Conclusiones

1. Las características técnicas de diseño de LTE-avanzado cumple con los requerimientos establecidos por la UIT-R para IMT-avanzado y fue aceptada por esta organización como la tecnología oficial para el despliegue de IMT-avanzadas o comercialmente llamada cuarta generación 4G.

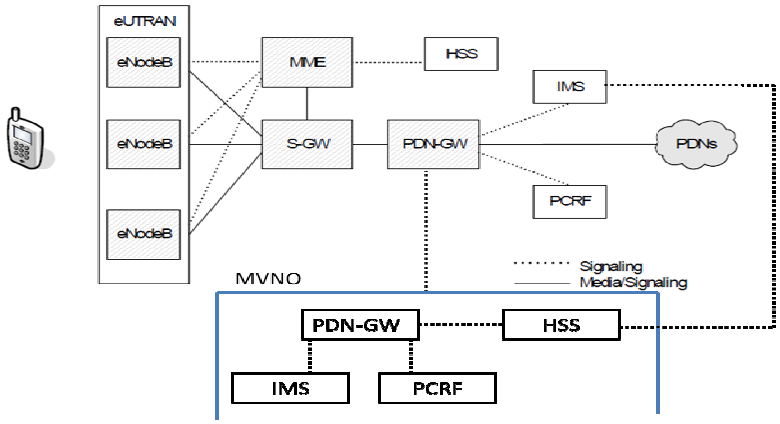
2. Colombia tiene asignados un total de 170 MHz, entregados por el método de subasta y repartidos entre 4 operadores y la regulación establece un tope de espectro de 55MHz por operador, estos valores están en los promedios latinoamericanos pero muy lejanos de países líderes en servicios móviles donde se manejan asignaciones de hasta 600MHz y una regulación que elimina los topes de espectro porque dichos Estados han comprendido que estas limitaciones frenan el desarrollo del sector móvil y por ende influyen negativamente en el desarrollo de su PIB per cápita, lo anterior queda demostrado con el Índice de Desarrollo de los Servicios Móviles IDSM el cual relaciona variables de evaluación del sector móvil, penetración de la TMC y la BAM, con índices económicos el índice de competitividad mundial desarrollado por el foro económico mundial y el índice de desarrollo de las TIC desarrollado por la UIT. Del anterior relacionamiento se concluye que existe una relación directa entre el desarrollo económico de una nación y el desarrollo del sector de los servicios móviles el cual se da por su principal motor el espectro radioeléctrico.

3. Los servicios de TMC y SMS representan más de la mitad de los ingresos de un MNO por lo tanto dicho porcentaje tiene un valor muy similar en el MVNO. LTE es una red que no permite la conmutación de circuitos por lo tanto debe tener un medio para la transición de los servicios de TMC y SMS desde redes 3G (conmutación de circuitos) hacia LTE, dicho método ya está definido por el 3GPP y es prestar un servicio de voz basado en arquitectura IMS que utiliza SRVCC para el handover entre LTE y redes que no lo son.

4. La reciente asignación de la banda de 2.6GHz es una oportunidad excelente para el país porque concuerda con la aceptación de LTE para IMT-avanzado, por lo tanto esta congruencia de eventos convierte la banda de 2.6GHz en la banda viable para la implementación de LTE en Colombia porque en esta banda no hay sistemas celulares previos. Colombia asignó esta banda siguiendo las recomendaciones de la UIT, luego esto le permitirá integrarse con las economías de escala que se generaran tanto para la fabricación de equipos de las estaciones base así como para los equipos de usuario.

5. Entre las muchas características de la tecnología LTE que la hacen adecuada para que un MNO transporte un MVNO resaltan las siguientes: alta eficiencia en el uso del espectro y el diseño completamente IP, la primera porque permite al MNO anfitrión soportar sus propios usuarios y los del MVNO aprovechando la mayor disponibilidad de recursos de radio y la segunda permite que LTE sea una red orientada a la conmutación de paquetes por lo tanto una red de próxima generación NGN, para el MVNO esta característica significa que su servicio básico de BAM se puede diferenciar con servicios de contenido.

6. El PDN-GW es el punto más óptimo de conexión entre el MNO y el MVNO porque permite a este último obtener el mayor grado de independencia de su MNO anfitrión, de esta forma el MVNO puede ejercer acciones de control de asignación de recursos a través de la comunicación entre PDN-GW del MNO y el del MVNO. LTE es completamente IP, por lo tanto asigna direccionamiento IP a cada dispositivo móvil que se conecte, dicha característica permite que el MVNO tenga su propio HSS así el MVNO acepta peticiones solo del rango IP asignado al MVNO.



7. En una red móvil las estaciones base consumen cerca del 30% del total de la energía utilizada en toda la red, luego la entrada de un MVNO representa la disminución de por lo menos un 30% de consumo energético pudiéndose aumentar dicho porcentaje a medida que el MVNO tenga mayor dependencia de su MNO anfitrión.

8. Colombia, bajo la ley 1341 de 2009, creo la Agencia Nacional del Espectro ANE esta entidad es la encargada de vigilar el uso del espectro, definir de forma prospectiva la asignación del espectro además de asesorar al MINTIC en las decisiones que tienen que ver con el uso de este recurso limitado.

Recomendaciones

1. El interfuncionamiento entre el PDN-GW del MNO y del MVNO es importante para el control y diferenciación de los clientes del MNO y los del MVNO, por lo tanto profundizar en estas funciones ayudará a garantizar la prestación óptima de los servicios de BAM y TMC a través del MVNO.

2. Definir estrategias alternas al manejo del tope de espectro para regular a los operadores del sector de los servicios móviles.

3. Trabajar en la definición de un roadmap de implementación de LTE en Colombia partiendo de las condiciones actuales del sector, es decir una prospectiva de la implementación de LTE en Colombia.

4. El proceso de migración hacia LTE dejará muchos equipos sin utilidad, definir un proceso de reciclado de dichos equipos ayudará a mitigar el impacto en el cambio climático del proceso de migración.

Bibliografía

1. **Agilent Technologies.** 3GPP Long Term Evolution: System Overview, Product Development and Test Challenges. *www.agilent.com.* [Online] 2009. http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-8139EN.pdf.
2. *Long Term Evolution: Towards 4th Generation of Mobile Telephony and Beyond.* **Tomazic, Saso and Jakus, Grega.** Octubre 7-9, 2009, elecommunication in Modern Satellite, Cable, and Broadcasting Services, 2009. TELSIKS '09. 9th International Conference on, pp. 91-96.
3. *LTE-Advanced: The Path towards Gigabit/s in Wireless Mobile Communications.* **Mogensen, P.E., et al.** Estocolmo : Wireless VITAE 2009. 1st International Conference on, 2009, Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology, pp. 147-151.
4. **3GPP.** *Technical Report 36.913. Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) (LTE-Advanced).* Sophia-Antipolis Cedex : s.n., 2009.
5. —. *Technical Report TR 25.913. Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN).* 2009.
6. —. *Reporte técnico 36-912 Feasibility study for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced).*
7. *Performance Evaluation of LTE MBMS Baseline.* **Zhang, Li, et al.** Beijing : s.n., Septiembre 2009, Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom '09. 5th International Conference on, pp. pp.1-4, 24-26.
8. **3GPP.** *Technical specification TS 36.300. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2.* 2010.
9. —. *Technical Specification TS 36.133. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for support of radio resource management.* 2011.
10. —. *Technical Specification TS 36.201. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); LTE physical layer; General description.* 2010.
11. *LTE, the radio technology path towards 4G,.* **Rinne, M and Tirkkonen, O.** Finland : s.n., Octubre 15, 2010, Computer Communications, Vol. 33, pp. 1894-1906.
12. **3GPP.** *Technical report TR 25.892. Feasibility study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for UTRAN enhancement.* 2004.
13. *The Evolution of LTE towards IMT-Advanced.* **Parkvall, Stefan and Astely, David.** 3, Stockholm : s.n., Abril 2009, JOURNAL OF COMM, Vol. 4, pp. 146-154.
14. **Nakamura, Takehiro.** LTE Rel-9 and LTE-Advanced in 3GPP. *www.3g4g.co.uk.* [Online] Mayo 19, 2009. [Cited: marzo 6, 2011.] http://www.3g4g.co.uk/LteA/LteA_Pres_0905_NttDoCoMo.pdf.
15. *LTE: The Evolution of Mobile Broadband.* **Astély, David, et al.** 4, Abril 2009, ommunications Magazine, IEEE , Vol. 47, pp. 44-51.

16. *Long-term evolution network architecture.* **Nossenson, Ronit.** Kfar-Sava : s.n., Noviembre 2009, Microwaves, Communications, Antennas and Electronics Systems, 2009. COMCAS 2009. IEEE International Conference o, pp. 1-4.
17. **3GPP.** *Technical report TR 23.882. 3GPP system architecture evolution (SAE): Report on technical options and conclusions.* 2008.
18. **Union, International telecommunication.** *REPORT ITU-R M.2134. Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radio interface(s).* 2008.
19. **UIT-R.** *Recomendación UIT-R M.1645. Marco y objetivos generales del desarrollo futuro de las IMT-2000 y de los sistemas posteriores.* 2003.
20. **ITU-R.** *Report ITU-R M.2135-1. Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced.* 2009.
21. **Cortés Cabezas, Albeiro and Beltran, Fernando.** http://columbus.uniandes.edu.co. [Online] Junio 7, 2005. [Cited: 03 13, 2011.] http://columbus.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/228/1/mi_1201.pdf.
22. *UNA INTRODUCCION A LA TEORIA Y LA PRACTICA DE LAS SUBASTAS.* **SINGER, MARCOS.** 1, Santiago de Chile : s.n., Abril 2002, Revista ABANTE, Vol. 5, pp. 3-29.
23. *Análisis económico de las subastas y algunas experiencias de su aplicación en adjudicación de licencias de telefonía móvil.* **Tamayo Plata, Mery Patricia and Posada Montoya, Carlos Enrique.** Medellin : s.n., 2004, Ecos de Economía, Vol. 19, pp. 7-30.
24. **Millán Placci, María Florencia.** Aplicación de la Teoría de Subastas. *www.aaep.org.ar.* [Online] [Cited: Marzo 13, 2011.] www.aaep.org.ar/espa/anales/PDF_02/millan.pdf.
25. **Gigli, Juan.** Colombia: El negocio de la banda ancha será privilegio de pocos. [Online] 02 21, 2006. [Cited: Marzo 13, 2011.] http://www.gobiernoelectronico.org/node/436.
26. *Spectrum Auction Design.* **McMillan, John.** San Diego, California : s.n., 1994, Telecommunications Policy.
27. **CONGRESS OF THE UNITED STATES CONGRESSIONAL BUDGET OFFICE.** *Auctioning Radio Spectrum Licenses.* Washington : s.n., 1992.
28. **DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION UNIDAD DE INFRAESTRUCTURA Y ENERGIA.** *La Telefonía Móvil Celular en Colombia 1998. Documento Sectorial.* Bogota : s.n., 1999. Sectorial.
29. **ETB, OLA, EEPP de Medellin.** OBSERVACIONES AL DOCUMENTO: "PROPUESTA PARA EL OTORGAMIENTO DE ESPECTRO ADICIONAL A LOS. [Online] 2004. http://201.234.78.217/mincom/documents/portal/documents/root/TmcEtb.pdf.
30. **GSMA, Global View Partners for.** *The 2.6 GHz Spectrum Band. Unique Opportunity to Realize Global Mobile Broadband.* 2009.
31. **Cabello, Sebastian M and Fernandez Diaz, Matias.** Gestion del espectro. Demanda y el debate sobre sus usos alternativos. [Online] Mayo 13, 2010. http://www.slideshare.net/dirsi/100513-cabello.
32. *Spectrum allocation in Latin America: An economic analysis.* **Hazlett, Thomas W. and Muñoz, Roberto E.** Arlington : s.n., 2009, Information Economics and Policy, pp. 261-278.
33. **Forum, World Economic.** *The Global Competitiveness Report 2009–2010.* Geneva, Switzerland : s.n., 2009.
34. **UIT-R.** *INFORME UIT-R M.2078. Estimación de los requisitos de anchura de banda de espectro para el futuro.* 2006.

35. **Americas, 3G.** *GSM-UMTS Network migration to LTE. LTE and 2G-3G interworking functions* . 2010.
36. **GSMA.** *The 2.6GHz Spectrum Band. An Opportunity for Global Mobile Broadband.* 2009.
37. **Americas, 3G.** *3GPP Mobile Broadband Innovation path to 4G.* 2010.
38. *Handling of Voice and Data Services in the Evolved Packet Core.* **MARI NORDVIK, ANNE and EYDE KJUUS, HÅKON.** 2010, Telektronikk.
39. **Americas, 3G.** *Traffic Management techniques for mobile broadband networks.* 2010.
40. **3G Americas.** *Traffic Management Techniques for Mobile Broadband Networks. Living in a Orthogonal World.* 2010.
41. *The role of MSC Server in LTE based network architecture.* **Majacic, Danijel and Pecnik, Kresimir.** Opatija, Croatia : s.n., 2010, MIPRO.
42. **3G Americas.** *HSPA to LTE-advanced: 3GPP broadband evolution to IM-advanced 4G.* 2009.
43. —. *Transition to 4G. 3GPP broadband Evolution to IMT-advanced.* 2010.
44. **APP Trigger.** *LTE – What Voice Services?* 2009.
45. **3GPP.** *technical Specification TS 23.216. Single Radio Voice Call Continuity SRVCC stage 2.* 2009.
46. *Standart Based Solutions for Voice and SMS services over LTE.* **Gavrilovic, Sasa.** Zagreb, Croatia : s.n., 2010. MIPRO. pp. 334-339.
47. **BOHÓRQUEZ DÍAZ, GERMÁN EDUARDO and Ramos Rodriguez, Zoila Inés.** DISEÑO DE UN MODELO DE NEGOCIOS PARA UN OPERADOR MÓVIL VIRTUAL MVNO EN COLOMBIA. Bogota : s.n., 2009. Trabajo de tesis entregado para optar por el título de magister en telecomunicaciones.
48. *Evaluation of Authentication Signaling Loads in 3GPP LTE/SAE Networ.* **Han, Chan-Kyu, et al.** Suwon, South Korea : s.n., 2009, 2009 IEEE 34th Conference on Local Computer Networks, pp. 37-44.
49. *Comparison of power consumption of mobile WiMAX, HSPA and LTE access networks.* **Deruyck, Margot, et al.** Junio 2010, Teleommunications Internet and Media Techno Economics (CTTE), 2010 9th Conference on, pp. 1-7.
50. *Enablers for Energy Efficient Wireless Networks.* **Auer, G., et al.** Septiembre 6-9, 2010, Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2010-Fall), pp. 1-5.
51. **GSMA.** *Mobile's Green Manifesto.* 2009.
52. **3GPP.** *Technical Specification TR 36.211. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation.* 2010.
53. —. *Technical Specification TR 36.212. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding.* 2010.
54. —. *Technical Specification TS 36.213. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures.* 2010.
55. —. *Technical specification TS 36.214. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer; Measurements.* 2010.
56. **República de Colombia Departamento Nacional de Planeación.** *Documento Conpes 3118. LINEAMIENTOS PARA LA CONCESIÓN DE LOS SERVICIOS DE COMUNICACIÓN PERSONAL PCS.* Bogota : s.n., 2002.
57. **República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación.** *LINEAMIENTOS PARA LAS CONCESIONES ADICIONALES PARA LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE COMUNICACIÓN PERSONAL PCS.* 2002.

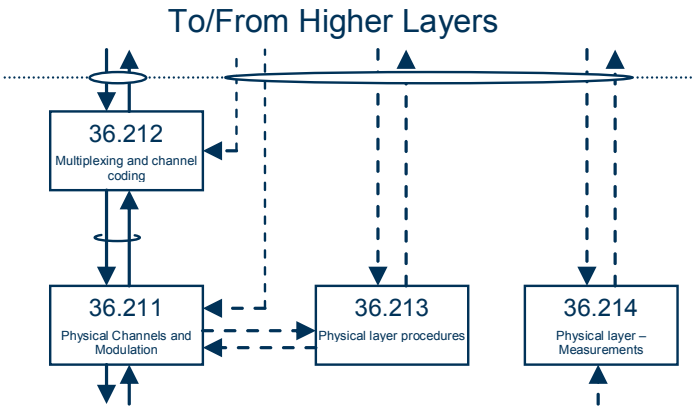
58. **International Telecommunication Union .** *http://wirelessman.org.* [Online] marzo 7, 2008. [Cited: marzo 1, 2011.] http://wirelessman.org/liaison/docs/L80216-08_008.pdf.
59. **3GPP.** *Technical Specification TS 36.101. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception.* 2009.
60. *Innovación e incumbent failure: una ilustración en la industria de las telecomunicaciones en Colombia.* **Herrera Echeverry, Hernan.** Bogota : s.n., Julio 2008, Cuaderno de Administracion, pp. 161-183.
61. **COMUNICACIONES, MINISTERIO DE.** *DECRETO NUMERO 4234 DE 2004.* 2004.
62. *www.eltiempo.com.* [Online] http://www.eltiempo.com/enter/comunicaciones/ARTICULO-WEB-PLANTILLA_NOTA_INTERIOR-6822447.html.
63. **ITU-R.** *Report M.2113 Report on sharing studies in the 2500-2690 Mhz band between IMT-2000 and Fixed Broadband Wirelles Access Systems including Nomadic en the same geographical area.* 2007.
64. **UIT-D.** *Mdedición de la sociedad de la información.* Ginebra, Suiza : s.n., 2010.

A. Procedimientos de la capa física en LTE.

Resumen de las especificaciones de la capa física en LTE.

La especificación de la capa física tiene un documento general y cuatro documentos específicos: 36.211-36.214 la Figura A-1 muestra un resumen de la relación, en cuanto a funcionamiento, de las 4 especificaciones.

Figura A-1. Relación entre las especificaciones de la capa física de LTE (10)



36.201. Descripción general de la capa física

- Referencia de documentos de información de la capa física
- Un resumen general de la capa física

36.211 Modulación y Canales físicos

- Definición de los canales físicos descendentes y ascendentes (*donwlink y uplink*).
- Mapeo de la modulación
- Canales físicos compartidos de subida y de bajada
- Canales de acceso aleatorio
- Señales de sincronización primaria y secundaria
- Generación de señales OFDM para el canal descendente
- Generación de señales SCFDMA para el canal ascendente

36.212 Codificación del canal y Multiplexación.

- Esquemas de codificación de los canales
- Información de la codificación entre capa 1 capa 2

36.213 Procedimientos de la capa física

- Procedimientos de sincronización
- Procedimientos de control de potencia
- Procedimientos de acceso aleatorio

36.214 Medición de la capa física.

- Medidas de rendimiento entre el equipo de usuario y la E-UTRAN
- Medidas en el handover

Modulación y Canales físicos (52)

La interfaz aérea de LTE está compuesta por canales físicos y señales físicas. Las señales físicas se usan para la sincronización del sistema, identificación de celda, estimación del canal de radio. Y los canales físicos se encargan de transportar los datos provenientes de las capas superiores. La Tabla A-1 muestra un resumen de las señales físicas

Tabla A-1 Señales físicas de LTE. (52)

Señales físicas en el enlace descendente	**Propósito**
Señal de sincronización primaria	Usada para que el UE identifique y busque la celda. Llevan parte del ID de celda (una de tres secuencias ortogonales)
Señal de sincronización secundaria	Usada para que el UE identifique y busque la celda. Lleva el resto del ID de la celda (una de 168 secuencias binarias posibles)
Señal de referencia	Usada para la estimación del canal descendente. La secuencia exacta se desprende del ID de la Celda (Una de 3 x 168 = 504 secuencias seudoaleatorias)
Señales físicas en canal ascendente	**Propósito**
Señales de referencia (demodulación y sonido)	Usada para la sincronización del UE y para la estimación del canal ascendente

Respecto a los canales físicos no existen canales dedicados lo cual es una característica muy importante en un sistema orientado a paquetes, **comunicaciones completamente IP**. Esta estructura de canales compartidos de LTE es similar a la de HSPA y no a la modulación original W-CDMA, a continuación en la Tabla A-2 se muestra un resumen de los canales físicos

Tabla A-2. Canales físicos LTE. (52)

Canales en el enlace descendente	**Nombre completo**	**Propósito**
PBCH	Canal de difusión físico	Lleva la información específica de celda
PMCH	Canal Multicast físico	Lleva el canal de transporte MCH
PDCCH	Canal del enlace descendente físico	Programación ACK/NACK
PDSCH	Canal compartido para el enlace descendente físico	Payload
PCFICH	Canal indicador de formato de control físico	Define el número de símbolos OFDMA PDCCH por subtrama
PHICH	Canal indicador HARQ físico	Lleva HARQ ACK/NACK
Canales en el enlace ascendente	**Nombre completo**	**Propósito**
PRACH	Canal de acceso aleatorio físico	Configura la llamada
PUCCH	Canal de control del enlace ascendente físico	Programación ACK/NACK
PUSCH	Canal físico compartido del enlace ascendente	Payload

Estructura de la trama

La capa física soporta OFMA para el canal descendente y SC_FDMA para el canal ascendente. Soportando FDD y TDD para entornos donde se tienen frecuencias exclusivas para los canales ascendente y descendente o frecuencias compartidas, es decir frecuencias pareadas[57] o no pareadas[58] (*pair and unpaired*).A pesar que se usan diferentes esquemas de acceso comparte la misma estructura de la trama. LTE define 2 estructuras de trama mostradas en la **Figura A-2** y Figura A-3.

Figura A-2. Estructura de trama LTE tipo 1. (52)

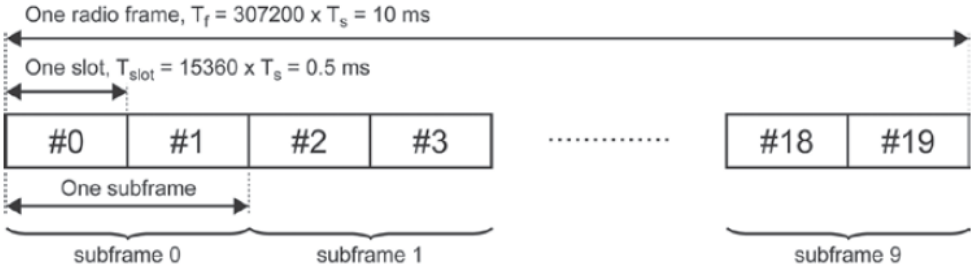
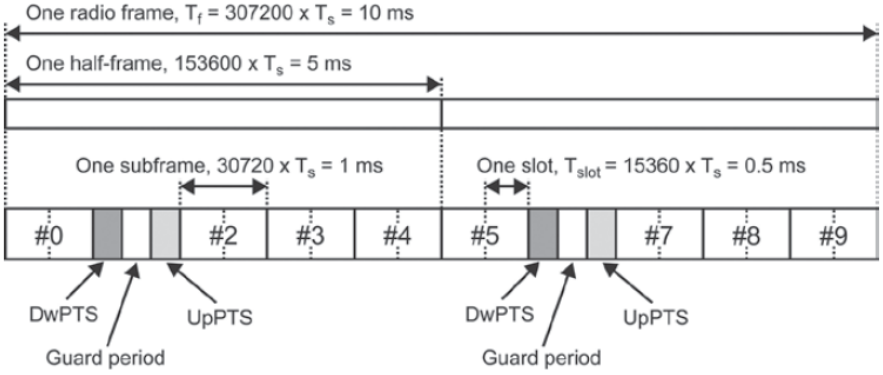


Figura A-3. Estructura de trama LTE tipo 2, con 5 ms en la periodicidad del tiempo de conmutación. (52).



Para FDD se tiene la estructura tipo 1, cada trama tiene una duración de 10ms y está dividida en 10 subtramas y a su vez cada subtrama tiene 2 ranuras o slots. Para FDD esta estructura es igual para los canales ascendentes y descendentes pero en diferentes localizaciones de espectro.

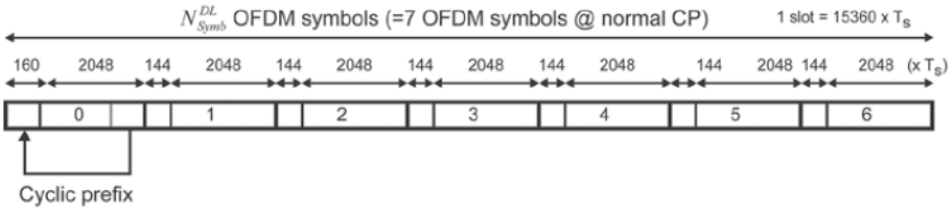
La trama 2 es la utilizada en el esquema TDD. La Figura A-3 muestra el ejemplo para un tiempo de conmutación de 5ms. Las subtramas se pueden utilizar para transmisiones de de los canales ascendentes y descendentes o para subtramas especiales que contienen ranuras de tiempo (*timeslots*) pilotos para los canales ascendentes y descendentes (DwPTS UpPTS) todas la subtramas tienen una separación conocida como periodo de guarda GP. La localización de las subtramas para el canal descendente, para el canal ascendente o para subtramas especiales está determinada por una de 7 configuraciones posibles. Las subtramas 0 y 5 siempre son para transmisiones del canal descendente, la subtrama 1 siempre es para una subtrama especial y la subtrama 2 siempre transmisiones del canal ascendente. La configuración de las subtramas restantes varía dependiendo de la trama completa. *Símbolos OFDM y prefijos cíclicos*

[57] Significa en medios regulatorios donde se tienen frecuencia para el canal ascendente y otra para el canal descendente

[58] Significa en medios regulatorios donde la misma frecuencia es usada en los canales ascendentes y descendentes.

Una de las principales características de los sistemas OFDM es la habilidad de protegerse contra los retardos por multiruta. Los símbolos OFDM largos permiten la introducción de periodos de guarda entre cada símbolo para eliminar la interferencia entre símbolos. La Figura A-3 ilustra siete símbolos en una ranura (slot) para el caso del prefijo cíclico normal.

Figura A-4. Estructura de los símbolos OFDM para un prefijo cíclico normal. (52)



La Tabla A-3 muestra el tamaño del prefijo cíclico tanto para el canal descendente como para el ascendente. Para el descendente Δf representa los 15 o 7.5 KHz de espacio entre las subportadoras. El prefijo cíclico normal de *144 x T_S* protege contra retardos por multiruta hasta una distancia de 1.4Km. Un prefijo cíclico más largo puede dar protección hasta de 10Km.

Tabla A-3. Longitud de los prefijos cíclicos para OFDMA (canal descendente) y para SC-FDMA (canal Ascendente) (52).

Configuración OFDM en el enlace descendente		**Longitud del prefijo cíclico $N_{CP,l}$**
Prefijo cíclico normal	$\Delta f = 15KHz$	160 para l=0 144 para l=1,2,…,6
Prefijo cíclico extendido	$\Delta f = 15KHz$	512 para l=0,1,…,5
	$\Delta f = 7.5KHz$	1024 para l=0,1,2
Configuración SC-FDMA en el enlace ascendente		**Longitud del prefijo cíclico $N_{CP,l}$**
Prefijo cíclico normal		160 para l=0 144 para l=1,2,…,6
Prefijo cíclico extendido		512 para l=0,1,…,5

Elementos de recurso y bloques de recurso

Un elemento de recurso es la unidad más pequeña de la capa física y ocupa un símbolo OFDM o SC-FDMA en el dominio del tiempo y una subportadora en el dominio de la frecuencia. Un bloque de recurso RB, es la unidad más pequeña que puede ser programada para transmisión. Un RB físicamente ocupa 0.5ms (1 slot o ranura) en el dominio del tiempo y 180KHz en el dominio de la frecuencia. El número de subportadoras por bloque de recurso y el número de símbolos por RB varía de acuerdo con el tamaño del prefijo cíclico la Figura A-5 y la Tabla A-4 muestra los parámetros del bloque de recursos físicos.

Figura A-5. Malla de recurso para el canal descendente (a) y para el canal ascendente (b) (52)

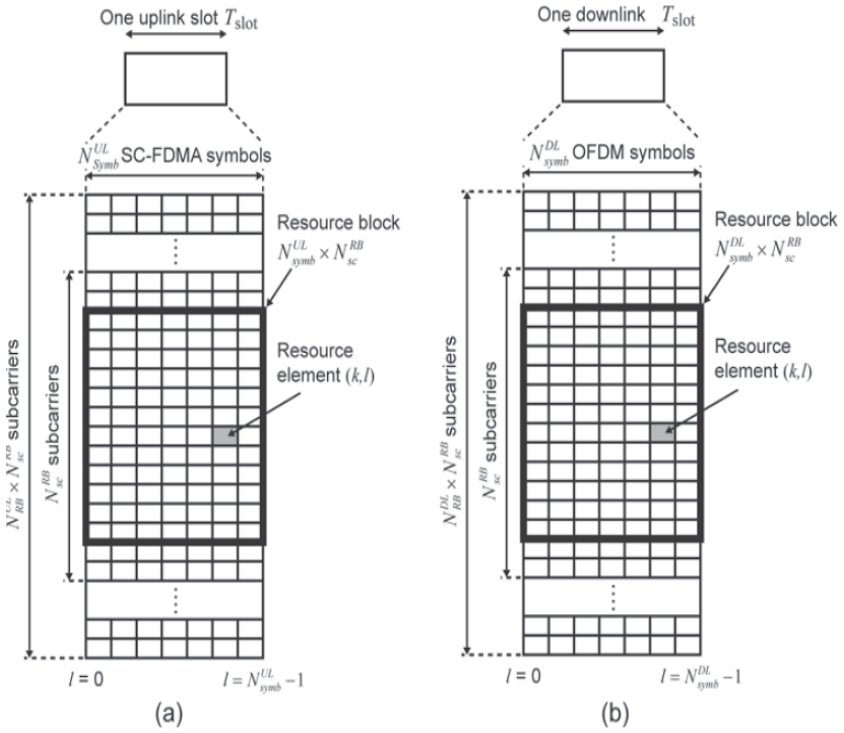


Tabla A-4. Parámetros del bloque de recursos físicos. (52)

Configuración del enlace descendente		N_{SC}^{RB}	N_{symb}^{DL}
Prefijo cíclico normal	$\Delta f = 15KHz$	12	7
Prefijo cíclico extendido	$\Delta f = 15KHz$		6
	$\Delta f = 7.5KHz$	24	3
Configuración enlace ascendente		N_{SC}^{RB}	N_{symb}^{DL}
Prefijo cíclico normal		12	7
Prefijo cíclico extendido		12	6

Modulación

LTE acepta modulaciones QPSK, 16QAM y 64QAM tanto para el enlace ascendente como para el descendente. Para los simboles multiportadora modulados en amplitud la potencia pico varía dependiendo de los símbolos modulados en cierto tiempo. En el transmisor del eNB donde el rango lineal de los amplificadores es grande, el limitador de potencia corta los picos de potencia más altos evitando los ruidos de banda ancha. En el transmisor del UE la región lineal del amplificador de potencia se configura de acuerdo a las restricciones del tipo de modulación seleccionada, en la práctica solo se logran transmisiones en el canal ascendente de 16QAM. La Tabla A-5 muestra los esquemas de modulación y las señales permitidas tanto en los canales ascendentes y descendentes.

Tabla A-5. Esquemas de modulación de LTE en los canales descendentes y ascendentes (11).

Enlace descendente	
Canales del enlace descendente	
PBCH	QPSK
PDCCH	QPSK
PDSCH	QPSK,16QAM,64QAM
PMCH	QPSK,16QAM,64QAM
PCFICH	QPSK
PHICH	BPSK sobre I y Q con códigos Walsh con un factor de esparcimiento de 2-4 veces
Señales físicas	**Esquema de modulación**
RS	Secuencia seudoaleatoria compleja I+jQ derivada del ID de la celda
Sincronización primaria	Una de tres secuencias Zadoff-Chu
Sincronización secundaria	Dos secuencias-M BPSK de 31 bits
Enlace ascendente	
Canales del enlace ascendente	**Esquema de modulación**
PUCCH	BPSK,QPSK
PUSCH	QPSK,16QAM, 64QAM
PRACH	Uth de raíz Zadoff-Chu
Señales físicas	**Esquema de modulación**
Demodulación RS	Zadoff-Chu
Sonido RS	Basado en Zadoff-Chu

Codificación de canales y Multiplexación (53)

Valiéndose de los canales de transporte (TrCH) y de control de información la capa física presta servicios de transporte de datos a las capas superiores, la Tabla A-6. Canales de control de información define los canales de control de información y la Tabla A-7 resume los canales disponibles y son definidos en detalle en (53).

Tabla A-6. Canales de control de información (53)

Enlace descendente	
Indicador del formato de control	CFI
Indicador HARQ	HI
Información de control del enlace descendente	DCI
Enlace ascendente	
Información de control del enlace ascendente	UCI

Tabla A-7. Tipos de canales de transporte (53)

Tipo de canal de transporte		**Funciones**
Enlace descendente		
Canal compartido enlace descendente	DL-SCH	Soporte para HARQ, modulación de enlace dinámico, asignación de recursos semi-estáticos y dinámicos, recepción discontinua del equipo de usuario y transmisión MBMS. Posibilidad de hacer difusión en área de cobertura entre celdas para permitir formación de zonas de cobertura (beamforming)
Canal de difusión	PBCH	Formato de transporte fijo.

		Debe ser de difusión (broadcast) en área de cobertura entre celda.
Canal de paginación	PCH	Soporte para la recepción discontinua del EU. Debe ser de difusión en área de cobertura entre celdas y estar mapeado a recursos físicos
Canal Multicast	MCH	Soporte para MBSFN, asignación de recursos semiestática. Debe ser de difusión en área de cobertura entre celda
Enlace ascendente		
Canal compartido del enlace ascendente	UL-SCH	Soporte para la adaptación de enlace dinámico, HARQ dinámico y asignación de recursos semiestáticos. Posibilidad de usar formación de haces (beamforming)
Canal de acceso aleatorio	RACH	Información de control limitada, riesgo de colisión

Los canales de control y los canales de información se mapean con sus correspondientes canales físicos, ver Tabla A-8.

Tabla A-8. Mapeo de los canales físicos (53)

Enlace descendente	
TrCH	**Canal físico**
DL-SCH	PDSCH
BCH	PBCH
PCH	PDSCH
MCH	PMCH
Control de información	**Canal físico**
CFI	PCFICH
HI	PHICH
DCI	PDCCH
Enlace ascendente	
TrCH	**Canal físico**
UL-SCH	PUSCH
RACH	PRACH
Control de información	**Canal físico**
UCI	PUCCH, PUSCH

Codificación de canales

Todo el flujo de información de los canales de datos y de control de la capa MAC se codifican y de decodifican usando esquemas de codificación. Para codificar se usan y combinan técnicas de detección de errores, segmentación, corrección de error, concatenación e intercalado.

HARQ y AMC

Los sistemas digitales utilizan dos medidas para determinar su desempeño: **latencia y el *throughput*** (tasa efectiva de descarga). LTE usa 2 mecanismos en la capa física para mejorar el rendimiento es estos dos aspectos: procesamiento de solicitud de repetición automática hibrida HARQ y codificación y modulación adaptativa AMC.

- **HARQ** es una técnica que garantiza que los datos enviados de un nodo a otro sean confiables, identificando cuando ocurren errores y facilitando las retransmisiones desde la fuente. LTE usa protocolos HARQ tipo II similares a los usados en HSPA y HSPA+.

- **AMC** es una técnica usada para la adaptación del enlace para mejorar el *throughput* en canales con desvanecimiento. Esta técnica cambia la modulación del canal descendente y el esquema de codificación usado basándose en las condiciones del canal de cada usuario.

Procedimientos de la capa física (54)

- **Procedimientos de sincronización**

Hay dos procesos de sincronización: **buscar celda y sincronización temporal**. Buscar Celda consiste en que un equipo de usuario se sincroniza en el tiempo y la frecuencia con la celda detectando la capa física de esta y su ID. La sincronización del tiempo incluye monitoreo del radio enlace, sincronización entre celdas y ajustes en los tiempos de transmisión.

- **Control de potencia**

Incluye control de potencia para el canal ascendente y distribución de la potencia en el canal descendente. El control de potencia determina la energía por elemento de recurso (EPRE)

- **Procedimientos de acceso aleatorio**

Incluye la transmisión del preámbulo de acceso aleatorio y la respuesta de acceso aleatorio.

- **Procedimientos relacionados con el PDSCH, Canal Físico compartido del enlace descendente.**

El primer procedimiento define la forma como el PDCCH asigna recursos al UE para recibir el PDSCH. Hay tres tipos de mecanismos de asignación que van desde un mapa de bits simple (tipo 0) hasta el más complejo (tipo 2), el cual tiene mayor flexibilidad. También define procedimientos como reportes CQI del equipo de usuario, el indicador de matriz de precodificación PMI, y el rango.

- **Procedimientos relacionados con el PUSCH**:

La asignación del UE para la transmisión del PUSCH es provista por un mensaje de sesión de programación que es transportado por el PDCCH lo cual provee al UE con el comienzo del RB y la longitud del RB siguiente para la transmisión del PUSCH

- **Procedimientos relacionados con el PDCCH**

El equipo de usuario se requiere para monitorear el enlace descendente para la presencia del PDCH. El PCFICH indica el número de símbolos PDCCH en cada subtrama que se monitorea y la duración del símbolo PHICH, el cual es leído del P-BCH.

- **Procedimientos relacionados con el PUCCH:**

La posición del ACK/NACK enviada en el PUCCH para las transmisiones PSDSCH se determina implícitamente del PDCCH asociado. Para un PDSCH detectado en una subtrama n, los mensajes ACK/NACK asociados se transmiten en la subtrama n+4. Este retardo es el parámetro clave para determinar la latencia total para la retransmisión, la cual es 8 subtramas (8ms).

Medidas de la capa física (55)

Para realizar las medidas del canal de radio se requiere el UE y el eNB. Estas medidas son replicadas a las capas superiores y se usan entre otras para handover inter e intra frecuencias, handover entre radios, medidas de tiempo y otras que soportan el RRM.

Medidas de la capa física del equipo de usuario

Para garantizar la operación de LTE con diferentes tecnologías de acceso se debe tener medidas equivalentes con otros sistemas como UMTS FDD, UMTS TDD, GSM CDMA2000 (1).

- *Señal de referencia de potencia recibida (RSRP)*: es la más simple de las medidas de la capa física del UE y es un promedio línea en Watts de la señal de referencia del enlace descendente a través del ancho de banda del canal. El RSRP provee al equipo de usuario con información esencial acerca de la potencia de la celda medida que es usada en los algoritmos para determinar la potencia máxima para la operación de la red.

- *Señal de referencia de calidad recibida RSRQ*: Aunque el RSRP es una medida importante esta no proporciona una indicación de la calidad de la señal. RSRQ provee esta medida y se define como la relación del RSRP y el indicador de potencia de la señal recibida portadora E-UTRA, RSSI.

- *Potencia del código de señal recibida UTRA FDD CPICH*: es una señal que se utiliza para el interfuncionamiento LTE-UMTS.

- *Indicador de fuerza de la señal recibida portadora UTRA FDD*. Esta medida está relacionada con UMTS y es una señal que es la medida de la potencia total recibida, incluyendo el ruido térmico y el ruido generado en el receptor.
- *UTRA RDD CPICH E_C/N_0*: Es la relación del CPICH[59] con la densidad de potencia del canal. Esta medida se usa en LTE Inter-RAT para los estados conectado y disponible.

- *RSSI portadora GSM:* Cuando LTE tiene interoperabilidad con sistemas basados en GSM incluyendo GRPS y EDGE, la versión GSM de RSSI se debe medir. GSM RSSI es una medida del canal de control de difusión (Broadcast) BCCH y es usado en los estados conectado y disponible en LTE inter- RAT.

- *RSSI portadora UTRA TDD*. Esta medida se usa en sistemas UTRA TDD y cumple la misma función básica que las otras medidas RSSI, y es usado en los estados conectado y disponible en LTE inter- RAT.

- *UTRA TDD P-CCPCH RSCP:* esta medida es el equivalente de RSRP en UTRA TDD y cumple las mismas funciones de las otras medidas RSSI, y es usado en los estados conectado y disponible en LTE inter- RAT.

- *Peso del piloto cdma2000 1xRTT:* Es el equivalente de la medida RSRP para sistemas basados en CDMA-2000.

- *Peso del piloto HRPD[60] CDMA2000:* Esta medida se utiliza para la interoperabilidad LTE HRPD y es otra versión LTE RSRP.

Medidas de la capa física eNB

Son pocas comparadas con las del equipo de usuario principalmente porque la e-NB no tiene que medir sistemas que no son LTE.

- *Potencia de transmisión RS en el canal descendente*: esta medida se diferencia de las que realiza el equipo de usuario en 2 aspectos:
    1. Describe la transmisión de la propia e-NB más que la transmisión de otras entidades.

[59] CPICH. Common pilot indicator channel. Canal indicador de piloto común.
[60] HRPD: High rate packet data. Datos de paquetes de alta velocidad.

2. No es tanto una medida es más bien un reporte generado por la eNB reflejando la potencia de transmisión.

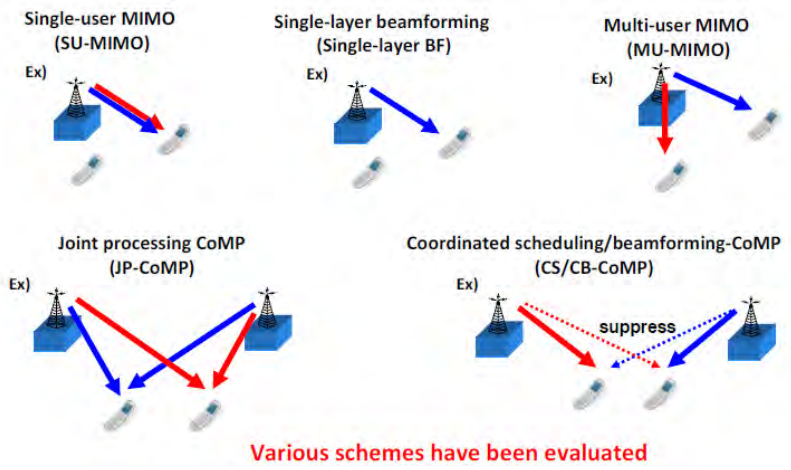
- *Potencia de la interferencia recibida*: La potencia de la interferencia recibida en el enlace ascendente es una medida de la potencia de la interferencia y del ruido térmico dentro del RB que no se programa para la transmisión dentro de la celda. La exactitud absoluta tiene que ser de ±4dB para la interferencia media entre -117dBm y -96dBm. Esta medida se usará para identificar interferencia de banda angosta entre canales procedentes de celdas vecinas en la misma frecuencia.
- *Potencia del ruido térmico*: la medida de la potencia del ruido térmico en el canal ascendente es una versión de difusión de la potencia de la interferencia recibida y es opcionalmente medida al mismo tiempo bajo las mismas condiciones. La definición es N_0*W donde N_0 es la densidad espectral de la potencia del ruido blanco y W es la configuración del ancho de banda de transmisión.

B. Bandas de operación de la E-UTRA

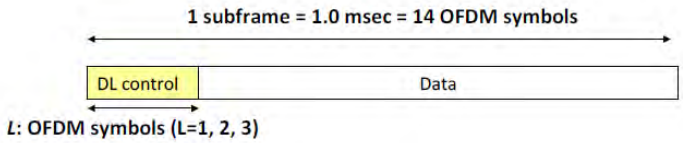
E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit			Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive			Duplex Mode
	F_{UL_low}	–	F_{UL_high}	F_{DL_low}	–	F_{DL_high}	
1	1920 MHz	–	1980 MHz	2110 MHz	–	2170 MHz	FDD
2	1850 MHz	–	1910 MHz	1930 MHz	–	1990 MHz	FDD
3	1710 MHz	–	1785 MHz	1805 MHz	–	1880 MHz	FDD
4	1710 MHz	–	1755 MHz	2110 MHz	–	2155 MHz	FDD
5	824 MHz	–	849 MHz	869 MHz	–	894MHz	FDD
6[1]	830 MHz	–	840 MHz	875 MHz	–	885 MHz	FDD
7	2500 MHz	–	2570 MHz	2620 MHz	–	2690 MHz	FDD
8	880 MHz	–	915 MHz	925 MHz	–	960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz	–	1784.9 MHz	1844.9 MHz	–	1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz	–	1770 MHz	2110 MHz	–	2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz	–	1447.9 MHz	1475.9 MHz	–	1495.9 MHz	FDD
12	699 MHz	–	716 MHz	729 MHz	–	746 MHz	FDD
13	777 MHz	–	787 MHz	746 MHz	–	756 MHz	FDD
14	788 MHz	–	798 MHz	758 MHz	–	768 MHz	FDD
15	Reserved			Reserved			FDD
16	Reserved			Reserved			FDD
17	704 MHz	–	716 MHz	734 MHz	–	746 MHz	FDD
18	815 MHz	–	830 MHz	860 MHz	–	875 MHz	FDD
19	830 MHz	–	845 MHz	875 MHz	–	890 MHz	FDD
20	832 MHz	–	862 MHz	791 MHz	–	821 MHz	FDD
21	1447.9 MHz	–	1462.9 MHz	1495.9 MHz	–	1510.9 MHz	FDD
...							
24	1626.5 MHz	–	1660.5 MHz	1525 MHz	–	1559 MHz	FDD
...							
33	1900 MHz	–	1920 MHz	1900 MHz	–	1920 MHz	TDD
34	2010 MHz	–	2025 MHz	2010 MHz	–	2025 MHz	TDD
35	1850 MHz	–	1910 MHz	1850 MHz	–	1910 MHz	TDD
36	1930 MHz	–	1990 MHz	1930 MHz	–	1990 MHz	TDD
37	1910 MHz	–	1930 MHz	1910 MHz	–	1930 MHz	TDD
38	2570 MHz	–	2620 MHz	2570 MHz	–	2620 MHz	TDD
39	1880 MHz	–	1920 MHz	1880 MHz	–	1920 MHz	TDD
40	2300 MHz	–	2400 MHz	2300 MHz	–	2400 MHz	TDD
41	2496 MHz		2690 MHz	2496 MHz		2690 MHz	TDD
42	3400 MHz	–	3600 MHz	3400 MHz	–	3600 MHz	TDD
43	3600 MHz	–	3800 MHz	3600 MHz	–	3800 MHz	TDD
Note 1: Band 6 is not applicable							

C. Detalle de las pruebas de conformidad de LTE[61]

Esquemas del enlace descendente evaluados en la eficiencia espectral buffer lleno



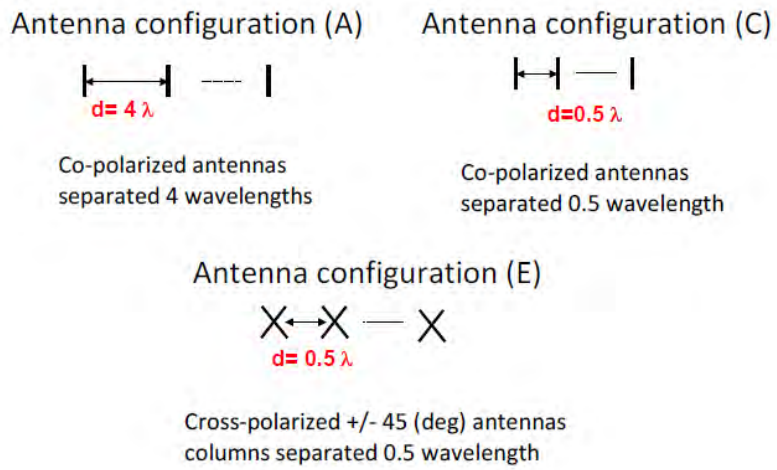
Presunciones en el encabezado del canal de control del enlace descendente para la medición de la eficiencia espectral



- Downlink performances have been evaluated taking into account the downlink overhead for *L* = 1, 2 and 3 cases
- Dynamic assignment of *L* is supported already in the Rel. 8 specification.
  → Average overhead depends on the environments

[61] Tomado de (37)

Detalles de la configuración de antena



Eficiencia espectral pico en el canal descendente

- LTE Rel. 8 fulfills ITU-R requirements
- Further improved performance can be achieved by using additional technology features (e.g., 8-layer spatial multiplexing)

DL peak spectrum efficiency for FDD

Scheme	Spectral efficiency [b/s/Hz]
ITU-R Requirement	15
Rel. 8 4-layer spatial multiplexing	16.3
8-layer spatial multiplexing	30.6

Overhead assumptions
- DL control channel (L = 1)
- Cell and UE specific reference signal
- Physical broadcast channel and synchronization signal

DL peak spectrum efficiency for TDD

Scheme	Spectral efficiency [b/s/Hz]
ITU-R Requirement	15
Rel. 8 4-layer spatial multiplexing	16.0
8-layer spatial multiplexing	30.0

Eficiencia espectral pico en el canal ascendente

- LTE Rel. 8 fulfills ITU-R requirements
- Further improved performance can be achieved by using additional technology features (e.g.,4-layer spatial multiplexing)

UL peak spectral efficiency for FDD

Scheme	Spectral efficiency [b/s/Hz]
ITU-R Requirement	6.75
2 layer spatial multiplexing	8.4
4 layer spatial multiplexing	16.8

Overhead assumptions
- UL control channel
- Physical random access channel

UL peak spectral efficiency for TDD

Scheme	Spectral efficiency [b/s/Hz]
ITU-R Requirement	6.75
2 layer spatial multiplexing	8.1
4 layer spatial multiplexing	16.1

Latencia en el plano de control

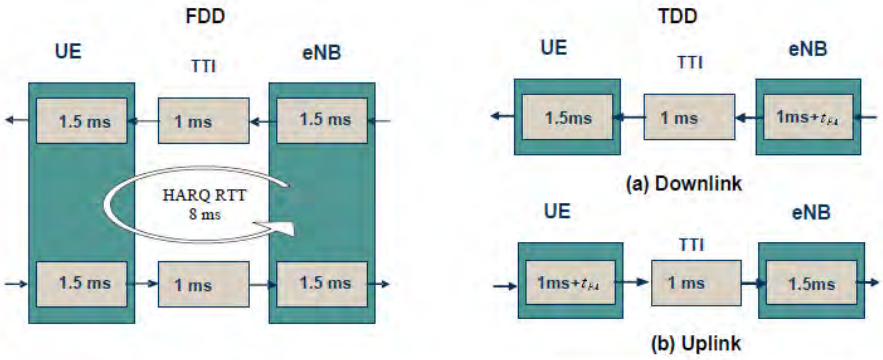
- LTE fulfills ITU-R requirements on control plane latency for idle to connected transition

ITU-R Requirement: less than 100

Component	Description	Time (ms)
1	Average delay due to RACH scheduling period (1ms RACH cycle)	0.5
2	RACH Preamble	1
3-4	Preamble detection and transmission of RA response (Time between the end RACH transmission and UE's reception of scheduling grant and timing adjustment)	3
5	UE Processing Delay (decoding of scheduling grant, timing alignment and C-RNTI assignment + L1 encoding of RRC Connection Request)	5
6	Transmission of RRC and NAS Request	1
7	Processing delay in eNB (L2 and RRC)	4
8	Transmission of RRC Connection Set-up (and UL grant)	1
9	Processing delay in the UE (L2 and RRC)	12
10	Transmission of RRC Connection Set-up complete	1
11	*Processing delay in eNB (Uu →S1-C)*	
12	*S1-C Transfer delay*	
13	*MME Processing Delay (including UE context retrieval of 10ms)*	
14	*S1-C Transfer delay*	
15	Processing delay in eNB (S1-C →Uu)	4
16	Transmission of RRC Security Mode Command and Connection Reconfiguration (+TTI alignment)	1.5
17	Processing delay in UE (L2 and RRC)	16
	Total delay	50

Latencia en el plano de usuario

• LTE fulfills ITU-R requirements on user plane latency



0 % BLER	4.0 msec
10 % BLER	4.8 msec

0 % BLER	4.9 msec
10 % BLER	6.035 msec

Eficiencia espectral en la celda y en el borde de la celda para el canal descendente en un ambiente interior

• LTE Rel. 8 with SU-MIMO 4x2 (even with maximum DL control overhead (L = 3)) fulfills ITU-R requirements
• Further improved performance can be achieved by using additional technology features (e.g., MU-MIMO 4x2)

Downlink spectral efficiency (FDD), InH

Scheme and antenna configuration	ITU-R Requirement (Ave./Edge)	Number of samples	Cell average [b/s/Hz/cell]			Cell edge [b/s/Hz]		
			L=1	L=2	L=3	L=1	L=2	L=3
Rel. 8 SU-MIMO 4 x 2 (A)	3 / 0.1	15	4.8	4.5	4.1	0.23	0.21	0.19
MU-MIMO 4 x 2 (C)	3 / 0.1	3	6.6	6.1	5.5	0.26	0.24	0.22

Downlink spectral efficiency (TDD), InH

Scheme and antenna configuration	ITU-R Requirement (Ave./Edge)	Number of samples	Cell average [b/s/Hz/cell]			Cell edge [b/s/Hz]		
			L=1	L=2	L=3	L=1	L=2	L=3
Rel. 8 SU-MIMO 4 x 2 (A)	3 / 0.1	10	4.7	4.4	4.1	0.22	0.20	0.19
MU-MIMO 4 x 2 (C)	3 / 0.1	4	6.7	6.1	5.6	0.24	0.22	0.20

Eficiencia espectral en la celda y en el borde de la celda para el canal ascendente en un ambiente interior

- LTE Rel. 8 with SIMO 1x4 fulfills ITU-R requirements
- Further improved performance can be achieved by using additional technology features (e.g., LTE Rel. 8 MU-MIMO 1x4, SU-MIMO 2x4)

Uplink spectral efficiency (FDD), InH

Scheme and antenna configuration	ITU-R Requirement (Ave./Edge)	Number of samples	Cell average [b/s/Hz/cell]	Cell edge [b/s/Hz]
Rel. 8 SIMO 1x4 (A)	2.25 / 0.07	13	3.3	0.23
Rel. 8 SIMO 1x4 (C)	2.25 / 0.07	10	3.3	0.24
Rel. 8 MU-MIMO 1x4 (A)	2.25 / 0.07	2	5.8	0.42
SU-MIMO 2 x 4 (A)	2.25 / 0.07	5	4.3	0.25

Uplink spectral efficiency (TDD), InH

Scheme and antenna configuration	ITU-R Requirement (Ave./Edge)	Number of samples	Cell average [b/s/Hz/cell]	Cell edge [b/s/Hz]
Rel. 8 SIMO 1x4 (A)	2.25 / 0.07	9	3.1	0.22
Rel. 8 SIMO 1x4 (C)	2.25 / 0.07	7	3.1	0.23
Rel. 8 MU-MIMO 1x4 (A)	2.25 / 0.07	2	5.5	0.39
SU-MIMO 2 x 4 (A)	2.25 / 0.07	2	3.9	0.25

Eficiencia espectral en la celda y en el borde de la celda para el canal descendente en un ambiente microcelular

- Extension of LTE Rel. 8 with MU-MIMO 4x2 (even with maximum DL control overhead (L = 3)) fulfills ITU-R requirements
- Further improved performance can be achieved by using additional technology features (e.g., CS/CB-CoMP 4x2, JP-CoMP 4x2, and MU-MIMO 8x2)

Downlink spectral efficiency (FDD), UMi

Scheme and antenna configuration	ITU-R Requirement (Ave./Edge)	Number of samples	Cell average [b/s/Hz/cell]			Cell edge [b/s/Hz]		
			L=1	L=2	L=3	L=1	L=2	L=3
MU-MIMO 4 x 2 (C)	2.6 / 0.075	8	3.5	3.2	2.9	0.10	0.096	0.087
MU-MIMO 4 x 2 (A)	2.6 / 0.075	3	3.4	3.1	2.8	0.12	0.11	0.099
CS/CB-CoMP 4 x 2 (C)	2.6 / 0.075	5	3.6	3.3	3.0	0.11	0.099	0.089
JP-CoMP 4 x 2 (C)	2.6 / 0.075	1	4.5	4.1	3.7	0.14	0.13	0.12
MU-MIMO 8 x 2 (C/E)	2.6 / 0.075	4	4.2	3.8	3.5	0.15	0.14	0.13

Downlink spectral efficiency (TDD), UMi

Scheme and antenna configuration	ITU-R Requirement (Ave./Edge)	Number of samples	Cell average [b/s/Hz/cell]			Cell edge [b/s/Hz]		
			L=1	L=2	L=3	L=1	L=2	L=3
MU-MIMO 4 x 2 (C)	2.6 / 0.075	8	3.5	3.2	3.0	0.11	0.096	0.089
MU-MIMO 4 x 2 (A)	2.6 / 0.075	1	3.2	2.9	2.7	0.11	0.10	0.095
CS/CB-CoMP 4 x 2 (C)	2.6 / 0.075	3	3.6	3.3	3.1	0.10	0.092	0.086
JP-CoMP 4 x 2 (C)	2.6 / 0.075	1	4.6	4.2	3.9	0.10	0.092	0.085
MU-MIMO 8 x 2 (C/E)	2.6 / 0.075	4	4.2	3.9	3.6	0.12	0.11	0.099

Eficiencia espectral en la celda y en el borde de la celda para el canal ascendente en un ambiente microcelular

- LTE Rel. 8 with SIMO 1x4 fulfills ITU-R requirements
- Further improved performance can be achieved by using additional technology features (e.g., LTE Rel. 8 MU-MIMO 1x4, MU-MIMO 2x4, and MU-MIMO 1x8)

Uplink spectral efficiency (FDD), UMi

Scheme and antenna configuration	ITU-R Requirement (Ave./Edge)	Number of samples	Cell average [b/s/Hz/cell]	Cell edge [b/s/Hz]
Rel. 8 SIMO 1 x 4 (C)	1.8 / 0.05	12	1.9	0.073
Rel. 8 MU-MIMO 1 x 4 (A)	1.8 / 0.05	2	2.5	0.077
MU-MIMO 2 x 4 (A)	1.8 / 0.05	1	2.5	0.086

Uplink spectral efficiency (TDD), UMi

Scheme and antenna configuration	ITU-R Requirement (Ave./Edge)	Number of samples	Cell average [b/s/Hz/cell]	Cell edge [b/s/Hz]
Rel. 8 SIMO 1 x 4 (C)	1.8 / 0.05	9	1.9	0.070
Rel. 8 MU-MIMO 1 x 4 (A)	1.8 / 0.05	2	2.3	0.071
MU-MIMO 2 x 4 (A)	1.8 / 0.05	1	2.8	0.068
MU-MIMO 1 x 8 (E)	1.8 / 0.05	1	3.0	0.079

Eficiencia espectral en la celda y en el borde de la celda para el canal descendente en un ambiente urbano de cobertura básica

- Extension of LTE Rel. 8 with MU-MIMO 4x2 (even with maximum DL control overhead (L = 3)) fulfills ITU-R requirements
- Further improved performance can be achieved by using additional technology features (e.g., CS/CB-CoMP 4x2, JP-CoMP 4x2, and CS/CB-CoMP 8x2)

Downlink spectral efficiency (FDD), UMa

Scheme and antenna configuration	ITU-R Requirement (Ave./Edge)	Number of samples	Cell average [b/s/Hz/cell]			Cell edge [b/s/Hz]		
			L=1	L=2	L=3	L=1	L=2	L=3
MU-MIMO 4 x 2 (C)	2.2 / 0.06	7	2.8	2.6	2.4	0.079	0.073	0.066
CS/CB-CoMP 4 x 2 (C)	2.2 / 0.06	6	2.9	2.6	2.4	0.081	0.074	0.067
JP-CoMP 4 x 2 (A)	2.2 / 0.06	1	3.0	2.7	2.5	0.080	0.073	0.066
CS/CB-CoMP 8 x 2 (C)	2.2 / 0.06	3	3.8	3.5	3.2	0.10	0.093	0.084

Downlink spectral efficiency (TDD), UMa

Scheme and antenna configuration	ITU-R Requirement (Ave./Edge)	Number of samples	Cell average [b/s/Hz/cell]			Cell edge [b/s/Hz]		
			L=1	L=2	L=3	L=1	L=2	L=3
MU-MIMO 4 x 2 (C)	2.2 / 0.06	7	2.9	2.6	2.4	0.079	0.071	0.067
CS/CB-CoMP 4 x 2 (C)	2.2 / 0.06	4	2.9	2.6	2.4	0.083	0.075	0.070
JP-CoMP 4 x 2 (C)	2.2 / 0.06	1	3.6	3.3	3.1	0.090	0.082	0.076
CS/CB-CoMP 8 x 2 (C/E)	2.2 / 0.06	3	3.7	3.3	3.1	0.10	0.093	0.087

Eficiencia espectral en la celda y en el borde de la celda para el canal ascendente en un ambiente urbano de cobertura básica

- LTE Rel. 8 with SIMO 1x4 fulfills ITU-R requirements
- Further improved performance can be achieved by using additional technology features (e.g., CoMP 1x4, CoMP 2x4, and MU-MIMO 1x8)

Uplink spectral efficiency (FDD), UMa

Scheme and antenna configuration	ITU-R Requirement (Ave./Edge)	Number of samples	Cell average [b/s/Hz/cell]	Cell edge [b/s/Hz]
Rel. 8 SIMO 1 x 4 (C)	1.4 / 0.03	12	1.5	0.062
CoMP 1 x 4 (A)	1.4 / 0.03	2	1.7	0.086
CoMP 2 x 4 (C)	1.4 / 0.03	1	2.1	0.099

Uplink spectral efficiency (TDD), UMa

Scheme and antenna configuration	ITU-R Requirement (Ave./Edge)	Number of samples	Cell average [b/s/Hz/cell]	Cell edge [b/s/Hz]
Rel. 8 SIMO 1x4 (C)	1.4 / 0.03	9	1.5	0.062
CoMP 1 x 4 (C)	1.4 / 0.03	1	1.9	0.090
CoMP 2 x 4 (C)	1.4 / 0.03	1	2.0	0.097
MU-MIMO 1 x 8 (E)	1.4 / 0.03	1	2.7	0.076

Eficiencia espectral en la celda y en el borde de la celda para el canal descendente en un ambiente de alta velocidad

- LTE Rel. 8 with SU-MIMO 4x2 (even with maximum DL control overhead (L = 3)) fulfills ITU-R requirements
- Further improved performance can be achieved by using additional technology features (e.g., MU-MIMO 4x2, MU-MIMO 8x2, and LTE Rel. 8 single-layer BF 8x2)

Downlink spectral efficiency (FDD), RMa

Scheme and antenna configuration	ITU-R Requirement (Ave./Edge)	Number of samples	Cell average [b/s/Hz/cell]			Cell edge [b/s/Hz]		
			L=1	L=2	L=3	L=1	L=2	L=3
Rel. 8 SU-MIMO 4 x 2 (C)	1.1 / 0.04	15	2.3	2.1	1.9	0.081	0.076	0.069
Rel. 8 SU-MIMO 4 x 2 (A)	1.1 / 0.04	14	2.1	2.0	1.8	0.067	0.063	0.057
MU-MIMO 4 x 2 (C)	1.1 / 0.04	3	3.9	3.5	3.2	0.11	0.099	0.090
MU-MIMO 8 x 2 (C)	1.1 / 0.04	1	4.1	3.7	3.4	0.13	0.12	0.11

Downlink spectral efficiency (TDD), RMa

Scheme and antenna configuration	ITU-R Requirement (Ave./Edge)	Number of samples	Cell average [b/s/Hz/cell]			Cell edge [b/s/Hz]		
			L=1	L=2	L=3	L=1	L=2	L=3
Rel. 8 SU-MIMO 4 x 2 (C)	1.1 / 0.04	8	2.0	1.9	1.8	0.072	0.067	0.063
Rel. 8 SU-MIMO 4 x 2 (A)	1.1 / 0.04	7	1.9	1.7	1.6	0.057	0.053	0.049
MU-MIMO 4 x 2 (C)	1.1 / 0.04	4	3.5	3.2	3.0	0.098	0.089	0.083
MU-MIMO 8 x 2 (C/E)	1.1 / 0.04	2	4.0	3.6	3.4	0.12	0.11	0.10
Rel. 8 single-layer BF 8 x 2 (E)	1.1 / 0.04	4	2.5	2.3	2.1	0.11	0.10	0.093

Eficiencia espectral en la celda y en el borde de la celda para el canal ascendente en un ambiente de alta velocidad

- LTE Rel. 8 with SIMO 1x4 fulfills ITU-R requirements
- Further improved performance can be achieved by using additional technology features (e.g., CoMP 2x4, and MU-MIMO 1x8)

Uplink spectral efficiency (FDD), RMa

Scheme and antenna configuration	ITU-R Requirement (Ave./Edge)	Number of samples	Cell average [b/s/Hz/cell]	Cell edge [b/s/Hz]
Rel. 8 SIMO 1x4 (C)	0.7 / 0.015	11	1.8	0.082
Rel. 8 MU-MIMO 1x4 (A)	0.7 / 0.015	2	2.2	0.097
CoMP 2 x 4 (A)	0.7 / 0.015	2	2.3	0.13

Uplink spectral efficiency (TDD), RMa

Scheme and antenna configuration	ITU-R Requirement (Ave./Edge)	Number of samples	Cell average [b/s/Hz/cell]	Cell edge [b/s/Hz]
Rel. 8 SIMO 1 x 4 (C)	0.7 / 0.015	8	1.8	0.080
Rel. 8 MU-MIMO 1 x 4 (A)	0.7 / 0.015	2	2.1	0.093
CoMP 2 x 4 (A)	0.7 / 0.015	1	2.5	0.15
MUMIMO 1 x 8 (E)	0.7 / 0.015	1	2.6	0.10

Resultados VoIP FDD

- LTE Rel. 8 fulfills ITU-R requirements for all the environments

VoIP capacity for FDD

Antenna configuration	Environment	ITU-R requirement	Number of samples	Capacity [User/MHz/Cell]
Antenna configuration (A)	Indoor	50	3	140
	Urban Micro	40	3	80
	Urban Macro	40	3	68
	High Speed	30	3	91
Antenna configuration (C)	Indoor	50	3	131
	Urban Micro	40	3	75
	Urban Macro	40	3	69
	High Speed	30	3	94

Evaluated schemes
DL: Rel. 8 (4x2, 1x2)
UL: Rel. 8 (1x4)

Resultados VoIP TDD

• LTE Rel. 8 fulfills ITU-R requirements for all the environments

VoIP capacity for TDD

Antenna configuration	Environment	ITU-R requirement	Number of samples	Capacity [User/MHz/Cell]
Antenna configuration (A)	Indoor	50	2	137
	Urban Micro	40	2	74
	Urban Macro	40	2	65
	High Speed	30	2	86
Antenna configuration (C)	Indoor	50	3	130
	Urban Micro	40	3	74
	Urban Macro	40	3	67
	High Speed	30	3	92

Evaluated schemes
DL: Rel. 8 (4x2 or 1x2)
UL: Rel. 8 (1x4)

Resultados de movilidad FDD

• LTE Rel. 8 fulfills ITU-R requirements for all the environments

Mobility traffic channel link data rates for FDD

LOS/NLOS	Environment	ITU-R requirement	Median SINR [dB]	Number of samples	FDD UL Spectrum efficiency [b/s/Hz]
Antenna configuration 1 x 4, NLOS	Indoor	1.0	13.89	7	2.56
	Urban Micro	0.75	4.54	7	1.21
	Urban Macro	0.55	4.30	7	1.08
	High Speed	0.25	5.42	7	1.22
Antenna configuration 1 x 4, LOS	Indoor	1.0	13.89	4	3.15
	Urban Micro	0.75	4.54	4	1.42
	Urban Macro	0.55	4.30	4	1.36
	High Speed	0.25	5.42	4	1.45

Evaluated schemes
Rel. 8 UL (1x4)

Resultados de movilidad TDD

• LTE Rel. 8 fulfills ITU-R requirements for all the environments

Mobility traffic channel link data rates for TDD

LOS/NLOS	Environment	ITU-R requirement	Median SINR [dB]	Number of samples	TDD UL Spectrum efficiency [b/s/Hz]
Antenna configuration 1 x 4, NLOS	Indoor	1.0	13.89	4	2.63
	Urban Micro	0.75	4.54	4	1.14
	Urban Macro	0.55	4.30	4	0.95
	High Speed	0.25	5.42	4	1.03
Antenna configuration 1 x 4, LOS	Indoor	1.0	13.89	2	3.11
	Urban Micro	0.75	4.54	2	1.48
	Urban Macro	0.55	4.30	2	1.36
	High Speed	0.25	5.42	2	1.38

Evaluated schemes
Rel. 8 UL (1x4)

D. Tipos de subastas

Subastas de valor común

En este tipo de subasta el valor real *V* es el mismo para todos los proponentes, pero cada uno tiene información privada acerca de ese valor, es decir la estimación del postor *E*. De acuerdo con esto se tiene información simétrica *V* e información asimétrica *E*. En muchas ocasiones puede ocurrir que el proponente con la estimación *E* más alta sea el ganador de la subasta y podría estar pagando una suma significativamente superior al valor real, esto normalmente es conocido como la maldición del ganador.

Subastas de valor privado

En este tipo de compraventa cada uno de los postores conoce la valoración del bien de interés, pero no conoce la valoración de los otros postores. Existen dos definiciones básicas para comprender este tipo de subasta: *valor de reserva* que es el valor máximo que el oferente está dispuesto a pagar por el bien subastado y la *valuación* que es la estimación de la utilidad que el objeto tiene para cada postor. Conocer anticipadamente los precios que ofrecerán no causa mayor impacto en el valor propio, pero si influye en la estrategia al momento de participar en la subasta.

Subasta o licitación de sobre sellado

Para este modelo el subastador recibe un sobre sellado por cada una de las ofertas de los postores y se selecciona la oferta que produzca el mayor beneficio económico, si el subastador está vendiendo escogerá la oferta con el mayor precio y si está comprando escogerá la oferta con menor valor, si existe un empate en las ofertas la selección final es al azar. En su modelamiento más sencillo, el postor 1 y el postor 2 tienen una valoración no negativa v_1 *y* v_2 del bien que el destino ha elegido a partir de una distribución uniforme de probabilidad en el rango *[0,1],* y ha revelado confidencialmente a cada uno de ellos. Ambos desean definir su oferta $o_i(v_i)$ como función de sus respectivas valoraciones v_i, con *i Î {1,2}*. Dado que tienen idénticas características, salvo su valor v_i, la función de oferta debería ser idéntica, es decir, $o_i(v_i)=o(v_i)$, para mayor detalle del modelamiento matemático ver (22).

Subasta de segundo precio o de Vickrey

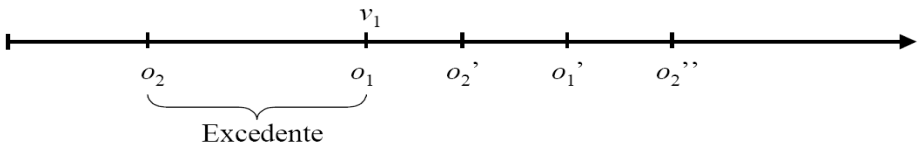
Su nombre viene en honor a William Vickrey, premio nobel de economía en 1996, consiste en que el ganador es el que ofrece el precio más alto pero paga el valor de la oferta inmediatamente anterior a su propia oferta. Este tipo de subasta no es muy acogido porque pueden ocurrir casos poco exitosos como el de nueva Zelanda donde el gobierno subasto licencias radioeléctricas a principios de los 90 y la opinión pública se escandalizo al enterarse que un postor que ofreció NZ$ 100.000 terminó pagando NZ$6 y otro que ofreció $7.000.000 terminó pagando solo $5.000.

La ventaja de esta subasta es que el postor tiene como estrategia débilmente dominante formular una oferta igual a su verdadera valoración del bien. Tal como se aprecia en la **Figura D-1**, si el postor 1 gana, no aumenta el excedente cuando su oferta o_1 está por debajo de su valoración v_1, pues su excedente sigue siendo ($v_1 - o_2$), en donde o_2 es la segunda mejor oferta. Reducir o_1 disminuye su probabilidad de ganar, pues podría ocurrir que $o_1 < o_2$. Tampoco le conviene formular o_1´ por encima de v_1, pues podrían ocurrir tres situaciones (22):

- La mejor oferta del adversario o_2 está por debajo de v_1, así es que con $o_1 = v_1$ también se habría adjudicado el bien.
- La mejor oferta del adversario o_2' está entre v_1y o_1', por lo cual el postor 1 se adjudica el bien, pero su excedente ($v_1 - o_2'$) es negativo.
- La mejor oferta del adversario o_2'' está por encima de o_1', así es que el postor 1 pierde la subasta de todas formas

La Figura D-1 ilustra las posibles situaciones de la subas de este tipo.

Figura D-1. Análisis de la subasta de Vickrey. (22).

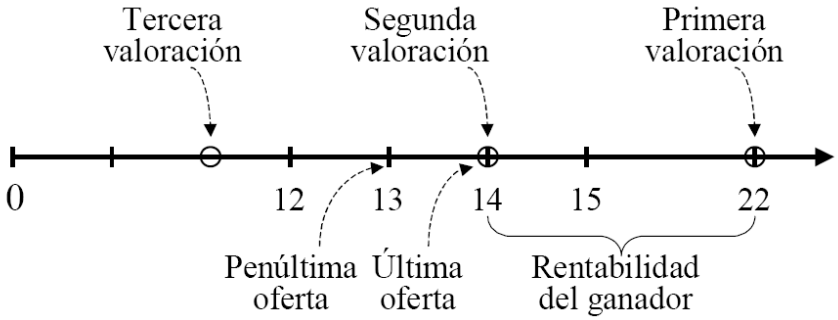


Subasta inglesa o remate.

En este tipo de subasta existe un subastador, el martillero, que anuncia a todos los presentes en la subasta el valor más alto ofrecido hasta el momento el cual puede ser superado por cualquier postor. El proceso termina cuando ningún postor ofrece un valor mayor a la última oferta y el bien finalmente es adjudicado al postor que ofreció este último valor.

En (22) se realiza una breve descripción del modelamiento de este tipo de subasta: se supone que los precios sólo pueden expresarse en valores enteros, ya sea miles de dólares o millones de pesos, y que nadie ofrecerá un precio igual o mayor que su propia valoración. Suponiendo que las valoraciones son las indicadas en la Figura D-2, el postor con la valoración de 14 ofrecerá hasta 13 por el bien, por lo que al postor cuya valoración es 22 le bastará ofrecer 14 para adjudicarse el remate. Por lo tanto, el precio de venta en un remate inglés es, en este caso, igual a la segunda valoración más alta del bien.

Figura D-2. Valoración en una subasta inglesa (22).



Subasta holandesa

En este tipo de subasta el subastador comienza con un precio alto y comienza a reducirlo poco a poco hasta que alguno de los oferentes decide parar el proceso y quedarse con el bien. En este tipo de subasta también se presenta asimetría de información, pero a diferencia de la subasta Inglesa, la incertidumbre sobre la misma no disminuye a medida que avanza el proceso, ya que por la mecánica misma de la subasta, los agentes no pueden aprender acerca de la valoración que los demás tienen del bien (23).

Por último analizamos la subasta que se ha impuesto como método utilizado por los gobiernos para entregar concesiones, *la subasta de precios ascendentes.*

La subasta de precios ascendentes es aquel procedimiento mediante el cual el Estado concesiona o vende a través de un remate todos los activos de un sistema a la vez, en etapas sucesivas en las cuales los interesados ofertan valores cada vez mayores hasta obtener las asignaciones deseadas. Es decir que la subasta de precios ascendentes es una modalidad en la cual los oferentes van elevando el valor de sus apuestas a medida que transcurre el tiempo. Puede haber tantos jugadores como se desee y las reglas las diseña el ente interesado en subastar, para lograr diversos objetivos. La característica particular de esta subasta es que tiene la flexibilidad suficiente como para permitir que los participantes obtengan diferentes partes de un sistema de manera de generar agregaciones de bienes o servicios que maximicen los beneficios de sus empresas, esta es la principal diferencia con las subastas antes vistas. Justamente en este caso se asigna más de un bien, en el mismo procedimiento. Está especialmente diseñada para casos en los cuales existe complementariedad y/o sustitución a la vez (24).

E. Proceso y resultado de subasta de TMC en Colombia

Telefonía móvil celular 1993

La llegada de la TMC a Colombia en principio no fue del todo bien aceptada, porque mientras por una parte estaban los grandes grupos económicos que veían un gran potencial en este negocio compitiendo por las diversas licitaciones, en el congreso por su parte este servicio era considerado como un lujo para el país y algo elitista por lo tanto colocaban una y otra traba para su implementación, pero una vez superados estos obstáculos y como se mencionaba anteriormente la TMC en Colombia fue aprobada mediante la 37 de 1993 y reglamentada mediante el decreto 741 del mismo año, con base en este último se definieron tres zonas: oriental, occidental y costa atlántica, y a su vez en cada zona el servicio sería prestado en régimen de competencia en dos redes: red A de capital mixto y red B capital privado.

Figura D-3. Distribución de las zonas del país de acuerdo con el decreto 741 (28).

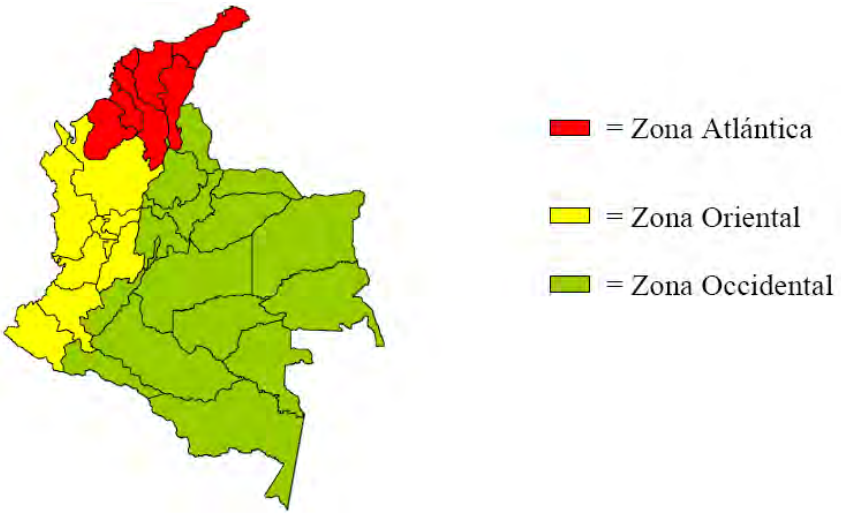


Tabla D-1. Departamentos de cada una de las zonas establecidas en el decreto 741 de 1993. (28)

REGION ORIENTAL	REGION OCCIDENTAL	REGION COSTA ATLANTICA
- ANTIOQUIA (Unicamente Yondó) - BOYACA - CAQUETA - CUNDINAMARCA - SANTAFE DE BOGOTA - HUILA - META - NORTE DE SANTANDER -TOLIMA (Exceptuando 5 municipios) - SANTANDER - CASANARE - PUTUMAYO - SAN ANDRES Y PROVIDENCIA - AMAZONAS - GUAINIA - GUAVIARE - VAUPES - VICHADA - ARAUCA	- ANTIOQUIA (Excepto Yondó) - CALDAS - CAUCA - CHOCO - NARIÑO - QUINDIO - RISARALDA - VALLE DEL CAUCA - TOLIMA (Unicamente 5 municipios)	- ATLANTICO - BOLIVAR - CESAR - CORDOBA - LA GUAJIRA - MAGDALENA - SUCRE

Para la adjudicación de las bandas de frecuencias, el gobierno estableció los siguientes pasos:

Registro de proponentes: cuyo alcance fue calificar a las firmas de acuerdo con sus capacidad organizacional y técnica, la experiencia en TMC su capacidad de planeación y su capacidad financiera. De las 11 firmas que se presentaron en la propuesta 8 presentaron propuestas para la red privada y 3 para la mixta. Para cumplir con estos requisitos los capitales privados sin experiencia en TMC se asociaron con diversas compañías de otros países con un sector de TMC relativamente desarrollado para llenar el requisito de experiencia en TMC. Esta calificación inicial sumaba el 5% de la calificación total de la propuesta

Evaluación de las propuestas. Dividida en 2 partes

a) ***Aspectos técnicos y financieros***: esta calificación constituía el 70% de la calificación total y del pliego de requisitos diseñado por el gobierno la firma debía cumplir con un 75% del total de los ítems estipulados. El resultado fue que las once firmas iniciales cumplían con el mínimo de 75% exigido y así finalmente se decidía por la oferta económica
b) ***Propuesta económica***: esta calificación constituía el 25% de la calificación total pero como se habían dado las cosas y este punto del proceso esta era la que finalmente decidiría cuales firmas se quedaban con el negocio del TMC en Colombia. Esta calificación estaba compuesta de dos aspectos: *oferta por la concesión y el plan de expansión del servicio en los municipios con mayores índices de necesidades básicas insatisfechas NBI* dentro de la región correspondiente.

Las concesiones fueron otorgadas por un periodo de 10 años con la posibilidad de prorrogarse por otros 10, adicionalmente a esto los operadores seleccionados tenían exclusividad hasta el 30 de septiembre de 1999.

De acuerdo con esto el tipo de subasta utilizada para el espectro que iba a utilizar la TMC en Colombia fue la subasta o licitación de sobre sellado, la cual para el caso colombiano tuvo un éxito rotundo desde el punto de vista de beneficio económico para el país, a continuación se muestran el resultado del proceso de adjudicación

Ganadores de la Red privada, Red B

Los ganadores fueron los siguientes: Celumovil S.A. para la región oriental, Celumovil Costa Atlántica S.A. para la costa atlántica y Cocelco en la región occidental. Los capitales iniciales eran

los siguientes: Celumovil S.A. y Celumovil costa Atlántica SA (unión temporal) tenía un capital de $129.616 millones, con un 65% capital nacional y 35% capital internacional el socio operador fue Mc Caw Cellular Communications Inc (AT&T) y el proveedor de equipos fue Northern Telecom.

Por su parte el capital social de Cocelco fue de $72365 millones, con un 75% de capital nacional y un 25% capital extranjero. Los operadores socios fueron Telefónica de España y la compañía de teléfonos de Chile y el proveedor de equipos fue Ericsson.

El valor económico que pagaron los operadores por la red privada fue de $499200 millones (US$609 millones). Para la región de la costa atlántica fueron $96800 millones, para la región occidental $129600 millones y la mayor oferta superior a la suma de las dos anteriores fue de de $272800 millones

Ganadores de la red Mixta, Red A.

Este proceso tuvo una característica particular a pesar que se desarrollo con las mismas regla de juego que la anterior, se presentaron solo tres interesados y por lo tanto el gobierno estableció que la oferta económica no podía ser inferior al 95% de la ofertas de la red privada, red A. Para esto el estado les dio la opción de buscar nuevos socios siempre y cuando estos no tuvieran ya intereses en algún operador de la red B

Las firmas ganadoras fueron CELCARIBE para la costa atlántica, OCCEL para la región occidental y COMCEL en la región oriental. Los capitales sociales iniciales fueron de $212.228 49% capital público, 11% capital nacional privado y 40% capital extranjero. Los socios operadores fueron ETB, Telecom ambas colombianas y BELL Canada como operador extranjero de TMC. Para OCCEL su capital social inicial fue de 80.595 millones de pesos con un 18.6 capital público, 56.4% capital nacional privado y un 25% de capital extranjero. Los socios operadores fueron Cable & Wireless (AT&T) y empresas públicas de Medellín EEPPM y el principal proveedor de equipos Northern Telecom. El capital social inicial de Celcaribe fue de $46908 millones. Con un 54.4% de capital público, 5.6% de capital privado nacional y el 40 capital extranjero. Los socios operadores fueron Millicom International y Telecartagena y el principal proveedor de equipos fue Ericcson.

La oferta total ofrecida al gobierno fue de $474242 millones, (US$578 millones), y se distribuyó así: $259.161 millones para la región oriental, $123.120 millones para la región occidental y $91961 para la costa atlántica. Estos valores corresponden exactamente al 95% de los montos pagados por los operadores de la red privada, red B.

F. Proceso y resultado de la adjudicación de bandas PCS en Colombia

PCS en Colombia

De acuerdo con el documento CONPES 3118 *lineamiento para la concesión de los servicios de comunicación personal PCS*[62], con el diseño de la subasta se busca 1) Transferir al estado la mayor parte de la renta oligopólica calculada por los interesados 2) Crear competencia entre los interesados 3)Transferir al estado las última porciones de la renta oligopólica derivada de las sinergias propias de los operadores 4) contar con un mecanismo sencillo que logre estos objetivos 5) Ofrecer un mecanismo objetivo y transparente a la luz de los potenciales interesados de forma que proporcione un ambiente de confianza acerca de la forma en que se va a adjudicar la concesión:

De acuerdo con esto se definieron tres fases dentro para el proceso de selección y adjudicación (56)

Fase1. Acreditación de idoneidad

Durante esta fase los potenciales interesados deberán presentar al Ministerio de Comunicaciones las credenciales y documentos que acrediten su idoneidad para participar en el proceso, y por lo tanto, para ser concesionarios del sistema PCS. Los requisitos que deberán ser cumplidos se refieren a condiciones legales, técnicas, financieras y de experiencia. Con esta fase se pretende identificar aquellos interesados con características idóneas para participar en el mercado. En la Tabla D-2 se resumen los requerimientos técnicos y jurídicos que el estado exigió en esta fase de acreditación.

Tabla D-2 Prerrequisitos para la participación de la subasta PCS

Requisitos jurídicos	El oferente debería ser una persona jurídica de derecho público
	El oferente podría ser una Sociedad privada o mixta, anónima, con domicilio principal en Colombia
	Presentarían un contrato de promesa de sociedad
	Podrían constituirse Consorcios o Uniones Temporales de las entidades señaladas anteriormente
	Los oferentes debería tener como objeto social principal, la prestación de servicios de telecomunicaciones
	Se excluyó a los operadores celulares establecidos en Colombia, así como también los operadores del servicio *Trunking* (57)
	Se excluyó también a las empresas matrices, las filiales y las subordinadas de los dos anteriores; los accionistas que conjuntamente poseyeran más del 30% del

[62] Según la ley 555 se define PCS como servicios públicos de telecomunicaciones, no domiciliarios, móviles o fijos, de ámbito y cubrimiento nacional. Estos se prestan haciendo uso de una red terrestre de telecomunicaciones, cuyo elemento fundamental es el espectro radioeléctrico asignado. Los sistemas PCS se utilizan para la provisión de servicios móviles y fijos de transmisión de voz, datos e imágenes

	capital social de dichas compañías, y las empresas matrices, las filiales y las subordinadas de los referidos accionistas (35)
Requisitos económicos	Experiencia demostrada para la obtención de financiación por un valor mínimo de US$ 50 millones
	Patrimonio Neto (Activos – Pasivos) mínimo de US$ 100 millones
	Las condiciones financieras se exigieron a los socios que acreditaran el 30% de participación en un proponente
	Monto mínimo de facturación durante el año 2001 de US$ 100 millones
Requisitos técnicos y de experiencia	El Proponente debería demostrar que a diciembre de 2001 operaba 500.000 líneas telefónicas móviles o 1'000.000 de líneas telefónicas fijas; estas condiciones serían exigibles a los socios que acreditaran el 30% de participación en un proponente
	Para las concesiones iniciales el Gobierno Nacional determinó el principio de neutralidad tecnológica, dando la oportunidad a los oferentes para escoger la tecnología que más se adecuara a la oferta de sus servicios y a las condiciones del mercado móvil
	Al momento de elegir su tecnología los concesionarios deberían garantizar la compatibilidad de sus redes con las del Estado

Fase 2. Fase de Posturas Iniciales

En esta fase los proponentes indicarán, a través de un sobre cerrado, su postura inicial para la subasta. Quienes presenten propuestas válidas, de acuerdo con las reglas que se establezcan, podrán participar en la fase de rondas sucesivas.

Fase 3 Subasta Simultánea en Rondas Sucesivas

Durante esta fase se busca que los proponentes puedan mejorar su oferta ante la participación de varios competidores. Los mecanismos de incrementos de ofertas se harán por rondas. En cada ronda se definiría la **nueva propuesta ganadora temporal** como aquella que ofreciera el mayor valor en cada ronda. El proponente **ganador definitivo y adjudicatario** será aquel que cuente con la propuesta ganadora temporal al momento de terminar la subasta, es decir, aquel que haya realizado la mayor propuesta.

De acuerdo con esto en (34)se establece la estructura de la subasta, Figura D-4, de acuerdo con las regiones definidas en la ley 37 de 1993 y finalmente en la

Figura D-5 se muestra de forma gráfica el proceso de subasta utilizado para las concesiones de PCS en el país.

Figura D-4. Posibles subastas por ronda de proponente (56).

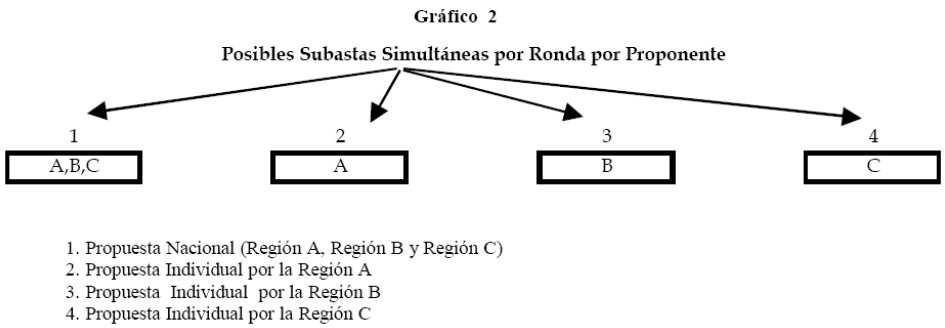
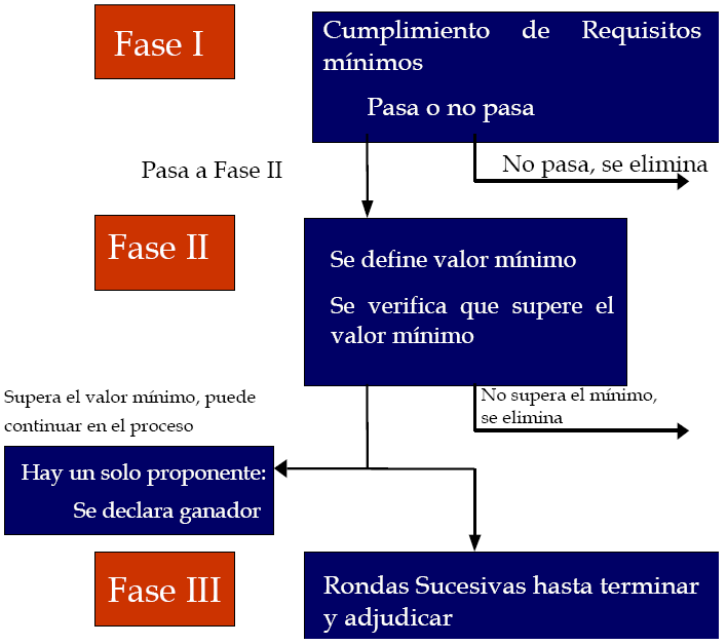



Figura D-5. Representación gráfica del esquema de Subasta PCS utilizado en Colombia (56).