



TESIS DE MAESTRÍA

TÍTULO DE LA TESIS

“CONVERGENCIA DE TECNOLOGÍAS DE ACCESO A REDES MÓVILES DE BANDA ANCHA”

Por

Juan Pablo Puchaicela Huaca

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones
2008 Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador

Presentado a la Escuela de Posgrado del ITBA
en cumplimiento
de los requerimientos para la obtención del título de:

Magister en Ingeniería de las Telecomunicaciones

En el Instituto Tecnológico de Buenos Aires

Septiembre 2016

Firma del Autor _____ Instituto Tecnológico de Buenos Aires
(Septiembre 2016)

Certificado por _____ Pedro M. Giuffrida
Director de Tesis

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Carmen y Abel por impulsar a cada momento la virtud de superación personal e intelectual.

A mi esposa Luisa María, a mi hija Emily, y a mi familia por su apoyo incondicional.

Finalmente a todas las personas que facilitaron mis estudios en ITBA, a mi Director de Tesis, a las Autoridades, Profesores, Personal Administrativo de Postgrado, compañeros y amigos de la Argentina y Latinoamérica que compartieron sus experiencias y brindaron su apoyo para la culminación del presente trabajo.

*Ing. Juan Pablo Puchaicela .H.
Septiembre, 2016.*

Contenido

RESUMEN	5
CAPÍTULO 1	
MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS	
1.1. Introducción	7
1.2. Definición del problema	8
1.2.1. Política y normativa regulatoria	8
1.2.2. Estándares y normas para la implementación de la tecnología LTE	9
1.2.3. Convergencia y alternativas de despliegue de LTE en la región.	10
1.2.4. Estrategias para la gestión del tráfico de datos y servicios por la red móvil.	10
1.2.5. Retos y oportunidades para el mercado de América Latina.	11
1.3. Objetivos	12
1.3.1. Objetivo General	12
1.3.2. Objetivos específicos	12
1.4. Metodología	13
CAPÍTULO 2	
ESTADO DEL ARTE	
2.1. Banda ancha móvil	14
2.2. Desarrollo y evolución de las redes móviles	14
2.3. Crecimiento en acceso móvil regional	16
2.4. Incremento de los servicios de banda ancha móvil	18
2.4.1. Incremento de dispositivos tipo Smartphone	18
2.4.2. Incremento de tráfico móvil	19
2.4.3. Incremento de tráfico por introducción de nuevas tecnologías	21
2.4.4. Necesidades de impulsores, enabler y drivers tecnológicos.	22
2.5. Políticas gubernamentales asociadas	23
CAPÍTULO 3	
ANÁLISIS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO, REGULACIÓN Y POLÍTICAS	
3.1. Regiones para atribución de frecuencias	27
3.1.1. Región 1	27
3.1.2. Región 2	27
3.1.3. Región 3	28
3.2. Recomendaciones de la UIT para IMT	28
3.3. Métodos de asignación de frecuencias para IMT	29
3.3.1. Plan desplegado en USA	29
3.3.2. Plan desplegado en Asia Pacífico APT	30
3.3.3. Banda AWS (Advanced Wireless Service)	31
3.4. Análisis de espectro para el despliegue de LTE en la región.	32
3.4.1. Porcentaje de espectro asignado según la Recomendación para 2015 y 2020 de la UIT	34
3.5. Modelos de adopción	35
3.6. Política y reglamentación	37
CAPÍTULO 4	
REQUISITOS DE LA RED DE ACCESO 4G	

4.1.	Estándares desarrollados	40
4.2.	Arquitectura del sistema LTE	41
4.3.	Arquitectura de la interfaz de radio	42
4.4.	Separación de Tráfico y Direccionamiento IP	43
4.5.	Requerimientos de Desempeño.	43
4.6.	Seguridad	45
CAPÍTULO 5		
ALTERNATIVAS Y SOLUCIONES PARA EL DESPLIEGUE DE LTE		
5.1.	Estrategia de despliegue en operadores	51
5.1.1	Despliegue gradual utilizando una única Red de Acceso Radio RAN	51
5.1.2	Rápido despliegue en un área amplia utilizando una red superpuesta	52
5.1.3	Acelerado desarrollo de LTE y su ampliación	53
5.2.	Estrategias de despliegue	55
5.3.	Integración de redes de acceso y soluciones en los operadores de telecomunicaciones	56
5.4.	Soluciones Cloud RAN	57
5.5.	Convergencia	58
5.6.	Carrier Aggregation LTE	59
CAPÍTULO 6		
ANÁLISIS DE MERCADO, OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS DE LTE		
6.1.	Transformación de la industria mediante la innovación de servicios	62
6.1.1	Circuit Switch Fall Back (CSFB)	63
6.1.2	Voz sobre LTE (VoLTE)	65
6.1.3	Rich Communications Suit (RCS)	68
6.2.	Terminales	70
6.3.	Aceleración de la adopción de smartphones en América Latina	71
6.4.	Perspectivas de la industria	72
CAPÍTULO 7		
CONCLUSIONES Y LINEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS		
7.1.	Conclusiones del trabajo realizado	73
7.2.	Contribuciones del estudio	76
7.3.	Líneas de investigación futuras	77
	Bibliografía	79
	Acrónimos	82

RESUMEN

En el presente trabajo, se aborda el estado actual de las redes móviles de banda ancha, la normativa regulatoria, los requerimientos tecnológicos, la convergencia tecnológica de las redes móviles, y los diferentes modelos de negocio para los países de Sudamérica.

Los aspectos más relevantes que se han tomado en consideración son: La masificación de servicios digitales, el despliegue progresivo de las redes LTE¹, y los planes de desarrollo para la masificación de la banda ancha, como impulsor de la economía regional.

Las limitaciones de capacidad de las redes de tercera generación, y la demanda de servicios de video y datos en tiempo real, han generado una tendencia mundial de migración y estudios para redes de alta velocidad.

El objetivo principal del presente trabajo, es analizar la normativa y la política regulatoria para el despliegue de LTE en la región de América Latina, así como el impacto de la implementación de LTE en las redes actuales, su integración y la convergencia con las redes de acceso fijo y móvil.

Las aportaciones principales de esta tesis, se pueden resumir de la siguiente manera: En primer lugar, se define las condiciones y escenarios actuales de oferta y demanda de los servicios móviles los requisitos que debe cumplir la red de acceso móvil de cuarta generación, en cuanto a los servicios de red y de usuario, los requerimientos de espectro, canalizaciones y normativa regulatoria.

En el Capítulo I, se describe los antecedentes, la definición del problema, motivación, enfoque y objetivos del presente estudio.

En el Capítulo II, se analiza el estado del arte de la tecnología LTE, considerando: Las tendencias en la demanda de servicios móviles, crecimiento del tráfico,

¹ LTE: De las siglas en inglés Long Term Evolution: Es un estándar de la norma 3GPP, definida como una evolución de la norma 3GPP UMTS (3G).

políticas gubernamentales para el despliegue de banda ancha, y los factores que inciden en su masificación progresiva en la región.

En el Capítulo III, se realiza una evaluación de la asignación de espectro radioeléctrico, considerando las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), las asignaciones realizadas a nivel de Sudamérica y se analizan nuevas bandas de frecuencias identificadas para el despliegue de redes móviles de banda ancha.

En el Capítulo IV, se analiza los requerimientos y funcionalidades de la arquitectura de LTE, tomando en cuenta: Los estándares desarrollados, la arquitectura y funcionalidades de LTE, los requisitos de desempeño, entre ellos, los parámetros críticos para el aseguramiento de la calidad de servicio.

En el Capítulo V, se identifica las alternativas de solución para el despliegue de LTE, se realiza un análisis de su impacto en los operadores, se describen estrategias de despliegue de infraestructura y su integración con las redes fijas, se determina las alternativas de compartición y se analizan casos de éxito en el despliegue de las redes móviles de banda ancha.

En el Capítulo VI, se realiza un análisis de mercado, considerando nuevos servicios y modelos de negocio que se desarrollan con el despliegue de LTE, se determina los requerimientos y necesidades para su despliegue y se describe una proyección de equipos terminales para facilitar la masificación de la tecnología.

Finalmente, en el Capítulo VII se detallan las conclusiones finales del trabajo, las líneas de investigación futuras y las recomendaciones sobre el trabajo realizado.

CAPÍTULO 1

MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

En la actualidad, el uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) han tenido un crecimiento exponencial, que han generado un incremento en el número de accesos y la demanda de los usuarios por mejoras en la velocidad y calidad de servicio. Estos factores, sumados a la adopción de políticas de gobiernos de la región para la implementación de sus planes de desarrollo de banda ancha, han propiciado un escenario que aceleró la introducción e implementación de la tecnología LTE en Sudamérica.

En los últimos años, han surgido una serie de servicios móviles, tales como: Contenidos en Alta Definición (HD), Televisión Digital Terrestre, servicios multimedia, oficina móvil, redes sociales, servicios virtuales; y, por otro lado, se ha acelerado la adopción de los usuarios de terminales como Tablet y Smartphone con mejores prestaciones y aplicativos, generando un incremento exponencial del tráfico de datos, que demandan requerimientos de capacidades superiores a las actuales soportadas por las redes de tercera generación.

En tal panorama, los operadores de red y las políticas de gobierno tienen la necesidad de integrar e implementar nuevas tecnologías para poder hacer frente al aumento de los niveles de tráfico y la masificación de la banda ancha, como elementos generadores de crecimiento económico en base al despliegue de infraestructura de telecomunicaciones, lo que permitirá a los países aprovechar de mejor forma las oportunidades ofrecidas por la incorporación de las nuevas tecnologías.

Asimismo, la necesidad de integración de las diferentes redes de accesos a una red móvil de banda ancha, permitirá generar nuevos modelos de negocio y obtener mayores rentabilidades de las ya saturadas redes tradicionales. En los operadores de redes

móviles, se integra las plataformas para brindar servicios convergentes según el nuevo desafío que enmarca el presente y futuro del negocio de las telecomunicaciones.

Es evidente que los operadores deben encontrar una visión estratégica de la solución de banda ancha móvil, que les permita asumir el eventual incremento de tráfico, evolucionar sus servicios y mantener un costo atractivo para el usuario.

Las posibilidades de éxito constan en integrar las redes móviles de banda ancha con el desafío de lograr una reducción significativa del costo del servicio, por lo que se plantea a la tecnología LTE como una herramienta potencial de convergencia fijo-móvil, y como elemento disparador de la banda ancha en los próximos 10 años.

Bajo este escenario, se generan desafíos a solucionar con respecto a la tecnología LTE, los cuales se analizarán en el presente estudio.

1.2. Definición del problema

Desde una perspectiva técnica, económica y regulatoria se han identificado diferentes factores que inciden en la implementación de las redes LTE en Sudamérica, los cuales se describen a detalle a continuación:

1.2.1. Política y normativa regulatoria

Los países sudamericanos atraviesan una vertiginosa evolución en los servicios móviles. Uno de los desafíos para el despliegue de LTE, es la gestión del acceso y la distribución del espectro radioeléctrico. A pesar de ser uno de los puntos medulares, se mantiene relativamente rezagado de los parámetros fijados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), quien designó la meta de 1.300 MHz de espectro radioeléctrico por cada país latinoamericano para servicios móviles para el año 2015.

Según un reporte de la organización GSMA, a julio de 2015, el promedio de espectro concesionado fue de apenas 314,9 MHz, lo que se traduce en un 24,2% del objetivo marcado por la UIT para la región².

Por tal motivo, es pertinente analizar la disponibilidad del espectro radioeléctrico, determinar los modelos apropiados de adopción en la canalización y asignación de bandas de frecuencias para LTE, tomando en cuenta el proceso de transición a la de TV digital en la región y el posible dividendo digital en otra bandas de frecuencias, en el cual se deberá definir las opciones para los operadores para la implementación de LTE.

Por otra parte, es necesario determinar acciones y políticas que se deberían tomar para futuras liberaciones del espectro y cuáles serían las más convenientes para adoptar una posible canalización para la tecnología LTE.

En este panorama, se requiere establecer políticas de armonización en la región, para fomentar economías de escala y propiciar un desarrollo integral de la redes de acceso de banda ancha móvil.

1.2.2. Estándares y normas para la implementación de la tecnología LTE

Las normas que se emitan por 3GPP³ en sus diferentes versiones, servirán de base normativa para los próximos pasos regulatorios, los que se deben analizar y definir para la implementación de las redes de cuarta generación.

Asimismo, es necesario establecer las funcionalidades y componentes de la arquitectura LTE en sus distintas variantes que soporten las diferentes plataformas tecnológicas como IP, IMS⁴, SIP⁵, entre otras, que permiten la convergencia de redes fijo móvil.

² 4G Américas: Seminario web “Banda ancha móvil – Panorama y perspectivas, Julio 2015.

³ 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project): Se encarga de la normalización de las redes de banda ancha móvil.

⁴ IMS (IP Multimedia Subsystem): Es un sistema de control de sesión basado en IP para la convergencia con el mundo móvil, su estandarización comenzó en las normas 3GPP Release 5 y perfeccionado en posteriores reléase 6 y 7.

⁵ SIP (Session Initiation Protocol): Es un protocolo de control y señalización usado mayoritariamente en los sistemas de Telefonía IP, que fue desarrollado por el IETF (RFC 3261).

1.2.3. Convergencia y alternativas de despliegue de LTE en la región.

Es necesaria la determinación de modelos tecnológicos, estratégicos y de adopción que permitan tomar a la tecnología LTE como disparador para la masificación de las redes de banda ancha.

Parte fundamental es la convergencia con las redes actuales y la infraestructura desplegada aprovechando las funcionalidades complementarias de LTE.

1.2.4. Estrategias para la gestión del tráfico de datos y servicios por la red móvil.

Uno de los aspectos críticos a resolver, es el la calidad de servicio, por el hecho de que LTE se basa en tecnología IP. En tal razón, se deberá considerar el establecimiento de un adecuado modelo de transición a esta nueva tecnología.

Se deberá brindar alternativas para lograr bajar el costo por Megabyte en una fracción competitiva para los operadores y atractiva para los usuarios, la fijación de precios diferenciados es una opción clara para brindar servicios de banda ancha, con el cual es una clara opción para llegar a un mayor porcentaje de estratos sociales económicamente limitados.

Es necesario establecer directrices para el desarrollo de nuevos servicios y aplicaciones por el lado de los proveedores de contenido y servicios para una mejor interacción con los usuarios.

Asimismo se requiere realizar un análisis de los modelos de implementación inicial de LTE y estrategias para las zonas de alta densidad urbana y buscar posibilidades de algún desarrollo en áreas rurales. Las tecnologías avanzadas como LTE *Backhaul*⁶ servirán para ayudar a que en las zonas rurales sea un mercado más atractivo para ser servidas que en las actuales redes 3G.

⁶ La red backhaul es el medio de transporte dentro de la RAN (Radio Access Network), entre las estaciones base y los controladores necesarios.

Por otra parte, se debe responder a como LTE debe ser desplegada con un impacto mínimo en las plataformas configuradas en la situación actual, y abordar el planteamiento de rediseñar la topología de la red.

1.2.5. Retos y oportunidades para el mercado de América Latina

Analizar el impacto de la red LTE en la región, y cuál es el grado de reutilización de las redes actuales para la masificación de la banda ancha en la región.

Actualmente, la tendencia del mercado de telecomunicaciones se enmarca a un entorno de movilidad, por la masificación de Internet, banda ancha, y de terminales de última generación que demandan alta capacidad de tráfico en la región y el mundo.

El estudio contribuirá con directrices claras de implementación, recomendaciones y políticas para su desarrollo en la región a corto y mediano plazo, para fomentar el desarrollo de estas tecnologías y que aseguren su desarrollo de acuerdo a los intereses de usuarios, operadores y entes gubernamentales en un marco de competitividad en el mercado.

La tecnología LTE, es un elemento de oportunidad, desde el punto de vista estratégico, para los operadores, gobierno y usuarios, será una herramienta importante para el desarrollo de la convergencia de servicios y redes fijo y móvil.

Se dará un enfoque para la determinación de algunos parámetros y requerimientos que se tendrían que cumplir para la migración hacia una futura red móvil de banda ancha, con estándares y políticas adecuadas que permitirán la convergencia de las diferentes tecnologías y servicios, basada en protocolos abiertos como IMS e IP que permitan la integración de tecnologías y su desarrollo.

Se analizará un modelo de adopción que permita potenciar la competitividad en cuanto al índice de desarrollo de infraestructura en la región, reducir la brecha digital y mejorar la inclusión social a través de buenas prácticas y políticas con la adopción de estas tecnologías.

Las redes de comunicaciones móviles de cuarta generación LTE, son un elemento fundamental en el actual escenario de masificación de la banda ancha en la región, diseñadas para ofrecer gran capacidad y velocidad por la red móvil; con el objetivo, de abordar la creciente demanda de datos por parte de los usuarios, permite reducir la latencia hasta un tercio de la tecnología 3G y dotar de mejores prestaciones en gestión de recursos con el objetivo de dar granularidad a la red del operador.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

El objetivo principal del presente trabajo es analizar la implementación de la tecnología LTE desde una perspectiva de la normativa técnica, política regulatoria, modelos de implementación y la convergencia; para determinar elementos tecnológicos, estratégicos y de adopción para la masificación de banda ancha móvil en la región de Sudamérica.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar el estado actual de la tecnología LTE en Sudamérica.
- Evaluar el espectro radioeléctrico disponible desde el enfoque normativo y regulatorio.
- Analizar los requerimientos y funcionalidades de la arquitectura de LTE y sus procedimientos de migración.
- Analizar el impacto de la adopción de LTE en las actuales redes 3G.
- Analizar el impacto de la implementación en el servicio de voz y datos.
- Analizar el impacto de la implementación en temas de calidad de servicio.
- Analizar el impacto de la adopción de LTE en operadores y sus alternativas de implementación.
- Evaluar los elementos de transición de LTE y su convergencia de servicios
- Analizar y desarrollar estrategias para la integración de nuevos servicios de redes fijas y móviles.

1.4. Metodología

El estudio se basa en el análisis de la normativa regulatoria, estándares soportados por la tecnología, infraestructura desplegada, y las tendencias mundiales en cuanto a convergencia tecnológica, para establecer escenarios referenciales de implementación de la tecnología de cuarta generación.

Se analizarán casos de estudio y operadores que estén en proceso de implementación del servicio evaluando las estrategias aplicadas y principales dificultades en su despliegue.

La metodología de investigación a emplearse contempla un análisis de la implementación de la tecnología LTE, desde los siguientes puntos de vista:

- Modelo Tecnológico⁷
- Modelo Estratégico⁸
- Modelo de Adopción⁹

⁷ Modelo Tecnológico.- Comprende análisis, diseño e ingeniería en la infraestructura y las diferentes tecnologías y equipamiento

⁸ Modelo Estratégico.- Permite tomar acciones que guíen adecuadamente a obtener una posición de privilegio frente a los demás y de cómo llegar con esta nueva tecnología a un mercado competitivo y atractivo al cliente.

⁹ Modelo de Adopción.- Permite un análisis de la perspectiva del operador, gobierno y usuario.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

2.1. Banda ancha móvil

La banda ancha móvil se ha convertido en una infraestructura de mayor despliegue para dinamizar la economía digital y reducir la brecha digital. La banda ancha es también una herramienta para alcanzar las sociedades del conocimiento, donde el acceso a la información es vital¹⁰.

2.2. Desarrollo y evolución de las redes móviles

Las redes móviles han tenido una imperante evolución, debido al incremento y demanda de servicios móviles. En la Tabla No. 1 se muestra cómo en los últimos años se ha incrementado las velocidades de acceso para la prestación de servicios de banda ancha a los usuarios. Para el año 2016, esta tendencia se marca bajo la evolución de las redes LTE y LTE Advance¹¹, y se inician los estudios para las redes de quinta generación (5G), tecnología que se encuentra en los grupos de estudio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

2G		3G				4G	5G
GSM	GPRS	WCDMA	EDGE	HSPA	HSPA+	LTE- LTE Advance	5G
9,6 kbps	114 kbps	384 kbps	473 kbps	14,4 kbps	42 Mbps	172 Mbps	1 Gbps
1991	2000	2001	2003	2005	2008	2009	2016

Tabla 1: Evolución Redes Móviles

Fuente: Datos basados en Wireless Intelligence

¹⁰ Artículo Publicado por la UIT y disponible en <https://www.itu.int/en/wtpf-13/Documents/background-er-wtpf-13-broadband-es.pdf>

¹¹LTE Advanced: Es estandarizado por la 3rd Generation Partnership Project (3GPP) como una mejora al estándar Long Term Evolution (LTE).

Respecto al incremento de la velocidad de acceso, se han realizado mejoras y evoluciones de plataformas tecnológicas, principalmente del sector móvil, con la incorporación de mejores técnicas de modulación digital, tasas de transmisión más altas y menores retardos. La utilización de mejores métodos de acceso y codificación ha permitido la introducción de nuevas tecnologías digitales, como es el caso de LTE. La evolución en cuanto a velocidad de acceso ha permitido superar los 12 Mbps a 2016 como se muestra en la figura 1.

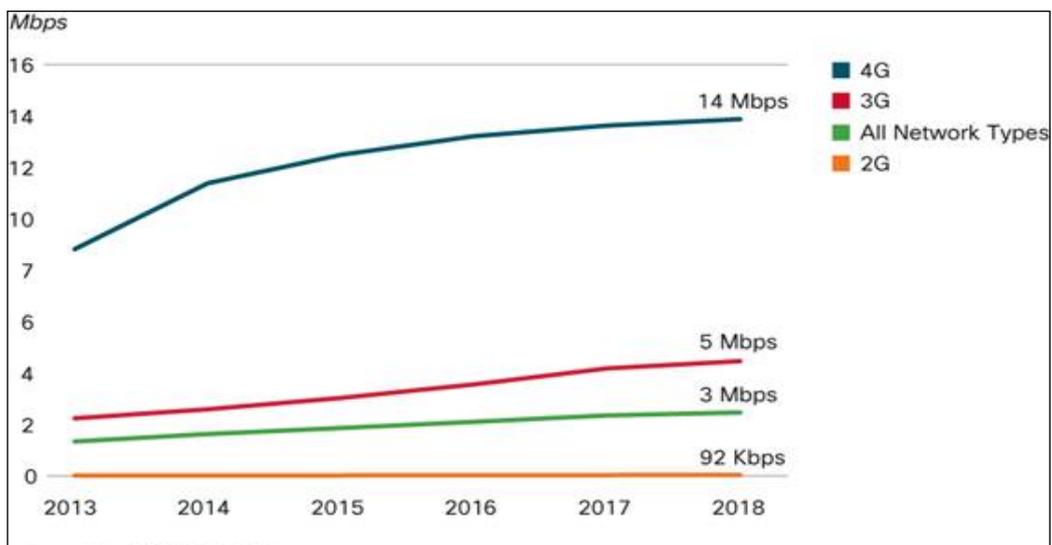


Figura 1: Evolución de velocidad en las redes 2G vs. 3G vs. 4G

Fuente: Cisco VNI Mobile, 2014

La industria móvil es un sector de alto crecimiento en la economía latinoamericana, caracterizada por su creciente madurez y el incremento de los niveles de competencia, este efecto, se evidencia en el crecimiento de los ingresos y el incremento de los suscriptores en los operadores de telecomunicaciones. En algunos mercados la oferta de servicios empaquetados (*Triple Play*)¹² también han contribuido a los operadores a mantener el crecimiento de sus ingresos.

Los operadores han realizado fuertes inversiones para la oferta de nuevos servicios dada la necesidad de incrementar aún más la capacidad y desplegar redes LTE en varios

¹² *Triple play*: Se define como el empaquetamiento de servicios y contenidos audiovisuales (voz, banda ancha y televisión). Es la comercialización de los servicios telefónicos de voz junto al acceso de banda ancha, añadiendo además los servicios audiovisuales.

países de la región. La industria móvil tiene un papel fundamental para la reducción de la brecha digital y de acceso para la banda ancha en su conjunto.

En los países emergentes se evidencia un desarrollo por la introducción de nuevos competidores, servicios, aplicaciones y por la aceleración de la adopción de la banda ancha móvil como una de las políticas gubernamentales.

Por otra parte, la introducción al mercado de dispositivos móviles inteligentes, ha contribuido al desarrollo del mundo móvil, tal es así que, a finales del cuarto trimestre (4T) de 2013, la penetración de los Smartphone se aproximó al 20% de la población, un porcentaje apenas inferior a la media mundial y que está previsto que alcance el 44% para 2017¹³.

La descarga de uso de datos móviles en los *hots pots*¹⁴ de banda ancha fija, también es un factor que incrementará la participación de operadores convergentes en algunos países de la región.

2.3. Crecimiento en acceso móvil regional

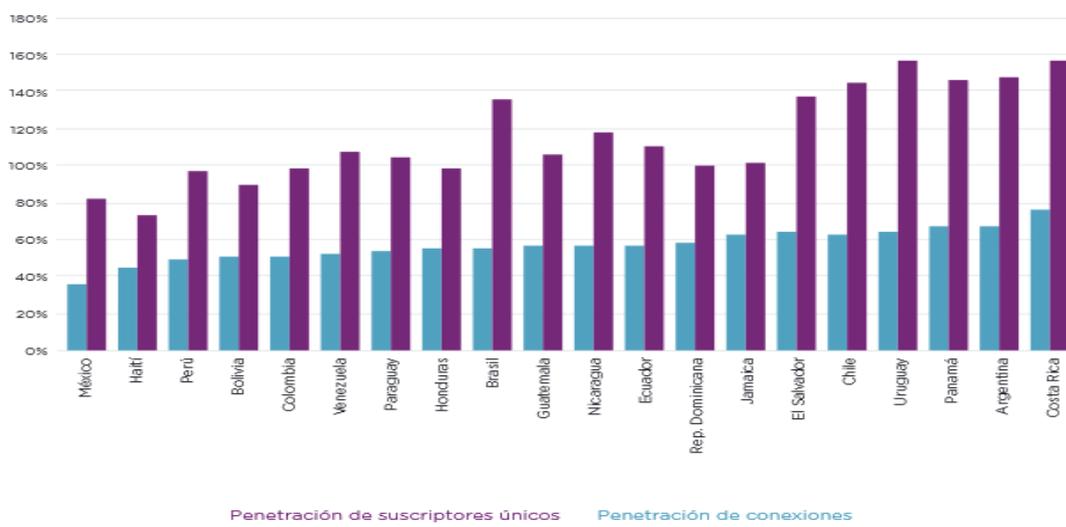


Figura 2: Penetración de Suscriptores móviles únicos y conexiones por país (GSMA, 2014)

¹³ GSMA: Reporte Economía Móvil América Latina 2013

¹⁴ Hotspot: Punto caliente que ofrece acceso a Internet a través de una red inalámbrica

Desde una perspectiva económica y social los países latinoamericanos son diversos. También lo son los niveles de penetración móvil (tanto de suscriptores únicos como de conexiones). Las tasas de penetración de conexiones van desde el nivel más bajo del 73% hasta el más alto del 157% en el país centroamericano de Costa Rica. La tasa general de penetración en toda la región era del 112% en septiembre de 2014, muy por encima de la media mundial del 96%.

Tomando como referencia los principales mercados latinoamericanos, en promedio la relación del crecimiento de la banda ancha móvil ha sido de cinco veces superior a la banda ancha fija, lo cual marca una fuerte tendencia al desarrollo de entornos móviles en la región.

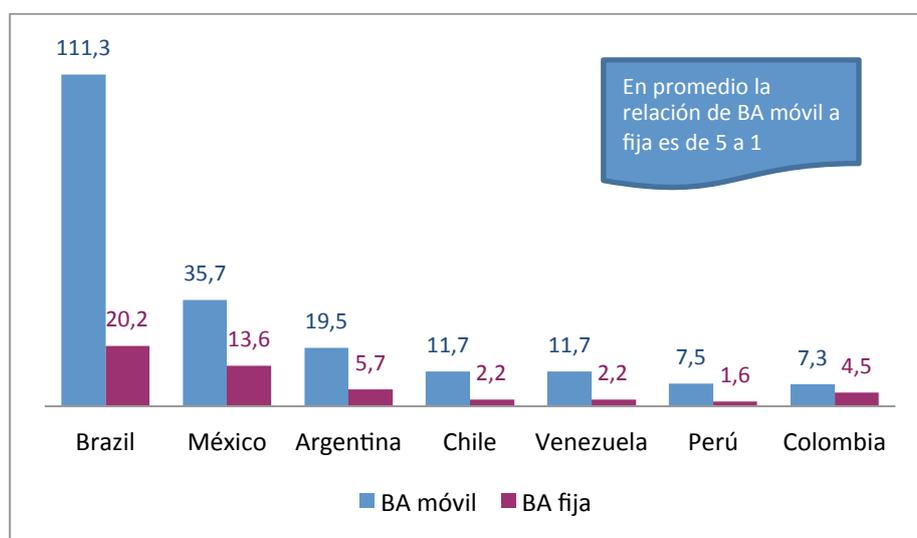


Figura 3: Conexiones móviles y fijas de banda ancha (MM)

Fuente. GSMA Intelligence, ITU 2014

Al analizar el constante crecimiento del consumo de la banda ancha móvil, hay muchos elementos a tener en cuenta, entre ellos: los dispositivos, las redes y los estándares tecnológicos a los que dan soporte, las aplicaciones disponibles y las necesidades o la demanda de los usuarios finales.

Estos elementos funcionan juntos en forma sinérgica para mejorar la calidad de la experiencia a los usuarios, los avances en dispositivos que habilitan más y mejores aplicaciones a utilizarse en redes inalámbricas más avanzadas darán paso a una

experiencia superior al usuario en un ambiente inalámbrico, que a su vez conduce a mayor satisfacción y uso.

Se prevé que esta tendencia continuará en los próximos años. Como resultado de ello, se proyecta que las demandas de capacidad de datos inalámbricos continuarán incrementándose a tasas exponenciales en los próximos años.

2.4. Incremento de los servicios de banda ancha móvil

2.4.1. Incremento de dispositivos tipo Smartphone

En la región latinoamericana en promedio se evidencia el 30% de penetración de Smartphone. El efecto de las economías de red, acelera la adopción de estos dispositivos y agudizará la necesidad de espectro, es por eso que se acortan los tiempos de decisión para atribuir y licitar espectro para servicios móviles.

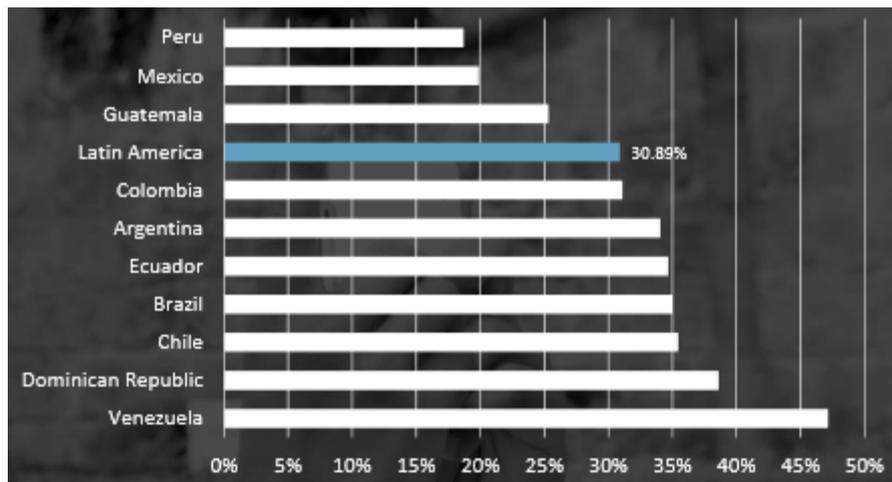


Figura 4: Tasa de penetración de Smartphone. Latinoamérica.

Fuente. GSMA Intelligence, 2014

Los dispositivos Smartphone, crecerán de 31% (200 MM) a 68% (605 MM) en 2020 en Latinoamérica (GSMA, 2015).

Por otra parte, la armonización regional de este espectro resulta clave para lograr escala en el equipamiento y que los usuarios móviles puedan elegir entre una gama de dispositivos con precios aptos para los distintos poderes adquisitivos que garantice la masificación.

2.4.2. Incremento de tráfico móvil

En cuanto a la proyección de incremento de la demanda de tráfico, para el año 2018 en dispositivos Smartphone aumentará 7 veces más que en 2012, como se indica en la figura No.5.

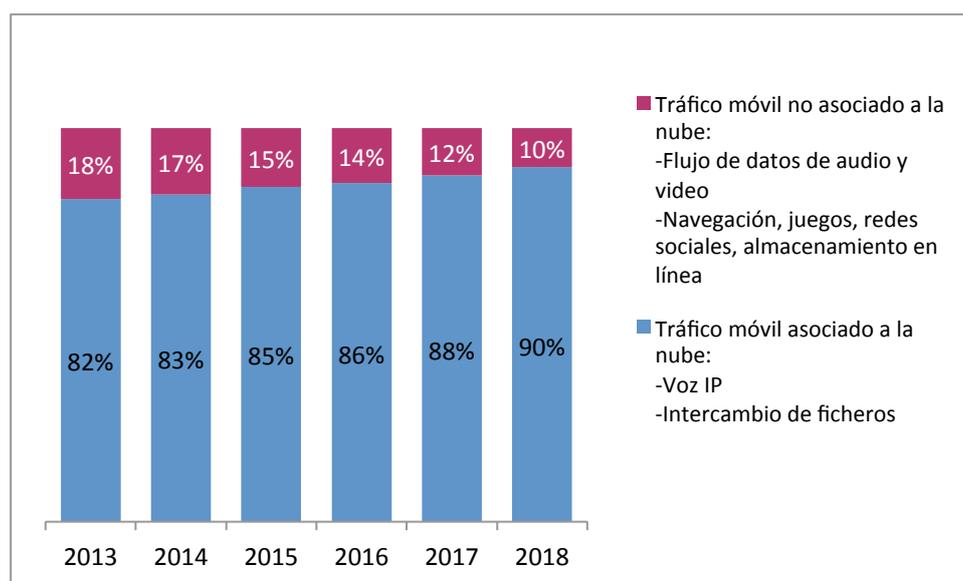


Figura 5: Crecimiento mundial de tráfico de Internet

Fuente: UIT, en base a datos de Gartner, Cisco VNI, Telegeography e IDC.

Según datos de Cisco, se estima que el número de conexiones móviles a Internet superará los 10.000 millones en 2018 y que será de 1,4 veces la población mundial. Según Ericsson, es previsible que el tráfico de datos móviles presente una tasa de crecimiento anual compuesta del 45% en el periodo 2013–2019 y que en la red fija la tasa de crecimiento anual compuesta del tráfico de datos sea del 25%. Según las predicciones de Cisco, en 2018 las redes WiFi y las redes basadas en células de pequeño tamaño soportarán el 52% del tráfico móvil a nivel mundial, habiendo sido el 45% en 2013.

Se espera que la tecnología LTE alcance velocidades de 100 Mbps y el tráfico se incremente al 15% con esta tecnología. Ver Figuras 6.

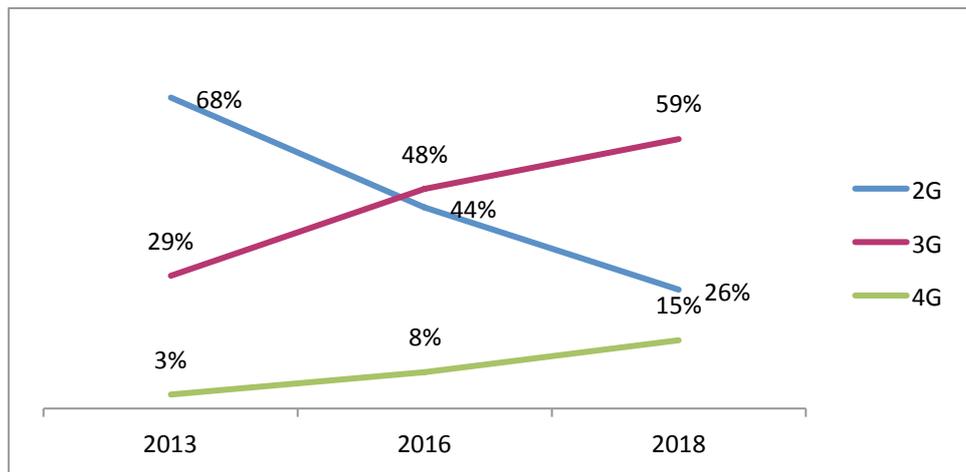


Figura 6: Comportamiento de tráfico por tecnología

Fuente: Cisco VNI Mobile, 2014.

El crecimiento de la 4G, con su mayor ancho de banda, menor latencia y mayor seguridad, le ayudará a varias regiones cerrar la brecha entre su desempeño de la red móvil y fija. Esto conducirá a aún mayor adopción de tecnologías móviles de los usuarios finales.

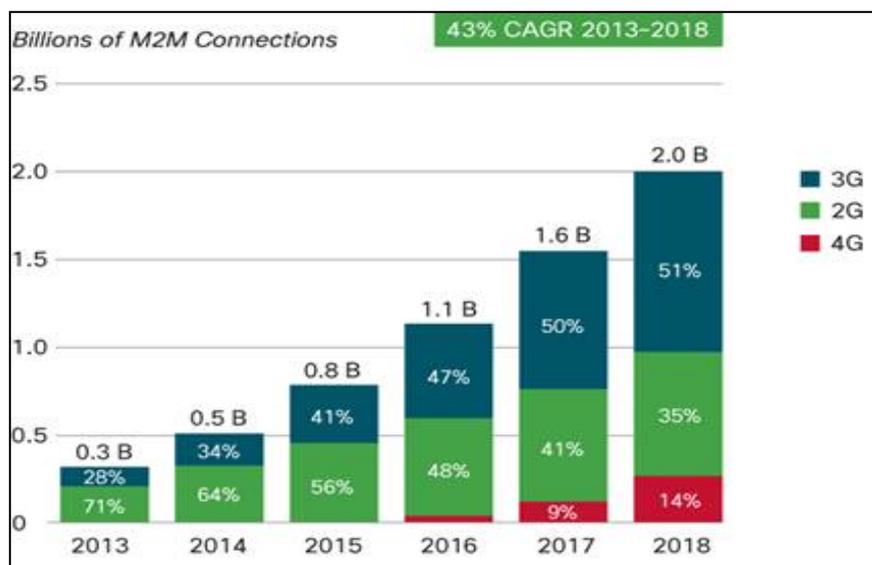


Figura 7: Porcentaje de conexiones con 4G

Fuente: Cisco VNI Mobile, 2014.

Al 2013, el 0,43% de cuentas y conexiones fueron mediante la plataforma 4G, se estima que para el 2016 se incrementa al 5.6% y para el año 2018 alcance un 18%.

Un indicador para este crecimiento es el uso del Internet a través de medios inteligentes, servicios públicos y el segmento de consumo, la información en tiempo real ayuda a las empresas a implementar nuevos sistemas y servicios de banda ancha.

Se evidencia que, un aumento del uso, incrementa la velocidad. Los servicios de datos móviles están encaminados a convertirse en necesidades para muchos usuarios de la red. El servicio de voz móvil es considerado una necesidad por la mayoría, y los datos móviles, vídeo y servicios de televisión se están convirtiendo rápidamente en una parte esencial de la vida de los consumidores, así como segmentos de la empresa, en los mercados desarrollados y emergentes.

El ritmo de adopción de Internet móvil en los teléfonos inteligentes y el Internet de las Cosas (*IoT*) están generando una profunda transformación del negocio de los servicios móviles, las infraestructuras, la regulación y las políticas públicas del sector Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

2.4.3. Incremento de tráfico por introducción de nuevas tecnologías

Al analizar el rápido ascenso del consumo de banda ancha móvil, hay muchos elementos a tener en cuenta. Entre ellos, los dispositivos, las redes y los estándares tecnológicos a los que dan soporte, las aplicaciones disponibles y las necesidades o deseos de los usuarios finales. Estos elementos, funcionan juntos en forma sinérgica para mejorar la calidad de la experiencia a los usuarios finales. Los avances en dispositivos que habilitan más y mejores aplicaciones a utilizarse en redes inalámbricas más avanzadas darán paso a una experiencia superior al usuario inalámbrico, que a su vez conduce a mayor satisfacción y uso. Se prevé que esta tendencia continuará en los próximos años, ver figura No. 8. Como resultado de ello, se proyecta que las demandas de capacidad de datos inalámbricos continuarán aumentando a tasas exponenciales en los próximos años, incrementando la necesidad de espectro para dar soporte a servicios de banda ancha móvil.

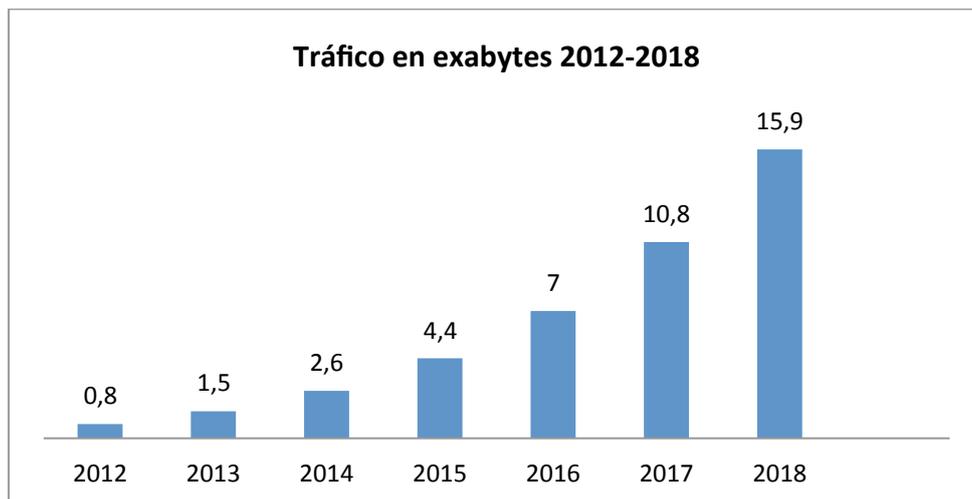


Figura 8: Proyección de tráfico de datos móviles

Fuente. GSMA Intelligence, ITU

El tráfico de datos crecerá 66% anual hasta 2018, mucho más que en mercados desarrollados como Europa o Estados Unidos. A medida que la adopción crece, la presión sobre las redes móviles aumenta.

2.4.4. Necesidades de impulsores, enabler y drivers tecnológicos.

El despliegue de redes móviles de próxima generación requiere una mayor portabilidad del servicio y la interoperabilidad. Con la proliferación de dispositivos móviles y portátiles, existe una necesidad inminente de redes de banda ancha, para permitir que todos estos dispositivos, se conecten en forma transparente con la red de prestación. Esta apertura ampliará la gama de aplicaciones y servicios que pueden ser compartidos, creando una experiencia de banda ancha móvil altamente mejorada. La expansión de la presencia inalámbrica se incrementará el número de consumidores que acceden y se basan en las redes móviles, creando la necesidad de mayores economías de escala y bajo costo por bit.

Muchos modelos de negocio emergen con nuevas formas de publicidad, medios de comunicación y las asociaciones de contenido. Se esperan nuevas alianzas de los ecosistemas y las consolidaciones estratégicas de los operadores móviles, proveedores de contenido, desarrolladores de aplicaciones. Los operadores deben resolver el reto de

monetizar eficazmente el tráfico de vídeo, y el aumento de los gastos de capital en infraestructura.

Existe la necesidad de ofrecer servicios innovadores para enganchar a los consumidores. Este proceso requiere de ampliar el marco regulatorio bajo la neutralidad de la red. Los modelos de negocio de los operadores evolucionan, ya que hay una demanda insatisfecha que demanda alta calidad y velocidad.

Dado que las tecnologías inalámbricas tienen como objetivo proporcionar experiencias que antes sólo estaban disponibles a través de las redes de cable. Los próximos años son clave en los operadores y proveedores de servicios para futuros despliegues de red 4G, que van a crear un entorno adaptable para dispositivos y aplicaciones.

A los planes nacionales de acceso a banda ancha, la tecnología LTE es una herramienta que permite masificar el servicio en ciudades metropolitanas y zonas rurales.

Respecto a los factores de mayor impacto en la adopción de la banda ancha en las zonas rurales, en estudios ampliamente reconocidos tales como: Davidson, Santorelli, & Kamber, 2012; FCC, 2011; Geroski, 2000; Howick & Whalley, 2008; Prieger, 2012 se consideran básicamente tres: Coste del servicio, disposición de dispositivos y la alfabetización digital. Howick y Whalley, 2008, identifican el coste del servicio como el factor de mayor impacto en la adopción, confirmando de esta manera, el estudio realizado por Geroski (2000). En éste último se menciona que la política de precios y servicios de los operadores es un factor de éxito o fracaso, al generar una barrera de entrada, en la adopción de tecnología.

2.5. Políticas gubernamentales asociadas

En países de América Latina, se ha dado una vital importancia a la adopción de políticas para facilitar el despliegue de banda ancha. Actualmente, existe un rol muy importante de los Estados no solo para regular el mercado de telecomunicaciones, sino también, en la implementación de dichas redes, además se evidencia una fuerte política para el uso

TIC en la ciudadanía y en la industria en general a través del sector de telecomunicaciones.

Esta adopción de políticas, se observa tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo, y es particularmente observable en la proliferación de planes nacionales de banda ancha, los cuales involucran un conjunto diverso de iniciativas de los gobiernos nacionales adoptadas en los últimos cinco años, y cuyo objetivo central es acelerar el despliegue y adopción de servicios de banda ancha. Los países de América Latina han sido particularmente proactivos en el diseño y ejecución de planes nacionales de banda ancha, lo que ha sido acompañado también por un creciente esfuerzo de coordinación en el ámbito regional.

Lograr este objetivo, ha demandado que los países consideren no sólo cómo motivar la construcción y expansión de redes de banda ancha, sino también cómo manejar la demanda de los servicios que estas redes pueden proporcionar de una manera que satisfaga las necesidades de todos los usuarios.

Los planes nacionales de banda ancha son ejes fundamentales hacia las políticas de fomento al acceso universal de la banda ancha, como se denota en la tabla No. 2. Es una forma para los gobiernos, de establecer una serie de objetivos y de fomentar la coordinación entre entidades gubernamentales y el sector privado, con el fin de estimular el crecimiento económico, mejorar y masificar el acceso a nuevas tecnologías y servicios.

País	Plan	Año de adopción
Argentina	Plan Nacional de Telecomunicaciones - Argentina Conectada	2010
Antigua y Barbuda	Government Assisted Technology Endeavor (GATE)	2012
Brasil	Plan Nacional de Banda Ancha	2010
Canadá	Broadband Canada: Connecting Rural Canadians	2009
Chile	Estrategia para el Desarrollo Digital	2010-2014
Colombia	Plan Vive Digital	2010
Costa Rica	Estrategia Nacional de Banda Ancha	2010
Estados Unidos	Connecting América	2010
Ecuador	Ecuador Estrategia Digital 2.0	2011
Honduras	Resolución NR 005/10 - Normativa que regulará la prestación de servicios de telecomunicaciones con conectividad de banda ancha	2010
México	Estrategia Digital Nacional	2013
Panamá	Estrategia Nacional TIC	2008-2018
Paraguay	Paraguay 2013 Conectado ya y Plan Nacional de Telecomunicaciones	2011
Perú	Plan Nacional para el Desarrollo de la Banda Ancha en el Perú	2010
Uruguay	Agenda Digital	2011-2015

Tabla 2: Estrategias nacionales sobre banda ancha en las Américas

Fuente: Entes reguladores

Existen características comunes a nivel regional en la aplicación de estrategias de banda ancha, el objetivo primordial es ampliar la asequibilidad de banda ancha, para asegurar que los beneficios económicos, educativos y sociales lleguen a la población.

A continuación se detallan algunas estrategias comunes identificadas en los países Latinoamericanos en materia de banda ancha:

- Liberaciones de bandas de espectro y subastas para IMT¹⁵.
- Incrementar la banda ancha móvil y fija con metas en sus planes nacionales.
- Mejorar la asequibilidad de los servicios.
- Incremento de cobertura. De banda ancha. LTE podría ser la solución de más rápido despliegue y eficiente en costos para alcanzar dicho objetivo.
- Manejar los objetivos de demanda fomentando el desarrollo de contenido nacional y aplicaciones, mejorar la alfabetización digital y construir confianza y seguridad en el uso de servicios y aplicaciones de banda ancha.

En cuanto a normativa, varios países de la región tales como: Ecuador, Paraguay, Chile, Argentina, analizaron la publicación de nuevas Leyes de Telecomunicaciones, en algunos casos ya expedidas, en la cual se actualizó principalmente temas de neutralidad de la red, convergencia, derechos de los abonados, interconexión y temas de competencia de mercado.

¹⁵ IMT: Telecomunicaciones Móviles Internacionales

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO, REGULACIÓN Y POLÍTICAS

3.1. Regiones para atribución de frecuencias

La UIT para la administración y la atribución de las bandas de frecuencias, dividió al mundo en 3 regiones las cuales se describen a continuación:

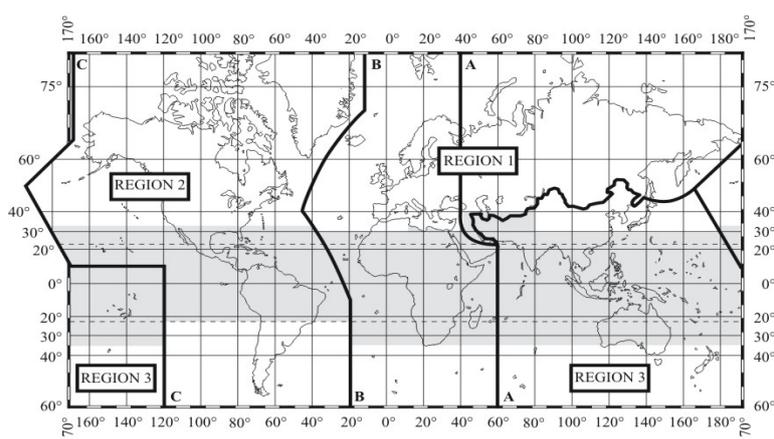


Figura 9: Regiones Unión Internacional de Telecomunicaciones

Fuente: Resolución 646 (CMR-03), UIT.

3.1.1. Región 1

Según mediciones del uso e implementación de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), del Foro Económico Mundial, en 2015 alrededor de siete de los diez países mejor posicionados del ranking son europeos o están situadas en esta región, esto en conjunto con las tasas de penetración que existen en Europa, asegura que esta región vaya a la vanguardia en cuanto a la banda ancha móvil¹⁶.

3.1.2. Región 2

Actualmente esta región está comenzando a explotar los servicios de banda ancha móvil

¹⁶ Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2012

lo que podría representar una desventaja en cuanto a las otras regiones, sin embargo presenta tasas de penetración cercanas al 30% lo que la vuelve atractiva a inversiones¹⁷.

3.1.3. Región 3

Esta región alberga a casi la mitad de la población del servicio de telefonía móvil, a pesar de ser la menos extensa geográficamente su densidad de población no tienen comparación con las otras regiones lo que la vuelve el motor de crecimiento de las comunicaciones móviles.

Además posee países como la República de Corea del Sur y Japón que siempre están a la vanguardia en cuanto a la implementación de las TIC y específicamente de la banda ancha móvil¹⁸.

3.2. Recomendaciones de la UIT para IMT

El Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT identifica las bandas para su utilización por las administraciones que deseen implementar las IMT¹⁹, incluidas las IMT-2000 y las IMT-Avanzadas. Esta identificación no excluye el uso de estas bandas por ninguna aplicación de los servicios a los cuales están atribuidas o identificadas y no implica prioridad alguna en el Reglamento de Radiocomunicaciones. Las desviaciones regionales para cada banda se describen en las diferentes notas del cuadro que existen en cada banda, como se muestra a continuación:

Banda (MHz)	Notas del cuadro que identifican la banda para las IMT
450-470	5.286AA
698-960	5.312A; 5.313A; 5.317A
1 710-2 025	5.384A, 5.388

¹⁷ CEPAL, 2011

¹⁸ Regiones Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2013

¹⁹ Telecomunicaciones Móviles Internacionales

2 110-2 200	5.388
2 300-2 400	5.384A
2 500-2 690	5.384A
3 400-3 600	5.430A, 5.432A, 5.432B, 5.433A

Tabla 3: Bandas IMT identificadas CMR 2012

Fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones

En la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR-15), celebrada en noviembre del 2015, se trató principalmente la liberación e identificación de espectro radioeléctrico para IMT. Las porciones de espectro que sí fueron identificadas para servicios de banda ancha móvil fueron las frecuencias correspondientes a la banda L (1427-1518 MHz) y la porción más baja de la banda C (3400-3600 MHz).

Por otra parte, se decidió identificar para servicios IMT a las bandas de 694-790 MHz para la región 1, que comprende Europa, África, Medio Oriente y Asia Central. De esta manera, la región 1 se suma a América (región 2) y Asia Pacífico (Región 3), con lo que se alcanza una armonización a escala mundial.

Adicionalmente, se tomó la decisión de mantener el uso de la banda de espectro de 470 MHz a 694 MHz para servicios de radiodifusión (televisión) al menos hasta 2023.

Esto denota que algunas administraciones principalmente de Latinoamérica, consideraron aun necesario la necesidad de que esta banda sea utilizada para el despliegue y transición hacia la Televisión Digital Terrestre. No obstante, algunos países tales como: Canadá, Estados Unidos, México y Colombia, esperaban su identificación por algunos planes de posibles desarrollos y un segundo dividendo digital en esta banda.

3.3. Métodos de asignación de frecuencias para IMT

3.3.1. Plan desplegado en USA

El plan de banda de 700 MHz de EE.UU divide la banda de frecuencias 698-806 MHz

en una parte inferior de 700 MHz y una parte superior de la referida banda. Las bandas 12 y 17 de FDD están definidas para trabajar en la parte inferior de 700 MHz, mientras que las bandas 13 y 14 en la parte superior, para la operación de LTE²⁰. La canalización adoptada se muestra en la siguiente figura:

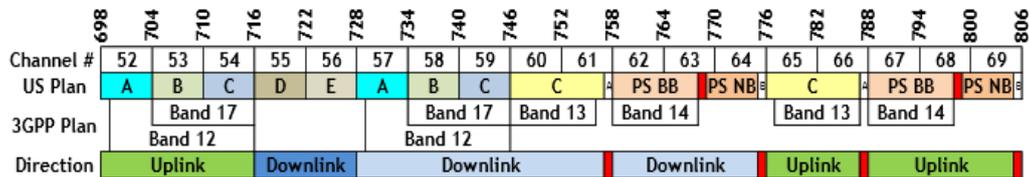


Figura 10: Canalización de USA en la banda de 700 MHz [4G américas. 2012]

Debido a que el plan de Estados Unidos fue el primero en desplegarse en la banda de 700 MHz tuvo ventajas y desventajas. La principal ventaja fue que brindó prioridad a la liberación de banda en un corto periodo de tiempo, de esta manera se garantizó tener espectro disponible para futuras asignaciones; su mayor desventaja fue que tuvo que lidiar con los problemas de las bandas asignadas a seguridad pública.

3.3.2. Plan desplegado en Asia Pacífico APT²¹

En la región 3, se realizó un considerable trabajo para desarrollar un plan de banda armonizada en 698 MHz- 806 MHz. Esto les permitió maximizar beneficios a la región, a través de la interoperabilidad, las economías de escala y de roaming para los usuarios.

En la Figura 11, se pueden observar las dos variantes que tiene el plan de APT, uno para FDD que ofrece 2x45 MHz de espectro contiguo y el otro para TDD que ofrece 100 MHz de espectro. Ambos cubren el mismo rango de frecuencias 698-806 MHz como plan de banda 700 MHz de EE.UU.²².

²⁰ 4G Américas, Septiembre 2012, p.12

²¹ Asia-Pacific Telecommunity.

²² 4G Americas, Septiembre 2012, p.12

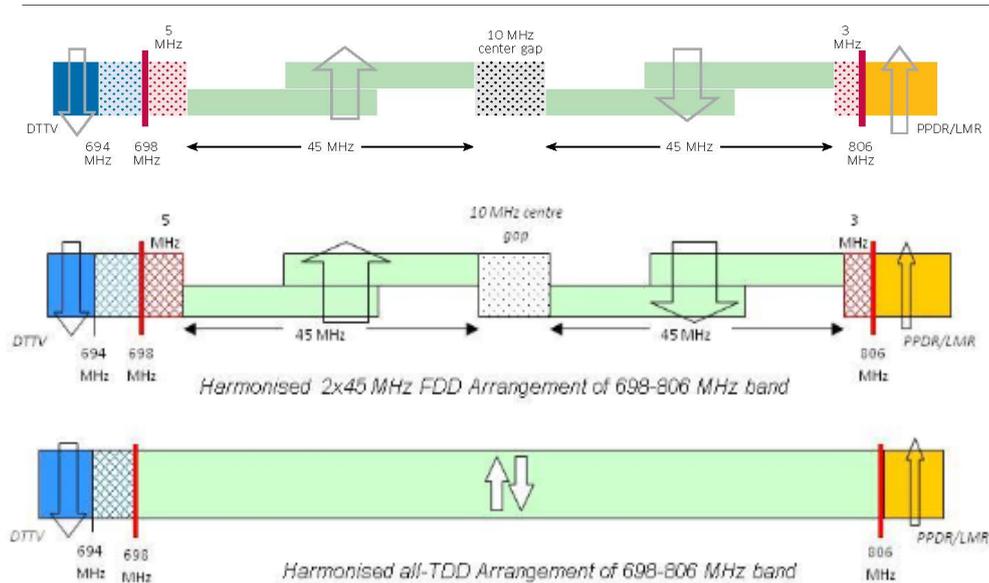


Figura 11. Variantes de FDD y TDD en el plan de 700 MHz de APT

Fuente: 4G Américas -Diciembre 2012

3.3.3. Banda AWS (Advanced Wireless Service)

En la actualidad está asignada la banda AWS en los rangos de frecuencias de 1710-1755 MHz y 2110-2155 MHz, en varios países del mundo, debido a la demanda de tráfico y con el fin de agregar capacidad y fomentar nuevos servicios y competencia en los mercados móviles.

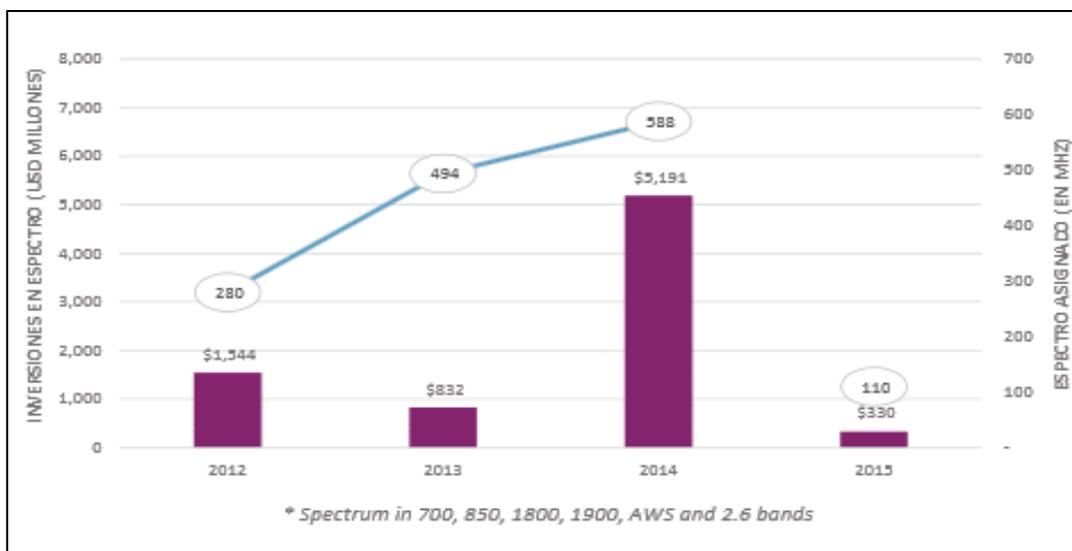


Figura 12. Inversiones en espectro para LTE, [GSMA, 2015]

Los operadores móviles de América Latina invirtieron más de USD 7.9 mil millones en licencias de espectro entre 2012 y 2015, en su mayor parte para el despliegue de redes 4G LTE, [GSMA, 2015].

3.4. Análisis de espectro para el despliegue de LTE en la región.

Hay dos aspectos que se han reflejado en la cantidad de espectro asignado en los mercados de América Latina. El primero se refiere a la asignación directa de espectro (Sin proceso de licitación).

Desde el 2009 a 2015 se ha asignado 1,598 MHz en 15 países de la región. La mayoría de los operadores de la región, han desplegado sus redes LTE en modo FDD. Si bien se puede implementarse redes LTE en una serie de bandas de frecuencia, en la región de Latinoamérica se ha evidenciado un consenso hacia la asignación de las bandas AWS (1700-2100 MHz), banda de 700 MHz y la banda de extensión IMT (2500-2600 MHz) para lograr la armonización regional del espectro para las redes LTE.

No todos los países de la región han asignado las mismas bandas de frecuencia, para la implementación de LTE, más bien se ha realizado una asignación conforme avanza la liberación del espectro, en bandas en las que se requiere adaptaciones menores, o en su defecto existe una disponibilidad inmediata. La mayoría de los reguladores de la región han expresado interés en subastar espectro en 700 MHz en el futuro cercano y al menos ocho ya la han asignado al primer trimestre de 2016 [4G Américas, 2016].

Banda (MHz)	700	850	900	1700	1800	1900	1700/2100	2100	1900/2100	2300	2600
Argentina	✓	✓					✓				
Bolivia	✓	✓					✓				
Brasil	✓										✓
Chile	✓						✓				✓
Colombia							✓				✓
Ecuador	✓						✓				
Honduras							✓				
México							✓				
Paraguay							✓				
Perú							✓				
República Dominicana							✓			✓	
Uruguay							✓				
Venezuela											

Tabla 4: Asignaciones de espectro regional

Fuente: 4G Américas, (GSMA 2016)

Las bandas de frecuencia más utilizados a nivel mundial es la de 1,8 GHz, donde el 44% y es la principal banda de LTE a escala global, lo cual facilita el roaming internacional para banda ancha móvil. Las licencias móviles sobre esta parte del espectro alcanzan a más de 350 operadores en 150 países. En Latinoamérica su uso no está muy extendido. El principal mercado con uso de esta banda para móviles es Brasil.²³ El segundo espectro más utilizado es 2,6 GHz, con el 27% de las redes, seguido por 800 MHz (12%) y AWS (8%).

²³ Reporte de signalstelecomnews 2016.

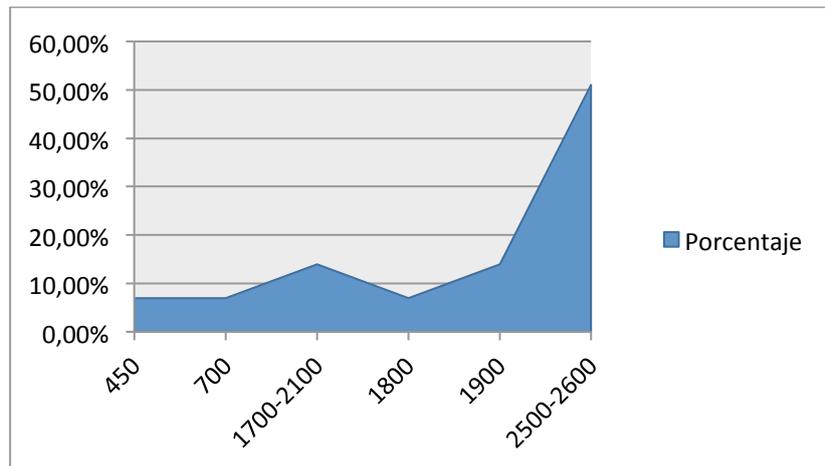


Figura 13. Porcentaje de bandas de frecuencia (MHz) utilizadas en LTE, excluyendo el Caribe

Fuente: GSMA Intelligence 2015.

Esto muestra que en este momento, el escenario de espectro para las redes LTE en América Latina se encuentra fragmentado, ya que los dispositivos y chips fabricados requieren ser compatibles con casi diez bandas diferentes. Sin embargo, la asignación de espectro en las bandas de 1700-2100 MHz, 700 MHz y 2500-2600 MHz muestra una clara tendencia hacia la armonización regional del espectro para las redes LTE.

3.4.1. Porcentaje de espectro asignado según la Recomendación para 2015 y 2020 de la UIT

A pesar de la cantidad máxima de espectro asignado sólo representa el 39% de la recomendación de la UIT para 2015, durante los próximos años se espera que varios procesos de concesión de licencias de espectro se celebrarán en distintos mercados de la región, lo que constituye un primer paso para permitir disminuir el nivel de congestión de las redes móviles y aumentar los servicios de banda ancha móvil para llegar a niveles más altos de calidad, como se muestra en la figura No. 14.

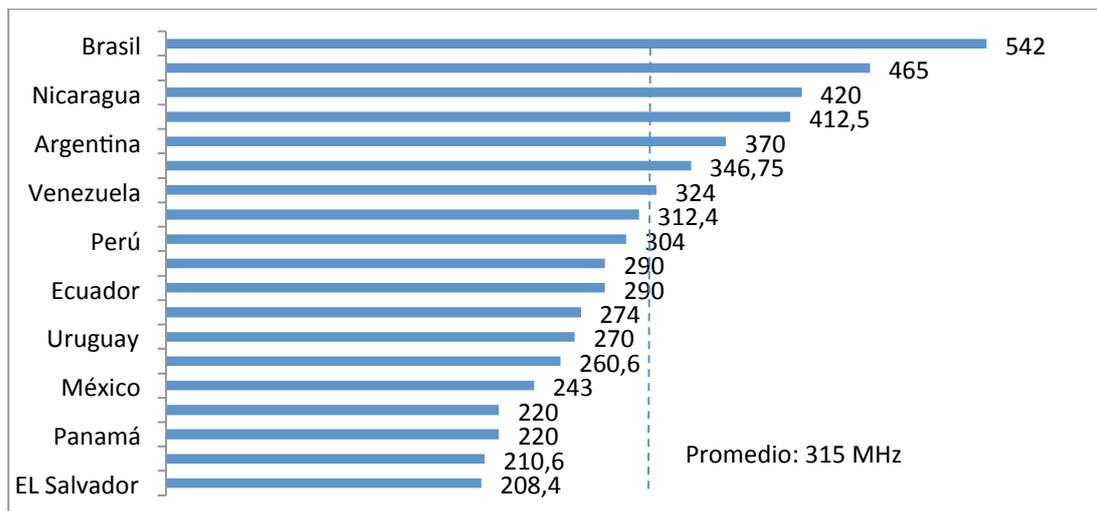


Figura 14: Espectro bajo 3GHz asignado a servicios móviles

Fuente: 4G Américas, Spectrum White Paper 2015.

3.5. Modelos de adopción

Para la toma de decisiones e identificación de espectro para las IMT, se identifican los siguientes parámetros:

- Estudios de compatibilidad con otros servicios en la misma banda o en bandas adyacentes con las IMT.
- Armonización mundial o regional de bandas del espectro.
- Disponibilidad de bloques amplios de bandas para las IMT.
- Desarrollos tecnológicos de la industria de las telecomunicaciones.
- Estado de desarrollo de los servicios actuales y previsiones para futuras necesidades de servicios, incluyendo aquellas relativas al espectro.
- Evaluación de la posible interferencia entre sistemas IMT-2000 o posteriores a IMT-2000 y otros servicios.

Hay mayor posibilidad de ingreso de nuevos actores al mercado de las telecomunicaciones varios de los países de la región están acogiendo el modelo APT Asia Pacífico para la canalización de la banda de 700 MHz y desplegando redes de LTE en estas bandas.

Valoración económica por canales espectrales

A diferencia de tecnologías anteriores, las IMT-Avanzadas usan la técnica de Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (OFDMA) de la interfaz de radio que requiere bloques más grandes y contiguos del espectro, para explotar al máximo los beneficios de eficiencia espectral.

Lo antes mencionado, se ejemplifica al observar un vídeo por medio de un teléfono inteligente, el cual consume 100 veces más bits por segundo que una llamada de voz (en el enlace descendente).

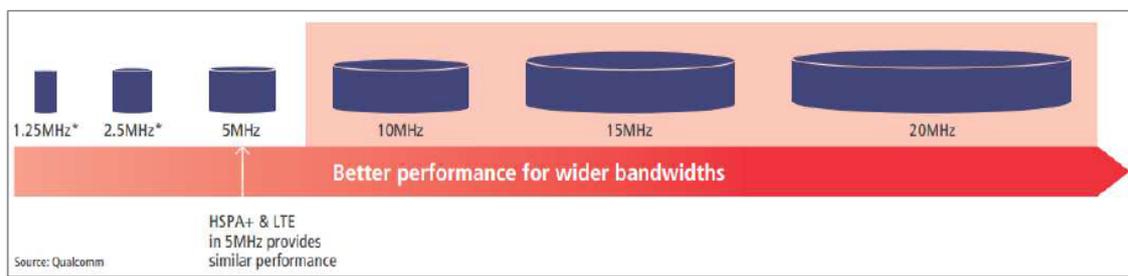


Figura 15: Relación de rendimiento respecto al ancho de banda de canal²⁴

La eficiencia con canales de mayor ancho de banda justifican la tendencia de ampliar los tradicionales canales de 5 MHz por segmentos continuos de 10 MHz, 15 MHz y 20 MHz. Considerando estos aspectos, la figura No. 16, muestra el aumento de la eficiencia espectral obtenida con la tecnología LTE, con canales de radio más amplios (10 MHz y 20 MHz).

²⁴ Reporte de GSMA disponible en: <http://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2012/04/26ghzspectrumbrochurefinal.pdf>

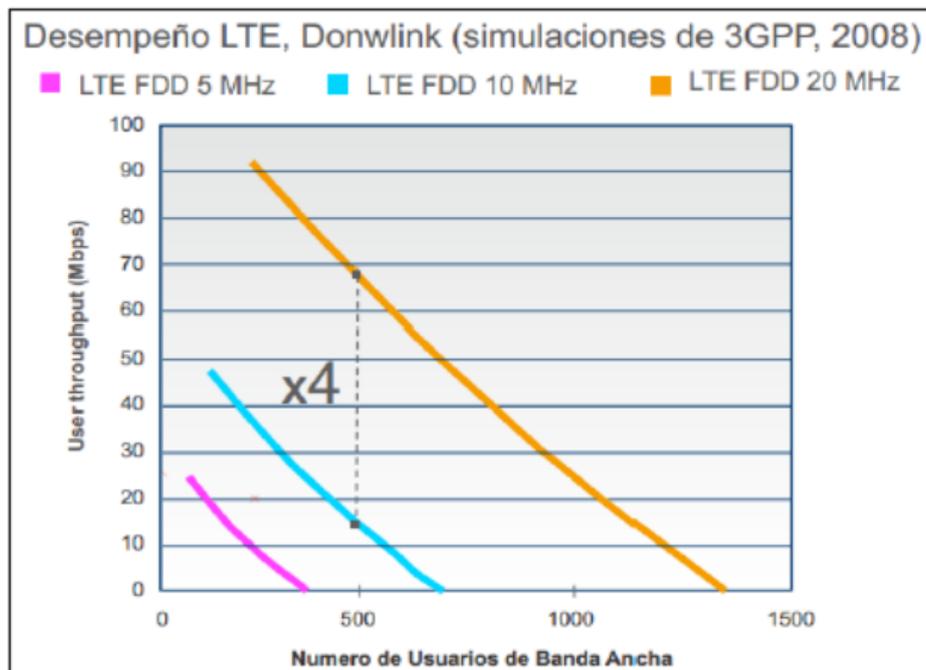


Figura 16: Desempeño LTE, Downlink (simulaciones 3GPP, 2008)²⁵

En este sentido, y con base en un estudio realizado por la firma Empiris demuestra que las redes LTE con canales de espectro de 2x10 MHz pueden llegar a costar el doble, en relación con el despliegue de servicios para canales de 2x20 MHz. El estudio encontró que el uso de los canales de 2x5 MHz duplica el gasto de capital necesario para un retorno de inversión.

2x 20Mhz	2*15 MHz	2*10 MHz	2*5MHz
\$x	\$1.3x	\$2x	\$4x

Cuadro 5: Costos de despliegue de una red LTE en función del ancho de banda

3.6. Política y reglamentación

Varios países de Latinoamérica, han emprendido procesos de subastas en los cuales se ha incorporado diferentes parámetros de compensación por el espectro asignado tales

²⁵ Tomado de la presentación de Ericsson de la Conferencia Latinoamericana de Espectro 2011, realizada en la Ciudad de México, México.

como: Ampliación de cobertura, oferta de servicios a operadores virtuales y compartición de infraestructura.

En la región de Latinoamérica ya se evidencia una política pública en cuanto a la asignación, canalización del espectro radioeléctrico para el despliegue de tecnologías IMT como LTE.

La evaluación del riesgo notablemente ha dependido de las condiciones de la economía externa de los países de la región, lo cual ha frenado algunas inversiones. Por otra parte, las condiciones regulatorias, tienen una alta incidencia en la evaluación de riesgo del inversor. Como en cualquier modelo de flujo de caja descontado. En algunos casos un punto de incremento en la tasa (WACC), puede generar una reducción del valor del proyecto en un 73%, tornándolo eventualmente negativo y que el inversor decida no participar²⁶.

La asignación de frecuencias incide en los costos de despliegue de las redes, siendo las frecuencias más bajas esenciales para las metas de cobertura y la asequibilidad de los servicios.

Un tema sensible es incorporar obligaciones de cobertura rural, pudiendo sólo en algunos casos cubrir el 10% de las zonas rurales recién a los 10 años. Incluso proyectando incrementos en el precio al usuario de más del 50% no se logra solventar la inversión requerida.

La flexibilidad en las condiciones de asignación que permitan mecanismos de compartición de espectro como RAN Sharing o la comercialización del mismo, pueden resultar positivos mejorando las perspectivas de inversión. Del modelo surge que el RAN Sharing puede eventualmente resultar una alternativa para facilitar el despliegue y el cumplimiento de obligaciones de cobertura hasta cierto punto y en determinados casos. En el modelo realizado para el escenario base, surge que la obligación de cobertura en áreas rurales podría aumentar del 10 al 30% manteniendo la viabilidad. Sin embargo, para las sensibilizaciones de los casos de operadores con menor participación de mercado o entrantes, no resulta viable, aunque se prevea el RAN Sharing. Se destaca

²⁶ GSMA, Consideraciones clave en los concursos de espectro móvil, febrero 2015.

la importancia que las condiciones de compartición surjan por acuerdo entre partes (GSMA, 2015).

Con la adopción de políticas adecuadas, la banda ancha móvil es un elemento de transformación, impacta en la economía en su conjunto, siendo un insumo vital para todos los sectores. El efecto multiplicador de la banda ancha implica mejoras en el PBI, la productividad y el crecimiento de empleo. Un estudio frecuentemente citado del Banco Mundial muestra que en los países de nivel bajo y medios, un *“incremento del 10% de penetración de banda ancha, puede producir un aumento de 1.38 puntos del PBI”* (Qiang et. Al., 2009).

Los elementos del ecosistema que se encuentran vinculados principalmente son la disponibilidad de las redes y servicio, la demanda, la asequibilidad, la alfabetización digital y el interés en acceder al servicio, entre otros.

CAPÍTULO 4

REQUISITOS DE LA RED DE ACCESO 4G

La especificación de los requisitos de la red de acceso 4G, es uno de los objetivos propuestos en esta tesis. Este capítulo especifica los mismos, como parte de la definición de la propuesta de red de acceso móvil. A partir de los diferentes escenarios de implementación, se definen los requisitos generales de la red, así como requisitos específicos para las funcionalidades de movilidad radio, sincronización de red, transferencia de datos de usuario, calidad de servicio y seguridad.

4.1. Estándares desarrollados

En relación a la normalización para las IMT, 3G Américas, ahora denominada 4G Américas, publica anualmente documentos para brindar la información actualizada sobre el trabajo de normas 3GPP, que comenzó en 2003, enfocado en la Versión 1999 (Rel-99) hasta febrero 2011 y en la publicación de 4G Mobile Broadband Evolution: 3GPP Release 10 and Beyond - HSPA+, SAE/LTE and LTE-Advanced. Este último trabajo brindó detallada información sobre la Versión 10 (Rel-10), inclusive las nuevas y significativas optimizaciones tecnológicas de LTE/EPC (denominada LTE-Advanced) que cumplieron con éxito todos los criterios establecidos por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones, Sector Radiotelecomunicaciones, (ITU-R) para la primera versión de IMT-Advanced.

En preparación para la próxima generación de tecnología inalámbrica, denominada IMT-Avanzadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), LTE-Advanced fue estandarizado por 3GPP en la versión 10 y versión 11. En noviembre de 2010, la UIT ratificó LTE – Advanced como IMT-Avanzadas, la cual se basa en una tecnología OFDMA, que se especifica en la versión 8 y 9, que es apoyado por un ecosistema enorme de los fabricantes y operadores en todo el mundo, y ha demostrado ser la tecnología global de próxima generación.

Se espera que LTE-Advanced será a la vez hacia atrás y hacia delante compatible con LTE, es decir, los dispositivos LTE funcionarán en las nuevas redes LTE-Advanced, y los dispositivos LTE-Advanced operarán en redes LTE.

4.2. Arquitectura del sistema LTE

Los principales elementos a considerare en el dimensionamiento de red LTE son la densidad de los usuarios, en áreas metropolitanas y áreas rurales o por los requerimientos topológicos.

Normalmente la red de trasporte, esta particionada en un Backbone Network y un Mobile Backhaul Network. Las redes de Backbone LTE están basadas en particular en IP/MPLS. La mayor diversidad de soluciones puede encontrarse en el Mobile Backhaul Network. Ver figura No. 17.

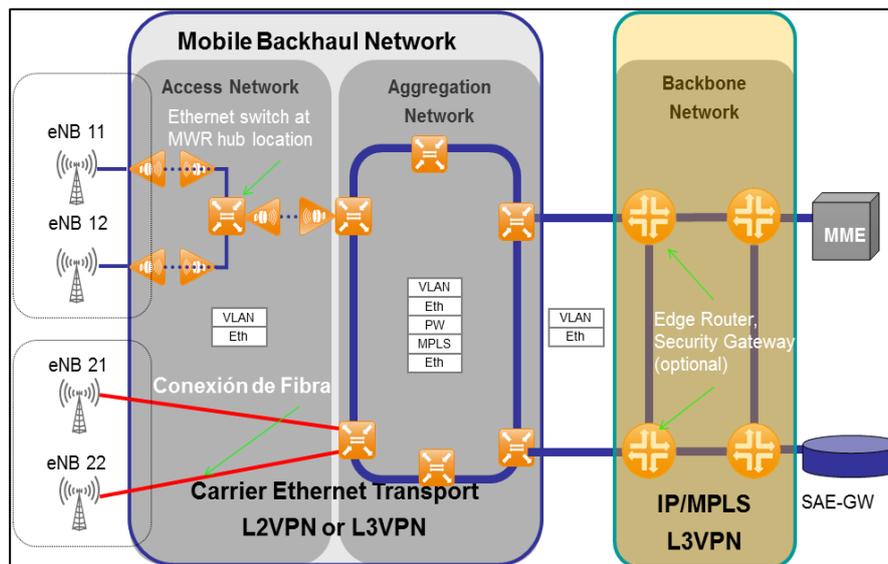


Figura 17: Arquitectura LTE

El e-nodeB soporta interface IP sobre Ethernet, ambos servicios de transporte en Ethernet (L2VPN – Carrier Ethernet basado en IP/MPLS) e IP (L3VPN – basado en IP/MPLS) pueden ser adecuados al Mobile Backhaul Network, ver figura No. 18.

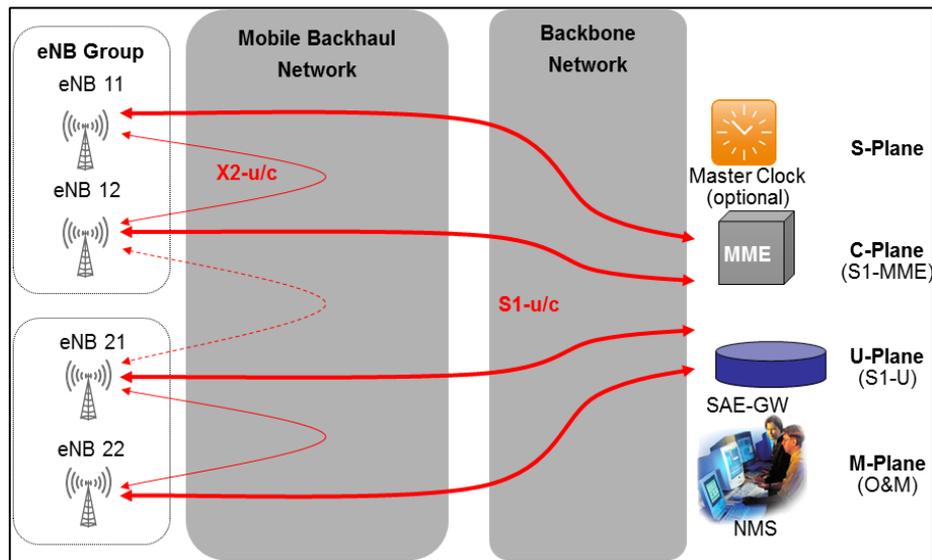


Figura 18: Arquitectura de conectividad End-to-End

4.3. Arquitectura de la interfaz de radio

Planos Funcionales

Todos los stacks de protocolos (pilas) para los planos de Usuario (U), Control (C), Management (M) y opcionalmente la Sincronización (S) son basado en IP. Una infraestructura de transporte IP puede usarse para todos los planos funcionales pero algunos requisitos específicos necesitan ser considerado para el diseño de la red.

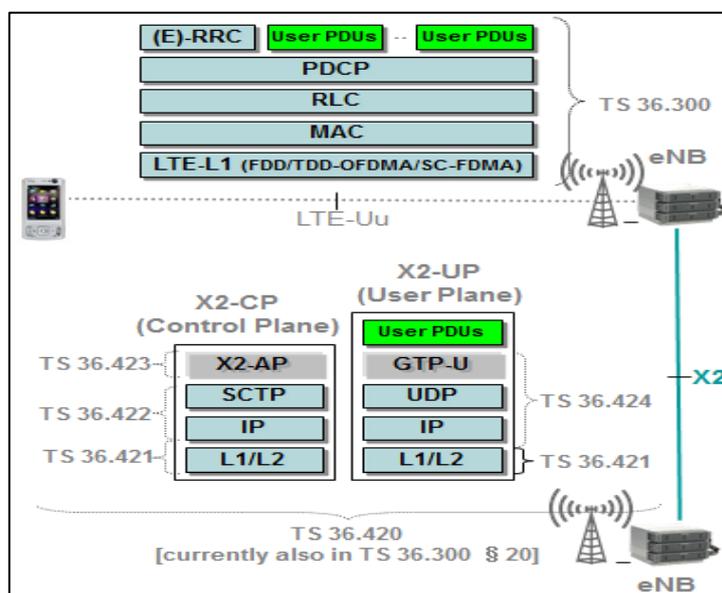


Figura 19: Planos funcionales

4.4. Separación de Tráfico y Direccionamiento IP

La separación de tráfico puede usarse para múltiples propósitos. Puede haber una necesidad de separar tráfico de planos diferentes (aplicaciones del e-nodeB) para cada red que se desea planificar. Por ejemplo, el tráfico del plano M puede necesitar ser separado del tráfico de los planos U/C. El tráfico del plano S puede requerir la separación extensa. En otro punto de la red, puede darse un corte del tráfico en caminos múltiples que tienen las capacidades de QoS diferentes (selección de ruta). Podría realizarse la diferenciación de tráfico en las capas múltiples.

4.5. Requerimientos de Desempeño.

- **Definición y requerimientos de Sincronización**

La sincronización es un elemento fundamental en las redes de telecomunicaciones. En el caso de las redes móviles es un elemento crítico en la interface de aire para habilitar los handovers (HO) y para alinear los procedimientos de codificación.

Existen dos métodos de sincronización:

- **La sincronización de frecuencia (*Frequency synchronization*):** En este los elementos de la red necesitan operar en la misma proporción o al mismo *rate*.
- **La sincronización Fase-Tiempo (*Phase/Time*):** Se refiere a la necesidad por dos elementos de la red poder identificar el extremo de un *frame o byte* con precisión. La sincronización de *Phase/time* requiere la sincronización de frecuencia primero.

Las configuraciones de sincronismo en LTE se pueden implementar de dos maneras:

- **Basados en GPS:** Esta modalidad soporta sincronización basada en frecuencia y fase, es una solución de campo-probado (*Field-proven*). En este tipo de soluciones no se requieren ningún requisito en la red de transporte.
- **Basados en Ethernet/IP:** Esta solución se basa en la norma IEEE-2008 *Precision time protocol* (PTP), es una solución utilizada en muchas redes, requiere asegurar calidad de servicio sobre la red de paquetes para mantener la sincronización de frecuencia, con una variación de *delay* en paquete (*Packet Delay Variation*) $\leq \pm 5\text{ms}$.

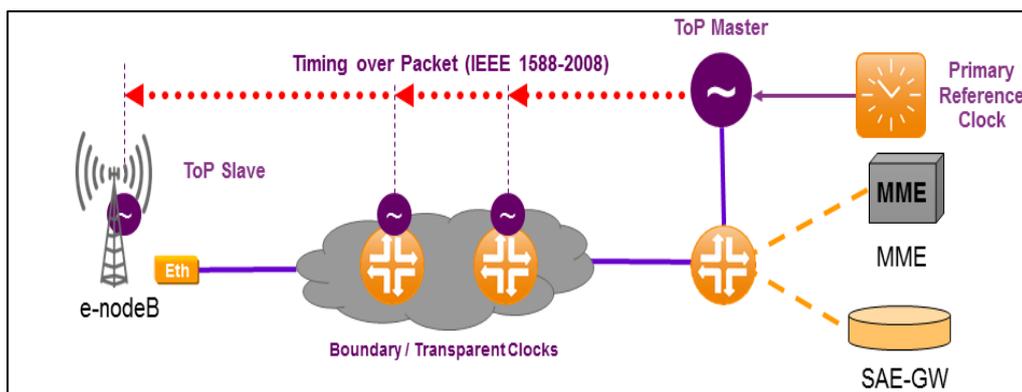


Figura 20: Sincronización basada en Ethernet/IP

La sincronización de fase puede tolerar jitter típicos en la red sobre los microsegundos, mientras que la sincronización por frecuencia soporta jitter en el orden de pocos milisegundos, el delay es asimétrico y es más complicado su control.

La evolución de las tecnologías de redes móviles ha llevado a la necesidad de una mayor precisión y una mayor disponibilidad de las señales de temporización y sincronización. Al mismo tiempo, las redes de retorno con la variación del retardo de paquetes "variación jitter" y los problemas de asimetría que son difíciles de resolver con las soluciones actuales o basadas en el estándar NTP (Network Time protocol).

La reconversión de las redes de retorno para el apoyo completo en las redes con NTP a menudo no es económicamente viable, mientras que el despliegue de un receptor GNSS en cada ubicación de la estación base es poco práctico en las redes móviles, sobre todo

en muchos ambientes de células pequeñas. Juntos, estos problemas crean la necesidad de una nueva arquitectura de distribución de sincronización para redes LTE.

Entre las principales ventajas de NTP se identifican las siguientes:

- Es interoperable, lo que permite su compatibilidad en la migración de redes LTE.
- El reloj es transportado con el tráfico y la sincronía de los sitios celulares es homogénea.
- La mayoría de proveedores vienen implementado PTP en su equipos para LTE.
- El tiempo y la frecuencia pueden ser recuperados para soportar un amplio rango de servicios.

Las soluciones de sincronización PTP, son diseñados para su despliegue en las redes actuales mediante la localización de un gran reloj maestro en o cerca del borde o mediante la superposición de la red con relojes avanzados de contorno en los lugares previstos, para permitir las transiciones de red móvil e incluir células pequeñas, que apoyan a los estrictos requisitos LTE-TDD y LTE-A de fase y tiempo, sin tener que revisar la red de retorno actual. En redes de frecuencia sincronizada (LTE-FDD, así como 2G / 3G), el equipo maestro se puede implementar para eliminar problemas de tiempo causadas por diversas tecnologías en la red de retorno, entornos de alta retardo de paquetes, y la asimetría inherente a las redes Carrier Ethernet²⁷.

4.6. Seguridad

La necesidad de la seguridad de transporte en LTE

Comprado con TDM y ATM, los protocolos basados en IP habilitan el transporte a niveles bajos brindando más facilidad en la planificación y configuración. Sin embargo, el tráfico de paquetes puede ser vulnerable a los ataques de hackers, con métodos que

²⁷ PTP IEEE 1588v2 Grandmaster Clock

han evolucionado rápidamente con hardware de menor costo, provistos de mayor potencia de procesamiento y mejores herramientas.

En las redes LTE hay dos diferencias en la seguridad de transporte comparado con arquitecturas WCDMA en los RNC.

- La seguridad de la interface aire del tráfico en el plano de usuario y control (RRC) se termina en el e-nodeB. El tráfico en el Mobile Backhaul Network de LTE no es asegurado por los protocolos del Radio Network Layer.
- Desde que la arquitectura de red de LTE es tipo flat (de piso), las estaciones bases adyacentes y el Core Network (MME, S-GW) se tornan rechazables en IP desde las estaciones base. Si el acceso físico al sitio no puede prohibirse, un hacker puede conectar su dispositivo al puerto de la red y atacar a los elementos de la red mencionada.

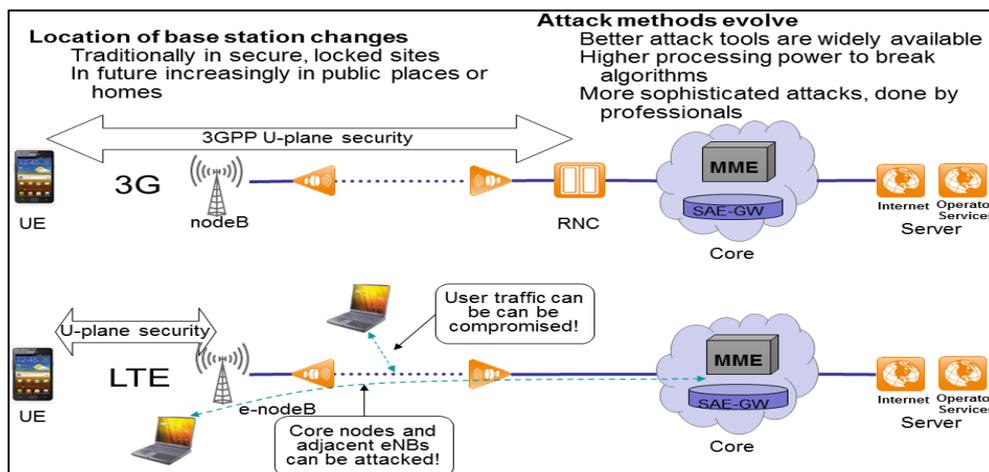


Figura 21: Seguridad en el Transporte – Nuevas Amenazas.

Bajo estos aspectos, se ha generado la necesidad de implementar features de seguridad del transporte tanto en el Mobile Backhaul Network y en el e-nodeB. En este caso el protocolo IPsec proporciona una gama de feautres de seguridad que resuelven problemas en la autenticación de origen de datos, la encriptación, la protección de integridad en ambos lados antes mencionados. La arquitectura de seguridad en 3GPP

basado en IPsec y en el Public Key Infrastructure (PKI) se especifican en los documentos TS33.210²⁸, TS33.310²⁹, y TS33.401³⁰.

El IPsec es aplicado entre los Security Gateways (SEG), implementado en cada e-nodeB. Uno o más Security Gateways pueden ser localizados en los bordes del “Security Domain” del operador según la recomendación 3GPP (*Network Domain Security*).

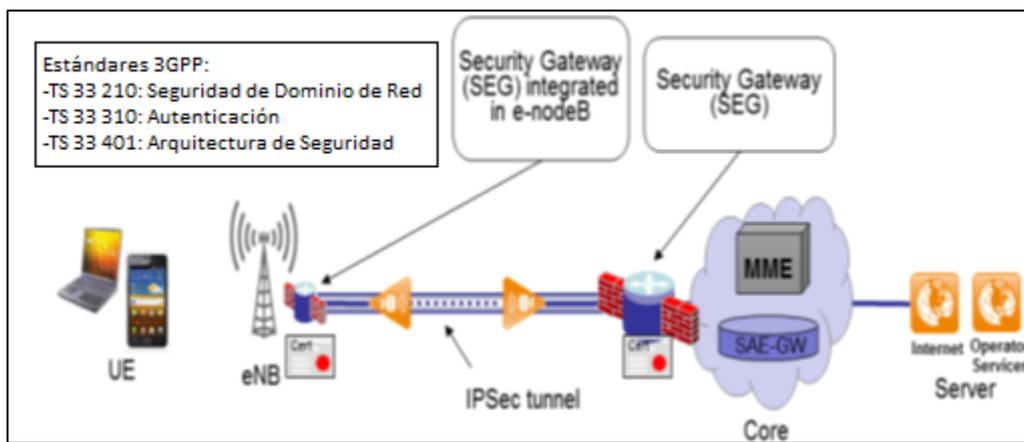


Figura 22: IPsec con PKI - Solución estándar en seguridad.

- **Definición y requerimientos de calidad de servicio**

El control de la calidad de Servicio (QoS) permite a los CSPs segregar el flujo de tráfico permitiéndoles supervisar y administrar la performance de distintos streams individualmente. Este control y diferenciación se puede realizar en base a aplicaciones o servicios de real-tiempo (RT) que son típicamente más crítico. Por ejemplo, en subscribers con distintos perfiles gold, silver, u operadores que comparten la red de transporte.

En la red de transporte puede asignarse QoS a los flujos de tráfico en base a ciertos parámetros, como retraso o jitter del paquete y pérdida del paquete. Normalmente la red

²⁸ 3GPP TS33.210. Objetivos y principios de seguridad, v4.0.0.

²⁹ 3GPP TS33.310. *Network Domain Security (DNS)*; Autenticación.

³⁰ 3GPP TS33.401. *System Architecture evolution (SAE)*; Arquitectura de seguridad.

LTE llevará una cierta sobre carga y congestión. En este caso la calidad de servicio es crítico en las conexiones de tráfico final punto a punto.

En una red de datos pueden configurarse tres modelos para implementar el QoS:

- **Best-Effort:** El QoS no es aplicable a paquetes.
- **IntServ:** Las aplicaciones señalan a la red que ellos requieren QoS especial.
- **DiffServ:** La red reconoce las clases de especial requerimiento de QoS.

En la implementación del modelo DiffServ es relativamente sencillo y escalable, en cambio el modelo IntServ en este modelo de calidad de servicio permite especificar un límite máximo del retardo de transferencia entre dos nodos de una red, por lo que en este caso se puede tener problemas de escalabilidad.

El problema de un sobredimensionamiento de la capacidad de transmisión de la red no son viables económicamente, por una parte el espectro es limitado y el costo de infraestructura de red son bastante elevados, por lo tanto la prestaciones de calidad debe realizarse en base a las prestaciones mínimas exigibles.

Bajo esta perspectiva, para un mismo servicio, el operador de la red LTE puede ofrecer un comportamiento del sistema diferente para, por ejemplo, usuarios de negocios frente a usuarios convencionales, usuarios de contrato frente a usuarios pre-pago, usuarios privilegiados en situaciones de emergencia (llamadas de emergencia a policía, bomberos, otros).

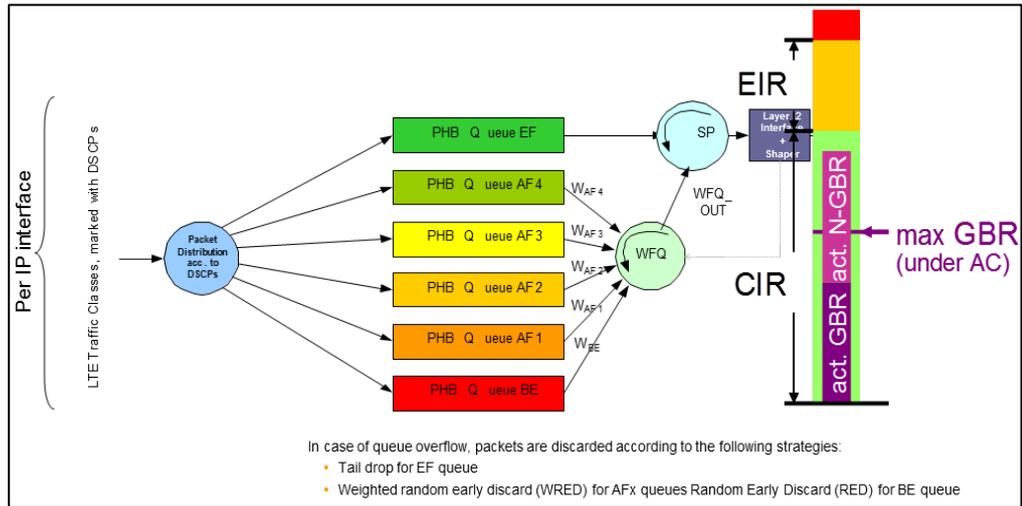


Figura 23: Guaranteed Bit Rate (GBR)

En las redes LTE existen parámetros de calidad que fueron definidos a partir del Release 8 de la 3GPP, donde se definió que estos parámetros están basados por bearer para el caso de gateways en GTP o por servicio, basados en los gateways basados en PMIP. En el cuadro No. 6, se muestra los parámetros de calidad de servicio.

Parámetros de QoS	
Quality Class Identifier (QCI)	Guaranteed Bit Rate (GBR)
Allocation and Retention Priority (ARP)	Maximum Bit Rate (MBR)

Cuadro 6: Parámetros de calidad de servicio

El QCI es un identificador que diferencia los servicios o tipos de tráfico por medio de un identificador que determina un nivel de calidad de servicio para cada EPS bearer.

En total son 9 diferentes QCI, los mismos se dividen en 2 grupos principales: GBR y non-GBR, donde GBR asegura que van a tener cierto ancho de banda garantizado, y non-GBR puede ser cualquier velocidad, ya que no tiene ancho de banda reservado.

Bearers GBR y Non-GBR

Los Bearers pueden ser GBR (Guaranteed Bit Rate) o Non-GBR (Non-Guaranteed Bit Rate). El bearer EPS esta referenciado a si un bearer GBR es un recurso dedicado en la red. En otro caso, un bearer EPS estará relacionado a un bearer non-GBR.

Un bearer dedicado puede ser GBR o non-GBR, pero un bearer por defecto (default bearer) siempre es un bearer non-GBR. Sin embargo, la distinción entre el default bearer y los bearers dedicado son transparentes a la red de acceso. En el cuadro No. 7 se detalla algunos ejemplos de servicios.

QCI	Tipo	Prioridad	Delay del paquete	Paquetes perdidos	Ejemplo
1	GBR	2	100 ms	10^{-2}	Llamadas VoIP
2		4	150 ms	10^{-3}	Llamadas Video
3		3	50 ms		Juegos en línea (tiempo real)
4		5	300 ms	10^{-6}	Video streaming
5		1	100 ms		Señalización IMS
6	6	300 ms	Video, servicios basados en TCP (email, chat, etc)		
7	Non GBR	7	100 ms	10^{-3}	Voz, Video, juegos interactivos
8		8	300 ms	10^{-6}	Video, servicios basados en TCP (email, chat, etc)
9		9			

Cuadro 7: Parámetros GBR- Non BGR

CAPÍTULO 5

ALTERNATIVAS Y SOLUCIONES PARA EL DESPLIEGUE DE LTE

5.1. Estrategia de despliegue en operadores

En respuesta a la creciente demanda de banda ancha, los operadores de redes móviles tienen que tomar la mejor decisión en la implementación de sus soluciones tecnológicas. El factor de decisión para muchos operadores fue de ir directamente a LTE o incrementar la cobertura y usuarios de la evolución de la generación 3G/High Speed Packet Access (HSPA).

Los operadores pueden elegir entre 2 opciones diferentes cuando se despliega LTE³¹:

1. Un despliegue gradual con la actualización de una serie de emplazamientos celulares seleccionados en función de las necesidades de capacidad.
2. Rápido despliegue en un área amplia con redes superpuestas.

Asimismo, hay dos formas diferentes de instalar LTE en un emplazamiento celular. LTE se puede añadir en una red superpuesta y dejar instalado el equipamiento tradicional, o bien, se puede sustituir la infraestructura de red tradicional existente, con un nuevo sistema de radio que puede soportar 2G, 3G y LTE, como la estrategia de una única Red de Acceso de Radio (RAN).

La renovación en una única Red de Acceso RAN, se utiliza frecuentemente en la estrategia de despliegue gradual. Mientras que, la red LTE superpuesta es una forma más ágil de conseguir un rápido despliegue.

5.1.1 Despliegue gradual utilizando una única Red de Acceso Radio RAN

Con esta opción, el operador despliega LTE en los emplazamientos celulares donde se necesita una capacidad adicional y al mismo tiempo continúa ampliando la red de 3G.

³¹ <https://techzine.alcatel-lucent.com/>

Una única Red de Acceso Radio (RAN) significa que debe planificar un proceso de actualización en dos etapas:

1. Sustituir su equipamiento de 2G y 3G tradicional con una nueva Red de Acceso Radio RAN única de 2G/3G.
2. Dar un paso atrás y actualizar el emplazamiento celular para soportar también LTE una vez que esté estable y esté seguro de que se mantiene la calidad de red tradicional.

5.1.2 Rápido despliegue en un área amplia utilizando una red superpuesta

Este método implica un despliegue en una única etapa, en la que el operador tiene el objetivo de conseguir la mayor cobertura posible en el menor tiempo. Con esta opción, los operadores trasladan de una forma activa a todos los usuarios que pueden a la red LTE, para poder detener rápidamente las inversiones de capital en las tecnologías de acceso tradicionales.

La red superpuesta significa en términos reales que deja instalado el equipamiento tradicional de 2G y 3G y añade nuevos equipos LTE a la red. No es necesario realizar ninguna reingeniería más allá de la liberación potencial de las bandas de frecuencia tradicionales como la de 1800 MHz para su reutilización.

Este método de despliegue implica que no se produce ningún impacto negativo en las operaciones en curso, y que los procesos de interoperación claramente definidos le permiten asegurar una movilidad homogénea. Es una forma rápida de desplegar LTE y al mismo tiempo detener las inversiones de capital en equipamiento tradicional en su Red de Acceso Radio (RAN), y es el método que han utilizado la mayoría de operadores.

Se requiere más tiempo para desplegar una única Red de Acceso Radio RAN, al menos un año adicional, y durante ese tiempo el tráfico de su red de 3G continuará aumentando. El efecto neto es unos costes superiores. Es necesario, sustituir su equipamiento tradicional para constituir una Red de Acceso Radio única, incrementar la capacidad de su red de 3G para gestionar el retraso en el despliegue y continuar invirtiendo en LTE.

Si opta por una red superpuesta para el despliegue de LTE, maximiza sus inversiones de capital a largo plazo, y tampoco tiene que tocar las redes tradicionales, lo que significa un despliegue rápido y más eficiente; unos beneficios más inmediatos y un mayor retorno de la inversión.

5.1.3 Acelerado desarrollo de LTE y su ampliación

A continuación se realiza un análisis de las consideraciones de la migración a LTE y el rol de optar por redes superpuestas.

Los estudios han demostrado que la migración lenta en la implementación de LTE, es tener que invertir en 3G y LTE, lo que lleva a gastos de capital globales más altas (CAPEX). Por el contrario, la migración rápida hacia LTE se centra inversiones hacia el futuro y sobre el Capex se tiene depreciación a largo plazo.

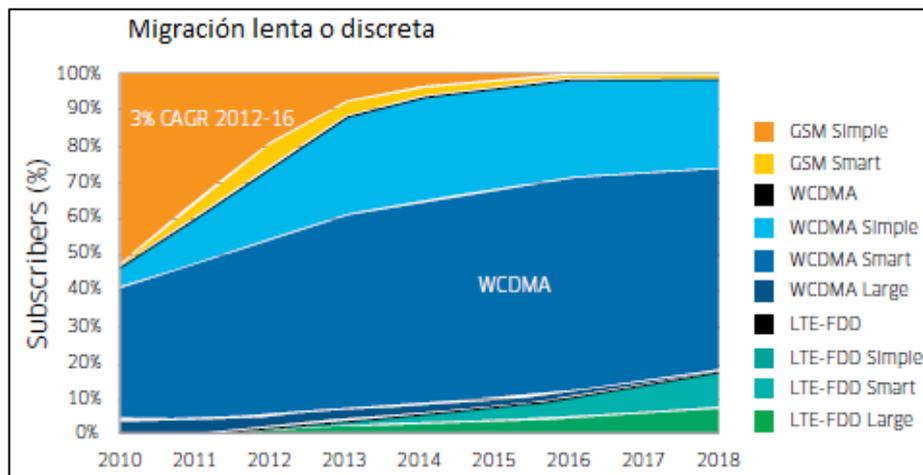


Figura 24: Migración discreta a LTE por suscriptores

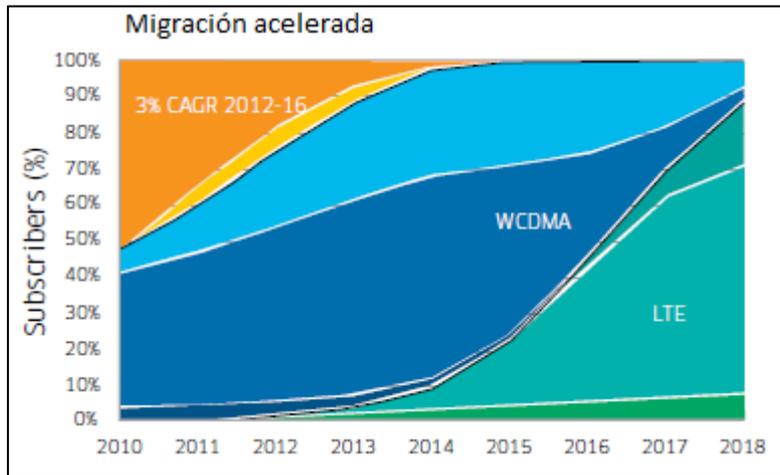


Figura 25: Migración acelerada a LTE por suscriptores

En la opción superpuesta, LTE no solo representa un cambio de la interface de aire es muy diferente a las tecnologías 3G. La entrada y salida de la red también es diferente.

La red LTE en este caso se basa en una arquitectura totalmente IP. Usando la opción superpuesta le da más flexibilidad a la arquitectura de la siguiente generación de red. Las redes deben ser efectivas y representar una ventaja en el mercado, con una amplia capacidad de desarrollo.

No existe un escenario ideal. En la práctica, muchos operadores rehúsan componentes de las redes ya desplegadas, estos componentes tiene elementos pasivos en la red de acceso de radio (RAN), tales como el backhaul-outside de la RAN y el core.

Los operadores han estado utilizando la migración LTE como una excusa para actualizar backhaul IP / Ethernet en lugar de la capacidad de backhaul existente.

El operador puede optimizar: La RAN LTE, el core, así como, el transporte de la esperada demanda de los usuarios de teléfonos inteligentes y tabletas sin verse restringido por las limitantes en la red 3G.

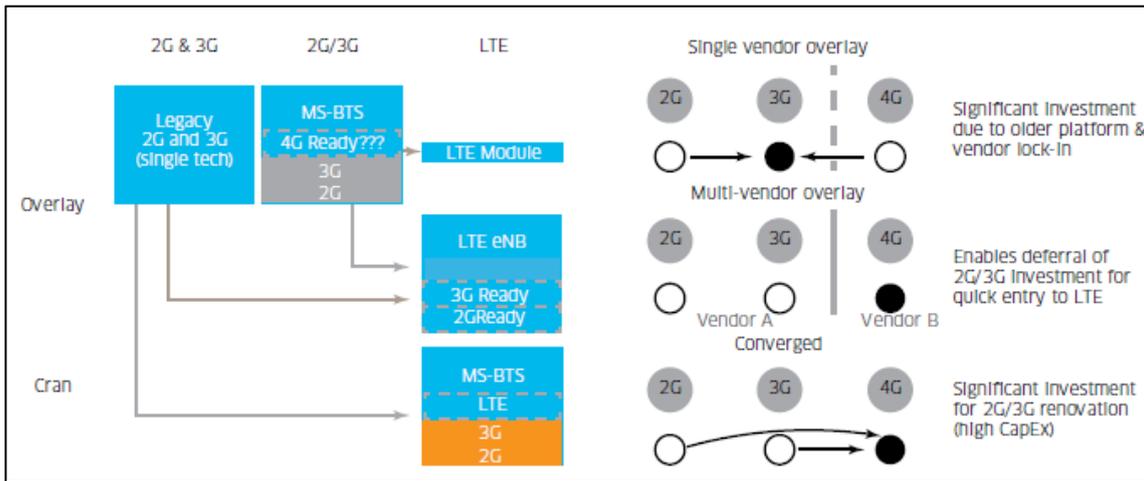


Figura 26: Modalidades de Migración a LTE

5.2. Estrategias de despliegue

La migración en tiempo real podría ser un software que permita el upgrade para soportar 3G y LTE, mientras se tiene en el mercado mayores cambios. El consumo es dependiente del incremento de la potencia de los terminales.

En soluciones RAN convergentes existentes, se requieren cambios significativos para asegurar que los beneficios de la LTE se pueden realizar.

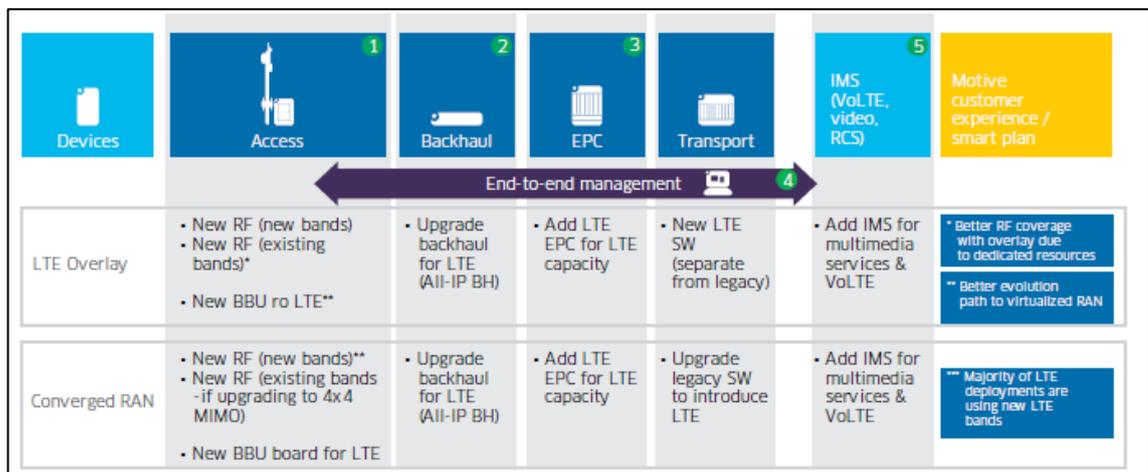


Figura 27: Migración a LTE, equipos requeridos.

En el core de la red LTE, se introduce un nuevo elemento de control denominado Entidad de Administración Móvil (MME), y nuevos Gateways-Services (SGW) y los nodos de Gateway (PGW), los cuales se indican en la figura 28.

La administración (OA&M) se separa para simplificar el uso de los elementos de hardware:

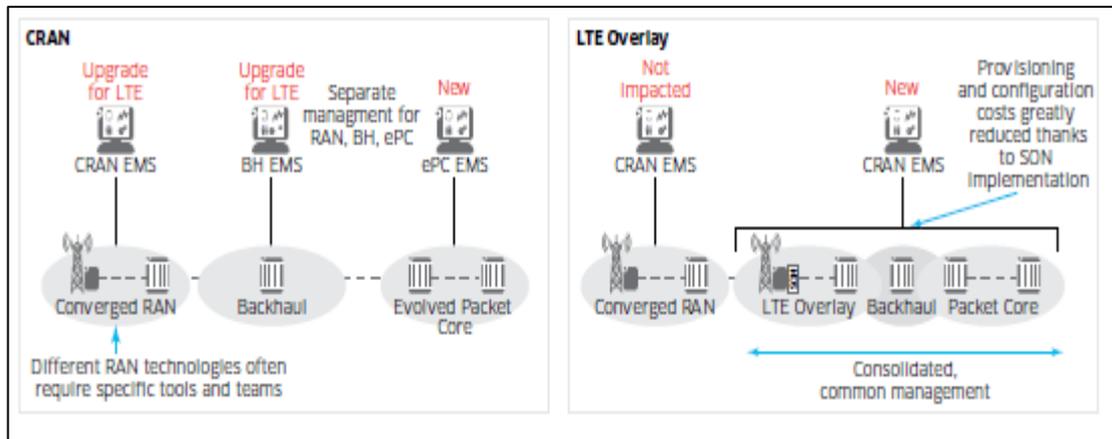


Figura 28: OA&M en LTE.

5.3. Integración de redes de acceso y soluciones en los operadores de telecomunicaciones

A continuación se detallan las diferentes fases en la integración de los servicios.

Fase 1: CSFB Fallback. Los servicios de voz y SMS se realizan a través de 2G /3G y los servicios de datos vía 4G.

Fase 2: VoLTE + SRVCC. Llamada de voz a través de 4G. Si no hay cobertura 4G durante una llamada, el procedimiento SRVCC asegura la continuidad de la llamada en 2G / 3G.

Fase 3: Convergencia fijo móvil.

5.4. Soluciones Cloud RAN

La red móvil evoluciona rápidamente en términos de cobertura, capacidad y nuevas exigencias relativas a la latencia, los volúmenes de tráfico y velocidades de datos. La compartición de espectro es una de las tendencias internacionales que genera mayor interés, buscando alternativas para hacer un uso más eficiente del espectro, recurso vital y escaso.

Mediante la introducción de arquitecturas de nube RAN, los operadores podrán cumplir con estos requisitos, acelerando la atención a través de la utilización de las funciones de red y las técnicas de virtualización del centro de datos, y las capacidades de procesamiento en sus redes, lo que permite la agrupación de recursos, la escalabilidad, la capa de *interworking* y la eficiencia espectral.

La implementación de las redes y el mantenimiento en la estación base, es más costosa que si se rentará o compartiera la infraestructura entre operadores. A continuación, se presenta un modelo de compartición denominada Cloud RAN.

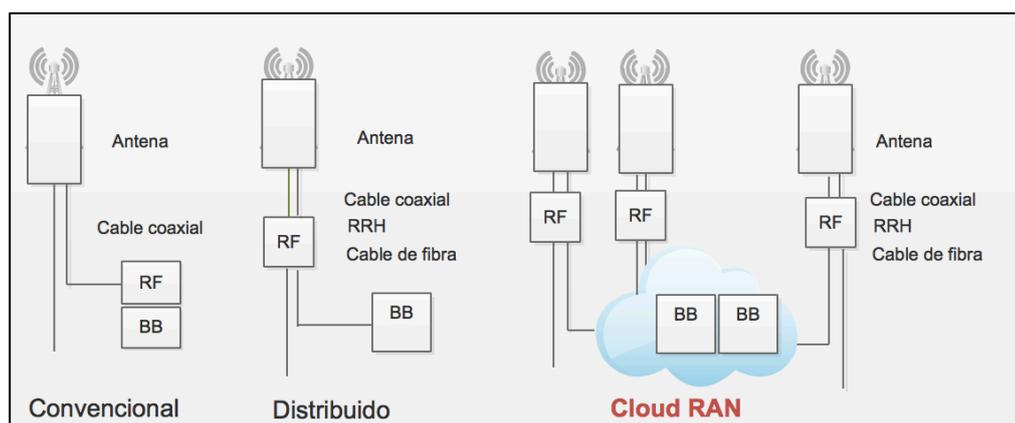


Figura 29: Arquitectura de radio compartido

Los modelos de compartición y colaboración entre operadores existen desde años anteriores, iniciando con la compartición pasiva de estructura en sitios a esquemas cada vez más complejos. Existen casos de despliegue coordinado y compartición de sitios. Luego se evoluciona al RAN Sharing, donde se comparte la red de acceso, pero no el core. Una etapa adicional es el spectrum sharing, que tiene distintas modalidades y una última etapa de integración que es la compartición, incluyendo

el core de la red. Cada una de estas alternativas plantea mayores posibilidades de ahorros en costos, pero un incremento de los eventuales riesgos por conflictos en la operación y mantenimiento.

El Ran Sharing, tienden a ser acuerdos entre dos partes, por lo cual son críticas las condiciones de dicho acuerdo, la complementariedad que exista y la confianza entre ambas partes. Los operadores deben estar alineados en cuanto a las perspectivas de desarrollo del mercado, los niveles de intercambio de información, niveles de inversión, cronograma de inversión, entre otros. Son acuerdos complejos, pero considerando las dificultades y altos costos de despliegue, cada vez se adoptan más, particularmente para el despliegue de nuevas redes LTE

Uno de los casos más destacados es el acuerdo de compartición de infraestructura RAN propuesto por TIM (Telecom Italia), Telefónica/Vivo y Oi para servicios móviles de voz y banda ancha 4G, Según la revista digital Telesemana, la solución que utilizarán los operadores para el RAN Sharing será la de MOCN, lo que permitirá atender a diferentes localidades hasta con tres operadores.

5.5. Convergencia

La constante evolución de las redes móviles va mucho más allá de la telefonía tradicional y los servicios de datos básicos que permitían las normas de la segunda generación (2G). Las características principales de las redes móviles del futuro incluyen menores gastos operativos y de capital y la ubicuidad total disponible gracias a la escalabilidad de las distintas normas, así como la compartición del espectro y de las infraestructuras de red de servicios.

La constante evolución de las redes móviles, permitieron la introducción de los servicios con velocidades de datos más elevadas que las generaciones anteriores, que permiten prestar servicios tales como el flujo continuo de vídeo (video streaming) y la transmisión de archivos de audio (podcasting), y popularizar los servicios de datos.

Finalmente, se considera que las tecnologías de evolución a largo plazo avanzadas (LTE-A), basadas en el acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal, y la

compatibilidad mundial del acceso por microondas (IEEE 802.16m) del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, mejor conocido como WiMAX 2.0, son las tecnologías de la 4G ya que cumplen los requisitos del Sector de Radiocomunicaciones (UIT-R) para los sistemas de telecomunicaciones móviles internacionales avanzadas (IMT Avanzadas).

Estas tecnologías ofrecen velocidades de datos elevadas (100 Mbit/s y 1 Gbit/s) en situaciones de movilidad lenta o elevada, respectivamente, y soportan una gran variedad de aplicaciones dedicadas procedentes de un mercado en rápida evolución. Actualmente, las comunicaciones inalámbricas se convierten en parte integral de la sociedad y en consecuencia, las expectativas tecnológicas aumentan continuamente.

Una norma unificada mundial para las redes de la 5G permitirá la conectividad sin interfaces entre las normas existentes, tales como: El acceso por paquetes a alta velocidad (HSPA), LTE y la fidelidad inalámbrica (Wi-Fi), y los sistemas inalámbricos del futuro ofrecerán una gran variedad de nuevos servicios multimedia.

Algunos ejemplos de futuras aplicaciones incipientes son la realidad aumentada y la Internet táctil que ofrecen una experiencia multimedia enriquecida. Otros ejemplos son las ciudades inteligentes, los automóviles sin conductor o los sistemas de salud avanzados que permiten el seguimiento instantáneo de los pacientes en sus hogares.

5.6. Carrier Aggregation LTE

Esta tecnología utiliza diferentes bandas de espectro incrementando el throughput en el downlink hasta una velocidad teórica de 150 Mbps y reduce significativamente la latencia.

Una de las características de la tecnología LTE es que fue concebida para evolucionar. Los operadores de Sudamérica siguen de cerca el desarrollo de soluciones y tests de funcionamiento de una solución extremo a extremo de LTE-Advanced *Carrier Aggregation* sobre espectro no licenciado, destinadas a mejorar cobertura y capacidad de transmisión de datos móviles. A continuación se muestra los principales desarrollos en Sudamérica.

Operador	País	Bandas utilizadas	Estado
Movistar	Argentina	AWS, 700 MHz	En prueba
Entel	Chile	2600 MHz, 700 MHz	Comercial
TIM	Brasil	1800 MHz, 2600 MHz	Planificado 2016
Claro	Brasil	2600 MHz, 1800 MHz, 450 MHz	En prueba
Movistar	Chile	2600 MHz, 700 MHz	Planeado 2016

Cuadro 8: Países con despliegues de Carrier aggregation

En 2015, Entel Chile fue el primer operador latinoamericano en iniciar pruebas de agregación de portadoras, de la mano de Ericsson. Meses después, los operadores brasileños TIM y Claro anunciaron que también estaban testeando la tecnología³²

5.7. Estándares para el desarrollo de LTE con miras a 5G

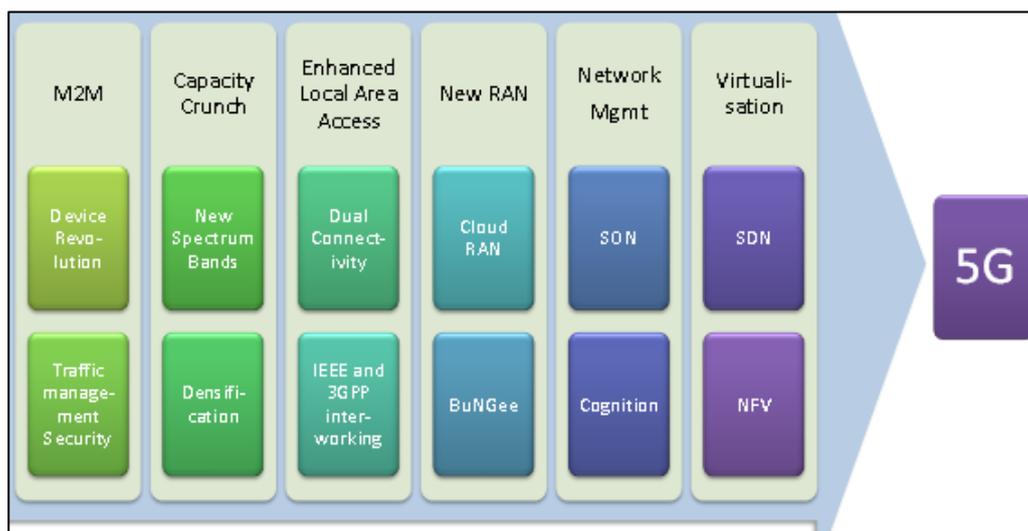


Figura 30: Estándares convergentes

La convergencia de estándares es clave para evitar problemas de interoperabilidad. Las nuevas tecnologías y formatos de infraestructura de las redes 5G, que se apoyan en

³² Revista Digital Telesemana, reporte 2016, disponible en: <http://www.telesemana.com/blog/2016/02/01/movistar-argentina-prueba-carrier-aggregation-y-alcanza-velocidades-de-134-mbps/#sthash.IAzKeOmQ.dpuf>

conceptos como la virtualización (NFV) y la infraestructura basada en software (SDN), permitirán a los operadores acceder a nuevos mercados que, a su vez, aportarán nuevas oportunidades de negocio.

Antes de que llegue la 5G, los operadores deberán evolucionar sus redes para asegurarse que la calidad de la experiencia (QoE) de sus usuarios cuando se acceden a cualquier servicio sea siempre satisfactoria. Para conseguir esta satisfacción en la experiencia, los operadores enfrentarán nuevos retos debido a la nueva topología de la red que surge como consecuencia de la introducción de la HetNet.

para hacer frente, de una manera eficiente, al incremento exponencial de tráfico, surgieron nuevas tecnologías y topologías de red, sin degradar la calidad del servicio. Una solución a parte del problema pasa por las redes heterogéneas (HetNets), la cual introduce el concepto de infraestructura de small cells (micro, pico y femto), así como el uso de otras tecnologías de acceso que no pertenecen a la familia 3GPP, como Wi-Fi.

Para gestionar la HetNet, la automatización a través de SON se presenta como una solución ineludible para los operadores de telecomunicaciones. Según la consultora Research & Markets estima que los operadores móviles podrían llegar a ahorrar un 30 % en su Opex general, reducir en un 50% el número de llamadas caídas y una mejora de un 20% en la velocidad de transmisión de datos, mediante la utilización de SON en el RAN, el backhaul y el core de sus redes.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE MERCADO, OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS DE LTE

Los operadores móviles, requieren transformar los servicios tradicionales de comunicaciones, de tal forma que el negocio pueda seguir evidenciando un crecimiento anual. Esto requiere, innovación y encontrar los socios adecuados para conseguir dichos objetivos.

Para ello, es necesario que se adopte una estrategia de crecimiento basada principalmente en las tendencias de consumo y de negocios, mediante la apropiada segmentación del mercado y la creación de ofertas diferenciadas y dirigidas a atender las necesidades de los usuarios.

Esta estrategia puede desarrollarse enfocándose a:

- Transformación de la industria mediante la innovación de servicios.
- Enfoque al consumidor.
- Flexibilidad en la conectividad para el usuario (Terminales).

6.1. Transformación de la industria mediante la innovación de servicios

La tecnología LTE se ha convertido en un estándar desplegado a nivel mundial. La conmutación de paquetes (Todo-IP), y las capacidades de los terminales, permiten la evolución de nuevos servicios, pero introducen nuevos desafíos como el aseguramiento de la calidad de servicio, establecidos por la telefonía móvil por conmutación de circuitos.

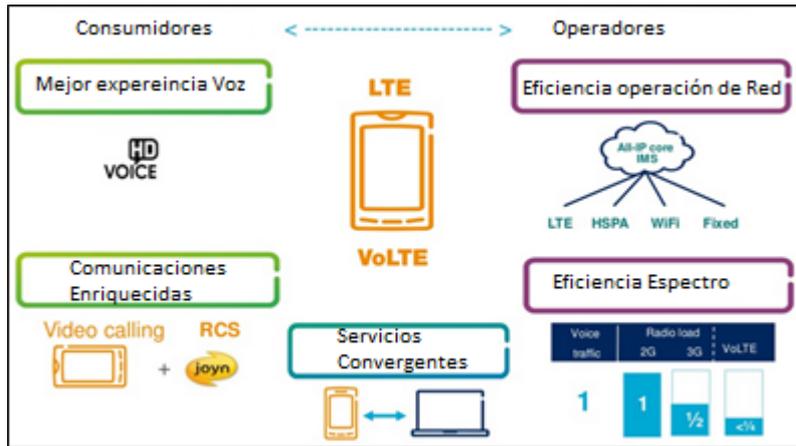


Figura 31: Nuevos servicios y ventajas con LTE

La asociación 3GPP ha desarrollado dos enfoques para proporcionar servicios de voz con LTE: una alternativa conmutación de circuitos (CSFB) y voz sobre LTE (VoLTE). En la siguiente figura se muestra las posibles combinaciones para la evolución de servicios en LTE.

Fase 1: LTE DATA HANDSETS Datos LTE/3G + Voz 2G/3G	Fase 2: LTE VOIP HANDSETS VoLTE simultaneo + Rich Data Services 2G/3G COVERAGE CONTINUITY & ROAMING W/CSFB	Fase 3: CONVERGENCIA Telefonía Multimedia más Servicios de datos
Radio dual (CDMA solamente)	VoLTE w/Simple llamada de voz Video Telephony & RCS Enable Services & Apps	VoIP Continuidad Datos
1x Voz + Datos 2G/3G Data		LTE, 3G, HSPA, W
2G/3G Coninuidad de cobertura & Roaming W/CSFB		
Radio simple LTE Data, w/CSFB	CSFB ROAMING	CSFB & VoLTE Roaming
1x Voz + Datos 2G/3G		
2011	2012	2013
		2014
		2015

Figura 30: Fases de evolución del servicio de Voz sobre LTE

6.1.1 Circuit Switch Fall Back (CSFB)

El CSFB, se convierte en un paso intermedio en el camino a VoLTE, se ha lanzado comercialmente en varios mercados en todo el mundo, y se ha convertido en la solución de más rápido despliegue a nivel global y predominante para el servicio de voz en LTE.

En la primera fase, actualmente en marcha, todo el tráfico de voz es manejado por las redes de conmutación de circuitos (CS) de tipo legacy, mientras el tráfico de datos es manejada por LTE conmutación de paquetes (PS) – cuando y donde estén disponibles; y por las redes 2G / 3G como punto de retorno a zonas sin cobertura LTE.

A partir de 2011, el CSFB fue lanzado comercialmente en varias regiones de todo el mundo, y es el primer paso hacia subsiguientes fases de evolución de voz LTE, que son también basados en soluciones de radio individuales. Por otra parte, CSFB permanecerá en su lugar durante muchos años como una solución de voz LTE y como principal solución de LTE para llamadas de emergencia incluso cuando está desplegado VoLTE.

En comparación con una llamada nativo 2/3G por Circuit Switched (CS), un inconveniente principal del CSFB, es la cantidad de pasos que se agregan para cambiar de LTE a redes 2G/ 3G antes de la llamada de voz, lo que incurre en más tiempo de establecimiento de llamadas, especialmente en el caso de LTE a GSM CSFB, como se muestra en la siguiente tabla:

Tecnología	CS	LTE a GSM- R9	LTE a GSM-R8
Tiempo Call-Setup (segundos)	5s	8s	14s
Percepción calidad	buena	Mala	Muy Mala

Cuadro 9: Delay por Call Setup

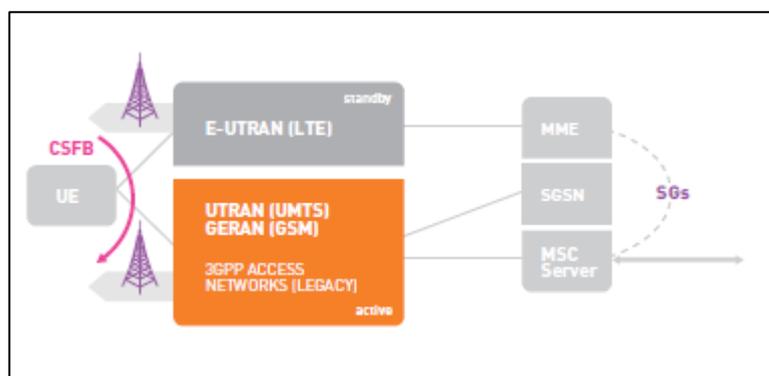


Figura 32: Arquitectura CSFB

Como se muestra en la Figura 32, para habilitar Circuit Switch Fall Back (CSFB), la Entidad de Gestión Mobile (MME) se conecta a la MSC (Mobile Switching Center Server) a través de una interfaz (SGs) que habilita al dispositivo del usuario (UE) para

ser a la vez conmutación de circuitos (CS) y conmutación de circuitos (PS), mientras que registran en la red de acceso de LTE, que permite volver a LTE de una red por conmutación de circuitos, es decir, haciendo CSFB, cuando sea necesario para una llamada.

6.1.2 Voz sobre LTE (VoLTE)

La segunda fase en la evolución, se introduce VoIP nativo en LTE (VoLTE), junto con una mejora de multimedia IP servicios tales como video telefonía, voz HD y Rich Communication Suite (RCS), que incorpora servicios adicionales como mensajería instantánea, compartición de video y guías telefónicas mejoradas. En esta fase también se utiliza una solución de radio denominada Individual Radio Voz Call Continuity (SRVCC) que garantiza que las llamadas puramente LTE (VoLTE) se transfieran para las redes existentes de una manera transparente.

El servicio de voz sobre LTE ofrece una drástica reducción de costos y abre la posibilidad de ofrecer nuevos servicios, tales como: Llamadas de video a múltiples dispositivos, número único y servicios de uso compartido de multimedia a través de dispositivos de banda ancha móvil.

Los beneficios de desplegar VoLTE son:

Funcionalidad	Ventaja para los usuarios
Continuidad	Conectividad y movilidad sin restricciones entre las redes móviles IP y Wi-Fi permite que los nuevos servicios de Voz sobre LTE se puedan utilizar en cualquier lugar, incluso en emplazamientos sin cobertura de LTE.
Simple	Fácil de utilizar y conectar, con la funcionalidad de autenticación y búsqueda automática de la red.
Seguridad	Seguridad de la red para protección de datos usando métodos de autenticación de usuario y unos protocolos de tunelación seguros.
Ahorro	Llamadas de voz y vídeo desde cualquier lugar con paquetes de servicios que pueden reducir las cuotas y las tarifas de itinerancia.

	Los usuarios pueden seguir estando en contacto fácilmente cuando viajan, utilizando voz y mensajería IP (que interopera con textos SMS). Pueden seguir utilizando los servicios de red de su domicilio incluso cuando no están conectados a la red de acceso del proveedor de servicios, y reducir el gasto asociado normalmente a la itinerancia
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Cuadro 10: Ventajas de VoLTE para los usuarios

Funcionalidad	Ventaja para los operadores
Mayor cobertura y capacidad	Los operadores de redes móviles y los operadores de redes móviles virtuales pueden abordar las áreas sin cobertura de LTE con puntos de acceso hotspot Wi-Fi, utilizando cualquier sistema Wi-Fi abierto, o selectivamente utilizando un sistema Wi-Fi cerrado proporcionado por ellos mismos o por otro operador
Acceso optimizado a la red	El tráfico de vídeo que requiere un gran ancho de banda y la itinerancia se pueden reducir desviando el tráfico a una red Wi-Fi en lugar de cursarlo a través de la red móvil.
Capacidad de ampliar fácilmente los servicios a Wi-Fi	El acceso inalámbrico de los usuarios se puede gestionar holísticamente a través de múltiples servicios.
Optimización del espectro	Proporciona mejor eficiencia del espectro, debido a pueden implementar LTE sobre espectro 2G/3G existente

Cuadro 11: Ventajas de VoLTE para los operadores

La implementación de VoLTE es un enorme desafío tecnológico que requiere la transformación de toda la organización. Se debe optimizar las redes para voz, lo que requiere diferentes consideraciones de la optimización de datos, los elementos de la red de acceso de radio y la red central, y los equipos para que trabajen conjuntamente con eficacia.

Además las redes Wi-Fi públicas son susceptibles a ataques informáticos. Por lo que se requieren unos métodos de autenticación de usuario y protocolos de tunelación que se describen a continuación:

- Agregación y tunelación del tráfico desde los Puntos de Acceso (AP) Wi-Fi.
- Interfaz con el servidor de AAA para la autenticación del dispositivo móvil con el sistema EPC.
- Acceso al sistema EPC mediante mecanismos de tunelación seguros con la pasarela de paquetes (PGW) del operador de redes móviles que proporciona las direcciones IP para el dispositivo móvil.
- Creación de la petición de sesión para establecer la portadora y realizar la redirección de los datos de la llamada de Voz sobre Wi-Fi entre la red de acceso Wi-Fi y la pasarela (PGW) del operador de redes móviles.

Estos retos se pueden abordar con la nueva arquitectura de redes móviles que combina el acceso Wi-Fi/móvil con las nuevas funciones de la Evolución de la Red Troncal de Paquetes EPC. Esta arquitectura se describe en la especificación técnica 23.402 (Mejoras de la arquitectura para servicios que no sean 3GPP). Cabe destacar que el método es transparente a los servicios (incluido Internet, redes VPN de empresa e IMS).

La funcionalidad de Voz sobre Wi-Fi (VoWi-Fi) es una de las formas en la que los operadores de redes móviles pueden aprovechar el creciente y altamente competitivo mercado de Wi-Fi para complementar su robusto servicio de Voz sobre LTE (VoLTE). Al apoyarse estratégicamente en su red LTE, los operadores de redes móviles pueden no sólo generar unos mayores ingresos por sí mismos, sino proporcionar una experiencia de usuario superior para sus clientes.

En agosto del 2015, China Mobile lanzó VoLTE logrando una excelente experiencia del usuario debido a un esfuerzo especial en la optimización. Sin embargo su lanzamiento comercial de VoLTE requirió una cobertura LTE perfecta, no se permitió ni el 0,01 % de error, en el servicio de voz.

Según datos de la Asociación Global de Proveedores Móviles (GSA, por sus siglas en inglés) en abril 2016 alrededor de 126 operadores invierten en VoLTE en 60 países, lo que permite una experiencia de voz de alta definición para sus clientes LTE. 55

operadores han lanzado comercialmente el servicio de voz VoLTE-HD en 34 países. Hay 300 dispositivos con capacidad VoLTE incluyendo 275 teléfonos inteligentes.

Cuando el operador tenga una red LTE estable y con suficiente capacidad y cobertura, el lanzamiento de VoLTE se convierte en un agregado al servicio de VoWiFi que ya está en servicio, y no significa empezar desde cero.

En mercados emergentes, el precio de los dispositivos limitará inicialmente la posibilidad de contar con una oferta masiva. Esto no es nuevo y es un problema recurrente en la región sudamericana con la llegada de las nuevas tecnologías. Los fabricantes de dispositivos tienen que abaratar estos dispositivos para que los operadores de estos mercados puedan acelerar su transición.

6.1.3 Rich Communications Suit (RCS)

La plataforma RCS permite la entrega de experiencias de comunicación más allá de la voz y SMS. Ofrece a los consumidores de mensajería instantánea chat individual o de grupos, vídeo en directo y el intercambio de archivos a través de dispositivos en cualquier red.

RCS marca la transición de las capacidades de voz y mensajería de la tecnología de conmutación de circuitos a un mundo todo IP. Comparte la misma inversión IMS y aprovecha las mismas capacidades IMS y las VoLTE y video llamadas a través de LTE.

El servicio de mensajería de múltiples plataformas dirigidas por operadoras que permitiría a los usuarios enviar SMS, MMS y mensajes IP desde una sola aplicación de mensajería que funciona con diversos dispositivos y conjuntamente con todos los servicios de mensajería y redes sociales. Actualmente no existe ninguna aplicación que reúna todos estos requisitos. Basado en las relaciones de los operadores con sus clientes, infraestructura de red, habilidad de trabajo conjunto entre plataformas y control de calidad de experiencia, los operadores cuentan con una posición única para ofrecer un servicio de mensajería diferente, fuerte y unificado, combinando lo que los clientes prefieren de los SMS, con una mejor experiencia para el usuario como la que ya se tiene a través de servicios de OTT³³.

³³ Los servicios Over-The-Top (OTT) son aquellos que se brindan a través de Internet

A continuación se enumeran algunas ventajas:

- Mejora la experiencia de llamadas con ofertas de servicios innovadores.
- Permite la continuidad de los servicios de mensajería enfocados en el operador.
- Mejora la experiencia de llamadas con ofertas de servicios innovadores.
- Protege las fuentes de ingresos que los operadores todavía están recibiendo de los servicios de voz.
- Es una ruta de desarrollo más específica, con la participación de los clientes. Por ejemplo, a través de servicio de chat, juegos, aprendizaje móvil, anuncios inteligentes y promociones.
- Es una ruta para conseguir un retorno de la inversión IMS desde el principio (al permitir a los operadores para generar nuevas fuentes de ingresos a través de la creación de aplicaciones y servicios (B2B)).
- Permite a los operadores desplegar rápidamente RCS como un stand-alone conjunto de servicios antes de LTE, VoLTE y servicios de voz de alta definición. Los operadores se benefician de pago según crecimiento costos, sin la necesidad de comprar e instalar equipo de IMS.

La principal aportación de la arquitectura de redes cuarta genera consiste en que el terminal se comunica con la red únicamente mediante envío de paquetes IP, desapareciendo la posibilidad de establecer llamadas por circuitos. Esto simplifica mucho los protocolos, disminuye drásticamente la señalización y permite que las comunicaciones (De cualquier tipo) sean mucho más eficientes. Adicionalmente añade una serie de mejoras en la parte radio que permiten incrementar notablemente la cantidad de información que se puede enviar/recibir en el mismo ancho de banda.

Sumando estos dos efectos lo que se consigue son comunicaciones móviles con latencias muy bajas y anchos de banda efectivos mucho mayores que los anteriores. En sus primeras versiones, las redes 4G permiten alcanzar velocidades alrededor de los 100Mbits/segundo.

Para que 4G produzca movimientos determinantes en el mercado tienen que darse varias circunstancias. En primer lugar, tanto la penetración de estos terminales como las coberturas tienen que crecer. Tendremos que esperar a que la migración a las frecuencias bajas produzca los beneficios esperados para que los usuarios noten una gran diferencia.

Si pensamos en smartphones, será necesario además que surjan usos o aplicaciones que aprovechan las nuevas capacidades. Es seguro que los terminales 3G seguirán existiendo un largo periodo de tiempo por lo que será importante el plus de los desarrolladores que se dediquen en exclusiva a redes 4G.

Si pensamos en tablets o en conexiones portátiles, las prestaciones de 4G pueden empezar a aportar valor. El tamaño de la pantalla juega en este caso un papel fundamental. A mayor pantalla y resolución, mayores son las necesidades de la conexión de datos para vídeo en tiempo real o navegación web.

6.2. Terminales

Un gran porcentaje de los nuevos teléfonos ya dispone de la funcionalidad LTE, incluso en mercados sin el servicio. Esto significa que un operador podría tener un gran mercado potencial de usuarios esperando incluso antes de comenzar a ofrecer el servicio.

El año 2016, presentará un nuevo salto en la producción de equipos 4G ya que las principales marcas apuntan a que éstos estén presentes en el 100% de su portafolio de productos para el mercado Latinoamericano.

La implementación de la tecnología LTE 4G en la banda de 700 MHz mejorará la cobertura y la experiencia de navegación de los usuarios. Mientras que el incremento en la inversión, por parte de los operadores, impulsará el crecimiento de los dispositivos móviles que navegarán en esta red durante el presente año.

Las compañías de tecnología han comprendido la importancia de la implementación del LTE 4G, dado el constante uso que las personas le dan a sus equipos móviles y al

aumento del tráfico de datos. Ahora bien, esto no quiere decir que todos los teléfonos inteligentes estarán conectados a esta tecnología, puesto que dependerá de si los equipos tienen capacidad 4G, así como del plan que tengan los usuarios con su respectivo operador.

6.3. Aceleración de la adopción de smartphones en América Latina

Junto a la expansión de la cobertura 3G/4G, la migración a redes de banda ancha móvil de mayor velocidad también está siendo impulsada por la creciente adopción de smartphones. Los teléfonos inteligentes representaron 32 por ciento de las conexiones Latinoamericanas en 2014 y se espera que representen 68 por ciento de las conexiones totales para 2020. A continuación se muestra su evolución:

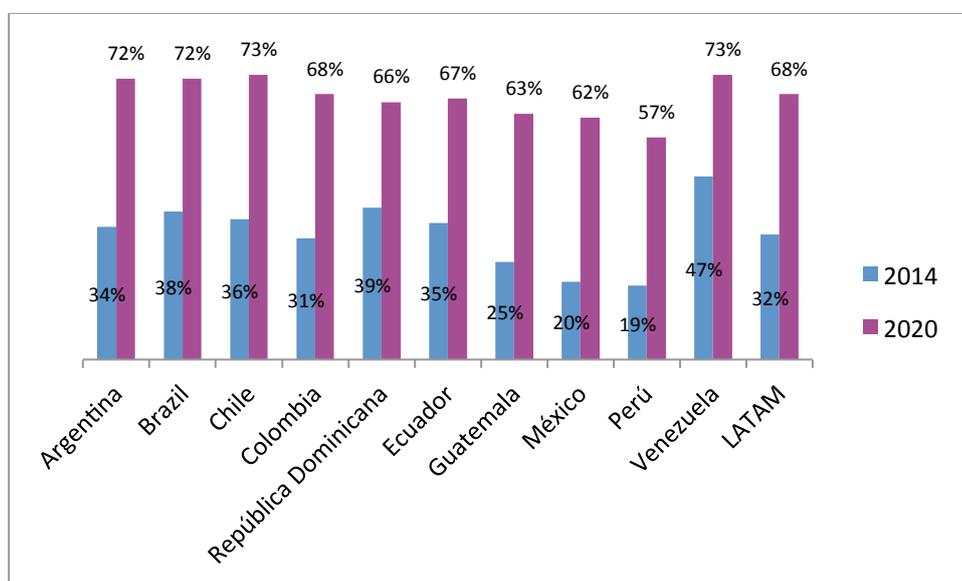


Figura 33: Adopción de Smartphones como porcentaje de conexiones.

Mercados seleccionados de América Latina: Pronóstico 2014- 2020.

Fuente: Datos en base a GSMA Intelligence.

El avance de toda nueva tecnología móvil depende tanto del despliegue de las redes como de la disponibilidad de dispositivos. De hecho, en las etapas iniciales de despliegue, la disponibilidad de terminales es más relevante que la cobertura geográfica de la red. La red puede estar en funcionamiento, pero si no hay terminales que la utilicen, el servicio no existe para el usuario.

6.4. Perspectivas de la industria

La Global Mobile Suppliers Association (GSA) a febrero 2016, contabilizó 4.416 dispositivos para usuarios LTE de 369 fabricantes. En el último año, el número de dispositivos LTE creció un 67%, mientras que el número de proveedores de dispositivos LTE se incrementó un 34 por ciento.

Se destaca que alrededor de 259 productos soportan LTE Categoría 6 o superior, incluyendo pequeñas celdas, routers/gateways, MiFis, smartphones y tabletas. Ocho de ellos son dispositivos Categoría 9 (450 Mbps) y dos, Categoría 12 (600 Mbps). En tanto, 2.159 dispositivos soportan UE Categoría 4.

El 98 por ciento de los smartphones LTE son multimodo, capaz de operar en al menos una tecnología 3G, junto con LTE. Cerca del 50 por ciento de los teléfonos LTE pueden operar en redes 42 Mbps DC-HSPA+.

De lo que va del año 2016, se evidencia un aumento en el tamaño de las pantallas de smartphones como también, las pantallas flexibles y curvas, que ofrecerán alternativas innovadoras, al momento de entregar una mejor experiencia para el consumo y creación de contenido.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y LINEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS

En este capítulo se resumen las conclusiones más importantes de la tesis, destacando sus principales contribuciones e indicando posibles líneas de continuación del trabajo realizado.

7.1. Conclusiones del trabajo realizado

- Considerando un incremento anual del 10% en la velocidad para redes móviles en los próximos cuatro años, la evolución de la misma permitirá en 2020 superar en redes comerciales la velocidad de los 14 Mbps, como oferta para los usuarios finales. Esto en concordancia con el constante crecimiento de tráfico.
- Las redes móviles de próxima generación requieren de una mayor portabilidad del servicio y de interoperabilidad entre redes fijas y móviles para generar soluciones a la creciente demanda de datos por los usuarios.
- En la asignación de espectro, uno de los factores importantes, es la disponibilidad de equipos en redes LTE, y dispositivos de usuarios finales para las diferentes bandas, algunos se muestran más óptimos en bandas como las AWS y la banda de 700 MHz.
- Existe un consenso regional para la identificación de bandas de espectro para el despliegue de redes IMT. Esto agiliza las liberaciones y procesos de subasta en varios países.
- La reunión de la CMR 15, efectuada en noviembre de 2015, ha posibilitado la identificación de bandas clave como la 694-790 MHz en la región 1 para IMT, que permitirá la armonización de esta banda a escale mundial.
- La mayoría de países de Sudamérica adoptaron la canalización APT para la implementación de redes 4G. No obstante, se debe contemplar protocolos o

convenios con países que adoptaron o que tienen previsto la canalización de Estados Unidos Norte América para evitar posibles interferencias radioeléctricas en zonas de frontera.

- Los gobiernos de la región están esforzándose en que las tecnologías de la información y de la comunicación lleguen a todas las personas, una política pública que crea una necesidad imperante del desarrollo de las redes móviles de banda ancha por su acelerado despliegue.

- Las redes de Backbone LTE están basadas en IP y las futuras redes LTE Advaced se basaran netamente en este protocolo para la convergencia con otras redes. Por lo cual el tema de aseguramiento de la calidad de servicio en el servicio de voz, se vuelve un factor fundamental frente a las actuales redes 2G/3G por conmutación de circuitos.

- En el tema de calidad de servicio, las redes LTE, permiten administrar la performance de distintos streams individualmente, garantizando calidad a tráfico prioritario de acuerdo a los perfiles de los usuarios.

- La implementación del modelo DiffServ para el aseguramiento de calidad y servicio es relativamente más sencillo de aplicar y es escalable para futuras actualizaciones. A través del identificador QCi se puede realizar una diferenciación de los usuarios, como por ejemplo usuarios de negocios frente a usuarios convencionales, usuarios de contrato frente a usuarios prepago.

- El método más adecuado para la sincronización de las redes LTE se basa en protocolos IP.

- La flexibilidad en las condiciones de asignación que permitan mecanismos de compartición de espectro como RAN sharing o la comercialización del mismo, pueden resultar positivos mejorando las perspectivas de inversión.

- La retención de las frecuencias por conmutación de circuitos (CS) de voz existentes en las frecuencias de 900 MHz, debilita la ventaja de LTE ya que los suscriptores pierden la cobertura de datos de alta velocidad cuando realizan llamadas. Muchos operadores todavía lo utilizan, y buscan la manera de dar el gran paso hacia VoLTE.

- El servicio de voz sobre LTE dispone de una mejor calidad de audio y unas nuevas funcionalidades que no están disponibles en los servicios de voz de 3G. Sin las restricciones impuestas por la arquitectura de itinerancia de los sistemas HLR/VLR de 2G/3G, el operador de redes móviles tiene la libertad de crear y desplegar con rapidez nuevas funcionalidades. Sin embargo, el operador de redes móviles podría no tener una cobertura total de LTE, o podría estar utilizando una frecuencia de LTE demasiado elevada con un alcance limitado. Al utilizar Voz sobre Wi-Fi para llegar a las áreas sin cobertura, el operador puede garantizar que el nuevo servicio de voz sobre LTE llega a todas partes.

- En algunos mercados, las redes 3G cerrarán incluso antes que las 2G. Esta última sigue siendo una importante fuente de ingresos. LTE ofrece una mejor experiencia de banda ancha móvil de 3G, y con VoLTE, LTE puede gestionar voz en 3G. Esto sugiere entonces la posibilidad de que los operadores opten por cerrar sus redes 3G antes de que cierren 2G en los próximos años.

- Pese a los factores comerciales, también hay factores de coste que afectan el momento de cerrar la red. Estos factores incluyen el costo de la migración de los clientes residuales a LTE y el costo de mantenimiento de una red tradicional (Tipo Legacy), encaminada hacia la obsolescencia.

- Los operadores realizaron importantes inversiones en la adquisición del espectro LTE y requieren disponer de ganancias por su inversión. Sin embargo, la implementación de VoLTE no es suficiente para aumentar el ARPU, sino que VoLTE es tan solo un facilitador.

- La implementación de VoWiFi, le permite al operador entender el funcionamiento completo de una red basada en IMS, no sólo desde el punto de

vista de ingeniería, sino también desde mercadeo, atención a clientes, facturación, mantenimiento y operaciones.

- En relación a los terminales, alrededor del 98% de los Smartphone que se comercializan en el mercado de Sudamérica son compatibles con LTE, lo cual representa una demanda potencial importante para los despliegues de redes con esta tecnología.
- Las redes de banda ancha móvil ofrecerán una gama de servicios que tendrán aplicación en los negocios y el entretenimiento, los cuales se manejarán de acuerdo a las demandas del mercado. Pero también brindarán servicios que se aplicarán en la educación, el cuidado de la salud y en otros campos de interés público.

7.2. Contribuciones del estudio

El presente trabajo contribuye a los análisis del estado de implementación en la región, su evolución, principales estándares como su convergencia.

Se detallan las estrategias de los países Latinoamericanos en materia de banda ancha y como los servicios móviles aceleran su implementación.

En relación al espectro radioeléctrico se especifica las principales bandas de frecuencia para el despliegue de redes IMT, sus canalizaciones y asignaciones que se han realizado en Sudamérica. Se especifica las resoluciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones en relación a la identificación de bandas principalmente en la región 2, lo cual demuestra que corto plazo existirá una armonización a escala mundial para el despliegue de redes LTE.

Por otra parte, en el presente trabajo contribuye a identificar los protocolos y parámetros críticos que se deberán tomar en cuenta en el despliegue de servicios por las redes LTE. Siendo uno de los principales parámetros el aseguramiento de la calidad en el servicio de voz.

La compartición activa de infraestructura es una realidad ya en algunos países y un debate en otros. Algunos países, está evaluando adjudicar espectro a operadores primarios y secundarios y sugieren técnicas de radio cognitiva para detectar las necesidades de los usuarios y distribuir recursos.

Se detalla las modalidades y estrategias de migración, para la toma de decisiones en la implementación de sus soluciones tecnológicas. El factor para muchos operadores fue de ir directamente a LTE o incrementar la cobertura y usuarios de la evolución de la generación 3G.

Asimismo, LTE dispone de una mejor calidad de audio y unas nuevas funcionalidades que no están disponibles en los servicios de voz de 3G. El operador de redes móviles tiene la libertad de crear y desplegar con rapidez nuevas funcionalidades, que se detallan en nuevos servicios.

7.3. Líneas de investigación futuras

En este proyecto, no se ha entrado en detalle en muchos aspectos de LTE que en sí mismos pueden constituir la temática de otro proyecto, tales como los distintos interfaz de radio y métodos de modulación.

- Se puede realizar un estudio más enfocado a los efectos que el canal inalámbrico móvil produce sobre OFDMA y SC-FDMA, simulando el mismo sistema base creado en el código para este proyecto e incorporando distintos esquemas de codificación y ecualización, así como distintos modelos de canal.
- El uso de la red de acceso radio virtuales es otra solución que se plantea como exitosa debido a que permite, mediante software radio, que cada proveedor que comparte la red seleccione la tecnología estándar con la que desea trabajar.
- Se requieren estudios sobre nuevos esquemas de modulación e interfaz de radio para la migración a redes 5G.

Bibliografía

1. Foro Mundial de Política de las Telecomunicaciones/TIC Ginebra, Suiza, 14-16 de Mayo de 2013, disponible en <https://www.itu.int/en/wtpf-13/Documents/backgrounder-wtpf-13-broadband-es.pdf>.
2. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015–2020 White Paper, disponible en: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.pdf>
3. GSMA Association, Economía Móvil América Latina 2014 disponible en: <http://latam.gsmamobileeconomy.com>.
4. CEPAL, el avance de la banda ancha en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, Editora: Laura Palacios, Periodista: Rodrigo de la Paz, Diseño: Francisca Lira, CEPAL - División de Desarrollo Productivo y Empresarial, 2011
5. Unión Internacional de Telecomunicaciones, Tendencias en las reformas de las telecomunicaciones, Edición Especial, Reglamento 4º Generación: A la vanguardia de las comunicaciones digitales, 2014.
6. Informe Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR-15) Ginebra, 2-27 de noviembre de 2015.
7. 4G Américas, Aceleración de Banda Ancha en Las Américas, Publicación de 4G Américas, diciembre 2012.
8. GSMA Association 2015, Economía Móvil América Latina, disponible en: http://www.5congresoespectro.co/congreso/sites/default/files/Matias_Fernandez-GSMA.pdf.

9. 4G Americas, White Paper. SPECTRUM SHARING, 2014, disponible en: http://www.4gamericas.org/files/2414/1323/5229/4G_Americas_Spectrum_Sharing_-_FINAL_Oct_2014.pdf.
10. 5G Américas, LTE Latin América, Abril 2016.
11. 4G Américas, Análisis de las Recomendaciones de la UIT sobre el espectro en la región de América Latina, Abril 2016.
12. *Xiaobo Wu*, Circuit-Switched Fallback, Ultra-Flash CSFB, White Paper.
13. 3GPP TS 23.216: "Single Radio Voice Call Continuity (SRVCC); Stage 2
14. 3GPP TS 23.272: "Circuit Switched (CS) fallback in Evolved Packet System (EPS) Stage 2".
15. Qualcomm, Circuit-switched fallback. The first phase of voice evolution for mobile LTE devices.
16. GSMA, Consideraciones clave en los concursos de espectro móvil, febrero 2015.
17. Qiang, Christine Z. 2009. "Telecommunications and Economic Growth." Unpublished paper. World Bank, Washington, DC.
18. Rel-13, SP-70, 2015-12-11: 3G security; Network Domain Security (NDS); IP network layer security.
19. Alcatel-Lucent, Optimal LTE deployment strategies for market success Strategic White Paper, 2015.
20. Wireless Customers Using 4G LTE Technology-Enabled Devices Experience Fewer Problems Than Those Using 3G and Other 4G-Enabled Devices,

- disponible en: <http://www.jdpower.com/press-releases/2012-us-wireless-network-quality-performance-study-volume-2#sthash.nvAP0SBr.dpuf>.
21. Telesemana, news for carrier aggregation, Ferrero 2016, disponible en: <http://www.telesemana.com/blog/2016/02/01/movistar-argentina-prueba-carrier-aggregation-y-alcanza-velocidades-de-134-mbps/>
 22. Ericsson White paper, Uen 284 23-3271, September 2015.
 23. Narten y otros. “Neighbor discovery for IP Version 6 (IPv6). IETF RFC 2461. Diciembre 1998.
 24. Peter Newman. “In Search of the All-IP Mobile Network”. *IEEE Radio Communications*. Diciembre 2004. pp S3-S8.
 25. 4G Americas, “HSPA+LTE Carrier Aggregation, <http://www.4gamericas.org>, June 2011.
 26. Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, and H. Ishii, “Future steps of LTE-A: evolution toward integration of local area and wide area systems,” *Wireless Communications, IEEE*, vol. 20, no. 1, pp. 12–18, 2013.
 27. 4G Américas: Seminario web “Banda ancha móvil – Panorama y perspectivas”, Julio 2015.

Acrónimos

2G	Segunda Generación
3G	Tercera Generación
3GPP	Proyecto de asociación de la Tercera Generación <i>3rd Generation Partnership Project</i>
4G	Cuarta Generación
BCCH	Canal de Control de Difusión <i>Broadcast Control Channel</i>
BSC	Controlador de Estaciones Base <i>Base Station Controller</i>
Delay	Componente del retardo de transmisión respecto a la carga del enlace en el análisis del modelo de sincronización
DiffServ	Servicios Diferenciados <i>Differentiated Services</i>
DSCH	Canal descendente compartido <i>Downlink Shared Channel</i>
eNB	Nodo-B Mejorado <i>E-UTRAN (Enhanced) Node-B</i>
E-UTRAN	UTRAN Evolucionada <i>Evolved UTRAN</i>
FDD	Dúplex por División de Frecuencia <i>Frequency Division Duplex</i>
FemtoCell	Estación base residencial o de oficina
GPS	Sistema de Posicionamiento Global <i>Global Positioning System</i>
IMS	Subsistema Multimedia IP <i>IP Multimedia Subsystem</i>
IMT	Telefonía Móvil Internacional
IP	Protocolo Internet <i>Internet Protocol</i>
IPsec	(Protocolo de) Seguridad IP

	<i>IP Security (protocol)</i>
IPv6	IP versión 6
L1	Capa 1 (Nivel físico) <i>Layer 1 (Physical Layer)</i>
L2	Capa 2 (Nivel de Enlace) <i>Layer 2 (Link Layer)</i>
L3	Capa 3 (Nivel de Red) <i>Layer 3 (Network Layer)</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
UE	Equipo de usuario <i>User Equipment</i>
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
WCDMA	CDMA de Banda Ancha <i>Wideband CDMA</i> Interoperabilidad global para acceso microondas
WiMAX	<i>World Interoperability for Microwave Access</i>
RAN	Red de Acceso Radio
CS	Conmutación de circuitos
PS	Conmutación de paquetes
CSFB	<i>Circuit Switch Fall Back</i>
SRVCC	<i>Radio Voz Call Continuity</i>
HD	<i>High definition</i>
MSC	<i>Mobile switching center</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
HSPA	<i>High-Speed Packet Access Plus</i>
VoLTE	<i>Voice over LTE</i>
RAN	<i>Radio-access network</i>
NFV	<i>Network Function Virtualization</i>