

TECNOLOGÍAS 4G LTE EN COLOMBIA: OPORTUNIDADES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN PARA NUEVOS OPERADORES

Diego F. Zuluaga, Consultor en Innovación Tecnológica (COLINNOVACION)

Abstract— Este artículo presenta algunos de los desafíos que deben afrontar los nuevos operadores 4G en el país y cómo estos pueden ser superados mediante desarrollo tecnológico e innovación. Para ello, se presentan las metas establecidas en el Plan VIVE Digital Colombia que motivaron las actuaciones gubernamentales que llevaron a la subasta para la asignación de licencias 4G, las características generales de las tecnologías involucradas con énfasis en aquellas orientadas a proporcionar soporte de voz cuando el usuario sale de la zona de cobertura 4G y cómo los nuevos operadores pueden lograr una rápida cobertura y despliegue de servicios aprovechando inteligentemente tanto los desarrollos tecnológicos como las oportunidades que brinda la regulación.

Index Terms— Tecnología 4G, Plan Vive Digital, Desarrollo Tecnológico e Innovación.

1 INTRODUCCIÓN

En el marco de la política, lineamientos y ejes de acción a desarrollar por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MINTIC) para los periodos de gobierno 2010-2014 y 2014-2018 definidos en el Plan Vive Digital Colombia, que busca promover el acceso, uso y apropiación masivos de las TIC, a través de políticas y programas para el logro de niveles progresivos y sostenibles de desarrollo en Colombia, se propone, entre otras metas, multiplicar el número de conexiones inalámbricas de tecnología 4G a través del desarrollo de infraestructura, en el marco conceptual definido por MINTIC como el “Ecosistema Digital”.

Este Ecosistema Digital constituye la base conceptual del plan y está conformado por cuatro componentes: infraestructura, servicios, aplicaciones y usuarios. El plan estimula estos cuatro componentes a través de la expansión de la infraestructura, la creación de nuevos servicios a menores precios, la promoción del desarrollo de aplicaciones y contenidos digitales y el impulso a la apropiación tecnológica por parte de los usuarios. De esta manera se crea un círculo virtuoso, en el que existe más demanda por parte de los usuarios, más aplicaciones para ellos, más y mejores servicios a precios más económicos, en una infraestructura moderna y de alta tecnología (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - Colciencias, 2011). La Figura 1 muestra una representación gráfica del Ecosistema Digital.

Para lograr la masificación del uso de Internet a nivel nacional, el Plan Vive Digital propone, entre otras metas, multiplicar el número de conexiones inalámbricas 4G, consolidar los mecanismos de acceso a Internet por parte de todos los colombianos (en los cuales los servicios móviles 4G juegan un papel importante) y prestar cobertura 4G a todos los municipios de Colombia en 2018 (Vive Digital Colombia, 2014). Específicamente se plantean las siguientes metas para el año 2018 (Vive Digital Colombia, 2014):

mente se plantean las siguientes metas para el año 2018 (Vive Digital Colombia, 2014):

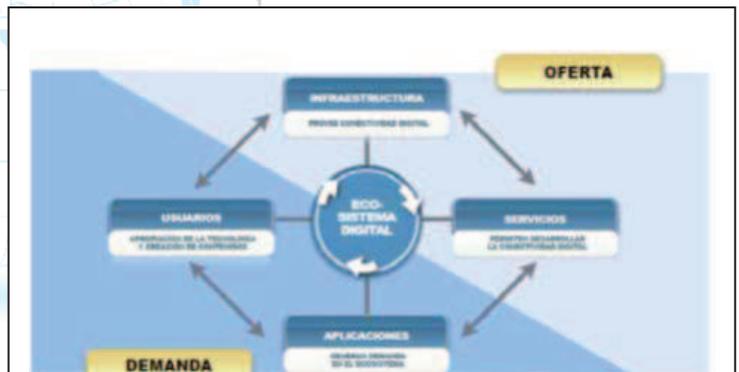


Figura. 1. Ecosistema Digital

Fuente: (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - Colciencias, 2011)

Cobertura de banda ancha: Multiplicar por 3 el número de conexiones a Internet, pasando de 8.8 millones en 2014 a 27 millones de conexiones en 2018. La idea es llegar a niveles de acceso a Internet similares a los de Bélgica e Italia.

Acceso a Internet: Consolidar los mecanismos para el acceso a Internet por parte de todos los colombianos. Todos los municipios del país tendrán cobertura de servicios móviles de 4G, y zonas WiFi públicas gratuitas. Específicamente se pretende pasar de 57 municipios en 2014 a 1.123 en 2018.

Porcentaje de población conectada a 4G: La cobertura a junio de 2014 es de 40,46%, a final del año será del 50%. Con la tecnología de cuarta generación 4G, los colombianos gozan de una mayor velocidad de navegación en internet móvil lo

que permite acceso a multimedia y videojuegos en alta definición, mejora en videoconferencias y servicios como telemedicina. La meta es que en 2018 este indicador llegue al 100%.

Servicio de Internet: El servicio de Internet será de mejor calidad y para todos los colombianos. Se pretende aumentar la velocidad promedio de banda ancha de 1MB en 2014 a 4MB en 2018. Asimismo, se pretende pasar del 80% de colombianos que usan Internet en 2014 a 90% en 2018 (Vive Digital Colombia, 2014).

2. LAS GENERACIONES DE TECNOLOGÍAS MÓVILES

Muchos de los predecesores de las tecnologías de cuarta generación ya no están actualmente en uso, debido a sus limitaciones. Tecnologías de “generación cero” como *Push to Talk* eran sistemas de comunicación *half dúplex* que requerían del uso de palabras de procedimiento como “cambio” y “fuera”. Los sistemas de primera generación hacían uso de ondas análogas y cayeron rápidamente en obsolescencia, debido principalmente a la ausencia de encriptación.

Los sistemas de segunda generación (2G) hicieron uso del cifrado digital y servicios básicos de datos como el servicio de mensajes cortos (*short message service* – SMS). La tecnología 2G fue lanzada en 1991 en Finlandia (Veeramallu, Raghuveer, & Sairam, 2013). Esta tecnología habilita a las distintas redes de telefonía móvil con procesos para proporcionar los servicios tales como texto, mensajes con imágenes y MMS (mensajes multimedia). Los mensajes de texto se encriptan digitalmente. Las tecnologías dominantes 2G son TDMA (*Time Division Multiple Access*) o CDMA (*Code Division Multiple Access*). Mientras TDMA divide las señales en ventanas de tiempo, CDMA asigna a cada usuario un código especial para comunicarse a través de un canal físico multiplexado. Entre las diferentes tecnologías TDMA se cuentan GSM, PDC, iDEN, e iS136. GSM (*Global System for Mobile communications*) fue desarrollado por el ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones – *European Telecommunications Standard Institute*) y es el estándar más difundido en telecomunicaciones con una penetración de más de 212 países (Veeramallu, Raghuveer, & Sairam, 2013). La tecnología GSM fue la primera que permitió establecer *roaming* internacional.

Los sistemas de tercera generación (3G) ofrecen mayor seguridad y mejor calidad para servicios como televisión móvil o GPS. 3G utiliza CDMA y TDMA.

Los sistemas de cuarta generación (4G) proveen soluciones IP donde voz datos y multimedia “*streamed*” pueden ser entregados a los usuarios en cualquier momento y lugar (Datta & Kaushal, 2014). En la Figura 2 se puede apreciar la eficiencia en el uso de la red de datos 4G LTE frente a otras tecnologías, permitiendo mayor velocidad de descarga, lo que generará menor uso del ancho de banda por parte de los usuarios y mejor calidad de servicio en la entrega de contenidos digitales, ya que la latencia se reduce y permite minimizar las pérdidas de los datos solicitados.

Tipo de tecnología	2G	3G	3G HSPA	HSPA+	4G LTE
Navegación página web	36 segundos	4 segundos	1 segundo	Inmediato	Inmediato
Canción de 5MB	12 minutos	1.5 minutos	20 segundos	9 segundos	3 segundos
Video 25MB	1 hora	6.5 minutos	1.5 minutos	40 segundos	15 segundos
Películas 750 MB	30 horas	3.25 horas	50 minutos	20 minutos	7.5 minutos
Películas HD	10 + días	- 1 día	- 6 horas	- 2 horas	- 25 minutos

Figura. 2. Velocidad de Descarga según Tecnología
Fuente: (Aristizábal, 2012)

LTE: LONG TERM EVOLUTION

La cuarta generación (4G) de tecnologías inalámbricas conocida como *Long Term Evolution* (LTE) permite a los operadores celulares utilizar espectro nuevo y más amplio y componentes que las redes 3G con velocidades de datos de usuario más altas, menor latencia y una arquitectura de red plana basada en IP (*Internet Protocol*). El estándar LTE se publicó por primera vez en marzo del 2009 como parte del *Third Generation Partnership Project* (3GPP) *Release 8* (Bjerke, 2011). Las especificaciones han estado en desarrollo desde 2005, cuando 3GPP LTE definió requisitos y metas de desempeño para mejorar de manera significativa en el estándar 3GPP *Release 6*, que era en ese momento el estado del arte. El logro de estos objetivos requiere una evolución de la interfaz de aire y la arquitectura de la red, ahora conocidos como E-UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*) y EPC (*Evolved Packet Core*), respectivamente. Las primeras redes LTE comerciales fueron desplegadas (a escala limitada) en Escandinavia a finales de 2009 (Bjerke, 2011).

LTE *Release 8* es una de las principales tecnologías de banda ancha basados en OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing*), que se está comercializando actualmente. LTE *Release 8*, se despliega en un diseño macro / microcelda y proporciona una mayor capacidad del sistema y cobertura, altas velocidades pico de datos, baja latencia, reducción de costos de operación, soporte multi-antena, ancho de banda adaptativo e integración transparente con los sistemas existentes (Ghosh, Ratasuk, Mondal, Mangalvedhe, & Thomas, 2010). Proporciona velocidades de datos pico alto de 300 Mb / s en el enlace descendente (DL) y 75 Mb / s en el enlace ascendente (UL) para un ancho de banda de 20 MHz, y permite el funcionamiento de ancho de banda flexibles de hasta 20 MHz. En LTE *Release 8*, el esquema de acceso múltiple de DL es OFDM mientras que el esquema de acceso múltiple para el UL es SC-FDMA. LTE *Release 8* también es compatible con ancho de banda escalable hasta 20 MHz (Ghosh, Ratasuk, Mondal, Mangalvedhe, & Thomas, 2010).

SERVICIO DE VOZ SOBRE LTE

LTE solo soporta servicios basados en paquetes. Todas las conexiones entre los terminales móviles y las redes son con-

xiones IP extremo a extremo. Por lo tanto, el servicio de llamadas de voz, (el servicio más importante de conmutación de circuitos) debe reemplazarse con tecnología VoLTE (*voice over LTE*). Aunque el objetivo final es claro, el camino de transición hacia la tecnología de voz sobre LTE sigue siendo objeto de debate. Existen varias soluciones planeadas o ya ejecutadas por diversos operadores de telefonía móvil (Tekovic, Pesut, & Moric, 2013). Uno de los aspectos problemáticos consiste en proporcionar soporte de voz o tener continuidad de voz cuando el usuario se mueve fuera de la cobertura LTE (Curpen, Balan, Sandu, Costache, & Cerchez, 2014).

Incluso con la disminución de la participación en el mercado de las telecomunicaciones del servicio de llamada de voz, este sigue siendo la principal fuente de ingresos para los operadores móviles. El volumen del tráfico de datos ha superado el tráfico de voz en la mayoría de las redes móviles durante los últimos años (Curpen, Balan, Sandu, Costache, & Cerchez, 2014). Se espera que alcance el 95% para el año 2015 (Malik, 2012), pero el servicio de llamadas de voz siga contribuyendo con más del 50% de los ingresos totales (Curpen, Balan, Sandu, Costache, & Cerchez, 2014). Esto va a cambiar a favor del tráfico de datos en los próximos 3 a 5 años (Curpen, Balan, Sandu, Costache, & Cerchez, 2014). Sin embargo, teniendo en cuenta el tamaño de la industria móvil, la llamada de voz se mantendrá vigente por mucho tiempo.

Antes de revisar diferentes soluciones para manejar las llamadas de voz en redes LTE, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- LTE ya tiene una solución de llamada de voz bien definida y planeada desde el principio (VoLTE) (Poikselka, Holma, Toskala, Hongisto, & Kallio, 2012).
- Incluso sin VoLTE hay muchas aplicaciones de terceros que están proporcionando una solución aceptable para el servicio de llamadas de voz en forma de software libre de VoIP instalado en los teléfonos inteligentes (Viber, Skype y otros).

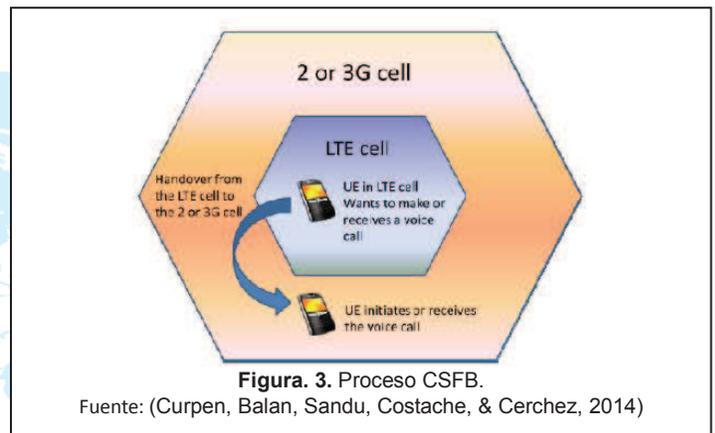
En combinación con el servicio de datos de LTE, estas aplicaciones podrían ser suficientes para muchos usuarios LTE. Sin embargo, ambas soluciones tienen ciertas restricciones. La primera de ellas, VoLTE, requiere de IMS (IP Multimedia Subsystem). IMS fue elegido como la arquitectura para servicios de comunicación de voz y multimedia para LTE. Aunque IMS no es una tecnología nueva, no ha sido adoptada tan ampliamente como los expertos predijeron hace años, cuando LTE estaba en borradores, debido básicamente a los costos y la complejidad de IMS. Por lo tanto, VoLTE no se implementó como la primera y única solución para el servicio de llamadas de voz. Esto puso a los operadores a buscar soluciones de transición donde la reutilización de los equipos existentes era el imperativo (Tekovic, Pesut, & Moric, 2013).

Respecto al segundo punto, denominada la solución *Over The Top (OTT)* donde el software de terceros se utiliza para las llamadas de voz, convertiría a los operadores móviles en proveedores de servicios de datos únicamente (con respecto a las redes LTE), lo que conllevaría a la destrucción del actual

modelo de negocio donde una relativamente pequeña cantidad del tráfico (10 a 20%) generado por el servicio de voz sigue generando la mayoría de los ingresos.

A continuación se describen brevemente algunas de las soluciones tecnológicas que se han considerado para la prestación de servicios de voz en redes LTE.

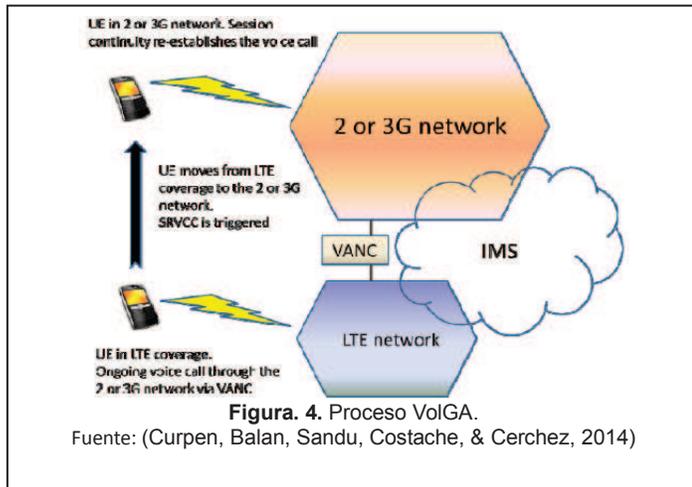
Circuit Switched Fall Back (CSFB): Esta solución se basa en la premisa de que existe cubrimiento 2G o 3G en el área LTE (Curpen, Balan, Sandu, Costache, & Cerchez, 2014). CSFB realiza un *handover* a la red 2G o 3G siempre que el usuario LTE recibe o inicia una llamada. La figura 3 muestra el modelo del procedimiento de *fall back*.



Este esquema se denomina CS *fallback* (CSFB) porque hay un "retorno" (*fallback*) a la tecnología "inferior". Para proporcionar servicios de CS, LTE reutiliza la infraestructura 2G/3G. Esto la convierte en una solución preferida desde la perspectiva de negocio porque se basa en las tecnologías en las que ya se ha invertido y licenciado para los próximos años con el equipo existente y en operación.

Voice over LTE via Generic Access (VoLGA): El Volga se basó en el estándar 3GPP GAN (*Generic Access Network*). GAN ofrece un nodo controlador – GANC (GAN controller) – insertado entre la red de acceso IP y el núcleo de red 3GPP. La GAN proporciona un acceso de superposición entre el terminal y el núcleo CS sin necesidad de mejoras o soporte específicos en la red que atraviesa. Esto proporciona un terminal con una conexión "virtual" a la red central ya desplegada por un operador. El terminal y la red así reutilizan la mayor parte de los mecanismos existentes, la implementación y los aspectos operativos. Ver Figura 4.

Voz y LTE simultáneos (Simultaneous Voice and LTE - SV-LTE): SVLTE se basa en los terminales móviles que contienen sistemas de radio dual, donde uno se utiliza para el tráfico de datos únicamente, sobre LTE, mientras que el segundo se utiliza para voz CS haciendo un llamamiento a la red 2G / 3G. No existen requisitos sobre la propia red. La desventaja de esta solución es alto consumo de energía y el aumento del costo de producción de este tipo de terminales (Tekovic, Pesut, & Moric, 2013).



Over The Top Content (OTT): OTT es un escenario en el que el proveedor de servicios de telecomunicaciones ofrece solo servicios de datos a través de redes IP, y las soluciones de voz se presta a través de software de terceros, como se mencionó. Algunos operadores de telefonía móvil inicialmente trataron de bloquear servicios como Skype, Viber, etc., pero pronto se dieron cuenta de que la única manera de competir es ofrecer soluciones alternativas de mejor calidad a los clientes. Además de las connotaciones negativas para el negocio de los operadores, este escenario tiene una desventaja significativa para los usuarios: cada cliente debe instalar todas las aplicaciones utilizadas por sus contactos y mantener un conocimiento de "quién está utilizando qué aplicación". Sin embargo, cuanto más tiempo se tarda en implementar VoLTE, los proveedores de servicios OTT VoIP pueden hacerse más fuertes (Tekovic, Pesut, & Moric, 2013).

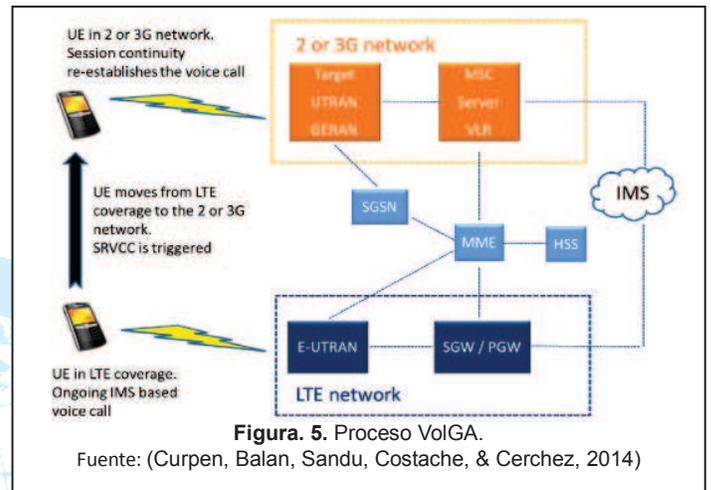
Single Radio Voice Call Continuity (SRVCC): SRVCC implica cambios a la MSC, MME y UE. El requisito principal para la solución SRVCC se conoce como "solución de la llamada en el servidor de aplicaciones", es decir, la UE tiene que empezar una llamada de voz utilizando el IMS en la red LTE y el servidor de aplicaciones (AS) tiene que ser implementado en el circuito de señalización IMS durante el establecimiento de la sesión llamada de voz. La figura 5 presenta la arquitectura de solución SRVCC.

Esencialmente, esta solución es una mezcla de procedimientos: el procedimiento de *handover* en la red de acceso, y el procedimiento de continuidad de la sesión IMS en el IMS. El eNodeB recibe una bandera "operación SRVCC posible" de la MME (*Mobility Management Entity*) durante los procedimientos de gestión de la movilidad, mientras que la propia MME ha recibido el anuncio de capacidad SRVCC del equipo del usuario (Curpen, Balan, Sandu, Costache, & Cerchez, 2014).

PROCESO DE SUBASTA 4G

Para dar cumplimiento a los lineamientos del plan VIVE Digital

descritos, el MINTIC, en conjunto con la Agencia Nacional del Espectro (ANE) y la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC), adelantaron desde el 22 de marzo de 2012 el proceso para asignar -a través del mecanismo de subasta- permisos para uso del espectro radioeléctrico en donde funcionarán las redes de cuarta generación, más conocida como 4G (MINTIC, 2013). MINTIC definió las condiciones para el proceso de subasta mediante la Resolución 449 de 2013.



El 26 de junio de 2013 se realizó la subasta de la banda 4G. Entre las condiciones de la subasta se contaban (Enter.co, 2013):

- El pago de contado por el espectro en la medida en que el espectro este libre
- La no cesión de espectro en los primeros 5 años (después de esos cinco años se necesita aprobación del Ministerio para venderlo)
- La obligación por parte de los operadores establecidos (Claro, Movistar, Tigo) de compartir infraestructura con las compañías entrantes; y la restricción de ofertas comerciales que limiten la libre competencia, entre otras.

El ministro Diego Molano aseguró que con la subasta esperaban recaudar un mínimo de 450.000 millones de pesos (Enter.co, 2013). Se recogió en total una suma cercana a los 770.539 millones de pesos, un 70% más que el cálculo "conservador" que había revelado previamente (Enter.co, 2013).

Uno de los resultados más notables del proceso, que se aprecia en la Tabla 1 es la entrada en el mercado de la telefonía celular de dos nuevos operadores: Direct TV y AVANTEL que entrarán a competir con los operadores establecidos Claro, ETB -Tigo y Movistar.

3. RETOS PARA LOS NUEVOS OPERADORES 4G LTE

Los nuevos operadores 4G, además de dar cumplimiento a los estrictos requerimientos regulatorios, deben alcanzar objetivos de negocio y contribuir al logro de objetivos del plan VIVE Digital. Estos operadores deben preparar y desplegar su infraestructura para ingresar a un mercado altamente compe-

TABLA 1
RESUME LOS RESULTADOS DE LA SUBASTA 4G.

Empresa	Bloque adjudicado	Valor total \$770.530.882.800	Cobertura en cabeceras munici- pales
Claro	Banda 2.500 MHz Bloque abierto de 30 MHz	\$ 119.995.866.000	660
Direct TV	Banda 2.500 MHz Bloque abierto de 30Mz y reservado de 40 MHz	\$ 71.856.366.000 \$ 77.565.288.000	57
Avantel	Banda AWS Bloque reservado	\$ 107.464.140.000	57
ETB - Tigo	Banda AWS Bloque abierto	\$ 195.749.940.000	144
Movistar	Banda AWS Bloque abierto	\$ 197.899. 222.800	255
Azteca	Sin asignación		

Fuente: Adaptado de (Enter.co, 2013)

titivo, frente a operadores establecidos (incumbentes) que los aventajan significativamente en número de usuarios actuales, capacidad instalada y cobertura. Algunos de estos operadores tienen posición de dominio de mercado y cabe esperar una reacción fuerte frente a los nuevos entrantes en el mercado. Por lo tanto, AVANTEL y Direct TV deben implementar acciones que maximicen las posibilidades de éxito en este mercado a través del desarrollo tecnológico, apropiación de nuevas tecnologías e innovación. Entre los factores de éxito para lograr este propósito se cuentan:

- Un despliegue rápido y transparente de una red avanzada que pueda prestar servicios de voz y datos de alta calidad
- Implementar servicios que se puedan desplegar rápidamente y brinden una excelente experiencia de usuario final
- Optimización de procesos que soporten la gestión y operación de los nuevos servicios

Un desafío notable que están encarando los nuevos operadores consiste en la limitada infraestructura y cobertura de sus redes actuales dado que no cuentan con infraestructura previa 2G y 3G que le permita apalancar el despliegue de cobertura 4G. Sin embargo, teniendo en cuenta que la Resolución 449 de 2013 obliga a los operadores establecidos a la compartición de su infraestructura y a ofrecer roaming a los operadores entrantes, estos operadores pueden utilizar estas condiciones para lograr rápidamente coberturas significativas utilizando la red de otros operadores de manera innovadora. Para servicios de voz, por ejemplo, puede optarse por la prestación directa sobre la red LTE utilizando la tecnología IMS (*IP Multimedia Subsystem*), pero solo se podría prestar servicios de voz donde haya cobertura 4G LTE. Sin embargo, la posibilidad de utilizar infraestructura existente 2G y 3G para la prestación de estos servicios (establecida por la regulación), permite a los operadores entrantes prestar servicios de voz rápidamente mediante utilización de tecnologías como CSFB mediante el esquema conexión-desconexión, sin descartar en el largo plazo la prestación de servicios de voz VoLTE. La vali-

dación y demostración inicial de este tipo de roaming con redes 2G y 3G debe realizarse en distintas localidades geográficas con múltiples operadores y múltiples fabricantes para asegurar la interoperabilidad con las distintas redes en la búsqueda de optimizar el desempeño. De los operadores de redes LTE en Colombia AVANTEL utilizará esta tecnología para la prestación de servicios de voz interoperando con redes de terceros operadores, lo cual representa un desafío técnico de gran envergadura.

Respecto a la prestación del servicios de datos, en zonas de no cobertura de la red LTE de los nuevos operadores, nuevamente se puede acudir a la utilización de infraestructura 2G y 3G de los operadores establecidos. Asimismo, el despliegue y operación de esta infraestructura genera nuevos retos para los operadores entrantes debido a la complejidad de la nueva plataforma, por lo que se requiere adecuar los procesos y realizar desarrollos en los sistemas de información para soportar la operación y gestión de la red y del negocio.

CONCLUSIÓN

En este artículo se presentaron brevemente los antecedentes y resultados del proceso de subasta para la asignación de permisos para el uso del espectro radioeléctrico en donde funcionan las redes de cuarta generación en el país, se describieron algunos retos que enfrentan los nuevos operadores y se presentaron brevemente las tecnologías involucradas. Se describió cómo estos operadores pueden afrontar estos desafíos a través de desarrollo tecnológico e innovación. Se destaca que la obligación por parte de los operadores establecidos de compartir infraestructura con las compañías entrantes juega un papel relevante para que estas últimas puedan lograr cobertura rápidamente mediante la implementación de soluciones innovadoras basadas en desarrollos tecnológicos en el estado del arte. Es un ejemplo claro de cómo una regulación inteligente puede generar condiciones para incentivar el desarrollo tecnológico y la innovación en una industria.

BIBLIOGRAFÍA

- Aristizábal, A. (2012). 4G LTE: Celulares a una velocidad 10 veces mayor. Bogota D.C.: Bancolombia.
- Bjerke, B. A. (Octubre de 2011). LTE-Advanced and the Evolution of LTE Deployments. IEEE Wireless Communications, 4-5.
- CINTEL. (2012). Dinámica Sectorial de los Mercados de las Industrias TIC. Bogotá, D.C., Colombia.
- Curpen, R., Balan, T., Sandu, F., Costache, C., & Cerchez, C. (2014). Demonstrator for Voice Communication over LTE. 10th International Conference on Communications (COMM) 2014, (págs. 1-4). Bucarest, Rumania.
- Datta, P., & Kaushal, S. (2014). Exploration and comparison of different 4G technologies implementations: A survey. Proceedings of 2014 RA ECS UIET, (págs. 1-6). Chandigarh,.
- Enter.co. (2013). Cifras y reacciones de la subasta 4G. Obtenido de Enter.co: <http://www.enter.co/cultura-digital/colombia-digital/cifras-y-reacciones-de-la-subasta-de-4g/>
- Enter.co. (2013). La subasta de la banda 4G tendrá lugar el 26 de

- junio. Obtenido de Enter.co: <http://www.enter.co/cultura-digital/colombia-digital/la-subasta-de-la-banda-4g-tendra-lugar-el-26-de-junio/>
- Ghosh, A., Ratasuk, R., Mondal, B., Mangalvedhe, N., & Thomas, T. (Junio de 2010). LTE-Advanced: Next-Generation wireless broadband technology. *IEEE Wireless Communications*, 10-22.
- López, N. (2011). EFECTO DE LAS REDES DE CUARTA GENERACIÓN (LTE) EN LOS SERVICIOS MÓVILES EN CHILE . SANTIAGO DE CHILE: UNIVERSIDAD DE CHILE.
- Malik, O. (29 de Abril de 2012). Mobile data is growing, but voice & sms slowing. Obtenido de Mobile data is growing, but voice & sms slowing - Tech News and Analysis: <http://gigaom.com/2012/04/29/as-mobile-data-zoomsvoice->
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - Colciencias. (2011). *Vive Digital Regional: Manual de Operación*. Bogotá.
- MINTIC. (2013). Condiciones de Subasta - Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Obtenido de <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-1082.html>
- Poikselka, M., Holma, H., Toskala, A., Hongisto, J., & Kallio, J. (2012). *Voice over LTE VoLTE*. John Wiley & Sons: Reino Unido.
- Tekovic, A., Pesut, I., & Moric, Z. (2013). Voice Service in an LTE Network- CSFB. 55th International Symposium ELMAR-2013, (págs. 251-254). Zadar, Croatia.
- UIT. (2014). Statistics. Obtenido de ITU: Committed to connecting the world: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>
- UK, I. (2013). *LTE Roaming: Global Market Status and Drivers for Growth*. Londres: Informa UK.
- Veeramallu, B., Raghuvier, A., & Sairam, U. (Enero de 2013). Analyzing the Generations of Mobile Technology. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, 2(6), 467-470.
- Vive Digital Colombia. (15 de Agosto de 2014). *Plan Vive Digital 2014-2018*. Obtenido de <http://www.vivedigital.gov.co/2014-2018/>
- 