}$  : distancia que existe entre la antena interferente y el usuario bajo estudio.

Asumimos células ideales circulares, pero en realidad la forma de la celda es elíptica, debido a la proyección del diagrama de la antena sobre tierra, salvo la celda central.

La potencia recibida por la estación base puede expresarse como sigue:

$$P_{rec} = \frac{N}{\Pi D^2} \int_0^{2\Pi D} \int_0^{2\Pi D} P_{req} f(r_{ij}, \theta_{ij}) R_{ij} dr_{ij} d\theta_{ij} \approx P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - L_b \quad (2.1)$$

Donde  $P_{req}$  y  $f(r_{ij}, \theta_{ij})$  representan la potencia de señal requerida en el borde de la célula y la función de control de potencia correspondientes a la posición del usuario, respectivamente.

### 2.7.1.1.1 Interferencia intracelular

Asumiendo que el nivel de potencia de la señal deseada es  $S$ , la interferencia intracelular viene dada por:

$$I_{INTRA} = \alpha(N_u - 1)P_{rec} \quad (2.2)$$

Donde  $\alpha$  es el factor de actividad de voz, que, como sabemos, es de  $2/3$ , que es el porcentaje de tiempo que se supone el usuario de voz emplea en la comunicación.

En el otro caso, en datos, este factor es igual a uno, ya que el usuario de datos se supone que emplea el canal todo el tiempo en la transmisión de datos, es decir, es continua.

### 2.7.1.1.2 Interferencia intercelular

Denotamos por  $(i, j)$  la posición del móvil en la célula  $j$ -ésima y  $B_j$  es el vano que sirve al móvil  $(i, j)$ . El móvil  $(i, j)$  está a una distancia  $r_{ij}$  del centro de la célula bajo estudio.

La interferencia extracelular viene dada por la siguiente ecuación:

$$I_{EXTRA} = N\alpha P_{rec} F_u \quad (2.3)$$

en donde

$$P_{rec} = S \quad (2.4)$$

Y  $F_u$  denota la eficiencia de reutilización de frecuencia, definido por:

$$F_u = \frac{f(r_{ij}, \theta_{ij})}{\frac{\gamma(r_{ij}, \theta_{ij})}{\pi D^2} \int_0^{2\pi} \int_0^D f(r_{ij}, \theta_{ij}) r_{ij} dr_{ij} d\theta_{ij}} \quad (2.5)$$

y

$$\gamma(r_{ij}, \theta_{ij}) = \sum_{j=0}^J 10^{\frac{G(\psi_{0,ij}) - G(\psi_{ij})}{10}} \quad (2.6)$$

Este factor  $F_u$  es la única diferencia que existe en las ecuaciones del enlace ascendente y descendente, y es calculado teniendo en cuenta la interferencia entre HAPs.

$$\text{Cuando se consideran varios HAPs, entonces } \gamma'(r_{ij}, \theta_{ij}) = \sum_{j=1}^J \left( \frac{I_{0,ij}}{I_{ij}} \right)^\mu 10^{\frac{G(\psi_{0,ij}) - G(\psi_{ij})}{10}} \quad (2.7)$$

Cuando existan varios usuarios en una célula, la potencia transmitida para cada usuario debe ser suficiente para ser ignorada, comparada con la potencia total transmitida por todos los vanos.

La potencia transmitida al móvil  $(i, j)$  está dada por:

$$S_{T,j} = SL_j^5 10^{-\xi_j/10} 10^{-G(\psi_j)/10} \quad (2.8)$$

La *interferencia* producida por el móvil viene dada por:

$$I_{B_o} = S \left[ \frac{I_j}{I_{o,j}} \right]^5 10^{\frac{\xi_{o,j} - \xi_j}{10}} 10^{\frac{G(\psi_{o,j}) - G(\psi_j)}{10}} \quad (2.9)$$

$$I_{B_o} \approx S 10^{\frac{G(\psi_{o,j}) - G(\psi_j)}{10}} \quad (2.10)$$

La *interferencia intercelular* debida a las  $J$  células adyacentes a la considerada en este estudio viene dada por:

$$I_{inter} = \alpha SN_u \sum_{j=1}^J \int_0^{2\Pi R} \int_0^0 10^{\frac{G(\psi_{o,j}) - G(\psi_j)}{10}} \frac{r_j dr_j d\theta_j}{\Pi R^2} \quad (2.11)$$

$$I_{inter} = \alpha SN_u F_u \approx I_{intera} F_u \quad (2.12)$$

La capacidad total de interferencia  $I_t$  viene dada por:

$$I_t = I_{\text{int}ra} (1 + F_u) + P_n \quad (2.13)$$

Así pues, para obtener la interferencia total extracelular se hace preciso extrapolar la ecuación que define dicha interferencia y que ya considera el mismo número de celdas adyacentes que en el enlace descendente mediante regresión lineal.

De esta forma obtenemos el valor de  $F_u$  frente a la diferencia de radios de celda máxima, definida como  $G_{\text{max}} - G_{\text{cx}}$ . El valor que nos da la gráfica nos permite obtener el valor de  $F_u$  despejando de la siguiente ecuación:

$$\text{Valor} = \frac{1}{1 + F_u} \quad (2.14)$$

A raíz de estos valores, la función “Polyfit” de Matlab nos da los pertinentes valores de la interferencia extracelular para cada valor de R distinto.

Este valor de  $F_u$  ha sido considerado en el límite del borde de la célula.

### **2.7.1.1.3 Potencia de Ruido**

La potencia de ruido, en dB viene determinada por la siguiente expresión:

$$P_n = -114 + 10 \log_{10}(BW) + NF \quad (2.15)$$

En donde:

- BW=Ancho de banda en Mhz.
- NF=Factor de ruido, en dB.

### 2.7.1.1.2 Pérdida básica de propagación

La pérdida de propagación en el espacio libre, en dB viene determinada por la siguiente expresión:

$$L_b = 32,45 + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d) + I_{shadowing} \quad (2.16)$$

En donde:

- $f$  = frecuencia de funcionamiento, en MHz.
- $d = \sqrt{(R^2 (Km) + (Hhaps^2 (Km)))}$  (2.17)
- $I_{shadowing}$  = Interferencia por sombra, que depende del escenario de estudio.

Finalmente, la capacidad total viene definida por la relación  $E_b/N_0$  :

$$[E_b/N_0]_{up} = G_p [P_{rec}/I_{Total}]_{up} \quad (2.18)$$

En donde

- $G_p$  es la ganancia de procesamiento, que varía en función de si se trata de voz o de datos.

### 2.7.1.2 Resultados de simulación

El radio R de estudio se centra en 1000 a 2000 m. La elección de este rango se debe a que grandes capitales, tales como Madrid, Barcelona o Zaragoza, entre otras, se pueden cubrir con este radio. Madrid o Barcelona serían cubiertos con un radio de 2 km., mientras que Zaragoza con uno de 1 ó 1.5 Km. El radio de Madrid capital se sitúa alrededor de 20 Km., necesitando un radio de trabajo por tanto de 2 Km.

Bajo esta consideración, la ciudad completa de Madrid, por ejemplo, puede ser cubierta con 6 coronas concéntricas, lo que equivale a establecer que el número de células adyacentes es de 126. A efectos de simulación, el cálculo se ha realizado con 60 células y el

resto se modelan con un ángulo que corresponde a la ganancia mínima de antena, puesto que en células tan lejanas la contribución es prácticamente inapreciable.

Se han calculado las coordenadas de cada celda a la célula emisora, en función de “R”, a efectos de computar la interferencia intercelular.

### **2.7.1.2.1 “Voz”**

\*CASO GENERAL:

A las pérdidas de propagación hay que añadir una pérdida extra debido al desvanecimiento por sombra:

➤  $L_b = 10dB$  en zonas urbanas.

➤  $\varphi = 0.5$  Zona urbana.

➤  $\varphi = 0.1$  Zona rural.

\* Altura de HAPs de 18 Km.

\* Factor de utilización de voz “ $\alpha$ ” de 0.66.

\* Frecuencia de funcionamiento de 1.95 GHz.

\* Ancho de banda de 5 MHz.

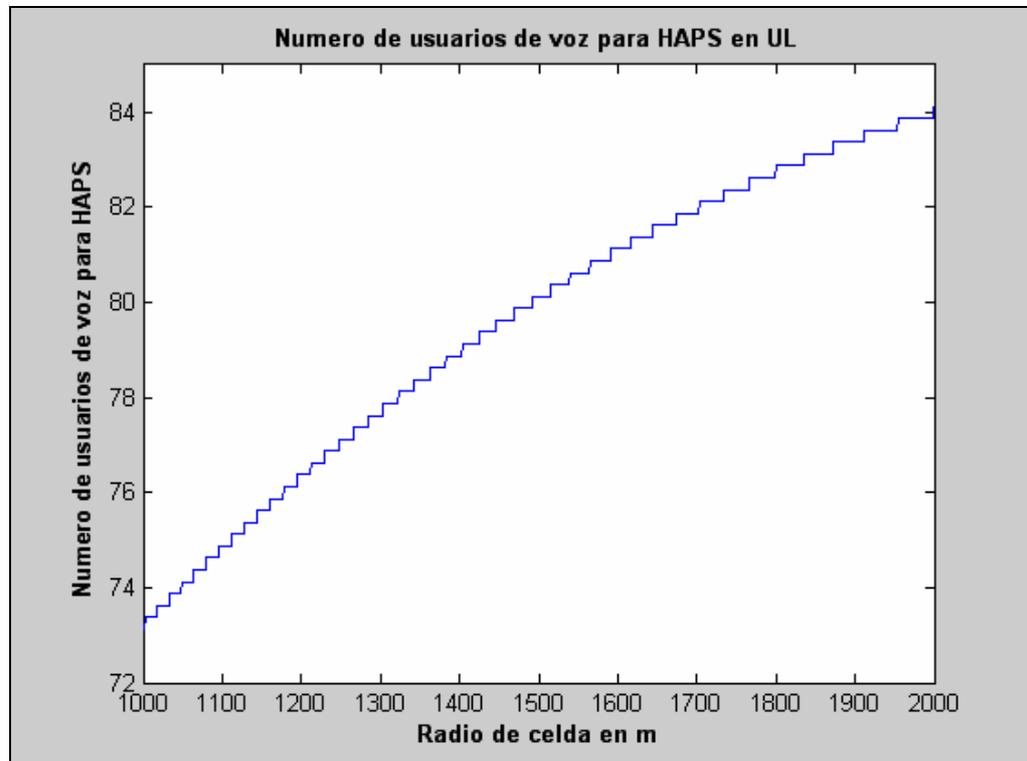
\* Ganancia del proceso  $G_p = 256$ .

\* Factor de ruido NF de 5 dB.

\*  $E_b / N_0 = 6$  dB.

\* Potencia de transmisión de 100 mW.

En base a estos datos, la gráfica obtenida ha sido la siguiente:



*Figura 2.13. Número de usuarios de voz para HAPs en UL*

En este caso, la capacidad de usuarios de voz se sitúa en:

- **73,1 usuarios/celda para R=1 Km.**
- **80,2 usuarios/celda en R=1.5 Km.**
- **Finalmente 84,1 usuarios/celda para R=2 Km.**

\*CASO 1:

Para este caso se han elegido distintas alturas para la estación de HAPs: 18, 19, 20, 21 y 22 Km.

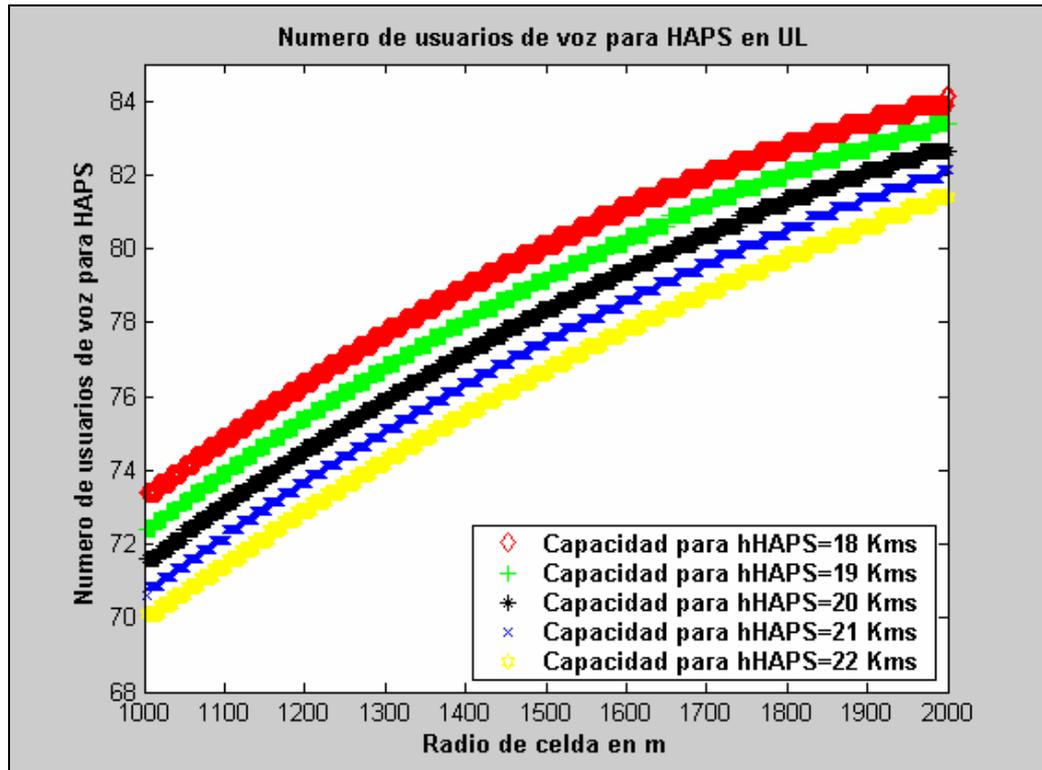


Figura 2.14. Número de usuarios de voz para distintas alturas de HAPs en UL

A la vista de los resultados, obtenemos:

Hhaps (km)	R(km)	Usuarios/celda	Hhaps (km)	R(km)	Usuarios/celda
18	1	73,1	18	1,5	80,2
19	1	72,4	19	1,5	79
20	1	71,3	20	1,5	78,4
21	1	70,6	21	1,5	77,4
22	1	69,8	22	1,5	76,6

Hhaps (km)	R(km)	Usuarios/celda
18	2	84,1
19	2	83,4
20	2	82,6
21	2	81,6
22	2	81,4

Tabla 2.1. Usuarios de voz para distintas alturas de HAPs en UL.

\*CASO 2:

Se han elegido distintas potencias para el HAPs, que resultan ser 1, 10, 100, 1.000 mW respectivamente.

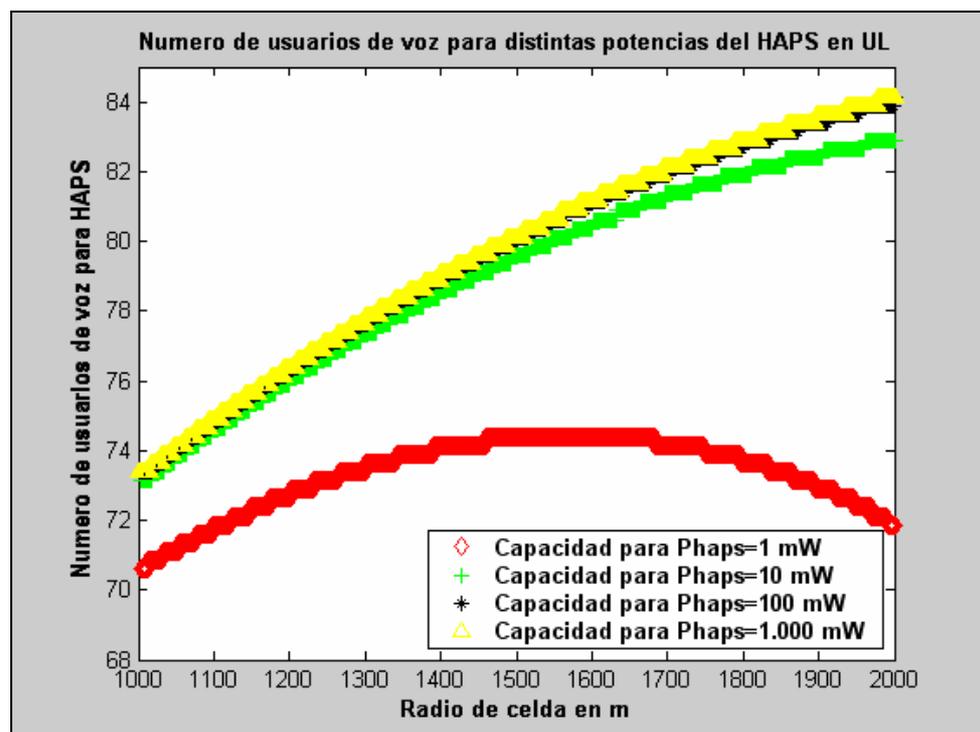


Figura 2.15. Número de usuarios de voz para distintas potencias de HAPs en UL

En la figura se muestran los resultados obtenidos para las distintas potencias de emisión por celda.

Las capacidades se resumen de la siguiente forma:

Potencia(mW)	R(km)	Usuarios/celda	Potencia(mW)	R(km)	Usuarios/celda
1	1	70,5	1	1,5	74,4
10	1	72,8	10	1,5	79,6
100	1	73,1	100	1,5	80,1
1000	1	ídem	1000	1,5	ídem

Potencia(mW)	R(km)	Usuarios/celda
1	2	71,8
10	2	82,8
100	2	84,1
1000	2	ídem

*Tabla 2.2. Usuarios de voz para distintas potencias de HAPs en UL.*

Como se observa, para una potencia de transmisión de 1 mW la capacidad se incrementa hasta un  $R = 1.500$  Km. y posteriormente decae.

En el primer tramo el efecto se debe a la reducción de la interferencia externa, que domina frente a la pérdida de la propagación básica, mientras que en el segundo domina la pérdida básica de propagación frente a la interferencia externa.

Este efecto se subsana aumentando la potencia de transmisión.

Sin embargo, a partir de 100 mW no se observa cambio alguno en la capacidad, por lo que podría elegirse ésta sin necesidad de recurrir a las superiores.

\*CASO 3:

Se han elegido distintos factores de ruido para el HAPs, 6, 7 y 8 dB respectivamente.

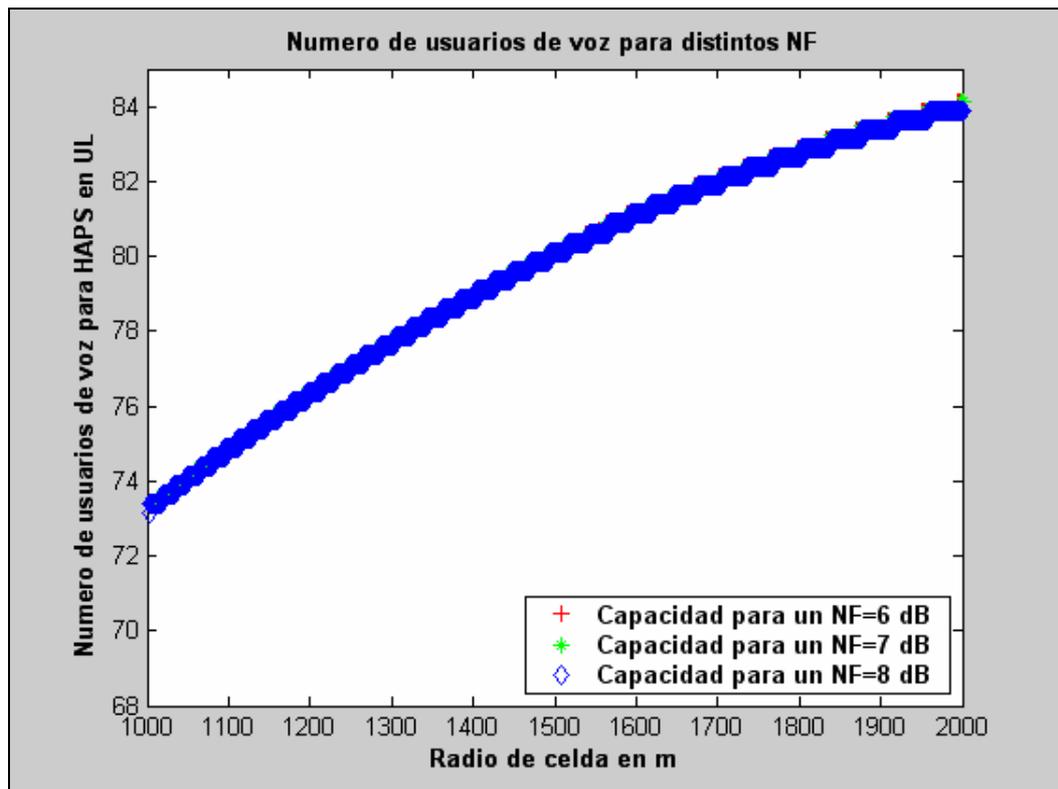


Figura 2.16. Número de usuarios de voz para distintos factores de ruido en UL

Aunque a simple vista no sea plenamente apreciable, al ampliar la gráfica se observa que para los distintos factores de ruido no se produce variación de ningún tipo. Es decir, la potencia de ruido no afecta a nuestro cálculo de capacidad ni mejora en sentido alguno el cómputo de la sensibilidad.

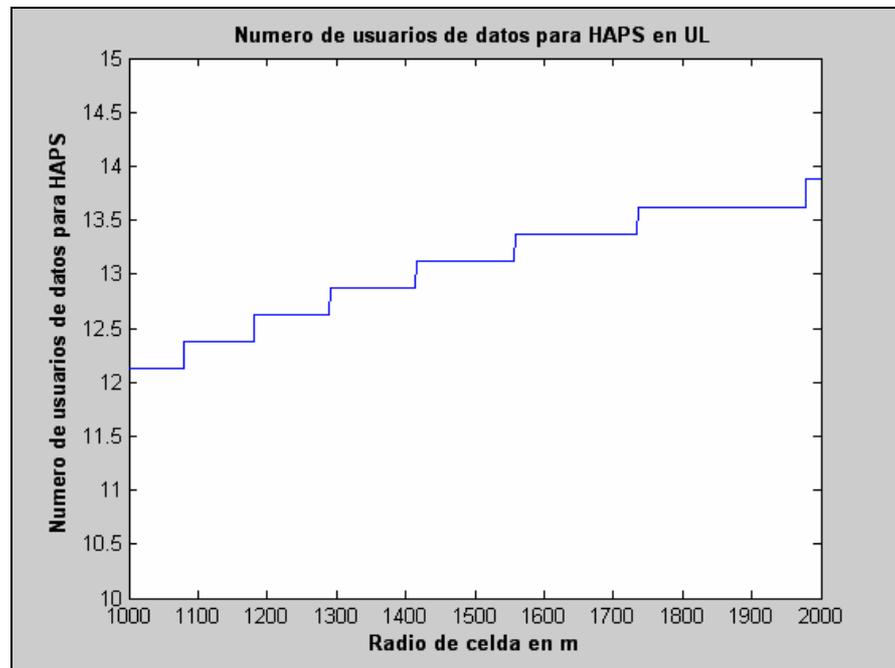
Por tanto, los **resultados** obtenidos son idénticos a los del **caso general**.

### 2.7.1.2.2 “Datos”

Los parámetros generales son análogos a las del caso de voz, con las siguientes excepciones:

- Factor de utilización de datos “ $\alpha$ ” de 1.
- Ganancia del proceso  $G_p=32$ .
- $E_b / N_0 = 3$  dB.

En base a estos datos, la gráfica obtenida ha sido la siguiente:



*Figura 2.17. Número de usuarios de datos para HAPs en UL*

A diferencia del caso de voz, la capacidad total se ha reducido en aproximadamente una sexta parte respecto a aquélla.

La capacidad de usuarios de datos se sitúa en:

- **12,2 usuarios/celda para R=1 Km.**
- **13,2 usuarios/celda en R=1.5 Km.**
- **Finalmente 13,8 usuarios/celda para R= 2 Km.**

\*CASO 1:

Para este caso se han elegido distintas alturas para la estación de HAPs: 18, 19, 20, 21 y 22 Km.

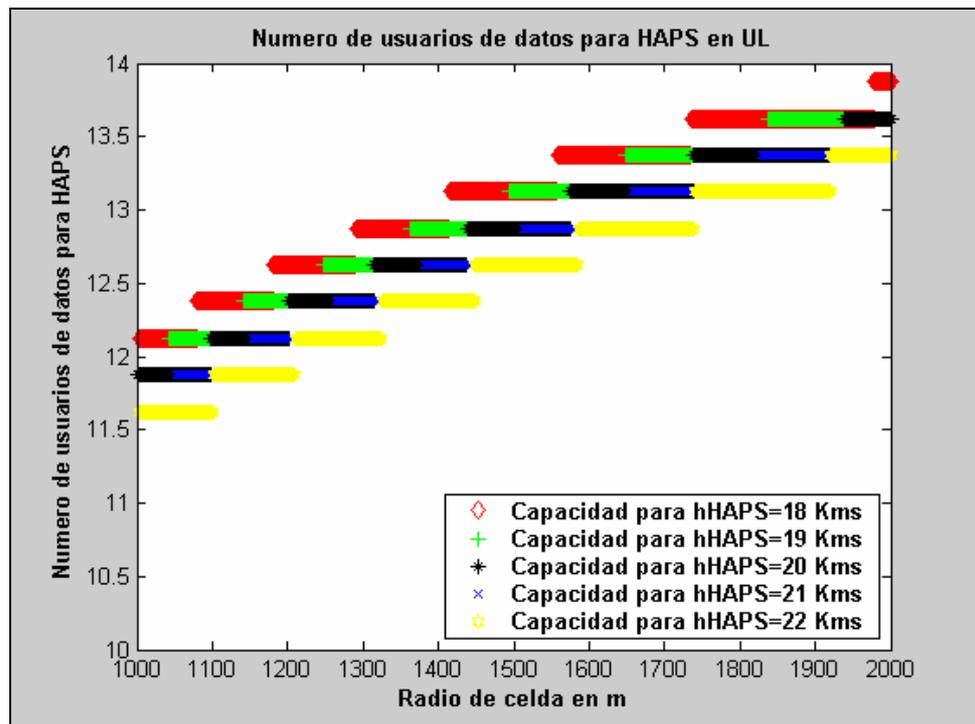


Figura 2.18. N° de usuarios de datos para distintas alturas de HAPs en UL

Como se aprecia las variaciones son diferentes con respecto al caso general.

La capacidad de datos se puede resumir de la siguiente forma:

Hhaps (km)	R(km)	Usuarios/celda	Hhaps (km)	R(km)	Usuarios/celda
18	1	12,2	18	1,5	13,2
19	1	11,9	19	1,5	13,2
20	1	11,9	20	1,5	12,9
21	1	11,5	21	1,5	12,8
22	1	11,6	22	1,5	12,6

Hhaps (km)	R(km)	Usuarios/celda
18	2	13,9
19	2	13,5
20	2	13,6
21	2	13,5
22	2	13,4

Tabla 2.3. Usuarios de datos para distintas alturas de HAPs en UL.

La máxima capacidad se produce para **18 km.** en **R=2 km.** y son  $\approx 14$  usuarios.

\*CASO 2:

Se han elegido las mismas potencias para el HAPs que en el caso de voz.

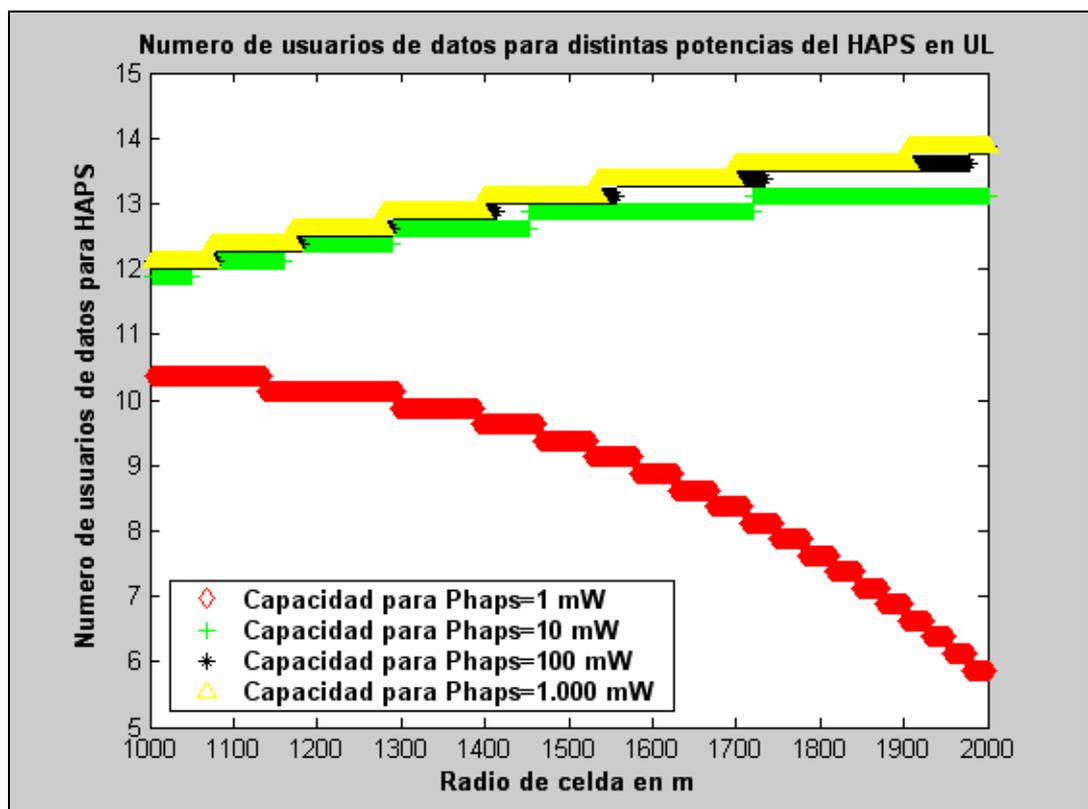


Figura 2.19. Número de usuarios de datos para distintas potencias de HAPs en UL

La capacidad total se resume en las siguientes tablas:

Potencia(mW)	R(km)	Usuarios/celda	Potencia(mW)	R(km)	Usuarios/celda
1	1	10,5	1	1,5	9,4
10	1	12	10	1,5	12,9
100	1	12,3	100	1,5	13,1
1000	1	12,3	1000	1,5	13,1

Potencia(mW)	R(km)	Usuarios/celda
1	2	5,8
10	2	13,1
100	2	13,6
1000	2	13,8

*Tabla 2.4. Usuarios de datos para distintas potencias de HAPs en UL.*

Como se puede apreciar, la máxima capacidad se produce para una potencia de 100 mW y a un radio de 2 Km, siendo de **14 usuarios/celda**.

Se observa de forma global el mismo comportamiento que en el caso de voz. Es decir, no se observa diferencia en capacidad para unas potencias de 100 y 1000 mW y para una potencia de 1 mW el valor de la pérdida de propagación básica supera al valor de la antena, por lo que se hace necesario incrementar la potencia de transmisión.

\*CASO 3:

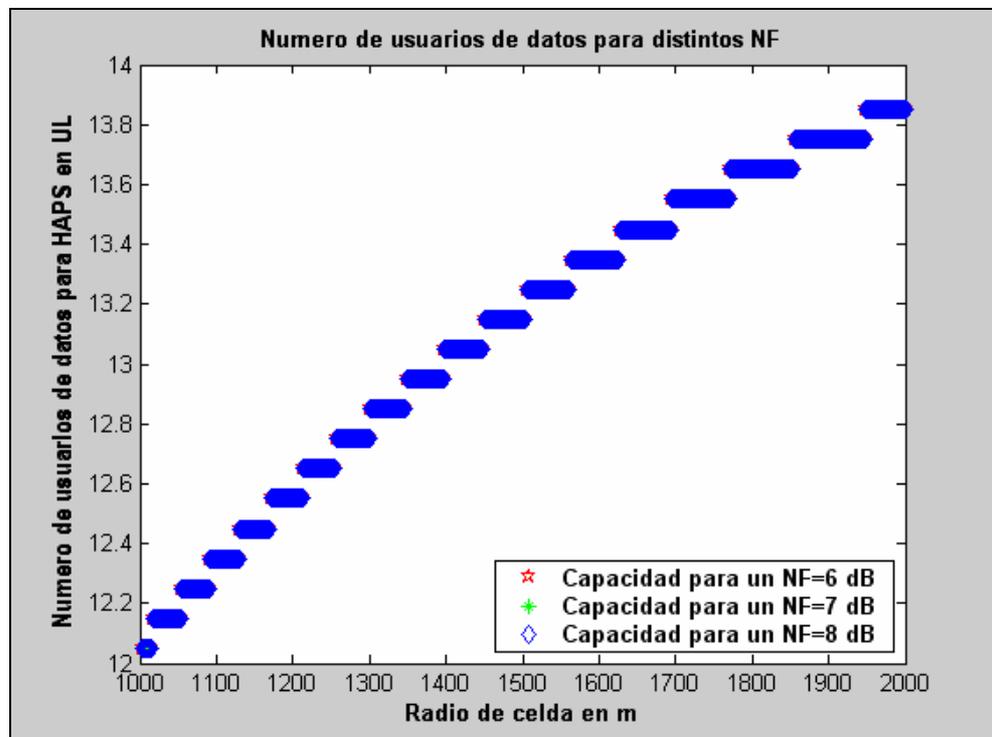


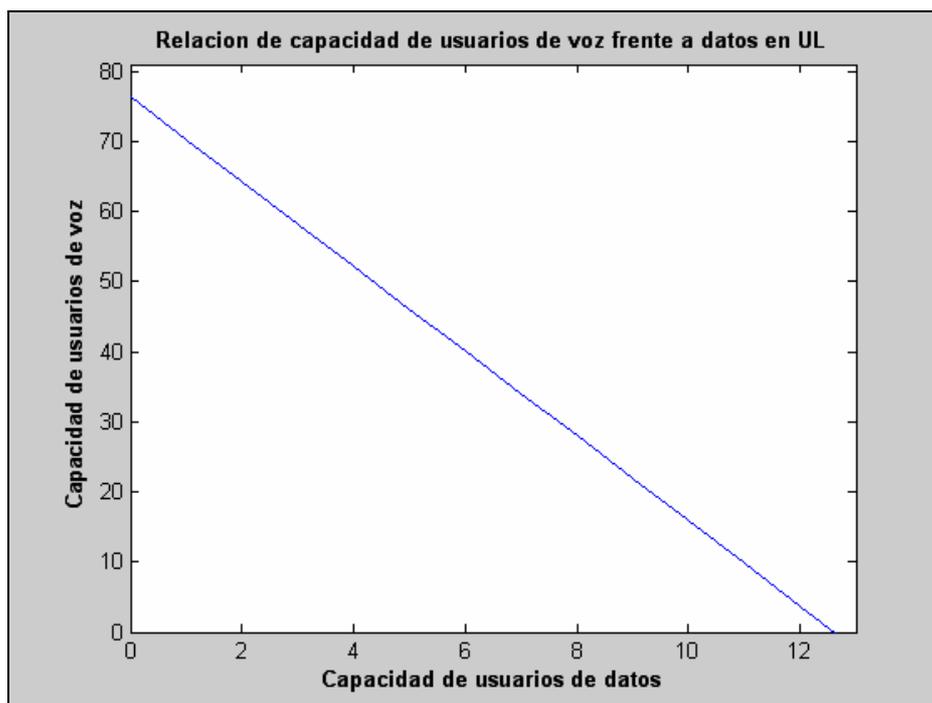
Figura 2.20. Número de usuarios de datos para distintos factores de ruido en UL

Los resultados que arroja la gráfica son análogos a los del caso de voz. El factor de ruido, en los órdenes en los que estamos trabajando, no tiene influencia alguna sobre la capacidad.

La capacidad final resulta ser por tanto, la misma que la general.

### **2.7.1.2.3 Relación entre la Capacidad de Voz y Datos**

Se plasma una gráfica que describe la **relación existente entre la capacidad de voz y la de datos**. Este estudio se centra únicamente en un valor de R, que ha sido de 1.200 m.



*Figura 2.21. Gráfica ilustrativa de la relación capacidad datos-voz en UL*

En esta gráfica se ilustra la relación entre capacidad de voz frente a la de datos.

La capacidad máxima por celda se sitúa en:

- **76,5 usuarios de voz por celda.**
- **12,6 usuarios de datos por celda.**

La principal peculiaridad en datos se trata de que para lograr obtener una relación datos-voz equitativa, se ha de aumentar la potencia de transmisión para los usuarios de datos, lo cual no es factible en la práctica en los equipos radio.

## 2.7.2 ENLACE DESCENDENTE

A diferencia del enlace ascendente, es deseable realizar control de potencia, pero no esencial, ya que permite incrementar la capacidad en determinadas condiciones y a la misma vez disminuir la interferencia de células adyacentes.

Aún así, y como ya sabemos, este modelo sufre de algunas imperfecciones y por tanto no es completamente exacto.

Un usuario en el área de servicio del HAPs experimentará interferencia de los usuarios de su propia célula y la de células externas.

El usuario bajo estudio se considera que se halla en el borde de la célula, por lo que para remediar el tan conocido problema de “cerca-lejos” se le asigna una potencia que resulta ser el doble de la normal en este tipo de estudio, para luchar contra la interferencia que experimenta.

La disposición de las diferentes celdas se puede modelar como sigue:

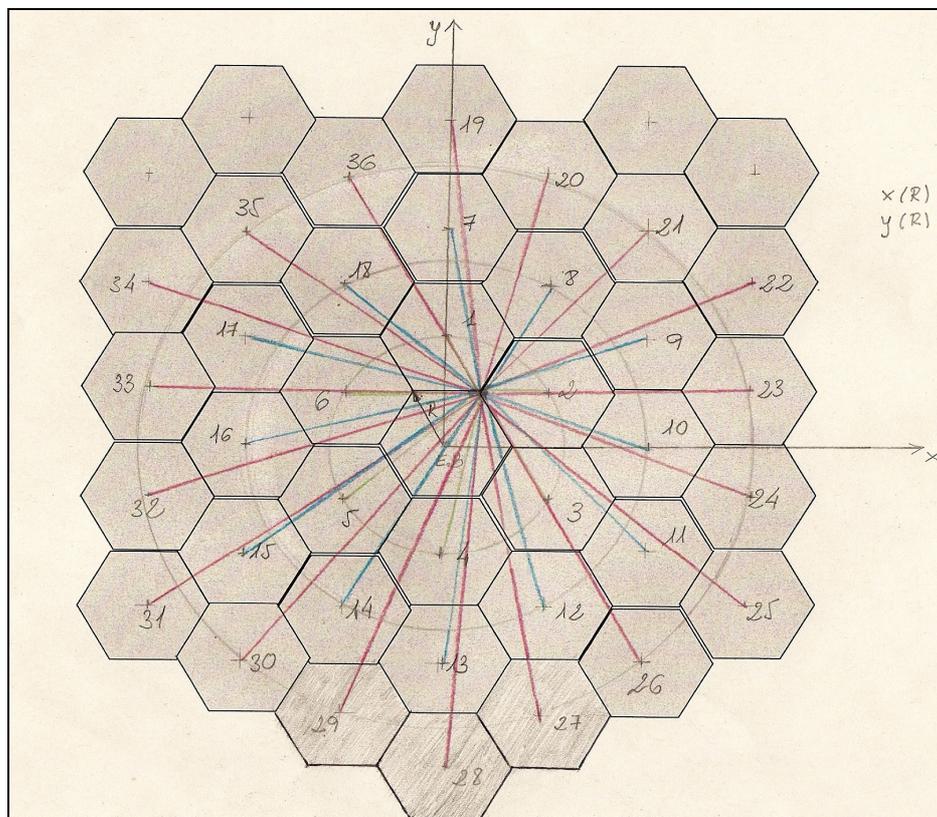


Figura 2.22. Disposición de células adyacentes

### 2.7.2.1 Capacidad del Enlace Descendente en HAPs

El escenario de estudio para el enlace descendente que describe la geometría de estudio necesario es el que se presenta a continuación.

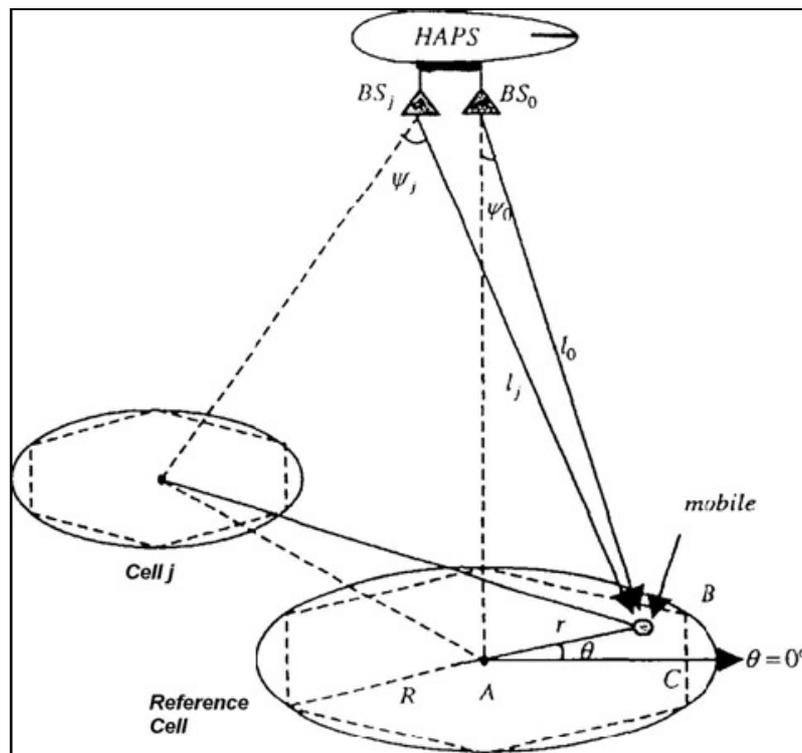


Figura 2.23 Disposición general entre HAPs y usuarios en DL

Establecemos como  $BS_j = (j = 0, \dots, J)$  la estación base que sirve la célula  $j$ -th como muestra la figura superior. La señal que se propaga del móvil a ambas estaciones base ( $BS_j$  y  $BS_0$ ) atraviesa prácticamente el mismo camino y por tanto está sujeta al mismo desvanecimiento por sombra. Esto es debido a que las dimensiones del array de antenas son insignificantes con respecto a la altura del HAPs. Por esto, podemos ignorar las diferencias de distancia y de desvanecimiento de sombra desde el punto de vista de un usuario interferente.

La ganancia de la antena del HAPs para el usuario bajo estudio viene determinada por el ángulo que forma ésta con el mismo y el centro de la celda. Sin embargo, como se observa en la gráfica, para la interferencia extracelular, en cada valor de  $R$ , hemos de considerar el ángulo que forma la antena que sirve a la celda adyacente a efectos de calcular la ganancia de la antena transmisora interferente, es decir, el ángulo  $\psi_j$  de la figura inmediatamente superior.

Para un móvil localizado en  $(r, q)$  la célula de referencia servida por  $BS_0$ , el cociente portadora-interferencia (C/I) viene dado por

$$\frac{C}{I} = \frac{S_{recibida}}{I_{intracel} + I_{extracel} + P_n} = \frac{P_{usuario} G(\Psi_0) l_0^{-\chi}}{P_T G(\psi_0) l_0^{-\chi} \xi_0 (1 - \phi) + \sum_{j=1}^J P_T G(\psi_j) l_j^{-\chi} \xi_j + P_n} \quad (2.19)$$

En donde:

➤  $P_{usuario}$  es la potencia asignada a un usuario del canal, normalmente es igual a

$$P_{usuario} = \frac{2(80\%P_{tx})}{\alpha N_{usuarios}} \quad (2.20)$$

➤  $l_j$  y  $l_0$  son las pérdidas de propagación básicas correspondientes a la distancia del móvil a  $BS_j$  y  $BS_0$  respectivamente.

➤  $\chi$  es el exponente de pérdida de propagación de espacio libre.

➤ Para el sistema de referencia UMTS un escenario urbano se usa

➤ un exponente  $\chi = 4$ .

➤  $G(\psi_0)$  y  $G(\psi_j)$  son las ganancias de antena normalizadas evaluadas en los ángulos bajo los cuales el móvil es visto desde los ángulos de borde de la antena de  $BS_0$  y  $BS_j$  respectivamente.

➤  $\alpha$  es el factor de actividad de voz/datos.

➤  $\phi$  es el factor de ortogonalidad.

➤ J es el número de células que contribuyen a la int. intercelular.

No se ha considerado la interferencia debida al resto de HAPs, debido a que la gran distancia de cobertura que éste tiene hace que aquélla sea despreciable.

Debido a la geometría única de HAPs, los haces transmitidos a todas las estaciones bases esencialmente originadas desde el mismo punto, de forma que  $l_j \approx l_0$  y  $\zeta_j \approx \zeta_0$ . Es decir, existe correlación casi total.

Por tanto, ahora el cociente C/I está dado por:

$$\frac{C}{I} = \frac{P_{ch} P_t(r) / \alpha}{P_T \gamma(r, \theta)} \quad (2.21)$$

$$\text{En donde } \gamma(r, \theta) = \frac{(1 - \phi) G(\psi_0) + \sum_{j=1}^J G(\psi_j)}{G(\psi_0)} \quad (2.22)$$

Sustituyendo por  $P_T$  obtenemos

$$\frac{C}{I} \approx \frac{P_{ch} P_t(r) / \alpha}{2N(R) P_R f_P \gamma(r, \theta)} = \frac{P_{ch} P_R f(r) / \alpha}{2N(R) P_R f_P \gamma(r, \theta)} \approx \frac{P_{ch} f(r) / \alpha}{2N(R) P_R f_P \gamma(r, \theta)} \quad (2.23)$$

Donde  $N(R)$  es el perfil de capacidad de usuario en el enlace descendente.

Así pues, el cociente ( $E_b/N_0$ ) está dado por

$$\frac{E_b}{N_0} = G_p \left[ \frac{C}{I} \right] = \frac{S/R}{I_{INTRA}/W + I_{INTER}/W + P_n} \quad (2.24)$$



Escuela  
Politécnica  
Superior

Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas  
W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

En donde

- $G_p$  es la ganancia del proceso que se trate, voz o datos respect.

Y, finalmente, la capacidad en el enlace descendente por:

$$C_{down} = \min[N(r)] \quad (2.25)$$

## 2.7.2.2 Resultados de Simulación

### 2.7.2.2.1 “Voz”

De forma general, se consideran las siguientes fórmulas:

$$R = [1000 - 2000] m \quad (2.26) \quad P_{canal} = 2(P_{trans} - P_{piloto}) / (N\alpha) \quad (2.27)$$

$$P_{canal\_rec} = P_{canal} G_{tx} G_{rx} / L \quad (2.28) \quad I_{int ra} = (P_{tx} - P_{canal}) G_{tx} G_{rx} \phi / L \quad (2.29)$$

$$I = I_{int ra} + I_{extraTotal}(R) + P_n \quad (2.30) \quad P_n = -114 + 10 \log_{10}(BW) + NF \quad (2.31)$$

De forma separada, se irán particularizando los datos de entrada para cada caso particular, y son los que se describen a continuación:

#### \*CASO GENERAL:

A las pérdidas de propagación hay que añadir una pérdida extra debido al desvanecimiento por sombra:

➤  $L_b = 10dB$  en zonas urbanas;  $L_b = 5dB$  en zonas rurales.

➤  $\phi = 0.5$  Zona urbana;  $\phi = 0.1$  Zona rural.

\* Altura de HAPs de 18 Km.

\* Factor de utilización de voz “ $\alpha$ ” de 0.66.

\* Frecuencia de funcionamiento de 2.14 GHz.

\* Ancho de banda de 5 MHz.

\* Ganancia del proceso  $G_p = 256$ .

\* Factor de ruido NF de 5 dB.

\*  $E_b / N_0 = 6$  dB.

\* Potencia de transmisión de 1000 mW.

En base a estos datos, la gráfica obtenida ha sido la siguiente:

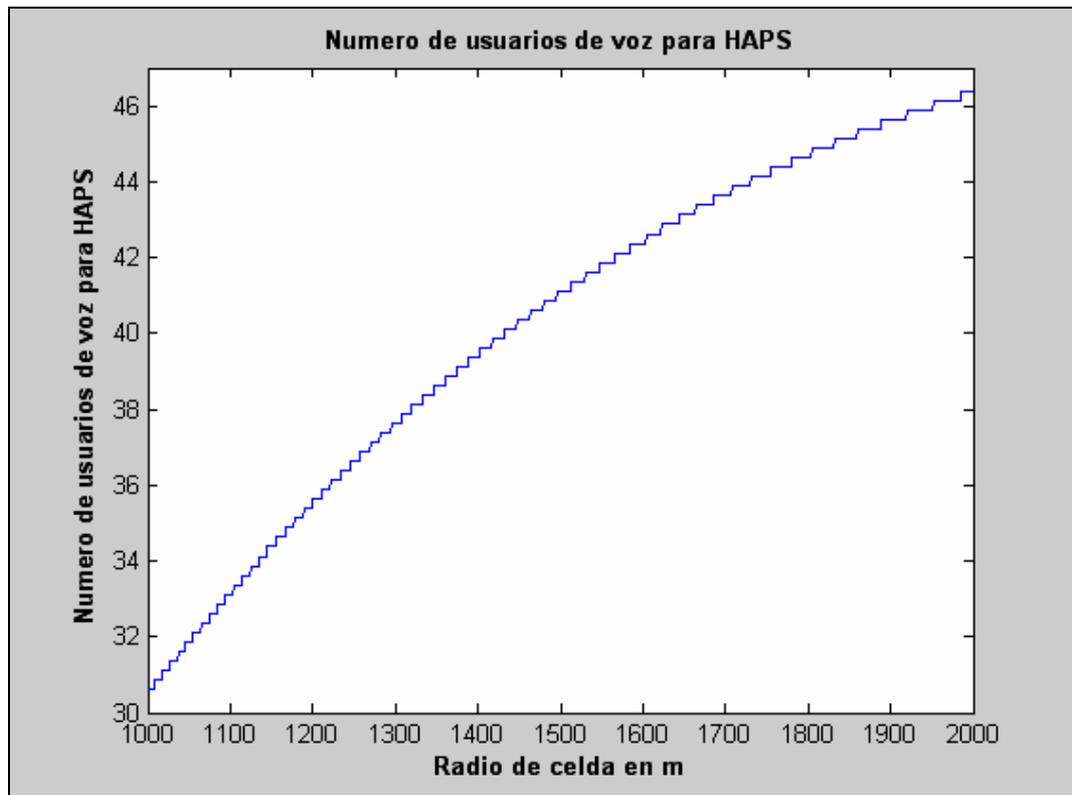


Figura 2.24. Número de usuarios de voz para HAPS en DL

Como se aprecia, la capacidad se sitúa en:

- **30,6 usuarios/celda para un R=1 Km.**
- **41,1 usuarios/celda para un R=1,5 Km.**
- **46,4 usuarios/celda para un R=2 Km.**

La capacidad crece exponencialmente conforme se incrementa el radio de la celda. Esto puede resultar paradójico, ya que en realidad las pérdidas son mayores para radios cada vez mayores. La clave se halla en el diseño de la antena del HAPS, como hemos comentado en el apartado correspondiente.

\*CASO 1:

Para este caso se han elegido distintas alturas para la estación de HAPs: 18, 19, 20, 21 y 22 Km.

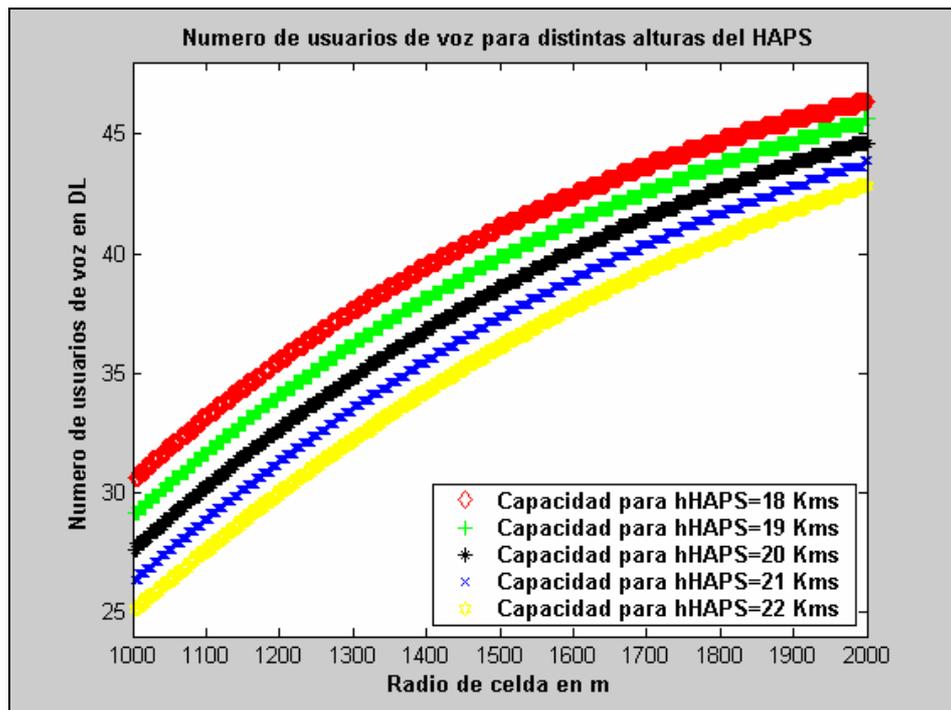


Figura 2.25. Número de usuarios de voz para distintas alturas de HAPs en DL

En este caso se refleja una variación en la capacidad de usuarios de voz, ya que conforme se incrementa la altura del HAPs la capacidad disminuye, y la tónica en su comportamiento es la misma en todo el tramo de radios considerado.

La capacidad se resume en las siguientes tablas:

Hhaps (km)	R(km)	Usuarios/celda	Hhaps (km)	R(km)	Usuarios/celda
18	1	30,6	18	1,5	41,1
19	1	29,1	19	1,5	39,8
20	1	27,5	20	1,5	38,6
21	1	26,3	21	1,5	37,4
22	1	25,1	22	1,5	36,1

Hhaps (km)	R(km)	Usuarios/celda
18	2	46,4
19	2	45,6
20	2	44,6
21	2	43,8
22	2	42,8

Tabla 2.5. Usuarios de usuarios de voz para distintas alturas de HAPs en DL.

\*CASO 2:

Se han elegido dos entornos de simulación:

- *Rural*, caracterizado por un desvanecimiento por sombra inferior al urbano que se modela con una pérdida de 5 dB y un factor multirayecto de 0.1.
- *Urbano*, con una pérdida de 10 dB y un factor de 0.5, escenario por tanto en peores condiciones que el anterior.

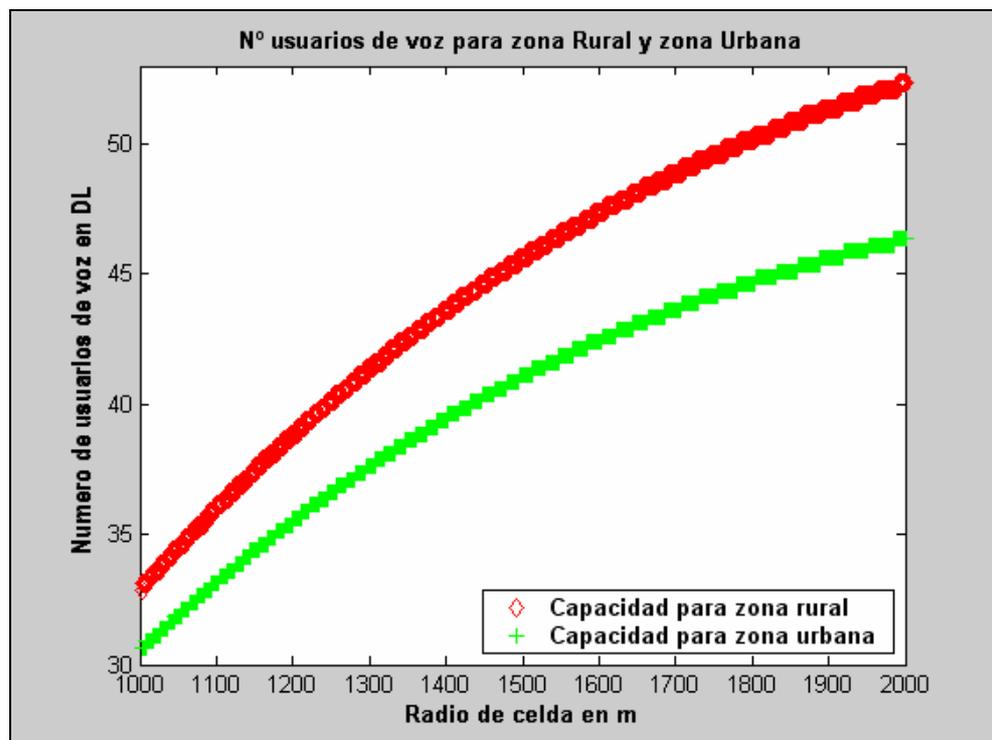


Figura 2.26. Número de usuarios de voz en distintos entornos para HAPs en DL

El escenario de simulación influye sobremanera en nuestro estudio de capacidad. Como se observa, la mayor diferencia se produce en un radio de 2 Km.

Esta diferencia estriba en que las hipótesis de simulación son distintas: en el caso rural las condiciones de desvanecimiento son mayores, por existir mayor número de obstáculos que en el caso rural, y por ende el factor multitrayecto también es mayor que en éste último caso.

La capacidad queda como sigue:

➤ **Entorno Urbano:**

- Para un **R=1 Km. 30,6 usuarios/celda.**
- Para un **R=1.5 Km. 41,0 usuarios/celda.**
- Para un **R=2 Km. 46,4 usuarios/celda.**

➤ **Entorno Rural:**

- Para un **R=1 Km. 32,9 usuarios/celda.**
- Para un **R=1.5 Km. 45,6 usuarios/celda.**
- Para un **R=2 Km. 52,4 usuarios/celda.**

\*CASO 3:

Se han elegido distintas potencias para el HAPs, que resultan ser 10, 100 y 1.000 mW respectivamente.

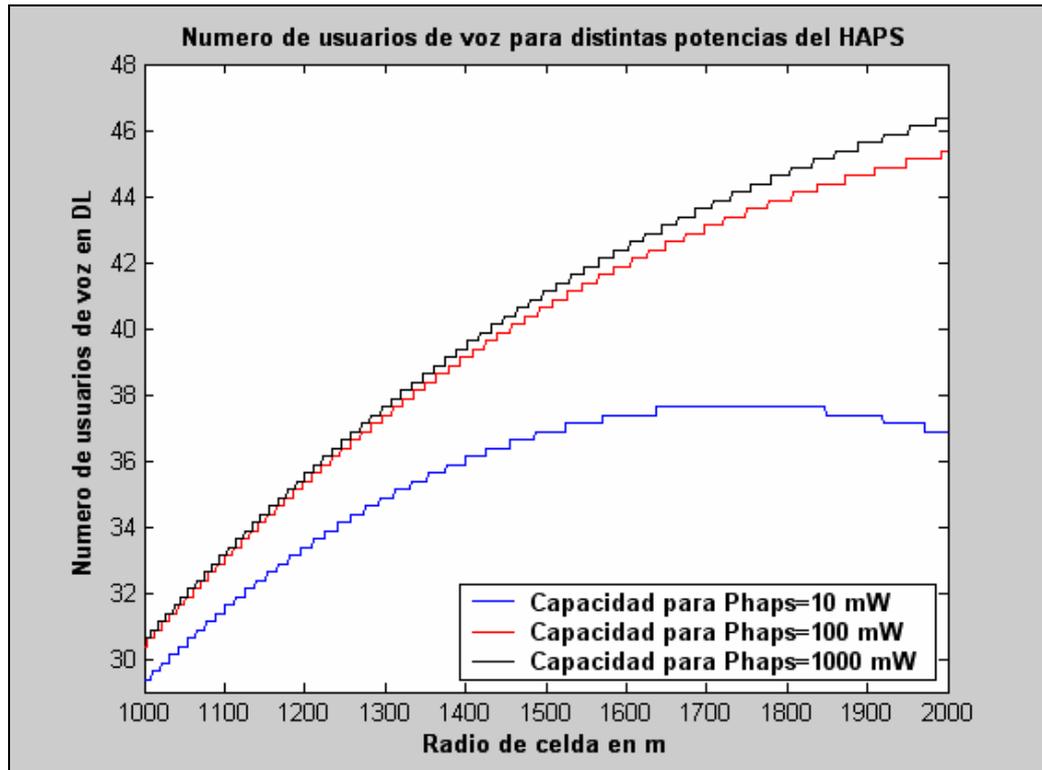


Figura 2.27. N° de usuarios de voz para distintas potencias de HAPs en DL

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos para las distintas potencias de emisión por celda.

Potencia(mW)	R(km)	Usuarios/celda	Potencia(mW)	R(km)	Usuarios/celda
10	1	29,4	10	1,5	36,8
100	1	30,4	100	1,5	40,6
1000	1	30,6	1000	1,5	41

Potencia(mW)	R(km)	Usuarios/celda
10	2	36,8
100	2	45,4
1000	2	46,4

Tabla 2.6. Número de usuarios de voz para distintas potencias de HAPs en DL



Escuela  
Politécnica  
Superior

Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas  
W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

Como se puede apreciar, una potencia de 10 mW no es suficiente pues la capacidad se ve visiblemente reducida, debido a que predomina el efecto de la pérdida de propagación.

En cambio, la diferencia de capacidad que existe entre emplear una potencia de 100 y 1000 mW no es apreciable.

Por tanto, se concluye que lo más factible es utilizar una potencia de 100 mW por celda.

\*CASO 4:

Se han elegido distintos factores de ruido para el HAPs, que resultan ser 6, 7 y 8 dB.

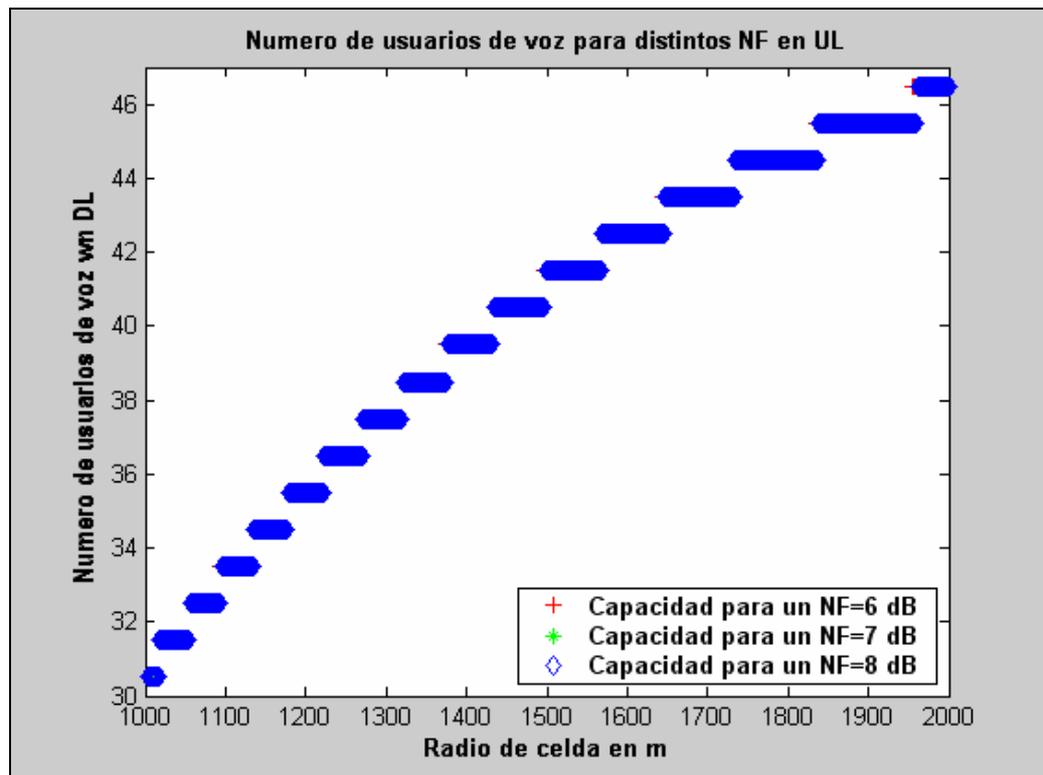


Figura 2.28. N° usuarios de voz para distintos factores de ruido para HAPs en DL

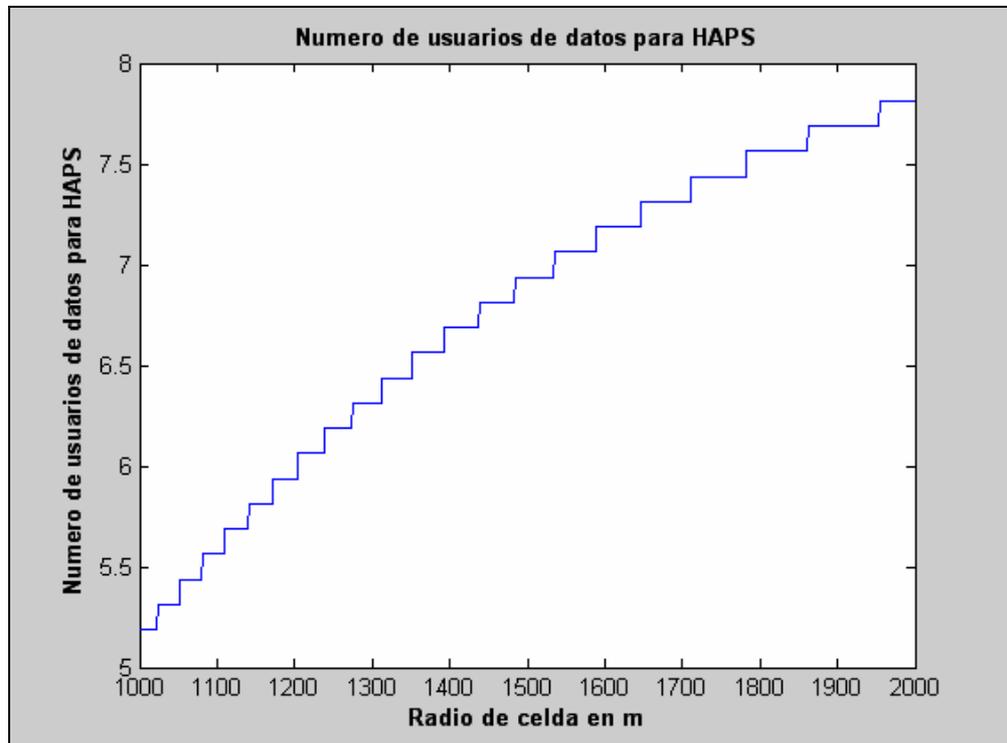
Aunque a simple vista no sea plenamente apreciable, al ampliar la gráfica se observa que para los distintos factores de ruido no se produce variación de ningún tipo. Es decir, la potencia de ruido no afecta a nuestro cálculo de capacidad ni mejora en sentido alguno el cómputo de la sensibilidad en el orden de magnitud que estamos estudiando.

### 2.7.2.2.2 “Datos”

Las consideraciones generales son análogas a las del caso de voz, con las siguientes excepciones:

- Factor de utilización de datos “ $\alpha$ ” de 1.
- Ganancia del proceso  $G_p=32$ .
- $E_b / N_0 = 3$  dB.

En base a estos datos, la gráfica general obtenida ha sido la siguiente:



*Figura 2.29. Número de usuarios de datos para HAPs en DL*

A diferencia del caso de voz, la capacidad total se ha reducido en aproximadamente un tercio respecto a aquella. La capacidad final es de:

- **Para R=1 Km., 5,2 usuarios/celda.**
- **Para R=1,5 Km., 6,9 usuarios/celda.**
- **Para R=2 Km., 7,8 usuarios/celda.**

\*CASO 1:

Para este caso se han elegido distintas alturas para la estación de HAPs: 18, 19, 20, 21 y 22 km.

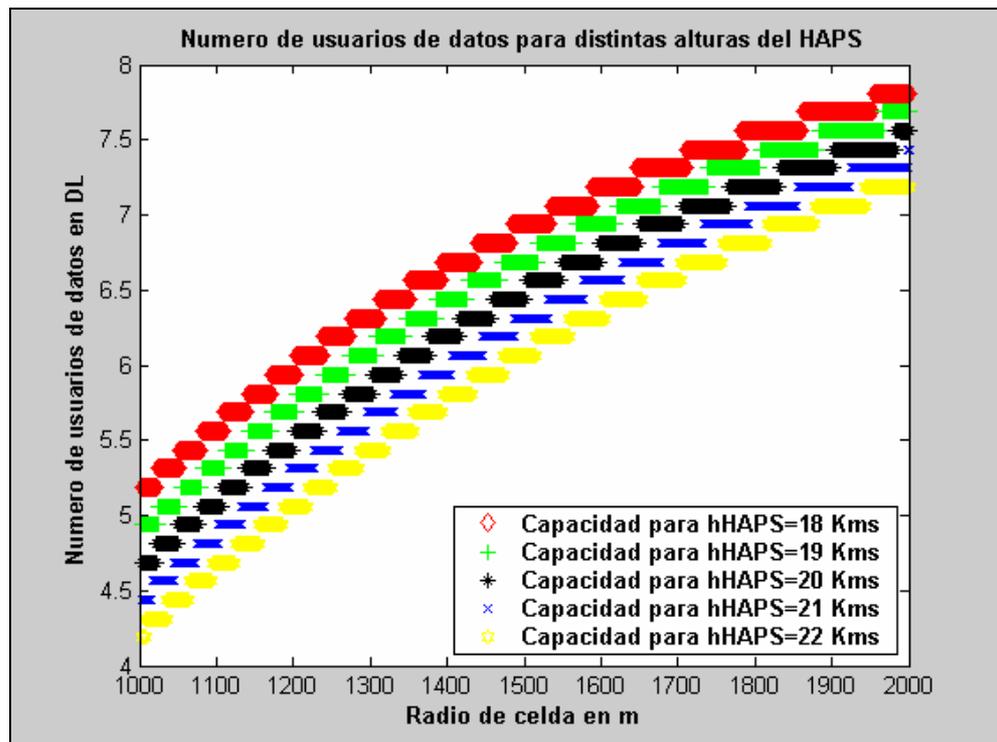


Figura 2.30. N° de usuarios de datos para distintas alturas de HAPs en DL

La capacidad se incrementa conforme disminuye la altura del HAPs.

La capacidad global resulta ser:

Hhaps (km)	R(km)	Usuarios/celda	Hhaps (km)	R(km)	Usuarios/celda
18	1	5,2	18	1,5	7
19	1	4,9	19	1,5	6,7
20	1	4,7	20	1,5	6,5
21	1	4,4	21	1,5	6,4
22	1	4,2	22	1,5	6

Hhaps (km)	R(km)	Usuarios/celda
18	2	7,8
19	2	7,7
20	2	7,6
21	2	7,4
22	2	7,2

Tabla 2.7. Número de usuarios de datos para distintas alturas de HAPs en DL

\*CASO 2:

Se han elegido los mismos entornos de simulación que en el caso de voz.

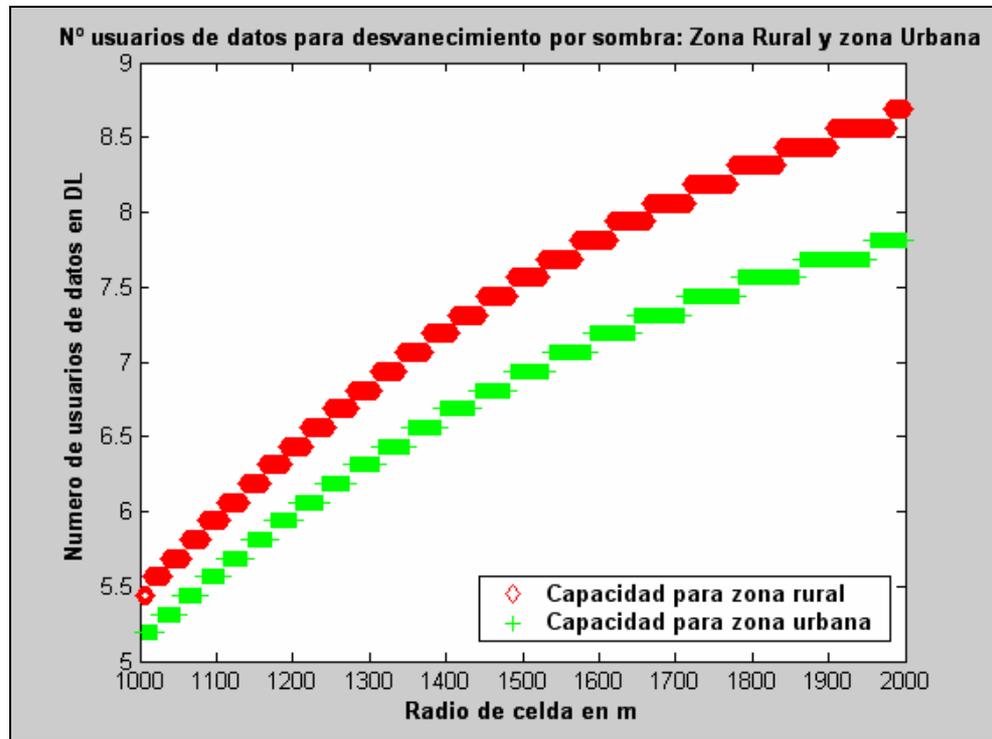


Figura 2.31. Número de usuarios de datos en distintos entornos para HAPs en DL

- Para  $R=1$  Km., 5,2 usuarios/celda para una zona urbana, y 5,5 usuarios/celda en entorno rural.
- Para  $R=1,5$  Km., 6,9 usuarios/celda en zona urbana y 7,5 usuarios/celda en zona rural.
- Para  $R=2$  Km., 7,8 usuarios/celda en zona urbana y 8,7 usuarios/celda en zona rural.

\*CASO 3:

Se han elegido las mismas potencias para el HAPs que en el caso de voz.

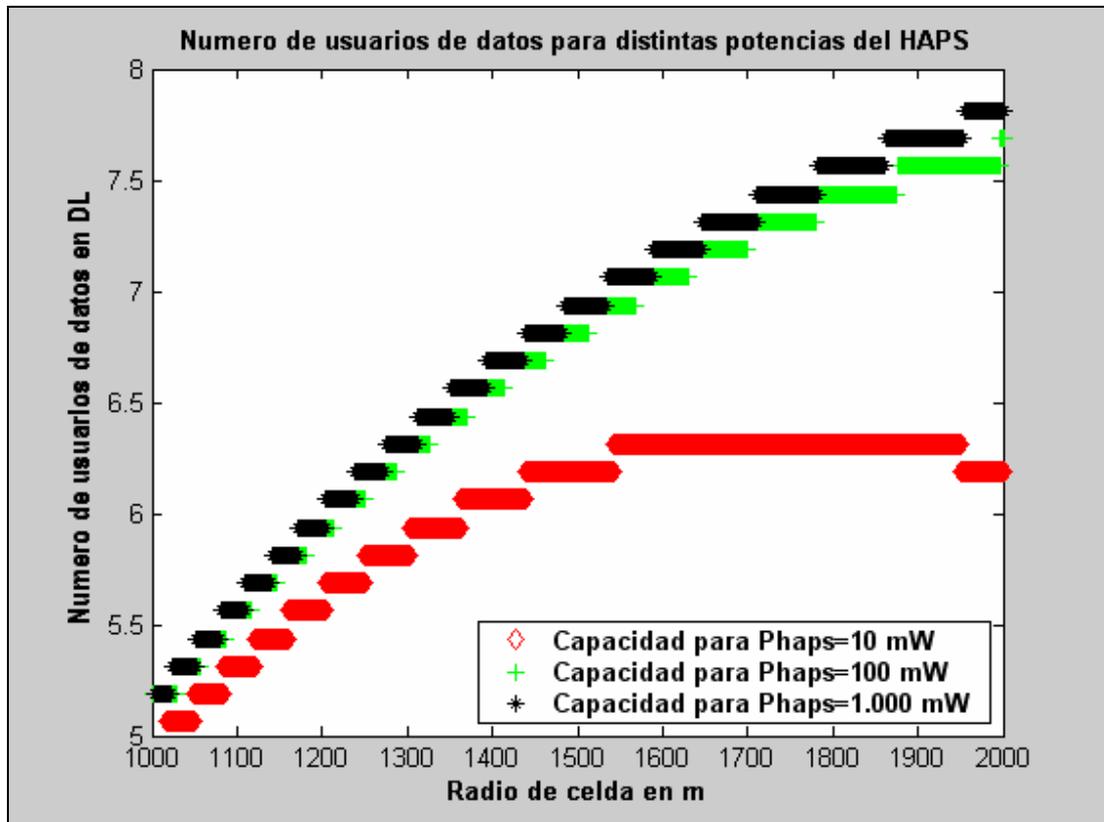


Figura 2.32. N° de usuarios de datos para distintas potencias de HAPs en DL

Se observan los siguientes resultados:

Potencia(mW)	R(km)	Usuarios/celda	Potencia(mW)	R(km)	Usuarios/celda
10	1	5	10	1,5	6,2
100	1	5,1	100	1,5	6,8
1000	1	5,2	1000	1,5	6,9

Potencia(mW)	R(km)	Usuarios/celda
10	2	6,2
100	2	7,7
1000	2	7,8

Tabla 2.8. N° de usuarios de datos para distintas potencias de HAPs en DL

Las conclusiones extraídas para el caso de voz son de igual aplicación ahora en datos.

\*CASO 4:

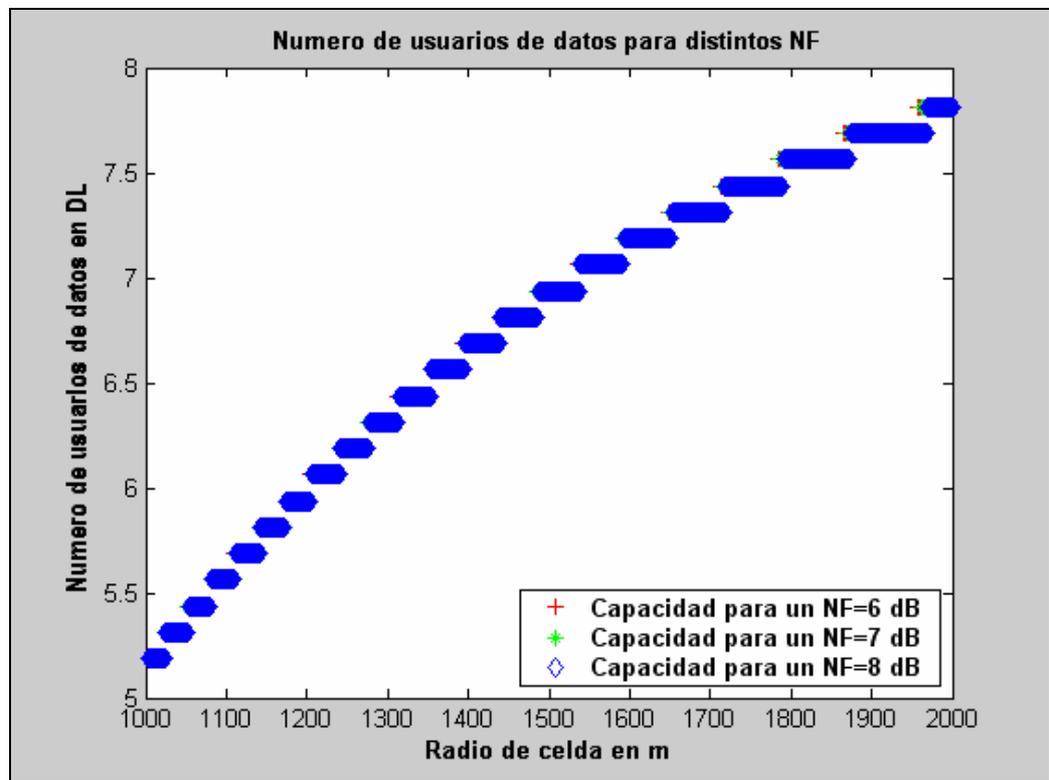
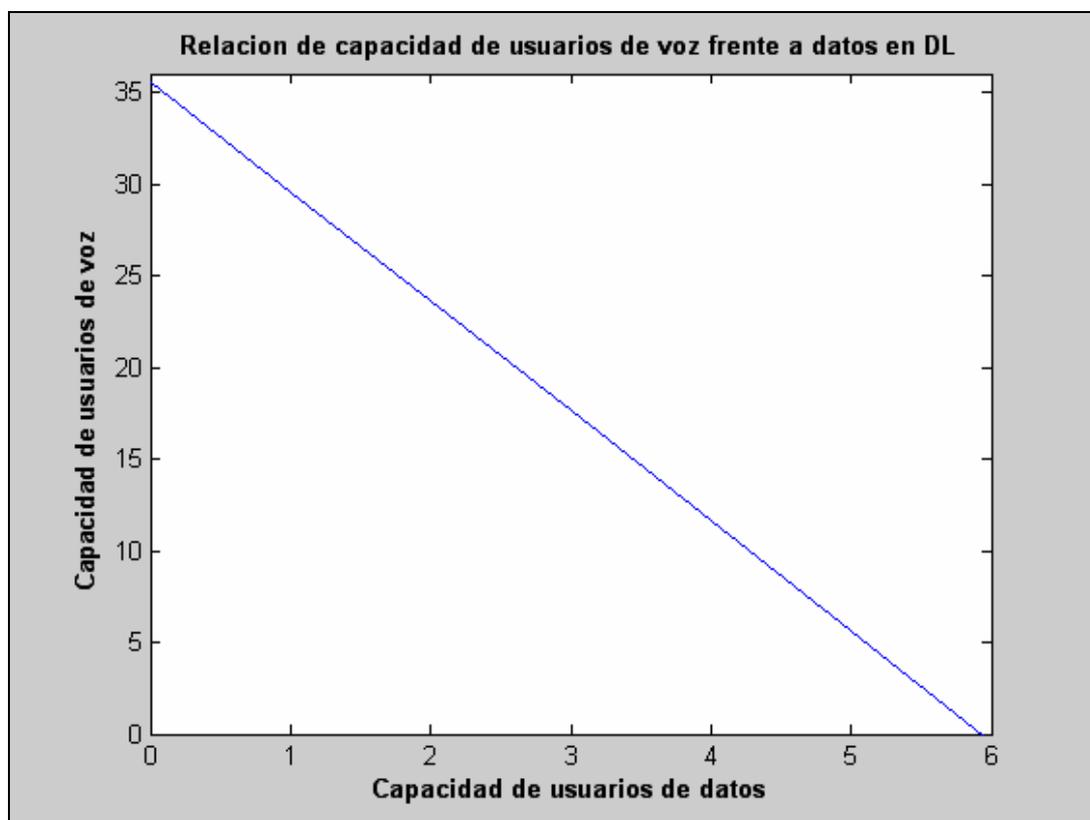


Figura 2.33. N° de usuarios de datos para distintos factores de ruido HAPs en DL

Los resultados que arroja la gráfica son idénticos a los del caso general. El factor de ruido no tiene influencia alguna sobre la capacidad total que estudiamos.

### 2.7.2.2.3 Relación entre la Capacidad de Voz y Datos

Se plasma una gráfica que describe la **relación existente entre la capacidad de voz y la de datos**. Este estudio se centra únicamente en un valor de R, concretamente 1.200 m.



*Figura 2.34. Gráfica ilustrativa de la relación capacidad datos-voz para HAPs en DL*

En esta gráfica se ilustra la relación entre capacidad de voz frente a la de datos.

La capacidad máxima por celda se sitúa en:

- **35,50 usuarios de voz por celda.**
- **5,95 usuarios de datos por celda.**



Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas  
W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

# ***CAPÍTULO 3: “SISTEMAS TRIDIMENSIONALES CELULARES EN AIRE-TIERRA”***

## **3.1 Introducción**

El sistema de control de tráfico aéreo es una de las aplicaciones más importantes de las comunicaciones radio aire-tierra que se producen entre estaciones base en tierra y aviones. A través de ellas, se establece un control entre el piloto del avión y las estaciones en tierra.

Estos servicios están implementados actualmente en una gran diversidad de sitios del mundo. Comenzó en los EEUU a principio de los 80, y el propósito inicial fue proporcionar servicios de comunicación de voz para los viajeros del avión durante el tiempo que durara el vuelo. La comunicación se establecía mediante estaciones base estratégicamente distribuidas a través de toda la zona de cobertura estimada por el proveedor de servicio. Cuando el avión sobrevolaba océanos, la comunicación se establecía vía satélite. Este servicio estaba limitado a llamadas originadas en el avión, pues los pasajeros no podían recibir llamadas desde tierra.

En la actualidad, se proponen diversos sistemas de comunicaciones para hacer efectiva, de mayor calidad y prestaciones para tal fin.

Entre ellos, están los que son objeto de nuestro estudio a continuación.

### 3.1 Aspectos de Capacidad

La *capacidad* en la interfaz aérea de una de una celda CDMA no sólo está predeterminada por la cantidad de espectro disponible, debido a lo cual no puede ser precisada con exactitud.

Esto es, la capacidad es dependiente de:

- El comportamiento de los usuarios.
- El instante en el que se produzca la comunicación.
- El ambiente en el que se desenvuelvan y también de la interferencia con su propia red y la red espectral adyacente.
- El número máximo disponible de códigos y de los recursos hardware.

Cuando el número de usuarios incrementa, la interferencia se incrementa, mientras que las potencias de transmisión de los usuarios y de las estaciones bases tienen que incrementarse, para alcanzar el funcionamiento requerido.

El cambio en la cobertura de la célula debido a la carga de la celda es comúnmente llamada “respiración celular”. Cuando la carga de la célula y por tanto la interferencia aumentan, el área de cobertura se ve menguada, debido a que deben incrementar su potencia.

A fin de conseguir la cobertura deseada para un nivel de servicio dado, las áreas de cobertura tienen que ser planificadas asumiendo la máxima carga del sistema, para así evitar zonas con huecos de cobertura debidos a la respiración celular. Esto es, en la fase de planificación de la cobertura, la carga posible (número de usuarios) tiene que ser tenida en cuenta.

Para los enlaces ascendente y descendente la interferencia existente entre los usuarios varía dependiendo del tiempo. Algunas fuentes de interferencia pueden ser casi invariantes en el tiempo, mientras que otras pueden ser aleatorias. Esto incluye variaciones fuertes y débiles de la señal recibida. Estas fluctuaciones ocurren especialmente con la transmisión de paquetes

a altas tasas binarias, donde el emisor envía paquetes de pequeñas dimensiones empleando una potencia relativamente alta.

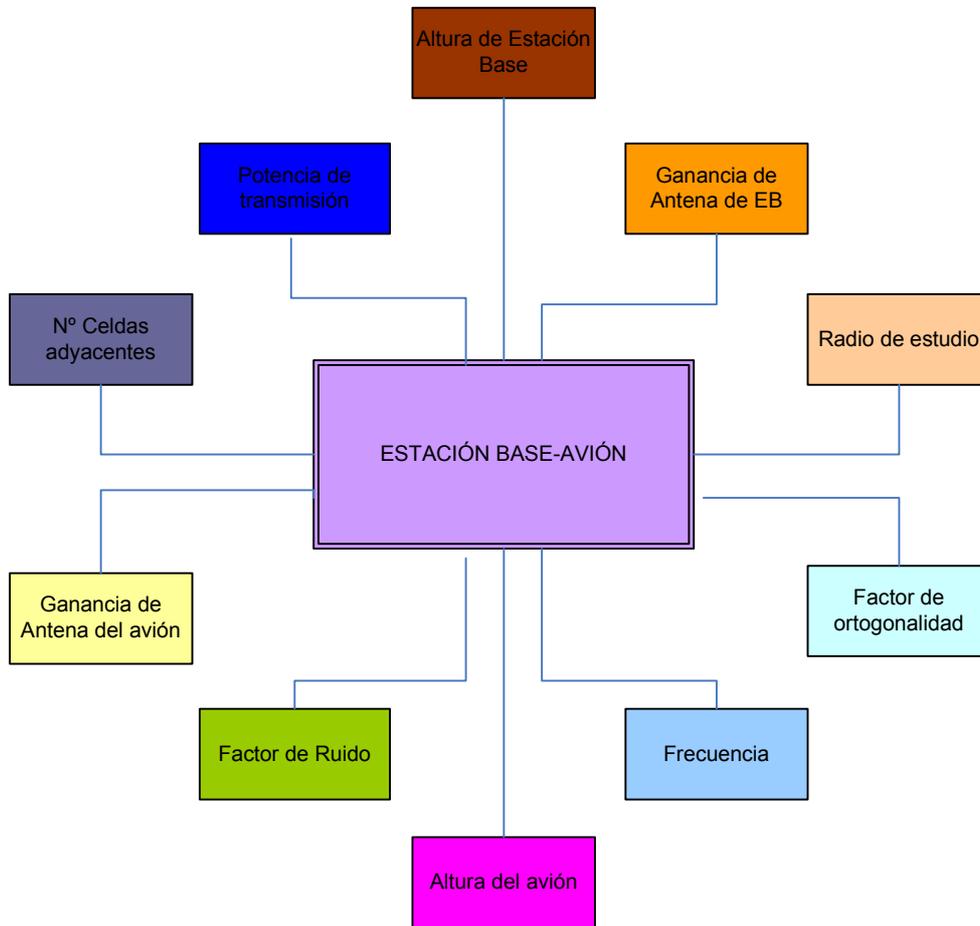
Las fuentes de interferencia pueden ser clasificadas como sigue:

- *Interferencia entre símbolos (IES)*, debida al solapamiento entre símbolos en una misma comunicación debida a la propagación multitrayecto.
- *Interferencia intracelular*, debida al resto de usuarios inherentes a la propia célula dentro de la cual se halla el avión.
- *Interferencia extracelular*, debida a los usuarios que existen en células vecinas.
- Potencia de salida de las portadoras adyacentes en el mismo sistema.
- *Interferencia debida a otros sistemas*, como por ejemplo, GS, WCDMA, TDD, CDMA2000, etc.
- *Interferencia de otras fuentes no controlables*, como por ejemplo el tráfico, las transmisiones ilegales, los sistemas de radar, los dispositivos electrónicos, etc.

Todas estas interferencias decrementan el funcionamiento del sistema (cobertura y capacidad) y deben ser minimizadas cuando sea posible, para así incrementar la eficiencia espectral de la red.

La IES y la interferencia intracelular pueden ser minimizadas con determinados algoritmos en el receptor. Las extracelulares, por ejemplo, mediante una selecta planificación, selecciones de antena, parámetros de optimización cuando se realiza el traspaso de la comunicación, y con una correcta selección de frecuencia.

En general, los factores que pueden alterar la capacidad del sistema se plasman en el diagrama que se adjunta a continuación:



*Figura 3.1. Diagrama retrospectivo de factores potenciales que influyen en la capacidad EB-Avión y viceversa.*

## 3.2 Modelos de Propagación

El cálculo de la pérdida de propagación se basa en un modelo de simulación real, que proporciona diferentes resultados para situaciones de L.O.S y N.L.O.S.

Para el modo de propagación **L.O.S**, se asume un *modelo de propagación en el espacio libre*. Esto implica que la antena no radia hacia la Tierra o su radiación hacia la Tierra es muy pequeña en comparación con la ganancia del lóbulo principal. Esta pérdida se puede enunciar como sigue:

$$L_p (dB) = 92.45 + 20 \log_{10} (f)_{GHz} + 20 \log_{10} (d)_{Km} \quad (3.1)$$

Para el modo **NLOS**, se asume que la pérdida es infinita. Si se asume que la pérdida de propagación viene dada por la pérdida en espacio libre y la pérdida por difracción de Tierra plana, entonces para el DL, el salto de capacidad de la célula desaparecerá y su pendiente será más suave.

$$L_p (dB) \approx \infty \quad (3.2)$$

### 3.3 Planteamiento General del Sistema

El objetivo de esta sección es el estudio de la capacidad de los sistemas celulares W-CDMA en los sistemas de aire-tierra.

El sistema en cuestión es el que se representa a continuación:

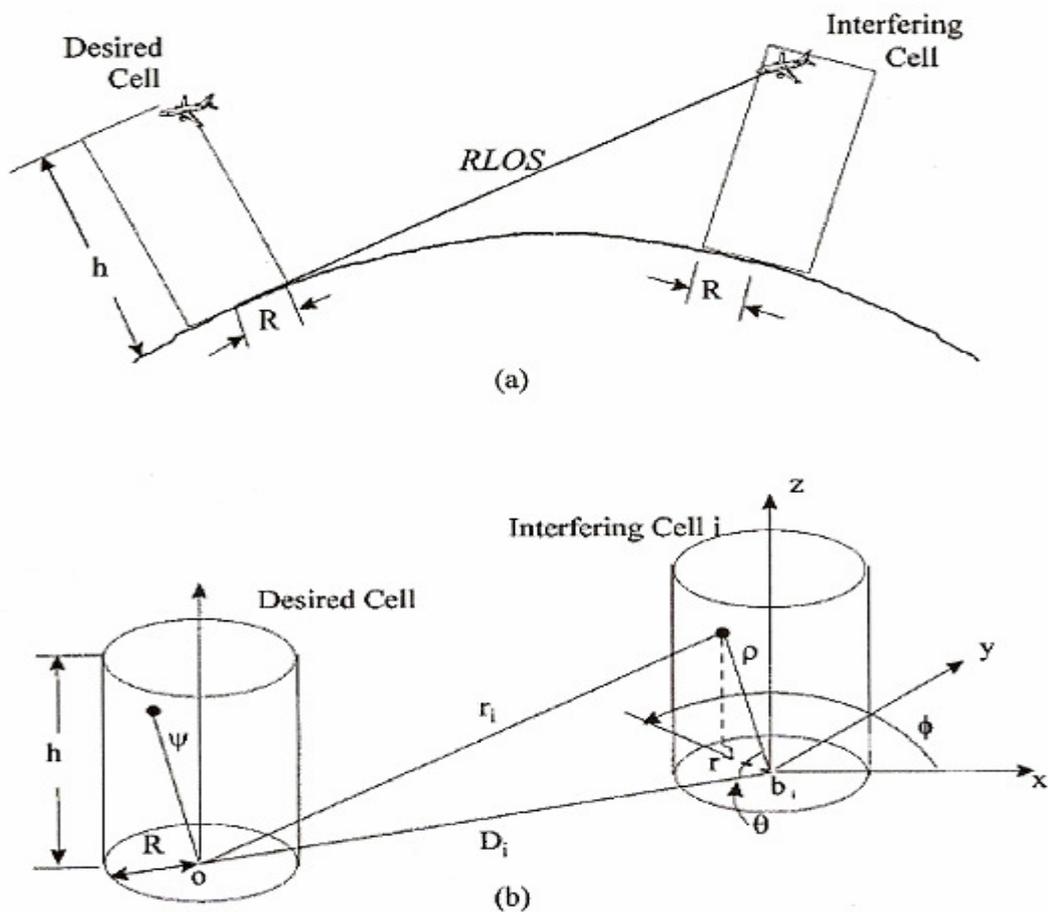


Figura 3.2. Esquema del sistema Aire-Tierra. A) Vista transversal. B) Vista en 3D

La capacidad se representa como una función del radio de la célula.

Como se observa, las estaciones bases son estructuras en tierra fijas distribuidas según un diagrama celular hexagonal sobre la superficie de la tierra, con una altura de antena de 20

m, y los usuarios son en este caso, aviones que sobrevuelan a una altitud que oscila entre 1 y 13,5 Km., según el caso.

El convenio que se adopta es el siguiente: en comunicaciones móviles, se llama usualmente enlace ascendente al que se produce en sentido móvil-estación base, y el caso recíproco se produce con el enlace descendente. Adoptaremos este convenio, a pesar de que ahora el avión se encuentra a mayor altitud que la estación base, y su altura supera a la de la estación base, como muestra la figura:

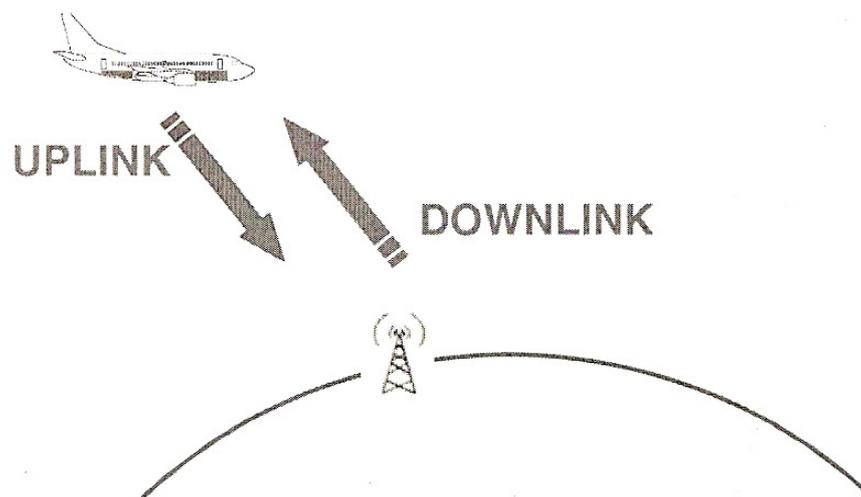


Figura 3.3. Convenio adoptado para los DL (forward) y UL (reverse)

En este estudio nos centraremos tanto en la capacidad del enlace ascendente como la del descendente, diferenciando dos posibles casos:

A) Cuando el avión se halla en vuelo: **ENR** (*EN Route*). En este escenario, los sectores se consideran volúmenes cilíndricos con secciones de caras hexagonales, extensión de la cobertura terrestre clásica celular, constituyendo por tanto un *sistema multicelular*, como se puede apreciar en la figura correspondiente.

Para este caso el avión se encuentra en trayectoria, por lo que el radio R de celda será más amplio que para el caso de TMA, abarcando desde 100 hasta 400 Km. en pasos de 1 Km.

Para este estudio hemos empleado antenas trisectorizadas, a fin de aumentar la capacidad total del sistema. La ganancia de estas antenas se reduce de 3 a 2.4, debido a la interferencia que añaden los lóbulos adyacentes de cada antena.

La velocidad típica de comunicación para datos es de 120 KB/s, mientras que para voz resulta ser de 15 KB/s.

B) Cuando el avión se halla cerca de la pista de aterrizaje, es decir, despegando o aterrizando: **TMA** (*Target Maneuver Area*). Los sectores se consideran volúmenes cónicos, constituyendo por tanto un *sistema unicelular*, a diferencia del anterior.

Para este caso el avión se encuentra o bien despegando, o aterrizando, por lo que el radio R de celda se circunscribe a los primeros 100 Km.

Las consideraciones adicionales que hay que tener en cuenta para este caso son que se trata de una única celda, puesto que el rango de cobertura de ésta abarca los 100 km. de estudio. Debido a esto, no existe interferencia extracelular.

A continuación se plasma lo anterior en la siguiente gráfica:

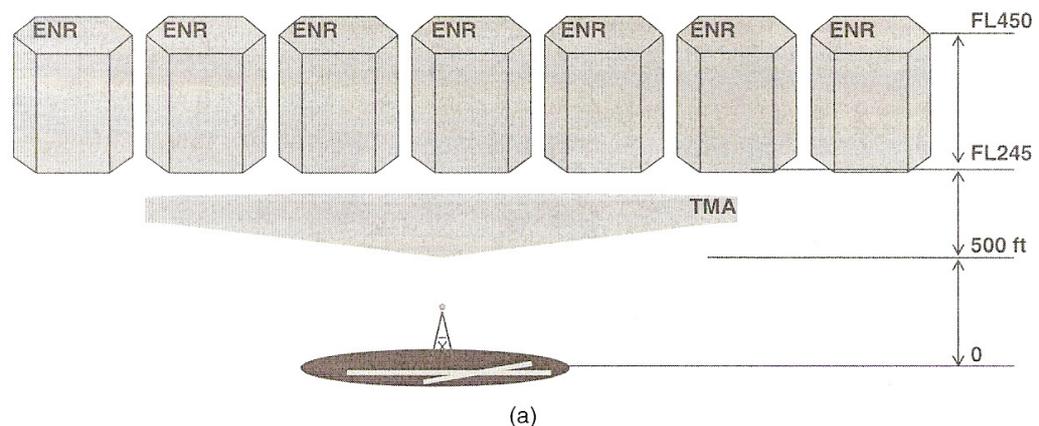


Figura 3.4. Células ENR, TMA y estación base.



Para ambos casos, tanto si el estudio se centra en el enlace ascendente, o bien en el descendente, se realiza una distinción para el caso de usuarios de voz y de datos.

**\*NOTAS IMPORTANTES DE ÍNDOLE GENERAL:**

- Se considera que un usuario es un avión.
- Con carácter general, se considera que los usuarios están uniformemente distribuidos en el espacio aéreo.
- El caso de atenuación por lluvia generalizada o bien en regiones particulares, aisladas o conjuntas, no ha sido considerado en este estudio debido a que este efecto se tiene en cuenta cuando la frecuencia de trabajo es superior a 10 GHz. Como nuestro estudio se centra en frecuencias de 1.5 a 2.5 GHz no nos ha sido necesario implementarlo.
- Asimismo tampoco se estudia el caso de pérdidas por difracción, debidas a obstáculos de gran altitud que interceptan la trayectoria de la comunicación.
- En todos los casos se emplea control de potencia. La potencia piloto resulta ser de un 10% a un 20% de la potencia total de transmisión empleada, dependiendo del radio.

### 3.4 Modelos teóricos de aproximación

El escenario de estudio en el caso general y variantes, será el entorno urbano, excepto cuando haya indicación expresa indicando lo contrario.

#### ***3.4.1 ENLACE ASCENDENTE***

En este tipo de enlace sí es necesario utilizar control de potencia, puesto que si no fuera así, la capacidad sería de tan sólo un usuario por celda. De este modo, la potencia recibida por la estación base es idéntica independientemente de la posición del usuario (avión) en la celda.

Este caso se caracteriza, entre otros factores, por la altura de los usuarios (y también de las células), la interferencia entre células vecinas y la celda bajo estudio y la interferencia intracelular. Sin embargo, sólo interfieren aquellos usuarios que se hallen en LOS con el usuario bajo estudio.

Tanto para este enlace, como para el descendente, habrá que diferenciar los casos de voz y de datos, como se detallan a continuación, precisando para cada caso los términos en los que se establece la comunicación, que variarán de acuerdo al caso que se trate.

### 3.4.1.1 Capacidad del enlace ascendente

El estudio de la capacidad se basa en las siguientes fórmulas:

$$[E_b / N_o]_{uo} = G_p [C/I]_{up} \text{ siendo } G_p = G_{antena\_trisectorizada} \quad (3.3)$$

La relación  $C/I$  viene determinada por:

$$[C/I]_{up} = \frac{P_{recibida}}{I_{int ra} + I_{extra} + P_n} \quad (3.4)$$

En donde

$$\text{➤ } P_{rec} = P_{avion} + G_{EB} + G_{avion} + L(R) \quad (3.5)$$

$$\text{➤ } L(R) = 92.45 + 20 \log(f_{GHz}) + 20 \log(R_{Km}) \quad (3.6)$$

$$\text{➤ } I_{int ra} = \alpha \cdot N \cdot P_{recibida} \quad (3.7)$$

$$\text{➤ } I_{extra} = \alpha \cdot N \cdot k \cdot P_{recibida} \quad (3.8)$$

$$\text{➤ } k = \ln\left(\frac{R_{max}}{R}\right) - \left(\frac{R_{max}^2}{4H}\right) - \left(\frac{R^n}{4H}\right) \quad (3.9)$$

### 3.4.1.2 Resultados de Simulación

A continuación se exponen las gráficas obtenidas de la simulación correspondiente.

#### 3.4.1.2.1 “Voz”

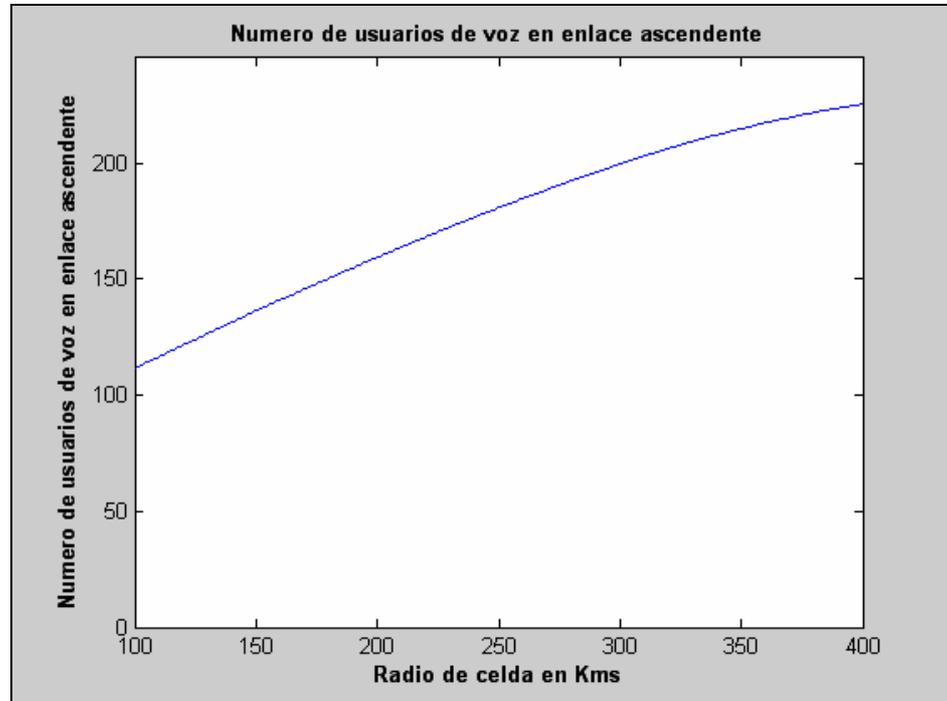
\*CASO GENERAL:

**ENR:**

Los parámetros de consideración general son los que a continuación se relacionan:

- \*Altura de estación base de 20 m, como fue comentado anteriormente.
- \*Altura de avión de 45 Kms.
- \*Factor de utilización de voz “ $\alpha$ ” de 0.66.
- \*Frecuencia de funcionamiento de 1.95 GHz.
- \*Ancho de banda de 5 MHz.
- \*Factor de ortogonalidad de 0.05
- \*Ganancia del proceso  $G_p=256$ .
- \*Ganancia de la antena de estación base de 15 dB.
- \*Ganancia de la antena del avión de 2 dB.
- \*Ganancia de la antena sectorizada= 2,4.
- \*Factor de Ruido NF de 5 dB.
- \*  $E_b/N_0 = 6$  dB.
- \*Potencia de transmisión de 35 dBm.
- \*Potencia de ruido de -100 dBm.

En base a estos datos, las simulaciones obtenidas han sido las siguientes:



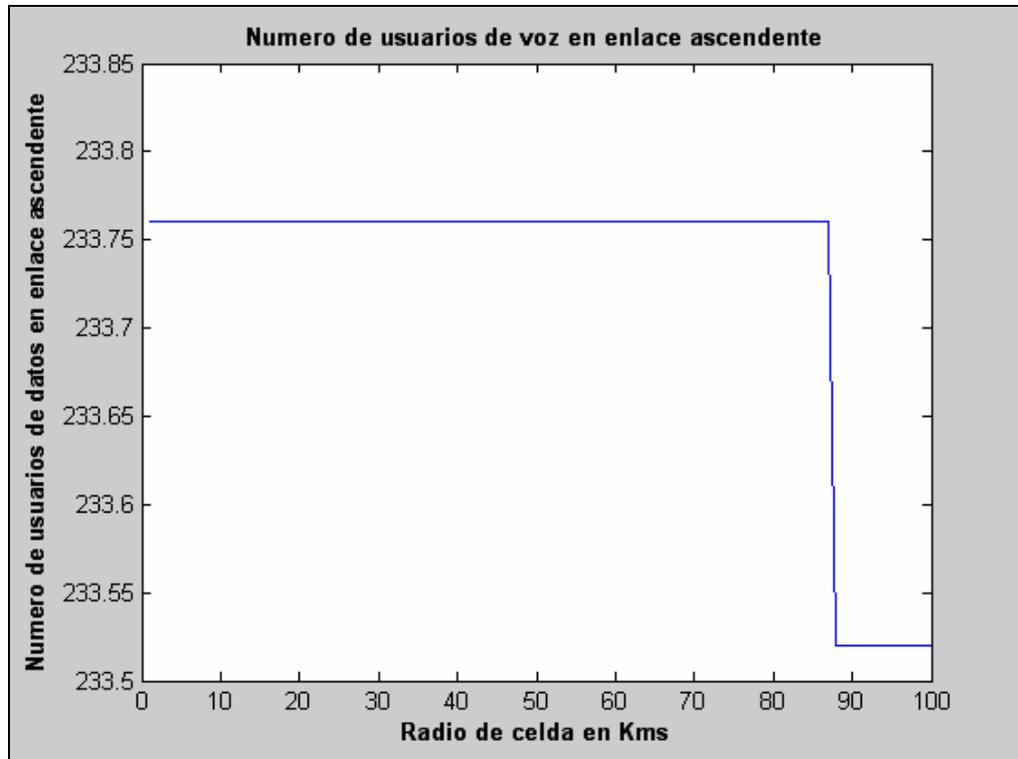
*Figura 3.5. Número de usuarios de voz en ENR en UL*

Como se desprende de la gráfica, la capacidad aumenta conforme incrementa el radio de la celda. Esto es debido a que al incrementarse el radio de la celda se reduce la interferencia debida a células adyacentes.

Así pues obtenemos que la capacidad de usuarios de voz por célula, en estas condiciones, es de:

- Para un radio de celda **R=100 Km. 111 usuarios por celda.**
- Para un **R=250 Km. 180 usuarios por celda.**
- Para un **R=400 Km. 225 usuarios por celda.**

TMA:



*Figura 3.6. Número de usuarios de voz en TMA en UL*

En este caso, el número de usuarios permanece prácticamente constante, hasta un radio de 88 km., en donde experimenta una ligera disminución. Este valor es constante debido a que en TMA la interferencia extracelular no existe, y solamente nos afecta la influencia de comunicaciones de usuarios que estén dentro de nuestra misma célula.

Por tanto, la capacidad resulta ser de:

R(km)	Capacidad
$0 \leq R < 88$	233,75
$88 \leq R < 100$	233,53

*Tabla 3.1. Número de usuarios de voz en TMA en UL*

\*CASO 1:

**ENR:**

Para este caso se han elegido tres diferentes **ganancias de antena de estación base**: 14, 15 y 16 dB.

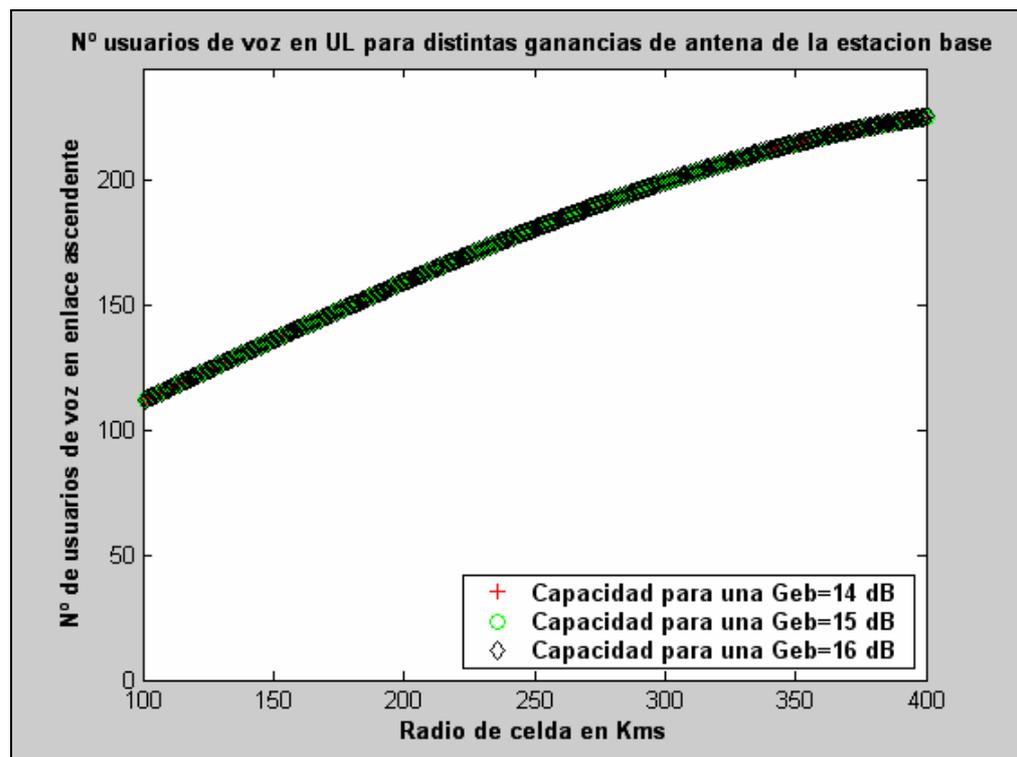


Figura 3.7. N° usuarios voz en ENR para distintas ganancias de EB en UL

Como se observa, la capacidad para distintas ganancias de la estación base no se ve alterada en ningún caso, sino que los resultados numéricos son idénticos a los del caso general.

TMA:

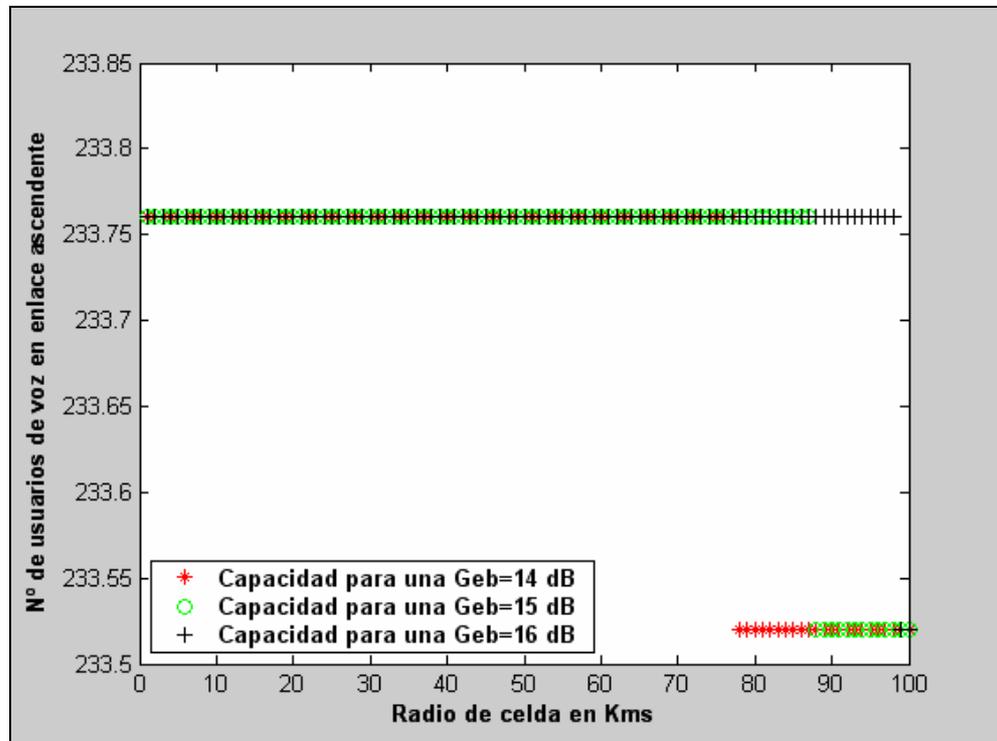


Figura 3.8.  $N^{\circ}$  usuarios voz en TMA para distintas ganancias de EB en UL

Al igual que ocurría en el caso general, la capacidad no ha sido modificada al incrementar la ganancia de la antena de la estación base, por lo que la capacidad final resulta ser la misma que la del caso general.

\*CASO 2:

**ENR:**

En este caso se han elegido tres diferentes **ganancias de antena del avión**, a saber: 1, 2 y 3 dB.

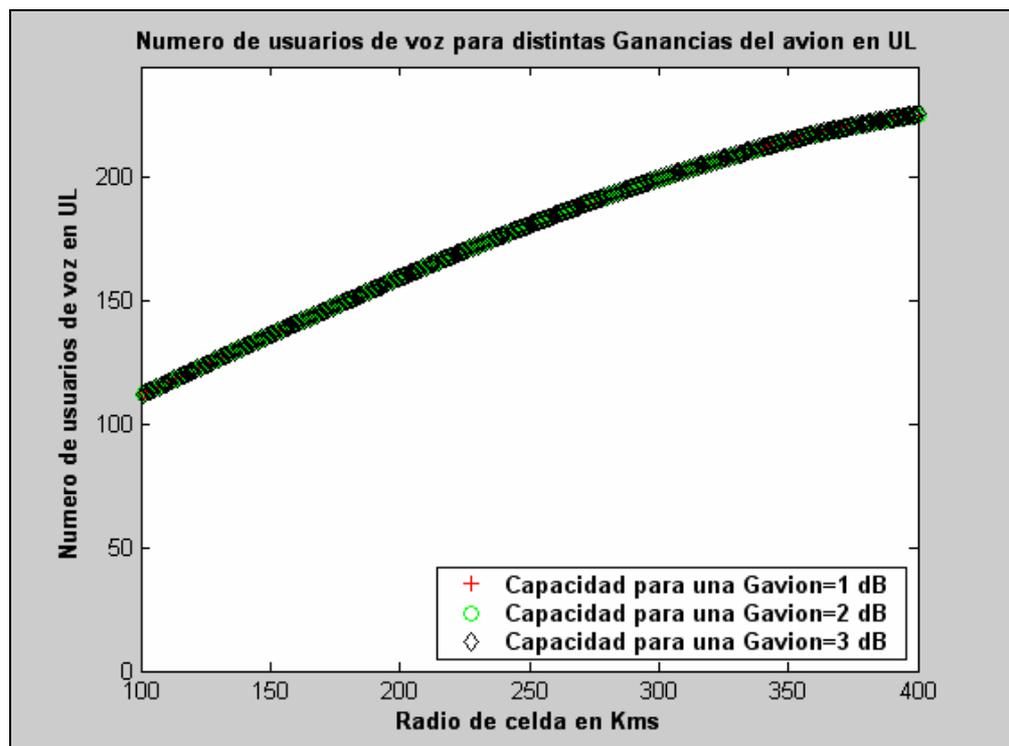


Figura 3.9. N° usuarios voz en ENR para distintas ganancias del avión en UL

El número inicial de usuarios de voz del caso general se ve alterado muy ligeramente, de forma que no llega a incrementarse o decrementar en una unidad, tan sólo décimas arriba o abajo, por lo que este parámetro no afecta al cómputo final de la capacidad del sistema a efectos prácticos.

TMA:

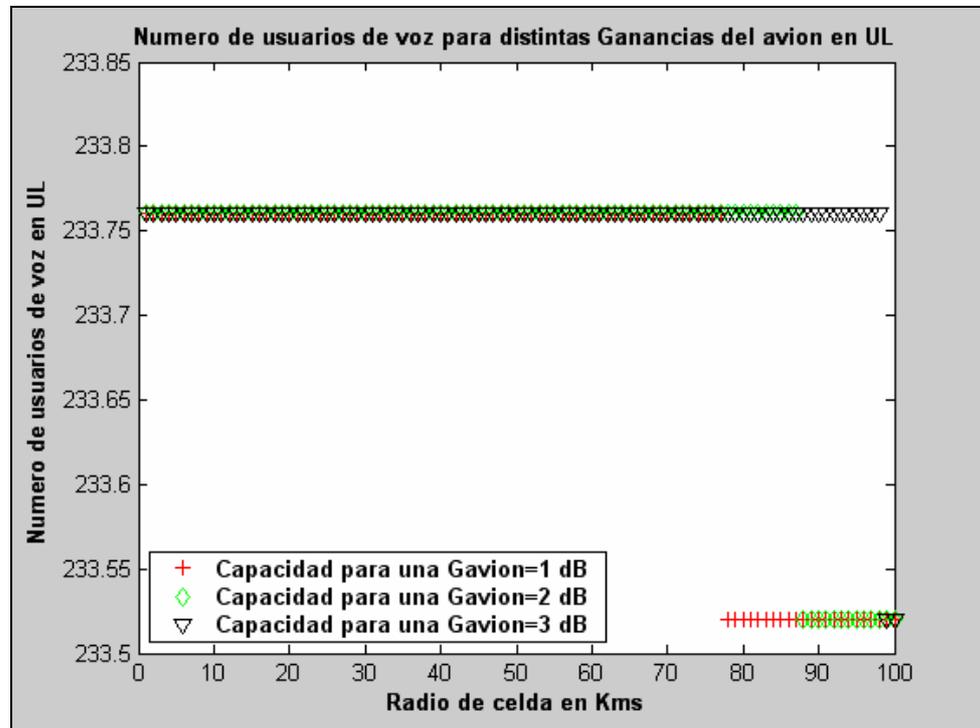


Figura 3.10. N° usuarios voz en TMA para distintas ganancias del avión en UL

Como bien se aprecia, la capacidad no ha sido en absoluto alterada por el incremento en la ganancia de la antena del avión, por lo que este parámetro no afecta a nuestro cómputo total.

\*CASO 3:

**ENR:**

Se han elegido dos **alturas para la estación base**, 20 y 30 m. respectivamente.

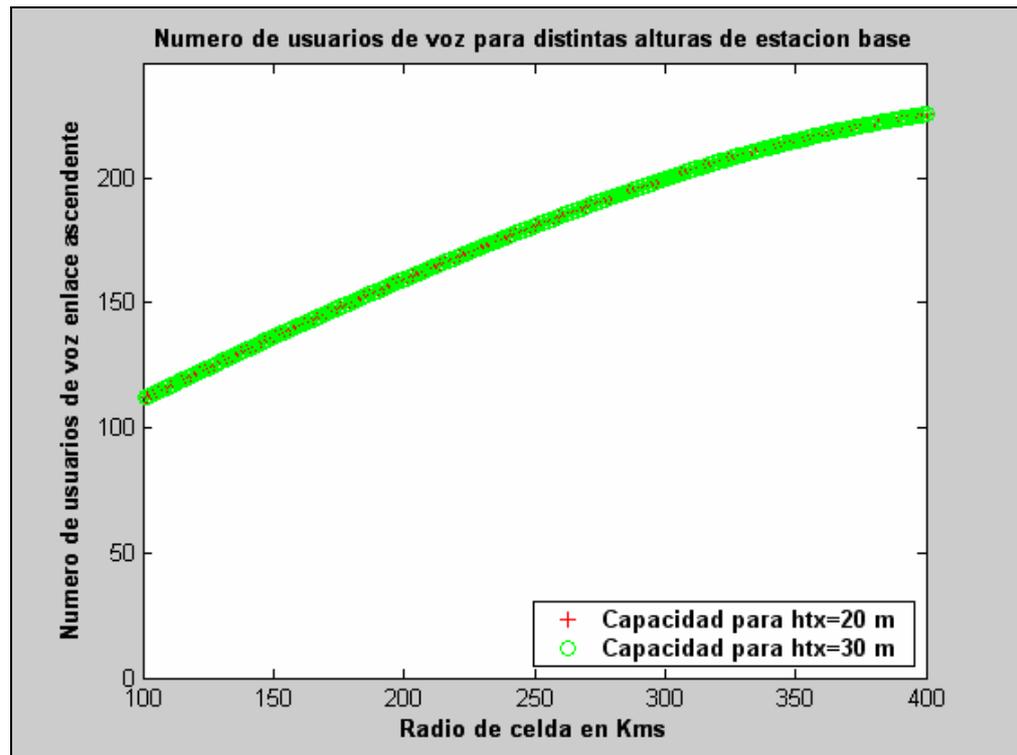


Figura 3.11. N° usuarios de voz en ENR para distintas alturas de EB en UL

El número total de usuarios no se ve modificado al incrementar la altura de la estación base, sino que este parámetro es indiferente para el cálculo de la capacidad, al menos en los órdenes de magnitud que estamos considerando.

TMA:

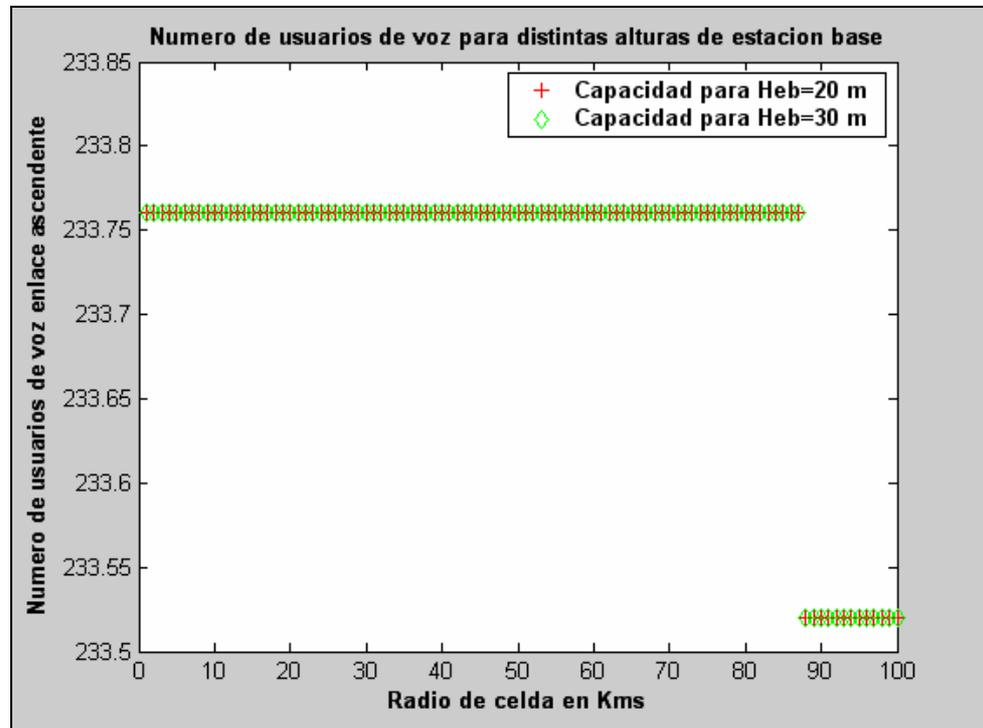


Figura 3.12. N° usuarios de voz en TMA para distintas alturas de EB en UL

El número de usuarios iniciales no cambia al incrementar la altura de la estación base. Se ha ampliado la gráfica para apreciar el pequeñísimo salto que experimenta, pero que sigue situando la capacidad en la misma que la del caso general.

\*CASO 4:

**ENR:**

Se ha modificado la **altura del avión**: a 10, 11 y 12. Km. respectivamente.

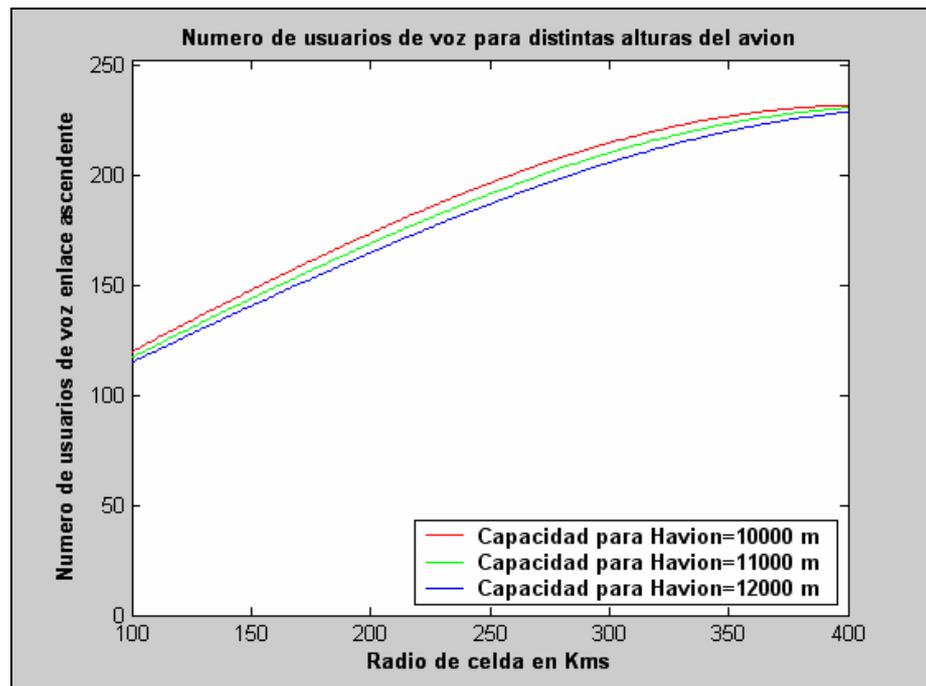


Figura 3.13. N° usuarios voz en ENR para distintas alturas del avión en UL

La figura muestra un ligero cambio en capacidad, es decir, disminuye conforme aumenta la altura. Esto es debido a que cuanto más alta sea la altura a la que sobrevuela el avión, mayor es la interferencia que sufre la estación base procedente de las células adyacentes, al verse aumentada la distancia *L.O.S.*, por lo que repercute en una aminoración de la capacidad total inicial. La capacidad se puede resumir como sigue:

Havión (km)	R(km)	Usuarios/celda
10	100	120
11	100	117
12	100	115

Havión (km)	R(km)	Usuarios/celda
10	250	196
11	250	191
12	250	187

Havión (km)	R(km)	Usuarios/celda
10	400	232
11	400	231
12	400	229

Tabla 3.2. N° usuarios voz en ENR para distintas alturas del avión en UL

TMA:

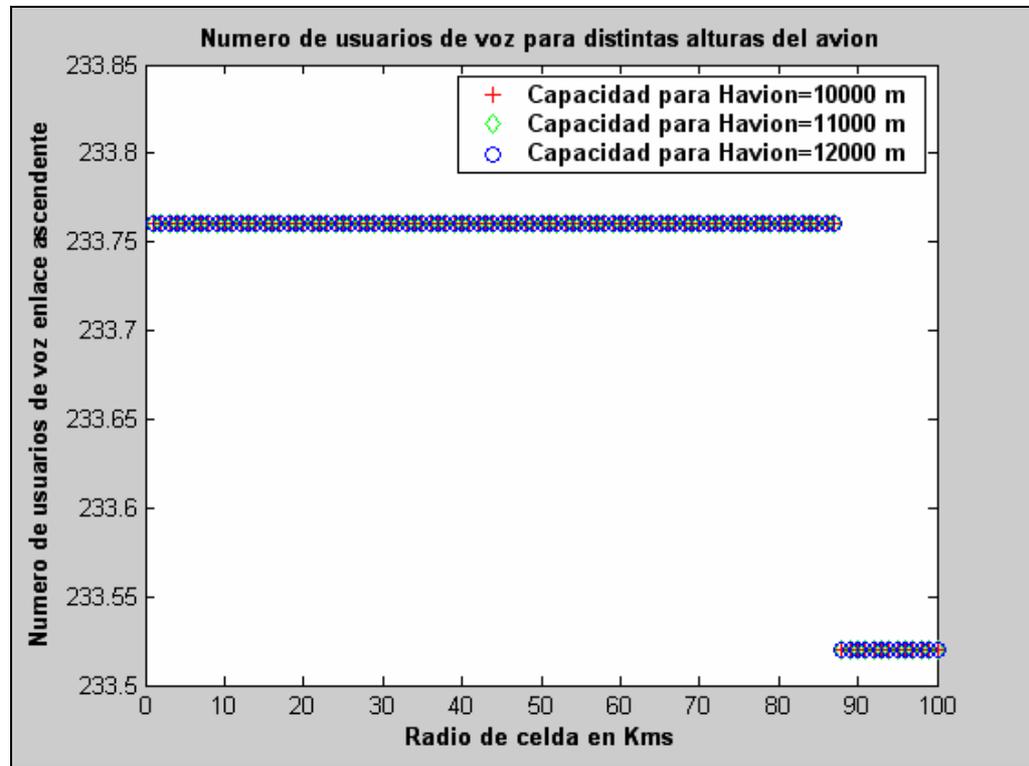


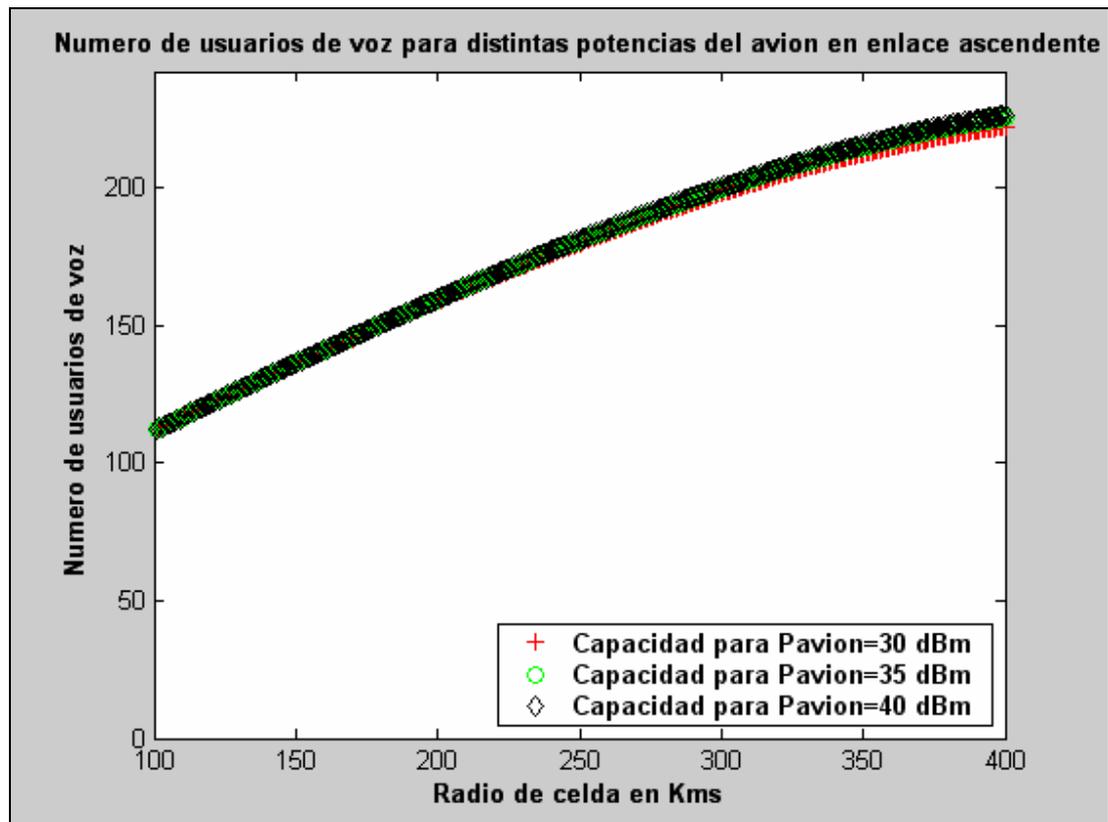
Figura 3.14. N° usuarios voz en TMA para distintas alturas del avión en UL

El comportamiento general es muy similar al del caso general. La capacidad se traduce en un ligero cambio a una distancia de 86 Kms, debido al efecto de las pérdidas de propagación básica. Esto se debe a que *la contribución a la disminución de la capacidad es la interferencia intercelular, que es nula en TMA*. La capacidad final se puede aproximar al mismo número que el del caso general para cada valor del radio de celda.

\*CASO 5:

**ENR:**

Se ha modificado la **potencia del avión**, que ahora resulta tomar los siguientes valores: 30, 35 y 40 dBm.



*Figura 3.15. N° usuarios voz en ENR para distintas potencias del avión en UL*

La figura muestra un ligero aumento de la capacidad para una potencia del avión de 40 dBm en el tramo correspondiente a partir de los 300 Km, aunque este incremento no llega a suponer un usuario siquiera.

A mayor potencia, mayor capacidad, debido a que la potencia logra reducir el efecto de la pérdida de propagación y reforzar la capacidad.

Los datos extraídos se muestran a continuación:

R(km)	Peb(dBm)	Capacidad	R(km)	Peb(dBm)	Capacidad
100	30	111	100	35	111
250	30	179	250	35	181
400	30	222	400	35	225,3

R(km)	Peb(dBm)	Capacidad
100	40	111
250	40	181
400	40	226,3

Tabla 3.3. N° usuarios voz en ENR para distintas potencias de EB en UL

TMA:

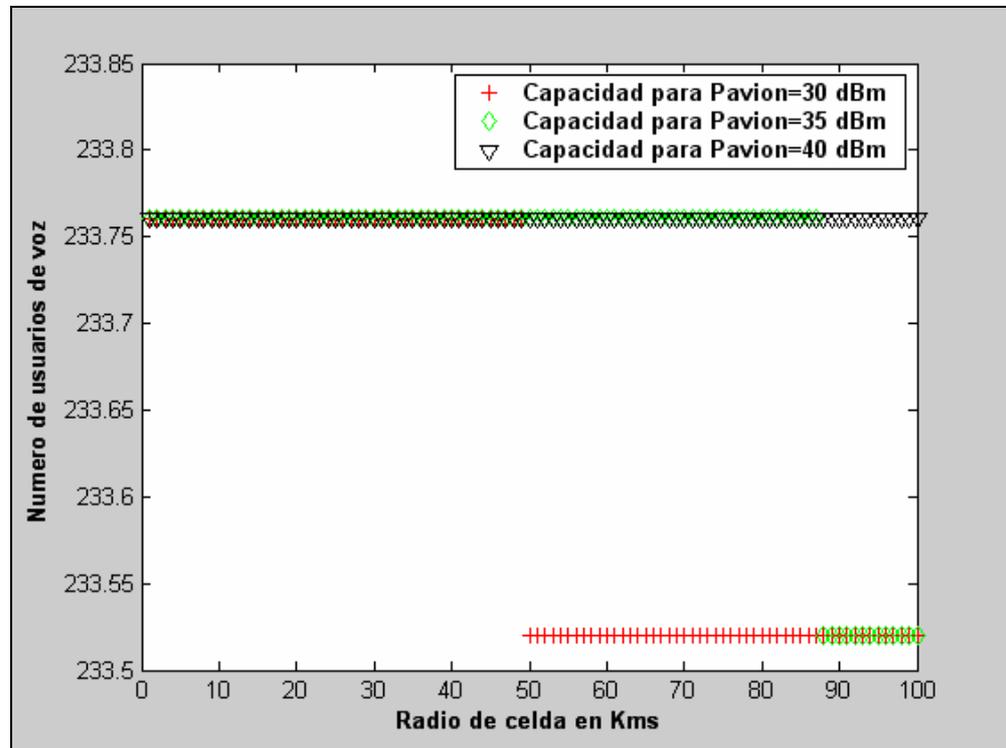


Figura 3.16. N° usuarios voz TMA para distintas potencias del avión en UL

En la gráfica se observa que en la capacidad final apenas influye la potencia del avión, puesto que no llega a suponer un incremento de una unidad. Esto supone, como es de imaginar, una sensible disminución de la potencia necesaria para la transmisión.

\*CASO 6:

**ENR:**

Para este último caso se ha modificado *el factor de ruido*,  $4 \leq NF \leq 7$  dB..

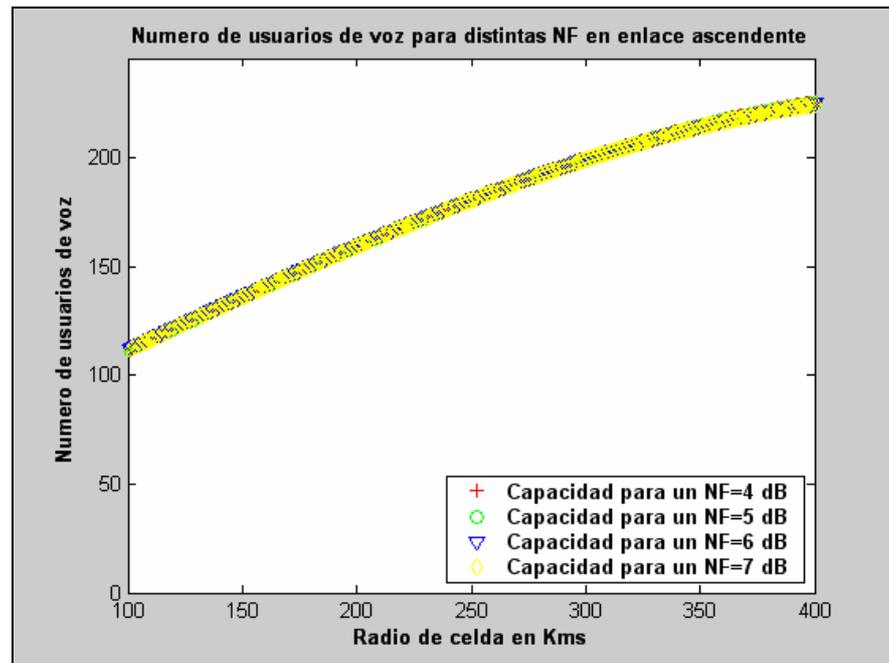


Figura 3.17. N° usuarios voz en ENR para distintos factores de ruido en UL

Si ampliáramos la gráfica observaríamos que a menor factor de ruido, se obtiene una capacidad ligeramente superior a la que resulta con un mayor factor de ruido.

La diferencia entre 4 y 7 dB es de 1 usuario más en la capacidad final y tan sólo en R=400 Km. La capacidad final queda como se muestra a continuación:

NF	R(km)	Usuarios/celda	NF	R(km)	Usuarios/celda
4	100	111	4	250	180
5	100	ídem	5	250	ídem
6	100	ídem	6	250	ídem
7	100	ídem	7	100	ídem

NF	R(km)	Usuarios/celda
4	400	225,8
5	400	225,3
6	400	225
7	100	224,4

Tabla 3.4. N° usuarios voz en ENR para distintos factores de ruido en UL

TMA:

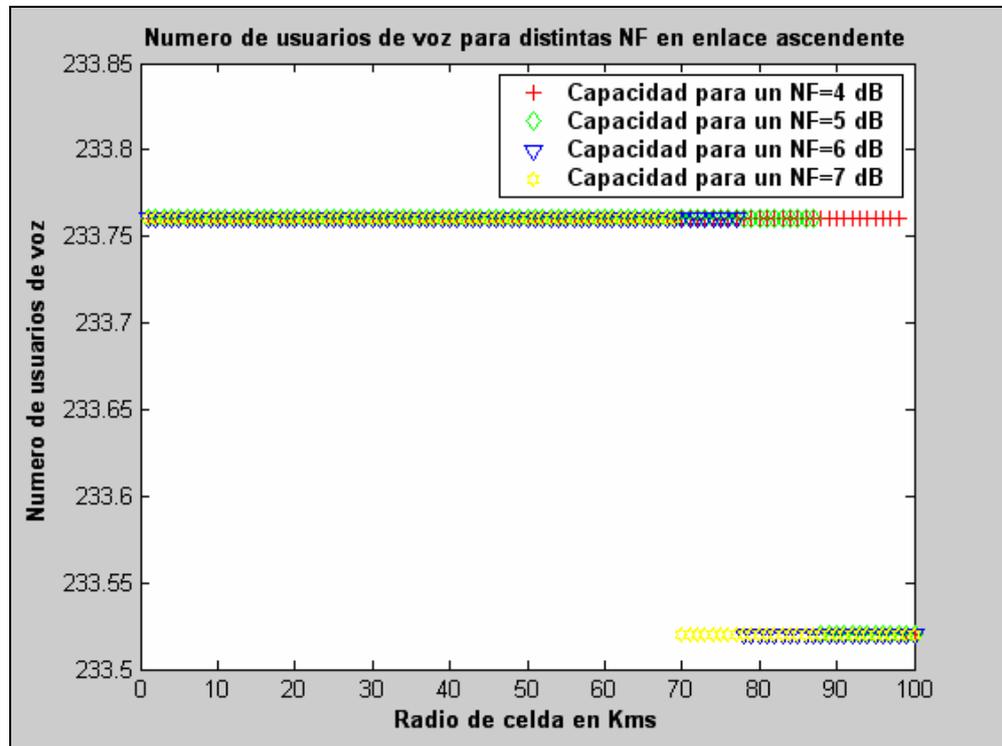


Figura 3.18. N° usuarios voz en TMA para distintos factores de ruido en UL

La capacidad permanece prácticamente constante a pesar de la modificación del factor de ruido.

Por tanto, se puede concluir, en la práctica, que los resultados son análogos a los del caso general.

### 3.4.1.2.2 “Datos”

\*CASO GENERAL:

**ENR:**

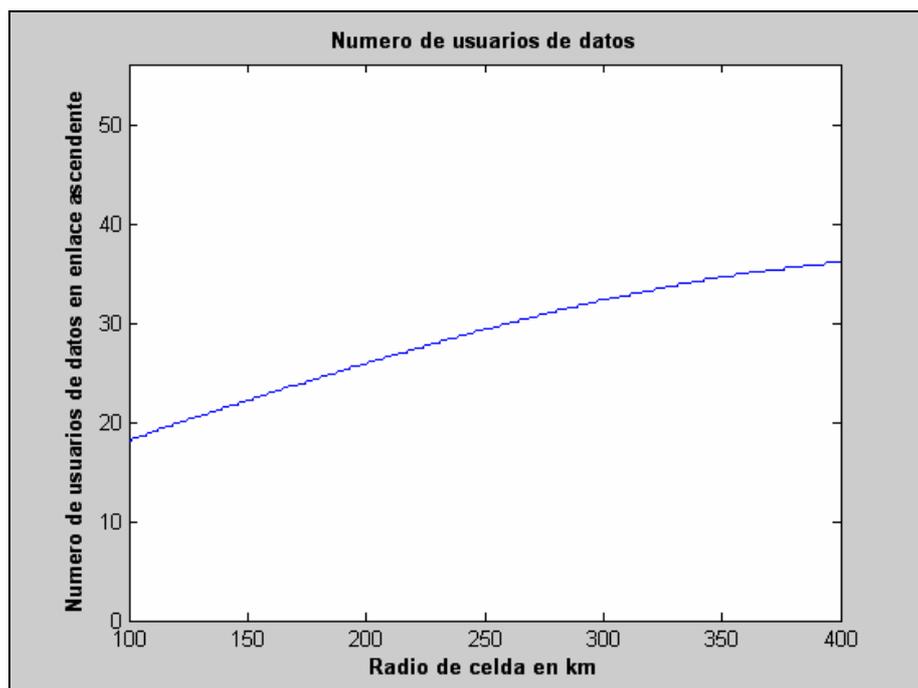
Las consideraciones generales son análogas a las del caso de voz, con las siguientes excepciones:

\*Factor de utilización de datos “ $\alpha$ ” de 1.

\*Ganancia del proceso  $G_p=32$ .

\*  $E_b/N_0 = 3$  dB.

En base a estos datos, las gráficas obtenidas han sido las siguientes:



*Figura 3.19. Número de usuarios de datos para ENR en UL*

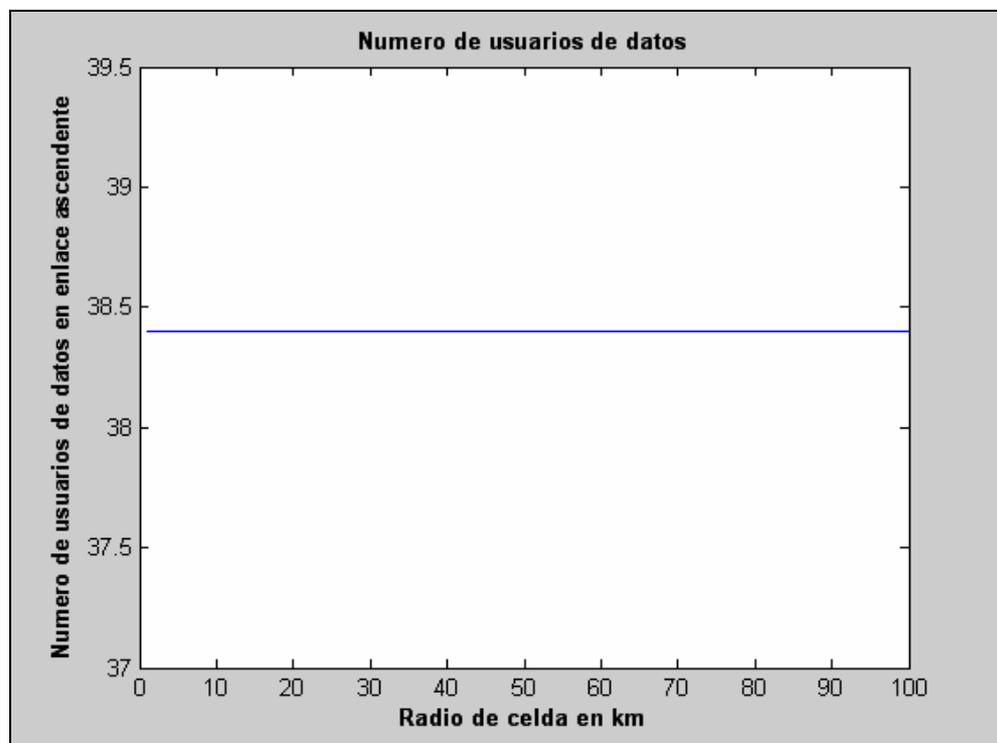
El número de usuarios de datos aumenta exponencialmente conforme aumenta la distancia del avión. Resulta ser menor que la capacidad total del sistema para voz en el enlace

ascendente, debido entre otros factores, a que los datos requieren mayor velocidad binaria en transmisión.

Por tanto, la capacidad final resulta ser de:

- Para un radio de celda  $R=100$  Km. **18,2 usuarios por celda.**
- Para un  $R=250$  Km. **29,4 usuarios por celda.**
- Para un  $R=400$  Km. **36,2 usuarios por celda.**

**TMA:**



*Figura 3.20. Número de usuarios de datos para TMA en UL*

La máxima capacidad de **usuarios de datos es de 38 usuarios/célula**, para todo el rancio de radio de celda, siendo ligeramente superiora la correspondiente en ENR. Esta cifra permanece constante en TMA, debido a que no sufre la interferencia extracelular.

\*CASO 1:

**ENR:**

Para este caso se han elegido tres diferentes **frecuencias de funcionamiento** del sistema: 1.92, 1.95 y 1.98 GHz.

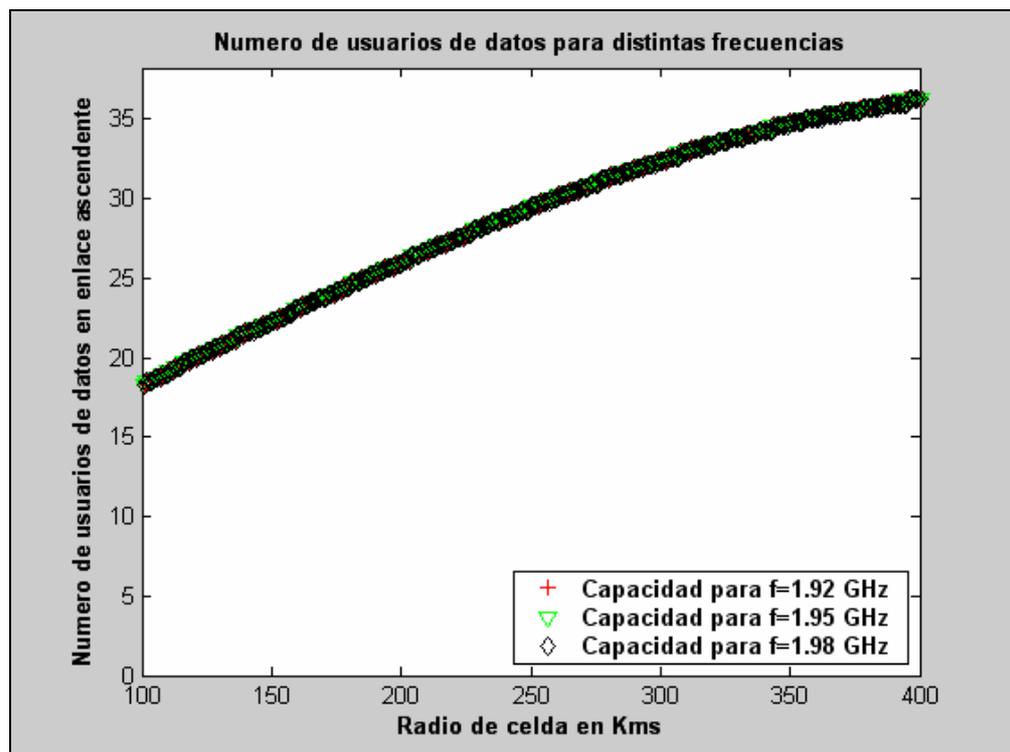


Figura 3.21. N° usuarios de datos en ENR para distintas frecuencias en UL

La capacidad global sigue siendo la misma que en el caso general. Las frecuencias que barajamos para el funcionamiento del sistema no tienen ninguna influencia sobre la capacidad final.

Esto se debe a que modificar la frecuencia sólo repercute en la pérdida básica de propagación, que no resulta de gran influencia para el tramo que se está estudiando, porque supone un cambio de pérdidas de 0.25 dB frente a 150 dB aprox. a una distancia de 400 Km., cambio irrelevante para el comportamiento general resultante.

TMA:

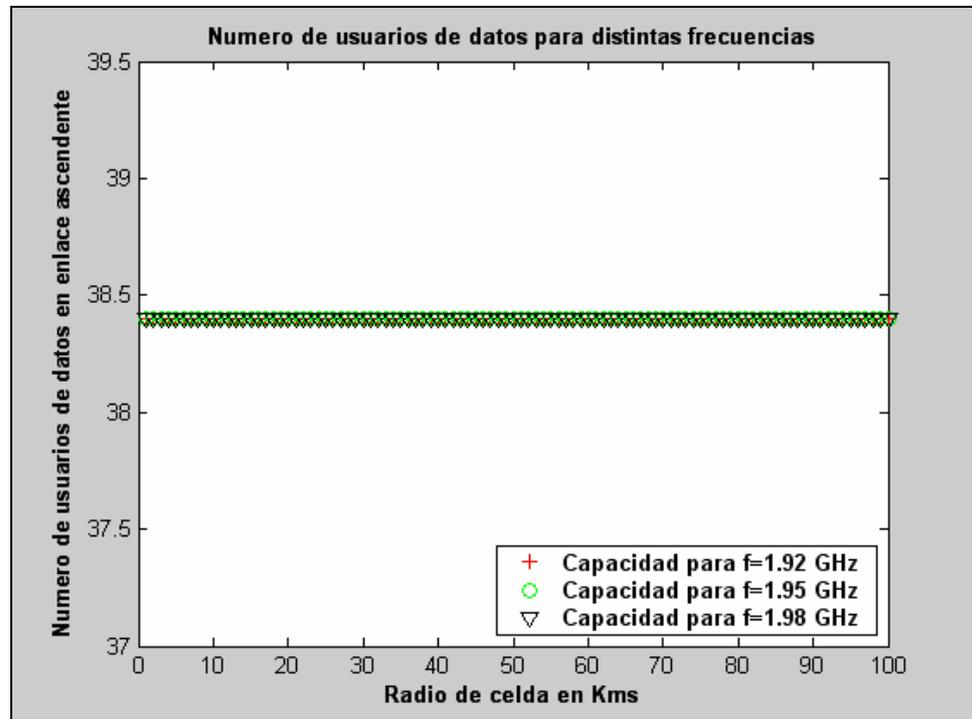


Figura 3.22. N° usuarios de datos en TMA para distintas frecuencias en UL

Para TMA, nos ocurre el mismo caso, no tiene ninguna influencia y la capacidad final resulta ser la misma que en el caso general.

\*CASO 2:

**ENR:**

Se han elegido dos **alturas para la estación base**, 20 y 30 m. respectivamente, al igual que en el caso de voz

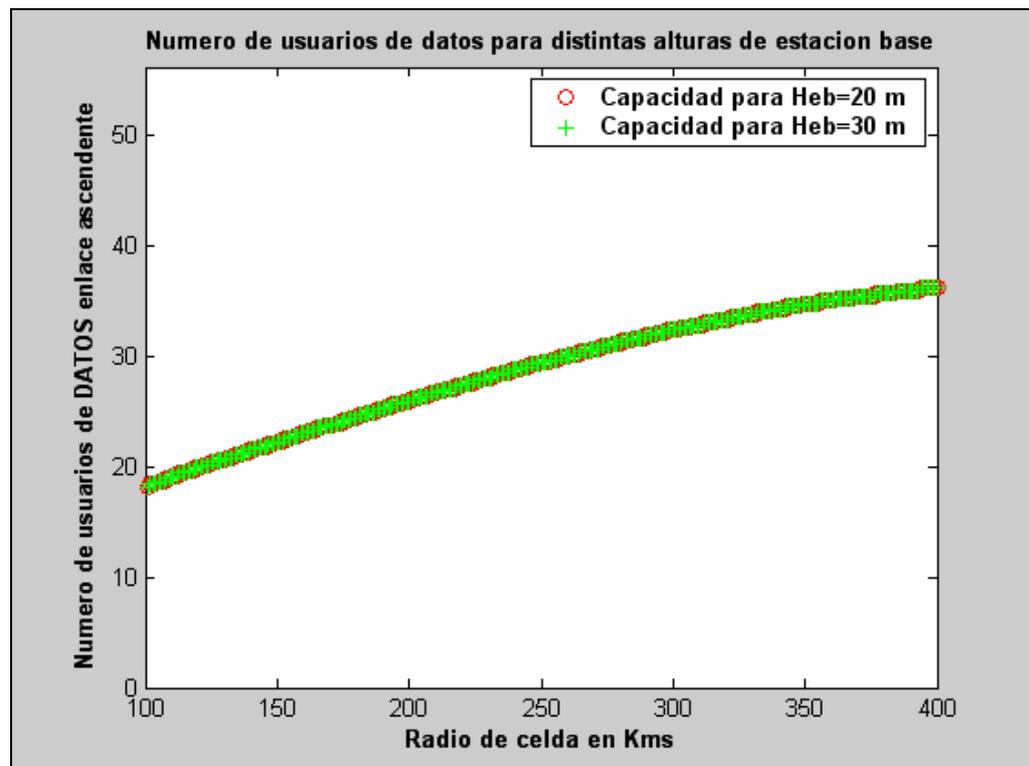


Figura 3.23. N° usuarios datos en ENR para distintas alturas de EB en UL

Se aprecia que la capacidad es la misma que la del caso general, por lo que la altura de la estación base no influye en la capacidad del sistema.

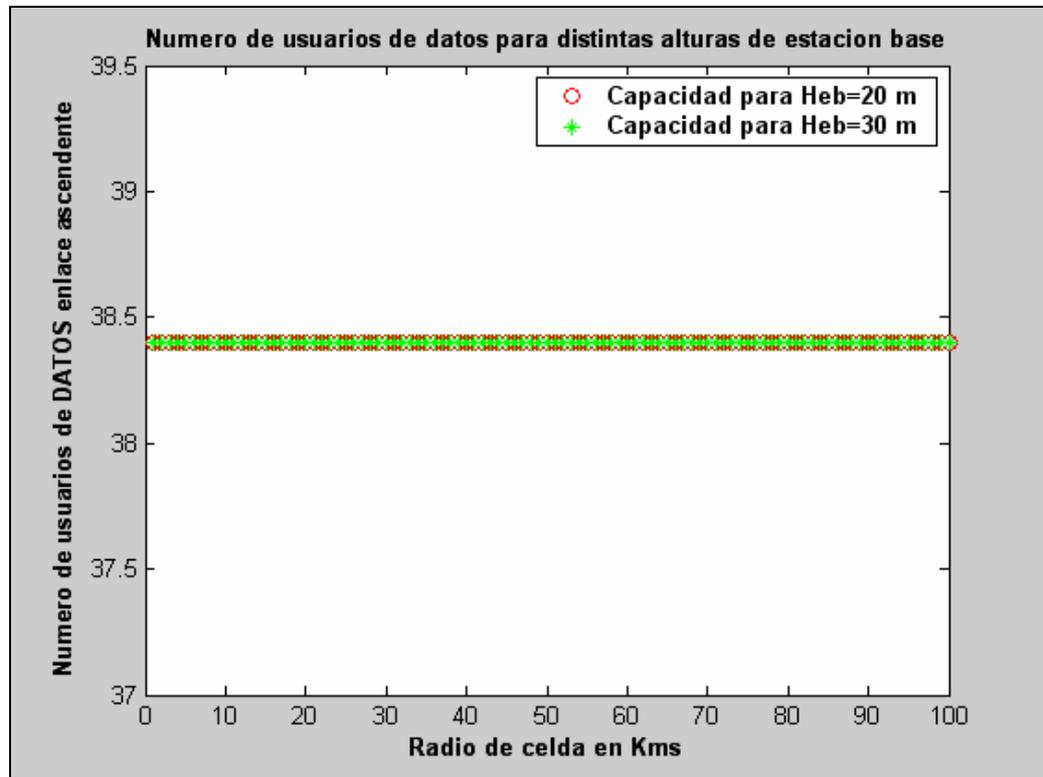


Figura 3.24. N° usuarios de datos en TMA para distintas alturas de EB en UL

Los resultados obtenidos son los mismos que en el caso general. Es decir, la altura de la estación base no tiene influencia sobre la capacidad final.

\*CASO 3

**ENR:**

Se ha modificado la **potencia del avión**, que ahora resulta tomar los siguientes valores: 30, 35 y 40 dBm.

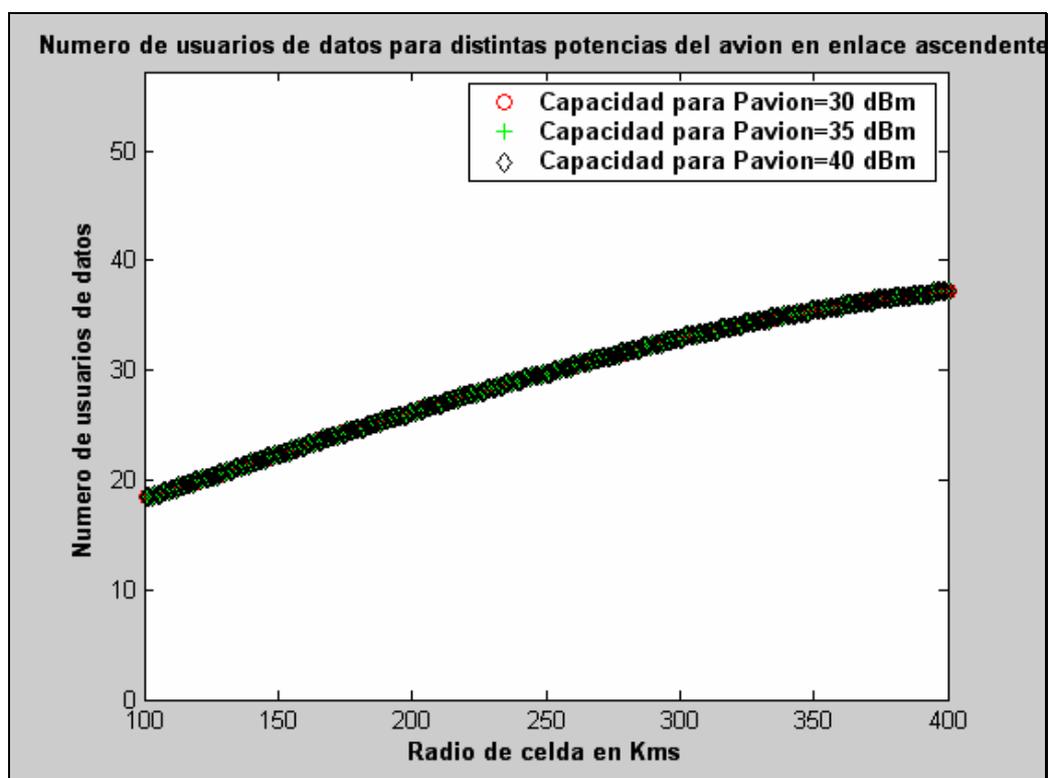


Figura 3.25. N° de usuarios de datos en ENR para distintas potencias del avión en UL

La curva permanece invariante con respecto al caso general, por lo que se puede asegurar que la potencia en este orden de magnitud no altera la capacidad global del sistema y los resultados son idénticos a los del caso general.

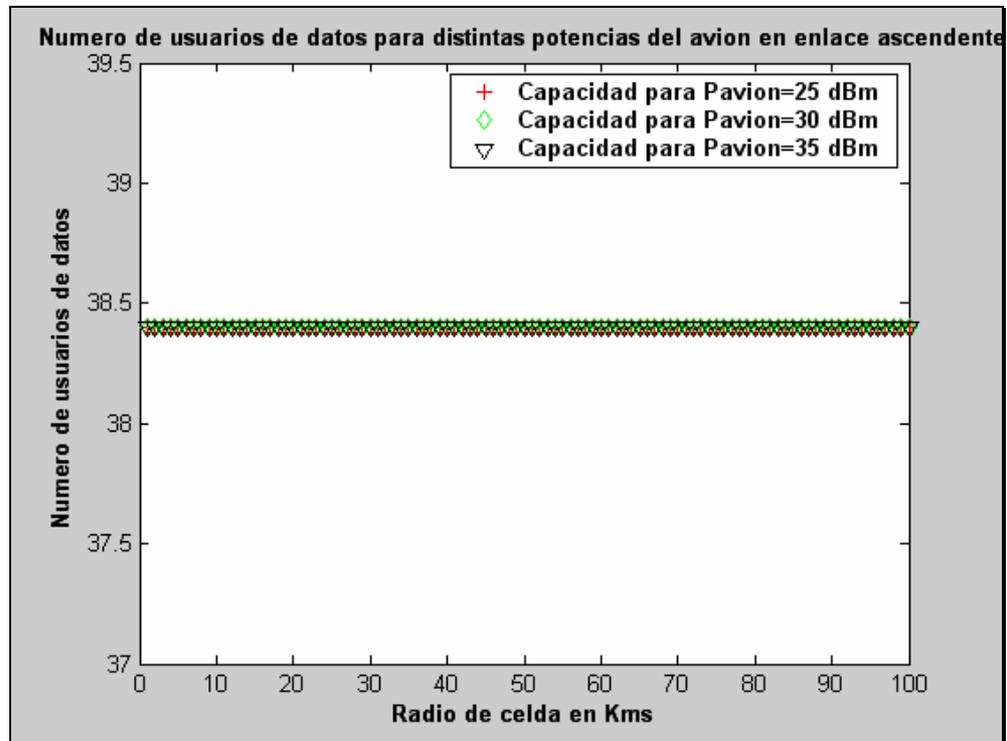


Figura 3.26. N° de usuarios de datos en TMA para distintas potencias del avión en UL

El comportamiento general del sistema es prácticamente similar al del caso general, aunque parece aumentar muy sigilosamente, sin llegar a alcanzar una modificación digna de mención.

### 3.4.1.2.3 Relación entre la Capacidad de Voz y Datos

A continuación se plasma una gráfica que describe la **relación existente entre la capacidad de voz y la de datos**. Este estudio se centra únicamente en un valor de R, que resulta ser de 200 Km.

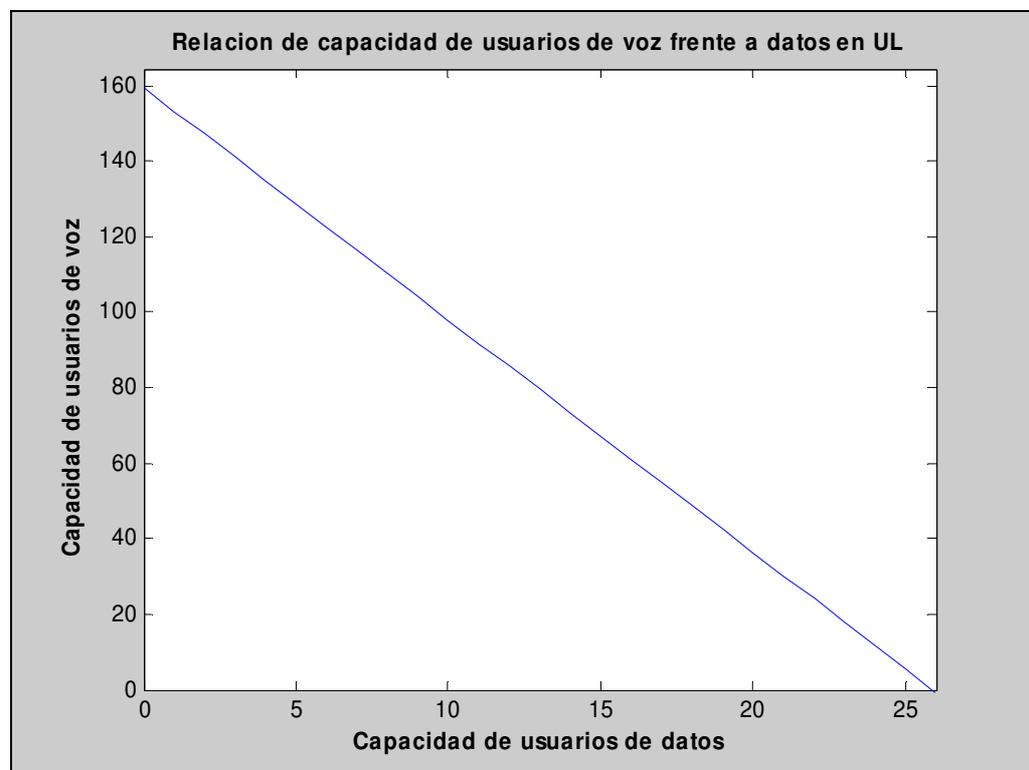


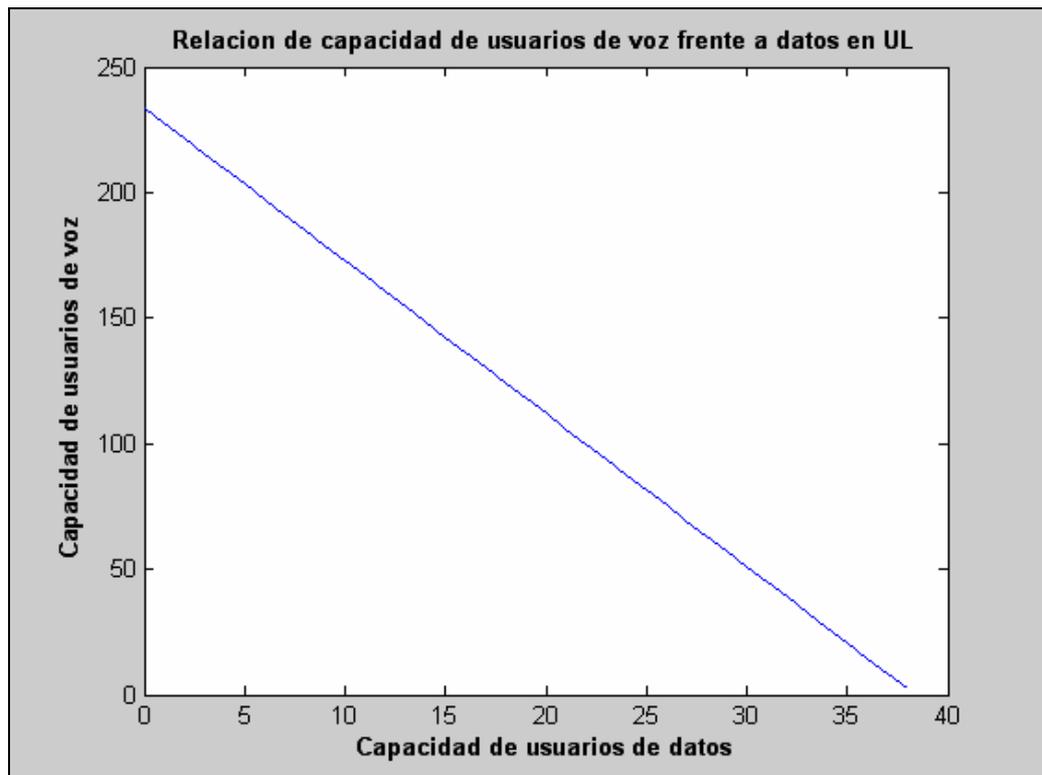
Figura 3.27. Relación capacidad datos-voz en ENR para UL

Como se observa, la capacidad máxima para voz cuando no hay usuarios de datos resulta ser de 160 por celda, y decrece monótonamente.

La capacidad máxima por celda se sitúa en:

- **160 usuarios de voz.**
- **25,8 usuarios de datos.**

A continuación se plasma una gráfica que describe la **relación existente entre la capacidad de voz y la de datos en TMA**. Este estudio se centra únicamente en un valor de R, que resulta ser de 50 Km.



*Figura 3.28. Relación capacidad datos-voz en TMA para UL*

Por el contrario, en TMA, la capacidad máxima para voz es de 234 usuarios por celda, y decrece linealmente. Por tanto, la capacidad es mayor para voz que para datos, como resultaría obvio desde un punto de vista de negocio y práctico.

La capacidad máxima por celda en TMA se sitúa en:

- **234 usuarios de voz.**
- **38 usuarios de datos.**

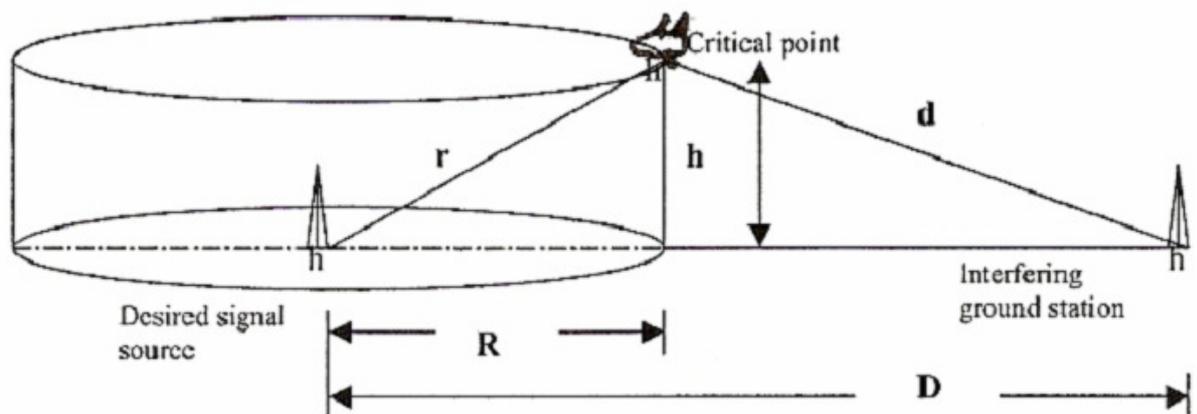
### 3.4.2 ENLACE DESCENDENTE

No es esencial el control de potencia para el enlace descendente, aunque es recomendable, ya que en esta dirección nos encontramos con el problema “cerca-lejos” de mediano alcance. Para cada usuario, cualquier interferencia debida a otras señales transmitidas por la misma estación base se encuentra al mismo nivel relativo de señal deseada.

Este enlace se caracteriza, entre otros, por la altura de los usuarios (y también de las células), la interferencia entre células vecinas y la interferencia intracelular.

Se ha considerado para este estudio que el número de células adyacentes es de 36.

El escenario de estudio es el que se presenta a continuación:



$$r_i = \sqrt{(D_{i2} + h^2)} \quad (3.10)$$

Figura 3.29. Esquema orientativo de la disposición entre EB y avión

Siendo

- “R” es la medida del radio, desde el centro de la célula hasta el vértice de la misma, que limita con la célula adyacente.
- “D” la distancia en horizontal entre estaciones base adyacentes.
- “r” la distancia entre avión y estación base.
- “d” la distancia entre E.B vecina y el avión.

La disposición de las diferentes celdas es análoga a la que se ha mostrado en comunicaciones con HAPs en el apartado anterior.

Se han calculado las coordenadas de cada celda a la célula emisora, en función de “R”, a efectos de computar la interferencia intercelular.

$$U(RLOS - D_i) = \begin{cases} 1, & \text{si } RLOS > D_i \\ 0, & \text{otros} \end{cases} \quad (3.11)$$

En donde:

$$RLOS \approx 4.1 \cdot \sqrt{h} \quad (3.12)$$

Siendo

$$h = \sqrt{h_{\text{estación\_base}}} + \sqrt{h_{\text{avión}}} \quad (3.13)$$

Un determinado valor de de  $RLOS$  se corresponde con una altitud máxima del avión, y el valor  $RLOS/R$  se corresponde con la variación del radio de célula R.

### 3.4.2.1 Capacidad del enlace descendente

El estudio de la capacidad se basa en las siguientes fórmulas:

$$\left[ \frac{E_b}{N_o} \right]_{DL} = G_p \left[ \frac{C}{I} \right]_{DL} \quad (3.14)$$

Para cada célula se ha de determinar si la distancia de la estación base que transmite en ese momento al avión es mayor o menor que el trayecto directo (LOS), para así calcular la pérdida de propagación media y la interferencia extracelular.

La relación  $C/I$  viene determinada por:

$$\left[ \frac{C}{I} \right]_{DL} = \frac{P_{recibida}}{I_{int\ ra} + I_{extra} + P_n} \quad (3.15)$$

En donde

$$\cdot P_{canal} = 2(P_{tx} - P_{piloto}) / (N\alpha) \quad (3.16)$$

$$\cdot P_{canal\_rec} = (P_{canal} G_{tx} G_{rx}) / L \quad (3.17)$$

$$\cdot I_{int\ ra} = (P_{tx} - P_{canal}) G_{tx} G_{rx} \varphi / L \quad (3.18)$$

$$\cdot I = I_{int\ ra} + I_{extra\_total}(R) + P_n \quad (3.19)$$

### 3.4.2.2 Resultados de Simulación

A continuación se exponen las gráficas obtenidas de la simulación correspondiente. Al igual que en el enlace ascendente, se distinguen el caso de voz y de datos.

#### 3.4.2.2.1 “Voz”

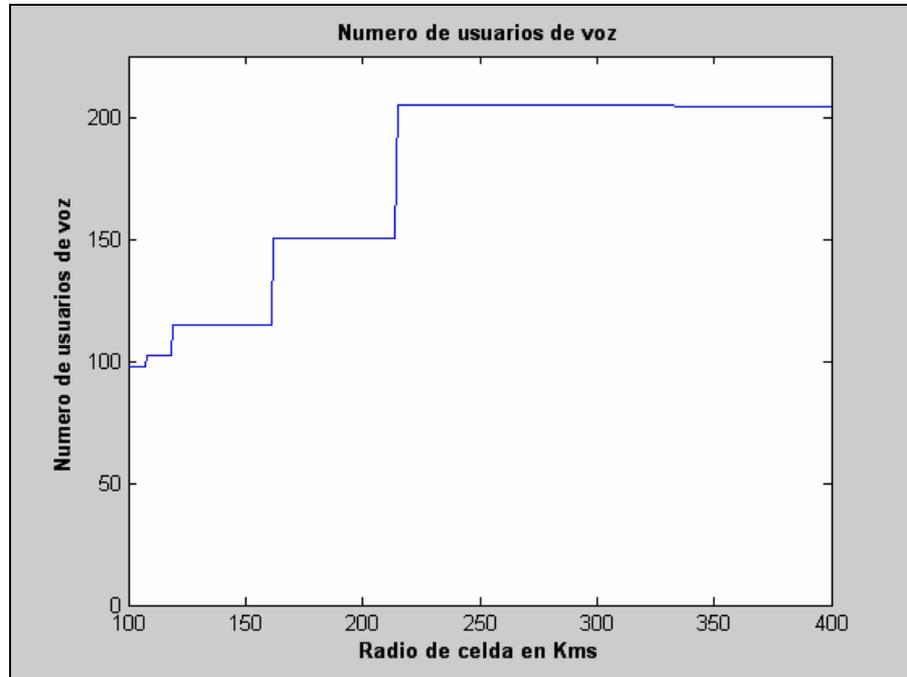
\*CASO GENERAL:

##### **ENR:**

Con carácter general se consideran las siguientes hipótesis:

- \*Altura de estación base de 20 m.
- \*Altura de avión de 10 Km.
- \*Factor de utilización de voz “ $\alpha$ ” de 0.66.
- \*Frecuencia de funcionamiento de 2.14 GHz.
- \*Ancho de banda de 5 MHz.
- \*Número de 36 células interferentes.
- \*Factor de ortogonalidad  $\varphi$  de 0.05
- \*Ganancia del proceso  $G_p=256$
- \*Ganancia de la antena de estación base de 15 dB y 2 dB de la del avión.
- \*Factor de ruido NF de 5 dB.
- \*  $E_b/N_0 = 6$  dB.
- \*Potencia de transmisión de 200 W.
- \*Potencia piloto de 20 W.
- \*Potencia de ruido de -100 dBm.

En base a estos datos, las gráficas obtenidas han sido las siguientes:



*Figura 3.30. Número de usuarios de voz en ENR para DL*

En una distancia de aproximadamente  $L.O.S/2 \approx 214$  Km. se produce el salto en capacidad más abrupto de todos, de 150 hasta 205 usuarios, y conforme aumenta la distancia a la estación base la capacidad se va incrementando hasta llegar a alcanzar el máximo. Esto se debe a que a partir de este radio únicamente nos encontramos con dos celdas interferentes externas y una interna.

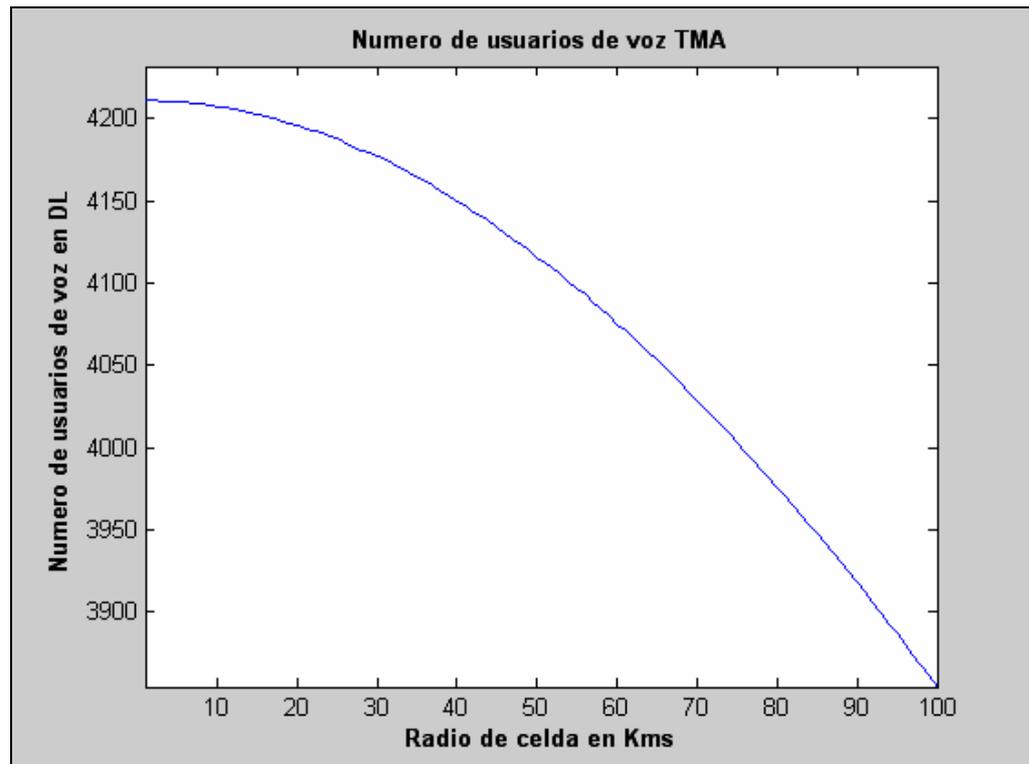
Por debajo de la distancia de  $L.O.S$  se produce el efecto de interferencia debida a las células adyacentes a la que actualmente está en comunicación con el avión. Estos últimos saltos en capacidad son debidos en su mayor parte a la atenuación debida al efecto de la propagación básica.

A continuación se muestra la capacidad total:

- Para  $100 \leq R < 107$  Km. **97,8 usuarios/celda.**
- Para  $107 \leq R < 118$  Km. **102 usuarios/celda.**
- Para  $118 \leq R < 161$  Km. **115 usuarios/celda.**

- Para  $161 \leq R < 215$  km. **150 usuarios/celda.**
- Para  $215 \leq R < 400$  km. **205 usuarios/celda.**

**TMA:**



*Figura 3.31. Número de usuarios de voz en TMA para DL*

El número de usuarios de voz decrece exponencialmente conforme aumenta el radio, debido al efecto de la pérdida de propagación en el espacio libre.

A continuación se muestra la capacidad total:

- Para un radio de celda  $R=1$  Km. **4.212 usuarios/celda.**
- Para un  $R=50$  Km. **4.120 usuarios/celda.**
- Para un  $R=100$  Km. **3.854 usuarios/celda.**

\*CASO 1:

**ENR:**

Hemos supuesto **tres frecuencias de funcionamiento** (5, 2.14, y 1 GHz). La simulación extraída ha sido la siguiente:

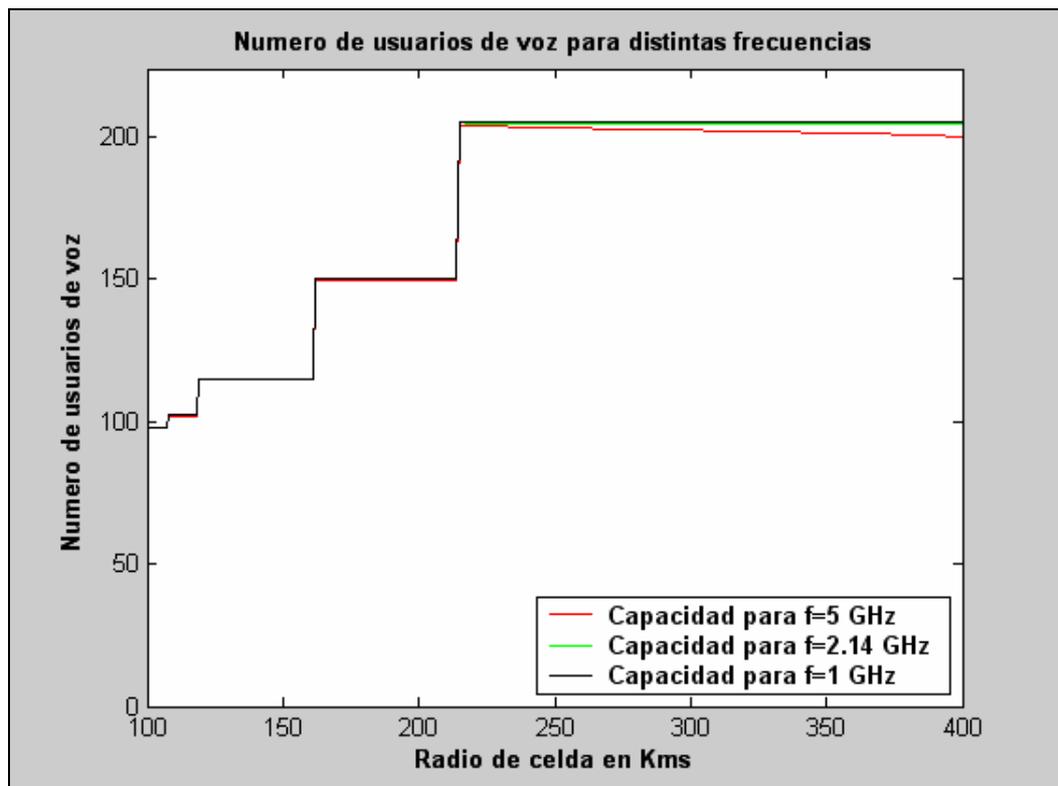


Figura 3.32. N° de usuarios de voz en ENR para distintas frecuencias en DL

El comportamiento es muy similar al del caso general, excepto para una distancia de  $R=400$  Km., puesto que la diferencia entre la capacidad mayor y menor es de 5 usuarios por celda, debido al efecto de la contribución de la pérdida básica. Por tanto,

- Para el enlace descendente en voz, a menor frecuencia el sistema admite más capacidad.
- La frecuencia no afecta al cálculo de nuestra capacidad en el tramo debido a la interferencia, pero influye de forma notoria sobre el efecto de la atenuación debida a la distancia.

Por tanto, la capacidad queda como se refleja a continuación:

R(km)	f(GHz)	Capacidad	R(km)	f(GHz)	Capacidad
$100 \leq R < 107$	1	97,8	$100 \leq R < 107$	2,14	97,8
$107 \leq R < 118$	1	102	$107 \leq R < 118$	2,14	102
$118 \leq R < 161$	1	115	$118 \leq R < 161$	2,14	115
$161 \leq R < 215$	1	150	$161 \leq R < 215$	2,14	150
$215 \leq R < 400$	1	201	$215 \leq R < 400$	2,14	205

R(km)	f(GHz)	Capacidad
$100 \leq R < 107$	5	97,8
$107 \leq R < 118$	5	102
$118 \leq R < 161$	5	115
$161 \leq R < 215$	5	150
$215 \leq R < 400$	5	205,1

Tabla 3.5. Número de usuarios de voz en ENR para distintas frecuencias en DL

TMA:

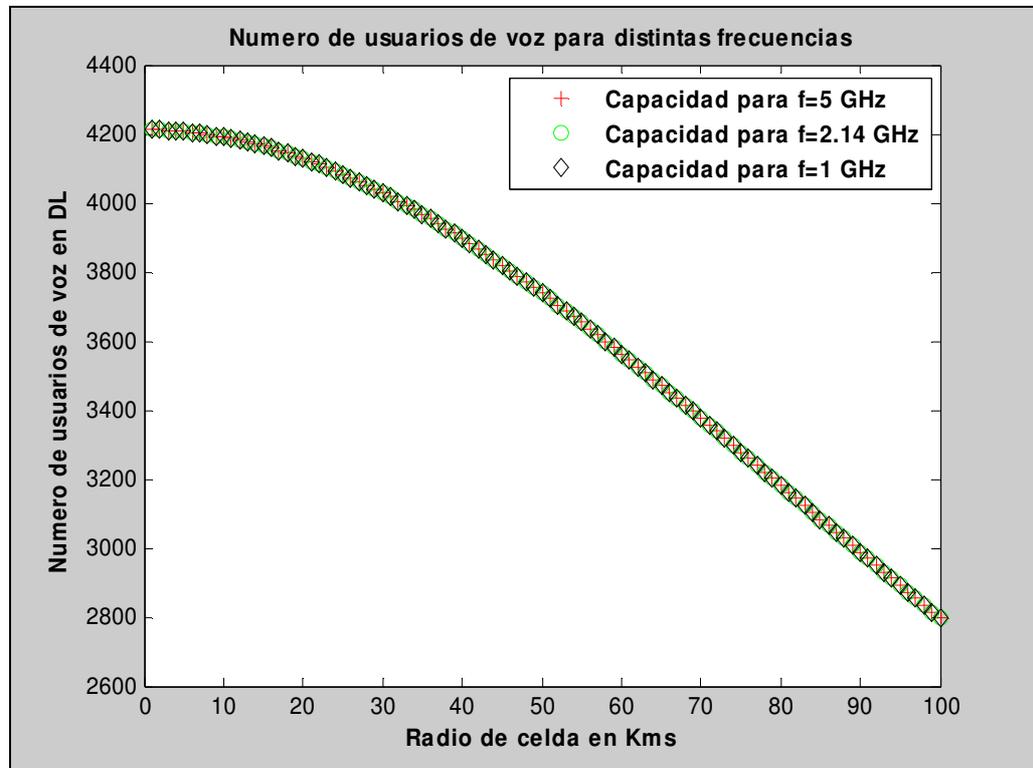


Figura 3.33. Número de usuarios de voz en TMA para distintas frecuencias en DL

Como se desprende en la gráfica, el comportamiento es el mismo al del caso general, por lo que la frecuencia no modifica la capacidad de usuarios de voz en ENR en el enlace descendente.

\*CASO 2:

**ENR:**

El parámetro modificado ha sido la *altura de la estación base*, de 20 y 30 m. respectivamente.

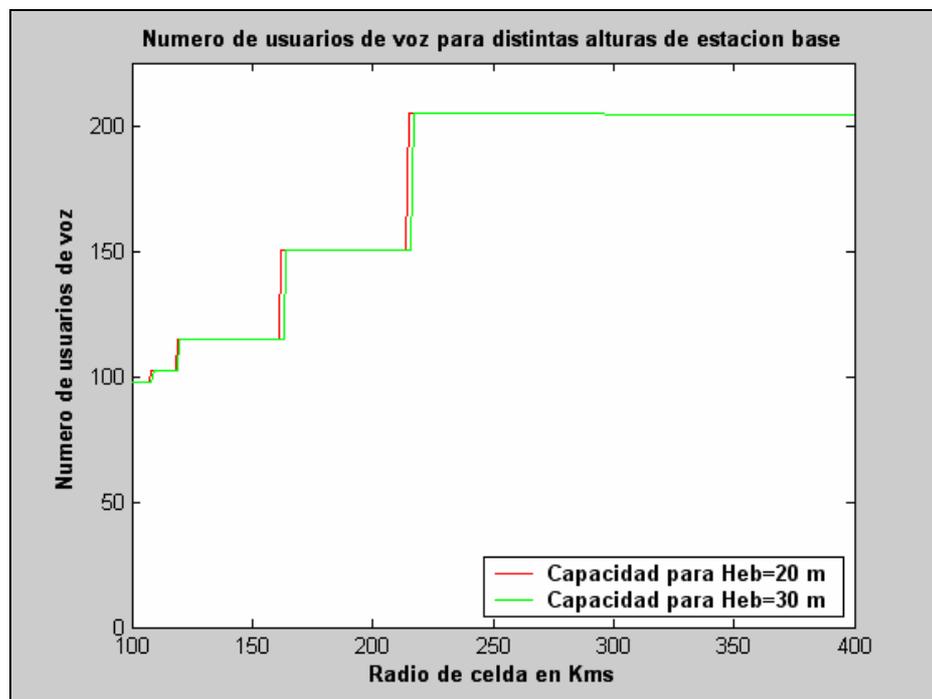


Figura 3.34. N° de usuarios de voz en ENR para distintas alturas de EB en DL

El cambio que se produce con respecto al caso general consiste en que los saltos en capacidad se producen 3 Km. aprox. después, para una altura 10 m. superior a la original, debido a una celda que estaba en *LOS* ahora resulta que sí lo está.

En conclusión, este parámetro afecta a la capacidad relativa de nuestro número de usuarios incrementando la distancia relativa entre ambos, por lo que de manera indirecta logra un minúsculo salto en la capacidad final.

Por tanto, la capacidad final queda como sigue:

R(km)	Heb(m)	Capacidad	R(km)	Heb(m)	Capacidad
$100 \leq R < 107$	20	97,8	$100 \leq R < 107$	30	97,8
$107 \leq R < 118$	20	102	$107 \leq R < 119$	30	102
$118 \leq R < 161$	20	115	$119 \leq R < 163$	30	115
$161 \leq R < 215$	20	150	$163 \leq R < 216$	30	150
$215 \leq R < 400$	20	205	$216 \leq R < 400$	30	205

Tabla 3.6. N° usuarios de voz en ENR para distintas alturas de EB en DL

TMA:

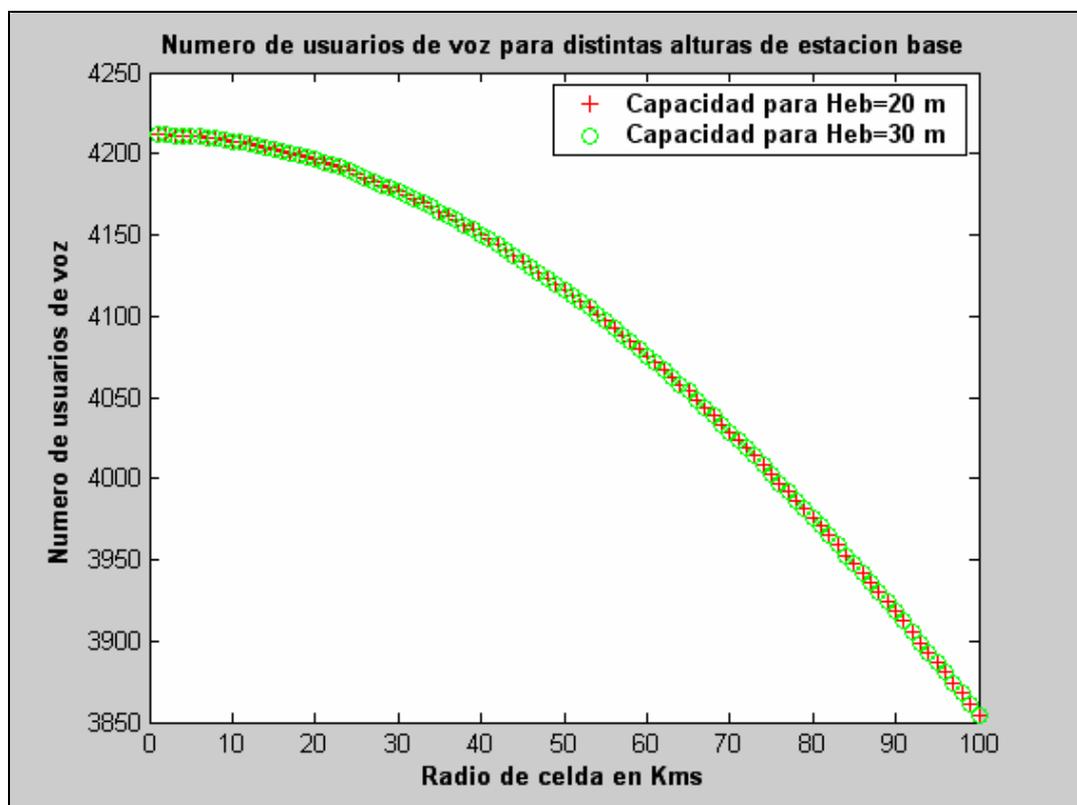


Figura 3.35. N° de usuarios de voz en TMA para distintas alturas de EB en DL

Como se desprende de la gráfica, el incremento en la altura de la estación base no tiene ningún efecto sobre los saltos en capacidad ni sobre el comportamiento respecto al general.

Por tanto, los resultados son análogos a los del caso general.

\*CASO 3:

**ENR:**

El parámetro modificado ha sido la *altura efectiva del avión*. La altura máxima de los aviones comerciales se sitúa alrededor de unos 36.000 pies. Sabiendo que 1 pie= 0,305 m, se ha probado con alturas de 10.000, 11.000 y 12.000 metros.

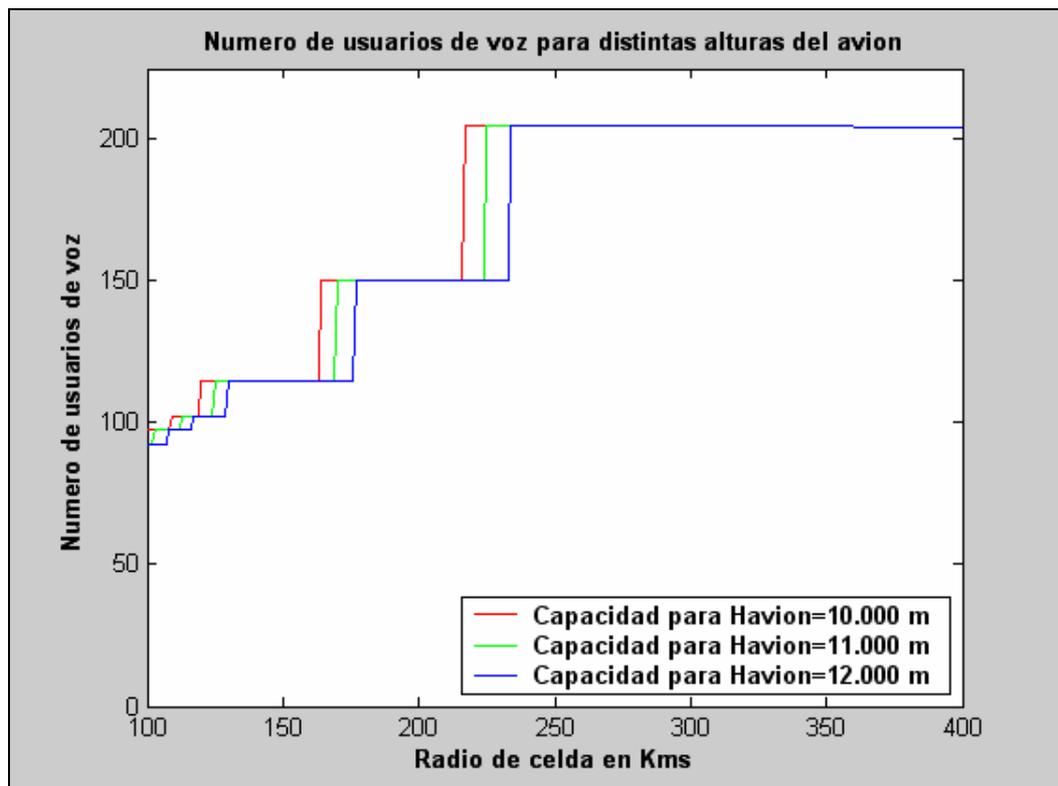


Figura 3.36. Número de usuarios de voz en ENR para distintas alturas del avión en DL

La altura más baja se corresponde con la altura de un avión comercial típico, mientras que la superior se trata de un Boeing 747.

Se observa que el incremento de la altura del avión sí tiene consecuencia sobre la capacidad global, puesto que lo que conlleva es un desplazamiento en distancia de la misma gráfica de representación inicial.

En conclusión, el incremento de la altura del avión produce un aumento en la distancia relativa entre ambos para el mismo número de saltos en capacidad, es decir, a cuanto menos

altura vuela el avión, se reduce la distancia de LOS, lo que conlleva una disminución de la interferencia extracelular, por lo que la capacidad se hace mayor.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos:

R(km)	Havión(Km)	Capacidad
$100 \leq R < 107$	10	97,8
$107 \leq R < 118$	10	102
$118 \leq R < 161$	10	115
$161 \leq R < 215$	10	150
$215 \leq R < 400$	10	205

R(km)	Havión(Km)	Capacidad
$100 \leq R < 102$	11	92
$102 \leq R < 112$	11	97,8
$112 \leq R < 124$	11	102
$124 \leq R < 170$	11	115
$170 \leq R < 224$	11	150
$224 \leq R < 400$	11	205

R(km)	Havión(Km)	Capacidad
$100 \leq R < 107$	12	92
$107 \leq R < 116$	12	97,8
$116 \leq R < 129$	12	102
$129 \leq R < 176$	12	115
$176 \leq R < 233$	12	150
$233 \leq R < 400$	12	205

Tabla 3.7. Número de usuarios de voz en ENR para distintas alturas del avión en DL

TMA:

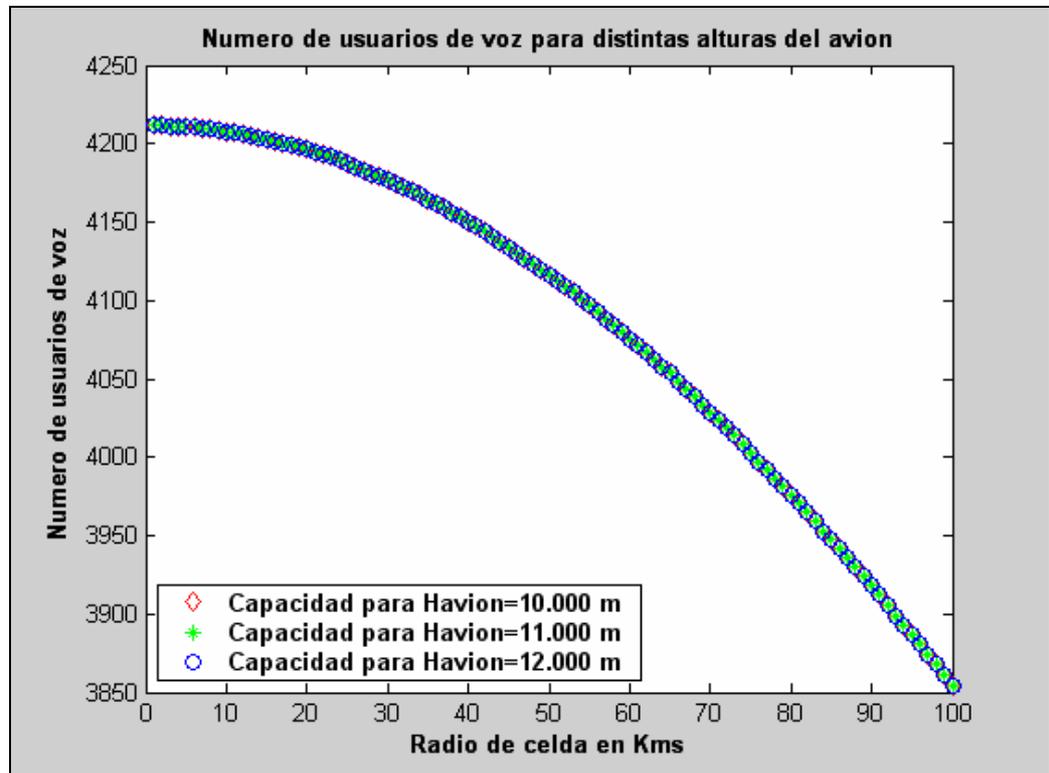


Figura 3.37. N° de usuarios de voz en TMA para distintas alturas del avión en DL

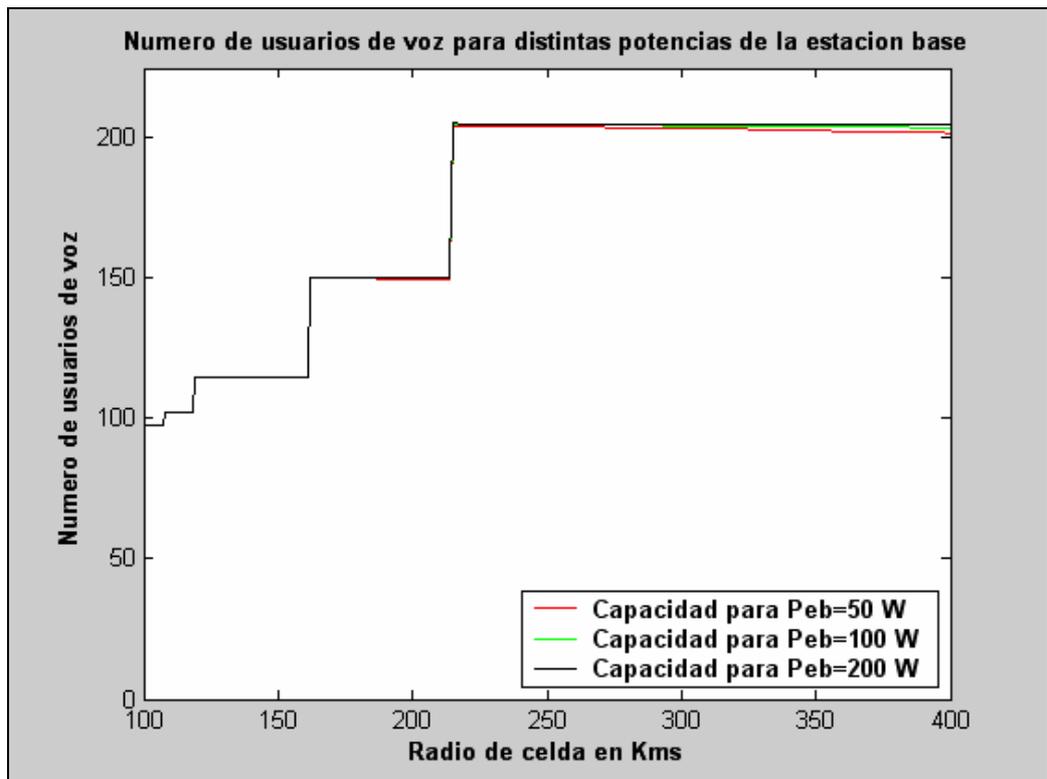
La altura del avión no influye sobre ningún parámetro de capacidad o de distancia *L.O.S* sobre el sistema, debido a que la pérdida de propagación es prácticamente la misma para estas distintas alturas, y la interferencia del resto de usuarios es nula para este caso.

\*CASO 4:

**ENR:**

El parámetro modificado ha sido la *potencia de la estación base*. Los valores elegidos han sido **50, 100 y 200 W**.

La simulación extraída ha sido la siguiente:



*Figura 3.38. Número de usuarios de voz en ENR para distintas potencias de EB en DL*

Se aprecia visiblemente cómo la única influencia resulta ser en el tramo debido a la contribución de la pérdida básica de propagación, que disminuye en uno o dos usuarios la capacidad máxima para la menor potencia de todas. Por tanto, la potencia contribuye a disminuir la pérdida de propagación y por ende el alcance del sistema.

Lo expuesto se puede resumir en la siguiente tabla:

R(km)	Peb(W)	Capacidad	R(km)	Peb(W)	Capacidad
$100 \leq R < 107$	50	97,8	$100 \leq R < 107$	100	97,8
$107 \leq R < 118$	50	102	$107 \leq R < 118$	100	102
$118 \leq R < 161$	50	115	$118 \leq R < 161$	100	115
$161 \leq R < 215$	50	149,8	$161 \leq R < 215$	100	149,9
$215 \leq R < 400$	50	203	$215 \leq R < 400$	100	204

R(km)	Peb(W)	Capacidad
$100 \leq R < 107$	200	97,8
$107 \leq R < 118$	200	102
$118 \leq R < 161$	200	115
$161 \leq R < 215$	200	150
$215 \leq R < 400$	200	205

Tabla 3.8. Número de usuarios de voz en ENR para distintas potencias de EB en DL

TMA:

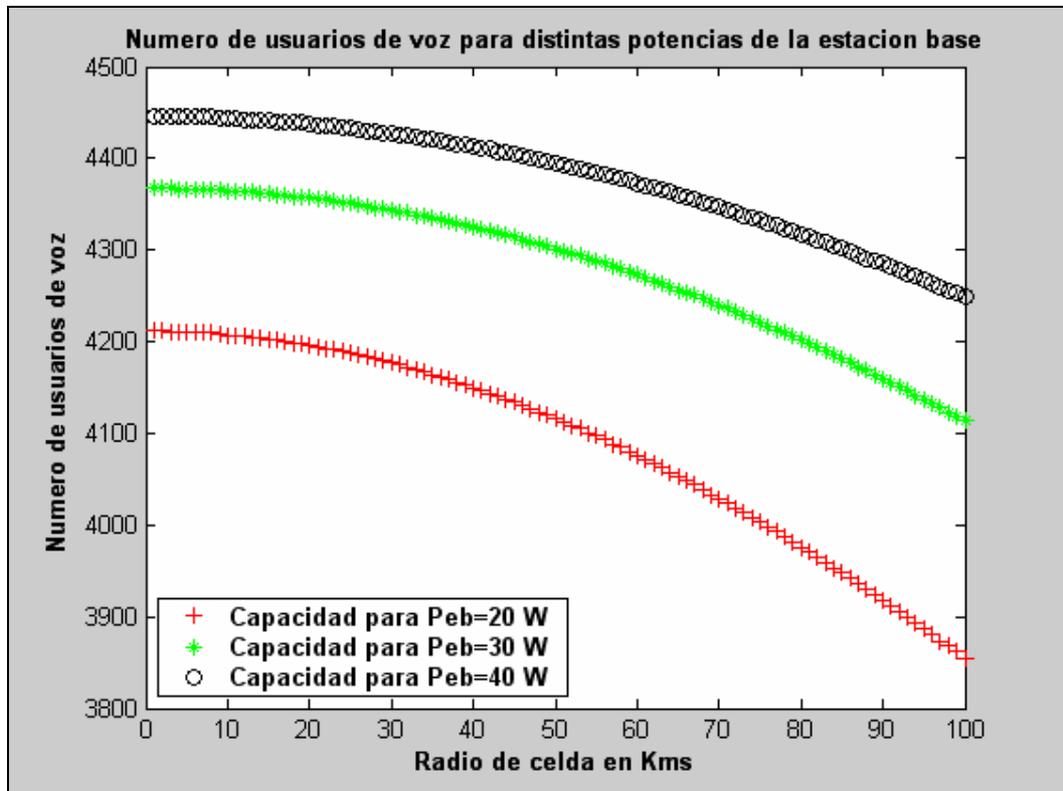


Figura 3.39. N° de usuarios de voz en TMA para distintas potencias de EB en DL

En este caso el número de usuarios se incrementa conforme aumentamos la potencia de la estación base, a lo largo de todo el recorrido de despegue o aterrizaje del avión.

El mayor número de usuarios se logra para una potencia de 40 W y durante todo el trayecto mantiene el mismo comportamiento exponencial.

Resumiendo, incrementando la potencia de nuestro emisor logramos el incremento en capacidad del número de usuarios de voz, con una notable mejoría.

A continuación se muestran los datos:

R(km)	Peb(W)	Capacidad
1	20	4212
50	20	4120
100	20	3855

R(km)	Peb(W)	Capacidad
1	30	4367
50	30	4300
100	30	4110

R(km)	Peb(W)	Capacidad
1	40	4450
50	40	4400
100	40	4250

*Tabla 3.9. Número de usuarios de voz en TMA para distintas potencias de EB en DL*

\*CASO 5:

**ENR:**

El parámetro modificado ha *el número de células adyacentes*. Se ha simulado con 20, 30, 40, 50 y 60 células adyacentes.

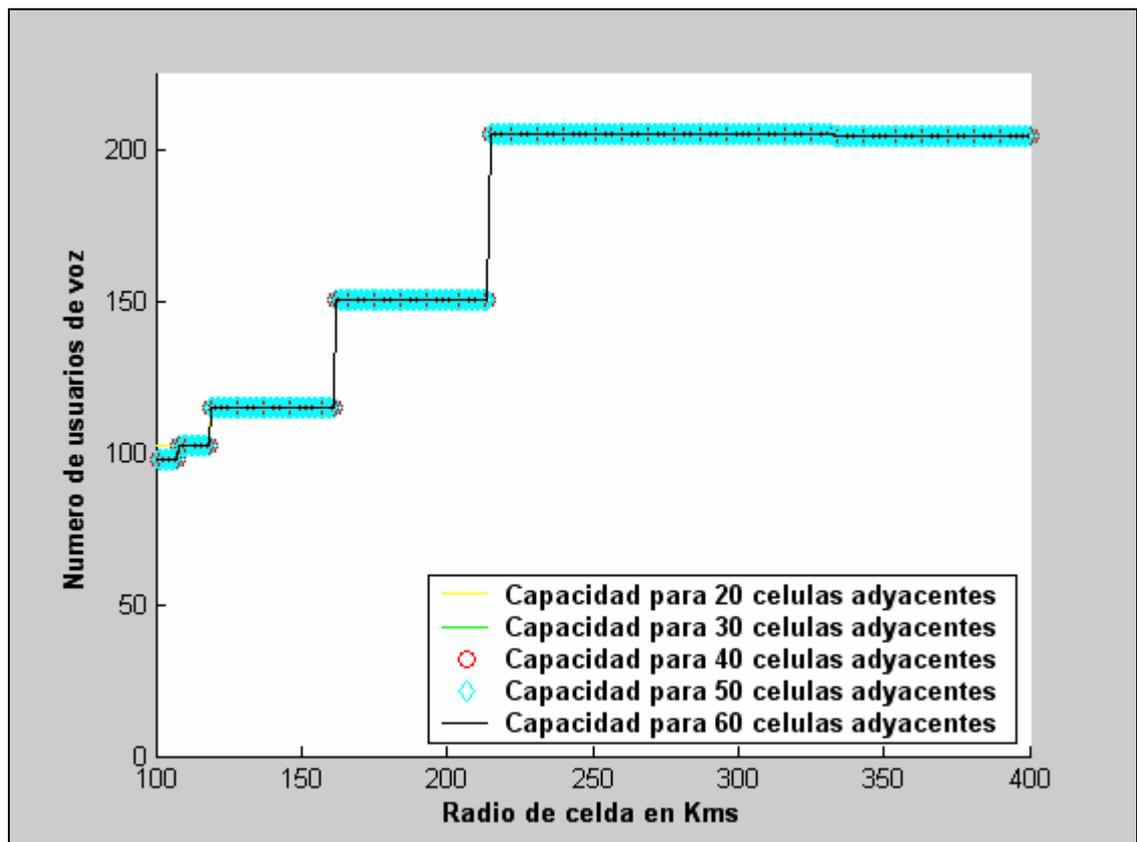


Figura 3.40. N° usuarios de voz en ENR para diferente n° de células adyacentes en DL

En la gráfica se aprecia un ligero aumento de la capacidad conforme disminuye el número de células adyacentes, debido a que un menor número de células supone una interferencia extracelular menor. Sin embargo, este resultado sólo se aprecia en el tramo correspondiente a aquél en el que predomina el efecto de la interferencia extracelular, y no al de la pérdida de propagación básica, en donde los resultados son idénticos al del caso general, cualesquiera que sean el número de celdas adyacentes.

Por tanto, la capacidad se resume de la siguiente forma:

R(km)	Nº células	Capacidad	R(km)	Nº células	Capacidad
$100 \leq R < 107$	20	102	$100 \leq R < 107$	30	99
$107 \leq R < 118$	20	104	$107 \leq R < 118$	30	102
$118 \leq R < 161$	20	115	$118 \leq R < 161$	30	115
$161 \leq R < 215$	20	150	$161 \leq R < 215$	30	150
$215 \leq R < 400$	20	205	$215 \leq R < 400$	30	205

R(km)	Nº células	Capacidad	R(km)	Nº células	Capacidad
$100 \leq R < 107$	40	97,5	$100 \leq R < 107$	50	97,5
$107 \leq R < 118$	40	102	$107 \leq R < 118$	50	102
$118 \leq R < 161$	40	115	$118 \leq R < 161$	50	115
$161 \leq R < 215$	40	150	$161 \leq R < 215$	50	150
$215 \leq R < 400$	40	205	$215 \leq R < 400$	50	205

R(km)	Nº células	Capacidad
$100 \leq R < 107$	60	97,5
$107 \leq R < 118$	60	102
$118 \leq R < 161$	60	115
$161 \leq R < 215$	60	150
$215 \leq R < 400$	60	205

Tabla 3.10. Nº usuarios de voz en ENR para diferente nº de células adyacentes en DL

### TMA:

Por el contrario, en TMA no es de aplicación el estudio de la interferencia de las células adyacentes ya que en las distancias consideradas no llega el alcance de la interferencia extracelular.

Por tanto, la capacidad es análoga a la del caso general.

\*CASO 6:

**ENR:**

El parámetro modificado ha sido el *factor de ortogonalidad, debido a interferencias multitrayecto*. Los valores probados han sido 0.05 y 0.1.

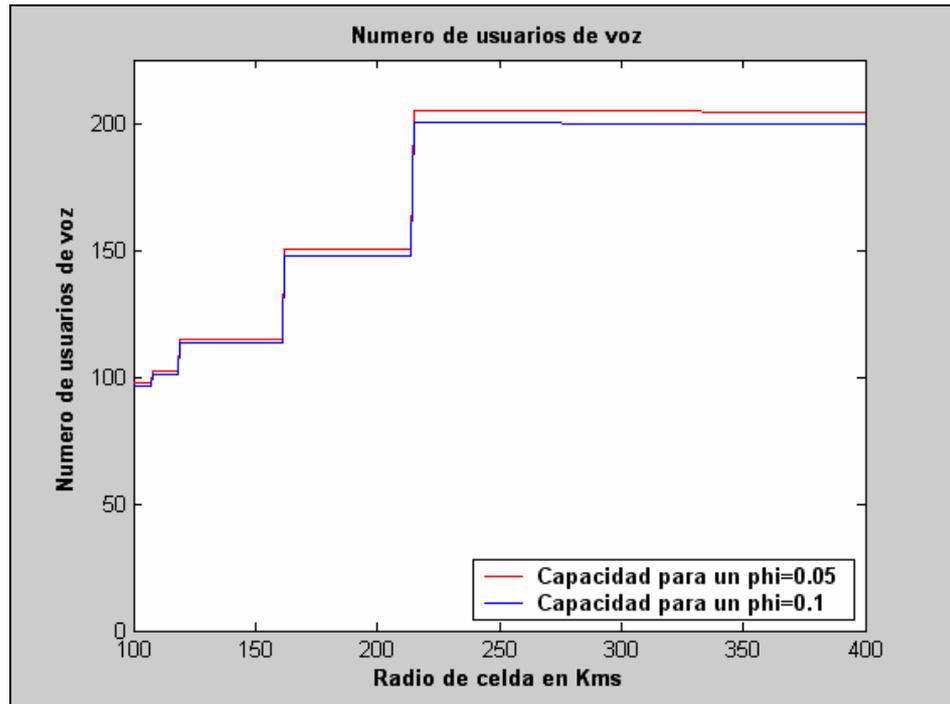


Figura 3.41. N° usuarios de voz en ENR para distintos  $\phi$  en DL

El factor  $\phi$  es debido a efectos del multitrayecto. La capacidad se incrementa conforme este factor disminuye, a lo largo de toda la trayectoria general del avión para ENR.

Por tanto la capacidad queda de la siguiente forma:

R(km)	Phi	Capacidad	R(km)	Phi	Capacidad
$100 \leq R < 107$	0,05	97,8	$100 \leq R < 107$	0,1	96,5
$107 \leq R < 118$	0,05	102	$107 \leq R < 118$	0,1	101
$118 \leq R < 161$	0,05	115	$118 \leq R < 161$	0,1	114
$161 \leq R < 215$	0,05	150	$161 \leq R < 215$	0,1	148
$215 \leq R < 400$	0,05	205	$215 \leq R < 400$	0,1	200

Tabla 3.11. N° usuarios de voz en ENR para distintos factores de ortogonalidad en DL

TMA:

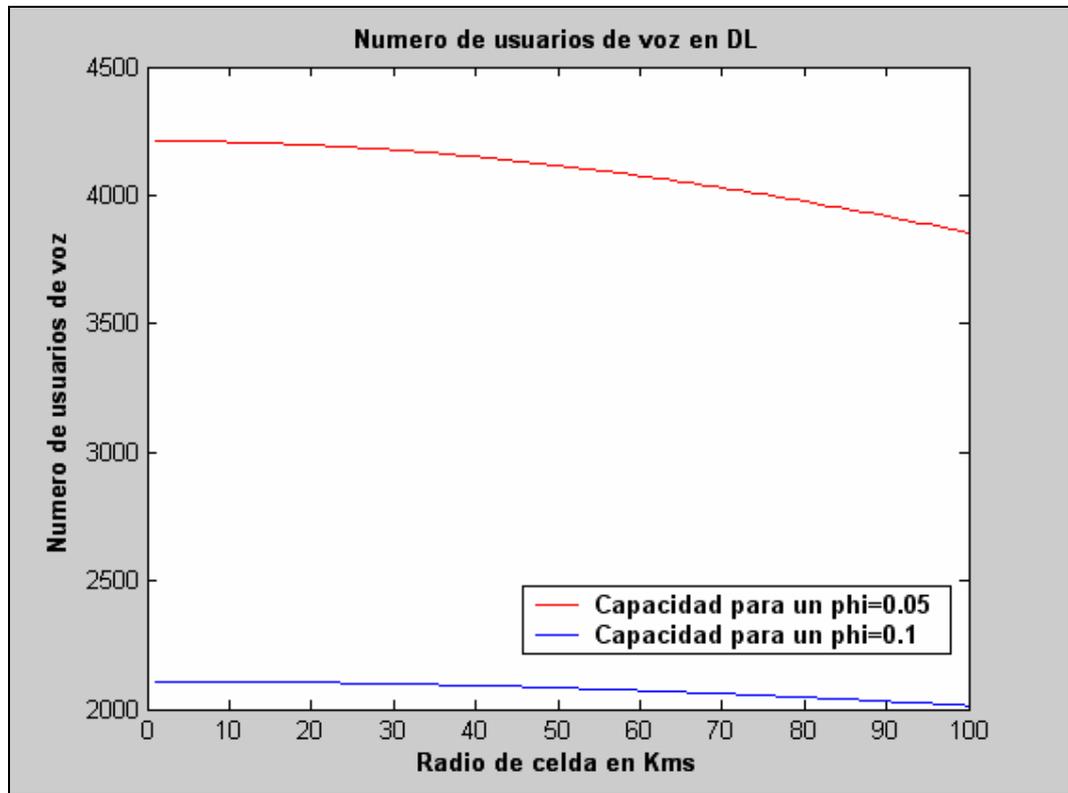


Figura 3.42. N° usuarios de voz en TMA para diferentes  $\phi$  en DL

El factor de ortogonalidad influye sobre la capacidad global logrando duplicarla, para un factor reducido a la mitad. Esto nos da una idea de lo importante que puede llegar a ser el multitrayecto sobre el número de usuarios que es capaz de abastecer nuestro sistema.

Las siguientes tablas recogen la capacidad final:

R(km)	Phi	Capacidad
1	0,05	4212
50	0,05	4120
100	0,05	3855

R(km)	Phi	Capacidad
1	0.1	2108
50	0.1	2083
100	0.1	2015

Tabla 3.12. N° usuarios de voz en TMA para diferentes  $\phi$  en DL

\*CASO 7:

**ENR:**

El parámetro modificado ha sido *el factor de ruido*. Se ha escogido entre  $4 \leq NF \leq 7$ .

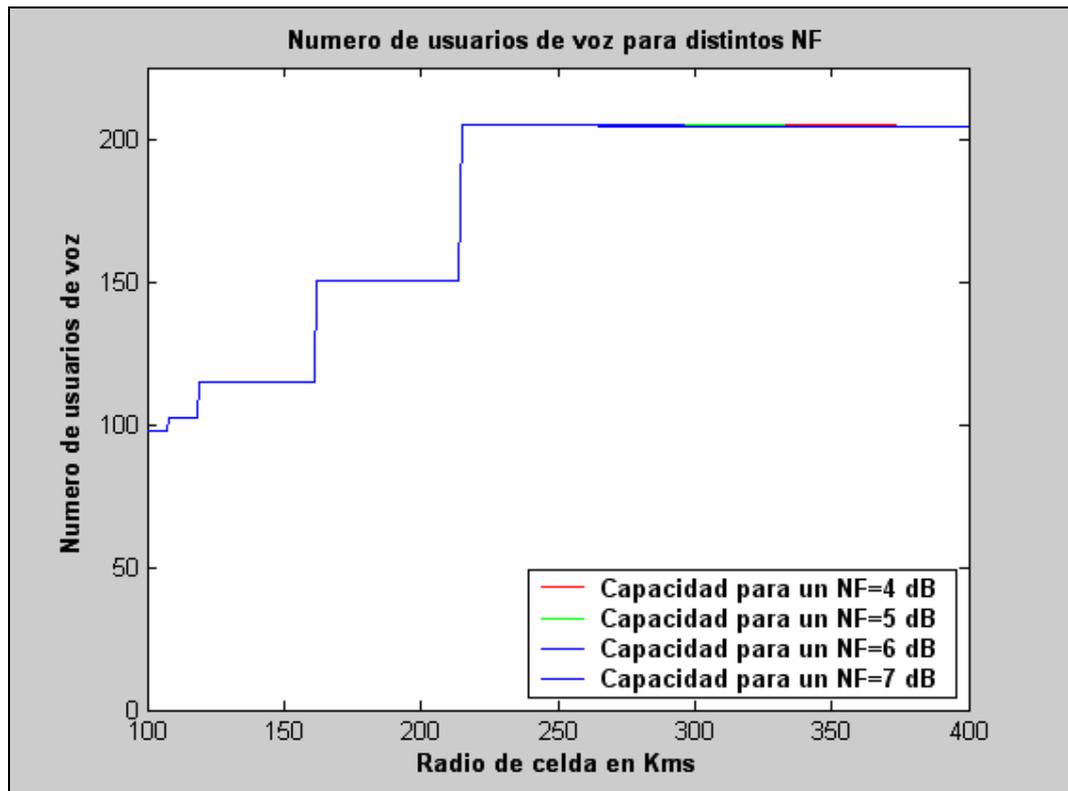


Figura 3.43. N° de usuarios de voz en ENR para distintos factores de ruido en DL

El factor de ruido sólo influye ligeramente en el tramo final, correspondiente a los 300-400 Km., aunque no logra aumentar el número de usuarios. Por lo que se puede concluir que, el orden de magnitud que consideramos para el factor de ruido no afecta a la capacidad global.

En conclusión, los resultados extraídos son análogos a los del caso general.

TMA:

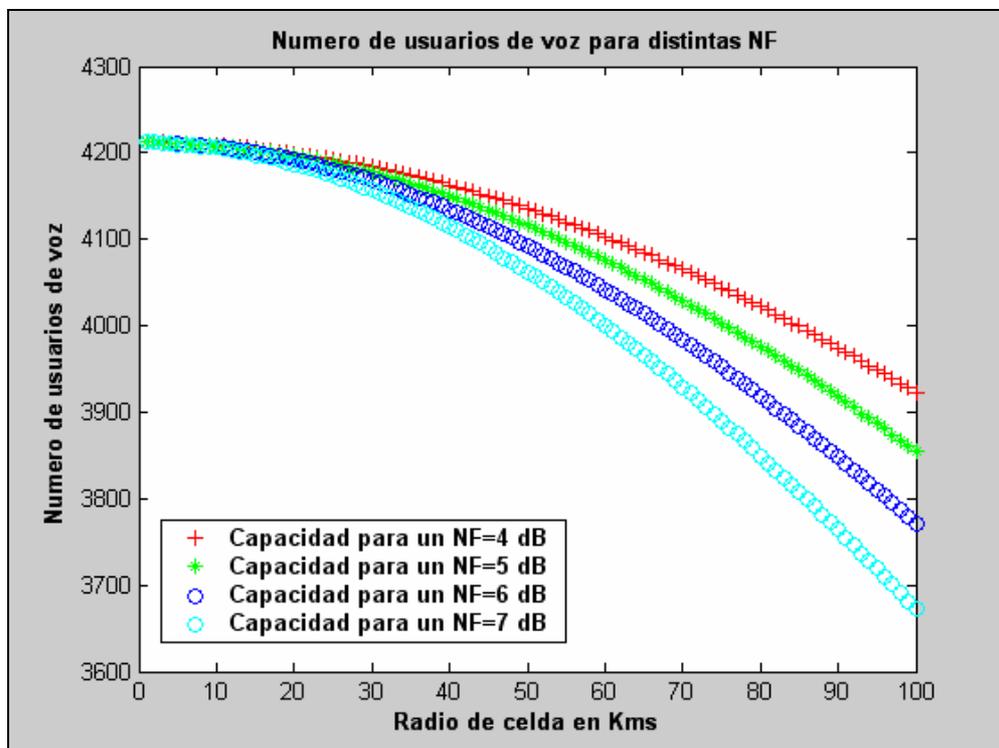


Figura 3.44. N° de usuarios de voz en TMA para distintos NF en DL

El incremento del factor de ruido produce una disminución en la capacidad a lo largo de toda la trayectoria del avión en relación al caso general. Es decir, a mayor factor de ruido, menor capacidad.

La capacidad final se muestra a continuación para cada valor de R

R(km)	NF(dB)	Capacidad	R(km)	NF(dB)	Capacidad
1	4	4212	1	5	4212
50	4	4140	50	5	4116
100	4	3923	100	5	3855

R(km)	NF(dB)	Capacidad	R(km)	NF(dB)	Capacidad
1	6	4212	1	7	4212
50	6	4092	50	7	4060
100	6	3772	100	7	3672

Tabla 3.13. Número de usuarios de voz en TMA para distintos factores de ruido en DL

\*CASO 8:

**ENR:**

El parámetro modificado ha sido duplicar *la ganancia de la antena de la estación base*. Se ha simulado el caso con los valores de 14, 15 y 16 dB.

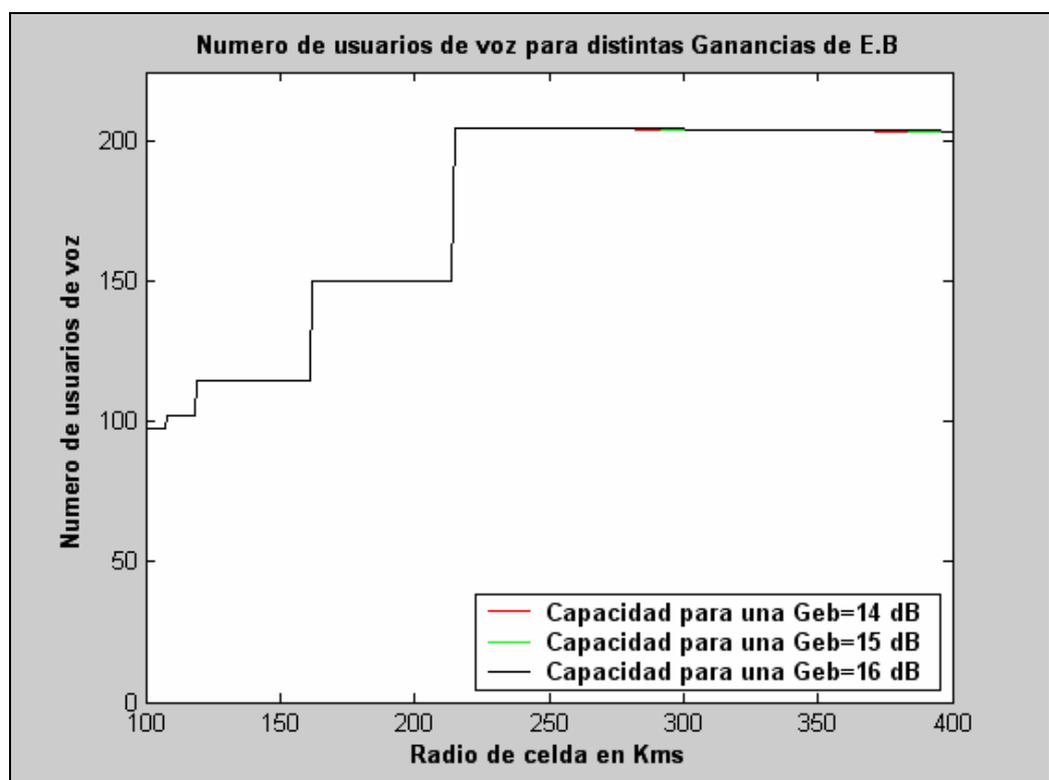


Figura 3.45. N° de usuarios de voz en ENR para distintas ganancias de EB en DL

La capacidad global no sufre variación ninguna al modificar la ganancia de la antena de la estación base, quizás debido a que la ganancia no es muy considerable.

Por tanto, la capacidad global es idéntica a la del caso general.

TMA:

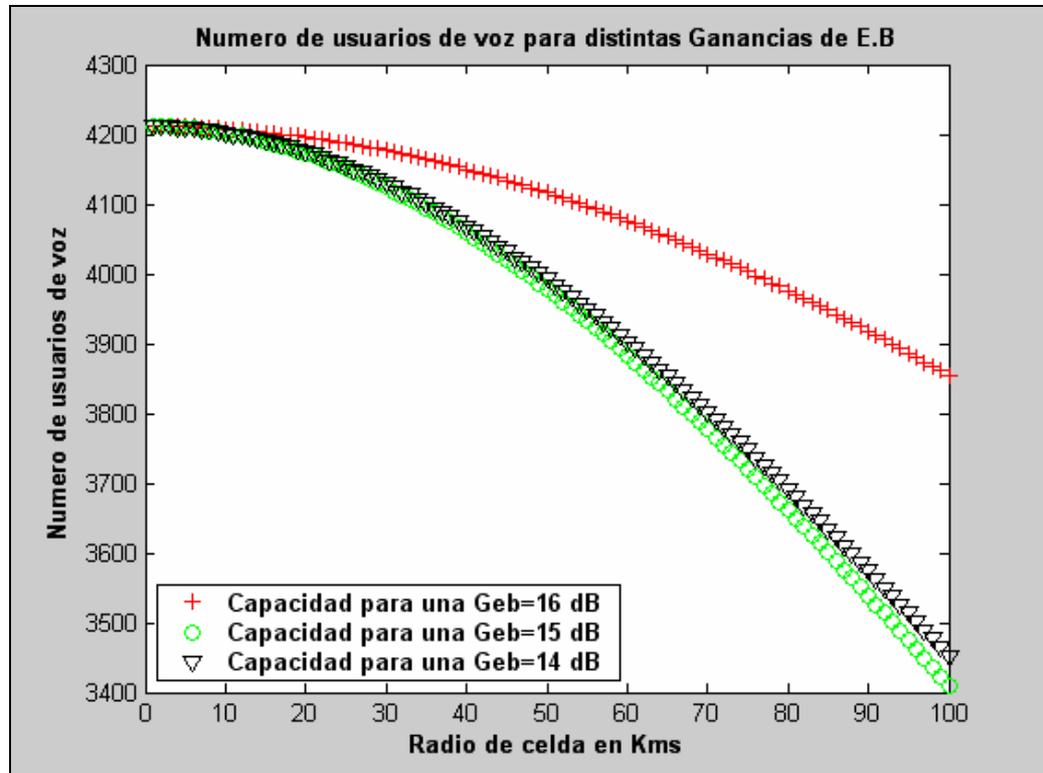


Figura 3.46. N° de usuarios de voz en TMA para distintas ganancias de EB en DL

La capacidad inicial para un  $R=0$  Km. es la misma, pero globalmente se incrementa de forma considerable conforme aumenta el radio de celda. Es decir, el sistema admite más usuarios de voz para una ganancia de estación base mayor.

La capacidad se muestra a continuación:

R(km)	Geb(dB)	Capacidad
1	14	4212
50	14	3993
100	14	3450

R(km)	Geb(dB)	Capacidad
1	15	4212
50	15	3978
100	15	3410

R(km)	Geb(dB)	Capacidad
1	16	4212
50	16	4118
100	16	3855

Tabla 3.14. Número de usuarios de voz en TMA para distintas ganancias de EB en DL

\*CASO 9:

**ENR:**

El parámetro modificado ha sido modificar la *ganancia de la antena del avión*.

Los valores que se han escogido han sido 0, 1 y 2 dB.

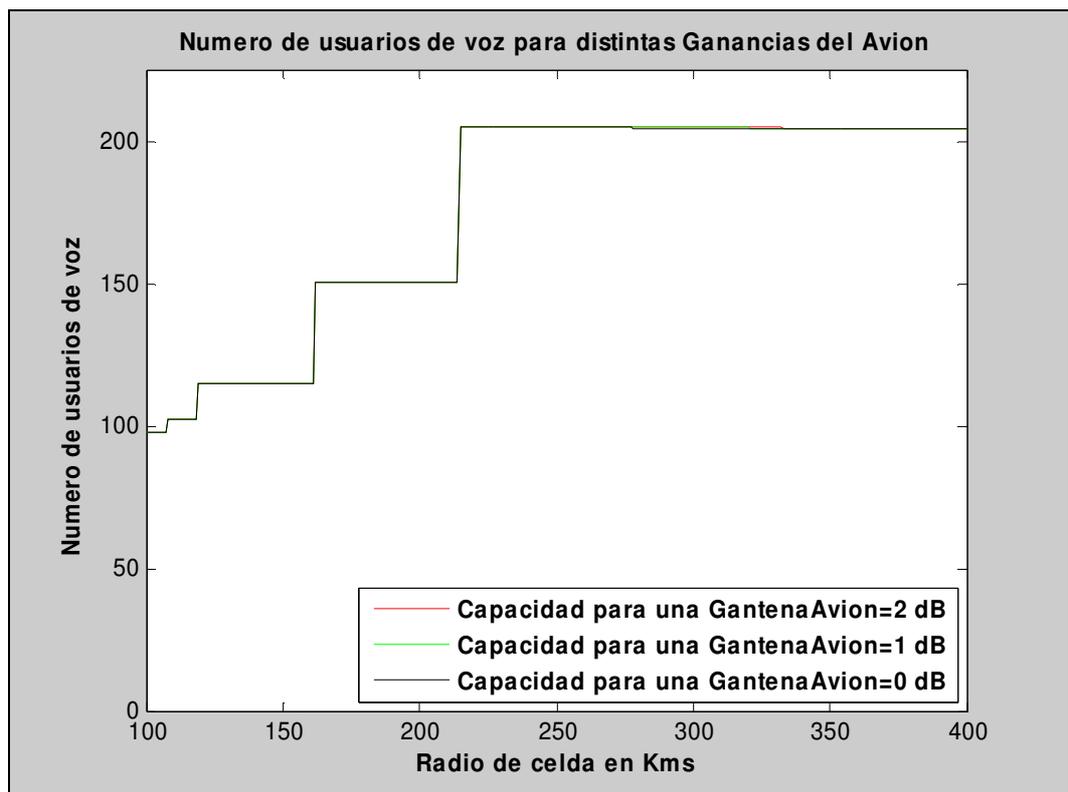


Figura 3.47. N° de usuarios de voz en ENR para distintas ganancias del avión en DL

La ganancia de la antena del avión no repercute sobre la capacidad del sistema de forma notoria, en ningún tramo de la trayectoria del mismo.

TMA:

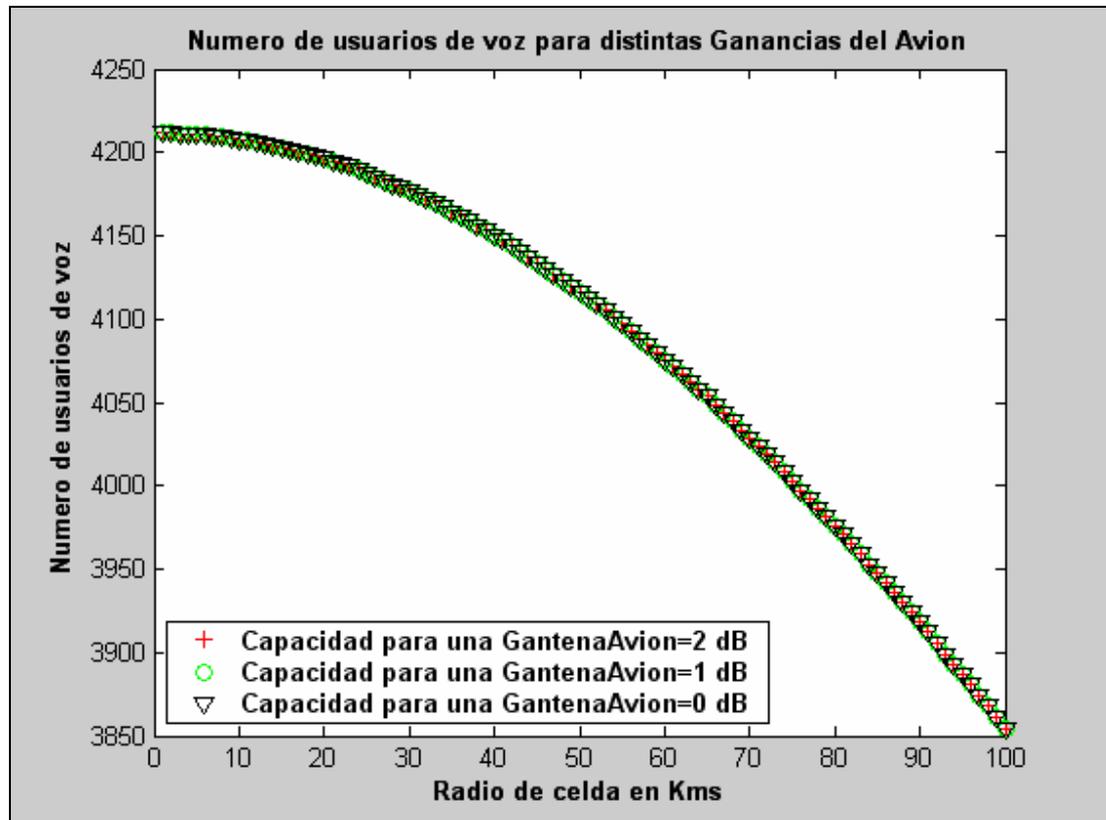


Figura 3.48. N° usuarios de voz TMA para distintas ganancias del avión en DL

El comportamiento general es análogo al del caso general, por lo que la ganancia de la antena del avión no implica ninguna ganancia en capacidad sobre el estudio del sistema W-CDMA aire/tierra que nos ocupa.

### 3.4.2.2.2 “Datos”

\*CASO GENERAL:

**ENR:**

A continuación hemos procedido de forma análoga a la seguida para implementar la gran cantidad de casos anteriores, con las siguientes modificaciones respecto a voz:

\* $\alpha=1$

\* $G_p=32$

\*  $E_b/N_0 = 3$  dB

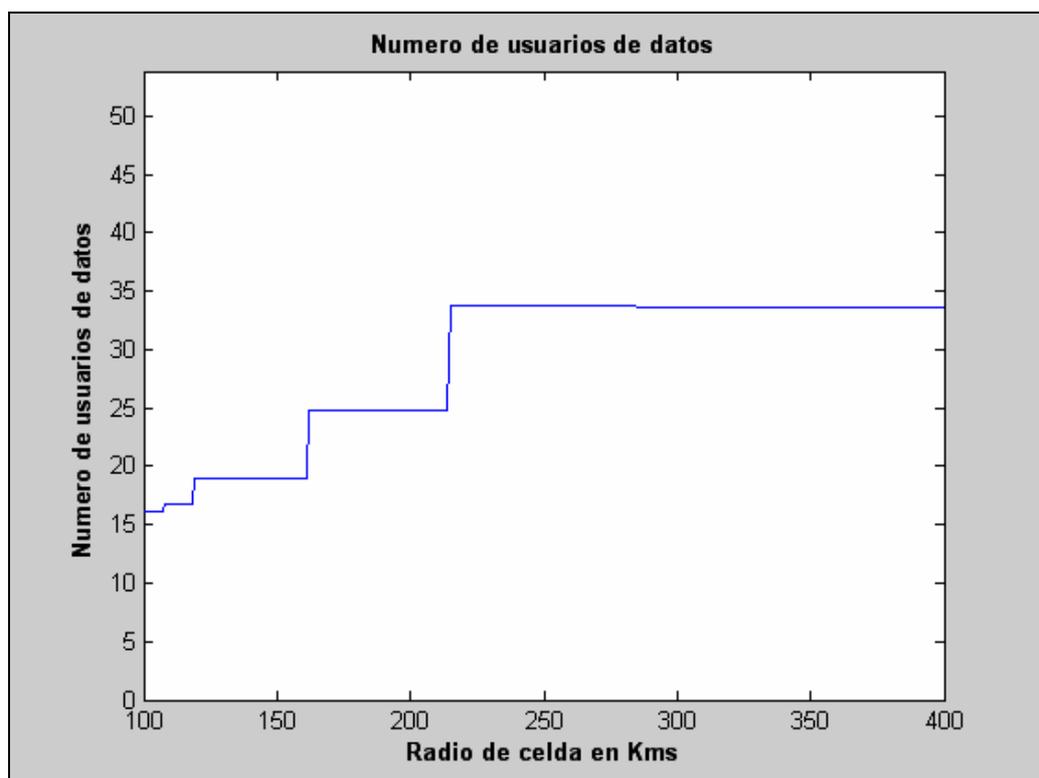


Figura 3.49. Número de usuarios de datos en ENR en DL

Los saltos en capacidad comienzan siendo pequeños, hasta llegar al último, que se produce a una distancia equivalente a la mitad de la distancia de *L.O.S* ( $\approx 214$  km.).

Las mismas conclusiones extraídas para el caso de voz son de aplicación en este caso general.

Por tanto, la capacidad se puede resumir de la siguiente forma:

R(km)	Capacidad
$100 \leq R < 107$	16
$107 \leq R < 118$	16,7
$118 \leq R < 161$	19
$161 \leq R < 215$	25
$215 \leq R < 400$	34

*Tabla 3.15. Número de usuarios de datos en ENR en DL*

TMA:

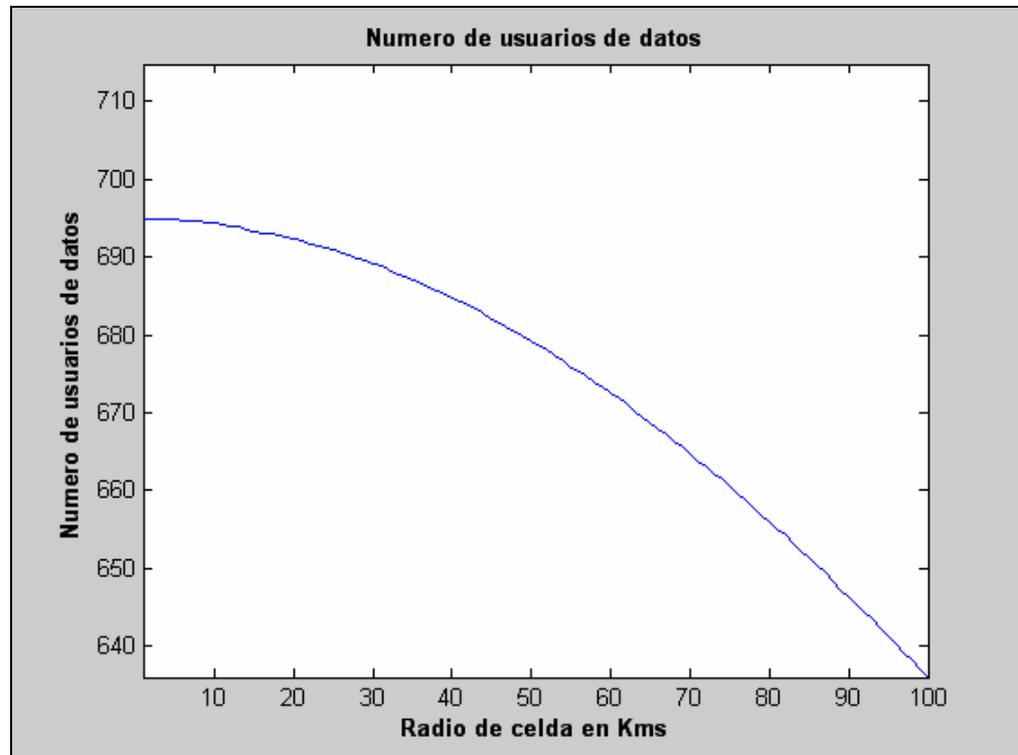


Figura 3.50. Número de usuarios de datos en TMA en DL

- Para un radio de celda  $R=1$  Km. **695 usuarios/celda.**
- Para un  $R=50$  Km. **680 usuarios/celda.**
- Para un  $R=100$  Km. **636 usuarios/celda.**

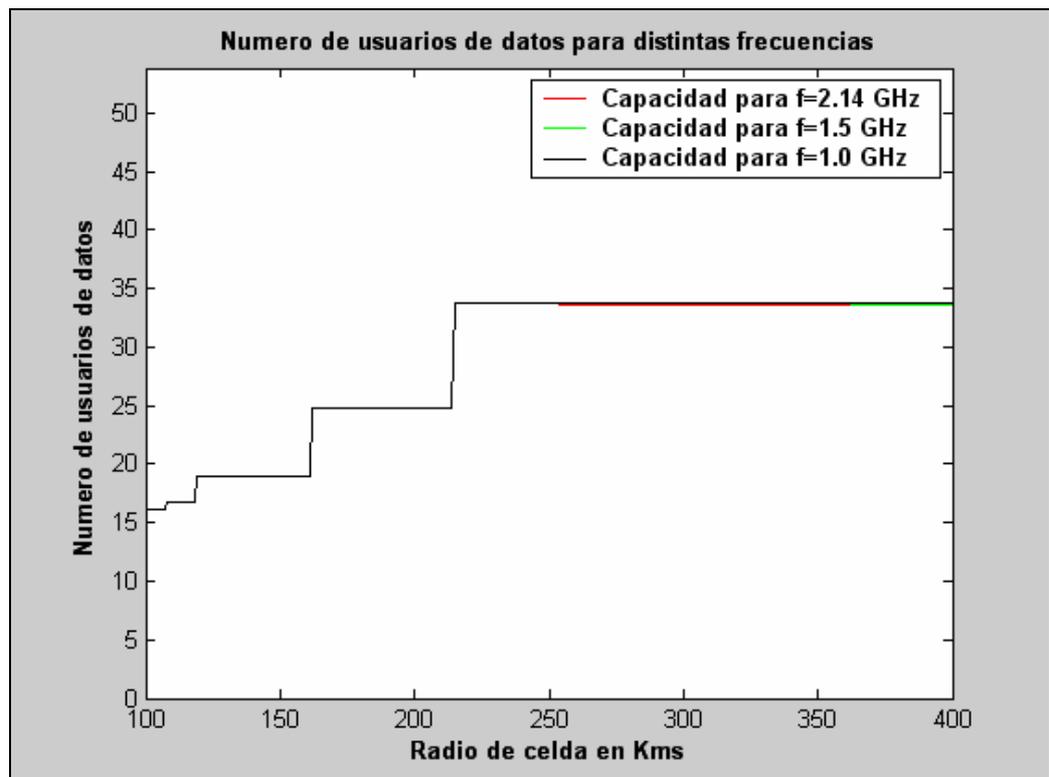
Como se puede apreciar, la capacidad inicial es mayor al comienzo debido a que la interferencia es menor, y ésta se incrementa a medida que el avión gana altura en su trayectoria.

\*CASO 1:

**ENR:**

Hemos supuesto **tres frecuencias de funcionamiento** (5, 2.14, y 1 GHz).

Las simulaciones extraídas han sido las siguientes:



*Figura 3.51. Número de usuarios de datos en ENR para distintas frecuencias en DL*

La capacidad se mantiene invariante con respecto al caso general, únicamente se aprecia una ligera desviación en la pendiente del tramo correspondiente a la mitad sobrepasada de la distancia *L.O.S*, en la zona debida a la contribución de la pérdida básica.

Por tanto la frecuencia no es un parámetro que afecte a nuestro estudio.

TMA:

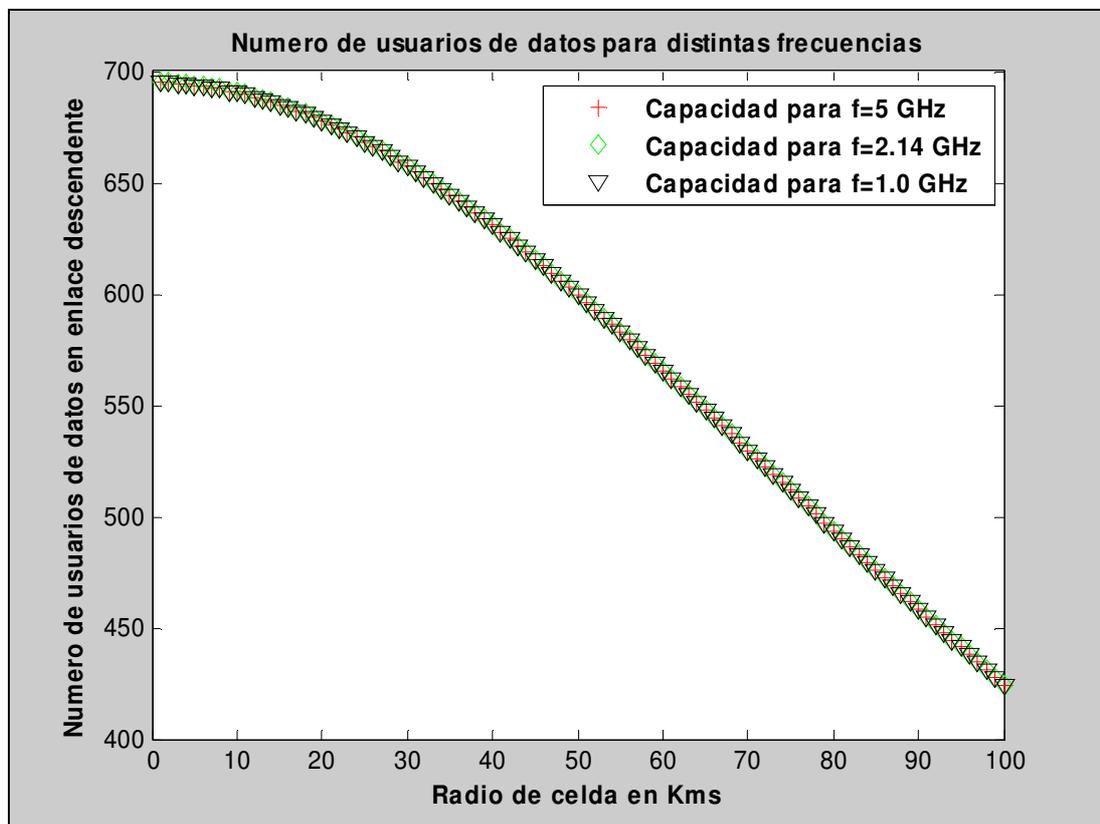


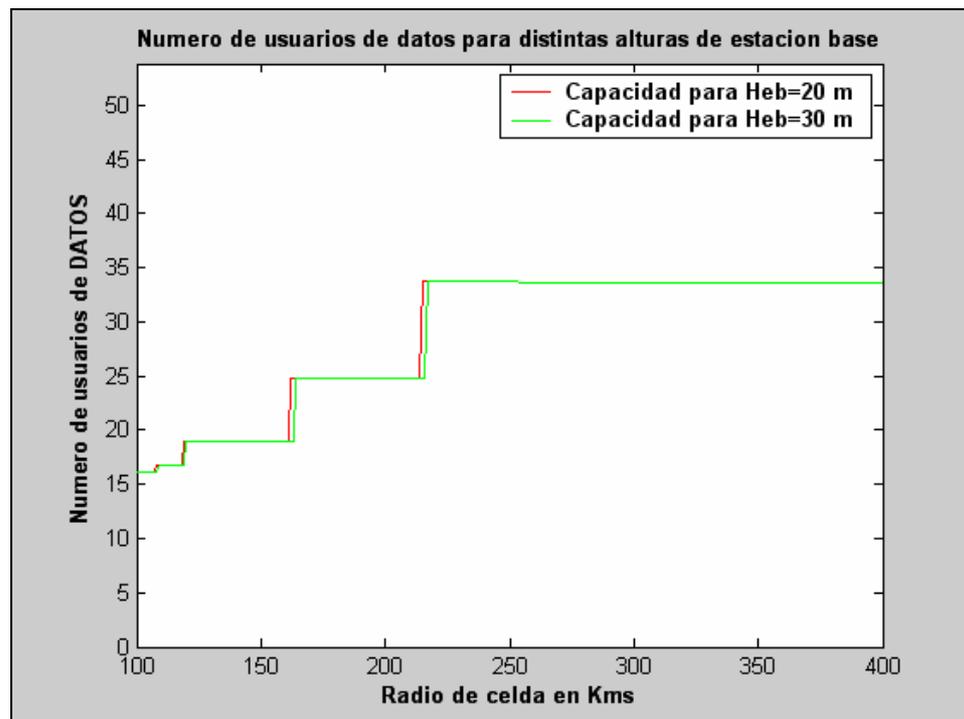
Figura 3.52. Número de usuarios de datos en TMA para distintas frecuencias en DL

Aunque a simple vista no se observa con mucha nitidez, las tres frecuencias barajadas no producen ningún resultado en lo que se refiere a la variación de la capacidad, por lo que no supone ningún efecto sobre este estudio.

\*CASO 2:

**ENR:**

El parámetro modificado ha sido **la altura de la estación base**, de 20 y 30 m. respectivamente.



*Figura 3.53. Número de usuarios de datos en ENR para distintas alturas de EB en DL*

El incremento de la altura de la estación base no supone ninguna consecuencia sobre los saltos en capacidad, sino que simplemente ocurre un desplazamiento en distancia de los mismos con respecto a la inicial, por lo que la distancia de *L.O.S* se reduce para una menor altura de la estación base.

Es decir, el incremento de la altura de la estación base produce un aumento en la distancia relativa entre ambos para el mismo número de saltos en capacidad, por lo que logrando una menor altura se consigue la misma capacidad de usuarios pero a distancias inferiores a las del caso general.

La capacidad se puede resumir en la siguiente tabla:

R(km)	Heb(m)	Capacidad	R(km)	Heb(m)	Capacidad
$100 \leq R < 107$	20	97,8	$100 \leq R < 107$	30	97,8
$107 \leq R < 118$	20	102	$107 \leq R < 119$	30	102
$118 \leq R < 161$	20	115	$119 \leq R < 163$	30	115
$161 \leq R < 215$	20	150	$163 \leq R < 216$	30	150
$215 \leq R < 400$	20	205	$216 \leq R < 400$	30	205

Tabla 3.16. Número de usuarios de datos en ENR para distintas alturas de EB en DL

TMA:

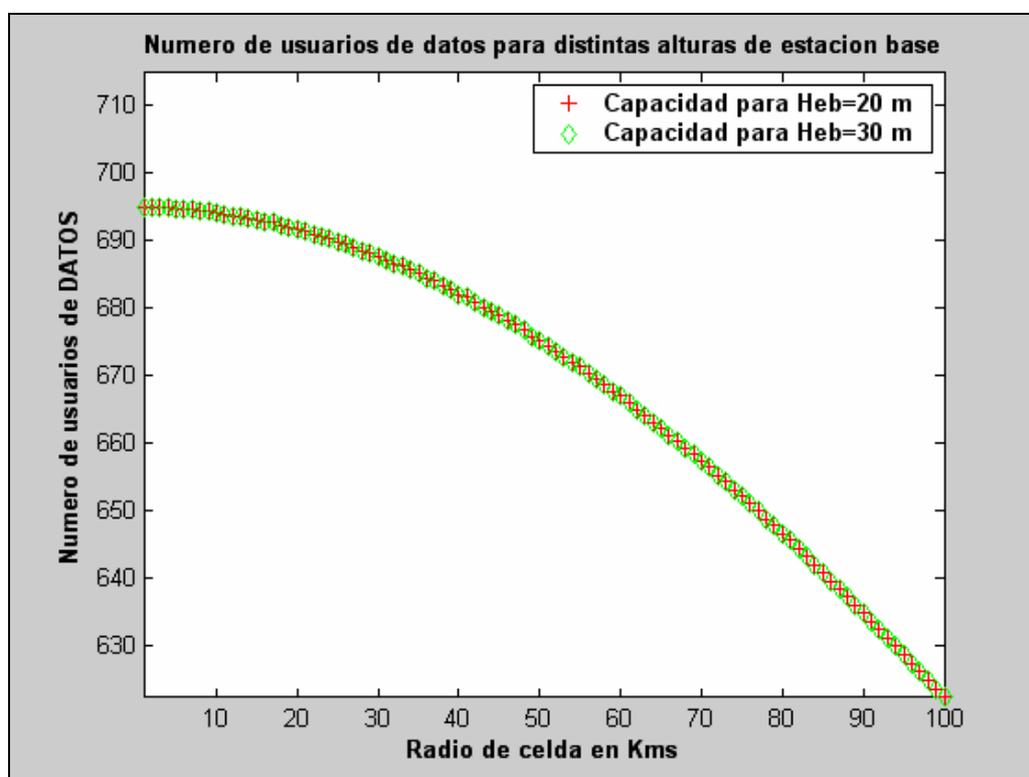


Figura 3.54. Número de usuarios de datos en TMA para distintas alturas de EB en DL

En este caso, las distintas alturas de la estación base no suponen ninguna influencia en nuestro estudio.

En resumen, la capacidad obtenida es la misma que la del caso general.

\*CASO 3:

**ENR:**

El parámetro modificado ha sido la *altura efectiva del avión*. La altura máxima de los aviones comerciales se sitúa alrededor de unos 36.000 pies. Sabiendo que 1 pie= 0,305 m, se ha probado con alturas de 10.000, 11.000 y 12.000 metros.

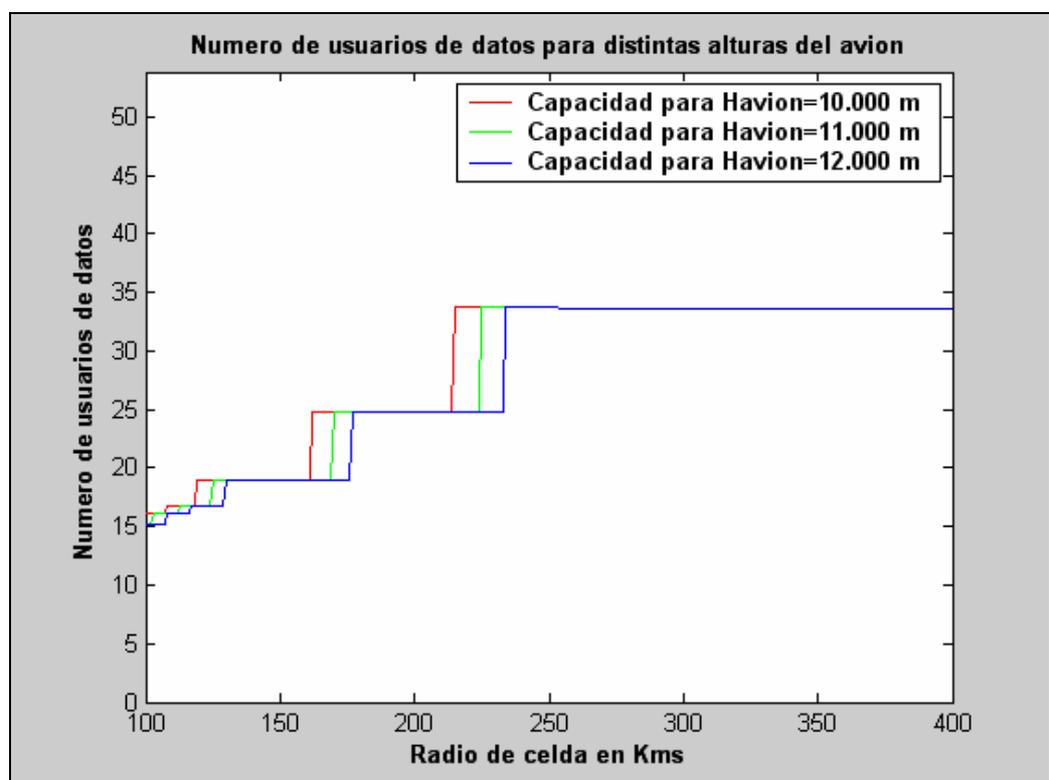


Figura 3.55. N° usuarios de datos en ENR para distintas alturas del avión en DL

Se observa que el incremento de la altura del avión sí tiene consecuencias sobre los saltos en capacidad, puesto que produce un desplazamiento en distancia de los mismos con respecto a la inicial, por lo que la distancia de *L.O.S* se reduce para una altura más baja del avión.

En conclusión, el incremento de la altura del avión produce un aumento en la distancia relativa entre ambos para el mismo número de saltos en capacidad, por lo que cuanto más bajo

vuele, lograremos la misma capacidad de usuarios pero a distancias inferiores a las del caso general o equivalentemente, más usuarios para la distancia del caso general.

Los resultados se muestran a continuación:

R(km)	Havión(m)	Capacidad
$100 \leq R < 107$	10.000	16
$107 \leq R < 118$	10.000	16,7
$118 \leq R < 161$	10.000	19
$161 \leq R < 215$	10.000	25
$215 \leq R < 400$	10.000	34

R(km)	Havión(m)	Capacidad
$100 \leq R < 102$	11.000	15
$102 \leq R < 112$	11.000	16
$112 \leq R < 124$	11.000	16,7
$124 \leq R < 170$	11.000	19
$170 \leq R < 224$	11.000	25
$224 \leq R < 400$	11.000	34

*Tabla 3.17. Número de usuarios de datos en ENR para distintas alturas del avión en DL*

TMA:

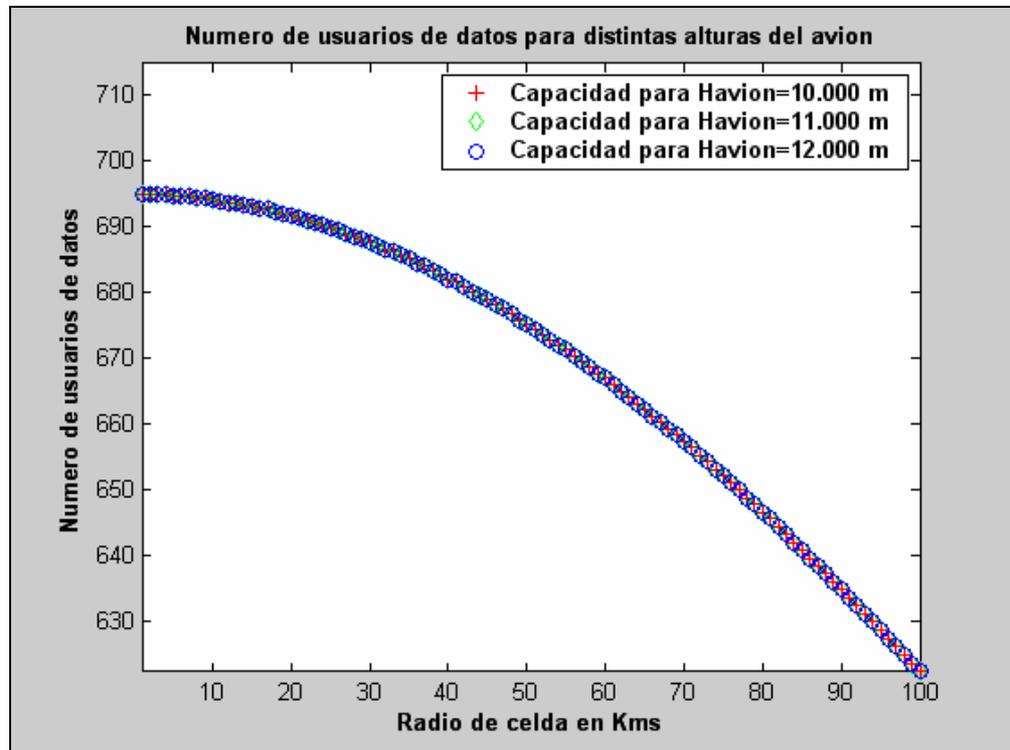


Figura 3.56. N° usuarios de datos en TMA para distintas alturas del avión en DL

La altura del avión no produce ningún efecto sobre el cómputo final de capacidad del sistema en cuestión considerado, puesto que como se aprecia, el comportamiento es idéntico al del caso general.

\*CASO 4:

**ENR:**

El parámetro modificado ha sido la *potencia de la estación base*. Los valores elegidos han sido **50, 100 y 200 W**.

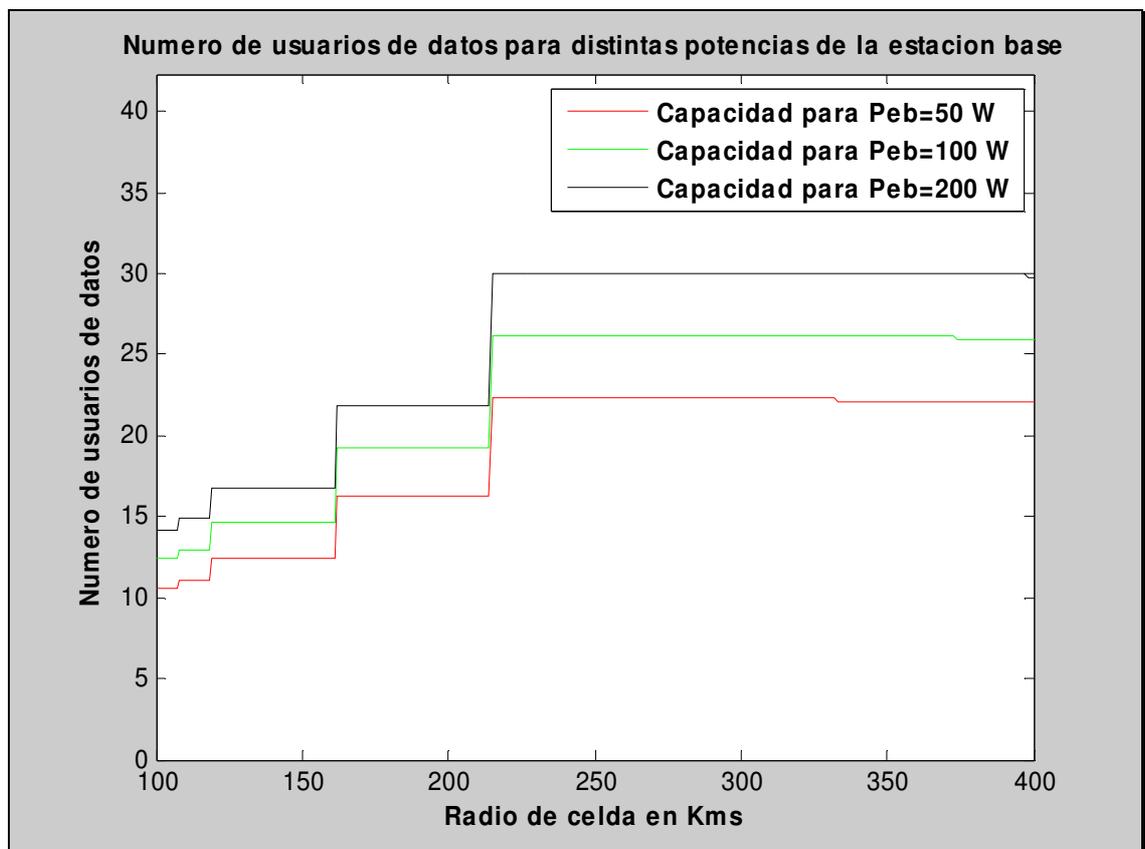


Figura 3.57. N° de usuarios de datos en ENR para distintas potencias de EB en DL

Como se desprende de la gráfica, las distintas potencias no influyen sobre la capacidad del sistema, únicamente insinúan un ligero cambio de la pendiente en el tramo de 200 a 400 km., sin que se aprecie un cambio en el número de usuarios.

**TMA:**

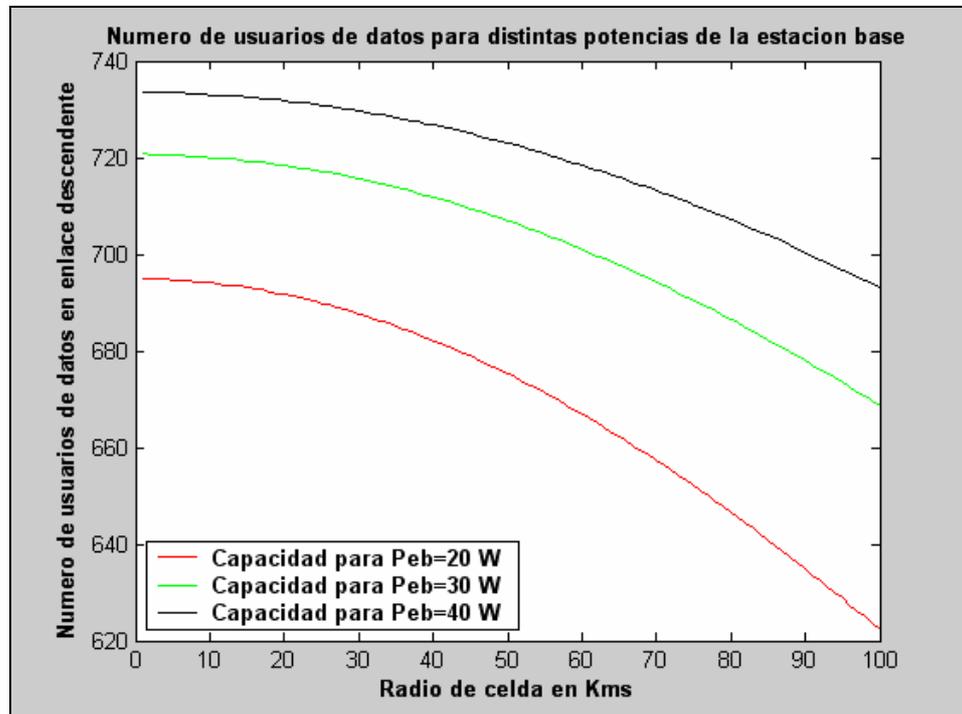


Figura 3.58. N° usuarios datos en TMA para distintas potencias de EB en DL

Muy al contrario del caso anterior, las distintas potencias tomadas como potencias de estación base originan un cambio sustancial en la capacidad, incrementándose ésta a medida que aumenta la potencia sugerida.

Este gran incremento se debe a que cuando no existe interferencia extracelular incrementar la potencia supone una ventaja nada desdeñable, no siendo así en ENR.

La capacidad final se resume de la siguiente forma:

Peb(W)	R(km)	Usuarios/celda
20	1	695
30	1	720
40	1	733

Peb(W)	R(km)	Usuarios/celda
20	50	680
30	50	707
40	50	723

Peb(W)	R(km)	Usuarios/celda
20	100	636
30	100	668
40	100	694

Tabla 3.18. N° usuarios de datos en TMA para distintas potencias de EB en DL

\*CASO 5:

El parámetro modificado ha *el número de células adyacentes*. Se ha simulado con 20, 30, 40, 50 y 60 células adyacentes.

ENR:

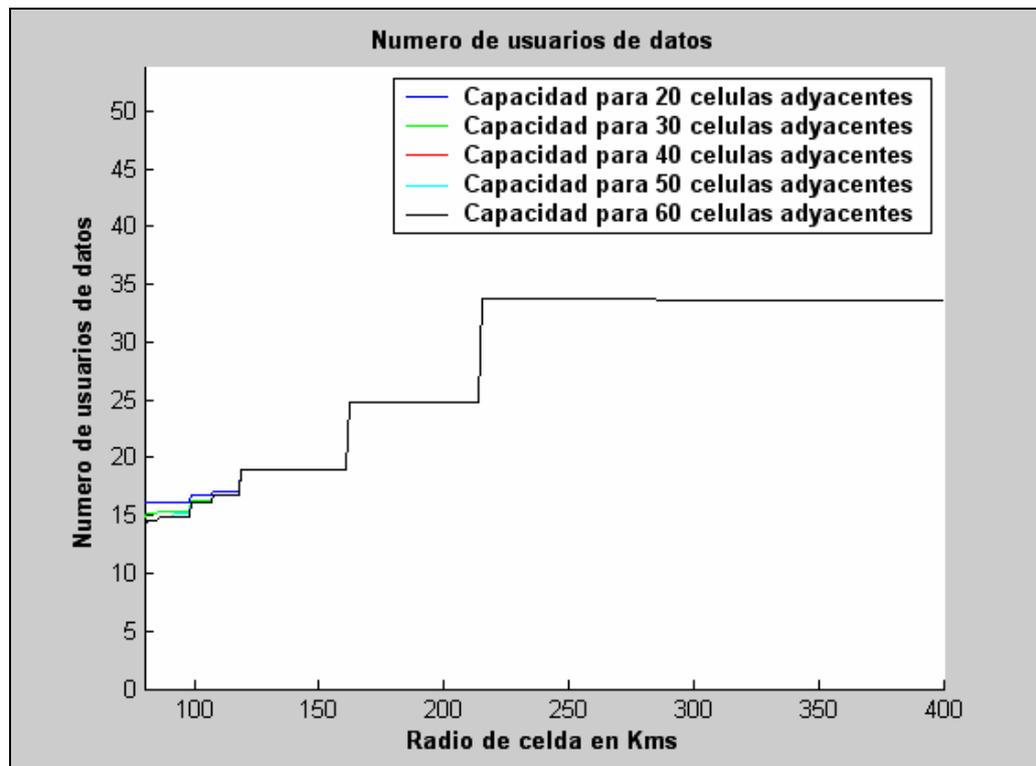


Figura 3.59. N° usuarios de datos en ENR para diferentes células adyacentes en DL

El comportamiento general es análogo al que sucedía en voz. El número de células adyacentes sólo influye en un tramo inicial de 130 Km., quedando la capacidad final como sigue:

R(km)	Nº células	Capacidad	R(km)	Nº células	Capacidad
$100 \leq R < 107$	20	16,7	$100 \leq R < 107$	30	16,3
$107 \leq R < 118$	20	17	$107 \leq R < 118$	30	16,8
$118 \leq R < 161$	20	19	$118 \leq R < 161$	30	19
$161 \leq R < 215$	20	25	$161 \leq R < 215$	30	25
$215 \leq R < 400$	20	34	$215 \leq R < 400$	30	34

R(km)	Nº células	Capacidad	R(km)	Nº células	Capacidad
$100 \leq R < 107$	40	16,1	$100 \leq R < 107$	50	16,1
$107 \leq R < 118$	40	16,8	$107 \leq R < 118$	50	16,8
$118 \leq R < 161$	40	19	$118 \leq R < 161$	50	19
$161 \leq R < 215$	40	25	$161 \leq R < 215$	50	25
$215 \leq R < 400$	40	34	$215 \leq R < 400$	50	34

R(km)	Nº células	Capacidad
$100 \leq R < 107$	60	16,1
$107 \leq R < 118$	60	16,8
$118 \leq R < 161$	60	19
$161 \leq R < 215$	60	25
$215 \leq R < 400$	60	34

Tabla 3.19. N° usuarios de datos en ENR para diferente n° de células adyacentes en DL

#### TMA:

Las mismas consideraciones que realizábamos para voz son de aplicación también en esta sección.

\*CASO 6:

**ENR:**

El parámetro modificado ha sido el *factor de ortogonalidad, debido a interferencias multitrayecto*. Los valores probados han sido 0.05 y 0.1.

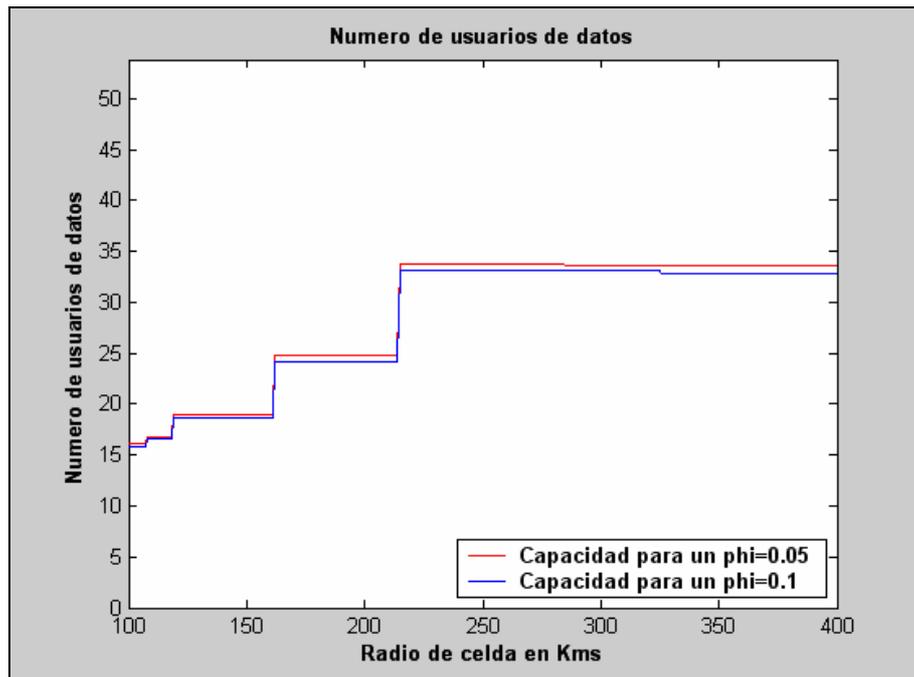


Figura 3.60. N° usuarios de datos en ENR para distintos  $\phi$  en DL

En este caso, disminuir el factor de ortogonalidad ha supuesto incrementar en un usuario la capacidad final del sistema, pero en el tramo correspondiente a la mitad de L.O.S hasta 400 Km. Es decir, el factor de ortogonalidad afecta mínúsculamente.

La siguiente tabla arroja las conclusiones sobre capacidad obtenidas:

R(km)	Phi	Capacidad	R(km)	Phi	Capacidad
100 ≤ R < 107	0.05	16	100 ≤ R < 107	0.1	15,8
107 ≤ R < 118	0.05	16,7	107 ≤ R < 118	0.1	16,6
118 ≤ R < 161	0.05	19	118 ≤ R < 161	0.1	18,7
161 ≤ R < 215	0.06	25	161 ≤ R < 215	0.1	24,2
215 ≤ R < 400	0.07	34	215 ≤ R < 400	0.1	33,2

Tabla 3.20. N° usuarios de datos en ENR para distintos factores de ortogonalidad en

DL

TMA:

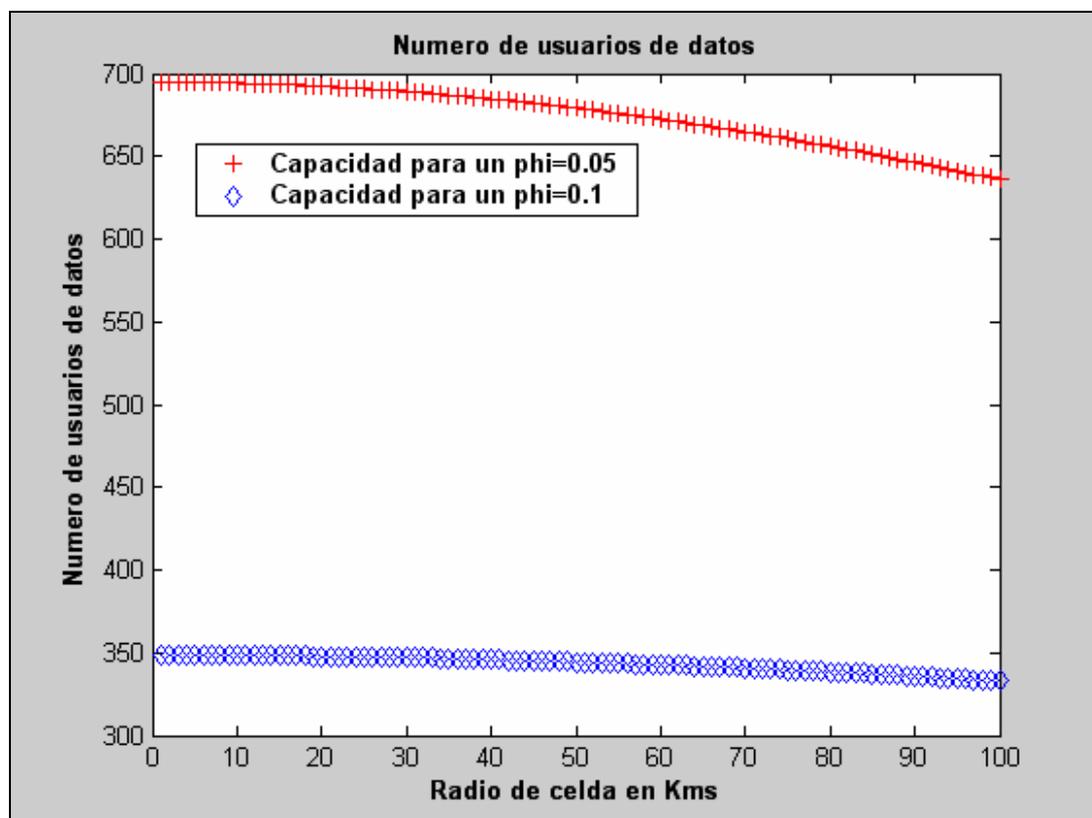


Figura 3.61. N° usuarios de datos en TMA para distintos  $\phi$  en DL

Para el caso de TMA, la capacidad ha experimentado un cambio abismal.

En conclusión, la interferencia debida a multitrayecto en TMA supone un gran perjuicio para la capacidad del número de usuarios que es capaz de soportar el sistema, por lo que disminuirla mejorará y mucho el resultado final.

La capacidad final se plasma a continuación:

R(km)	Phi	Capacidad	R(km)	Phi	Capacidad
1	0,05	695	1	0.1	349
50	0,05	680	50	0.1	345
100	0,05	636	100	0.1	333

Tabla 3.21. N° usuarios de datos en TMA para distintos  $\phi$  en DL

\*CASO 7:

**ENR:**

El parámetro modificado ha sido *el factor de ruido*. Se ha escogido entre  $4 \leq NF \leq 7$ .

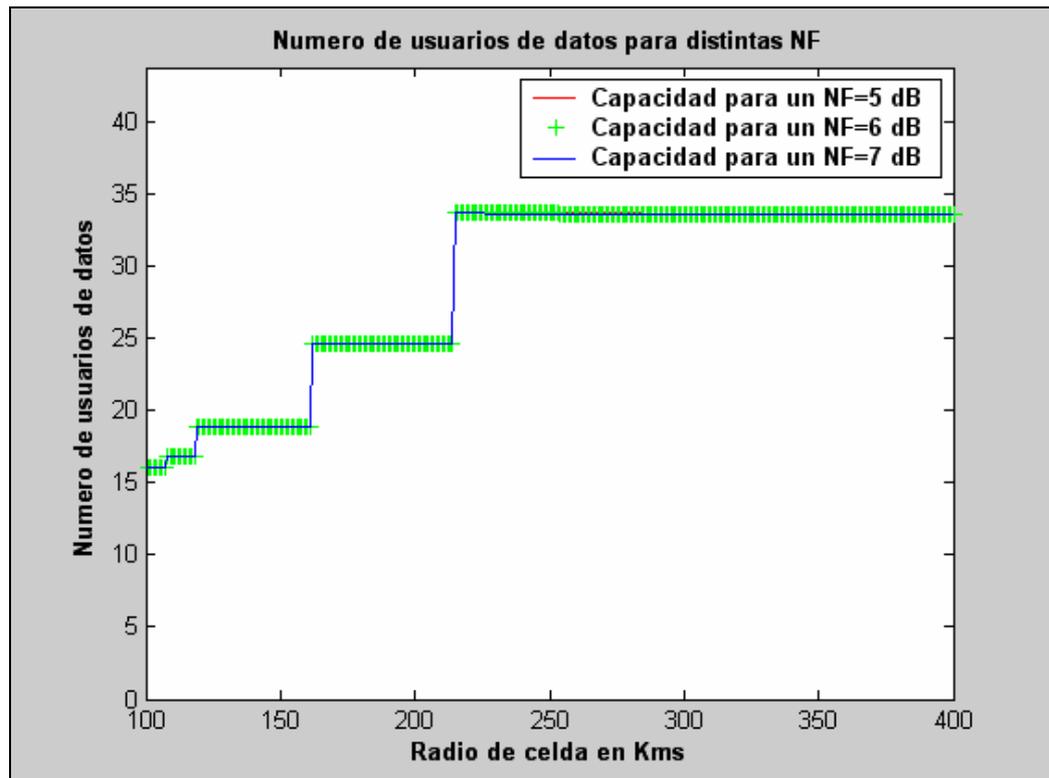


Figura 3.62. Número de usuarios de datos en ENR para distintos NF en DL

Un factor de ruido de 5, 6 ó 7 dB no supone la menor modificación sobre la capacidad, puesto que la gráfica es idéntica a la del caso general.

TMA:

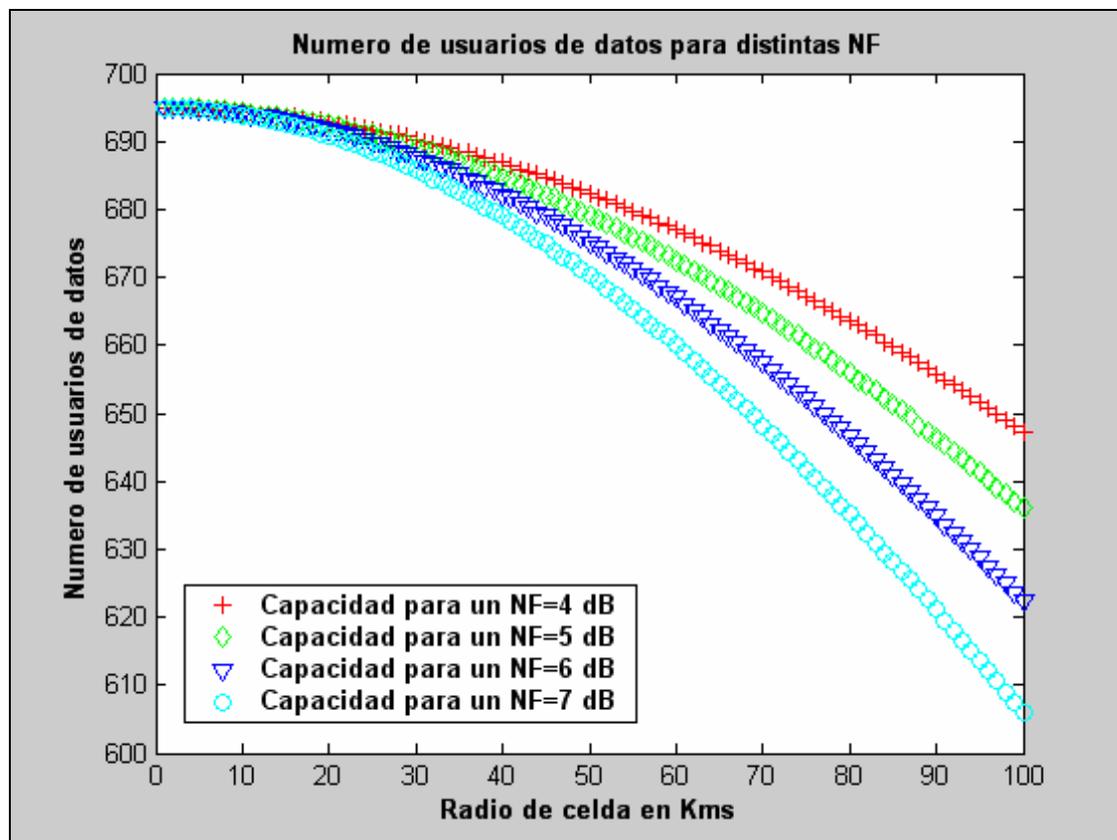


Figura 3.63. Número de usuarios de datos en TMA para distintos NF en DL

En cambio, en TMA disminuir el factor de ruido supone una ventaja considerable puesto que aunque el cambio no es muy perceptible en el tramo inicial, a raíz de la segunda mitad del trayecto la diferencia sí que es notablemente grande.

R(km)	NF(dB)	Capacidad
1	4	695
50	4	682
100	4	647

R(km)	NF(dB)	Capacidad
0	5	695
50	5	680
100	5	636

R(km)	NF(dB)	Capacidad
0	6	695
50	6	675
100	6	622

R(km)	NF(dB)	Capacidad
0	7	695
50	7	670
100	7	605

Tabla 3.22. Número de usuarios de datos en TMA para distintos NF en DL

\*CASO 8:

**ENR:**

El parámetro modificado ha sido *la ganancia de la antena de la estación base*. Se ha simulado el caso con los valores de 14, 15 y 16 dB.

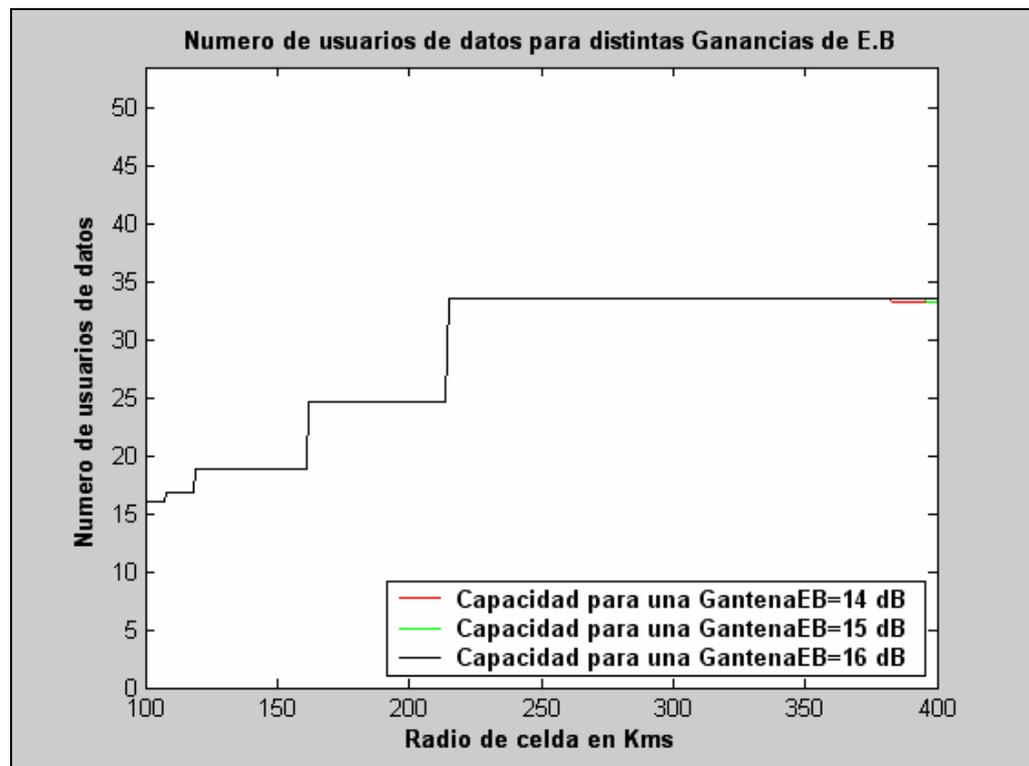


Figura 3.64. N° de usuarios de datos en ENR para distintas ganancias de EB en DL

Aquí se puede apreciar que el aumento de la ganancia se traduce únicamente en un minúsculo cambio en el último tramo, de 1 ó 2 usuarios máximo, manteniéndose igual al caso general para el resto de distancias.

TMA:

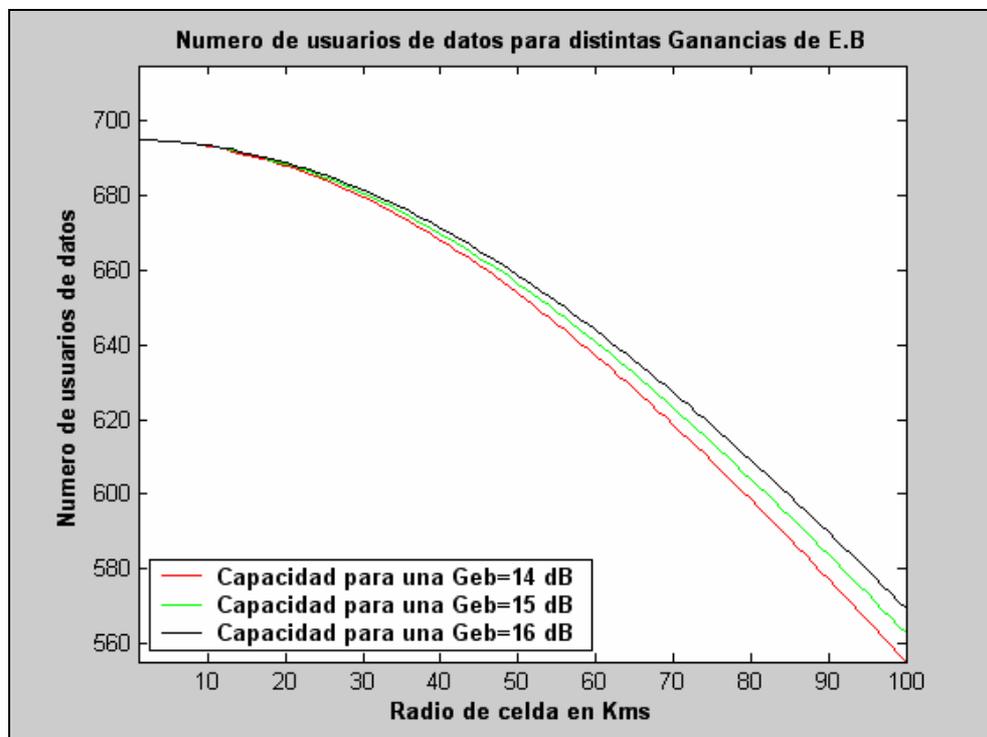


Figura 3.65. N° usuarios de datos en TMA para distintas ganancias de EB en DL

En este caso el incremento supone una mejora adicional en la capacidad de usuarios de datos.

La información se halla recopilada en las siguientes tablas:

R(km)	Geb(dB)	Capacidad
1	16	695
50	16	659
100	16	570

R(km)	Geb(dB)	Capacidad
1	15	695
50	15	657
100	15	564

R(km)	Geb(dB)	Capacidad
1	14	695
50	14	654
100	14	555

Tabla 3.23. Número de usuarios de datos en TMA para distintas ganancias de EB en DL

\*CASO 9:

**ENR:**

El parámetro modificado ha sido la *ganancia de la antena del avión*.

Los valores que se han escogido han sido 0, 1 y 2 dB.

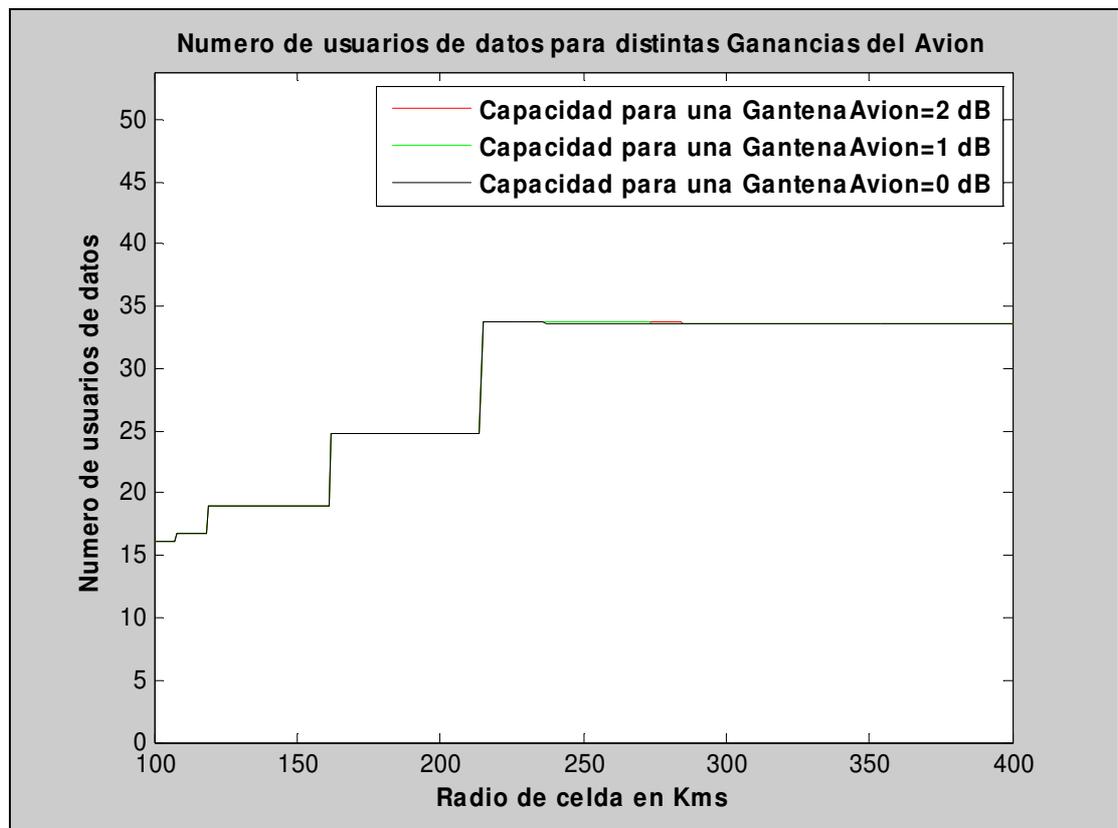


Figura 3.66. N° usuarios de datos en ENR para distintas ganancias del avión en DL

El efecto que se produce no es de gran consideración, a excepción del caso de 0 dB de ganancia.

Por tanto, los resultados son idénticos a los del caso general, a excepción del caso de ganancia de antena nula, en el cual la capacidad resulta ser de 2,5 usuarios.

TMA:

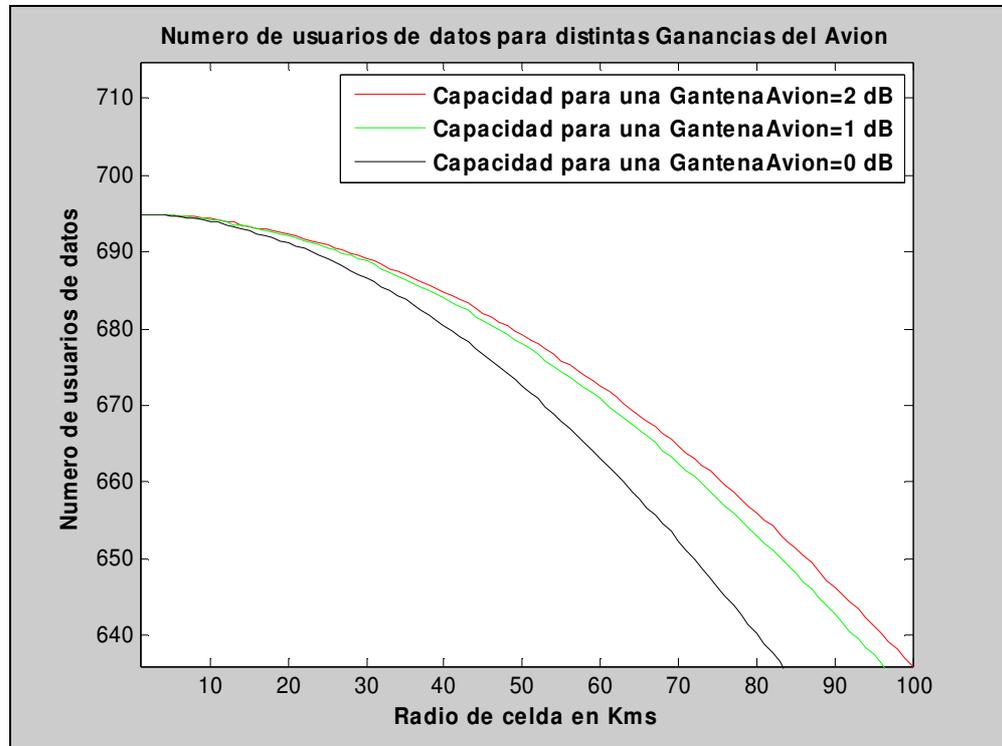


Figura 3.67. N° usuarios de datos en TMA para distintas ganancias del avión en DL

En TMA los cambios son sustanciales desde el primer momento en que se disminuye la ganancia de la antena del avión.

A continuación se muestran los resultados extraídos:

R(km)	Gav(dB)	Capacidad
1	0	686
50	0	672
100	0	613

R(km)	Gav(dB)	Capacidad
1	1	695
50	1	678
100	1	632

R(km)	Gav(dB)	Capacidad
1	2	695
50	2	679
100	2	636

Tabla 3.24. N° usuarios de datos en TMA para distintas ganancias de avión en DL

### 3.4.2.2.3 Relación entre la Capacidad de Voz y Datos

ENR:

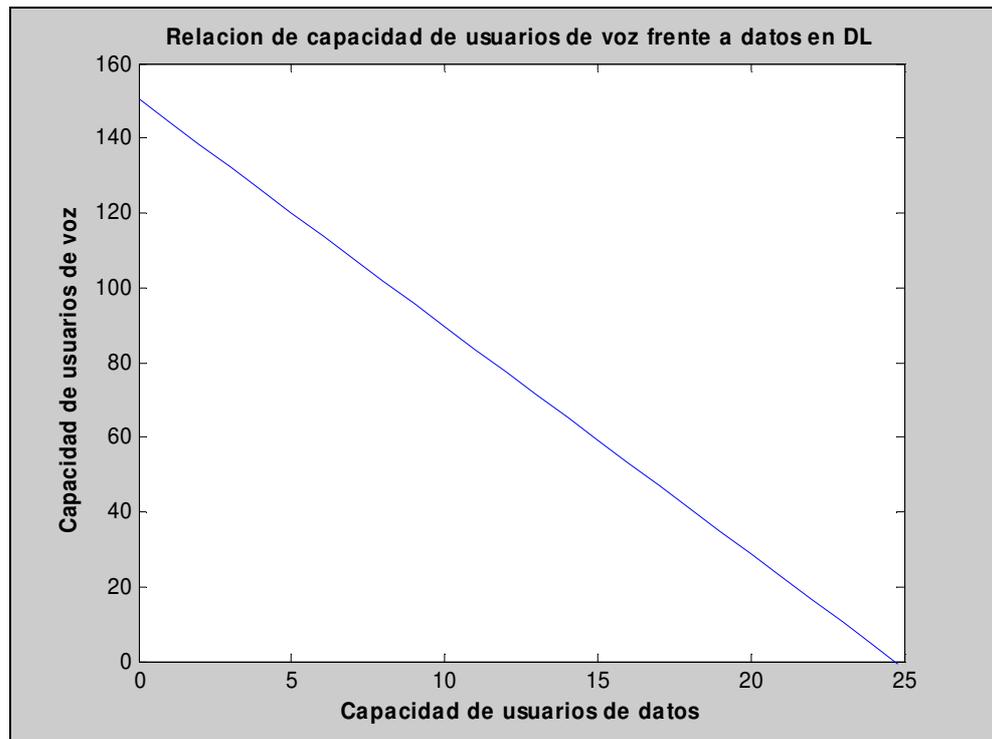


Figura 3.68. Gráfica ilustrativa de la relación capacidad datos-voz ENR en DL

La relación entre ambas es lineal, de forma que siempre es posible tener simultáneamente conectados al sistema usuarios de datos y de voz, y obviamente el número de usuarios de voz disminuye a medida que se incrementan el de datos, y viceversa, aunque nunca podrán rebasar las cifras anteriormente mencionadas, en el mejor de los casos, y nunca de forma simultánea.

Como se desprende de la gráfica, la capacidad final se resume de la siguiente forma:

- **150 usuarios de voz.**
- **24 usuarios de datos.**

TMA:

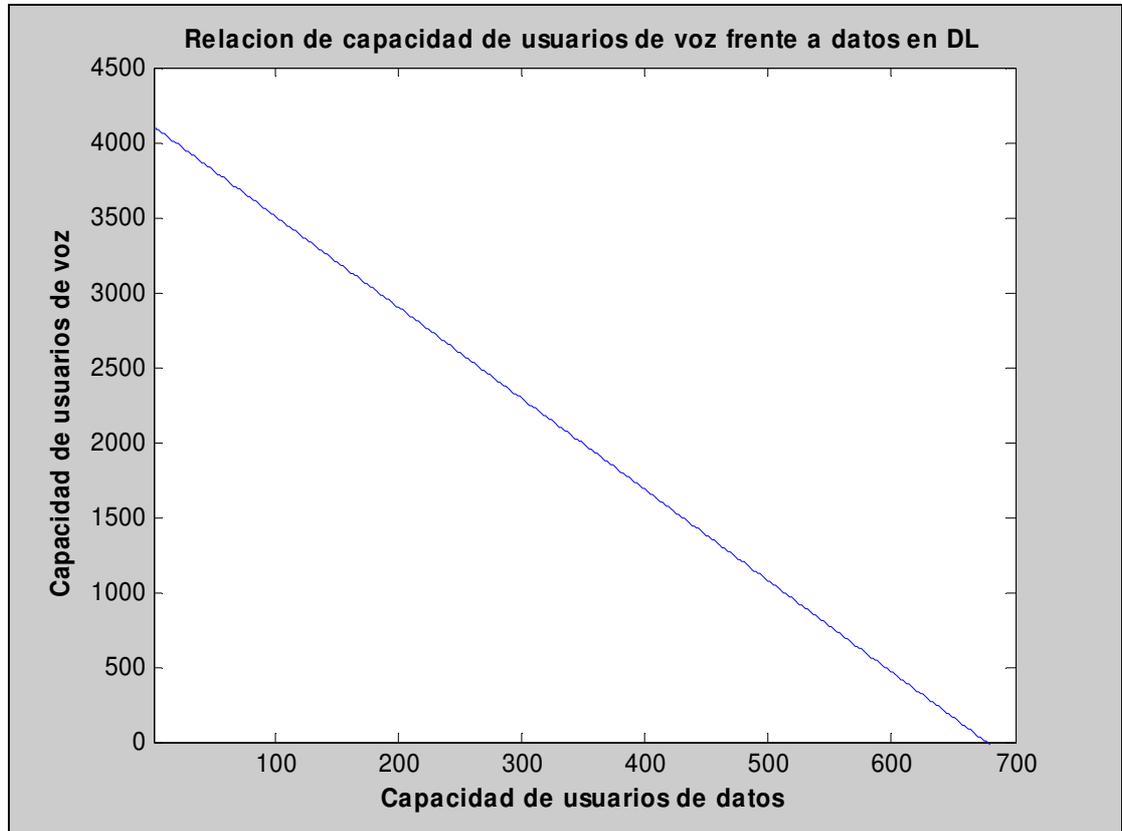


Figura 3.69. Gráfica ilustrativa de la relación capacidad datos-voz TMA en DL

La relación entre ambas es lineal, de forma que siempre es posible tener simultáneamente conectados al sistema usuarios de datos y de voz, disminuyendo el número de usuarios de voz conforme se incrementa el de datos, y viceversa.

Como se desprende de la gráfica, la capacidad final se resume de la siguiente forma:

- **4116 usuarios de voz.**
- **677 usuarios de datos.**



Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas  
W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

## ***CAPÍTULO 4: “CONCLUSIONES GENERALES”***

### **4.1 Conclusiones Numéricas**

Las conclusiones numéricas han sido resaltadas en cada apartado, para cada uno de los casos, junto a su correspondiente gráfica.

### **4.2 Conclusiones Particulares**

#### ***4.2.1 HAPs:***

- Los HAPs tienen un papel decisivo en el desarrollo de IMT-2000 proporcionando vías opcionales para proporcionar servicio rápidamente a los usuarios desarrollando servicios basados en IMT-2000 en países subdesarrollados.
- Con HAPs empleamos antenas que son capaces de reducir las potencias de transmisión en ambas estaciones (HAPs) y en dispositivos móviles, como se desprende de la gráfica obtenida para distintas potencias de transmisión.
- Son capaces de trabajar para señales de banda ancha (servicios de banda ancha en 3G-UMTS, o más allá) gracias a la particularidad de la antena del HAPs.
- Los patrones de haces con el procesamiento de señal espacial proporcionan anchos estrechos de haces y muy bajos niveles de lóbulos secundarios, cumpliendo con las exigencias de ITU.

- Las altitudes relativamente bajas (comparadas con sistemas de satélite) proveen a los usuarios de rutas cortas por la atmósfera mediante línea de visión directa con la plataforma.
- Con pequeñas antenas y requisitos bajos de potencia, los sistemas HAPs son apropiados para una amplia variedad de terminales de usuarios fijos y portátiles para encontrar casi cualquier servicio necesario.

#### 4.2.1.1 Enlace Ascendente

##### 4.2.1.1.1 “Voz”:

- La capacidad del enlace ascendente se incrementa a medida que aumenta el radio de la celda.
- La capacidad del número de usuarios de voz depende de:
  - El radio de la célula: relación directa.
  - La potencia de transmisión del HAPs.
  - La altura del HAPs: relación inversa.
- Los que no suponen ninguna repercusión en la capacidad son:
  - El factor de ruido, y por ende, la potencia de ruido total.
- La máxima capacidad se produce:
  - Para un  $R=1$  Km., cuando hay una potencia de 100 mW y una altura de 18 Km., siendo de **73** usuarios/celda,
  - Para un  $R=1,5$  Km., cuando hay una potencia de 100 mW y una altura de 18 Km. siendo de **80** usuarios/celda.
  - Para un  $R=2$  Km, cuando una potencia de 100 mW y una altura de 18 K m., siendo de **84** usuarios/celda,

#### 4.2.1.1.2 “Datos”:

- Los factores que afectan o no al cómputo de nuestro estudio son los mismos que en el caso de voz.
- Máxima capacidad se produce:
  - Para un  $R=1$  Km., cuando hay una potencia de 100 mW y una altura de 18 Km., siendo de **12** usuarios/celda.
  - Para un  $R=1,5$  Km., cuando hay una potencia de 100 mW y una altura de 18 Km., siendo de **13** usuarios por celda.
  - Finalmente para  $R=2$  Km. cuando hay una potencia de 100 mW y una altura de 18 Km., siendo de **14** usuarios por celda.
- Es mayor la capacidad en sentido ascendente que en descendente.

#### 4.2.1.2 Enlace Descendente

##### 4.2.1.2.1 “Voz”:

La capacidad del número de usuarios de voz depende de:

- El radio de la célula: relación directa.
- La altura del HAPs: relación inversa.
- El escenario de estudio.
- La potencia de transmisión del HAPs.

Los que no suponen ninguna repercusión en la capacidad de usuarios de voz son:

- El factor de ruido, y por ende, la potencia de ruido total.

➤ La máxima capacidad se produce para una altura de HAPs de 18 Km. una potencia de 100 mW particularizando en:

- Un  $R=1$  Km. y entorno rural, es de **32,9** usuarios/celda. Para urbano, resulta ser de **30,6**.
- Un  $R=1,5$  Km. y entorno rural es de **41,0** usuarios/celda. Para urbano, **45,6**.
- Un  $R=2$  Km. y entorno rural resulta ser de **52,4** usuarios por celda, para un entorno urbano, **46,4**.

#### 4.2.1.2.2 “Datos”:

- Tanto la capacidad para usuarios de voz como para usuarios de datos es mayor en el enlace ascendente que en el descendente.
- Por tanto, el enlace descendente es el que limita la capacidad del sistema.
- La capacidad tanto de voz como de datos es mayor en zonas rurales que en zonas urbanas para el mismo esquema de radiación.
- La máxima capacidad se produce para una altura de HAPs de 18 Km. una potencia de 100 mW y particularizando en:
  - Un  $R=1$  Km. y entorno rural, es de **5,5** usuarios/celda. Para urbano, resulta ser de **5,2**.
  - Un  $R=1,5$  Km. y entorno rural es de **7,5** usuarios/celda. Para urbano, **6,9**.
  - Un  $R=2$  Km. y entorno rural resulta ser de **8,7** usuarios por celda, para un entorno urbano, **7,8**.

## 4.2.2 Comunicaciones Tridimensionales

### 4.2.2.1 Enlace Ascendente

A partir de una distancia de  $L.O.S$  la única celda que afecta es la que tenemos bajo estudio y la interferencia del resto es prácticamente nula. Sólo hay efecto de la pérdida de propagación básica.

#### 4.2.2.1.1 “Voz”:

- La capacidad del número de usuarios depende tanto de la altura del avión como del radio de la célula.
- En ENR los factores que incrementan la capacidad para voz resultan ser:
  - La altura del avión.
  - Potencia del avión.
- Los que no suponen ninguna repercusión apreciable en la capacidad de usuarios de voz son:
  - Ganancia de la estación base.
  - Ganancia de la antena del avión.
  - Altura de la estación base.
  - Potencia de la estación base.
  - Factor de ruido.
- En TMA se observa que ninguno de los parámetros estudiados influye en absoluto sobre la capacidad final del sistema, por lo que permanece invariante.
- La capacidad es mayor y se mantiene prácticamente constante con respecto a la de ENR. Esto es debido a que no existe interferencia extracelular en aquella, y que desempeña un papel sumamente relevante sobre el estudio que nos ocupa.

#### 4.2.2.1.2 “Datos”:

- La capacidad del número de usuarios depende tanto de la altura del avión como del radio de la célula.
- Para ENR, se puede aseverar que ninguno de los factores estudiados suponen ninguna influencia sobre la capacidad de datos.
- En TMA ninguno de los factores altera tampoco la capacidad final en un valor digno de mención, por lo que permanece siempre idéntico al caso general.
- La capacidad en TMA es ligeramente algo superior con respecto a la de ENR, tan sólo por una diferencia de dos usuarios como máximo. Esto es debido a que no existe interferencia extracelular en aquella, y que desempeña un papel sumamente relevante sobre el estudio que nos ocupa.

#### 4.2.2.2 Enlace Descendente

##### 4.2.2.2.1 “Voz”

- La capacidad del número de usuarios depende tanto de la altura del avión como del radio de la célula.
- El avión sufre mayores interferencias cuanto más se eleve, y es el usuario el que limita el funcionamiento del enlace.
- En **ENR** los factores que repercuten en el aumento o disminución de usuarios de voz son:
  - Frecuencia de funcionamiento del sistema.
  - Altura de la estación base.
  - Altura del avión.
  - Potencia de la estación base.
  - Número de células adyacentes.
  - Factor de ortogonalidad.
- Para **TMA**, los siguientes elementos modifican la capacidad del sistema:
  - Potencia de la estación base.
  - Número de células adyacentes.
  - Factor de ortogonalidad.
  - Factor de ruido.
  - Ganancia de la antena de la estación base.
- Para ambos, algunos de estos factores modifican la distancia correspondiente a visión directa con la estación base, y por tanto, indirectamente, logran aumentar la capacidad del sistema, como se ha comprobado anteriormente. Sin embargo, algunos

de ellos tan sólo afectan al tramo correspondiente a la pérdida básica de propagación y no al tramo debido a la interferencia intracelular existente.

#### 4.2.2.2.2 “Datos”

- La capacidad del número de usuarios depende tanto de la altura del avión como del radio de la célula.
- En ENR los factores que repercuten en el aumento o disminución de usuarios de voz son:
  - Frecuencia de funcionamiento del sistema.
  - Altura de la estación base.
  - Altura del avión.
  - Número de células adyacentes.
  - Factor de ortogonalidad.
  - Ganancia de la antena del avión.
  - Ganancia de la antena de la estación base (muy baja influencia).
- Algunos de estos factores, logran modificar la distancia correspondiente a visión directa con la estación base, y por tanto, indirectamente, logran aumentar la capacidad del sistema, como hemos visto en las gráficas anteriores.
- Para TMA, los siguientes elementos modifican la capacidad del sistema:
  - Potencia de la estación base.
  - Número de células adyacentes.
  - Factor de ortogonalidad y Factor de ruido.
  - Ganancia de la antena de la estación base.
  - Ganancia de la antena del avión.

## 4.3 Conclusiones Genéricas

### 4.3.1 *HAPs*

#### 4.3.1.1.1 Ventajas

Resumiendo sus ventajas, podemos enumerarlas como sigue:

- Servicio de telefonía celular a áreas rurales en donde existe baja densidad de usuario, porque pueden ser fácilmente implementadas células de grandes diámetros.
- Aumentar la capacidad de la red pública de conmutación en caso de desastre natural, pudiéndose desplazar fácilmente.
- Proporcionar servicios de telecomunicación fiables a los barcos transoceánicos, usando las redes de plataformas aéreas colocadas sobre las rutas más importantes de la navegación.
- Reducción de la radiación electromagnética en la tierra y las potencias de transmisión en las estaciones móviles usando un sistema HAPs.
- Mejora de la calidad de la señal.
- Cobertura de una gran área (comparado con sistemas terrestres).
- Mejor propagación: caminos de visión en línea directa mejores (comparado con sistemas terrestres).
- Retardos pequeños (comparado con satélite geoestacionario).
- Flexibilidad para responder a demandas de tráfico.
- Despliegue Incremental. El sistema puede ser ampliado gradualmente con mayor cobertura y/o capacidad deseada (comparado con sistemas terrestres que requieren un número significativo de estaciones base antes de funcionar totalmente).
- Despliegue rápido (comparado con sistemas terrestres, puede implicar mucho tiempo para planificación y trabajos civiles).

- Eliminación de interferencia (p.ej inter-HAPS, satélites, estaciones bases de tierra).
- Velocidades de transferencia de datos más altas.
- Capacidad para ofrecer servicios añadidos.
- Reducción de contaminación electromagnética, eliminación de impacto ambiental (comparado con sistemas terrestres).
- Reducen el tamaño y peso de estaciones móviles.
- Reducción de costes, riesgos, comparado con órbita de la tierra baja satélite y geostacionario, más baratos que algunos sistemas terrestres con número grande de estaciones base, problemas de adquisición de sitio (comparado con sistemas terrestres) si los hubiere.
- Para las estaciones base, la iluminación de las áreas fuera del área, la dependencia es mayor debido a las características de la intencionada de operación es función de las características de la antena instalada en la estación base y de la atenuación de propagación. Para los sistemas HAPS antena, especialmente el comportamiento de los lóbulos y la directividad. A medida que se incrementa la cobertura del HAPS se requiere mayor exigencia en las especificaciones técnicas de la antena o un replanteamiento de su diseño.

#### 4.3.1.1.2 Desafíos

- Replanteamiento del diseño de servicios móviles y arquitectura de red: la planificación en frecuencia de disposiciones de célula diferentes, modelos de reutilización de frecuencia, uso de inter-HAPS para lograr conectividad.
- La asignación de canal y los esquemas de asignación de recursos, que son diferentes de los sistemas terrestres y de satélite. Y a este respecto tenemos:
  - Interferencias con satélite, sistemas terrestres y entre HAPS.
  - Propagación: atenuación de lluvias en bandas de milímetro.
  - Tecnología de antena: se requerirá un número grande de haces estrechos con bajos niveles de lóbulos secundarios.
  - Mantenimiento de la plataforma de la estación (ante vientos variables), estabilidad en las plataformas y en las antenas (debido a turbulencias en la estratosfera).
  - Conviene profundizar sobre las distancias requeridas para protección cocanal en sistemas geográficamente adyacentes a sistemas HAPs W-CDMA y TDMA.
  - Investigar si los procedimientos de coordinación geográficos para los sistemas de estaciones base son suficientes para la implementación del HAPs o si deben ser desarrollados procedimientos adicionales o alternativos.
  - Todos los materiales deben ser de peso ligero, resistentes a la radiación en altas altitudes, y al menos para dirigibles herméticos de helio.
  - Los motores debe ser lo suficientemente fuertes como para mantener las plataformas inmóviles frente al azote de los vientos de hasta 155 m/s. Volar con potencia solar es una solución posible, ya que los dirigibles poseen bastante área sobre su chasis para la integración de células solares, parte para la propulsión directa, parte de almacenaje de energía para la noche.

- La energía necesaria tiene que ser producida y almacenada para la propulsión y el equipo de telecomunicación.



*Figura 4.1. Fotografía retrospectiva de un HAPs*

### 4.3.2 Comunicaciones Tridimensionales

Se distinguen diáfamanamente dos fenómenos que afectan al cálculo de la capacidad de nuestro número de usuarios.

Estos fenómenos tienen dos justificaciones:

- El primero, se debe al fenómeno de la interferencia extracelular debida a las células adyacentes.
- El segundo obedece a este mismo efecto, mucho más extenuado, al que se une el efecto de la pérdida de propagación básica.

Tanto uno como otro efecto no son mutuamente excluyentes, y pueden ser contrarrestados simultáneamente. La solución podría encontrarse entre las siguientes:

- Aumentar la potencia de emisión para mitigar la pérdida básica (complicado debido a que puede derivar en otro tipo de problemas), y que equivale a aumentar la sensibilidad en el receptor.
- Para la interferencia, recurrir al empleo de antenas inteligentes de múltiples sectores, por ejemplo, que dirijan el haz en la dirección de los usuarios y disminuyan la radiación en otras direcciones o bien emplear otro tipo de modulación o codificación que no afecte a la comunicación entre usuarios de una misma estación base o de distintas células.
- La  $E_b/N_0$  depende del tipo de servicio y de la velocidad del móvil, pero también depende del tipo de codificación o modulación empleada.



Escuela  
Politécnica  
Superior

Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas  
W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

### ***4.3.3 Líneas Abiertas de Investigación***

La línea abierta de investigación se refiere, principalmente, a realizar todos los cálculos vertidos a lo largo de este Proyecto con la asignación concreta de una banda de frecuencias para los sistemas HAPs, como asimismo las comunicaciones tridimensionales Aire-Tierra.



Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas  
W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

## “ANEXOS”

### Propuesta económica de un proyecto de ejecución técnica con HAPs

NOTA: Hemos asumido un ancho de banda de 5 MHz para la portadora en W-CDMA.

En base a los datos obtenidos en el apartado anterior, concluimos:

***Coste estimado para la estación base del sistema:*** suponiendo que

- Existen 125 células con cobertura.
- El coste de un HAPs es de 50.000.000 €.
- Una célula tiene como cobertura una estación base en un sistema terrestre.

El coste aproximado se supone de  $50.000.000 / 125 = 400.000$  €

***Coste estimado para la estación móvil:***

- No existen muchos cambios en la estación móvil, el coste estimado resulta ser el mismo que para un sistema 3G-UMTS, aproximadamente 500 €.
- El tiempo de mercado: 2008-2010
- Asumiendo que un HAPs produce 125 haces y 30 códigos (uno por usuario) W-CDMA para cada haz, entonces la capacidad de este ejemplo es  $125 \text{ vanos} * 30 \text{ códigos} = 3.750$  usuarios por portadora (de voz solamente).



## Códigos de Simulación

A continuación mostramos el código en Matlab implementado para la realización de las gráficas correspondientes.

Conviene reseñar que tan sólo se muestran los códigos de los casos generales del capítulo de HAPs. El resto de casos particulares de HAPs y el código de Sistemas Tridimensionales Aire-Tierra no han sido detallados debido a su enorme extensión.

### *HAPs*

#### Enlace Ascendente

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%          ***HAPs-USUARIOS***   Diana Martínez Lozano          %
% 1<R<2 KMS          VOZ--UPLINK                                %
% Interferencia de N=126 células adyacentes                      %
% Sin considerar efectos de pérdidas por lluvia, o difracción.    %
%                                                                    %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear all;
close all;

%Datos de entrada

R=[1000:50:1500];    %Distancia del avión a la estación base en m
Ptx1=100;            %Potencia emisora del HAPS en mW
Ptx2=10*log10(Ptx1); %Potencia en dB
hHaps=18;            %Altura del HAP en Km
f=1.95;              %Frecuencia de funcionamiento en Ghz en el enlace ascendente
BW=5;                %Ancho de banda de 5 Mhz
alpha=0.66;          %Factor de utilización de voz.
Iextra_sombra=10;
Gp=256;              %Ganancia del proceso de voz

```

```
Grx=0;           %Ganancia de la antena del móvil en dB
Grx=10.^(Grx/10);
Nusuarios=200;
SNR_des=6;      %Relación deseada a priori en dB
NF=7;          %Potencia de ruido en dB
Pn=-114 + 10*log10(BW) + NF;
Pn=10^(Pn/10); %Potencia de ruido
```

```
for R=1000:2000;
    %Angulos tetha:
    tetha_o=atan2 (R,hHaps*1000);
    tetha_o=180*tetha_o/pi;
    if 0<=tetha_o<=4.53
        Gtxo=34.8 - 3*(tetha_o/1.57);
    else
        if 4.53<tetha_o<=5.87
            Gtxo=9.8;
        else
            if 5.87<tetha_o<=37
                Gtxo=55.95-60*log10(tetha_o);
            else
                if 37<tetha_o<=90
                    Gtxo=-38.2;
                end
            end
        end
    end
    Gtxo=10^(Gtxo/10);
    delta_G=34.8-10*log10(Gtxo);
```

%POLINOMIO TAYLOR Fu--> Factor de reutilización de frecuencia

```
N=3;           %Orden del polinomio
```

```

x=[8 9 10 11 12 13 14 15 16];
y=[0.25 0.219 0.19 0.176 0.162 0.149 0.136 0.129 0.123]; %Extraídos de la grafica del articulo coreano
a=polyfit(x,y,N);
Fu(R)=a(N+1) + a(N)*delta_G+ a(N-1)*(delta_G^2) + a(N-2)*(delta_G.^3);          d=sqrt(((R/1000).^2)+
(hHaps.^2));
L=92.45 + 20*log10(f) + 20*log10(d) + Iextra_sombra;          %Perdida total de propagación
l=10^(L/10);
PR=Ptx2+10*log10(Gtxo)+Grx-L ;          %Interferencia extracelular
prx=10.^(PR/10);

step=0.25;
for N=1:step:Nusuarios
    Iintra=alpha*N*prx;
    Iextra=alpha*N*prx*Fu(R);
    Itotal=Iintra + Iextra+ Pn; %Interferencia total
    SNR=10*log10(Gp*prx/Itotal);
    if SNR<SNR_des
        Capacidad(R)=N-step/2;
        break;
    end
end
end
%Capacidad del sistema

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%DIBUJAMOS
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure
plot(Capacidad)
title('\bfNumero de usuarios de voz para HAPS en UL');
xlabel('\bfRadio de celda en m')
ylabel('\bfNumero de usuarios de voz para HAPS')
axis ([1000 2000 72 85])

```



```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%          ***HAPs-USUARIOS***   Diana Martínez Lozano          %
%  1<R<2 KMS          DATOS--UPLINK          %
%  Interferencia de N=126 células adyacentes          %
%  Sin considerar efectos de pérdidas por lluvia, o difracción.          %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

clear all;
close all;

```

```

%Datos de entrada

```

```

R=[1000:50:1500];    %Distancia del avión a la estación base en Km
Ptx1=100;            %Potencia emisora del HAPS en mW
Ptx2=10*log10(Ptx1); %Potencia en dB
hHaps=18;            %Altura del HAP en Km
f=1.95;              %Frecuencia de funcionamiento en GHz en el enlace ascendente
BW=5;                %Ancho de banda de 5 MHz
alpha=1;             %Factor de utilización de datos.
Iextra_sombra=10;
Gp=32;               %Ganancia del proceso de datos
Grx=0;               %Ganancia de la antena del móvil en dB
Grx=10.^(Grx/10);
Nusuarios=200;
SNR_des=3;           %Relación deseada a priori en dB
NF=7;                %Potencia de ruido en dB
Pn=-114 + 10*log10(BW) + NF;
Pn=10^(Pn/10);      %Potencia de ruido

```

```

for R=1000:2000;
    %Angulos tetha:
    tetha_o=atan2 (R,hHaps*1000);
    tetha_o=180*tetha_o/pi;
    if 0<=tetha_o<=4.53
        Gtxo=34.8 - 3*(tetha_o/1.57);
    end
end

```

```

else
    if 4.53<tetha_o<=5.87
        Gtxo=9.8;
    else
        if 5.87<tetha_o<=37
            Gtxo=55.95-60*log10(tetha_o);
        else
            if 37<tetha_o<=90
                Gtxo=-38.2;
            end
        end
    end
end
end
Gtxo=10^(Gtxo/10);
delta_G=34.8-10*log10(Gtxo);

%POLINOMIO TAYLOR Fu--> Factor de reutilización de frecuencia
N=3; %Orden del polinomio
x=[8 9 10 11 12 13 14 15 16];
y=[0.25 0.219 0.19 0.176 0.162 0.149 0.136 0.129 0.123]; %Extraídos de la grafica del articulo coreano
a=polyfit(x,y,N);
Fu(R)=a(N+1) + a(N)*delta_G+ a(N-1)*(delta_G^2) + a(N-2)*(delta_G.^3);
Fu(R)=0.646 -0.0818*delta_G+ 0.0049*(delta_G^2) -0.0001*(delta_G.^3); %El orden máximo es el num de
puntos menos 1
d=sqrt(((R/1000).^2)+ (hHaps.^2));
L=92.45 + 20*log10(f) + 20*log10(d) + Iextra_sombra; %Perdida total de propagación
PR=Ptx2+10*log10(Gtxo)+Grx-L ; %Interferencia extracelular
prx=10.^(PR/10);

%Interferencia extracelular total para las 90 celdas
step=0.25;
for N=1:step:Nusuarios
    Iintra=alpha*N*prx;

```



```

Iextra=alpha*N*prx*Fu(R);
Itotal=Iintra + Iextra+ Pn; %Interferencia total
SNR=10*log10(Gp*prx/Itotal);
if SNR<SNR_des
    Capacidad(R)=N-step/2;
    break;
end
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%DIBUJAMOS
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

figure
plot(Capacidad)
title('\bfNumero de usuarios de datos para HAPS en UL');
xlabel('\bfRadio de celda en m')
ylabel('\bfNumero de usuarios de datos para HAPS')
axis ([1000 2000 10 15])

```



Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%          ***COMPARATIVA VOZ- DATOS UL*** Diana Martínez Lozano          %
%  1<R<2 KMS          VOZ--UPLINK                                          %
%  Interferencia de N=126 células adyacentes                               %
%  Sin considerar efectos de pérdidas por lluvia, o difracción.            %
%                                                                                                                    %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%          ***HAPS-USUARIOS*** Diana Martínez Lozano                      %
%  1<R<2 KMS          VOZ--UPLINK                                          %
%  Interferencia de N=126 células adyacentes                               %
%  Sin considerar efectos de pérdidas por lluvia, o difracción.            %
%                                                                                                                    %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

clear all;
close all;
%Datos de entrada

```

```

R=[1000:50:1500];    %Distancia del avión a la estación base en m
Ptx1=100;           %Potencia emisora del HAPS en mW
Ptx2=10*log10(Ptx1); %Potencia en dB
hHaps=18;           %Altura del HAP en Km
f=1.95;             %Frecuencia de funcionamiento en GHz en el enlace ascendente
BW=5;               %Ancho de banda de 5 MHz
alpha=0.66;         %Factor de utilización de voz.
Iextra_sombra=10;
GpVoz=256;          %Ganancia del proceso de voz
Grx=0;              %Ganancia de la antena del móvil en dB
Grx=10.^(Grx/10);
Nusuarios=200;
SNRVoz=6;           %Relación deseada a priori en dB
NF=7;               %Potencia de ruido en dB
Pn=-114 + 10*log10(BW) + NF;
Pn=10^(Pn/10);     %Potencia de ruido

```

```

for R=1200;
    %Angulos tetha:
    tetha_o=atan2 (R,hHaps*1000);
    tetha_o=180*tetha_o/pi;
    if 0<=tetha_o<=4.53
        Gtxo=34.8 - 3*(tetha_o/1.57);

    else
        if 4.53<tetha_o<=5.87
            Gtxo=9.8;
        else
            if 5.87<tetha_o<=37
                Gtxo=55.95-60*log10(tetha_o);
            else
                if 37<tetha_o<=90
                    Gtxo=-38.2;
                end
            end
        end
    end
end
end
end
Gtxo=10^(Gtxo/10);
delta_G=34.8-10*log10(Gtxo);

%POLINOMIO TAYLOR Fu--> Factor de reutilización de frecuencia
N=3; %Orden del polinomio
x=[8 9 10 11 12 13 14 15 16];
y=[0.25 0.219 0.19 0.176 0.162 0.149 0.136 0.129 0.123]; %Extraídos de la grafica del articulo
coreano
a=polyfit(x,y,N);
Fu(R)=a(N+1) + a(N)*delta_G+ a(N-1)*(delta_G.^2) + a(N-2)*(delta_G.^3 d=sqrt(((R/1000).^2)+
(hHaps.^2));
L=92.45 + 20*log10(f) + 20*log10(d) + Iextra_sombra; %Pérdida total de propagación en dB

```



Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas  
W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

```

l=10^(L/10);
PR=Ptx2+10*log10(Gtxo)+Grx-L ; %Interferencia extracelular
prx=10.^(PR/10);

%Interferencia extracelular total para las 90 celdas
step=0.25;
for N=1:step:Nusuarios
    lIntra=alpha*N*prx;
    lextra=alpha*N*prx*Fu(R);
    ltotal=lIntra + lextra+ Pn; %Interferencia total
    SNR=10*log10(GpVoz*prx/ltotal);
    if SNR<SNRVoz
        CapacidadVoz(R)=N-step/2;
        break; %Paramos el calculo
    end
end
%Capacidad del sistema

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% ***HAPS-USUARIOS*** Diana Martínez Lozano %
% 1<R<2 KMS DATOS--UPLINK %
% Interferencia de N=126 células adyacentes %
% Sin considerar efectos de pérdidas por lluvia, o difracción. %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Datos de entrada

R=[1000:50:1500]; %Distancia del avión a la estación base en Km
GpDatos=32; %Ganancia del proceso de datos
SNRDatos=3; %Relación deseada a priori en dB
SNR=SNRVoz-SNRDatos;
SNR=10.^(SNR/10);

```



```
Ptxd=Ptx1*GpVoz/GpDatos/SNR;          %Potencia emisora del HAPS en mW
Ptx2d=10*log10(Ptxd); %Potencia en dB
hHaps=18;          %Altura del HAP en Km
f=1.95;           %Frecuencia de funcionamiento en GHz en el enlace ascendente
BW=5;            %Ancho de banda de 5 MHz
alpha=1;         %Factor de utilización de datos.
Iextra_sombra=10;

Grx=0;           %Ganancia de la antena del móvil en dB
Grx=10.^(Grx/10);
Nusuarios=200;

NF=7;           %Potencia de ruido en dB
Pn=-114 + 10*log10(BW) + NF;
Pn=10^(Pn/10);  %Potencia de ruido

for R=1200;
    %Angulos tetha:
    tetha_o=atan2 (R,hHaps*1000);
    tetha_o=180*tetha_o/pi;
    if 0<=tetha_o<=4.53
        Gtxo=34.8 - 3*(tetha_o/1.57);

    else
        if 4.53<tetha_o<=5.87
            Gtxo=9.8;
        else
            if 5.87<tetha_o<=37
                Gtxo=55.95-60*log10(tetha_o);
            else
                if 37<tetha_o<=90
                    Gtxo=-38.2;
                end
            end
        end
    end
end
```



Escuela  
Politécnica  
Superior

Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas

W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

```
end
end
end
Gtxo=10^(Gtxo/10);
delta_G=34.8-10*log10(Gtxo);

%POLINOMIO TAYLOR Fu--> Factor de reutilización de frecuencia
N=3; %Orden del polinomio
x=[8 9 10 11 12 13 14 15 16];
y=[0.25 0.219 0.19 0.176 0.162 0.149 0.136 0.129 0.123]; %Extraídos de la grafica del artículo coreano
a=polyfit(x,y,N);
Fu(R)=a(N+1) + a(N)*delta_G+ a(N-1)*(delta_G^2) + a(N-2)*(delta_G.^3); %El orden máximo es el núm.
de puntos menos 1
d=sqrt(((R/1000).^2) + (hHaps.^2));
L=92.45 + 20*log10(f) + 20*log10(d) + Iextra_sombra; %Pérdida total de propagación
PR=Pt*2d+10*log10(Gtxo)+Grx-L; %Interferencia extracelular
prx=10.^(PR/10);

step=0.25;
for N=1:step:Nusuarios
    Iintra=alpha*N*prx;
    Iextra=alpha*N*prx*Fu(R);
    Itotal=Iintra + Iextra+ Pn; %Interferencia total
    SNR=10*log10(GpDatos*prx/Itotal);
    if SNR<SNRDatos
        CapacidadDatos(R)=N-step/2;
        break;
    end
end
end
%Capacidad del sistema
end
```



```

%%
%%ECUACIÓN DE LA RECTA QUE DESCRIBE LA RELACIÓN ENTRE AMBOS
%%
Pendiente=CapacidadVoz/CapacidadDatos;
puntos=[0:20];
Ecuacion=CapacidadVoz(1200)-Pendiente.*puntos;
%%
%DIBUJAMOS
figure
plot(puntos, Ecuacion)
title('\bfRelacion de capacidad de usuarios de voz frente a datos en UL');
xlabel('\bfCapacidad de usuarios de datos')
ylabel('\bfCapacidad de usuarios de voz')
xx=floor(CapacidadDatos(1200)+1)
yy=floor(CapacidadVoz(1200)+5)
axis ([0 13 0 yy])

```



Enlace Descendente

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%                               ***HAPs-USUARIOS***   Diana Martínez Lozano   %
% 1<R<2 KMS                     VOZ--DOWNLINK                               %
% Interferencia de N=126 células adyacentes                               %
% Sin considerar efectos de pérdidas por lluvia, o difracción.           %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

clear all;
close all;

```

%Datos de entrada

```

R=[1000:50:1500];    %Distancia del avión a la estación base en Km
Ptx1=1000;           %Potencia emisora del HAPS en mW
Ptx2=10*log10(Ptx1); %Potencia en dB
hHaps=18;            %Altura del HAP en Km
Ncel=60;             %Numero de células interferentes adyacentes con coordenadas
f=2.14;              %Frecuencia de funcionamiento en GHz en el enlace descendente [2.11-2.17GHz].
BW=5;                %Ancho de banda de 5 Mhz
alpha=0.66;          %Factor de utilización de voz.
Iextra_sombra=10;
Gp=256;              %Ganancia del proceso de voz
Grx=0;               %Ganancia de la antena del móvil en dB
Grx=10.^(Grx/10);
Nusuarios=50;
phi=0.5;             %Factor de ortogonalidad (debida a interferencias mult) ZONA URBANA
SNR_des=6;           %Relación deseada a priori en dB
NF=5;                %Potencia de ruido en dB
Pn=-114 + 10*log10(BW) + NF;
Pn=10^(Pn/10);      %Potencia de ruido

```

%COORDENADAS

```

for R=1000:2000;
%Coord de las seis primeras células inmediatamente adyacentes

```

x\_avion=0.5\*R;      %Coordenadas del usuario desde el HAPs (origen)

y\_avion=0.866\*R;

x(1)=0; y(1)=2\*0.866\*R;      x(2)=1.5\*R; y(2)=0.866\*R;      x(3)=1.5\*R; y(3)=-0.866\*R;

x(4)=0; y(4)=-2\*0.866\*R;      x(5)=-1.5\*R; y(5)=-0.866\*R;      x(6)=-1.5\*R; y(6)=0.866\*R;

%Coord de las 12 sig. células adyacentes a las anteriores

x(7)=0; y(7)=4\*0.866\*R;      x(8)=1.5\*R; y(8)=3\*0.866\*R;      x(9)=3\*R; y(9)=2\*0.866\*R;

x(10)=3\*R; y(10)=0;      x(11)=3\*R; y(11)=-2\*0.866\*R;      x(12)=1.5\*R; y(12)=-3\*0.866\*R;

x(13)=0; y(13)=-4\*0.866\*R;      x(14)=-1.5\*R; y(14)=-3\*0.866\*R;      x(15)=-3\*R; y(15)=-2\*0.866\*R;

x(16)=-3\*R; y(16)=0;      x(17)=-3\*R; y(17)=2\*0.866\*R;      x(18)=-1.5\*R; y(18)=3\*0.866\*R;

%Coord de las 18 sig. células adyacentes a las anteriores

x(19)=0; y(19)=6\*0.866\*R;      x(20)=1.5\*R; y(20)=5\*0.866\*R;      x(21)=3\*R; y(21)=4\*0.866\*R;

x(22)=4.5\*R; y(22)=3\*0.866\*R;      x(23)=4.5\*R; y(23)=0.866\*R;      x(24)=4.5\*R; y(24)=-0.866\*R;

x(25)=4.5\*R; y(25)=-3\*0.866\*R;      x(26)=3\*R; y(26)=-4\*0.866\*R;      x(27)=1.5\*R; y(27)=-5\*0.866\*R;

x(28)=0; y(28)=-6\*0.866\*R;      x(29)=-1.5\*R; y(29)=-5\*0.866\*R;      x(30)=-3\*R; y(30)=-4\*0.866\*R;

x(31)=-4.5\*R; y(31)=-3\*0.866\*R;      x(32)=-4.5\*R; y(32)=-0.866\*R;      x(33)=-4.5\*R; y(33)=0.866\*R;

x(34)=-4.5\*R; y(34)=3\*0.866\*R;      x(35)=-3\*R; y(35)=4\*R;      x(36)=-1.5\*R; y(36)=5\*0.866\*R;

x(37)=1.5\*R; y(37)=7\*0.866\*R;      x(38)=3\*R; y(38)=6\*0.866\*R;      x(39)=4.5\*R; y(39)=5\*0.866\*R;

x(40)=6\*R; y(40)=4\*0.866\*R;      x(41)=6\*R; y(41)=2\*0.866\*R;      x(42)=6\*R; y(42)=0;

x(43)=6\*R; y(43)=-2\*0.866\*R;      x(44)=6\*R; y(44)=-4\*0.866\*R;      x(45)=4.5\*R; y(45)=-5\*0.866\*R;

x(46)=3\*R; y(46)=-6\*0.866\*R;      x(47)=1.5\*R; y(47)=-7\*0.866\*R;      x(48)=0; y(48)=-8\*0.866\*R;

x(49)=-1.5\*R; y(49)=-7\*0.866\*R;      x(50)=-3\*R; y(50)=-6\*0.866\*R;      x(51)=-4.5\*R; y(51)=-5\*0.866\*R;

x(52)=-6\*R; y(52)=-4\*0.866\*R;      x(53)=-6\*R; y(53)=-2\*0.866\*R;      x(54)=-6\*R; y(54)=0;

x(55)=-6\*R; y(55)=2\*0.866\*R;      x(56)=-6\*R; y(56)=4\*0.866\*R;      x(57)=-4.5\*R; y(57)=5\*0.866\*R;

x(58)=-3\*R; y(58)=6\*0.866\*R;      x(59)=-1.5\*R; y(59)=7\*0.866\*R;      x(60)=0; y(60)=8\*0.866\*R;

%Angulos tetha:

tetha\_o=atan2 (R,hHaps\*1000);

tetha\_o=180\*tetha\_o/pi;

if 0<=tetha\_o<=4.53

    Gtxo=34.8 - 3\*(tetha\_o/1.57);

else

```

if 4.53<tetha_o<5.87
    Gtxo=9.8;
else
    if 5.87<tetha_o<=37
        Gtxo=55.95-60*log10(tetha_o);
    else
        if 37<tetha_o<=90
            Gtxo=-38.2;
        end
    end
end
end

Gtxo=10^(Gtxo/10);
IextraR=0;

for m=1:Ncel
    deltaX=x(m)-0.5*R;
    deltaY=y(m)-0.866*R;
    d(m)=sqrt(deltaX.^2 + deltaY.^2);    %Distancia de células interferentes adyacentes al HAPs
    d1(m)=sqrt((hHaps*1000)^2 + R^2);
    d2(m)=sqrt(deltaX.^2 + deltaY.^2 + (hHaps*1000).^2);
    Num=(d1(m).^2)+(d2(m).^2)- (d(m).^2) ;
    Den=2*d1(m)*d2(m);
    tetha_j(R,m)=acos (Num/Den);
    tetha_j(R,m)=(180/pi)*tetha_j(R,m);    %Conversión a grados

    %Ganancia antena en funcion del angulo
    if 0<=tetha_j(R,m)<=4.53
        Gtx(m)=34.8 - 3*(tetha_j(R,m)/1.57);

    else
        if 4.53<tetha_j(R,m)<5.87
            Gtx(m)=9.8;
        else
            if 5.87<tetha_j(R,m)<=37

```

```

    Gtx(m)=55.95-60*log10 (tetha_j(R,m));
else
    if 37<tetha_j(R,m)<=90
        Gtx(m)=-38.2;
    end
end
end
end

L=92.45 + 20*log10(f) + 20*log10(hHaps) + Iextra_sombra; %Perdida total de propagación
l=10^(L/10);
Iextra(m)=Ptx2+Gtx(m)+Grx-L ; %Interferencia extracelular
Iextra(m)=10^(Iextra(m)/10);
IextraR=IextraR+Iextra(m);

end

IextraR1=0;
for m=61:126;
    Gtx(m)=-38.2; %Ganancia mínima
    Iextra(m)=Ptx2+Gtx(m)+Grx-L ; %Interferencia extracelular
    Iextra(m)=10^(Iextra(m)/10);
    IextraR1=IextraR1+Iextra(m);
end

IextraTotal(R)=IextraR+ IextraR1; %Interferencia extracelular total para las 90 celdas
step=0.25;
for N=1:step:Nusuarios
    Pcanal=Ptx1*0.8; %Potencia por canal para todos los usuarios
    Pusuario=2*Pcanal/(N*alpha); %Potencia por canal recibida en u.n para cada radio;
    Prec=Pusuario*Gtxo/l;
    Iintra=(Ptx1-Pusuario)*Gtxo*phi/l;
    Itotal=Iintra + IextraTotal(R)+ Pn; %Interferencia total
    SNR=10*log10(Gp*Prec/Itotal);
    if SNR<SNR_des
        Capacidad(R)=N-step/2;
    end
end

```



```

break;
end
end
%Capacidad del sistema
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%DIBUJAMOS
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure
plot(Capacidad)
title('\bfNumero de usuarios de voz para HAPS');
xlabel('\bfRadio de celda en m')
ylabel('\bfNumero de usuarios de voz para HAPS')
axis ([1000 2000 30 47])

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%          ***HAPs-USUARIOS***   Diana Martínez Lozano           %
% 1<R<2 KMS          DATOS--DOWNLINK                               %
% Interferencia de N=126 células adyacentes                       %
% Sin considerar efectos de pérdidas por lluvia.                   %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear all;
close all;

%Datos de entrada

R=[1000:50:1500]; %Distancia del avión a la estación base en Km
Ptx1=1000; %Potencia emisora del HAPS en mW
Ptx2=10*log10(Ptx1); %Potencia en dB
hHaps=18; %Altura del HAP en Km
Ncel=60; %Numero de células interferentes adyacentes con coordenadas

f=2.14; %Frecuencia de funcionamiento en GHz en el enlace descendente [2.11-2.17 GHz].

```

```

BW=5;           %Ancho de banda de 5 MHz
alpha=1;       %Factor de utilización de datos.
Iextra_sombra=10;
Gp=32;         %Ganancia del proceso de datos
Grx=0;         %Ganancia de la antena del móvil en dB
Grx=10.^(Grx/10);
Nusuarios=50;
phi=0.5;       %Factor de ortogonalidad (debida a interferencias mult) ZONA URBANA
SNR_des=3;     %Relación deseada a priori en dB para Datos
NF=5;         %Potencia de ruido en dB
Pn=-114 + 10*log10(BW) + NF;
Pn=10^(Pn/10); %Potencia de ruido

%COORDENADAS
for R=1000:2000;
    %Coord de las seis primeras células inmediatamente adyacentes

    x_avion=0.5*R; %Coordenadas del usuario desde el HAPS (origen)
    y_avion=0.866*R;
    x(1)=0; y(1)=2*0.866*R; x(2)=1.5*R; y(2)=0.866*R; x(3)=1.5*R; y(3)=-0.866*R;
    x(4)=0; y(4)=-2*0.866*R; x(5)=-1.5*R; y(5)=-0.866*R; x(6)=-1.5*R; y(6)=0.866*R;

    %Coord de las 12 sig células adyacentes a las anteriores
    x(7)=0; y(7)=4*0.866*R; x(8)=1.5*R; y(8)=3*0.866*R; x(9)=3*R; y(9)=2*0.866*R;
    x(10)=3*R; y(10)=0; x(11)=3*R; y(11)=-2*0.866*R; x(12)=1.5*R; y(12)=-3*0.866*R;
    x(13)=0; y(13)=-4*0.866*R; x(14)=-1.5*R; y(14)=-3*0.866*R; x(15)=-3*R; y(15)=-2*0.866*R;
    x(16)=-3*R; y(16)=0; x(17)=-3*R; y(17)=2*0.866*R; x(18)=-1.5*R; y(18)=3*0.866*R;

    %Coord de las 18 sig células adyacentes a las anteriores
    x(19)=0; y(19)=6*0.866*R; x(20)=1.5*R; y(20)=5*0.866*R; x(21)=3*R; y(21)=4*0.866*R;
    x(22)=4.5*R; y(22)=3*0.866*R; x(23)=4.5*R; y(23)=0.866*R; x(24)=4.5*R; y(24)=-0.866*R;
    x(25)=4.5*R; y(25)=-3*0.866*R; x(26)=3*R; y(26)=-4*0.866*R; x(27)=1.5*R;
    y(27)=-5*0.866*R;
    x(28)=0; y(28)=-6*0.866*R; x(29)=-1.5*R; y(29)=-5*0.866*R; x(30)=-3*R; y(30)=-4*0.866*R;
    x(31)=-4.5*R; y(31)=-3*0.866*R; x(32)=-4.5*R; y(32)=-0.866*R; x(33)=-4.5*R; y(33)=0.866*R;

```

$x(34)=-4.5 * R$ ;  $y(34)=3 * 0.866 * R$ ;  $x(35)=-3 * R$ ;  $y(35)=4 * R$ ;  $x(36)=-1.5 * R$ ;  $y(36)=5 * 0.866 * R$ ;  
 $x(37)=1.5 * R$ ;  $y(37)=7 * 0.866 * R$ ;  $x(38)=3 * R$ ;  $y(38)=6 * 0.866 * R$ ;  $x(39)=4.5 * R$ ;  
 $y(39)=5 * 0.866 * R$ ;  
 $x(40)=6 * R$ ;  $y(40)=4 * 0.866 * R$ ;  $x(41)=6 * R$ ;  $y(41)=2 * 0.866 * R$ ;  $x(42)=6 * R$ ;  $y(42)=0$ ;  
 $x(43)=6 * R$ ;  $y(43)=-2 * 0.866 * R$ ;  $x(44)=6 * R$ ;  $y(44)=-4 * 0.866 * R$ ;  $x(45)=4.5 * R$ ;  
 $y(45)=-5 * 0.866 * R$ ;  
 $x(46)=3 * R$ ;  $y(46)=-6 * 0.866 * R$ ;  $x(47)=1.5 * R$ ;  $y(47)=-7 * 0.866 * R$ ;  $x(48)=0$ ;  
 $y(48)=-8 * 0.866 * R$ ;  
 $x(49)=-1.5 * R$ ;  $y(49)=-7 * 0.866 * R$ ;  $x(50)=-3 * R$ ;  $y(50)=-6 * 0.866 * R$ ;  $x(51)=-4.5 * R$ ;  
 $y(51)=-5 * 0.866 * R$ ;  
 $x(52)=-6 * R$ ;  $y(52)=-4 * 0.866 * R$ ;  $x(53)=-6 * R$ ;  $y(53)=-2 * 0.866 * R$ ;  $x(54)=-6 * R$ ;  $y(54)=0$ ;  
 $x(55)=-6 * R$ ;  $y(55)=2 * 0.866 * R$ ;  $x(56)=-6 * R$ ;  $y(56)=4 * 0.866 * R$ ;  $x(57)=-4.5 * R$ ;  
 $y(57)=5 * 0.866 * R$ ;  
 $x(58)=-3 * R$ ;  $y(58)=6 * 0.866 * R$ ;  $x(59)=-1.5 * R$ ;  $y(59)=7 * 0.866 * R$ ;  $x(60)=0$ ;  $y(60)=8 * 0.866 * R$ ;

%Angulos tetha:

tetha\_o=atan2 (R,hHaps\*1000);

tetha\_o=180\*tetha\_o/pi;

if 0<=tetha\_o<=4.53

Gtxo=34.8 - 3\*(tetha\_o/1.57);

else

if 4.53<tetha\_o<5.87

Gtxo=9.8;

else

if 5.87<tetha\_o<=37

Gtxo=55.95-60\*log10(tetha\_o);

else

if 37<tetha\_o<=90

Gtxo=-38.2;

end

end

end

end

Gtxo=10^(Gtxo/10);

IextraR=0;

for m=1:Ncel

deltaX=x(m)-0.5\*R;

deltaY=y(m)-0.866\*R;

d(m)=sqrt(deltaX.^2 + deltaY.^2); %Distancia de células interferentes adyacentes al HAPs

d1(m)=sqrt((hHaps\*1000)^2 + R^2);

d2(m)=sqrt(deltaX.^2 + deltaY.^2 + (hHaps\*1000).^2);

Num=(d1(m).^2)+(d2(m).^2)- (d(m).^2) ;

Den=2\*d1(m)\*d2(m);

tetha\_j(R,m)=acos (Num/Den);

tetha\_j(R,m)=(180/pi)\*tetha\_j(R,m); %Conversión a grados

%Ganancia antena en funcion del angulo

if 0<=tetha\_j(R,m)<=4.53

Gtx(m)=34.8 - 3\*(tetha\_j(R,m)/1.57);

else

if 4.53<tetha\_j(R,m)<5.87

Gtx(m)=9.8;

else

if 5.87<tetha\_j(R,m)<=37

Gtx(m)=55.95-60\*log10(tetha\_j(R,m));

else

if 37<tetha\_j(R,m)<=90

Gtx(m)=-38.2;

end

end

end

end

L=92.45 + 20\*log10(f) + 20\*log10(hHaps) + Iextra\_sombra; %Pérdida total de propagación en dB

I=10^(L/10);

Iextra(m)=PtX2+Gtx(m)+Grx-L ; %Interferencia extracelular

Iextra(m)=10^(Iextra(m)/10);

IextraR=IextraR+Iextra(m);

end

```

IextraR1=0;
for m=61:126;
    Gtx(m)=-38.2; %Ganancia mínima
    Iextra(m)=Ptx2+Gtx(m)+Grx-L ; %Interferencia extracelular
    Iextra(m)=10^(Iextra(m)/10);
    IextraR1=IextraR1+Iextra(m);
end
IextraTotal(R)=IextraR+ IextraR1; %Interferencia extracelular total para las 126 celdas
step=0.125;
for N=1:step:Nusuarios
    Pcanal=Ptx1*0.8; %Potencia por canal para todos los usuarios
    Pusuario=2*Pcanal/(N*alpha); %Potencia por canal recibida en u.n para cada radio;
    Prec=Pusuario*Gtxo/l;
    Iintra=(Ptx1-Pusuario)*Gtxo*phi/l;
    Itotal=Iintra + IextraTotal(R)+ Pn; %Interferencia total
    SNR=10*log10(Gp*Prec/Itotal);
    if SNR<SNR_des
        Capacidad(R)=N-step/2;
        break;
    end
end
end
%Capacidad del sistema
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%DIBUJAMOS
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure
plot(Capacidad)
title('\bfNumero de usuarios de datos para HAPS');
xlabel('\bfRadio de celda en m')
ylabel('\bfNumero de usuarios de datos para HAPS')
axis ([1000 2000 5 8])

```



Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas  
W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%                               ***HAPS***           Diana Martínez Lozano           %
% 1000<R<1500 KMS              COMPARATIVA DATOS-VOZ--DOWNLINK                    %
% Interferencia de N=36 células adyacentes                                         %
% Sin considerar efectos de pérdidas por lluvia.                                   %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

clear all;
close all;
clc

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% VOZ
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Datos de entrada

```

```

R=[1000:50:1500];    %Distancia del avión a la estación base en Km
Ptx1=1000;           %Potencia emisora del HAPS en mW
Ptx2=10*log10(Ptx1); %Potencia en dB
hHaps=18;            %Altura del HAP en Km
Ncel=60;             %Numero de células interferentes adyacentes con coordenadas (CORONAS)

f=2.14;              %Frecuencia de funcionamiento en GHz en el enlace descendente [2.11-2.17 GHz].
BW=5;                %Ancho de banda de 5 MHz
alpha=0.66;          %Factor de utilizacion de voz.
Iextra_sombra=10;
Gp=256;              %Ganancia del proceso de voz
Grx=0;               %Ganancia de la antena del móvil en dB.
Grx=10.^(Grx/10);
Nusuarios=50;
phi=0.5;             %Factor de ortogonalidad (debida a interferencias mult) ZONA URBANA
SNR_des=6;           %Relación deseada a priori en dB
NF=7;                %Potencia de ruido en dB
Pn=-114 + 10*log10(BW) + NF;
Pn=10^(Pn/10);      %Potencia de ruido

```

%COORDENADAS

for R=1200;

%Coord de las seis primeras células inmediatamente adyacentes

x\_avion=0.5\*R;      %Coordenadas del usuario desde el HAPs (origen)

y\_avion=0.866\*R;

x(1)=0; y(1)=2\*0.866\*R;      x(2)=1.5\*R; y(2)=0.866\*R;      x(3)=1.5\*R; y(3)=-0.866\*R;

x(4)=0; y(4)=-2\*0.866\*R;      x(5)=-1.5\*R; y(5)=-0.866\*R;      x(6)=-1.5\*R; y(6)=0.866\*R;

%Coord de las 12 sig células adyacentes a las anteriores

x(7)=0; y(7)=4\*0.866\*R;      x(8)=1.5\*R; y(8)=3\*0.866\*R;      x(9)=3\*R; y(9)=2\*0.866\*R;

x(10)=3\*R; y(10)=0;      x(11)=3\*R; y(11)=-2\*0.866\*R;      x(12)=1.5\*R; y(12)=-3\*0.866\*R;

x(13)=0; y(13)=-4\*0.866\*R;      x(14)=-1.5\*R; y(14)=-3\*0.866\*R;      x(15)=-3\*R; y(15)=-2\*0.866\*R;

x(16)=-3\*R; y(16)=0;      x(17)=-3\*R; y(17)=2\*0.866\*R;      x(18)=-1.5\*R; y(18)=3\*0.866\*R;

%Coord de las 18 sig células adyacentes a las anteriores

x(19)=0; y(19)=6\*0.866\*R;      x(20)=1.5\*R; y(20)=5\*0.866\*R;      x(21)=3\*R; y(21)=4\*0.866\*R;

x(22)=4.5\*R; y(22)=3\*0.866\*R;      x(23)=4.5\*R; y(23)=0.866\*R;      x(24)=4.5\*R; y(24)=-0.866\*R;

x(25)=4.5\*R; y(25)=-3\*0.866\*R;      x(26)=3\*R; y(26)=-4\*0.866\*R;      x(27)=1.5\*R;

y(27)=-5\*0.866\*R;

x(28)=0; y(28)=-6\*0.866\*R;      x(29)=-1.5\*R; y(29)=-5\*0.866\*R;      x(30)=-3\*R; y(30)=-4\*0.866\*R;

x(31)=-4.5\*R; y(31)=-3\*0.866\*R;      x(32)=-4.5\*R; y(32)=-0.866\*R;      x(33)=-4.5\*R; y(33)=0.866\*R;

x(34)=-4.5\*R; y(34)=3\*0.866\*R;      x(35)=-3\*R; y(35)=4\*R;      x(36)=-1.5\*R; y(36)=5\*0.866\*R;

x(37)=1.5\*R; y(37)=7\*0.866\*R;      x(38)=3\*R; y(38)=6\*0.866\*R;      x(39)=4.5\*R; y(39)=5\*0.866\*R;

x(40)=6\*R; y(40)=4\*0.866\*R;      x(41)=6\*R; y(41)=2\*0.866\*R;      x(42)=6\*R; y(42)=0;

x(43)=6\*R; y(43)=-2\*0.866\*R;      x(44)=6\*R; y(44)=-4\*0.866\*R;      x(45)=4.5\*R; y(45)=-5\*0.866\*R;

x(46)=3\*R; y(46)=-6\*0.866\*R;      x(47)=1.5\*R; y(47)=-7\*0.866\*R;      x(48)=0; y(48)=-8\*0.866\*R;

x(49)=-1.5\*R; y(49)=-7\*0.866\*R;      x(50)=-3\*R; y(50)=-6\*0.866\*R;      x(51)=-4.5\*R; y(51)=-5\*0.866\*R;

x(52)=-6\*R; y(52)=-4\*0.866\*R;      x(53)=-6\*R; y(53)=-2\*0.866\*R;      x(54)=-6\*R; y(54)=0;

x(55)=-6\*R; y(55)=2\*0.866\*R;      x(56)=-6\*R; y(56)=4\*0.866\*R;      x(57)=-4.5\*R; y(57)=5\*0.866\*R;

x(58)=-3\*R; y(58)=6\*0.866\*R;      x(59)=-1.5\*R; y(59)=7\*0.866\*R;      x(60)=0; y(60)=8\*0.866\*R;

%Angulos theta:

```

tetha_o=atan2 (R,hHaps*1000);
tetha_o=180*tetha_o/pi;
if 0<=tetha_o<=4.53
    Gtxo=34.8 - 3*(tetha_o/1.57);

else
    if 4.53<tetha_o<5.87
        Gtxo=9.8;
    else
        if 5.87<tetha_o<=37
            Gtxo=55.95-60*log10(tetha_o);
        else
            if 37<tetha_o<=90
                Gtxo=-38.2;
            end
        end
    end
end

Gtxo=10^(Gtxo/10);
IextraR=0;

for m=1:Ncel
    deltaX=x(m)-0.5*R;
    deltaY=y(m)-0.866*R;
    d(m)=sqrt(deltaX.^2 + deltaY.^2);      %Distancia de células interferentes adyacentes al HAPs
    d1(m)=sqrt((hHaps*1000)^2 + R^2);
    d2(m)=sqrt(deltaX.^2 + deltaY.^2 + (hHaps*1000).^2);
    Num=(d1(m).^2)+(d2(m).^2)- (d(m).^2) ;
    Den=2*d1(m)*d2(m);
    tetha_j(R,m)=acos (Num/Den);
    tetha_j(R,m)=(180/pi)*tetha_j(R,m);      %Conversión a grados

    %Ganancia antena en función del ángulo
    if 0<=tetha_j(R,m)<=4.53
        Gtx(m)=34.8 - 3*(tetha_j(R,m)/1.57);
    end
end

```

```

else
  if 4.53<tetha_j(R,m)<5.87
    Gtx(m)=9.8;
  else
    if 5.87<tetha_j(R,m)<=37
      Gtx(m)=55.95-60*log10(tetha_j(R,m));
    else
      if 37<tetha_j(R,m)<=90
        Gtx(m)=-38.2;
      end
    end
  end
end

L=92.45 + 20*log10(f) + 20*log10(hHaps) + Iextra_sombra; %Pérdida total de propagación en dB
l=10^(L/10);
Iextra(m)=Ptx2+Gtx(m)+Grx-L ; %Interferencia extracelular
Iextra(m)=10^(Iextra(m)/10);
IextraR=IextraR+Iextra(m);

end

IextraR1=0;
for m=61:126;
  Gtx(m)=-38.2; %Ganancia mínima
  Iextra(m)=Ptx2+Gtx(m)+Grx-L ; %Interferencia extracelular
  Iextra(m)=10^(Iextra(m)/10);
  IextraR1=IextraR1+Iextra(m);
end

IextraTotal(R)=IextraR+ IextraR1; %Interferencia extracelular total para las 90 celdas
step=0.125;
for N=1:step:Nusuarios
  Pcanal=Ptx1*0.8; %Potencia por canal para todos los usuarios
  Pusuario=2*Pcanal/(N*alpha); %Potencia por canal recibida en u.n para cada radio;
  Prec=Pusuario*Gtxo/l;

```



```

Intra=(Ptx1-Pusuario)*Gtxo*phi/l;
Itotal=Intra + IextraTotal(R)+ Pn; %Interferencia total
SNR=10*log10(Gp*Prec/Itotal);
if SNR<SNR_des
    CapacidadVoz(R)=N-step/2;
    break;
end
end
end
%Capacidad del sistema
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% DATOS
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Datos de entrada

R=[1000:50:1500]; %Distancia del avión a la estación base en Km
Ptx1=1000; %Potencia emisora del HAPS en mW
Ptx2=10*log10(Ptx1); %Potencia en dB
hHaps=18; %Altura del HAP en Km
Ncel=60; %Numero de células interferentes adyacentes con coordenadas( CORONAS)
f=2.14; %Frecuencia de funcionamiento en GHz en el enlace descendente [2.11-2.17 GHz].
BW=5; %Ancho de banda de 5 MHz
alpha=1; %Factor de utilización de datos.
Iextra_sombra=10;
Gp=32; %Ganancia del proceso de datos
Grx=0; %Ganancia de la antena del móvil en dB.
Grx=10.^(Grx/10);
Nusuarios=50;
phi=0.5; %Factor de ortogonalidad (debida a interferencias mult) ZONA URBANA
SNR_des=3; %Relación deseada a priori en dB para Datos
NF=7; %Potencia de ruido en dB
Pn=-114 + 10*log10(BW) + NF;
Pn=10^(Pn/10); %Potencia de ruido

```

%COORDENADAS

for R=1200;

%Coord de las seis primeras células inmediatamente adyacentes

x\_avion=0.5\*R;      %Coordenadas del usuario desde el HAPs (origen)

y\_avion=0.866\*R;

x(1)=0; y(1)=2\*0.866\*R;      x(2)=1.5\*R; y(2)=0.866\*R;      x(3)=1.5\*R; y(3)=-0.866\*R;

x(4)=0; y(4)=-2\*0.866\*R;      x(5)=-1.5\*R; y(5)=-0.866\*R;      x(6)=-1.5\*R; y(6)=0.866\*R;

%Coord de las 12 sig células adyacentes a las anteriores

x(7)=0; y(7)=4\*0.866\*R;      x(8)=1.5\*R; y(8)=3\*0.866\*R;      x(9)=3\*R; y(9)=2\*0.866\*R;

x(10)=3\*R; y(10)=0;      x(11)=3\*R; y(11)=-2\*0.866\*R;      x(12)=1.5\*R; y(12)=-3\*0.866\*R;

x(13)=0; y(13)=-4\*0.866\*R;      x(14)=-1.5\*R; y(14)=-3\*0.866\*R;      x(15)=-3\*R; y(15)=-2\*0.866\*R;

x(16)=-3\*R; y(16)=0;      x(17)=-3\*R; y(17)=2\*0.866\*R;      x(18)=-1.5\*R; y(18)=3\*0.866\*R;

%Coord de las 18 sig células adyacentes a las anteriores

x(19)=0; y(19)=6\*0.866\*R;      x(20)=1.5\*R; y(20)=5\*0.866\*R;      x(21)=3\*R; y(21)=4\*0.866\*R;

x(22)=4.5\*R; y(22)=3\*0.866\*R;      x(23)=4.5\*R; y(23)=0.866\*R;      x(24)=4.5\*R; y(24)=-0.866\*R;

x(25)=4.5\*R; y(25)=-3\*0.866\*R;      x(26)=3\*R; y(26)=-4\*0.866\*R;      x(27)=1.5\*R; y(27)=-5\*0.866\*R;

x(28)=0; y(28)=-6\*0.866\*R;      x(29)=-1.5\*R; y(29)=-5\*0.866\*R;      x(30)=-3\*R; y(30)=-4\*0.866\*R;

x(31)=-4.5\*R; y(31)=-3\*0.866\*R;      x(32)=-4.5\*R; y(32)=-0.866\*R;      x(33)=-4.5\*R; y(33)=0.866\*R;

x(34)=-4.5\*R; y(34)=3\*0.866\*R;      x(35)=-3\*R; y(35)=4\*R;      x(36)=-1.5\*R; y(36)=5\*0.866\*R;

x(37)=1.5\*R; y(37)=7\*0.866\*R;      x(38)=3\*R; y(38)=6\*0.866\*R;      x(39)=4.5\*R; y(39)=5\*0.866\*R;

x(40)=6\*R; y(40)=4\*0.866\*R;      x(41)=6\*R; y(41)=2\*0.866\*R;      x(42)=6\*R; y(42)=0;

x(43)=6\*R; y(43)=-2\*0.866\*R;      x(44)=6\*R; y(44)=-4\*0.866\*R;      x(45)=4.5\*R; y(45)=-5\*0.866\*R;

x(46)=3\*R; y(46)=-6\*0.866\*R;      x(47)=1.5\*R; y(47)=-7\*0.866\*R;      x(48)=0; y(48)=-8\*0.866\*R;

x(49)=-1.5\*R; y(49)=-7\*0.866\*R;      x(50)=-3\*R; y(50)=-6\*0.866\*R;      x(51)=-4.5\*R; y(51)=-5\*0.866\*R;

x(52)=-6\*R; y(52)=-4\*0.866\*R;      x(53)=-6\*R; y(53)=-2\*0.866\*R;      x(54)=-6\*R; y(54)=0;

x(55)=-6\*R; y(55)=2\*0.866\*R;      x(56)=-6\*R; y(56)=4\*0.866\*R;      x(57)=-4.5\*R; y(57)=5\*0.866\*R;

x(58)=-3\*R; y(58)=6\*0.866\*R;      x(59)=-1.5\*R; y(59)=7\*0.866\*R;      x(60)=0; y(60)=8\*0.866\*R;

%Angulos theta:

tetha\_o=atan2(R,hHaps\*1000);

tetha\_o=180\*tetha\_o/pi;

```

if 0<=tetha_o<=4.53
    Gtxo=34.8 - 3*(tetha_o/1.57);

else
    if 4.53<tetha_o<5.87
        Gtxo=9.8;
    else
        if 5.87<tetha_o<=37
            Gtxo=55.95-60*log10(tetha_o);
        else
            if 37<tetha_o<=90
                Gtxo=-38.2;
            end
        end
    end
end

end

end

Gtxo=10^(Gtxo/10);
IextraR=0;

for m=1:Ncel
    deltaX=x(m)-0.5*R;
    deltaY=y(m)-0.866*R;
    d(m)=sqrt(deltaX.^2 + deltaY.^2);      %Distancia de células interferentes adyacentes al HAPs
    d1(m)=sqrt((hHaps*1000)^2 + R^2);
    d2(m)=sqrt(deltaX.^2 + deltaY.^2 + (hHaps*1000).^2);
    Num=(d1(m).^2)+(d2(m).^2)- (d(m).^2) ;
    Den=2*d1(m)*d2(m);
    tetha_j(R,m)=acos (Num/Den);
    tetha_j(R,m)=(180/pi)*tetha_j(R,m);    %Conversión a grados

    %Ganancia antena en funcion del angulo
    if 0<=tetha_j(R,m)<=4.53
        Gtx(m)=34.8 - 3*(tetha_j(R,m)/1.57);

    else

```

```

if 4.53<tetha_j(R,m)<5.87
    Gtx(m)=9.8;
else
    if 5.87<tetha_j(R,m)<=37
        Gtx(m)=55.95-60*log10(tetha_j(R,m));
    else
        if 37<tetha_j(R,m)<=90
            Gtx(m)=-38.2;
        end
    end
end
end

L=92.45 + 20*log10(f) + 20*log10(hHaps) + Iextra_sombra;
l=10^(L/10);
Iextra(m)=Ptx2+Gtx(m)+Grx-L ;           %Interferencia extracelular
Iextra(m)=10^(Iextra(m)/10);
IextraR=IextraR+Iextra(m);

end

IextraR1=0;
for m=61:126;
    Gtx(m)=-38.2;           %Ganancia mínima
    Iextra(m)=Ptx2+Gtx(m)+Grx-L ;           %Interferencia extracelular
    Iextra(m)=10^(Iextra(m)/10);
    IextraR1=IextraR1+Iextra(m);
end
IextraTotal(R)=IextraR+ IextraR1;           %Interferencia extracelular total para las 90 celdas
step=0.125;
for N=1:step:Nusuarios
    Pcanal=Ptx1*0.8;           %Potencia por canal para todos los usuarios
    Pusuario=2*Pcanal/(N*alpha);           %Potencia por canal recibida en u.n para cada radio;
    Prec=Pusuario*Gtxo/l;
    Iintra=(Ptx1-Pusuario)*Gtxo*phi/l;

```

```

Itotal=Iintra + IextraTotal(R)+ Pn; %Interferencia total
SNR=10*log10(Gp*Prec/Itotal);
if SNR<SNR_des
    CapacidadDatos(R)=N-step/2;
    break;
end
end
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%ECUACIÓN DE LA RECTA QUE DESCRIBE LA RELACIÓN ENTRE AMBOS
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Pendiente=CapacidadVoz/CapacidadDatos;
puntos=[0:20];
Ecuacion=CapacidadVoz(1200)-Pendiente.*puntos;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%DIBUJAMOS
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure
plot(puntos, Ecuacion)
title('\bfRelacion de capacidad de usuarios de voz frente a datos en DL');
xlabel('\bfCapacidad de usuarios de datos')
ylabel('\bfCapacidad de usuarios de voz')
xx=floor(CapacidadDatos(1200)+1)
yy=floor(CapacidadVoz(1200)+1)
axis ([0 xx 0 yy])

```



Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas  
W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

## **“RELACIÓN DE ACRÓNIMOS”**

- ASI:** Agenzia Spaziale Italiana
- CDMA:** Code Division Multiple Access
- DL:** Downlink
- EB:** Estación Base
- ENR:** En route
- ESA:** European Space Agency
- FAA:** Federal Aviation Administration
- FS:** Fixed Service
- GSM:** Global System for Mobile communications
- HALE:** High Altitude Long Endurance aircraft
- HALO:** High Altitude Long Operation
- HAPS:** High Altitude Platform Stations
- HDSPA:** High Downlink Speed Paquet Access
- IMT-2000** International Mobile Telecommunications-2000
- ITU-R:** International Telecommunication Union.
- LOS:** Line Of Sight.
- NASA:** National Aeronautics and Space Administration
- NLOS:** No Line Of Sight.
- PSTN:** Public Switched Telephone Network
- QoS:** Calidad o Servicio.
- TMA:** Target Maneuver Area.
- UAV:** Unmanned Aerial Vehicles
- UL:** Uplink



Escuela  
Politécnica  
Superior

Contribución al estudio de la capacidad de Sistemas

W-CDMA en sistemas Aire-Tierra



Diana Martínez Lozano

-**UMTS:** Universal Mobile Telecommunications System

-**WCDMA:** Wide CDMA

-**WRC:** World Radio Conference

## “BIBLIOGRAFÍA”

- S. M. Elnoubi “Three-Dimensional Cellular Systems for Aeronautical Mobile Radio Communications”, IEEE trans. Vehicular Technology, Vol 41, pp. 322-328, Nov. 1992. (Downlink)
- S. M. Elnoubi “Capacities of mobile air/ground radio communication systems employing cylindrical cells”, IEEE trans. Vehicular Technology, Vol 34 y 54, No 1 y 6, Jan. 1998 y Nov. 2005 respect. (Uplink)
- W.C. Y. Lee, “Overview of cellular CDMA”, IEEE Trans. Veh. Technol., vol 40, no. 2, pp. 291-302, May. 1991. (Uplink & Downlink)
- D.W Matolak “3D Outside Cell interference Factor for an Air-Ground CDMA Cellular System”, IEEE trans. Vehicular Technology, Vol. 49, pp. 706-710, May. 2000. (Downlink).
- [www.tic.udc.es](http://www.tic.udc.es).
- Documento 8-1/197 USA. HAPS IMT-2000 System Co-Channel Sharing with Conventional IMT-2000 Systems and with the fixed service.
- Documento 8-1/199 USA. Study of Out-Of-Band emissions from CDMA and TDMA Terrestrial IMT-2000 Payloads on board a High Altitude Platform Station.
- Documento 8-1/202 USA. Technical and Operational Parameters for a typical IMT-2000 terrestrial system using High Altitude Platform Station.
- B. Taha Ahmed, M. Calvo Ramón and L. Haro Ariet, “ The capacity of Air-Ground W-CDMA System (Uplink Analysis) “, PIMRC 2002, pp. 335-338, Lisboa.
- R. Miura and M.Suzuki, “Preliminary Flight Test Program on Telecom and Broadcasting Using High Altitude Platform Stations,” *Wireless Personal Comm.*, vol. 24 issue 2, 2003, pp. 341-361.



- J. Thomson, D. Grace, M.H. Capstick, and T.C Tozer, “Optimising an Array of Antennas for Cellular Coverage from a High Altitude Platform,” *IEEE Trans Wireless Comm.*, vol 2, no. 3, May 2003, pp. 484-492.
- B. Taha Ahmed, M. Calvo Ramón and L. Haro Ariet, “ The capacity of Air-Ground W-CDMA System (Downlink Analysis) “, SoftCom 2002, Split.
- B. Taha Ahmed, M. Calvo Ramón and L. Haro Ariet, “ On the Capacity of Air-Ground W-CDMA System (Downlink Analysis).” VTC 2003-Spring, Korea.
- B. Taha Ahmed, M. Calvo Ramón and L. Haro Ariet, “ Quasi-optimum Down link power control of high altitude platform W-CDMA system.” VTC 2003-Spring, Korea.
- B. Taha Ahmed, M. Calvo Ramón and L. Haro Ariet, “High Altitude Platform (HAP) W-CDMA System Over Cities”, VTC 2005-Spring, pp. 1-5, Stockholm, 2005.
- ITU, Radio Regulations, 1 Articles, No 1.66A, 1998.
- ITU, Resolution 221 (Rev. WRC-03), Use Of High Altitude Platform Stations Providing IMT-2000 in the Bands 1885-1980 MHz, 2010-2025 MHz, and 2110-2170 MHz in Regions 1 and 3 and 1885-1980 MHz and 2110-2160 MHz in Region 2, WRC-2000, Istanbul, 2000.
- Bon-Jun Ku, Do-Seob Ahn, Seong-Pal Lee, A. V. Shishlov, A.S. Reutov, S. A. Ganin, and A.G. Shubov, Radiation Pattern of multibeam array antenna with digital beamforming for stratospheric communication system: statistical simulation, ETRI Journal, Vol 24, No. 3, pp. 197-204, June 2002.
- Do-Seob Ahn, Jong-Min Park, Bon-Jun Ku, Yang-Su Kim, and Dae Sub Oh, Status of technology development for HAPS in Korea, in Proc Stratospheric Platform Systems Workshop, Feb. 2003, pp. 81-88.
- <http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/redirect.htm?http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/technik/HAPs.htm>
- Resolution 221 (WRC), use of high altitude platform stations providing IMT-2000 in the bands 1885-1980 MHz, 2010-2025 MHz and 2110-2170 MHz in Regions 1 and 3 and

1885-1980 MHz and 2110-2160 MHz in Region 2. *The World Radiocommunication Conference*, Istanbul, 2000.

• G. M. Djuknic, J. Freidenfelds, Y. Okunev, “ Establishing wireless communications services via high-altitude aeronautical platforms: a concept whose time has come?”, *IEEE Communications Magazine*, September, 1997, pp. 128-135.

• Advanced Technology Group Homepage <http://www.airship.com>  
• AeroVironment, “*Solar-Powered Plane Flies to New Record Height – One Step Closer to a commercial Satellite Substitute*” Press Release, August 6, 1998. <http://www.aerovironment.com>

• Angel Technology Corporation Homepage <http://www.angelhalo.com>  
• General Atomics Homepage <http://www.ga.com/avcs/index.html>  
• Goodman J., “*Re: How does the corona ion engine work? What are the involved principles?*” August 11, 1997

• <http://www.madsci.org/posts/archives/aug97/871360882.Ph.r.html>  
• Lewyn M., “*Space Case*” Wired Magazine, September 1996 <http://www.wired.com/wired/4.09/es.sky.html>

• Politecnico di Torino Homepage [www1.tlc.polito.it](http://www1.tlc.polito.it)  
• Skytower Telecommunications Homepage <http://www.skytowerglobal.com>  
• WRC-2000 Rev. Resolution 122, “*Use of the Bands 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz by high altitude platform stations in the fixed service and by other services and the potential use of bands in the range 18- 32 GHz by HAPS in the fixed service*”. World Radio Conference (Istanbul, 2000).

• DJUNNIC, G. M., FREDENFELDS, J. Establishing wireless communications services via high-altitude aeronautical platforms: a concept whose time has come? *IEEE Communication Magazine*. 1997, no. 9, p. 128 – 135.

• GEJJI, R. R. Forward-link power control in CDMA cellular systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 1992, vol. 41, no. 11, p. 532 – 536.



Diana Martínez Lozano

- FOO, Y. C., LIM, W. L., TAFAZOLLI, R., BARCLAY, L. W. For-ward link power control for high altitude platform stations W-CDMA system. In Proceedings of the 54<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference 2001 Fall. 2001, p. 625 – 629.
- TAHA-AHMED, B., CALVO-RAMÓN, M., HARO-ARIET, L. On the downlink capacity of high altitude platform W-CDMA system. In Proceedings of IST 2003. Aviero (Portugal) 2003, p. 765 – 768.
- FIALA, P., Brno University of Technology, Brno
- SMÉKAL, Z., Brno University of Technology, Brno
- SOVKA, P., Czech Technical University, Prague
- ŠEBESTA, V., Brno University of Technology, Brno