

Migración a tecnologías de evolución a largo plazo y avanzado ¿qué debemos esperar?

Luis Aguas ¹,

¹ Universidad Tecnológica Israel-Seguridad de la información –Carrera de Sistemas, Quito, Ecuador

Resumen: En este artículo presentamos una breve revisión a las tecnologías de evolución a largo plazo normal y avanzada en las comunicaciones, el enfoque está en las ventajas que se obtendrán con el uso y la mejora en el servicio, la masificación del servicio implica un crecimiento; así como desventajas y problemas de seguridad que al momento existen en su implementación total, mismas que deben ser solucionadas para obtener un adecuado funcionamiento de las redes, tanto en condiciones normales como de emergencia. Sin embargo, los tiempos pasan, y aunque parezca increíble para alguien situado en el pasado, ya la comunicación por voz no es la única información, que tanto la industria como el público, exige de las tecnologías celulares, sino que el lograr enviar datos a través de ellas se convirtió primero en una opción y en estos momentos los usuarios de las redes celulares consideramos ya un hecho, algo necesario. Por lo cual es importante que a nivel país se migren en todo aspecto para mejorar la comunicación al nivel celular, ya que en ciertas zonas es intermitente la cobertura, generando problemas hacia los usuarios, puesto que, en un mundo demandante, el estar conectados es un factor decisivo. También analizamos las tecnologías sobre las que se sustenta y la eventual implementación en Ecuador.

Palabras clave: LTE, Long-Term Evolution, LTE-A, Long-Term Evolution Advanced, 4G.

Migration to long term and advanced evolution technologies what should we expect?

Abstract: In this article we present a brief review of the technologies of normal and advanced long-term evolution in communications, the focus is on the advantages that will be obtained with the use and improvement of the service, the massification of the service implies growth; as well as disadvantages and security problems that currently exist in its total implementation, which must be solved to obtain an adequate functioning of the networks, both in normal and emergency conditions. However, times go by, and although it may seem incredible for someone located in the past, voice communication is not the only information that both the industry and the public demand from cellular technologies, but rather the ability to send data to. Through them, it first became an option and at this time, the users of cellular networks already consider it a fact, something necessary. Therefore, it is important that at the country level they migrate in every aspect to improve communication at the cellular level, since in certain areas coverage is intermittent, generating problems for users, since, in a demanding world, being connected is a deciding factor. We also analyze the technologies on which it is based and the eventual implementation in Ecuador.

Keywords: LTE, Long-Term Evolution, LTE-A, Long-Term Evolution Advanced, 4G.

1. INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones inalámbricas no son algo nuevo en la historia. Las comunicaciones a través de celulares son parte de esta evolución aun siendo una tecnología que podríamos considerar reciente. Tal y como estaban concebidas originalmente las redes celulares, no se podían alcanzar altos niveles de conectividad y transferencia de datos con los protocolos existentes. Por lo que se hizo necesario buscar tecnologías que permitan cumplir con estos nuevos requisitos. La tecnología de evolución a largo plazo conocida como: Long Term Evolution (LTE) y su variante mejorada: Long Term Evolution Advanced (LTE-A) son una propuesta de punta que nos promete alcanzar altos estándares de conectividad de datos y abrir el abanico de opciones y posibilidades de servicios disponibles a través de ellas, siendo al mismo tiempo una suerte de tecnología de convergencia de muchas de las anteriores. El objetivo de la presente investigación es analizar las ventajas de la migración de LTE a LTE-A, puesto que en el país no existe un uso definitivo de la tecnología 4G.

¿Por qué es necesaria una migración?

Una de las características del mercado de Internet es que a través de ellos se puede confirmar la teoría Marketing *push/pull* que se resume en que los clientes crean requerimientos que deben ser y son satisfechos por los proveedores que a su vez impulsan nuevas tecnologías con la finalidad de que los clientes las utilicen. Esto hace crecer enormemente el mercado en Internet, lo que significa que se incrementan los requerimientos de ancho de banda de forma continuada. La tecnología LTE y LTE-A vienen a apoyar este crecimiento continuado de ancho de banda al que estamos siendo sometidos en estos tiempos. Lógicamente con la finalidad de

darles herramientas de ventas e ingresos a los proveedores de telefonía celular.

Las tecnologías de celular actuales nos demuestran que es necesario lograr altas tasas de transferencia para poder llevar diferentes requerimientos del usuario al celular y, por tanto, que el usuario móvil pueda acceder a ellas.

Los actuales servicios como por ejemplo 3G, fueron concebidos para redes de CC, en los que la transmisión de voz en tiempo real era el requerimiento fundamental. Se puede, a través de estas redes, lograr conexiones de datos, pero con una velocidad de conexión relativamente baja.

Arquitectura LTE

Para optimizar la complejidad de la red, la arquitectura LTE consensuada consta de los siguientes elementos funcionales:

- Red de Radio-Acceso (RAN) Evolucionada, que consiste de un solo nodo
- Puerta de Enlace de Servicio (SGW), que enruta y reenvía los paquetes de datos de usuario, mientras también actúa como el ancla de movilidad en el plano del usuario
- La Entidad de Manejo de Movilidad (MME) es el nodo de control clave para la red de acceso LTE. Es responsable por el rastreo de modo inactivo en la UE y el procedimiento de paging incluyendo las retransmisiones.
- Finalmente, la Pasarela de Red de Paquetes de Datos (PDN GW) provee conectividad a la UE hacia las redes externas de paquetes de datos siendo el punto de salida y entrada del tráfico.

2. METODOLOGÍA

Con respecto a la parte metodológica, será un enfoque con investigación exploratoria, usando la técnica de revisión bibliográfica documental.

LTE es una tecnología que permitirá hacer

una transición de los requerimientos de 3G a los de 4G, tecnología que ha sido propuesta en NTT DoCoMo y el objetivo final de alcanzar 4G será, entre otros requerimientos, el llevar velocidad de conexión de 100Mbit/s en conexiones de alta movilidad y hasta 1gbit/s para conexiones de baja movilidad, lo cual es un enorme paso de avance comparado con las anteriores tecnologías de conectividad de celular existentes. DoCoMo incluso ha llegado a probar velocidades superiores a 1Gbit/s en escenarios de prueba (T. Nakamura y S. Abeta, n.d., p. 52)

LTE, un posible paso de avance

En efecto LTE es descrito como una tecnología 3.9G, también conocido como Super-3G, pues no alcanza a cumplir con los parámetros 4G definidos por IMT Advanced (de la ITU-R) como por ejemplo poder obtener picos de 1Gbit/s. LTE intenta cumplir con los requerimientos de IMT- Advanced sobre obtener mejoras en la tasa de datos de transferencia pico, obteniendo una alta eficiencia espectral y una buena latencia tanto para el usuario como para control. (Dae-woong Seo et al., 2018)

LTE propone conmutación de paquetes (IP), incluso para la voz, al contrario de las tecnologías 2G y 3G que hacen CC en la voz. Con el objetivo de manejar los diferentes tipos de servicio, se establecen diferentes canales para manejar la calidad del servicio de estos. (RadioElectronics, n.d.)

Pero todo esto requiere más inteligencia y trabajo de desarrollo al crear los equipos de usuario (UE) que obviamente deberán ser más complejos para poder manejar uno o un subconjunto de estas soluciones parche. (Lafebre Daniela Isabel, 2016)

LTE se acercará mucho al límite de desempeño de la ecuación de Shanon, lo que hace que se tengan que proponer alternativas para mejorar la eficiencia (S. Parkvall, n.d., p. 1), una de ellas es acceder

a un mayor espectro (cita anterior) y también el uso de tecnologías inalámbricas OFDMA y MIMO (T. Nakamura y S. Abeta, n.d., p. 54)

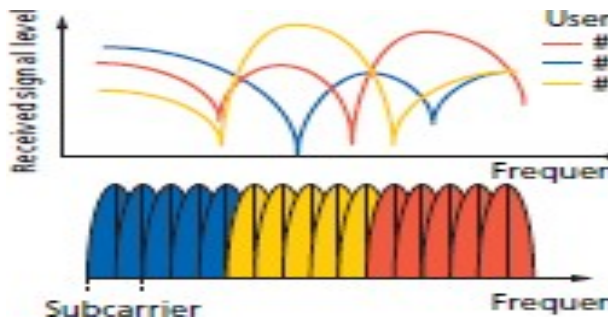
OFDM y MIMO

OFDM permite alcanzar altas tasas de transferencia al transmitir en paralelo múltiples subportadoras, es entonces resistente a las interferencias por multitrayectoria lo que permite transmisiones de datos de alta calidad. Debemos considerar que OFDM varía entre 1.25 a 20MHz, para evitar las interferencias existirá un intervalo de guarda entre portadoras y subportadoras (S. Abeta, n.d., p. 56)

En la parte localizada, para los canales de datos se hace uso de las variaciones de frecuencia, de las cuales se adopta la frecuencia que se adapte a las necesidades del canal de datos; un terminal móvil mide la calidad del canal en función de la unidad de frecuencia seleccionada, para medir esta calidad tenemos el Indicador de la Calidad del Canal (CQI), este indicador se reporta hacia la estación base, la estación base transmite la información mediante el canal de control en el momento de realizar el uplink, en ese momento la estación, se transmite también en un intervalo de tiempo pequeño los datos a los usuarios seleccionados en función de los CQI, cabe recalcar que la señal óptima se localiza en función de la calidad del canal es decir de los CQI, que son enviados a la estación base por los usuarios. Estos CQI, son seleccionados en función de la frecuencia de la señal, en la Figura 1 se visualiza dicho proceso.

Figura 1

FDMA Localizado

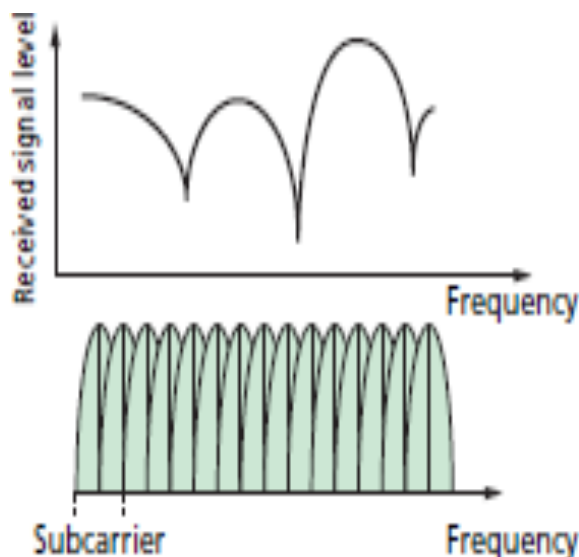


(Fuente: S. Abeta, n.d., p. 56)

En la parte distribuida debemos considerar que se transmite a múltiples usuarios, pero este caso de subportadoras nos permite separar las bandas de frecuencia, en la Figura 2 se visualiza dicho proceso.

Figura 2

FDMA Distribuido



(Fuente: S. Abeta, n.d., p. 56)

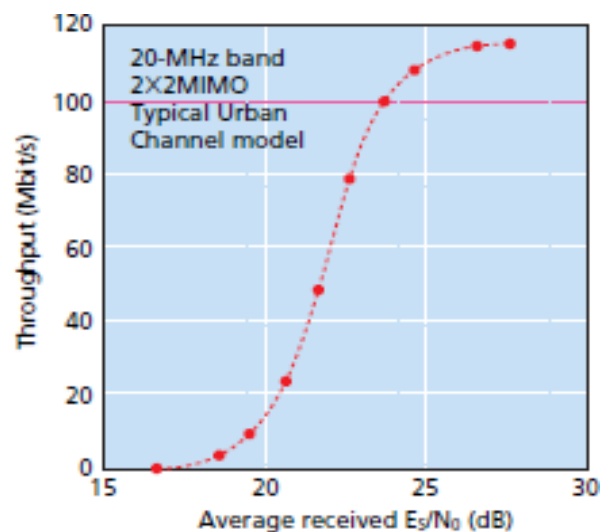
Con un OFDM de acceso inalámbrico, las señales llegarían un poco atrasadas, pero debido a intervalo de guarda no hay interferencia entre los datos enviados.

En MIMO, si consideramos la multiplexación, la transmisión puede ser mejorada usando los recursos del mismo radio relacionados con el tiempo, la frecuencia y el código a transmitir lo cual permite que los datos se vayan direccionados a múltiples antenas. En este caso de la multiplexación de MIMO, podemos aplicarlo sobre OFDM, lo cual

hace que la precisión de la información enviada en cada canal se refine y no exista interferencia en la multitrayectoria, en este caso va de la mano la aplicación de DS-SS-CDMA, lo cual podemos apreciar en la Figura 3.

Figura 3

Proceso de MiMo con DS-CDMA

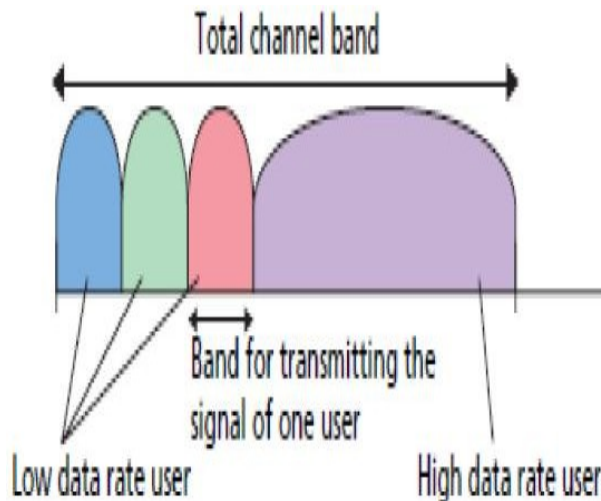


(Fuente: S. Abeta, n.d., p. 57)

Con un ancho de banda variable, considerando un SC-FDMA, hablando un poco de uplink y de downlink, podemos concluir que su diferencia se centra en el bajo consumo de energía para los terminales móviles. En el otro caso se la transmisión de la señal se amplía, va a aumentar la gama de frecuencias, todo esto se hace ampliando el ancho de banda, pero si se amplía este ancho de banda podemos llegar a una degradación de la señal de recepción.

Figura 4

Aumento del ancho de banda



(Fuente: S. Abeta, n.d., p. 57)

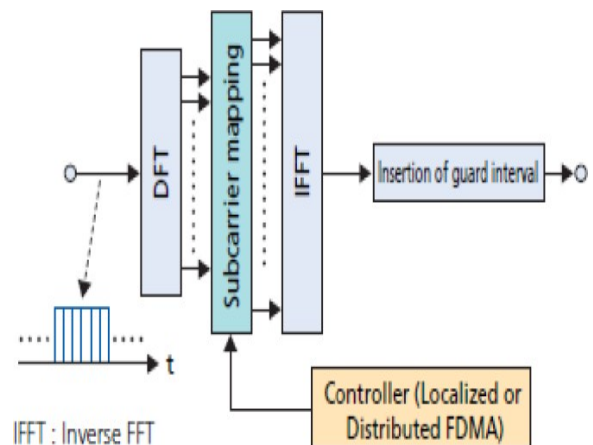
Haciendo referencia a un uplink de acceso inalámbrico, en función de un FDMA localizado, tenemos un conjunto consecutivo de frecuencia, lo cual hace que la única diferencia con un downlink se centre únicamente en los permisos de transmisión frente a la portadora.

A diferencia de un OFDMA de tipo downlink, no hay variación en la transmisión de los niveles de señales, ya que entre sus características es de ser multiportadora, por lo cual no existe un aumento en la potencia, con el FDMA, podemos lograr una gama de frecuencia en el espectro para luego aplicar en el canal.

En el FDMA distribuido considerando al dominio de frecuencia es esencial la aplicación de la transformada de Fourier, con la cual se puede aplicar la misma frecuencia y el mismo intervalo de tiempo tanto en el reloj como en la portadora, todo este proceso se visualiza en el SC-FDMA, en el cual se requiere un ecualizador para eliminar las señales retardadas en el canal que se está usando, este método de ecualización de la frecuencia es más óptimo que realizarlo con respecto al tiempo, ya que es más práctico, la conversión de la señal en función de las particiones generadas insertándose en un dominio del tiempo posibilita la interferencia, en la siguiente Figura 5, se visualiza dicho proceso.

Figura 5

Aplicación de Fourier



(Fuente: S. Abeta, n.d., p. 58)

LTE y su variante mejorada, LTE-A serán el escenario más probable de migración 3G a 4G, en resumen, tendremos un cambio gradual inicial a Super-3G, de forma tal que vayan desapareciendo las anteriores técnicas 3G, imponiéndose la tecnología LTE y entonces, basándonos en este estado, comenzar a implementar las redes en 4G. En realidad, Super-3G no es solamente un paso intermedio para llegar a 4G sino que con Super-3G se pretende mantener una adecuada oferta de servicios en 3G que puedan surgir en el tiempo (T. Nakamura y S. Abeta, n.d.).

3. RESULTADOS

LTE-A

LTE-Advanced intenta superar las dificultades que se han presentado con LTE para lograr cumplir con los requisitos de IMT-Advanced (llamado también 4G). El objetivo primordial de LTE-Advanced es mejorar las características relacionadas con la transferencia de datos (Wannstrom Jeanette, n.d.), estas son:

- Mejora en los picos de transmisión: 3GBps para labajada y 1.5GBps para la subida de archivos
- Mejora en le eficiencia espectral, pasando de 16bps/Hz a 30bps/Hz.
- Incremento de la cantidad de usuarios concurrentes.

- Mejora de desempeño en las celdas.

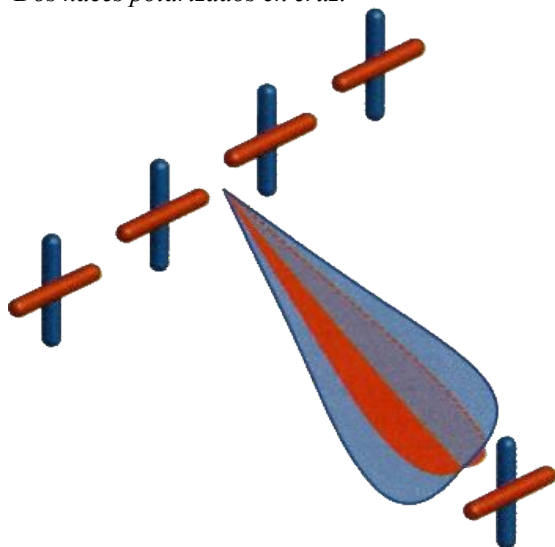
Mejoras en las técnicas multiantena

LTE-A propone incrementar la cantidad de antenas transmisoras, y receptoras; proponiendo un esquema de 8x8 en bajada y 4x4 en subida sugiriéndose el uso de MiMo cuando la relación señal a ruido sea alta (Wannstrom Jeanette, n.d.). De lo contrario mejor es el uso de TX-Diversity (Wannstrom Jeanette, n.d.). Para escoger el modo de transmisión adecuado, se define desde R8 diversos modos de transmisión. (Wannstrom Jeanette, n.d.).

En MiMo beamforming, se usan múltiples antenas para crear un haz polarizado de energía focalizada (mostrada en naranja en la Figura 6). Un segundo conjunto de antenas (mostrado con azul) crea un segundo haz que está polarizado ortogonalmente (en forma de cruz o a 90 grados) en relación al anterior.

Figura 6

Dos haces polarizados en cruz.



(Fuente: Wannstrom Jeanette, n.d.)

Ambas técnicas son en extremo complejas y no profundizaremos en ello, pero en un alto nivel, podemos decir que MiMo usa múltiples antenas tanto en el transmisor como en el receptor para explotar el dominio del espacio y así incrementar la

velocidad de transferencia o para compartir recursos de tiempo/frecuencia entre los usuarios.

Nodos de Pasarela

A aplicar los nodos de pasarela, hay la posibilidad de agregar pequeñas estaciones base en las celdas para proveer una mejora en la capacidad y cobertura. Además, se sugiere que los nodos de pasarela puedan ser utilizados para conectar celdas en lugares remotos sin necesidad de utilizar fibra óptica.

4. DISCUSIÓN

Dificultades en la migración

Simplemente en LTE-A se deja abierta la posibilidad de asignar prioridad a la voz a través de manejos de calidad de servicio en los modos de transmisión. No somos los únicos que pensamos que hay aspectos que mejorar. Existen autores que han expresado diversas preocupaciones sobre estos nuevos protocolos, como por ejemplo donde se plantean posibles situaciones que los proveedores discuten como el uso de las técnicas de agregación de canal en canales no consecutivos, MiMo, trabajo de la capa 1 y 2 del protocolo. (Dae-woong Seo et al., 2018)

Problemas de Seguridad Existentes

Otros autores han expresado incluso problemas de seguridad [9] que al momento no notamos que hayan sido corregidos. Esto nos indica claramente que la especificación LTE no ha sido correctamente valorada en todos los posibles aspectos en que una red actual debe ser ponderada.

En su respuesta: El Grupo de investigación de *Virginia Tech*, en respuesta a la *National Telecommunications and Information Administration* expresa sus dudas respecto a la resistencia de LTE ante ataques de interferencia electrónica con finalidades

incluso terroristas. (L. Strickling, n.d.). Al menos uno de los posibles escenarios es un ataque trivial, los cuales se mencionan a continuación:

- Interferencia en la señal de sincronía, Las 3 señales siempre están presentes en las subportadoras, por tanto, emitiendo señales de interferencia en los 73 subportadoras consigue negar el servicio con bajos recursos al evitar la sincronía del UE.
- Transmitir una PSS falsa en las 62 subportadoras, emitiendo las 3 secuencias PSS en todas. Este ataque no causará una negación de servicio inmediata pues este paso es utilizado solamente al acceder a la celda.
- Interferencia en el canal de control de subida, los ACK enviados a través del canal de control.

LTE en TCP/IP

Debemos ser escépticos con las investigaciones, y dudar e investigar cada uno de los puntos que nuestra experiencia nos muestra que pueden traer problemas. En nuestro caso estamos más cercanos a la problemática del manejo de redes. Existen críticas a la forma de operación y poca adaptabilidad del protocolo de facto para internet, el TCP/IP. Las redes basadas en TCP/IP están fundamentadas en políticas del mejor esfuerzo, lo que ya de inicio, no las hizo adecuadas para datos enviados en forma de streaming como voz o video (Goldstein Fred & Day John, n.d.)

LTE en Ecuador

El término LTE para referirnos a la implementación de 4G en nuestro país, que asumimos será LTE-A pues según la UIT sólo LTE-A y WiMAX 2 alcanzan a definirse como 4G (PoderPDA, n.d.), aunque como se ha reportado, incluso ellos pueden retractarse, aparentemente gracias a las presiones de al menos una operadora

norteamericana, tema que merece un análisis más profundo, pero que no viene al caso en este artículo.

A nivel Latino América, LTE está aún lejos de poder decirse una tecnología en explotación y por supuesto a nivel Ecuador, esto no podía ser diferente, aunque la operadora estatal CNT ha reportado planes de implementación para mediados de este mismo año (Lafebre Daniela Isabel, 2016). Otros países como México y Uruguay tienen ya redes LTE funcionando, aunque con limitada cobertura.

El paso a LTE no es sencillo desde el punto de vista económico. Se calcula entre USD 30 y 40 millones la inversión por operadora, y eso sólo del lado del proveedor. Del lado del cliente, la mayoría o totalidad de los equipos disponibles no son LTE. Es decir, el usuario deberá adquirir nuevos terminales que soporten LTE, que por ser novedad tecnológica tendrán un precio inicial alto. El proceso no durará poco tiempo.

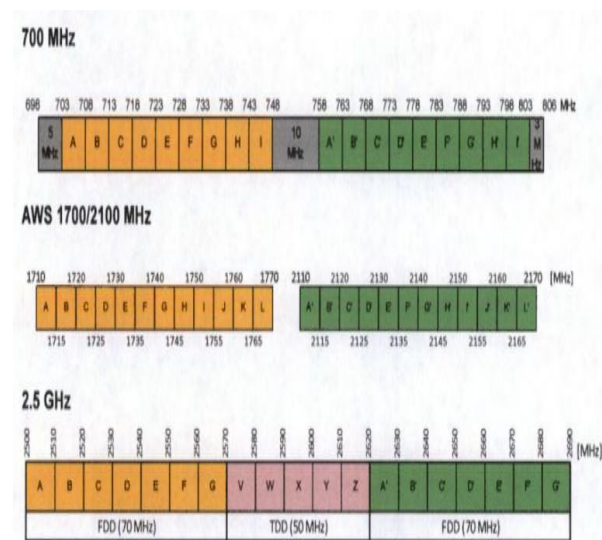
El problema en este caso es complejo pues no todos los países tienen libres las mismas bandas de frecuencia y, por ende, las implementaciones tienden a dispersarse por el espectro electromagnético y obviamente a saturarlo. Por eso para LTE se han realizado múltiples subdivisiones y más bien se tiende a usar una suerte de numeración de bandas (RadioElectronics, n.d.). De todas ellas la más “popular” es la BC4, también llamada LTE Band 4 ó Class 4 ó LTE AWS, que trabaja en 1700MHz para upload y 2100 MHz para download y es la usada en LTE Canadá, en México (Telcel) y en gran parte de EEUU y América Latina, dentro de lo que no se cuenta a Ecuador que se espera use BC10 (similar a BC4, pero de mayor ancho con 60MHz en lugar de 45MHz) junto con Perú y Uruguay (Lafebre Daniela Isabel, 2016).

En la práctica, a finales de 2012, el CONATEL adjudicó a CNT espectro para LTE en la banda de 1700/2100 MHz, y de la canalización mostrada en la Figura 7

podemos confirmar que efectivamente estaríamos usando BC10. Las solicitudes al CONATEL de espectro para LTE de OTECEL en ene/2011 y de CONECEL en oct/2012, están también dentro de la misma banda de 1700/2100 MHz (Lafebre Daniela Isabel, 2016)

Figura 7

Canalización para las bandas de 700 MHz, AWS 1700/2100 MHz y 2.5GHz



(Fuente: ARCOTEL, 2012)

5. CONCLUSIONES

- LTE es un protocolo bastante interesante si nos conformamos con la tecnología existente y no vemos más allá de la tecnología que tenemos hoy. Sin embargo, nos preocupa el hecho de que se planea el uso exclusivo, ya que no vemos otras opciones propuestas, de tecnología TCP/IP, incluso con túneles,

para manejar aspectos de comunicación en la red LTE.

- Con las metas previstas tanto de rendimiento como de latencia y el énfasis en la simplicidad y flexibilidad del espectro, junto con la mayor capacidad y menor costo por bit, LTE está destinado a proporcionar una experiencia de usuario bastante mejorada, así como la creación de servicios móviles nuevos y atractivos que generen a su vez nuevas y atractivas formas de ingreso y que sigan siendo un fuerte competidor para otras tecnologías inalámbricas en la próxima década, tanto para los mercados ya desarrollados como para los emergentes.
- Sin embargo, no todo está bien, LTE es poco resistente a ataques de interferencia por lo que la propuesta de usarle como red de comunicación ante emergencias públicas se ve severamente deteriorada.
- Hay buenas noticias sobre LTE en Ecuador pues, de cumplirse los planes, aparentemente en sólo alrededor de 4 meses dispondremos ya de al menos una operadora con soporte LTE, lo cual nos posicionaría dentro del pequeño y selecto grupo de los primeros en América Latina.
- Aunque históricamente, se podría decir que estamos acostumbrándonos a ya no sorprendernos por las probables demoras, es decir, siendo tan corto el tiempo, al menos se esperaría algo de promoción sobre el tema de LTE en nuestro país.
- No deja de llamar la atención que las solicitudes al CONATEL de frecuencias para LTE de las operadoras celulares no estatales no hayan sido respondidas aun cuando las fechas de solicitud datan de hace 2 años. El que una operadora lance una tecnología nueva sin competencia potencialmente enfrenta al mercado a un escenario de monopolio

REFERENCIAS

ARCOTEL. (2012). *RESOLUCIÓN TEL-804-29-CONATEL*.

<https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/0804-TEL-29-CONATEL-2012.pdf>

Dae-woong Seo, Yoon-Hwan Kim, Jeong-Sang Song, & Bongseog Jang. (2018). Review on LTE-Advanced Mobile Technology. *KoreaScience*. <https://doi.org/https://doi.org/10.13160/ricns.2018.11.4.197>

Goldstein Fred, & Day John. (n.d.). Moving beyond TCP/IP. *The Last Waltz*. http://rina.tssg.org/docs/ITP_vol5_p3_42-50.pdf

L. Strickling. (n.d.). *FirstNet Conceptual Network NOI*. Retrieved October 16, 2021, from https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/va_tech_response.pdf

Lafebre Daniela Isabel. (2016). *Análisis del Rol del Estado y las empresas de telefonía móvil en la evolución de los procesos de implementación de tecnología Long Term Evolution LTE 4G: impactos económicos en el Ecuador*.

PoderPDA. (n.d.). *ITU determina qué es una red 4G y qué no lo es*. Investigación y Desarrollo, Noticias, Wireless. <https://www.pasionmovil.com/noticias/itu-determina-que-es-una-red-4g-y-que-no-lo-es/>

RadioElectronics. (n.d.). *LTE Frequency Bands, Spectrum & Channels*. RadioElectronics.Com. Retrieved October 16, 2021, from <https://www.electronic-notes.com/articles/connectivity/4g-lte-long-term-evolution/frequency-bands-channels-spectrum.php>

S. Abeta, M. I. Y. K. y K. H. (n.d.). Super 3G Technology Trends, Part 2: Research on Super 3G Technology. *NTT DoCoMo Technical Journal*, 8(3). Retrieved October 14, 2021, from https://www.nttdocomo.co.jp/english/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol8_3/vol8_3_055en.pdf

S. Parkvall, E. D. A. F. Y. J. M. O. S. W. K. Z. (n.d.). *LTE-Advanced – Evolving LTE towards IMT- Advanced*. <https://doi.org/10.1109/VETECEF.2008.313>

T. Nakamura y S. Abeta. (n.d.). Super 3G Technology Trends, Part 1: Super 3G Overview and Standarization Activitie. *NTT DoCoMo Technical*

Journal,. Retrieved October 13,
2021, from
[https://www.nttdocomo.co.jp/english
h/binary/pdf/corporate/technology/r
d/tech/main/super3g/vol8_2_52en.p
df](https://www.nttdocomo.co.jp/english/binary/pdf/corporate/technology/rd/tech/main/super3g/vol8_2_52en.pdf)

Wannstrom Jeanette. (n.d.). *LTE-Advanced*.
Retrieved October 16, 2021, from
[https://www.3gpp.org/technologies/
keywords-acronyms/97-lte-
advanced](https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced)