



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Análisis y estudio técnico de la transferencia de
tecnología para la prestación de servicios de
telefonía y banda ancha móvil en Colombia a través
de operadores móviles virtuales soportados por
tecnología LTE**

Jose Fernando Restrepo Piedrahita

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

Bogotá D.C. Colombia

2011

Análisis y estudio técnico de la transferencia de tecnología para la prestación de servicios de telefonía y banda ancha móvil en Colombia a través de operadores móviles virtuales soportados por tecnología LTE

Jose Fernando Restrepo Piedrahita

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería - Telecomunicaciones

Directora
Ph.D (c) Zoila Inés Ramos Rodríguez

Operadores Móviles Virtuales en Colombia
Grupo de Investigación de Teleinformática de la Universidad Nacional de Colombia GITUN

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería
Bogotá D.C. Colombia

2011

Para la mejor mamá del mundo, por su apoyo y amor incondicional en cada momento...

Resumen

El rápido avance del sector de los servicios móviles ha propiciado la aparición de los operadores móviles virtuales MVNO que en pocas palabras que dependen en su red de acceso de radio RAN de un operador móvil de red MNO anfitrión y por lo tanto tienen ciertas ventajas siendo la más importante el no tener que realizar una gran inversión en licenciamiento de espectro, sin embargo para que un MNO pueda servir de portador a un MVNO debe tener una RAN con suficiente capacidad para atender sus propios clientes y la carga extra del MVNO, por lo tanto se requieren tecnologías que hagan un uso muy eficiente del espectro radioeléctrico y LTE cumple con esta característica ya que recientemente fue aceptada por la UIT como la tecnología para IMT-avanzado lo que convierte el análisis técnico de transferencia tecnológica de un MVNO soportado por tecnología LTE en un factor determinante, teniendo en cuenta que un país con un sector móvil altamente desarrollado repercute en su producto interno bruto, es decir, en su desarrollo.

Palabras clave: LTE, MVNO, MNO, RAN OFDMA, SCFDMA, eficiencia espectral.

Abstract

The rapid progress of mobile services sector has led to the emergence of mobile virtual network operators MVNOs in a few words which depend for radio access network RAN of a mobile network operator MNO host and therefore have certain advantages being more importantly not having to make a large investment in spectrum licenses, however for an MNO can serve as an MVNO carrier must have a RAN with sufficient capacity to meet their own customers and the extra burden of MVNO, therefore technologies required to make very efficient use of radio spectrum and LTE complies with this feature and was recently accepted by ITU as IMT-Advanced technology for making technical analysis of technology transfer of a technology-supported MVNO LTE a factor, considering that a country with a highly developed mobile sector has an impact on gross domestic product, that is, in its development.

Keywords: LTE, MVNO, MNO, RAN OFDMA, SCFDMA, spectral efficiency.

Contenido

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN..... | IV |
| ABSTRACT | V |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1 ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LTE Y SU NIVEL DE CONCORDANCIA CON LOS REQUERIMIENTOS DE IMT-AVANZADO ESTABLECIDOS POR LA UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES.. | 4 |
| 1.1 ESPECIFICACIONES DEL ESTÁNDAR LTE..... | 6 |
| 1.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DE LTE-AVANZADO..... | 7 |
| 1.3 ACCESO DE RADIO TERRESTRE UNIVERSAL EVOLUCIONADO E-UTRA Y RED DE ACCESO TERRESTRE UNIVERSAL EVOLUCIONADO E-UTRAN..... | 10 |
| 1.3.1 GESTIÓN DE LOS RECURSOS DE RADIO RRM | 12 |
| 1.3.2 LA CAPA FÍSICA EN LTE:..... | 14 |
| 1.3.3 PROTOCOLOS DE LA E-UTRAN..... | 15 |
| 1.3.4 TECNOLOGÍAS QUE CARACTERIZAN LTE | 16 |
| 1.3.4.1 Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal OFDMA..... | 16 |
| 1.3.4.2 Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal de portador simple SC-FDMA | 17 |
| 1.3.4.3 Agregación de portadora | 18 |
| 1.3.4.4 Transmisión Multiantena..... | 19 |
| 1.3.4.5 Transmisión multipunto coordinada | 19 |
| 1.3.4.6 Repetidores o Retransmisores..... | 20 |
| 1.3.4.7 Flexibilidad de Espectro..... | 21 |
| 1.4 NÚCLEO DE PAQUETES EVOLUCIONADO EPC | 21 |
| 1.4.1 EQUIPO DE USUARIO (EU): | 22 |
| 1.4.2 E-UTRAN NODO B (E-NODO B): | 22 |
| 1.4.3 ENTIDAD DE GESTIÓN DE MOVILIDAD MME: | 22 |
| 1.4.4 SERVICIO DE PUERTA DE ENLACE S-GW: | 22 |
| 1.4.5 PUERTA DE ENLACE PDN (PDN-GW): | 23 |
| 1.4.6 FUNCIÓN DE RECURSOS DE CARGA Y POLÍTICAS (PCRF): | 23 |
| 1.4.7 SERVIDOR DE SUSCRIPCIÓN LOCAL (HSS): | 23 |
| 1.4.8 SERVIDORES DE DOMINIO:..... | 23 |
| 1.4.9 CALIDAD DE SERVICIO EN LTE:..... | 23 |
| 1.4.10 ARQUITECTURA DE LTE CON OTRAS TECNOLOGÍAS..... | 24 |

| | |
|--|------------------|
| 1.5 CONCORDANCIA ENTRE IMT-AVANZADO Y LTE. | 24 |
| 1.5.1 EFICIENCIA ESPECTRAL DE LA CELDA:..... | 25 |
| 1.5.2 EFICIENCIA ESPECTRAL PICO | 25 |
| 1.5.3 ANCHO DE BANDA..... | 26 |
| 1.5.4 EFICIENCIA ESPECTRAL DE USUARIO EN LOS BORDES DE LA CELDA | 26 |
| 1.5.5 LATENCIA..... | 27 |
| 1.5.6 MOVILIDAD..... | 27 |
| 1.5.7 CAPACIDAD VOIP..... | 27 |
| 1.5.8 HANDOVER | 28 |
| | |
| <u>2 DISTRIBUCIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO Y ESQUEMAS DE ASIGNACIÓN DE ANCHO DE BANDA EN COLOMBIA Y SU RELACIÓN CON EL NIVEL DE DESARROLLO DE LOS SERVICIOS MÓVILES EN COLOMBIA.</u> | <u>29</u> |
| | |
| 2.1 PROCESOS DE ASIGNACIÓN DE ESPECTRO EN COLOMBIA..... | 30 |
| 2.2 DISTRIBUCIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN COLOMBIA PARA LOS OPERADORES MÓVILES Y DE PCS | 33 |
| 2.3 AGENCIA NACIONAL DEL ESPECTRO ANE..... | 34 |
| 2.4 NIVEL DE DESARROLLO DE LOS SERVICIOS MÓVILES | 34 |
| 2.4.1 ASIGNACIÓN DE ESPECTRO A NIVEL MUNDIAL Y REGIONAL | 34 |
| 2.4.2 EL ÍNDICE DE COMPETITIVIDAD MUNDIAL Y EL DESARROLLO DE LOS SERVICIOS MÓVILES.. | 36 |
| 2.4.3 ÍNDICE DE DESARROLLO DE LOS SERVICIOS MÓVILES IDSM..... | 37 |
| | |
| <u>3 ESTABLECIMIENTO DEL RANGO DE FRECUENCIAS EN EL QUE ES VIABLE IMPLEMENTAR LTE EN COLOMBIA MANTENIENDO LA COMPATIBILIDAD Y COEXISTENCIA CON LOS SISTEMAS ANTERIORES.</u> | <u>39</u> |
| | |
| <u>4 ANÁLISIS TÉCNICO DE LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA PARA LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE TELEFONÍA Y BANDA ANCHA MÓVIL A TRAVÉS DE OPERADORES MÓVILES VIRTUALES SOPORTADOS POR TECNOLOGÍA LTE..</u> | <u>43</u> |
| | |
| 4.1 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LTE APROPIADAS PARA SOPORTAR UN MVNO | 45 |
| 4.1.1 EFICIENCIA ESPECTRAL | 45 |
| 4.1.2 LATENCIA Y TRANSFERENCIA EFECTIVA DE INFORMACIÓN (THROUGHPUT) | 47 |
| 4.2 PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE VOZ Y SMS A TRAVÉS DE LTE..... | 47 |
| 4.3 PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE BAM A TRAVÉS DE LTE. | 49 |
| 4.4 NIVEL DE DEPENDENCIA DE UN MVNO DE SU MNO EN UNA ARQUITECTURA DE RED LTE 50 | |
| 4.5 RED COMPLETAMENTE IP, CALIDAD DE SERVICIO QoS..... | 50 |
| 4.6 INTERFUNCIONAMIENTO CON OTRAS TECNOLOGÍAS..... | 51 |
| 4.7 CRECIMIENTO DE LOS OPERADORES | 51 |
| 4.8 ENTIDADES DE NORMALIZACIÓN | 52 |
| 4.8.1 UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES UIT. | 52 |
| 4.8.2 EL PROYECTO DE SOCIOS DE TERCERA GENERACIÓN 3GPP (<i>THE 3RD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT 3GPP</i>)..... | 52 |
| 4.9 COLOMBIA EN LA CUARTA GENERACIÓN DE LAS REDES MÓVILES. | 53 |

| | |
|--|------------------|
| <u>5 ANÁLISIS DEL IMPACTO EN EL CAMBIO CLIMÁTICO DE LOS SERVICIOS DE TELEFONÍA Y BANDA ANCHA MÓVIL PRESTADOS POR UN MVNO SOPORTADO POR TECNOLOGÍA LTE.</u> | <u>54</u> |
| <u>CONCLUSIONES.....</u> | <u>58</u> |
| <u>RECOMENDACIONES</u> | <u>60</u> |
| <u>BIBLIOGRAFÍA.....</u> | <u>61</u> |
| <u>A. PROCEDIMIENTOS DE LA CAPA FÍSICA EN LTE.</u> | <u>65</u> |
| <u>B. BANDAS DE OPERACIÓN DE LA E-UTRA.....</u> | <u>75</u> |
| <u>C. DETALLE DE LAS PRUEBAS DE CONFORMIDAD DE LTE.....</u> | <u>76</u> |
| <u>D. TIPOS DE SUBASTAS.....</u> | <u>86</u> |
| <u>E. PROCESO Y RESULTADO DE SUBASTA DE TMC EN COLOMBIA.....</u> | <u>89</u> |
| <u>F. PROCESO Y RESULTADO DE LA ADJUDICACIÓN DE BANDAS PCS EN COLOMBIA</u> | <u>92</u> |

Lista De Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1-1. Especificaciones de LTE para la tecnología de radio E-UTRA y LTE-avanzado | 6 |
| Tabla 1-2. Especificaciones LTE para SAE | 7 |
| Tabla 1-3: Eficiencia espectral promedio (4). | 9 |
| Tabla 1-4. Transferencia efectiva (throughput) de usuario en el borde de la celda (4). | 9 |
| Tabla 1-5. Especificaciones de movilidad en LTE-avanzado | 9 |
| Tabla 1-6. Especificaciones de cobertura en LTE-Avanzado | 10 |
| Tabla 1-7. Eficiencia espectral de celda | 25 |
| Tabla 1-8. Eficiencia espectral de usuario en el contorno de la celda. | 26 |
| Tabla 1-9. Clases de movilidad | 27 |
| Tabla 1-10. Velocidades de datos del enlace del canal de tráfico | 27 |
| Tabla 1-11. Capacidad VoIP | 28 |
| Tabla 1-12 Tiempos de interrupción del handover | 28 |
| Tabla 2-1. Valor pagado por cada operador y el valor correspondiente a cada ciudadano según la población de la época (28). | 31 |
| Tabla 2-2. Promedio de espectro asignado por operador y topes de espectro en países Europeos y Latinoamericanos (41). | 35 |
| Tabla 2-3. Componentes del noveno pilar del índice de competitividad mundial | 36 |
| Tabla 2-4. Espectro en un país y la posición en el índice de competitividad mundial | 36 |
| Tabla 2-5. Ponderación de las componentes del índice de desarrollo de los servicios móviles | 37 |
| Tabla 2-6. Índice de desarrollo de los servicios móviles | 38 |
| Tabla 3-1. Bandas de frecuencias asignadas para IMT por la UIT. | 41 |
| Tabla 5-1. Comparación de consumo energético entre LTE, Wimax y HSDPA (49) | 57 |
| Tabla A-1 Señales físicas de LTE. (52) | 66 |
| Tabla A-2. Canales físicos LTE. (52) | 66 |
| Tabla A-3. Longitud de los prefijos cíclicos para OFDMA (canal descendente) y para SC-FDMA (canal Ascendente) (52). | 68 |
| Tabla A-4. Parámetros del bloque de recursos físicos. (52) | 69 |
| Tabla A-5. Esquemas de modulación de LTE en los canales descendentes y ascendentes (11). | 70 |
| Tabla A-6. Canales de control de información (53) | 70 |
| Tabla A-7. Tipos de canales de transporte (53) | 70 |
| Tabla A-8. Mapeo de los canales físicos (53) | 71 |
| Tabla D-1. Departamentos de cada una de las zonas establecidas en el decreto 741 de 1993. (28) | 90 |
| Tabla D-2 Prerrequisitos para la participación de la subasta PCS | 92 |

Lista De figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1-1: Comparación latencia vs ancho de banda en servicios tradicionales y modernos (2) | 5 |
| Figura 1-2: Evolución de las tecnologías de acceso de radio en el 3GPP | 5 |
| Figura 1-3: Explicación proyecto EPS (1). | 5 |
| Figura 1-4: Evolución de la tecnología LTE (1). | 6 |
| Figura 1-5. Requerimientos para las transiciones de estado (4). | 8 |
| Figura 1-6. Arquitectura LTE con E-UTRAN (8) | 11 |
| Figura 1-7. División funcional entre la E-UTRAN y el EPC. (8) | 12 |
| Figura 1-8. Arquitectura de protocolos de la interfaz de radio alrededor de la capa física (10). | 14 |
| Figura 1-9 . Relación par a par en los protocolos de la E-UTRAN. (11) | 15 |
| Figura 1-10. Estructura de procesamiento de capa 2 en el equipo de usuario (11) | 15 |
| Figura 1-11. Representación de la señal OFDM en el dominio del tiempo y en la frecuencia (12) | 16 |
| Figura 1-12. Asignación de subportadoras OFDM y OFDMA (1) | 17 |
| Figura 1-13 Comparación de la señal OFDMA y SC-FDMA en frecuencia | 18 |
| Figura 1-14. Ejemplo de agregación de portadora. (13) | 19 |
| Figura 1-15. Número de enlaces ascendentes y descendentes para LTE lanzamiento 8 y LTE-avanzado (14) | 19 |
| Figura 1-16. Transmisión CoMP en el enlace descendente. (13) | 20 |
| Figura 1-17. Flexibilidad de espectro de LTE (15). | 21 |
| Figura 1-18. Arquitectura de red LTE (16) | 21 |
| Figura 1-19. Procedimientos de calidad en servicio en la arquitectura LTE/SAE (21). | 23 |
| Figura 1-20. Arquitectura de alto nivel de un sistema evolucionado (22) | 24 |
| Figura 2-1. Opciones de la ITU para la banda 2.6GHz (30) | 32 |
| Figura 2-2. Asignación de espectro de los operadores de TMC. | 33 |
| Figura 2-3. Asignación de espectro en los operadores PCS. | 33 |
| Figura 2-4. Países con mayor espectro asignado (31) | 34 |
| Figura 3-1. Espectro vs PIB per cápita (segundo trimestre de 2003) (32). | 40 |
| Figura 3-2. Radio de cobertura-banda de frecuencia vs cantidad de estaciones base (36) | 41 |
| Figura 3-3. Comparativo de asignación de espectro | 42 |
| Figura 4-1. El crecimiento del consumo de tráfico de datos (37) | 43 |
| Figura 4-2. Correlación de latencia / velocidad consumo en los teléfonos inteligentes (smartphones) (40) | 44 |
| Figura 4-3 Evolución de los sistemas TDMA, CDMA y OFDMA (42). | 45 |
| Figura 4-4. Comparación de la eficiencia espectral en el enlace descendente (43) | 46 |
| Figura 4-5. Comparación de la eficiencia espectral en el enlace ascendente (43) | 46 |
| Figura 4-6. Comparación de la eficiencia espectral para voz (43) | 47 |
| Figura 4-7. Voz sobre IMS- MMtel (44) | 48 |
| Figura 4-8 Arquitectura SRVCC para el handover desde E-UTRAN hacia UTRAN-GERAN (46) | 48 |
| Figura 4-9 Arquitectura EPS para CS fallback (46) | 49 |
| Figura 4-10. Punto de conexión del MVNO con su MNO anfitrión operando sobre LTE (48) | 50 |
| Figura 5-1. Diagrama de bloques de los equipos de una estación base (49) | 55 |
| Figura 5-2 Emisión anual de CO2-eq anual (51) | 55 |
| Figura 5-3. Consumo discriminado por componentes macro en una RAN (50) | 56 |

| | |
|--|----|
| Figura A-1. Relación entre las especificaciones de la capa física de LTE (10) | 65 |
| Figura A-2. Estructura de trama LTE tipo 1. (52) | 67 |
| Figura A-3. Estructura de trama LTE tipo 2, con 5 ms en la periodicidad del tiempo de conmutación. (52). | 67 |
| Figura A-4. Estructura de los símbolos OFDM para un prefijo cíclico normal. (52) | 68 |
| Figura A-5. Malla de recurso para el canal descendente (a) y para el canal ascendente (b) (52) | 69 |
| Figura D-1. Análisis de la subasta de Vickrey. (22). | 87 |
| Figura D-2. Valoración en una subasta inglesa (22). | 87 |
| Figura D-3. Distribución de las zonas del país de acuerdo con el decreto 741 (28). | 89 |
| Figura D-4. Posibles subastas por ronda de proponente (56). | 93 |
| Figura D-5. Representación gráfica del esquema de Subasta PCS utilizado en Colombia (56). | 94 |

Introducción

El rápido crecimiento del sector de los servicios móviles y su gran dinamismo ha causado que se generen nuevos esquemas de negocio y alrededor de estas nuevas tecnologías que mantienen en constante evolución. Los MVNO, son un tema nuevo en Colombia, pero ya bien conocido en países Europeos, Estados Unidos, Japón entre otros; este tipo de operador ha permitido que en el sector existan diversos competidores y a su vez ha obligado a los MNO a buscar nuevas tecnologías que le permiten optimizar el uso del espectro manteniendo la calidad en los servicios de voz y aumentando el desempeño de la banda ancha móvil BAM, de allí la importancia de obtener el conocimiento teórico de una tecnología como LTE que es la seleccionada por la UIT para IMT-avanzado o comercialmente llamada 4G.

La tecnología GSM, aunque no es la mejor, si es la más exitosa en el despliegue de redes móviles por parte de los operadores principalmente por temas de economía de escala ya que es un estándar abierto cosa que no ocurre con CDMA que desde punto de vista de eficiencia y calidad es mucho mejor que GSM pero por CDMA se debe pagar una licencia por su uso lo cual ha hecho que las redes sobre CDMA estén disminuyendo. GSM es la indudable ganadora hasta la llamada tercera generación 3G, pero ya vistas sus debilidades se ha desarrollado la tecnología evolución de largo plazo LTE por sus siglas en ingles. La cual ha mostrado en las pruebas que se ha realizado ser muy superior a GSM y HSPA para la transmisión de datos, y sumado a la compatibilidad con CDMA, TDMA (GSM), OFDM en sus diferentes variantes y algo fundamental, para su implementación tiene bajo costos lo que facilita su despliegue en economías de escala.

Los MVNO tiene su origen en la segunda generación de las tecnologías móviles, es decir cuando estas se convirtieron en redes digitales y permitieron ofrecer servicios en modalidad MVNO, en Colombia existen tres MVNO uno que presta solo servicios de voz y dos que presta solo servicios de BAM, lo cual significa que ahora el país cuenta con seis operadores móviles: tres en modalidad MNO y tres en modalidad MVNO. Con la recién asignación de 50MHz en la banda de 2.6GHz, la cual es una banda que muy probablemente sea destinada en la mayoría de los países para la implementación de la cuarta generación de las redes móviles LTE, de esta forma Colombia se incluye en la normalización de espectro a nivel mundial que en términos prácticos significa que LTE llegará fácilmente al país porque los equipos que se utilicen serán los mismos a nivel

mundial¹. Bajo este panorama es claro que los MVNO estarán soportados por tecnología LTE en un mediano plazo.

LTE es una tecnología completamente IP por lo tanto la gama de servicios que se pueden ofrecer es casi ilimitada, sin embargo en este trabajo se pretende cubrir las características de LTE apropiadas para la prestación de servicios de telefonía móvil celular TMC y banda ancha móvil BAM por medio de un MVNO, aunque las tendencias actuales sea que el servicio de BAM en un comodín concentrándose el valor en los servicios de contenido. Los MVNO son una tendencia clara en el país y conocer las tecnologías sobre la cual se van a desarrollar en un futuro es un factor clave si se quiere que el país cuente con un sector móvil que contribuya al desarrollo del país a través de servicios de gran calidad.

Ahora bien, en Colombia recientemente se lanzaron las redes 3G y todos los servicios asociados a esta que aunque con muchos problemas iniciales de calidad y cobertura al poco a poco han ido mejorando y así lo muestran las estadísticas oficiales donde se observa que los usuarios de banda ancha móvil han ido aumentando significativamente. A pesar que apenas el país llegó a 3G si es necesario analizar que sigue después y los eventos recientes muestran que desde el punto de vista técnico la tendencia hacia el futuro es LTE y a nivel económico y comercial son los MVNO, de allí este trabajo en el que se realiza un análisis técnico de la transferencia tecnológica que se debe dar en el país para la prestación de servicios de telefonía y banda ancha móvil a través de MVNO soportados en tecnología LTE para potencializar la disminución de la brecha digital.

Así, los avances tecnológicos cuando involucran el desarrollo de un país deben ser vistos con lupa y los procesos de transferencia de tecnología han mostrado ser un motor de desarrollo para las naciones y siendo la tendencia la movilidad se desprende la necesidad de analizar los operadores móviles virtuales soportados por LTE, partiendo del hecho que si no se tiene una transferencia adecuada de tecnología esta en vez de convertirse en algo positivo se convierte en un obstáculo de desarrollo por los altos costos que un proceso mal enfocado genera.

Este trabajo está dividido en 5 capítulos, en el primero se analizan los fundamentos técnicos de LTE y se establece su nivel de concordancia con las especificaciones de la ITU para IMT-avanzado, en el capítulo 2 se analiza el estado del espectro en Colombia y su relación con el desarrollo de los servicios móviles, luego en el capítulo 3 se define la banda de frecuencia que es apropiada para LTE Colombia, en el capítulo 4 se definen las características de LTE apropiadas para la prestación de servicios de TMC y BAM por un MVNO soportado por un MNO con tecnología LTE y

¹ No sucederá lo que paso con la telefonía móvil celular TMC cuando llegó al país que se implemento con tecnología de primera generación teniendo ya tecnologías de 2G generación disponibles la consecuencia para el país, además del punto económico, fue un atraso en el desarrollo de los servicios móviles

finalmente se realiza un análisis del impacto en el cambio climático de los MVNO soportados por tecnología LTE cuando se prestan servicios de TMC y BAM.