



**Universidad Nacional de Ingeniería  
Facultad de Electrotecnia y Computación**

**Trabajo Monográfico para obtener el Título  
de  
Ingeniero en Telecomunicaciones**

**Redes de acceso de muy alta velocidad e Internet Móvil de Banda  
Ancha  
-Tecnologías, regulación y aspectos comerciales-**

**Autor: Hjalmar Ruiz Tückler.**

**Tutor: Teknl. Ing. Norman Vargas.**

**Managua, Nicaragua  
Diciembre 2018**

## **Dedicatoria**

**A mis padres. Olga María Tückler Montenegro y Toribio Augusto Ruiz Palacio quienes con sus enseñanzas y ejemplo de vida constituyen un faro que guía mi caminar.**

**A mis hermanos Ricardo José, Eda Carolina e Iván Antonio por su apoyo y cariño. Con ellos he caminado largos caminos, hemos llegado, permanecido, reflexionado, evolucionado y retomado la marcha. Siempre más allá.**

**A mi esposa Yanina, y mis hijas Olga, Ethel y Lillian por su amor, apoyo incondicional, paciencia y por siempre estar a mi lado. Siempre de cara al futuro.**

**Hjalmar Ruiz Tückler**

**Signum Fidei**

## **Agradecimientos.**

**A todos los que han contribuido a mi formación, con especial agradecimiento a:**

**FSC. Jesús Andrés Calvo.**

**FSC. Ángel Font.**

**SJ. Julio López de la Fuente.**

**SJ. Adolfo López de la Fuente.**

**Msc. Ing. Ricardo José Ruiz Tückler.**

**Ing. Iván Antonio Ruiz Tückler.**

**PhD. Toribio Augusto Ruiz Palacio.**

**Maestros y amigos cuyas enseñanzas perduran y han contribuido, contribuyen y seguirán contribuyendo a mi esfuerzo continuo y sistemático de ser un mejor profesional y lo más importante.....una mejor persona.**

**Tkl. Ing. Norman Vargas Chevez, por su acertada conducción en la elaboración de mi trabajo monográfico.**

**Al claustro de catedráticos de la Universidad Nacional de Ingeniería por compartir sus valiosos conocimientos y experiencias.**

**Hjalmar Ruiz Tückler**

**Signum Fidei**

## Resumen.

La introducción de nuevas tecnologías de telecomunicaciones en combinación con la investigación, el desarrollo y la innovación en la explotación de dichas tecnologías y su utilización como soporte a nuevos modelos de negocios basados en el conocimiento en el sector, está transformando nuestras sociedades. Compañías como Uber o Airbnb ofrecen servicios a nivel mundial (sin infraestructura propia), mediante una sencilla y práctica aplicación móvil que conecta la oferta con la demanda. Ambas son buenos ejemplos de nuevos modelos de negocio disruptivos, transfronterizos y sin presencia comercial enmarcados en el entorno del comercio móvil, bien alejados de los negocios tradicionales, y que se están posibilitando y dinamizando con el advenimiento de la Banda Ancha.

Visto lo anterior, este trabajo monográfico se enfoca en la tendencia a transitar hacia las redes de acceso de muy alta velocidad y el internet móvil de banda ancha ( $\geq 512$ Kbps), resaltando aspectos tecnológicos, comerciales y regulatorios, siendo consciente que la transformación digital traspasa el límite de la tecnología. Convierte a los productos y servicios en verdaderas experiencias que, alineadas con la filosofía de las marcas y empresas prestadoras de servicios, crean valor para el usuario y, por tanto, valor para la sociedad en general.

Abarca la banda ancha móvil, incluidas las redes móviles y la convergencia de Internet, la estandarización LTE por el 3GPP, LTE-Advanced, Evolved UTRAN (E-UTRAN), Evolved Packet Core (EPC), Subsistema multimedia IP (IMS), LTE-Advanced Pro. Así como la gestión del espectro radioeléctrico en el seno de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), y desde luego los aspectos comerciales y normativos de la banda ancha móvil, tratando temas tales como los estándares IEEE 802.16e, IEEE 802.16m, McWiLL, la evolución hacia las redes 5G, incluyendo el Internet de las Cosas (IoT) en arquitecturas 5G, que sin duda serán la infraestructura que proporcionará la hiperconectividad necesaria en la gestión de la sociedad y ciudades inteligentes en el futuro próximo.

**Palabras clave.** Banda ancha móvil, redes móviles, convergencia, LTE, LTE-Advanced, Evolved UTRAN (E-UTRAN), Evolved Packet Core (EPC), Subsistema multimedia IP (IMS), LTE-Advanced Pro. Arquitectura 4G y 5G, Internet de las Cosas (IoT) en arquitecturas 5G, espectro radioeléctrico, hiperconectividad, ciudades inteligentes y gestión de la sociedad.

## **Lista de abreviación.**

---

<b>APN</b>	Access point name.
<b>AuC</b>	Authentication center.
<b>EIR</b>	Equipment identity register.
<b>EUTRAN</b>	Evolved UMTS terrestrial radio access network.
<b>EPC</b>	Evolved Packet Core.
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service.
<b>GGSN</b>	Gateway GPRS support node.
<b>HEnB</b>	Home eNB.
<b>HEnB-GW</b>	Home eNB gateway.
<b>HLR</b>	Home location register.
<b>HSPA</b>	High-speed packet access.
<b>HSPA+</b>	Evolved high-speed packet access.
<b>HSDPA</b>	High-speed downlink packet access.
<b>HSS</b>	Home subscriber server.
<b>HSUPA</b>	High-speed uplink packet access.
<b>LTE</b>	Long term evolution.
<b>LTE-A</b>	Advanced long term evolution.
<b>MAP</b>	Mobile application part.
<b>MME</b>	Mobility management entity.
<b>MMS</b>	Multimedia message service.

<b>MMSC</b>	Multimedia message service center.
<b>MSC</b>	Mobile switching center.
<b>MSISDN</b>	Mobile station integrated services digital network.
<b>MTP</b>	Message transfer part.
<b>PCRF</b>	Policy control and charging rules function.
<b>P-GW</b>	Packet data network.
<b>RN</b>	Relay node.
<b>RNC</b>	Radio network controller.
<b>SAE</b>	System Architecture Evolution.
<b>SIM</b>	Subscriber identity module.
<b>SGW</b>	Serving Gateway.
<b>SMS</b>	Short message service.
<b>SMSC</b>	Short message service center.
<b>SGSN</b>	Serving GPRS support node.
<b>S-GW</b>	Serving – gateway.
<b>UTRAN</b>	UMTS terrestrial radio access network.
<b>VLR</b>	Visitor location register.

# INDICE

Contenido	Pág.
<b>Resumen</b>	<b>iii</b>
<b>Lista de abreviación</b>	<b>iv</b>
<b>Capítulo 1- Introducción.</b>	<b>1</b>
1.1- Antecedentes.	3
1.2- Justificación.	6
1.3. Banda Ancha y enfoque de prioridades para su eficaz utilización.	7
1.4- Objetivo general y objetivos específicos.	8
1.5- Marco Teórico.	9
1.6- Variables.	11
<b>Capítulo 2- Tecnologías disponibles para la banda Ancha móvil en Nicaragua.</b>	<b>12</b>
2.1- Banda ancha y redes móviles.	12
2.2- Tecnologías desplegadas y disponibles para banda ancha en Nicaragua.	12
2.3- El desarrollo y crecimiento de redes de banda ancha en Nicaragua	16
2.4- Tecnología HSPA.	21
2.5- Tecnología LTE.	25
2.6- Tecnología WiMAX 802.16e y 802.16m.	55
2.7- Tecnología McWILL.	61
2.7.1- Descripción general y especificaciones TD-SDCMA	64
2.8- Resumen y comparativa de características de las tecnologías disponibles en el mercado de las telecomunicaciones en Nicaragua.	66
2.8.1- Determinación de la tecnología más apropiada para una red de acceso de muy alta velocidad e internet de banda ancha en el contexto previo a la CMR-2019.	73
<b>Capítulo 3- Aspectos regulatorios como elementos de fomento a la Banda Ancha.</b>	<b>79</b>
3.1- Mejores prácticas regulatorias en el ámbito de la banda ancha.	79
3.2- Propuestas de opciones para fomentar la infraestructura de banda ancha en Nicaragua.	81
3.3- Aspectos sobre la administración, gestión y explotación del espectro radioeléctrico para banda ancha móvil.	85
<b>Capítulo 4- Aspectos comerciales para el desarrollo de la banda ancha móvil.</b>	<b>91</b>
<b>Capítulo 5- Conclusiones.</b>	<b>99</b>
<b>Capítulo 6- Recomendaciones.</b>	<b>102</b>
<b>Bibliografía.</b>	<b>104</b>

# Capítulo 1.

## Introducción

En la última década, a nivel mundial el sector de las telecomunicaciones, ha experimentado un intenso cambio en materia de adopción de tecnologías de la información y comunicaciones (TIC). Ello se encuentra íntimamente asociado a un vertiginoso desarrollo tecnológico mundial en materia de TIC y desde luego la adopción de estas tecnologías por las diferentes empresas operadoras, que ha modificado la organización del mercado, modelos de negocios, las interrelaciones sociales y el propio desarrollo económico mundial.

En el mundo moderno, las redes de acceso de muy alta velocidad y la infraestructura de banda ancha se han convertido en infraestructuras fundamentales que determina la competitividad nacional de los países en la economía digital mundial.

Una revisión de la regulación del sector telecomunicaciones en la América Latina, muestra la existencia de variaciones en la naturaleza de las políticas públicas implementadas en cada país, sin embargo es posible identificar algunos ejes vertebradores de los esfuerzos públicos y privados y más recientemente de las alianzas público/privadas en la búsqueda del desarrollo humano sostenible.

No obstante el impulso mostrado por el sector de las telecomunicaciones y con grados de diferencia entre países, América Latina aún presenta y enfrenta falta de políticas públicas sectoriales y rezagos regulatorios que dificultan alcanzar objetivos de desarrollo sectorial que se buscan desde dos décadas atrás y que se derivaban de los documentos de Cumbre Mundial de la Sociedad de la Información realizada en Túnez en el año 2005, en la que se estableció el marco global de los objetivos y actuaciones para el sector de las telecomunicaciones en el ámbito de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y del Informe Final de la Conferencia Mundial de Desarrollo de las Telecomunicaciones (CMDT-2006,Doha),muy particularmente en lo relativo a la elaboración e implementación de políticas públicas habilitadoras, que reflejen la realidad de los países, vinculadas más recientemente, a los trabajos, cuestiones de estudio y Plan de Acción de la Comisión de la Banda Ancha para el Desarrollo Sostenible (Dubai.2016) con el fin de promover un entorno propicio para la inversión extranjera directa así como la movilización de recursos internos, con miras a promover y fomentar el espíritu empresarial, teniendo en cuenta el mercado pertinente y su contexto cultural.

Aún con el dinámico contexto tecnológico y de mercado, existen importantes retos vinculados a las zonas geográficas de bajo desarrollo económico, que no están en la posibilidad real de adquirir los servicios de internet, por lo que sin duda alguna se requieren de esfuerzos concertados entre la Administración Pública y el sector

privado para posibilitar la ampliación de la cobertura geográfica y desde luego hacer posible el acceso a los servicios de telecomunicaciones, en el contexto del tránsito hacia una economía moderna basada en la gestión y utilización del conocimiento.

La asimetría del desarrollo en las diferentes zonas geográficas de Nicaragua, establece la necesidad de dar un tratamiento diferenciado en términos de políticas públicas e intervención estatal. El Estado y Gobierno de Nicaragua ya han reconocido esta realidad y en tal sentido ha creado mecanismos de gestión, estando entre ellos el Fondo de Inversión de Telecomunicaciones (FITEL). Esto confirma que la Administración Pública está convencida de que se requieren mayores esfuerzos para reducir paulatinamente el déficit de acceso a los servicios de telecomunicaciones, especialmente en zonas rurales.

Las políticas públicas resultan ser, por lo tanto, un grupo de decisiones coherentes, con un objetivo común a mediano y largo plazo, que resultan relevantes para un determinado sector y que tienen la virtud de establecer un curso de acción en donde convergen los esfuerzos de todos, impactando positivamente en el bien de la nación.

Un aspecto determinante será la adecuación de la intervención pública en el ámbito rural de bajo desarrollo económico, en lo referido a la disponibilidad del acceso de banda ancha, hoy abordada en nuestro país por los proyectos del FITEL en el ámbito de la universalización de las telecomunicaciones en el contexto establecido por el Plan Nacional de Desarrollo Humano (2012-2016).

Todas las propuestas de acción que resulten de un esquema de alianza pública/privada deben tener como génesis el consenso y ser totalmente compatibles con los objetivos establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo Humano (PNDH) formulado por el Gobierno de Nicaragua en donde se reconoce a la infraestructura de telecomunicaciones como un factor clave para la transformación productiva del país y como elemento sustancial para acelerar el crecimiento económico necesario para reducir los niveles de pobreza (párrafo 502 del PNDH), así como un factor esencial de acompañamiento para el desarrollo y crecimiento de otros sectores económicos (párrafo 634 del PNDH).

De lo anterior resalta la necesidad que el Gobierno de Nicaragua emprenda acciones para el establecimiento de políticas públicas para el sector de las telecomunicaciones para lograr que el mercado de telecomunicaciones funcione dentro de una dinámica sostenible y sana competencia que aporte al fomento de la competitividad y productividad de nuestra economía y desde luego que contribuya al fomento de la mediana, pequeña y micro empresa, y beneficie a los consumidores finales (párrafo 637 del PNDH).

Actualmente el Estado y Gobierno de Nicaragua está impulsando el desarrollo de las redes de banda ancha mediante la ejecución de créditos financiados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). No obstante no existe una política

nacional sobre el desarrollo de la banda ancha y se pretende con el trabajo monográfico brindar elementos para identificar las oportunidades tecnológicas, de inversión y negocios que se derivan de una agenda regulatoria promotora del desarrollo de infraestructura, redes y servicios.

Este trabajo monográfico se enfoca en la tendencia hacia las redes de acceso de muy alta velocidad y el internet móvil de banda ancha, resaltando aspectos tecnológicos, comerciales y regulatorios. Abarca la banda ancha móvil, incluidas las redes móviles y la convergencia de Internet, la estandarización LTE por el 3GPP, LTE-Advanced, Evolved UTRAN (E-UTRAN), Evolved Packet Core (EPC), Subsistema multimedia IP (IMS), LTE-Advanced Pro. Así como la gestión del espectro radioeléctrico en el seno de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) para posibilitar el despliegue de este tipo de redes, y desde luego los aspectos comerciales y normativos de la banda ancha móvil, tratando temas tales como los estándares IEEE 802.16e, IEEE 802.16m, la evolución hacia las redes 5G, incluyendo el Internet de las Cosas (IoT) en arquitecturas 5G, que sin duda serán la infraestructura que proporcionará la hiperconectividad necesaria para la gestión de la sociedad y ciudades inteligentes en el futuro próximo.

### **1.1- Antecedentes.**

Nicaragua ha experimentado un crecimiento económico modesto pero sostenido en los últimos años como resultado del manejo disciplinado de sus políticas fiscales, financieras, monetarias y cambiarias. Así mismo se han implementado en coordinación con el sector privado políticas orientadas a la promoción de exportaciones y la atracción de inversión extranjera directa (IED).

El sector telecomunicaciones ha mostrado una tendencia sostenida de inversiones y ha crecido de forma continua durante la última década. Un aspecto medular de la inversión en telecomunicaciones es que casi en su totalidad procede de sector privado nacional y extranjero.

Si bien es incuestionable la masificación de servicios tales como las comunicaciones móviles, en otros servicios, tales como el acceso a internet la penetración evoluciona muy lentamente, principalmente en las zonas rurales de bajo desarrollo económico. La disparidad en el desarrollo económico territorial no posibilita la sostenibilidad económica de los servicios por lo que desincentiva la inversión.

Estamos en presencia de una tendencia sostenida de inversión, pero no logramos como país un punto de inflexión a partir del cual se logre un crecimiento sustancial de la misma, por lo que es mi percepción, que se requiere de la implementación de políticas públicas innovadoras que incentiven la inversión extranjera y nacional para lograr el incremento de la oferta en servicios e infraestructura de telecomunicaciones.

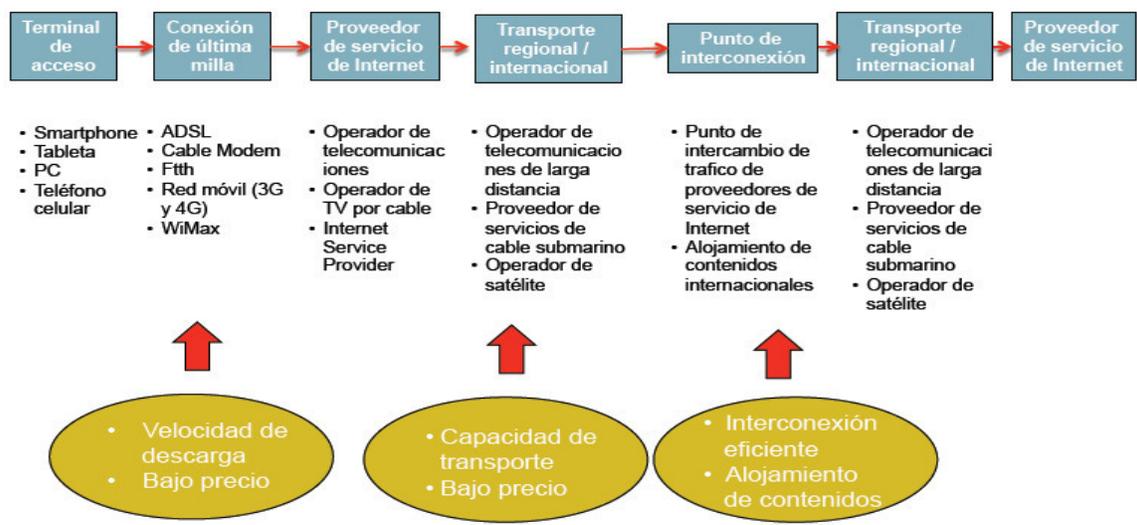
En el período 2014–2017 la inversión extranjera directa en el sector telecomunicaciones (Ver **Tabla 1**) alcanzó los siguientes montos de inversión:

Sector telecomunicaciones	Inversión sectorial Millones US	IED en Nicaragua Millones US	% de la inversión global
<b>Año</b>			
<b>2014</b>	189.0	884.1	21.4
<b>2015</b>	227.7	949.9	24.0
<b>2016</b>	136.9	887.8	15.4
<b>2017</b>	177.4	896.6	19.8

**Tabla 1. Inversión extranjera directa en el sector telecomunicaciones.**  
Fuente: Banco Central de Nicaragua (2017).

A pesar de los avances generados por la inversión privada en infraestructura de telecomunicaciones, el país enfrenta importantes retos en ampliación y extensión de la misma rompiendo con el esquema de la territorialidad. Los costos para desplegar infraestructura son cada vez más altos en la medida que nos alejamos de los centros urbanos. A lo anterior se suma la realidad ineludible del bajo poder adquisitivo del ciudadano para acceder a terminales inteligentes y servicios de acceso al Internet, lo que constituye una limitante de la demanda servible. Un ejemplo evidente lo constituye el último despliegue de puntos de acceso a internet en las cabeceras municipales seleccionadas en los proyectos del FIDEL, en donde aun estando la disponibilidad de infraestructura y servicios, no se logra una demanda real que sustente comercialmente la permanencia en dichos sitios.

La combinación de costos incrementales con el decrecimiento del poder adquisitivo en el sector rural explica de alguna manera el ritmo de avance en la superación de la Brecha Digital. Es evidente que ante estos escenarios de desigualdad, se requieren políticas públicas de incentivo de todo tipo para propiciar el “arranque” del desarrollo humano sostenible en dichas zonas. Es esencial el adoptar una visión y acción estratégica nacional, principalmente en el ámbito de promoción de la cadena de valor del Internet, cuyos elementos clave se muestran en la **figura 1** a continuación.



**Figura 1. Cadena de valor del internet y sus elementos claves.**

Fuente: UIT, 2017.

Las distinciones económicas y realidades sociales se manifiestan en una desigualdad de acceso, ya que la tecnología es aprovechada mayormente por aquellas personas de mayores recursos. Las necesidades básicas de alimentación transporte y salud entre otras, prevalecen por sobre las necesidades de acceder a los servicios de telecomunicaciones. El Banco Mundial, el BID y el propio FITEC conocen estas realidades, en tanto ya existen experiencias previas y en marcha derivadas de la ejecución del Crédito 3291-NI (Banco Mundial), el proyecto P089989 (Banco Mundial), el Programa de Infraestructura de Comunicaciones para la Región Caribe (Banco Mundial) y el Crédito No. 3612/BL-NI y 3612/KI-NI (BID), siendo el principal objetivo de los créditos y programas con el Banco Mundial, la modernización del sector de las telecomunicaciones y los del BID, la creación de infraestructura de acceso de muy alta velocidad y redes de banda ancha.

Tomando en consideración lo anteriormente manifestado, resulta vital para el Estado y Gobierno promover la expansión de la Banda Ancha a través de la infraestructura que brinde el soporte tecnológico necesario, desarrollando las comunicaciones y las modernas tecnologías de la información para que la población nicaragüense tenga acceso a ellas en todas sus modalidades, con eficiencia, calidad y asequibilidad, posibilitando el acceso a una educación de calidad, a servicios vinculados a la gestión simplificada en su interacción con la Administración Pública (E-Gobierno) y por tanto mejorando su competitividad.

Desde luego para eso se requiere la generación de políticas públicas resultado del consenso de todos los actores involucrados, en donde el sector privado y las empresas de telecomunicaciones en particular tienen un papel cooperativo fundamental y trascendente, pero de ninguna manera sustitutiva del esfuerzo de las instancias institucionales correspondientes.

Es necesario resaltar que las bandas de frecuencias en los 700, 800, 900, 1900 y 2100 MHz se utilizan extensamente hoy día en el mundo para servicios móviles, cuentan con economías de escala muy importantes y bajo las tecnologías actuales y en el futuro cercano con LTE-A constituyen formidables infraestructuras para el acceso a todo tipo de servicios posibilitados por la Banda Ancha.

En Nicaragua las dos principales empresas de telecomunicaciones ya están utilizando las bandas de 1900 MHz y 700 MHz con tecnología LTE-FDD y con capacidades de banda ancha para comercializar servicios con muy buen suceso. Es importante promover y dinamizar este tipo de acciones, principalmente por el hecho que los fabricantes están incorporando en los equipos de red y terminales asociados en las bandas de 2.1, 3.4 y 5.8 GHz, tecnología con el estándar LTE y LTE-A., de cara a escenarios de negocios que contemplan el “handover” entre redes móviles y redes con cobertura en interiores. Empresas tales como IDEAY, UFINET, ALFANUMERIC e IBW ya están haciendo uso de tecnología LTE (TDD: Time Division Duplex) en las bandas antes mencionadas.

En cuanto a las políticas de acceso universal, cabe advertir que contrariamente a lo que ocurre en otros países de la región, el Fondo de Acceso Universal de Nicaragua (FITEL) no está limitado a servicios de telefonía, con lo cual se podría decir que comprende el servicio de acceso a Internet de muy alta velocidad. Es bajo esta cubierta legal que el Estado y Gobierno de Nicaragua actualmente hacen uso de créditos del BID para la construcción de redes de acceso de muy alta velocidad y ampliación de las redes de transporte de fibra óptica propiedad de ENATREL, sin embargo se requieren acciones adicionales relativas a la modernización del marco regulatorio que permita una mayor innovación en los modelos de negocios y prácticas comerciales de las empresas del sector telecomunicaciones.

## **1.2. Justificación.**

Actualmente el Estado y Gobierno de Nicaragua está impulsando el desarrollo de las redes de banda ancha mediante la ejecución de créditos financiados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). No obstante no existe una política nacional sobre el desarrollo de la banda ancha y se pretende con el trabajo monográfico brindar elementos para identificar las oportunidades de inversión y negocios que se derivan de una agenda de inversión y regulatoria promotora del desarrollo de infraestructura, redes y servicios.

Es necesario, promover la inclusión de grupos socio-económicos menos favorecidos (zonas de alta y severa pobreza) en las nuevas tecnologías de la información y comunicaciones. Las Redes de Banda Ancha tanto en el acceso como en el transporte, por sus características técnicas son un medio ideal para promover, simplificar, facilitar y garantizar el acceso a conexiones de muy alta velocidad de servicios de Telecomunicaciones y TIC, a fin de contribuir al desarrollo humano y económico sostenible en el país. Nicaragua debe tender a la simplificación y facilitación de las gestiones migratorias, de aduanas, bancarias,

turísticas, fortaleciendo adicionalmente la tele educación, tele salud, comercio electrónico, Gobierno Electrónico, mediante el uso de herramientas TIC que se facilitan con la disponibilidad y el acceso a la Banda Ancha.

Para poder potenciar mejor el uso de las TICs, es muy importante e ineludible el desarrollar políticas públicas que promuevan el despliegue de redes de acceso de muy alta velocidad, infraestructura de banda ancha, así como un programa nacional de alfabetización digital entendiendo la misma como habilidad para organizar, evaluar y analizar información usando tecnología digital, de forma tal que los ciudadanos y en especial la juventud aprendan la nueva forma de hacer las cosas con el uso de equipos, herramientas y aplicaciones digitales. Nuestros ciudadanos deben tener la oportunidad de acceder con facilidad a la información y el conocimiento, lo que propiciará una mayor productividad, competitividad y la educación tecnológica integral como fundamento para alcanzar la Sociedad de la Información.

Hoy día se entiende como Alfabetización e inclusión digital, la capacidad de conocer y evaluar la información usando tecnología digital (Microsoft, 2007). Esto supone conocer el funcionamiento de las nuevas tecnologías y saber cómo pueden ser utilizadas y lograr su uso eficaz en pro de la competitividad nacional. Desde luego la alfabetización digital no sólo se fundamenta en tecnología, se trata de todo un proceso integral que trasciende al sector de las telecomunicaciones.

Es vital que las autoridades nacionales del sector telecomunicaciones, así como de las empresas públicas que actualmente cuentan con créditos externos para la implementación de infraestructura de acceso de muy alta velocidad y redes banda ancha, tengan acceso a criterios fundamentados sobre tecnologías, prácticas regulatorias y aspectos comerciales de las redes de acceso de muy alta velocidad e internet móvil de banda ancha.

### **1.3. Banda Ancha y enfoque de prioridades para su eficaz utilización.**

La banda ancha utilizada eficazmente brinda la gran oportunidad a Nicaragua de revolucionar la asistencia sanitaria, de lograr una educación de calidad fortaleciendo la tele educación y las redes educativas. Así mismo contribuiría a la mejora de los servicios de turismo, el despegue del comercio electrónico y la gestión de servicios públicos (E-Gobierno). No obstante debemos recordar que la tecnología si bien es una herramienta importante, su aprovechamiento efectivo dependerá de la preparación y de las capacidades desarrolladas por los distintos sectores de usuarios.

Ya se ha comentado que el bajo nivel de penetración entre los usuarios finales (ciudadanos y empresas) de la banda ancha fija y móvil se debe a múltiples barreras, lo que ha provocado la falta de inversiones de infraestructura en zonas rurales debido a que son de difícil acceso, se requiere por parte de los Gobierno Municipales el cumplimiento de un número excesivo de requisitos para instalar

infraestructura y a todo esto se suma que dada la realidad socioeconómica, dichas zonas son poco rentables para las operadoras.

Los sectores pobres no poseen la facilidad (poder adquisitivo y necesidades prioritarias) para adquirir el servicio y terminales a los precios actuales y si la tienen no hay conocimiento para un uso efectivo de éstas. A lo anterior se añade el poco desarrollo de aplicativos (APPS) que faciliten a los usuarios finales, micros, pequeñas y medianas empresas y a entidades del Gobierno realizar gestiones, tales como pagos, comercio en línea, solicitudes y trámites ante la Administración Pública (Alcaldías, Policía, Aduanas, etc.), citas médicas, entre otros aspectos de la vida diaria. No obstante, hay una creciente adopción de teléfonos inteligentes (Smartphone) y una continua migración a servicios de banda ancha móvil, lo que está creando un potencial enorme para nuevas aplicaciones y negocios relacionados con las comunicaciones móviles, sin obviar desde luego la realidad preocupante de que el crecimiento en el uso de las redes de acceso y banda ancha está asociado principalmente al acceso a redes sociales.

Nicaragua presenta un comportamiento similar al de América Latina pero desde luego en la escala que posibilita nuestras realidades económicas. No obstante tenemos una gran ventaja en cuando al bono demográfico, ya que la mayor parte de nuestra población es joven y bien podemos hablar de que Nicaragua cuenta con una juventud con cultura de conexión, aun cuando la mayor parte de sus accesos a la red no están vinculados con temas educativos y otros sustantivos, sino más bien dirigido a las redes sociales.

#### **1.4. Objetivo general y objetivos específicos.**

##### **1.4.1- Objetivo general**

**OG1-** Realizar un análisis sobre las tecnologías disponibles para las redes de acceso de muy alta velocidad, el internet móvil de banda ancha, así como de las mejores prácticas regulatorias y comerciales para determinar las mejores opciones para el entorno nicaragüense.

##### **1.4.2- Objetivos específicos.**

**OE 1-** Analizar y comparar las tecnologías disponibles y determinar las mejores opciones para la implementación de redes de acceso de muy alta velocidad e internet móvil de banda ancha en el entorno nicaragüense.

**OE 2-** Proponer prácticas regulatorias para el fomento de la banda ancha en Nicaragua.

**OE 3-** Determinar las mejores prácticas comerciales para la sostenibilidad de redes de acceso de muy alta velocidad e internet móvil de banda ancha en Nicaragua.

## 1.5. Marco Teórico.

El desarrollo de redes de telecomunicaciones de banda ancha es esencial para la comunidad nacional si se quiere alcanzar el desarrollo social y económico, así como la sostenibilidad de los servicios de telecomunicaciones, entre ellos el acceso al Internet.

Una conexión de banda ancha de alta calidad puede caracterizarse con los siguientes parámetros (Documento 1/188, Qualcomm USA, 2017):

- Muy alta velocidad.
- La red debe entregar los datos a una muy alta velocidad.
- Baja latencia
- La red debe tener una mínima cantidad de retardo.
- Alta capacidad.
- La red debe permitir una cantidad de datos acorde a las necesidades del cliente.
- Alta disponibilidad.
- La red debe sufrir pocas interrupciones.
- Económica y escalable.
- La red debe ser rentable en el despliegue, mantenimiento, etc.
- Ampliable según aumenta la demanda de banda ancha.

Hoy día están en disponibilidad nuevas tecnologías para la implementación de redes de acceso de muy alta velocidad e internet de banda ancha que requieren de procesos de selección fundamentados a fin de garantizar una adecuada inversión, lograr las prestaciones arriba indicadas y desde luego la posibilidad de una migración expedita hacia redes 5G.(Documento 1/189, “Evolution in mobile broadband networks, for its consideration in the reports”, Telefon AB – LM Ericsson.2017)

Adicionalmente surge el aspecto de regulación de infraestructuras lo que desde luego implica la observancia de nuevas normas en el despliegue de redes y que casi siempre están vinculados a nuevas políticas regulatorias, vinculadas principalmente a redes inalámbricas y la infraestructura de soporte a las mismas. (Documento SG1RGQ/90, “Desarrollo de un marco reglamentario en el contexto de las redes de la próxima generación (NGN) en Nepal”, Autoridad de las Telecomunicaciones de Nepal. 2015). Este punto es fundamental principalmente en ciudades en donde la infraestructura está pensada para proporcionar prestaciones de ciudad inteligente en sectores tales como las telecomunicaciones, energía, transporte, educación, salud y seguridad.

Si bien es cierto que los aspectos vinculados a las tecnologías y la regulación se constituyen en fundamentales para el despliegue exitoso de redes de banda ancha ya sean estas de acceso o transporte, el aspecto comercial vinculado a nuevos modelos de negocios constituye un tercer eje prioritario de conformar a detalle a

fin de garantizar la sostenibilidad de los servicios a mediano y largo plazo. Como marco referencial están los Código de Comercio de los países y desde luego los Códigos de Prácticas Comerciales de los diferentes operadores que han sido aprobados y registrados ante los entes reguladores sectoriales. Hoy día en un mundo globalizado, las prácticas comerciales están alineados a los contenidos del Acuerdo General de Comercio de Servicios de la Organización Mundial de Comercio (Anexo 1B. Anexo sobre Telecomunicaciones y Anexo relativo a las Negociaciones sobre Telecomunicaciones Básicas.OMC. Enero.1995.), acuerdos comerciales regionales y tratados comerciales bilaterales en vigencia y por tanto las empresas de telecomunicaciones deben innovar en sus ofertas comerciales pero respetando el marco establecido por este acuerdo general.

Es relevante mencionar que para poder desplegar una red de acceso de banda ancha, es necesario superar muchos obstáculos como la política, las redes existentes, la infraestructura existente, las repercusiones sociales y económicas, los temas educativos, la sensibilización y el conocimiento, las zonas rurales y distantes, los condicionamientos del espectro radioeléctrico, el nivel de vida, la democracia digital, la inclusión financiera y la inclusión digital.

Las tecnologías y estrategias de implantación de las redes de acceso de banda ancha de telecomunicaciones son múltiples y variadas, como se ve en las numerosas experiencias de los países. Las nuevas fronteras de Internet de las cosas (IoT) y de las redes domésticas hacen necesaria la optimización de los soportes físicos y de la utilización del espectro radioeléctrico a fin de poder soportar nuevos servicios que demandan un gran ancho de banda, pero teniendo en cuenta lo existente y los costos. La Comisión de Banda Ancha (Documentos Finales. 13ª reunión de la Comisión de la Banda Ancha para el Desarrollo Sostenible. Dubai.2016) de la UIT insiste en que las redes y los servicios de banda ancha son esenciales para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas y que se requiere el esfuerzo público/privado para su implementación exitosa. En tal sentido insiste la Comisión que las políticas públicas y las medidas reglamentarias contribuyen en gran medida a acelerar el crecimiento de los servicios, facilitando el acceso a las redes troncales, a los servicios de telecomunicaciones y las TIC, tanto en el ámbito urbano como en el rural.

Visto lo anterior, Nicaragua hoy día enfrenta los siguientes retos en el Sector de las Telecomunicaciones:

**Reto 1:** La masificación de la disponibilidad y acceso a las redes de banda ancha que son influidos directamente por la baja penetración de la infraestructura asociada a la misma. .

**Reto 2:** El incremento en la adopción de servicios de telecomunicaciones afectado por el bajo ingreso per cápita (Demanda real) y desde luego por la reducida disponibilidad (Oferta) geográfica vinculada a los mapas de índice de pobreza.

**Reto 3:** El incremento en el uso de la Banda Ancha, afectado por la limitada “Alfabetización Digital” y la baja generación de contenido nacional y local.

**Reto 4:** Los nuevos entornos por la plena vigencia de tratados comerciales tales como el DR-CAFTA y poco margen para la innovación en los despliegues de red y modelos de negocios, en tanto hay que adaptar la intervención a la realidad socioeconómica (bajo ingreso per cápita y limitado poder adquisitivo del usuario final) y marco regulatorio y de gestión administrativa del país restrictivo en muchos aspectos.

Indudablemente para la superación de estos retos, se requiere incidir sobre ciertos aspectos que se enlistan a continuación y que son necesarios para la implantación y expansión de la Banda Ancha en Nicaragua:

- Coherencia en las inversiones en tecnologías e infraestructuras.
- Mejora del clima de negocios mediante la remoción de obstáculos y barreras administrativas. (Gobierno Central y Gobiernos Municipales).
- Estímulos e incentivos relacionados con el CAPEX y OPEX de los operadores.
- Reducción de costos regulatorios por parte de TELCOR que permitan una mejor oferta a la demanda servible, principalmente vinculado a la gestión y administración del espectro radioeléctrico.
- Cooperación de ENATREL como operador neutral en el despliegue de infraestructura de transporte de Banda Ancha.
- Incrementar la potencialidad de adquisición de terminales por parte de la demanda servible mediante la reducción o eliminación del Impuesto Selectivo al Consumo (ISC).

## 1.6. Variables.

- **Tecnológicas.** Las nuevas tecnologías disponibles propician la implementación de redes heterogéneas altamente versátiles para la implementación de servicios y aplicaciones.
- **Regulatorias.** Las nuevas prácticas regulatorias vinculadas a la atribución de nuevas bandas de frecuencias radioeléctricas, así como a esquemas novedosos en cuanto a su asignación y explotación, posibilitan la rápida implementación de redes de acceso de muy alta velocidad internet móvil de banda ancha.
- **Comerciales.** La innovación en los esquemas de negocios y comercialización de nuevos servicios soportados en las redes de acceso de muy alta velocidad y el internet móvil posibilita la incorporación de una cantidad cada vez mayor de población a este tipo de redes y servicios.

## **Capítulo 2.**

### **Tecnologías disponibles para la banda ancha móvil en Nicaragua.**

#### **2.1- Banda ancha y redes móviles.**

En el sector de las telecomunicaciones, la Banda Ancha se discutió desde la década de 1980 y fue principalmente dirigida a la transmisión de video digital a través de redes de telecomunicaciones. Sin embargo, el crecimiento de Internet desde la segunda mitad de la década de 1990 redefinió el término banda ancha para referirse al acceso de banda ancha a la Internet. Entonces, la difusión de banda ancha, definida como la tecnología que permite la transferencia de datos a muy alta velocidad, es inseparablemente vinculada al desarrollo de redes de acceso a la Internet y en el último decenio marcadamente asociada a las redes móviles de velocidad creciente, que han ido evolucionando mediante el desarrollo e implementación de las denominadas generaciones de tecnologías móviles, las que trataremos brevemente a continuación, resaltando que las mismas cuentan con prestaciones crecientes y por tanto mayor potencialidad para soportar gran variedad de servicios y aplicaciones.

#### **2.2- Tecnologías desplegadas y disponibles en Nicaragua.**

Hoy día las tecnologías de acceso móvil inalámbrico han avanzado a tal punto que hay que tenerlas en cuenta como competidoras en el mercado de bucle local de banda ancha fija. La cobertura geográfica, el ancho de banda disponible, las técnicas de corrección de errores y las plataformas multiservicios han influido en estas transformaciones. Es por tanto importante y lo haremos a continuación, el Identificar las tecnologías disponibles para Nicaragua y determinar las mejores opciones para la implementación de redes de acceso de muy alta velocidad e internet móvil de banda ancha en nuestro país.

En Nicaragua a partir de la salida del mercado nacional de Bellsouth y la entrada de Telefónica (Movistar) en el mes de septiembre del año 2004, se procedió a la sustitución de la tecnología CDMA20001x por tecnología GSM y GPRS/EDGE. A partir del año 2006, tanto Telefónica (Movistar) como ENITEL (Claro) iniciaron un proceso de modernización de sus redes GSM y GPRS/EDGE incorporando tecnología HSPA y HSPA+, en tanto ambas empresas tenían claramente determinado en sus planes de negocios el ofrecer una mayor variedad de servicios de valor agregado como uno de los ejes principales de su estrategia comercial y un acceso al Internet de mayor velocidad, lo que permitiría a dichas empresas lograr ingresos muy importantes por contenidos y servicios de información. Así mismo, en la medida que las grandes operaciones de estos dos operadores en los principales mercados de América Latina han iniciado su migración hacia la tecnologías LTE (2008 en adelante) y LTE-A (2012 en adelante), en atención a

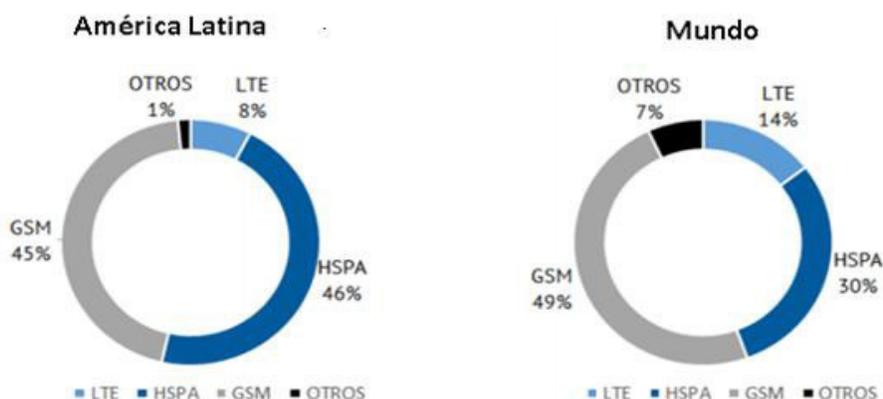
las economías de escala y a potenciar su oferta de servicios y por tanto fuente de ingresos, ambas empresas inician en Nicaragua, de forma paulatina, la migración de sus redes hacia esta tecnología. Ambas empresas (Movistar y Claro) empezaron a ofertar su tecnología LTE a partir del primer semestre del año 2015.

Así mismo, otras empresas nacionales (IDEAY, ALFANUMERIC, etc.) aglutinadas en CANITEL (antes AIN), han realizado inversiones en tecnología WiMAX y LTE (FDD y TDD) en sus servicios fijos y otras como Yota que ha invertido en una red WiMAX 802.16e / 802.16m y últimamente iniciando una migración operativa hacia LTE y COOTEL que ha centrado sus inversiones en la tecnología McWiLL (Multi-Carrier Wireless Information Local Loop) para el despliegue de su red inalámbrica que es una evolución de la tecnología SCDMA (Synchronous Code Division Multiple Access).

Las tecnologías inalámbricas actualmente disponibles para servir de base al desarrollo de las redes de acceso de muy alta velocidad e internet móvil de banda ancha (velocidades  $\geq 512$  Kbps) en el entorno nicaragüense, en tanto ya cuentan con despliegue físico en el país son:

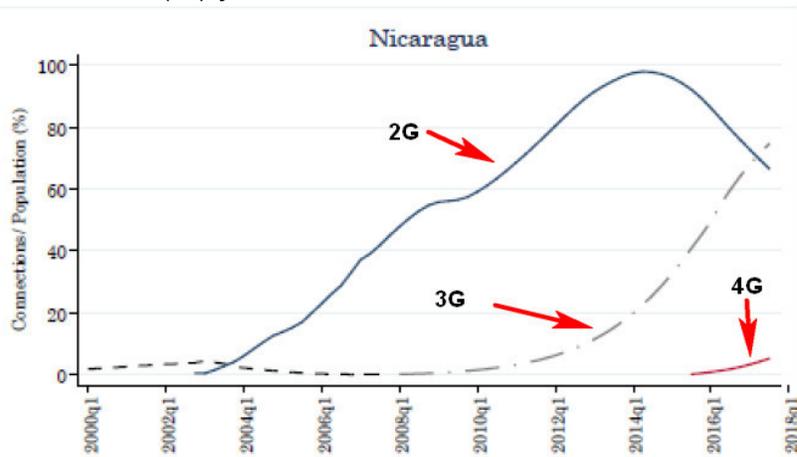
- ✓ HSPA
- ✓ LTE (TDD y FDD)
- ✓ WiMAX 802.16e y 802.16m
- ✓ McWiLL

Se muestra a continuación en la **gráfica 1**, la participación de tecnologías móviles en América Latina y el mundo en el año 2015, en donde evidencia la distribución fáctica en América Latina y el mundo, de tecnologías móviles en donde predominan hoy día, GSM/GPRS, HSPA y LTE.



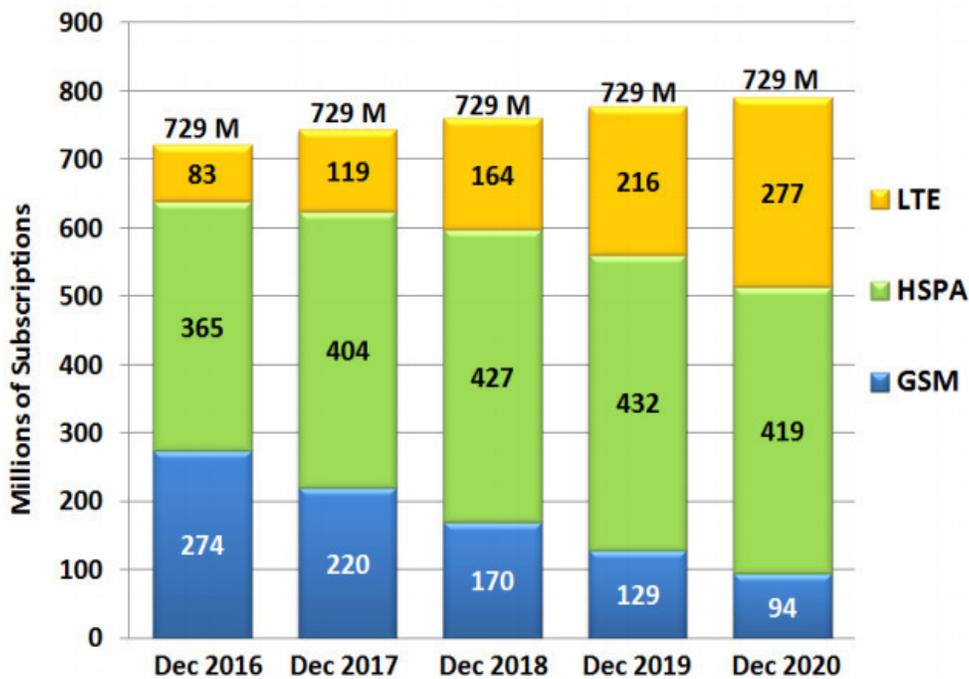
**Gráfica 1. Participación de tecnologías móviles en América Latina y el mundo, 2015.**  
Fuente: Ovum, 2016. UIT, 2017.

A continuación se muestra en la **gráfica 2** las conexiones existentes por generación de tecnología móvil en Nicaragua, en donde la variable vertical indica: Conexiones / Población (%) y la variable horizontal: año/trimestre.



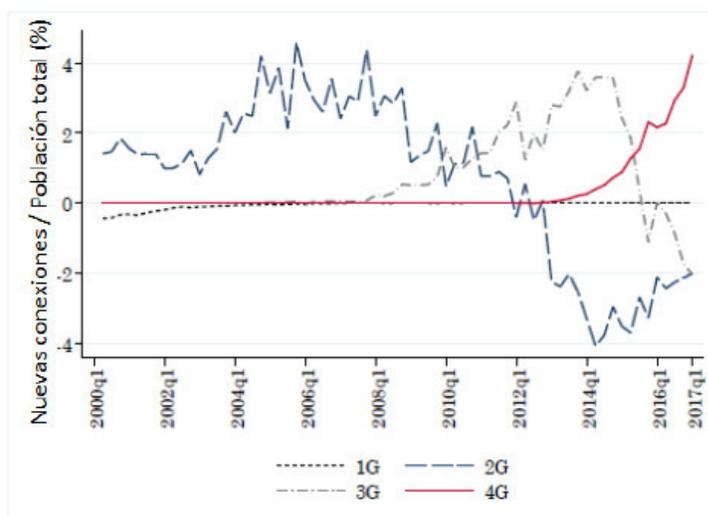
**Gráfica 2. Conexiones existentes por generación de tecnología móvil en Nicaragua.**  
 Fuente: La Evolución de las Telecomunicaciones Móviles en América Latina y el Caribe.  
 Fabricio D'almeida y Diego Margot, 2018.

Así mismo en la **gráfica 3** se evidencia la tendencia de dichas tecnologías en el período 2016-2018 y su pronóstico para el período 2019-2020, lo que desde luego se deriva de las inversiones y despliegues programados y ejecutados en el período 2016-2020 por diversos operadores.



**Gráfica 3. Pronóstico de Banda Ancha Móvil, América Latina.**  
 Fuente: White paper Análisis de las recomendaciones de la UIT sobre el espectro en la región América Latina. 5G Americas, abril de 2016. OVUM, 2015.

Fabricio D'almeida y Diego Margot (2018), afirman que “que el ciclo de vida de cada nueva tecnología se está acortando. Este fenómeno, cuando las tecnologías más nuevas superan las tecnologías más antiguas a un ritmo más rápido, haciendo que el último período de dominación tecnológica sea cada vez más corto”. Esta tendencia la muestra en la **gráfica 4** mostrada a continuación, en donde se evidencia que el mayor ritmo de crecimiento de conexiones está en la tecnología 4G, en detrimento de otras tecnologías móviles.



**Gráfica 4. Nuevas conexiones trimestrales por generación de tecnología móvil.**  
**Fuente: La Evolución de las Telecomunicaciones Móviles en América Latina y el Caribe.**  
**Fabricio D'almeida y Diego Margot, 2018.**

Igualmente Fabricio D'almeida y Diego Margot (2018), afirman que “la adopción de la segunda generación (2G) de la tecnología de telefonía móvil comenzó a acelerarse en el primer trimestre de 2004, cuando la tasa de nuevas conexiones alcanzó la marca del 2% de la población por primera vez. Esta tasa se mantuvo por encima del nivel del 2% hasta el primer trimestre de 2009, lo que hace que la expansión de 2G sea la más larga de las cuatro, a 5 años del total. En el primer trimestre de 2010, la tasa de conexiones nuevas de la tercera generación superó la tasa de 2G por primera vez. Sin embargo, solo un año después, la expansión 3G comenzó a acelerarse. La marca del 2% de nuevas conexiones para la tercera generación se alcanzó en el cuarto trimestre de 2011 y se mantuvo por encima de este nivel hasta el tercer trimestre de 2015. Por lo tanto, el período de expansión 3G duró casi cuatro años. Finalmente, la desaparición de la expansión 3G, al caer por debajo del 2% en el tercer trimestre de 2015, fue seguida por la adopción de la cuarta generación, que alcanzó la marca del 2% a más tardar en el primer trimestre de 2016”.

En la **sección 2.8**, se muestra un resumen y comparativa de características de las tecnologías disponibles en el mercado de las telecomunicaciones en Nicaragua y una selección de la tecnología que a mi criterio constituye la mejor para el futuro desarrollo de redes de acceso de muy alta velocidad y de internet de banda ancha en Nicaragua.

### **2.3- El desarrollo y crecimiento de Redes de Banda Ancha en Nicaragua.**

Para promover el desarrollo social y económico de los ciudadanos, se requiere de una infraestructura y esquemas tarifarios que promuevan el acceso a servicios y recursos informativos diversos, y es evidente que la convergencia de las redes y sistemas de telecomunicaciones han acelerado el impacto y la demanda en materia de acceso a información y contenidos, indispensables para el funcionamiento de la sociedad.

Una infraestructura de red y aplicación de las tecnologías de información desarrolladas y adaptadas a las condiciones regionales, nacionales y locales, que utilicen la banda ancha, sin duda alguna no solo permitirá, sino que dinamizará el progreso y desarrollo económico sostenible y social de los países, así como el bienestar de todas las personas.

Debemos partir del hecho que la banda ancha móvil se ha convertido en un servicio indispensable para el usuario final, lo que implica que el volumen de tráfico de datos que genera este tipo de servicios sea mucho mayor en comparación con otros servicios proveídos al usuario. Eso implica un compromiso en cuanto a la infraestructura de red, que deberá funcionar de acuerdo con los niveles de calidad de servicio y experiencia comprometida por los operadores con los usuarios.

Para finales del año 2017, el Estado de Nicaragua a través de ENATREL ha invertido en el marco de desarrollo del SIEPAC (Sistema de Interconexión Eléctrica de Panamá y América Central) en redes troncales y ha concluido el montaje de 1,470 km de fibra óptica con tecnología DWDM (Dense Wavelength Division Multiplex), que forman parte de la red regional de fibra óptica del SIEPAC administrada por REDCA. Dicho cable de fibras forma parte del cable de guarda de la red de transmisión eléctrica de América Central y se tiene previsto la instalación de 1,674 km adicionales en derivaciones nacionales para lograr el establecimiento de una red troncal que pueda ser usada tanto por el Gobierno Central como operadores comerciales que tengan interés en este tipo de infraestructura. Actualmente conecta las cabeceras departamentales del pacífico y la zona central norte y sur. La ampliación mencionada permitirá conectar a 70 municipios de dichas zonas geográficas. La configuración básica del sistema es con las estaciones principales equipadas con MSPP (Multi Switching Provisioning Platform) y las estaciones de enlace con MSSP (Multi switching Service Platform), lo que permite la formación de anillos en la red del tipo MSSP. Está diseñada para una confiabilidad de 99.999 por ciento. Los transmisores, receptores y regeneradores emplean EDFA (Erbium Dropped Fiber Amplifier) complementada por Raman Amplificativos para garantizar la calidad de las señales ópticas para anchos de banda de 2.5 Gbps y 10 Gbps.

La red se basa en un cable de 36 fibras, 12 bajo el estándar G 652d y 24 bajo el estándar G655c (para operaciones comerciales), especialmente diseñado para aplicaciones de larga distancia y equipado con tecnología DWDM. Opera con

terminales SDH, diseñada para todo tipo de necesidades de servicio de circuitos de tipo TDM en velocidades que pueden ser: 2 Mbps, 34 Mbps, 45 Mbps, 155 Mbps, etc. y circuitos del tipo Ethernet IP con velocidades de 100 Mbps a 1 Gbps. Sin embargo se oferta fibra oscura para operadores que quieran iluminarla con sus propios equipos. Esta red de fibra constituye una importante red troncal para viabilizar el transporte del tráfico inyectado por las redes de acceso.

Por parte de los operadores privados aglutinados en CANITEL se han realizado inversiones de redes troncales de fibra óptica y para finales de 2017 ya tenían instalados 13,000 km de fibra óptica con tecnología DWDM, logrando alcanzar un 95 % de las cabeceras municipales del país. (CANITEL 2018), así mismo inversiones en ampliación y modernización de las redes móviles, siendo los principales inversores TCN y ENITEL. El Banco Central de Nicaragua registra un total de 177.4 millones de dólares estadounidenses en el año 2017, lo que constituye un 19.8 % del total de las inversiones extranjeras directas en Nicaragua.

Ante el crecimiento del tráfico internacional en tránsito y a terminar en las redes nacionales, la inversión en redes de banda ancha tanto de transporte como en acceso se hace rentable en tanto el costo por bit se reduce de forma exponencial. Claudio Bermúdez (2015), antiguo vicegerente del ICE (Instituto Costarricense de Electricidad) y actual gerente de COMUNICA, empresa que ha resultado de la asociación de ENATREL con el ICE, ha manifestado *“que las inversiones de dicha empresa tienden a aumentar la capacidad de transporte para tráfico internacional y se crea la infraestructura idónea para proveer facilidades de crecimiento de alta disponibilidad para los servicios de banda ancha y cooperación, destacando el importante crecimiento de tráfico de banda ancha internacional al pasar de 600 gigabyte por segundo en el 2013 a 1 terabyte por segundo para finales del 2014, lo que equivale a un crecimiento sostenido de más del 60% anual para cada uno de nuestros países, siendo esta una gran ventaja comparativa porque permite el desarrollo de nuevos e innovadores servicios”*.

Desde el punto de vista de generación de políticas públicas relacionadas al fomento de la banda ancha, el Gobierno de Nicaragua, ha suscrito con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), un crédito por US 50 millones de dólares estadounidenses para el fomento de la banda ancha y que está en ejecución (Contrato de Préstamo No. 3612/BL-NI y No. 3612/KI-NI, NI-L1090: Programa de Banda Ancha). El objetivo general de este proyecto es aumentar la penetración de la banda ancha en Nicaragua, con la meta final de contribuir al desarrollo económico y social del país. Los objetivos específicos son (i) ampliar la infraestructura (redes troncales y de última milla); (ii) actualizar el marco regulador para asegurar que las redes puedan utilizarse en condiciones justas de precio y calidad; y (iii) aumentar las capacidades de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) para los ciudadanos y las instituciones públicas.

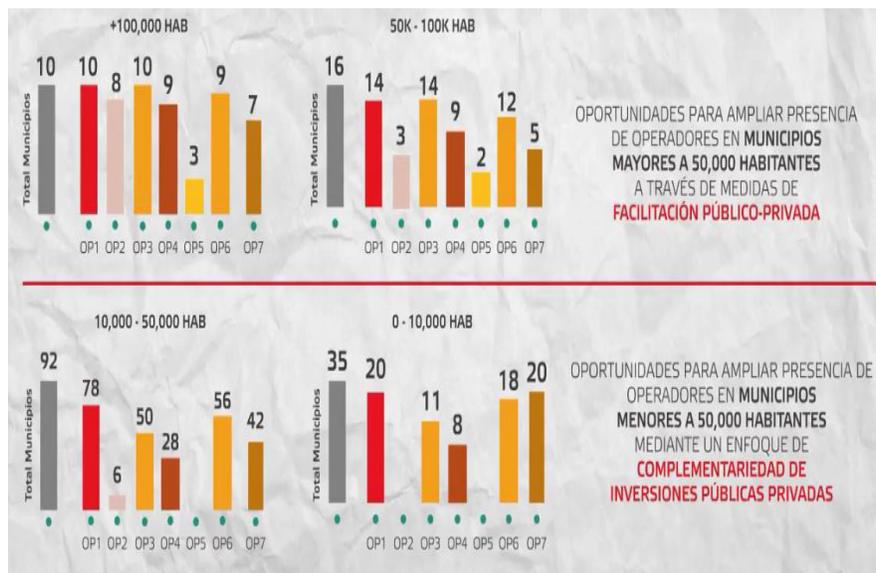
Diez Vega (2017) señala que “no hay discusión sobre la necesidad de desplegar las nuevas infraestructuras, pero sí sobre la urgencia de dicho despliegue. Pero

las inversiones precisas sólo se llevarán a cabo si se logran poner en marcha modelos de negocio que permitan generar los flujos de caja necesarios. Si la demanda de servicios se fomenta y las autoridades regulatorias consideran como prioridad la disponibilidad de nuevas infraestructuras, se podrá avanzar a mayor velocidad en el despliegue de las infraestructuras futuras de banda ancha”. En tal sentido se requiere una modernización regulatoria con especial énfasis en la administración, gestión y control del espectro radioeléctrico y desde luego la viabilización de nuevos modelos de negocios y de prestación de servicios.

Es importante mencionar que el desarrollo actual de las redes de telecomunicaciones en Nicaragua cuenta tanto de la inversión privada como de la inversión pública. No obstante el desarrollo de redes móviles e inversiones en las mismas han sido impulsados por el sector privado (**ver tabla 1**).

Las siguientes figuras y gráficas proporcionadas por CANITEL, contienen información y estadísticas relativas a las empresas que conforman dicha cámara.

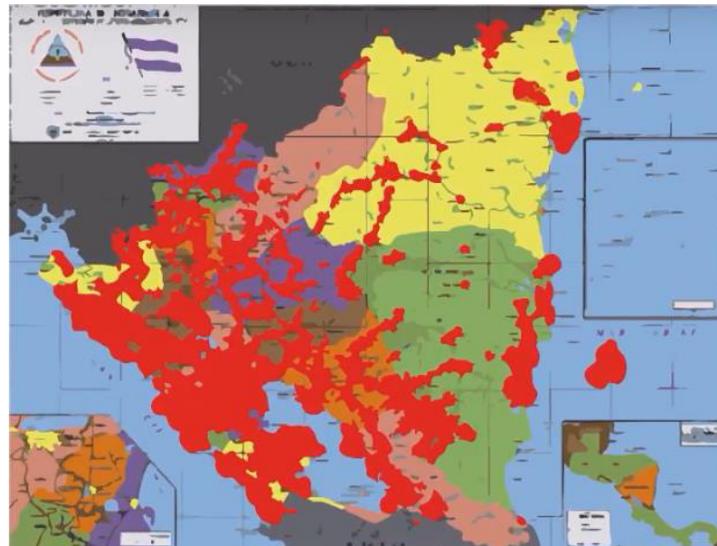
En la **gráfica 5** se muestra la oferta de banda ancha por operador (sin precisarlo) a nivel de cobertura de cabezas municipales y por rango de población. En la misma figura se transparenta que las inversiones de los privados en comunidades con poblaciones mayores de 50 mil habitantes requieren la “facilitación” público-privada, lo que debe leerse como una regulación que promueva la inversión, ya que hay demanda servible, en tanto en las comunidades con poblaciones menores de 50 mil habitantes se habla de complementariedad de inversiones público-privadas, es decir coinversiones o financiamientos blandos a través del Fondo de Inversión de las Telecomunicaciones (FITEL)



**Gráfica 5. Cobertura banda ancha inalámbrica a nivel municipal y por rango poblacional.**

**Fuente: CANITEL. 2017.**

En relación a la cobertura geográfica mediante tecnologías inalámbricas (GSM-GPRS-HSPA y LTE), CANITEL proporciona la cobertura superpuesta (Ver **figura 2**) de todos sus operadores.



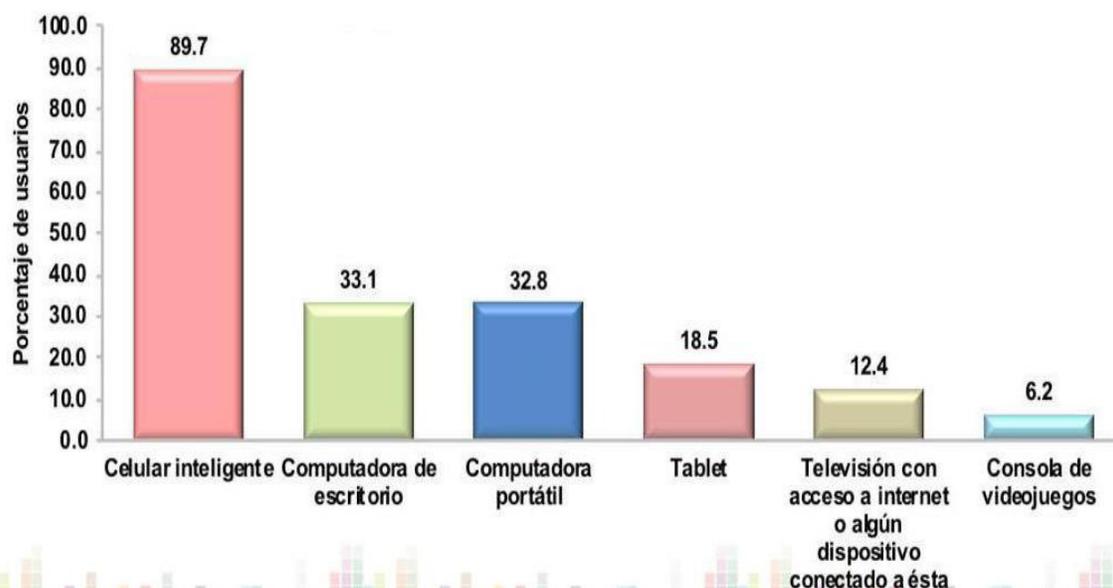
**Figura 2. Cobertura geográfica superpuesta (voz, datos e internet) tecnologías inalámbricas (GSM-GPRS-HSPA y LTE) de operadores CANITEL.**  
Fuente: CANITEL.2017.

En la **figura 3** se muestra datos relativos a líneas, suscriptores únicos, conexiones a internet móvil, la penetración de teléfonos inteligentes, las conexiones 4G existentes a 2017 y cuya tendencia es crecer muy rápidamente (90 % anual).



**Figura 3. Indicadores del mercado de telefonía e internet de banda ancha mediante redes de acceso móvil.**  
Fuente: CANITEL 2018.

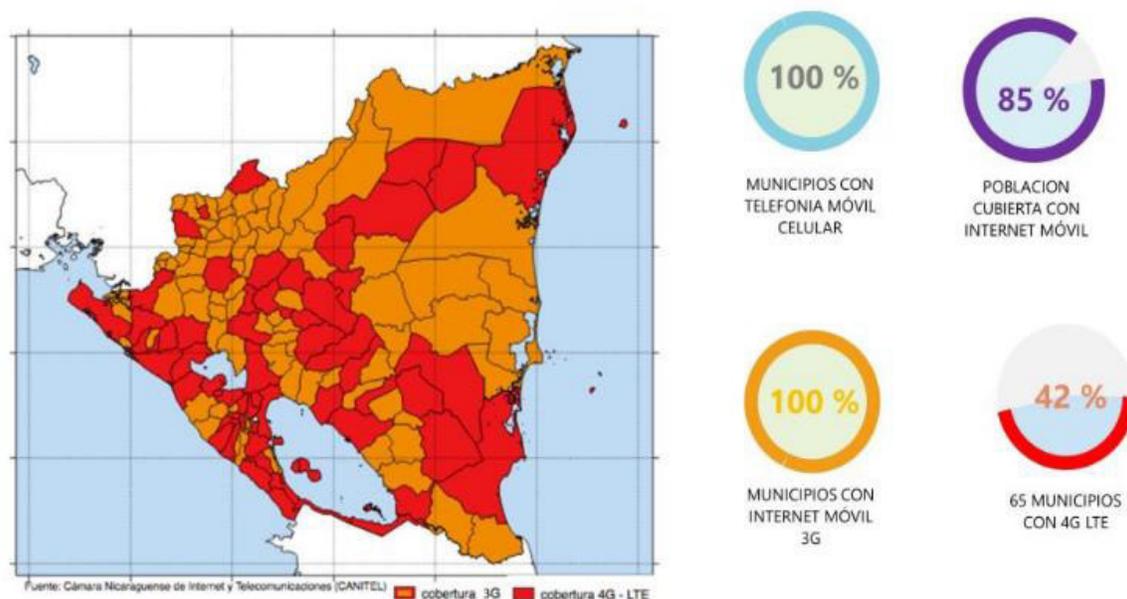
Un aspecto a resaltar de la **figura 3** es que las conexiones de internet móvil alcanzaron los 2.1 millones a mediados del año 2018 y continúa con una tendencia creciente entre el 8% y el 10 % anual (CANITEL 2018), en tanto la incorporación de teléfonos inteligentes ya sobrepasa los tres millones de terminales (siendo 400 mil de ellos conexiones de banda ancha con tecnología LTE y WiMAX, siendo LTE predominante) y continúa en aumento en la medida que los precios de los terminales y el acceso a dicho servicio se hacen más accesibles a la población. Por otro lado, la UIT (2017) señala que las tendencias mundiales de acceso al Internet por dispositivo de conexión a finales del año 2017 eran las mostradas en la **gráfica 6**, lo que nos puede dar una idea de la tendencia creciente en el futuro inmediato del acceso por teléfonos celulares inteligentes en Nicaragua.



*Nota: Los usuarios pueden utilizar más de un dispositivo de conexión.*

**Gráfica 6. Usuarios de Internet según dispositivo de conexión.**  
**Fuente: UIT (2017)**

Finalmente, CANITEL ha proporcionado un mapa de cobertura de telefonía e internet de banda ancha mediante redes de acceso móviles, que se muestra en la **figura 4**. Es importante hacer notar que la cobertura efectiva se da en el área urbana de las cabeceras municipales, lo que los operadores denominan la demanda servible.



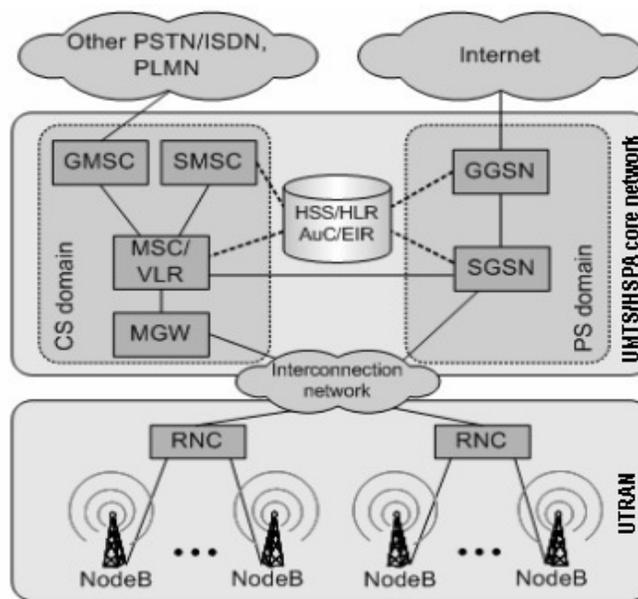
**Figura 4. Mapa de cobertura de telefonía e internet de banda ancha mediante redes de acceso móviles con tecnologías 3G y 4G-LTE.**  
Fuente: CANITEL 2018.

Más adelante veremos detalles de las tecnologías inalámbricas que proporcionan velocidades iguales o superiores a 512 Kbps, con presencia en el mercado de las telecomunicaciones en Nicaragua.

#### 2.4- Tecnología HSPA (High Speed Packet Access).

HSPA (Acceso a Paquetes a Alta Velocidad) y su evolución a HSPA+ (plus) es la tecnología de banda ancha móvil más ampliamente desplegada en el mundo. (5G-Américas, 2012). El término HSPA se refiere a dos protocolos específicos utilizados en tándem, acceso a paquetes de enlace descendente de alta velocidad (HSDPA) y acceso a paquetes de enlace ascendente de alta velocidad (HSUPA). (Rohde & Schwarz, 2015).

La tecnología HSPA ofrece un ancho de banda mejorado para el usuario final, una capacidad de red mejorada para el operador y una interactividad mejorada para las aplicaciones de datos. HSPA alcanza velocidades de datos hasta 1-2 Mbps en la práctica y reduce la latencia de la red por debajo de 100 ms. Sus mejoras como la tecnología HSPA+ introduce modulación de orden superior, 64QAM en el enlace descendente y 16QAM en el enlace ascendente, la tecnología MIMO, agregación de portadoras y mejoras de arquitectura en los enlaces ascendente y descendente. HSPA+ se introdujo en 3GPP Rel.7 y es una combinación de HSDPA (3GPP Rel.5) y HSUPA (3GPP Rel.6). En la **figura 5** se muestra la arquitectura de una red HSPA y en ella se manifiesta la coexistencia de los dominios de conmutación de paquetes (PS) y conmutación de circuitos (CS).



**Figura 5. Arquitectura de red UMTS/HSPA.**

**Fuente: Janevski Toni. Internet Technologies for Fixed and Mobile Networks. 2015.**

Identificamos los elementos principales mostrados en la **figura 5**:

- AuC.** Authentication Center.
- EIR.** Equipment Identity Register.
- GGSN.** Gateway GPRS Support Node.
- GMSC.** Gateway MSC
- HLR.** Home Location Register
- HSS.** Home Subscriber Server
- MGW.** Media Gateway
- MSC.** Mobile Switching Center.
- RNC.** Radio Network Controller.
- SGSN.** Serving GPRS Support Node.
- UTRAN.** UMTS Terrestrial Access Network.
- VLR.** Visitor Location Register.

Significado de otras siglas que aparecen en la **figura 5**:

- ISDN.** Integrated Services Digital Network.
- PLMN.** Public Land Mobile Network.
- PSTN.** Public Switched Telephone Network.
- UMTS.** Universal Mobile Telecommunications System.

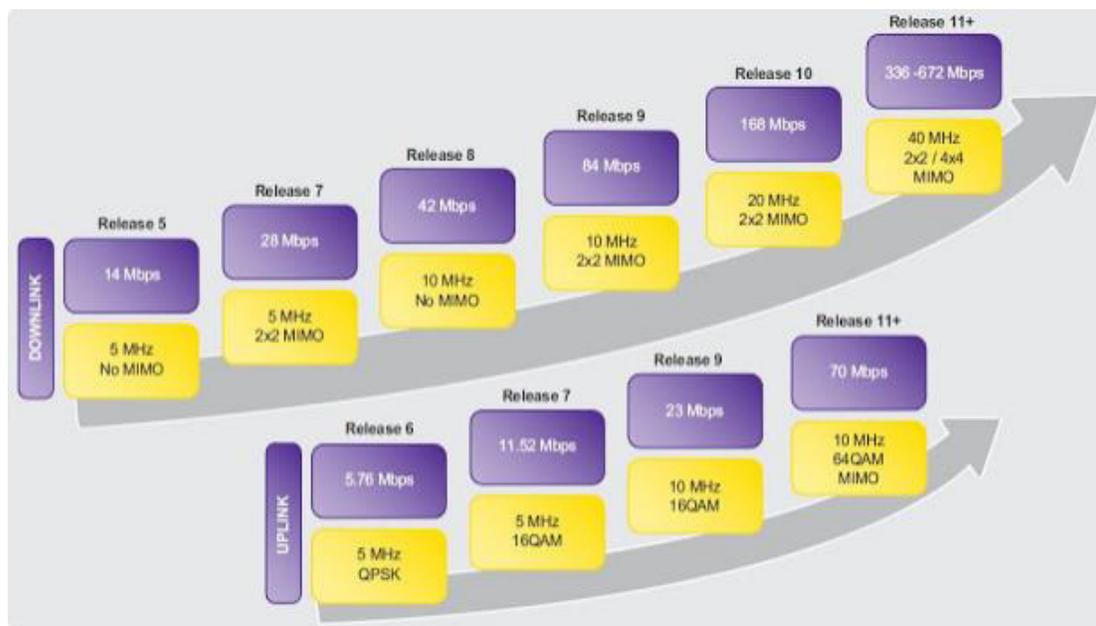
Otras versiones de 3GPP para UMTS incluyeron tasas de bits más altas en el enlace descendente y el enlace ascendente. De esa manera, el Acceso a Paquetes de Enlace Descendente de Alta Velocidad (HSDPA) se especificó en la

versión 5 de 3GPP, es un servicio de paquetes de datos de alto rendimiento que ofrece velocidades teóricas máximas de 14 Mbps. HSDPA también tiene una latencia significativamente menor medida en algunas redes tan bajas como 70 ms en el canal de datos. Además, con HSUPA (acceso a paquetes de enlace de alta velocidad), la latencia (versión 7) se redujo a menos de 50 ms. HSDPA y HSUPA dieron el acceso a paquetes de alta velocidad (HSPA).

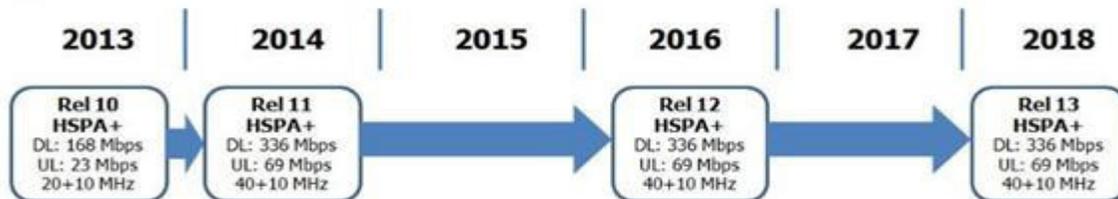
HSPA + se introdujo en su versión 6 con una velocidad de 14,4 Mbit/s en el enlace descendente y 5,76 Mbit/s en el enlace ascendente y en cada nueva versión se mejoran la velocidad de los enlaces ascendentes y descendentes, se reducen la latencia, se aumentan el número de conexiones simultáneas de datos, y se dispone de una mayor resistencia a interferencias en relación a las Universal Mobile Telecommunications System (UMTS).

Una limitación importante para negocios futuros, está en no poder soportar los requerimientos del IoT y las necesidades de gestión vinculadas a ciudades inteligentes, limitación que comparte con las demás tecnologías móviles inalámbricas actuales.

Se muestran a continuación en las **figuras 6 y 7**, una evolución de la velocidad de transferencia de datos y el ancho de banda disponible en las diferentes versiones de HSPA.



**Figura 6. Evolución de la velocidad máxima de datos con un mayor ancho de banda. Versiones 1 a 11 de HSPA.**  
**Fuente: NSN Whitepaper on HSPA Evolution. Blog.3g4g.co.uk. 2010.**



**Figura 7. Evolución de la velocidad máxima de datos con un mayor ancho de banda. Versiones 10 a 13 HSPA.**

**Fuente: 5G Américas. HSPA y HSPA+. 2018**

El salto que existe entre las velocidades de transmisión de GPRS y HSPA, no sólo está dado por el cambio en la modulación, sino que por modificaciones como las nuevas técnicas de adaptación de enlace, el cambio en la estructura de los canales físicos (con la reducción del tamaño del frame) y los nuevos esquemas de modulación y de codificación. HSPA+, por su parte, mantiene los realizados por HSPA y añade nuevos canales dedicados en el uplink que permiten un aumento en la velocidad de transmisión en esta dirección.

En la **Tabla 2** se muestran las velocidades de bits máximas en los enlaces descendentes y enlaces ascendentes de la tecnología UMTS / HSPA en sus diferentes versiones.

3GPP mobile broadband technology	Maximum downlink bitrate (Mbit/s)	Maximum uplink bitrate (Mbit/s)
UMTS / HSPA Release 6	14.4	5.76
UMTS / HSPA + Release 7 (64 QAM downlink, 16 QAM uplink)	21.1	11.5
UMTS / HSPA + Release 8 (2x2 MIMO, 64 QAM downlink, 16 QAM uplink)	42.2	11.5
UMTS / HSPA + Release 9 (2x2 MIMO, 64 QAM downlink, 16 QAM uplink). Dual carrier i.e. 2 x 5 MHz	84.4	23
UMTS / HSPA + Release 10 (2x2 MIMO, 64 QAM downlink, 16 QAM uplink). Dual carrier i.e. 4 x 5 MHz	168.8	46
UMTS / HSPA + Release 11 (4x4 MIMO, 64 QAM downlink, 16 QAM uplink, up to 8 non-contiguous carriers i.e. 8 x 5 MHz).	675.2	184

**Tabla 2. Velocidades de bits máximas en los enlaces descendentes y enlaces ascendentes de la tecnología UMTS / HSPA.**

**Fuente. 3GPP Broadband Evolution. Whitepaper Mobile Broadband Explosion. Rysavy Research. 2011.**

En Nicaragua se alcanzan normalmente un promedio del 65 % de las velocidades de bits máxima en los enlaces ascendentes y hasta un 75 % de las velocidades de

bits máxima en los enlaces de bajada (Versión 10 3GPP). Las tasas teóricas de bits agregadas de UMTS / HSPA y UMTS / HSPA +, son a las que en el mercado de las telecomunicaciones móviles se han referido como 3.5G y 3.75G, y se muestran en la misma tabla. Sin embargo, debemos de tener en cuenta que éstas son sólo las velocidades de bits máximas teóricas en un operador determinado (o los transportistas si se agregan), lo que nunca se puede lograr en la práctica. Las velocidades reales de bits que están disponibles para los usuarios móviles individuales pueden diferir en mucho de estos números, simplemente porque la realidad de las redes desplegadas es que muchos usuarios en la mayoría de los casos comparten simultáneamente los recursos de frecuencias radioeléctricas (canales de radio) asociados a una determinada radio base.

Esta tecnología que alcanza actualmente un 45 % en el parque tecnológico en las redes nicaragüenses, presentó un decrecimiento planificado en su despliegue de entre un 5 y 10 % en los años 2016 y 2017, estando planificada una reducción de un máximo del 10 % para el año 2018 en beneficio del despliegue de red de tecnología LTE. Actualmente sirve a un aproximado de 2.2 millones de línea móviles y se tiene planificado un decrecimiento anual en el parque tecnológico de entre un 5 y 10 % en beneficio del crecimiento de usuarios de la tecnología LTE (Ayestas H. CANITEL 2018).

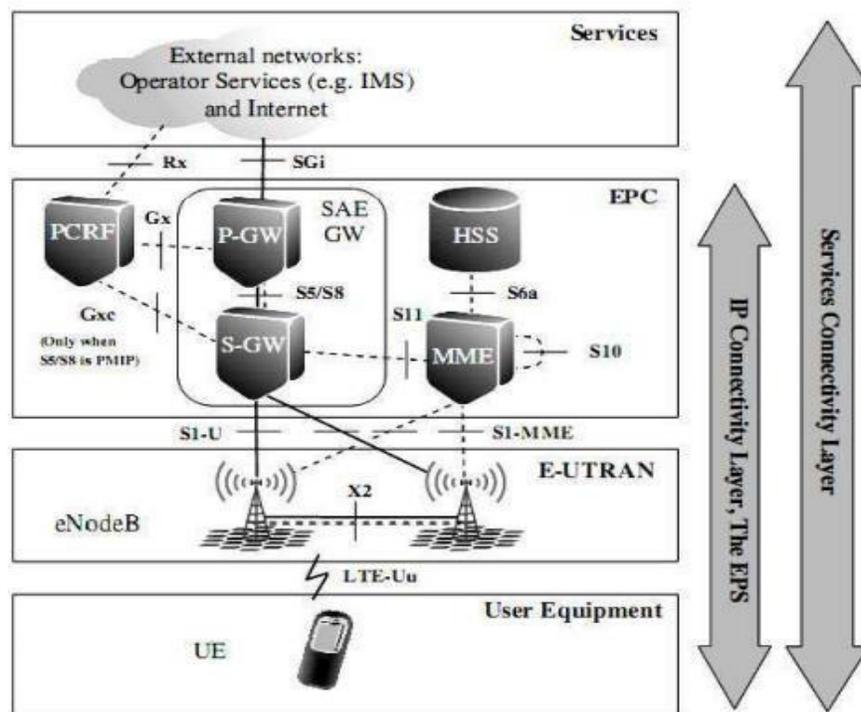
Se definieron una serie de mejoras para HSPA (llamadas HSPA +), en las versiones 3GPP 7 a la 11, como los receptores avanzados, MIMO (entrada múltiple - Multiple Salida) en antenas, conectividad continua de paquetes, un orden superior de modulación (agregando 64QAM en enlace descendente y 16 QAM en enlace ascendente), un arquitectura de túnel, etc. El objetivo principal era obtener velocidades de bits más altas para ambos enlaces, más capacidad para el servicio de telefonía y tasas de bits más altas para el acceso a Internet. Actualmente en Nicaragua tanto TCN como ENITEL en su red HSPA+ utilizan la versión 6 estandarizada por el 3GPP y utilizan modulación 64QAM en los enlaces de bajada y modulación 16QAM en los enlaces de subida.

## **2.5- Tecnología LTE. (Long Term Evolution).**

La estandarización 3GPP que comenzó con la tecnología GSM como la red móvil de segunda generación (2G), y que continuó luego con UMTS (HSPA) como red móvil de tercera generación (3G), ha resultado en LTE y otros sistemas móviles con más capacidades y prestaciones tales como el LTE-Advanced / Pro como cuarta generación (4G). En Nicaragua está en operación comercial la versión 8 de las especificaciones del 3GPP.

LTE es un estándar para comunicaciones inalámbricas de transmisión de datos de muy alta velocidad para teléfonos móviles inteligentes y terminales fijos/móviles de datos. El objetivo principal de LTE es proporcionar una alta tasa de datos, baja latencia y optimización de paquetes, con una tecnología de acceso de radio con un ancho de banda flexible (3GPP, 2015), permitiendo a los operadores operar

paralelamente ambas redes HSPA y LTE o si lo deciden en el futuro, migrar sus redes de HSPA a LTE, para lo que se dispone de una arquitectura de red que permite soportar en movimiento un tráfico de conmutación de paquetes, con garantía de calidad de servicio. Si bien muchos operadores aun operan paralelamente ambas redes, en el futuro por consideraciones de mejora de prestaciones ante la demanda del mercado, de economías de escala y por un proceso natural de descatalogación de componentes, los operadores irán abandonando tecnologías celulares de generaciones anteriores. Se muestra en la **figura 8** la arquitectura de una red LTE, en donde destacan MME, eNB y las interfaces S1 y X2 que trataremos brevemente a continuación.



**Figura 8. Arquitectura Red LTE.**

**Fuente: LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access; Holman Harri, Antti Toskala, John Wiley & Sons LTD, 2009.**

En el plano de control la interfaz X2 (X2-CP) permite la señalización entre e-NodeBs, mientras que el plano de usuario la misma interfaz X2 (X2-UP) permite la transferencia de datos de aplicación entre e-NodeBs. En el plano de control la interfaz S1 (S1-MME) permite la señalización con la MME, mientras que el plano de usuario de S1 (S1-UP) permite la transferencia de datos a través de la puerta de enlace del servicio. Por otro lado, eNBes el hardware que está conectado a la red de telefonía móvil que se comunica directamente de forma inalámbrica con teléfonos móviles (UE).

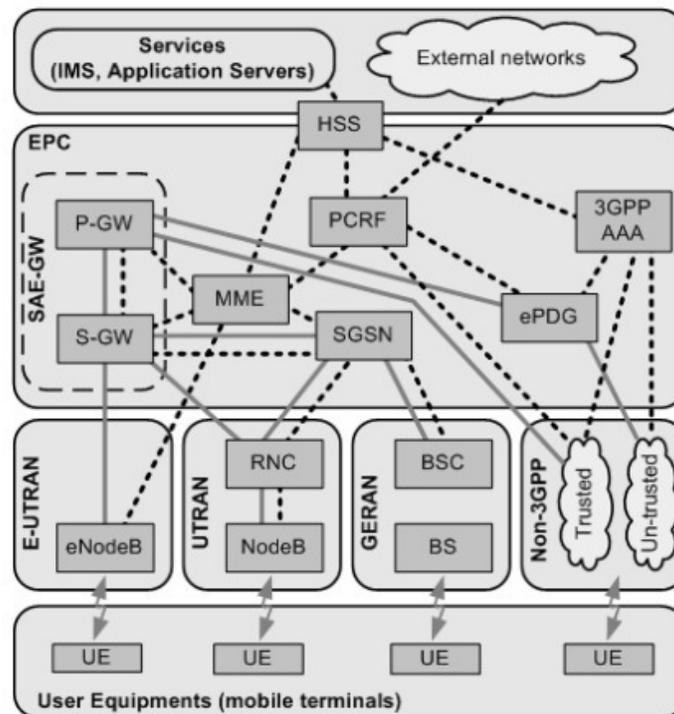
**Interfaces utilizadas en LTE (3G Americas.2008).**Las interfaces utilizadas para la interconexión entre LTE y UTRAN/GERAN EPS tienen las siguientes interfaces:

- **X2:** Conecta los nodos eNBs y transmite datos de usuario entre nodos.
- **S1-MME:** Es el punto de referencia para el protocolo del plano de control entre E-UTRAN y MME.
- **S1-U:** Es un punto de referencia entre E-UTRAN y GW para el portador y los eNodeB.
- **S3:** Permite al usuario el intercambio de información entre redes de acceso móviles 3GPP en inactividad y/o estado activo se basa en puntos de referencia Gn tales como se define entre SGSNs.
- **S4:** Proporciona control y soporte entre el núcleo GPRS y GW basado en puntos de referencia Gn definido entre SGSN y GGSN, además si el túnel no se encuentra establecido provee un túnel en el plano de usuario.
- **S5:** Usado por el servidor GW para relocalizar al equipo del usuario.
- **S6a:** Permite transferir datos para autenticar y suscribir para autorizar al usuario el acceso al interfaz aire MME y HSS.
- **S6d:** Permite transferir datos para autenticar y autorizar al usuario el acceso al interfaz aire entre S4-SGSN y HSS.
- **Gx:** Proporciona la transferencia de QoS y reglas de carga desde PCRF (Policy and Charging rules Function) y PCEF (ChargingEnforcementFunction) en el PDN GW.
- **S8:** Es un punto de interferencia inter- PLMN, suministrando los planos de usuario y de control entre el Serving Gateway de la red visitante y la red local, esto basado en el punto de referencia Gp definido entre SGSN y GGSN.
- **S9:** Proporciona la transferencia de QoS e información de control de carga entre PCRF y PCRF.
- **S10:** sirve como punto de referencia entre MMEs para la relocalización y transferir información de MME a MME.
- **S11:** es un punto de referencia entre MME y GW.

En una red LTE, la red de acceso es simplemente una red de estaciones base, NodeB evolucionado (eNB). No hay un controlador inteligente centralizado. La razón para distribuir la inteligencia entre las estaciones base en LTE es acelerar el establecimiento de la conexión y reducir el tiempo requerido para un traspaso. Para un usuario final, el tiempo de establecimiento de la conexión para una sesión de datos en tiempo real es en muchos casos crucial, especialmente en los juegos en línea. El tiempo para un traspaso es esencial para los servicios en tiempo real, donde los usuarios finales tienden a finalizar llamadas si el traspaso demora demasiado. El Evolved Packet System (EPS) de las redes LTE, está basado puramente en IP. Tanto los servicios en tiempo real como los servicios de comunicación de datos serán transportados por el protocolo IP. La dirección IP se asigna cuando el teléfono móvil se enciende y se libera cuando está apagado.

LTE presenta tres elementos que lo identifican plenamente: EUTRAN(Evolved Universal Terrestrial Access Network - red de acceso de radio), EPC (Evolved Packet Core - núcleo evolucionado de paquete), la evolución de IMS (IP Multimedia Subsystem) y a lo anterior se suma desde luego el equipo de usuario (3GPP Releases 8). Tanto la red de acceso como la red de núcleo de LTE brindan servicios encaminados a la transferencia de información basada en paquetes IP entre el equipo de usuario, redes de paquetes externas y fundamentalmente Internet.

EPC especifica dos tipos de funciones lógicas de la puerta de enlace IP-IP para el plano de usuario: la puerta de enlace de servicio (S-GW) y la puerta de enlace de la PDN (PGW). El S-GW y el P-GW son funciones centrales de la red del acceso basado en E-UTRAN. Pueden implementarse en un nodo físico o en nodos físicos separados. Sin embargo, debido a la separación del plano de usuario y el plano de control, hay tres nodos de puerta de enlace principales en el EPC, como se muestra en la **figura 9**, de la que identificaremos sus principales elementos.



**Figura 9. Entorno de red EPC (Evolved Packet Core).**

**Fuente: NGN Architectures, Protocols and Services. Toni Janevski, 2014.**

Identificación de los principales elementos de la **figura 9**, de los que trataremos más en detalle el MME, Serving Gateway (S-GW) y el PDN Gateway (P-GW)

**BS- Base Station**

**BSC- Base Station Controller**

**GERAN – GSM EDGE Radio Access Network**

**HSS – Home Subscriber Server**

**EUTRAN – Evolver UTRAN**  
**ePDG – Evolved Packet Data Gateway**  
**MME – Mobility Management Entity**  
**P-GW – Packet data network Gateway**  
**PCRF – Policy and Charging Rules Function**  
**RNC – Radio Net**  
**S-GW – Serving Gateway**  
**SGSN – Serving GPRS Support Node**  
**UTRAN – UMTS Terrestrial Radio Access Network.**  
\_\_\_\_\_Medio. Plano de usuario.  
-----Control. Plano de control.

**MME. Entidad de administración de movilidad:** MME es el nodo de control principal para la red de acceso LTE SAE, que maneja una serie de características:

- Gestión de la movilidad relacionada con la señalización, incluyendo
  - ✓ seguimiento de usuarios,
  - ✓ procedimientos de paginación,
  - ✓ Activación y desactivación de portadores.
- Debido a que la movilidad está relacionada con el roaming entre diferentes redes móviles, MME tiene funcionalidad para la autenticación del usuario y, por lo tanto, utiliza la interfaz de señalización hacia la base de datos HSS de los usuarios.
- Además, el MME proporciona interfaces para la interconexión con las redes centrales 3GPP anteriores de 2G y 3G, para manejar la movilidad entre las redes móviles heterogéneas.

**Serving Gateway (S-GW):** es un elemento de plano de datos (es decir, plano de usuario) dentro del EPC, que hace lo siguiente:

- Gestiona la movilidad del plano de usuario.
- También actúa como la principal puerta de enlace fronteriza entre las Redes de Acceso de Radio (RAN) y las redes centrales.
- Mantiene las rutas de datos entre los eNodosB y las puertas de enlace PDN. De esta manera, la SGW forma una interfaz para la red de paquetes de datos en la E-UTRAN.
- Cuando los UE se mueven a través de áreas servidas por diferentes eNodosB, el S-GW sirve como un ancla de movilidad que garantiza que la ruta de datos se mantiene.

**PDN Gateway (P-GW):**

- Proporciona conectividad desde terminales móviles a redes externas de paquetes de datos.

- P-GW también actúa como un punto de anclaje entre la red central 3GPP y las redes que no son 3GPP (por ejemplo, WiFi, WiMAX, etc.).
- P-GW realiza funciones típicas para los enrutadores de borde de una red central determinada, como el filtrado de paquetes, la aplicación de políticas, el soporte de cobro, etc.

### **Los principales aspectos tecnológicos de LTE son (Comes Ramón, 2010):**

- Nuevos esquemas de acceso múltiple basados en división de frecuencias ortogonales (OFDMA) tanto para LTE-FDD como para TDD-LTE, que veremos con más detalle más adelante. .
- Ancho de banda escalable hasta 20 MHz
- Compatibilidad con la tecnología de antena de entrada múltiple y salida múltiple (MIMO).
- Nuevos canales de control y datos.
- Nueva arquitectura de red y de protocolo (dos nodos, basada en IP)

La evolución de los sistemas 3G en 4G está impulsada por la creación, desarrollo e innovación de nuevos servicios y aplicaciones para dispositivos móviles, y está habilitado por el progreso de la tecnología disponible para dichos sistemas móviles, con especial énfasis en sus capacidades, velocidades de procesamiento y capacidad de transferencia de datos de su interfaz radioeléctrica. También ha habido una evolución del entorno en el que se despliegan y operan los sistemas móviles, en términos de competencia entre operadores de telefonía móvil como el caso de Nicaragua, sumándose los desafíos de otras tecnologías, dispositivos móviles, la regulación de la atribución y explotación del espectro radioeléctrico y los no menos importantes aspectos del mercado de los servicios y dispositivos móviles.

El desarrollo de LTE ha seguido las especificaciones emitidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, la que ahora está dando una mayor importancia a las especificaciones relacionadas con IMT-Advanced que incluyen nuevas capacidades que superan en muchos las de las IMT-2000 implantadas desde el año 2000.

LTE (Long Term Evolution) o E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network), introducida en 3GPP R8, es la parte de acceso del Sistema evolucionado de paquetes (EPS - Evolved Packet System). LTE se destaca por su interfaz radioeléctrica basada en el acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA, del inglés Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) para el enlace descendente (DL) y Acceso múltiple por división de frecuencia de portadora única, también conocido como SC-FDMA (acrónimo en inglés de Single Carrier Frequency Division Multiple Access) para el enlace ascendente (UL), que en combinación con una técnica de modulación de orden superior (por ejemplo, 64QAM), grandes anchos de banda en las frecuencias portadoras (hasta 20 MHz) y la multiplexación espacial en el enlace descendente, proporciona velocidades de

datos muy elevadas, lográndose parámetros que permiten muy alta velocidad pico en la transmisión de datos, corto tiempo de ida y vuelta, alta eficiencia espectral (bits por segundo por Hertz), así como flexibilidad en frecuencia y en el ancho de banda de las frecuencias portadoras.

Trataremos brevemente OFDMA y SC-FDMA.

**OFDMA:** Es una técnica de acceso basada en OFDM que se utiliza en el DL de E-UTRAN. OFDMA está basada en la modulación multiportadora y en el acceso múltiple por división de frecuencia. Las subportadoras en OFDMA pueden ser asignadas a diferentes usuarios indistintamente, ello va a depender del servicio que el usuario tenga contratado. Con la asignación de más subportadoras se puede mejorar la calidad de servicio que un usuario tenga asignado, también se puede mejorar la velocidad de transmisión. Gracias a OFDMA es posible enviar varias transmisiones de datos simultáneas de diferentes usuarios en subportadoras diferentes, mejorando la eficiencia de la red.

**SC-FDMA:** En SC-FDMA se transmite un símbolo de determinado usuario en un conjunto de subportadoras simultáneamente. Todas las subportadoras en el uplink son moduladas con el mismo símbolo. Adoptar este esquema de modulación en el uplink es muy ventajoso para reducir el PAPR (Peak to Average Power Ratio), factor que mide la relación entre la potencia instantánea de la señal transmitida respecto de la potencia media y por lo tanto permite incrementar la eficiencia de los amplificadores de potencia.

Como se mencionó anteriormente, la LTE es la E-UTRAN (Red de acceso de radio terrestre universal evolucionada), introducida en 3GPP versión 8, es decir, es la parte de acceso del Sistema de paquetes evolucionados (EPS). El hecho es que LTE se señala como 4G para efectos comerciales, aunque proporciona velocidades de bits por debajo de los requisitos del paraguas IMT-Avanzado de la UIT. En el otro lado, LTE y LTE-Advanced tienen la misma interfaz de radio y utilización del espectro (en bit / s / Hz), con agregación de portadora estandarizada para LTE-Advanced que proporciona las velocidades de bits 4G requeridas en el enlace descendente y el enlace ascendente.

Rel-8 también definió un conjunto de capacidades MIMO que soportan técnicas de bucle abierto y cerrado, multiplexación espacial (SM), esquemas multiusuario MIMO (MU-MIMO) y Beamforming (BF). Debido a que OFDMA y SC-FDMA son tecnologías basadas en banda estrecha, LTE admite varias formas de evitar la interferencia o técnicas de coordinación llamadas Coordinación de Interferencia entre Células (ICIC).

Finalmente, el Rel-8 proporcionó varias otras mejoras relacionadas con Common IMS, Multimedia Priority Service, soporte para el acceso de paquetes por cable y servicios de intermediación, mejoras de VCC, IMS Centralized Services (ICS), Continuity Service (SC) continuidad de llamadas de voz entre LTE-HSPA VoIP y el

dominio CS (llamado Radio Única VCC o SRVCC) y el Canal de Control de Interfaz de Usuario (UICC).

Mientras que 3GPP Rel-9 se enfoca en mejoras a HSPA + y LTE, Rel10 se enfoca en la próxima generación de LTE para los requisitos IMT-Avanzados de la UIT y ambos fueron desarrollados por grupos de trabajo de estándares 3GPP. Los proveedores han logrado varios hitos en los últimos años para Rel-9 y Rel-10. Lo más significativo fue la ratificación final por parte de la UIT de LTE-Advanced (Rel-10) como 4G IMT-Advanced en noviembre de 2010.

Con las definiciones de estándares ahora disponibles para LTE, la Evolución a Largo Plazo de los servicios 3G, los ojos ahora están dirigiéndose hacia el próximo desarrollo, el de la verdadera tecnología 4G llamada IMT-Advanced. La nueva tecnología que se está desarrollando bajo los auspicios de 3GPP para cumplir con estos requisitos a menudo se denomina LTE-Advanced.

El rendimiento y las capacidades de 4G LTE / LTE-Advanced (Rel-10) permiten a los clientes hacer cosas nunca antes posibles en entornos inalámbricos y móviles. Las nuevas funcionalidades principales introducidas en LTE-Advanced (en comparación con las redes móviles 3GPP anteriores) son la Agregación de Portadores (CA), el uso mejorado de técnicas de múltiples antenas y el soporte para Nodos Relé (RN).

Dadas las ventajas de la multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), el 3GPP especificó OFDM como la base de su esfuerzo LTE. La principal ventaja de OFDM sobre los esquemas de portadora única es su capacidad para hacer frente a condiciones severas del canal (por ejemplo, la atenuación de altas frecuencias en un cable de cobre largo, la interferencia de banda estrecha y el desvanecimiento selectivo de la frecuencia debido a múltiples trayectorias) sin filtros complejos de ecualización. La ecualización de canales se simplifica porque se puede considerar que OFDM utiliza muchas señales de banda estrecha de modulación lenta en lugar de una señal de banda ancha de modulación rápida. La baja tasa de símbolos hace que se utilice un intervalo de guarda entre los símbolos, lo que hace posible eliminar la interferencia entre símbolos (ISI) y el uso de ecos y la dispersión en tiempo para lograr una ganancia de diversidad, es decir, una mejora de la relación señal/ruido. Este mecanismo también facilita el diseño de redes de frecuencia única (SFN, por sus siglas en inglés) en los que varios transmisores adyacentes envían la misma señal simultáneamente a la misma frecuencia, ya que las señales de los transmisores múltiples se pueden combinar de forma constructiva, evitando la interferencia de un sistema tradicional de una sola portadora.

Tanto HSPA+ como LTE son importantes para los operadores, ya que estas tecnologías brindan la eficiencia y la capacidad demandadas por el mercado de Internet de banda ancha móvil que crece rápidamente. El costo para los operadores de entregar datos (por ejemplo, costo por Gb) es casi directamente proporcional a la eficiencia espectral de las tecnologías. LTE tiene la mayor

eficiencia espectral de cualquier tecnología móvil especificada hasta la fecha, por lo que es una de las tecnologías esenciales a medida que el mercado de banda ancha móvil madura, no obstante muchos operadores de ámbito nacional que cuentan con redes HSPA+ a medida que aumentan las demandas del mercado, HSPA+ sigue siendo atractivo, ya que maximiza las eficiencias en las implementaciones existentes y proporciona un alto rendimiento con el uso de nuevas técnicas avanzadas tanto en las bandas de frecuencias radioeléctricas que ya se están utilizando, así como en las nuevas bandas a explotar. Específicamente en aspectos tales como:

- **Utilización de amplio espectro:** LTE ahora se puede implementar en anchos de banda más amplios, como 10 MHz., y 20 MHz. Esta funcionalidad aumenta las tasas pico de datos y también mejora la eficiencia espectral.
- **MIMO avanzado:** la introducción de mejoras MIMO y la adición de más antenas transmisoras y receptoras proporciona una mejor eficacia espectral en el espectro existente.
- **Buen rendimiento de cobertura:** transferencia suave (característica del acceso de radio WCDMA, cuando una estación móvil se comunica con dos o más estaciones base durante el traspaso) y otras técnicas proporcionan cobertura mejorada, especialmente en el borde de la celda.
- **Latencia más baja:** para algunas aplicaciones móviles, la baja latencia (el presupuesto de demora de paquetes en la red móvil como parte del presupuesto de demora de extremo a extremo) es tan importante como el alto rendimiento. Con un intervalo de tiempo de transmisión bajo (TTI) de 1 msec y arquitectura plana (menos nodos en la red central), LTE tiene la latencia más baja de cualquier tecnología móvil

**Latencia en el plano de control:** La latencia en el plano de control toma en cuenta los retardos inducidos por la RAN (Radio Access Network) y por la CN (Core Network) y excluye las latencias sobre las interfaces S1 (que van entre la estación base eNB y la entidad de gestión de movilidad MME) estando el sistema sin carga. Se debe lograr un tiempo de transición del modo idle (con direccionamiento IP asignado) al modo conectado es igual o menor a 50ms incluyendo el establecimiento del plano de usuario. Así mismo el tiempo de transmisión desde un estado “dormido” a un estado “activo” de es igual o menor a 10 ms.

**Latencia en el plano de usuario:** El retardo en el plano de usuario se define en términos del tiempo de tránsito desde que un paquete está disponible en la capa IP ya sea el equipo de usuario UE o el nodo de borde de la RAN hasta que este paquete está disponible en la capa IP del EU o el nodo de borde de la RAN, siendo el nodo borde de la RAN el nodo que proporciona la interfaz RAN hacia el

núcleo de la red. Se obtiene una latencia máxima de 5ms en el plano de usuario en condiciones sin carga como por ejemplo un paquete IP pequeño: 0 bytes de datos + encabezado IP.

Como ya hemos comentado, la tecnología LTE Versión 8 desplegada en Nicaragua opera en los modos TDD y FDD, y se encuentra operando comercialmente de manera efectiva tanto en el espectro radioeléctrico con canales emparejados como en el no apareado. Los modos LTE TDD y FDD se han armonizado mucho en el sentido de que ambos modos comparten el mismo marco subyacente, incluidos los esquemas de acceso de radio OFDMA en enlace descendente y SC-FDMA en enlace ascendente, formatos básicos de subtrama, protocolos de configuración, etc.

El LTE FDD es un modo de funcionamiento de las redes LTE en el que se emplean dos frecuencias para conectarse a la red: una de subida y otra de bajada de datos. Las redes de tipo FDD son una alternativa a TDD, en las que una misma frecuencia se emplea para subida y bajada en diferentes intervalos de tiempo no superpuestos

El hecho de emplear una frecuencia reservada para subida y otra reservada para bajada tiene grandes ventajas respecto al empleo de una sola: poder enviar y recibir datos a la vez, mejorando la velocidad de la comunicación. Además, la variante FDD opera a frecuencias relativamente bajas, que ofrecen mayor alcance, mejor cobertura (sobre todo en interiores) y menor gasto energético. La desventaja es en relación al uso eficiente del espectro radioeléctrico.

En términos de arquitectura, no hay diferencias entre FDD y TDD. Los procedimientos se mantienen igual. Por lo tanto, hay una gran sinergia de implementación entre los dos modos, lo que permite un soporte eficiente tanto de TDD como de FDD en la misma red o dispositivo de usuario.

### **Consideraciones sobre LTE - FDD y LTE – TDD.**

Las dos versiones de LTE son muy similares. De hecho, difieren solo en la capa física y, como resultado, la versión implementada es transparente para las capas superiores. Esto significa que los equipos de usuarios y terminales pueden soportar tanto LTE-TDD como LTE - FDD con un solo conjunto de chips con solo modificaciones menores requeridas.

Haciendo algunas consideraciones en relación a LTE-FDD y LTE-TDD, tenemos que la cobertura de enlace ascendente con respecto a una velocidad de datos específica en LTE-FDD es generalmente peor que LTE-TDD debido al hecho de que la transmisión de enlace ascendente no es continua. El porcentaje de cobertura para los canales de control y de datos es, sin embargo, muy similar al de LTE-FDD. En términos de eficiencia espectral, los rendimientos de LTE-TDD y LTE-FDD son similares para tráfico no sensible a retrasos.

El menor rendimiento de LTE–TDD se debe a los períodos de guardia mencionados anteriormente. En general, LTE–TDD ofrece a los operadores una gran alternativa a FDD. Su idoneidad natural para aplicaciones asimétricas, baja latencia, alto rendimiento y seguridad lo convierten en una solución flexible y rentable para las redes inalámbricas de próxima generación a la que están tendiendo los dos operadores principales (Claro y Movistar) en Nicaragua.

TDD es más flexible que FDD para cumplir con la necesidad de reconfigurar dinámicamente el ancho de banda ascendente y descendente asignado en respuesta a las necesidades del cliente. En resumen, TDD es una tecnología de dúplex más deseable que permite a los operadores de sistemas recibir el máximo provecho de su inversión en equipos de espectro y telecomunicaciones, al tiempo que satisfacen las necesidades de cada cliente individual.

La **tabla 3** muestra la comparación principal entre LTE – FDD y LTE –TDD

<b>FDD-LTE</b>	<b>TDD-LTE</b>
<b>Frequency Division Duplexing</b>	<b>Time Division Duplexing</b>
Generalmente es más adecuado para aplicaciones como llamadas de voz	Es mejor para el tráfico de Internet u otros servicios centrados en datos.
Requiere espectro emparejado con diferentes frecuencias con banda de guarda. FDD, se clasifica como un sistema dúplex completo. Esto significa que tanto la carga como la descarga están siempre disponibles.	No requiere espectro emparejado ya que la transmisión y la recepción ocurren en el mismo canal. TDD es semi duplex, ya que la carga o la descarga pueden usar el canal pero no al mismo tiempo.
Permite una planificación de frecuencias para cobertura geográfica más fácil que LTE - TDD.	Es más económico que LTE - FDD que en LTE - TDD no es necesario que el duplexor aisle la transmisión y las recepciones
Con FDD, el ancho de banda no se puede reasignar dinámicamente y se desperdicia el ancho de banda no utilizado.	TDD puede asignar más tiempo para la parte que requiere más ancho de banda, equilibrando así la carga
FDD cada subtrama de enlace descendente se puede asociar con un subtrama de enlace ascendente	TDD el número de subtramas de enlace descendente y enlace ascendente es diferente y dicha asociación no es posible.
Un sistema FDD usa un duplexor y/o dos antenas que requieren separación espacial y, por lo tanto, no pueden reutilizar los recursos. El resultado es un hardware más costoso.	En TDD, tanto el transmisor como el receptor operan en la misma frecuencia, pero a tiempos diferentes. Por lo tanto, los sistemas TDD reutilizan los filtros, mezcladores, fuentes de frecuencia y sintetizadores, eliminando así la complejidad y los costos asociados con el aislamiento de la antena transmisora y la antena receptora.
FDD no se puede usar en entornos donde el proveedor de servicios no tiene suficiente ancho de banda para proporcionar la banda de guarda requerida entre los canales de transmisión y recepción.	TDD utiliza el espectro de manera más eficiente que FDD.

**Tabla 3. Comparación entre FDD - LTE y TDD - LTE.**

**Fuente: A. Z. Yonis. University of Mosul. (2012)**

Es importante resaltar, que la mayoría de las implementaciones se basan en el modo FDD en el espectro radioeléctrico con canales emparejados, y que está siendo utilizado por los dos grandes operadores (Claro y Movistar). Por otro lado, el modo TDD es importante para habilitar las implementaciones donde el espectro radioeléctrico con canales emparejados no está disponible y está siendo utilizado por IDEAY y ALFANUMERIC.

En la **tabla 4** se resumen parámetros y detalles de los mismos que ha introducido el 3GPP LTE a partir de la versión 8 y que se han mantenido en las versiones posteriores. Permiten que LTE pueda operar de manera más eficiente con respecto al uso del espectro radioeléctrico, y también para proporcionar las velocidades de datos mucho más altas que se requieren. Cumple con los requisitos de la industria para muy altas velocidades de descarga de datos y una latencia reducida, un factor importante para muchas aplicaciones, desde VoIP hasta juegos y uso interactivo de datos. También proporciona mejoras significativas en el uso del espectro disponible.

Parámetro	Detalle
Velocidades pico de bajada 64 QAM (Mbps)	100 (SISO), 172 (2x2 MIMO), 326 (4x4 MIMO)
Velocidades pico de subida (Mbps)	50 (QPSK), 57 (16 QAM), 86 (64 QAM)
Tipo de datos	Todos los paquetes de datos conmutados (voz y datos). No hay conmutación de circuito.
Ancho de banda por canal (MHz)	1.4 , 3, 5, 10, 15, 20
Esquemas dúplex	FDD y TDD
Movilidad	0 – 15 km/h (optimizado) 15 – 120 km/h (alta desempeño)
Latencia	inactivo a activo menos de 100 ms Pequeños paquetes ~ 10 ms
Eficiencia espectral	Bajada: 3 – 4 veces Rel 6 HSDPA Subida: 2 – 3 x Rel 6 HSUPA
Esquema de acceso	OFDMA (Descendente) y SC-FDMA (Ascendente)
Tipos de modulación soportadas	QPSK, 16 QAM, 64 QAM (Subida y bajada)

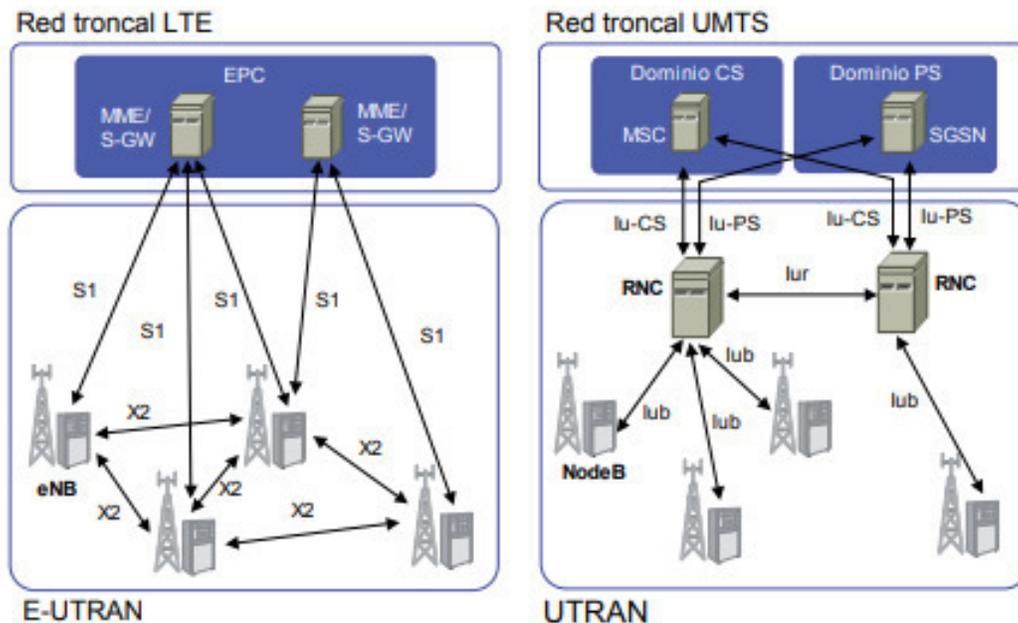
**Tabla 4. Parámetros y Detalles LTE, versión 8.**  
Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de Restrepo José.2011.

El ancho de banda utilizado por canales en LTE en Nicaragua es variable según los requerimientos de los clientes. Se usan 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz., tanto por TCN (Movistar) como ENITEL (Claro), siendo las predominantes para clientes corporativos 5, 10 y 15 MHz. Sin embargo se ha establecido que los terminales de los usuarios deben ser capaces de funcionar en todos los anchos de banda inferiores a su capacidad máxima, es decir, un dispositivo móvil 10MHz tendrá soporte para todos los anchos de banda hasta los 10MHz. Los canales de 1.4MHz, 3 MHz y 5MHz están optimizados para redes GSM/GPRS. Por otro lado, las técnicas de modulación activas para Nicaragua son: QPSK, 16QAM y 64QAM, tanto en enlace ascendente como en descendente. (CANITEL 2018. Herbert Ariana, Gerente de Servicios Móviles de Centroamérica Movistar. 2018).

A continuación tratamos brevemente el interfuncionamiento de LTE con UMTS (HSPA).

La introducción de UMTS (HSPA) y las posteriores evoluciones de la tecnología de acceso 3GPP hasta HSPA + agregaron una red central de paquetes conmutados (Packet switching - PS) al sistema para proporcionar servicios de datos (IP). En esta red central de PS, el SGSN sirve como el centro de la red que controla las funcionalidades centradas en datos para el equipo de usuario y la red.

Vemos en la **figura 10** los cambios que ocurren en la red troncal y en la red de acceso. Comparando la arquitectura de UTRAN con E-UTRAN, puede observarse que E-UTRAN sigue una arquitectura “plana”, sin ningún nivel de jerarquización como es en la arquitectura de UTRAN



**Figura 10. Comparación de la arquitectura de red de E-UTRAN (LTE) y UTRAN (UMTS/HSPA)**  
Fuente: LTE. Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. Comes Ramón, Álvarez Francisco. 2010.

Veremos los cambios a nivel de arquitectura de red que son necesarios para migrar de la red UMTS (HSPA+). Ambas estructuras de red, tanto la UMTS (HSPA+) como la LTE cuentan principalmente de tres bloques: El bloque de equipo de usuario (EU), el bloque de acceso a red (RNS para HSPA+ y EUTRAN para LTE) y el bloque de conmutación por paquetes en ambas tecnologías (Guerra Oscar, 2017). En el bloque de equipo de usuario (EU) no es necesario ningún cambio a nivel de arquitectura de red. Desde luego si es necesario que los usuarios cambien sus teléfonos celulares (3G) por equipos que soporten la tecnología LTE. (Akyildiz Ian, Nie Shuai and Lin Shih-Chun, 2018).

En el bloque de acceso a la red, el cambio más importante es la evolución de la técnica de acceso a red ya que HSPA+ utiliza la técnica RNS (Radio Network Subsystem), que controla la asignación y la liberación de recursos de radio específicos para establecer una conexión entre un equipo de usuario (EU) y la UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network), por su parte LTE utiliza la técnica EUTRAN (Evolved Universal Terrestrial Access Network). (Akyildiz Ian, Nie Shuai and Lin Shih-Chun, 2018).

A nivel de elementos de red en este bloque de acceso a red, están instalados los nodos B mejorados (eNB), los que son capaces de comunicarse con los equipos de usuarios (EU) y por esta razón también se elimina la necesidad de tener un elemento central como lo es la RNC (Radio Network Controller). (Akyildiz Ian, Nie Shuai and Lin Shih-Chun, 2018). Los eNB interfuncionan con el EPC (Evolved Packet Core) a través de las interfaces S1-U para efectos de transferencia de datos y señalización y la S1-C para efectos solamente de señalización (Álvarez Manuel, UPM 2015).

En el bloque de núcleo de red se nota el cambio más significativo de todos durante la implementación operativa. Ya que en este bloque en HSPA+ se utiliza un bloque PC (conmutación por paquetes) y para LTE se utiliza el EPC (conmutación por paquetes mejorado).

El PC y el EPC interfuncionan a través de la interfaz S4 hasta la versión 6 y a través de la interfaz S12 a partir de la versión 7 con una técnica conocida como "túnel directo", que permite el establecimiento de un túnel directo entre el plano de usuario y el SGW (Serving Gateway) del EPC, con lo que básicamente se logra separar las funciones de control de las de transporte en la red de Paquetes Conmutados. Las funciones necesarias para el establecimiento de los túneles se trasladan al nodo B mejorado, de forma tal que puede omitirse la RNC en la arquitectura. (Álvarez Manuel, UPM 2015).

En la **tabla 5** se muestra un resumen de los cambios a nivel de elementos de arquitectura de red para la operación paralela de la tecnología HSPA+ y la tecnología LTE.

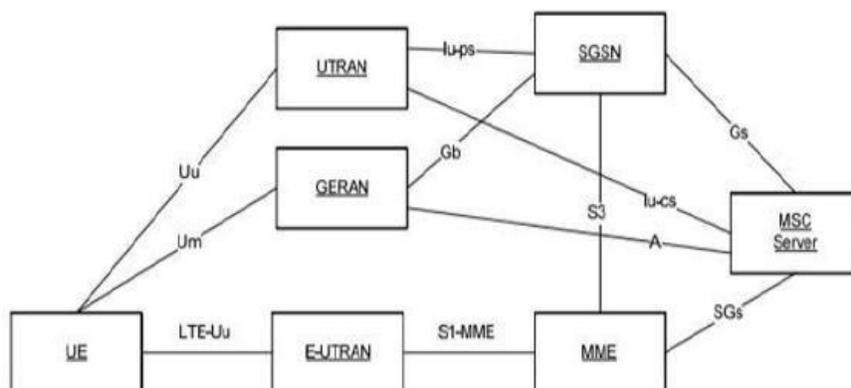
Bloque	Elemento de red	HSPA +	LTE	Observación
Equipo de usuario (EU)	Dispositivo móvil	Si	Si	El usuario debe cambiar su dispositivo móvil 3G, por uno que soporte LTE
Acceso a Red	Nodo B ENodo B RNC	Si No Si	No Si No	Nodo B Reemplazado por el eNB
Núcleo de red	MSC	Si	No	MSC reemplazado por el MME
	SGSN	Si	No	SGSN Reemplazado por el SGW
	GGSN	Si	No	Reemplazado por el PGW
	HLR	Si	Si	Apoyo al HSS
	VLR	Si	Si	Apoyo al HSS
	EIR	Si	Si	
	SMSC	Si	Si	
	MMSC	Si	Si	
AuC	Si	No	AuC Reemplazado por el PCRF	
MME	No	Si		
S-GW	No	Si		
P-GW	No	Si		
PCRF	No	Si		
HSS	No	Si		

**Tabla 5. Cambios a nivel de arquitectura en la migración de la HSPA+ a LTE.**

Fuente: 5G Roadmap: 10 key enabling technologies.

Ian F. Akyildiz, Shuai Nie y Shih-Chun Lin. 2018.

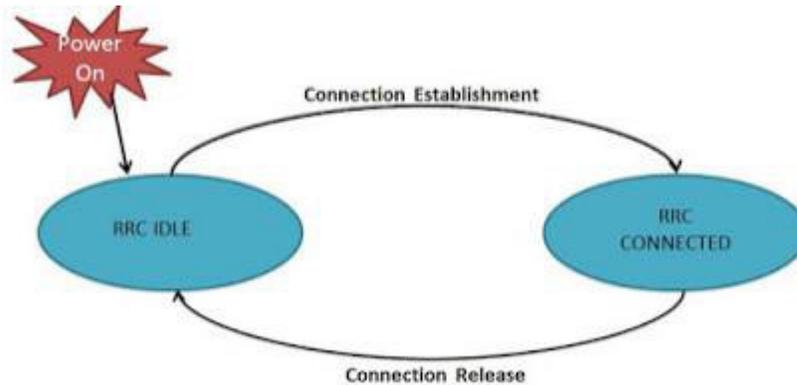
Como se ve en la **figura 11**, un UE (EU: Equipo de usuario) está conectado a una RAN GPRS / EDGE (GERAN) o UMTS RAN (UTRAN) para servicios de voz y SMS, mientras que el servicio de datos se dirige a la EUTRAN. Dicha conexión se logra a través de la interfaz SG entre el MSC (Mobile Switching Center) y el MME.



**Figura 11. Arquitectura de EPS para CS Fallback.**

Fuente: 3GPP TS 23.272. LTE; Circuit Switched (CS) fallback in Evolved Packet System.2015.

Visto lo anterior, es importante aclarar los estados del equipo de usuario y transición del estado. Como se ve en la **figura 12**, hay dos estados RRC (Radio Resource Control) definidos para el equipo de usuario (EU). Cuando un EU se enciende, estará en el estado RRC IDLE hasta que se establezca la conexión RRC. Un UE está en RRC\_CONECTADO cuando se establece una conexión RRC. Si no se establece una conexión RRC, el UE está en modo RRC\_IDLE.



**Figura 12. Estados del equipo de usuario.**  
**Fuente: lte.blogspot.com, 2016.**

**RRC\_IDLE:** La radio está inactiva, pero la red asigna y rastrea la dirección IP. UE es conocido en EPC pero no conocido para eNB (estación base LTE).

El término "IDLE" da la impresión de que el UE no está haciendo nada en este estado, pero en realidad el UE está bastante ocupado en este estado. La movilidad es controlada por la UE.

Procedimientos principales definidos en modo IDLE:

- Selección de PLMN: Detecta PLMN de celdas e identifica la celda a sujetar.
- Selección de celda y reelección: realiza la medición de celdas vecinas y realiza la reelección
  - ✓ Selección de células CSG y reelección
- Reservas de celulares y restricciones de acceso
- Registro de área de seguimiento
- Recepción de mensajes de difusión: Adquiera MIB y SIB.
- Paginación: monitorea el canal de paginación
  - ✓ Recepción de DRX

**RRC\_CONNECTED:** La radio está activa y la UE es conocida tanto por EPC como por eNB. La movilidad es controlada por la red.

Principales procedimientos definidos en modo CONECTADO:

#### **Plano de control**

- Contexto eNB y conexión RRC

- La red puede transmitir y / o recibir datos a / desde UE
- Medida de células vecinas

### **Plano de usuario**

- El UE puede transmitir y / o recibir datos a / desde la red.
- Monitores de control de señalización del canal.
- Reporta el CQI y la información de retroalimentación a eNB.
- Modo conectado DRX.

Los detalles de los estados IDLE y CONNECTED se describen en 3GPP TS 36.304

En este tipo de red, el equipo de usuario se conecta a la señal con mejor nivel y calidad y por tanto se requiere para implementar los servicios de voz y datos, una solución de voz y datos 2G / 3G y datos LTE (3G Américas, 2010): este método también se conoce como "Fallback conmutado por circuito" (CS), descrito en detalle en 3GPP TS 23.272. Aquí, las redes GSM / UMTS / HSPA heredadas con la conexión del conmutador de circuito para voz y SMS se utilizan solo para este propósito, mientras que LTE se usa solo para datos de soporte. Así mismo, teniendo en cuenta que los sistemas LTE pueden coexistir con sistemas móviles de generaciones anteriores, se puede afirmar que la complementación operativa se realiza de manera segura sin que se vea afectado el servicio durante la puesta en marcha. Por otro lado, debido al constante crecimiento del tráfico en las redes de datos móviles actuales (UMTS/HSPA) se hace necesario contar con tecnologías que permitan incrementar el número de usuarios sin sacrificar una cantidad de espectro radioeléctrico, ventaja con la que cuenta LTE, tecnología que se está implementando en el escenario que contempla datos LTE en complementación con voz y datos 2G/3G, por el método conocido como "Fallback conmutado por circuito" (CS), descrito en detalle en 3GPP TS 23.272 (2012) . Aquí, las redes GSM / UMTS / HSPA heredadas con la conexión del conmutador de circuito para voz y SMS se utilizan solo para este propósito, mientras que LTE se usa solo para datos de soporte.

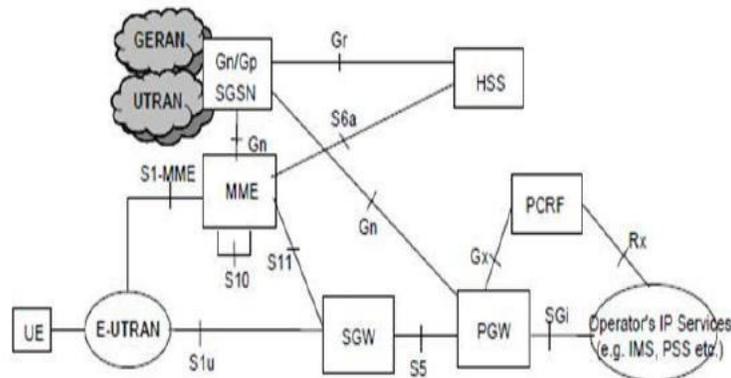
### **Ventajas del CSFB:**

- Debido a que la QoS se encuentra establecida en las redes 2G/3G no es necesario implementar QoS en LTE.
- No es necesario implementar una red IMS para ofrecer servicios de voz debido a que este tipo de servicio es ofrecido por las redes 2G/3G.
- Los operadores tienen facilidades, dado que pueden utilizar la infraestructura ya existente de las tecnologías 2G/3G para realizar una llamada de voz sobre LTE.

## Desventajas del CSFB:

- Se incrementa el tiempo de llamada, esto se presenta debido a que se debe realizar la transferencia a las redes 2G/3G para realizar o recibir una llamada ocasionando que el usuario experimente una degradación del servicio de voz, este proceso debe ser repetido para cada llamada
- Otra desventaja con SC Fallback es que cada vez que el usuario recibe una llamada de voz el UE será transferido al sistema 2G/3G ocasionando que la QoS de las conexiones de datos se vean degradadas al igual que la voz. Se tendrá el caso en el cual mientras se realiza una llamada el servicio de datos se detendrá, por lo que es necesario actualizar el MSC lo cual representa una desventaja para el operador debido al elevado costo y complejidad de la actualización del MSC.

Veremos ahora el Interfuncionamiento de núcleos de paquetes 2G / 3G y LTE, y en este caso, hay dos opciones. El método Gn/Gp: los sistemas 2G/3G ven las MME (Mobility management entity) como SGSN, mientras que las P-GW son vistas por los sistemas 2G/3G como GGSN. Este método introduce retardo en la red y el método se resume en la **figura 13**.



**Figura 13. Interfuncionamiento LTE utilizando interfaces Gn / Gp.**

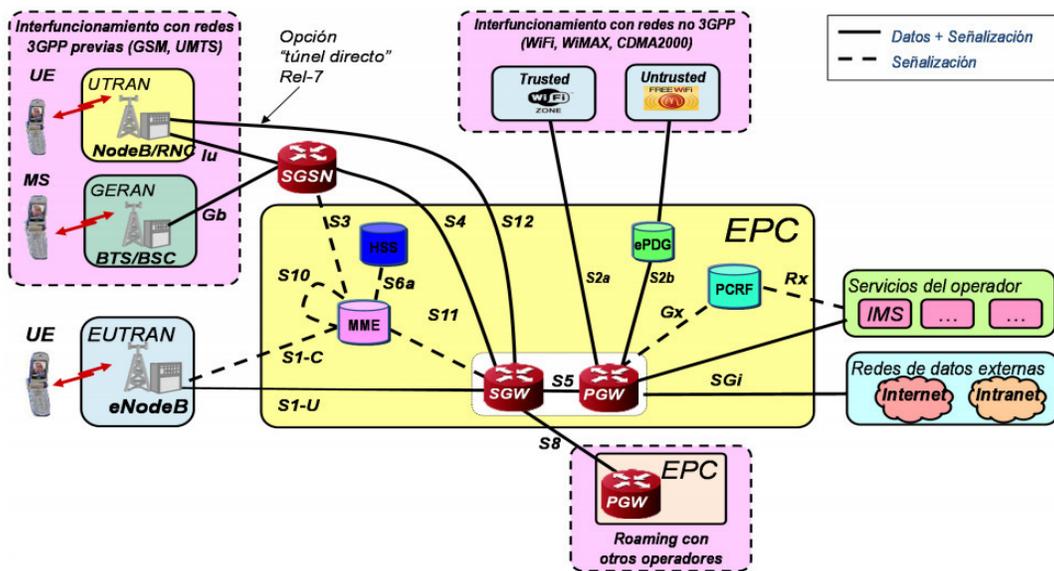
**Fuente: 3GPP TS 23.401, LTE: General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network.2017.**

**La reducción de señalización en modo inactivo (ISR):** como los operadores de red superponen redes 2G / 3G con redes LTE, este es un proceso gradual, lo que da como resultado una cobertura limitada para LTE. Cuando el terminal de usuario se mueve de una red 2G / 3G a LTE y de LTE a 2G / 3G, realiza TAU (actualización del área de seguimiento) y RAU (actualización del área de enrutamiento), respectivamente. Debido a limitaciones de cobertura, el terminal de usuario realiza TAU y RAU con frecuencia, lo que lleva al efecto ping-pong. El propósito del método ISR es reducir la frecuencia de TAU y RAU, lo que resulta en una señalización de red reducida. Los elementos SGSN heredados se deben actualizar para admitir interfaces S3, S4 y S6d para admitir este método. Incluso

cuando el ISR no está activado, la señalización de red reducida todavía se produce, porque los contextos MM (construidos para el terminal de usuario por el MME) se almacenan en terminal de usuario, MME y SGSN cuando ISR no está activo. Esta funcionalidad no es compatible con el método Gn/Gp, lo que aumenta el tráfico de señalización.

Vemos pues que la constante evolución de las tecnologías móviles, ha permitido a los dos grandes operadores nacionales aprovechar al máximo las redes de banda ancha, a su vez el continuo y actual uso de tecnologías tales como GSM y EDGE, han permitido que los operadores recuperen las inversiones que han hecho en el país. Con tecnologías como UMTS/HSPA, las ventajas tecnológicas para los servicios de banda ancha móvil incrementaron significativamente, que a su vez constituyeron un paso hacia el desarrollo de tecnologías móviles basadas en IP. Ahora con la entrada al mercado de LTE, los dos grandes operadores en el ámbito nacional cuentan con una plataforma robusta, que permite la implementación de dicha tecnología.

En la **figura 14** se muestra la arquitectura lógica completa de interfuncionamiento de una red LTE con redes 3GPP previas (GSM, UMTS) y con redes no 3GPP.



**Figura 14. Interfuncionamiento LTE con redes 3GPP previas y redes no 3GPP**  
**Fuente: Curso LTE. Manuel Álvarez Campana. 2015.**

Actualmente la tecnología LTE alcanza un 8% del parque tecnológico en la red de comunicaciones móviles inalámbricas de Nicaragua (CANITEL 2018), aproximadamente medio millón de terminales móviles inteligentes, mostrando un crecimiento promedio anual a partir del 2015 del 37 % (CANITEL 2018), principalmente en detrimento del despliegue de red de tecnología GSM aún existente.

### **2.5.1- Tecnología LTE- Advanced.**

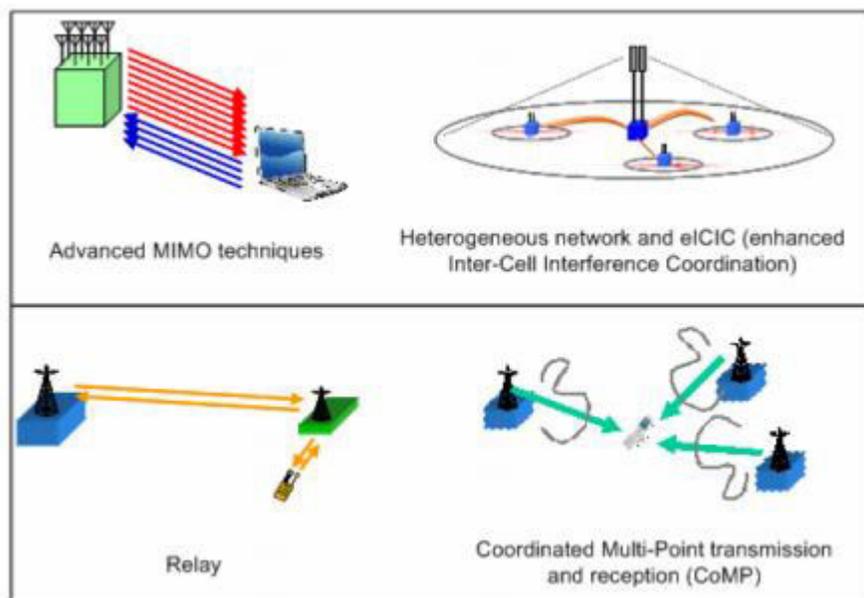
LTE-Advanced resulta de mejoras realizadas a la tecnología LTE con el fin de la primera pudiera ser una verdadera tecnología de cuarta generación (4G), así mismo se realizaron mejoras que permitieran cumplir los requisitos de IMT-Advanced definidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Las mejoras necesarias se especifican en 3GPP versión 10 y se suelen denominar LTE-Advanced. Los sistemas que cumplen IMT serán los candidatos para las futuras bandas del espectro que todavía no se han identificado y esto es un motivo importante para alinear LTE-Advanced con la demanda de tecnologías IMT-Advanced. Esto garantiza que las redes móviles LTE que se están utilizando hoy en día ofrezcan muchos años de explotación comercial, en tanto tiene la posibilidad de evolucionar hacia LTE-Advanced. LTE-Advanced aumenta aún más la velocidad de transmisión máxima hacia 1 Gbit/s en el enlace descendente y 500 Mbit/s en el enlace ascendente.

La versión 12 se completó en gran medida en 2015. Una prioridad en esta versión fue el uso de la tecnología LTE para servicios de emergencia y seguridad, con especificaciones técnicas para elementos e interfaces funcionales de la capa de aplicación de misión crítica. Otras características importantes completadas en la Versión 12 incluyen: celdas pequeñas y densificación de red, comunicación D2D (dispositivo a dispositivo), Operación conjunta LTE TDD-FDD que incluye la agregación de portadoras, la metodología de aseguramiento de la seguridad (SECAM) para nodos 3GPP y la integración de WiFi en las ofertas de los operadores de telefonía móvil.

**Las mejoras más importantes en el acceso LTE-Advanced pueden resumirse de la siguiente manera:**

- Mejor flexibilidad en la gestión del espectro para implementaciones de banda ancha mediante el uso de la agregación de portadoras a través de diferentes bandas de frecuencia.
- Implementación flexible y más rápida de la red lograda con la ayuda de funciones de redes heterogéneas (nodos de retransmisión, células femto y pico, además de las macro celdas típicas en la red de acceso por radio).
- Mejora de la cobertura de la red de radio, así como la eficiencia espectral (en los bordes de la celda y el promedio), que se logra a través de la robusta gestión de interferencias, por medio de la mejora del rendimiento perimetral de la celda (mejora de la coordinación de interferencia entre celdas (eICIC), retransmisión).
- Mayores tasas de bits máximas de usuarios mediante la incorporación de MIMO de orden superior en enlace descendente (hasta DL: 8x8) y enlace ascendente (hasta UL: 4x4). Sin embargo, resalto, MIMO no se utiliza exclusivamente en LTEAdvanced, ya que también se usa en LTE y HSPA)
- Mejoras de acceso del enlace ascendente (SC-FDMA agrupado y datos simultáneos) y transmisión de información de control (PUSCH y PUCCH).

Por lo tanto, hay varias mejoras importantes en la interfaz de radio en LTE-Advanced, cuyo objetivo es cumplir los objetivos de mayor capacidad, mejor rentabilidad y mayor flexibilidad. Hay varias otras características que proporcionan mejoras en LTEAdvanced, tanto en capacidad como en cobertura, pero que no se limitan a ello tal y como se muestra en la **figura 15**.



**Figura 15. Algunas de las características clave en LTE-Advanced.**  
Fuente: 3GPP technologies, 2018.

Un detalle de las mismas a continuación:

- Técnicas avanzadas de MIMO.
  - ✓ Extensión a transmisión de hasta 8 capas en enlace descendente
  - ✓ Introducción de MIMO de un solo usuario hasta 4 capas de transmisión en enlace ascendente
  - ✓ Mejoras de MIMO multiusuario.
  - ✓ Mejora de la velocidad y capacidad de datos pico.
- Red heterogénea y eICIC (Coordinación mejorada de interferencia intercelular ).
  - ✓ Coordinación de interferencias para el despliegue superpuesto de células con diferente poder de Tx
  - ✓ Mejora del rendimiento y cobertura del borde celular.
- Nodo Relé

- ✓ El Nodo Relé soporta backhaul de radio y crea una celda separada y aparecer como LTE eNB a unidades LTE de usuario.
  - ✓ Mejora de la cobertura y flexibilidad de la extensión del área de servicio.
- Transmisión y recepción multipunto coordinada (CoMP)
    - ✓ Soporte de transmisión y recepción multicelda.
    - ✓ Mejora del rendimiento y cobertura del borde celular.

Para propósitos de capacidad, MIMO (Multiple Input Multiple Output) multiplica las tasas de bits disponibles en el mismo espectro mediante el uso de múltiples antenas de transmisión y recepción.

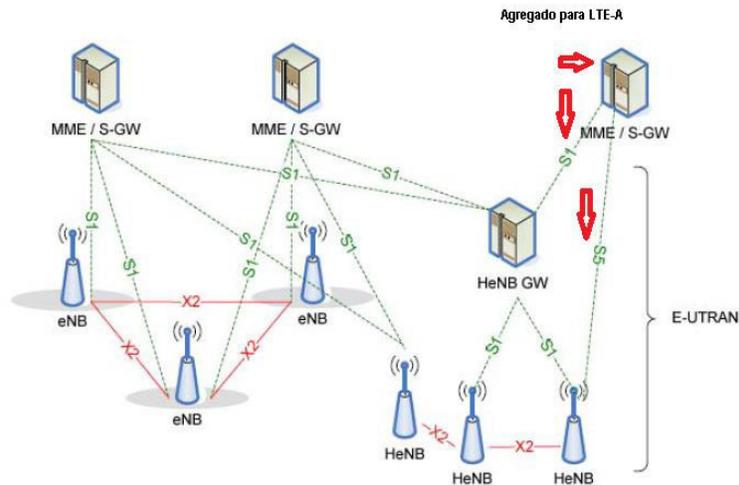
Por ejemplo, 4x4 MIMO ofrece una tasa de bits 2 veces mayor que 2x2 y cuatro veces mayor que SISO (salida única de entrada única). Sin embargo, se requiere MIMO en ambos extremos del enlace de radio, la estación base (que es el eNodeB en el caso de LTE / LTE-Advanced) y la estación móvil, para obtener el beneficio de ello. Las tasas de bits agregadas para LTE y LTE-Advanced se resumen en la **Tabla 6**.

3GPP mobile broadband technology	Maximum downlink bitrate (Mbit/s)	Maximum uplink bitrate (Mbit/s)
LTE, 2x2 MIMO, 64 QAM in downlink, 16 QAM in uplink, 20 MHz carrier width	172.8	57.6
LTE, 4x4 MIMO, 64 QAM in downlink, 16 QAM in uplink, 20 MHz carrier width	326.4	86.4
LTE-Advanced (5 aggregated LTE carriers with total of 100 MHz spectrum)	3000	1500

**Tabla 6. Tasas de bits agregadas de las tecnologías LTE y LTEA**  
Fuente: 3GPP Technologies, 2018.

Se debe tener en cuenta que las tasas de bits indicadas en la tabla anterior son solo máximos teóricos y se comparten entre los usuarios en el mismo portador de frecuencia. Las tasas de bits obtenidas por los usuarios individuales dependen de la cantidad de usuarios que utilizan la capacidad dada al mismo tiempo y de las capacidades de sus dispositivos móviles (es decir, su equipo de usuario).

A continuación en la **figura 16** se muestra la arquitectura e interfaces vinculada a las modificaciones requeridas para evolucionar de LTE a LTE-A



**Figura 16. Arquitectura e interfaces E-UTRAN para LTE-A.**  
**Fuente: LTE. Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. Comes Ramón, Álvarez Francisco. 2010.**

Debemos estar claros y siempre tener presente que hoy día, las redes 4G deben basarse en una conmutación de paquetes totalmente IP en lugar de tecnología de conmutación de circuitos, y uso de métodos de transmisión de múltiples portadoras tales como OFDMA (del inglés Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) y otros métodos de ecualización en el dominio de la frecuencia (FDE: frequency-domain equalization), en lugar de las actuales tecnologías de radio de espectro ensanchado.

Las velocidades máximas de datos para las redes 4G deben ser cercanas a 100 Mbps para un usuario en una red altamente móvil y 1 Gbps para un usuario con acceso inalámbrico o una conexión nómada o itinerante. Ciertamente 4G también debe poder ofrecer transferencias suaves a través de diferentes redes sin pérdida de datos y proporcionar una alta calidad del servicio para los servicios y redes NGN.

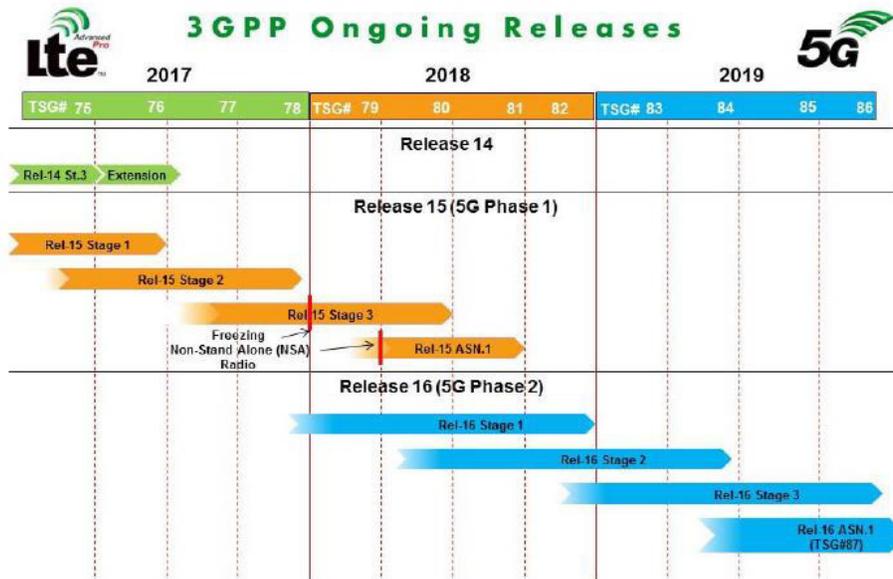
Uno de los aspectos más importantes de la tecnología 4G es la eliminación de nodos paralelos de red con conmutación de circuitos y conmutación de paquetes utilizando el Protocolo Internet versión 6 (IPv6). El estándar actualmente utilizado, IPv4, tiene un límite finito de direcciones IP que pueden asignarse a los dispositivos, significa que las direcciones duplicadas deben ser creadas y reutilizadas usando la traducción de direcciones de red (NAT Network Address Translation), una solución que solo enmascara el problema en lugar de resolverlo definitivamente. IPv6 proporciona una cantidad mucho mayor de direcciones disponibles, y es fundamental para proporcionar una experiencia optimizada a los usuarios.

## A continuación un breve resumen de las características principales de los sistemas (Todo-IP 4G):

- Un alto grado de uniformidad de la funcionalidad en todo el mundo, manteniendo al mismo tiempo flexibilidad para admitir una amplia gama de servicios y aplicaciones a un costo eficiente;
- Compatibilidad de los servicios dentro de IMT (International Mobile Teleunicaciones) y con redes fijas (mismo servicio sobre fijo y acceso móvil, también conocido como Convergencia Fijo-Móvil);
- Capacidad de interfuncionamiento con otros sistemas de acceso de radio, crucial para avanzar hacia arquitecturas de red más eficientes y mejores prestaciones de las redes de nueva generación;
- Servicios móviles de alta calidad (lo que significa altas velocidades de transmisión de datos y funciones de soporte QoS);
- Equipo de usuario adecuado para uso mundial;
- Aplicaciones, servicios y equipos fáciles de usar;
- Capacidad de roaming (itinerancia) en todo el mundo (es un requisito continuo desde 2G);
- Tasas máximas mejoradas de transmisión de datos para admitir aplicaciones y servicios avanzados y (100 Mbit / s para alta movilidad y 1 Gbit / s para baja movilidad fueron establecidos como objetivos durante el proceso de investigación previo a su estandarización).

Esas características permiten a las redes 4G mejorar la experiencia del usuario en tanto se logran mayores prestaciones tanto en los servicios actuales como en los futuros servicios móviles de datos y multimedia y posibilitan un alto nivel de aprovisionamiento de QoS. Desde ahora 4G y más adelante 5G son las tecnologías y arquitecturas responsables del advenimiento de la hiperconectividad con todo lo que eso implica, para la salud, el transporte, educación, seguridad, gestión de ciudades, comercio y en el ser humano, en donde la tónica hoy día es estar permanentemente conectado.

Se muestra en la **figura 17** el proceso actual de deliberaciones y emisión de versiones así como estados de las mismas en el tránsito hacia 5G. Hay que hacer notar que las implementaciones llegan varios años después de la estandarización inicial de cierta versión del 3GPP, al menos por la experiencia de las últimas versiones de 3GPP



**Figura 17. Línea de tiempo 3GPP hacia 5G.**  
**Fuente: 3GPP Releases, 2018.**

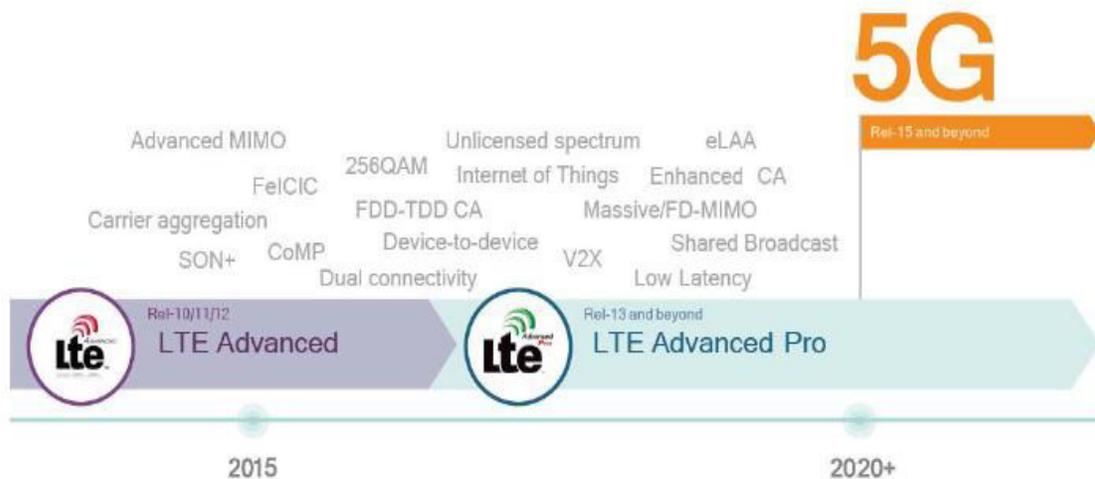
Las versiones LTE y LTE-Advanced que se implementan hoy incluyen series de innovaciones que aumentan el rendimiento, la eficiencia y las capacidades. Las mejoras que se mostraron en el período de 2013 a 2016 son las ofrecidas por las versiones 3GPP 10 y 11, que se conocen como LTE-Advanced (4G). Publicaciones posteriores como Release 12 y hasta 15, continúan esta innovación hasta el final de esta década con el lanzamiento del LTE-Advanced Pro, que trataremos a continuación.

Es importante mencionar que para migrar de una red HSPA o HSPA+ a LTE-A, es conveniente el pasar inicialmente por LTE, ya que LTE-A es en su mayoría una red LTE. Un aspecto importante de mencionar es que la arquitectura general de LTE y LTE-Advanced es básicamente la misma. La integran tres subredes o bloques importantes: la red de acceso E-UTRAN, la red de core EPC y la red de servicios externos. La diferencia fundamental se encuentra en E-UTRAN ya que LTEAdvanced incorpora una arquitectura adicional basada en Relay Node y en el núcleo de red se agrega el HeNB-GW.

### 2.5.2- Tecnología LTE- Advanced Pro.

Aún no está disponible comercialmente, pero como la siguiente fase en la evolución de LTE (3GPP Release 13 y posteriores), LTE-Advanced Pro hace más que sólo acercar las capacidades de LTE hacia 5G. También se convertirá más tarde de acuerdo al desarrollo planificado por el 3GPP en una parte integral de los primeros despliegues comerciales de redes móviles 5G (Herbert Ariane, 2018), propiciando muchos servicios esenciales para la experiencia 5G desde el inicio de dichas operaciones.

En la **Figura 18** se muestran las capacidades progresivas de LTE hacia el 5G.



**Figura 18. Progreso de las capacidades LTE hacia 5G.**

**Fuente:** Qualcomm. Leading the path towards 5G with LTE Advanced Pro. 2016.

Además, en la **Figura 19** se muestran las tecnologías pioneras de LTE Advanced Pro 5G NR (New Radio).



**Figura 19. Tecnologías pioneras de LTE Advanced Pro 5G NR (New Radio).**

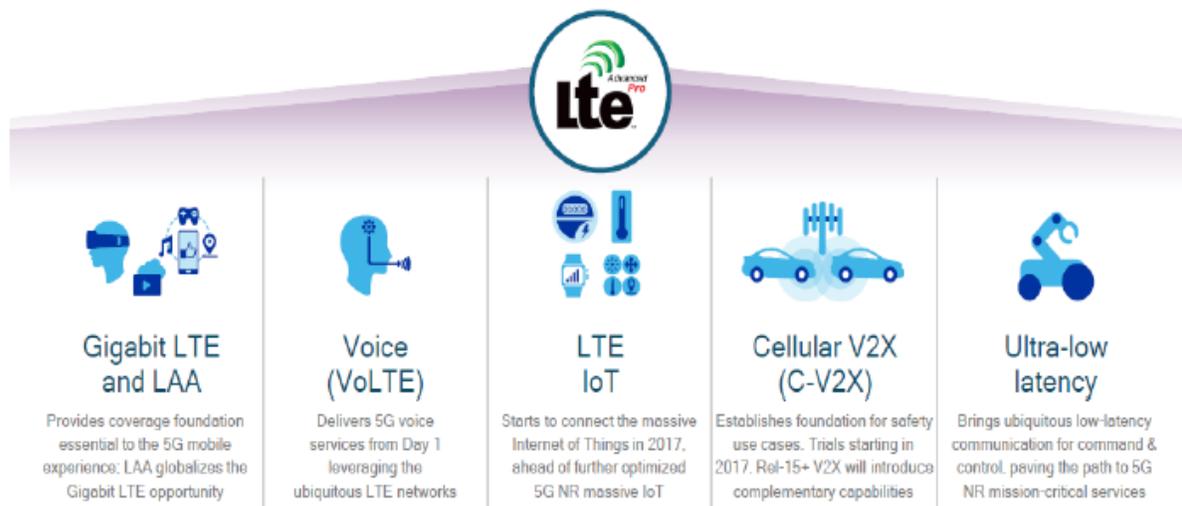
**Fuente:** Qualcomm. The essential role of Gigabit LTE & LTE Advanced Pro in a 5G World. 2017.

Una de las capacidades clave de LTE-Advanced Pro es la tecnología Gigabit LTE que da vida a muchas nuevas experiencias inmersivas, incluida la realidad virtual.

La evolución de la tecnología Gigabit LTE, ofrece más rapidez, una menor latencia, más capacidad general, lo que posibilita en gran medida nuevos servicios relacionados con el IoT. LTE-Advanced se propuso mejorar el LTE, así como cumplir con los requisitos establecidos por la ITU para 4G. LTE-Advanced Pro hará lo mismo y se preparará para 5G. Esencialmente, soy del criterio que podemos pensar en LTE como 3.5G o pre-4G, LTEAdvanced como 4G, y LTE-Advanced Pro como 4.5G o pre 5G.

El Grupo de Coordinación del Proyecto 3GPP aprobó el uso de LTE-Advanced Pro en octubre de 2015 y el nuevo término "Pro" está destinado a marcar la mejora de la plataforma LTE para abordar nuevos mercados y agregar funcionalidad para mejorar la eficiencia de la red. Es conveniente resaltar que los principales avances logrados con la finalización de la Versión 13 incluyen: mejoras MTC (comunicación de tipo de máquina), características de seguridad pública, como D2D y conectividad dual de fento celdas, mejoras en la agregación de portadoras, interfuncionamiento con WiFi y reducción de latencia. Muchas de estas características se iniciaron en versiones anteriores, pero maduran en la versión 13.

En la **figura 20** se muestran los servicios esenciales provistos de LTEAdvancedPro.



**Figura 20. Servicios esenciales provistos de LTEAdvancedPro.**

**Fuente: Qualcomm. The essential role of Gigabit LTE & LTE Advanced Pro in a 5G World. 2017.**

LTE-Advanced Pro se presentará para cumplir con los requisitos IMT-2020 establecidos por la UIT. En realidad, LTE-Advanced Pro incorporará una serie de tecnologías diferentes, muchas de las cuales serán formas más avanzadas de funciones ya presentes en LTE-Advanced e incluso LTE.

**Agregación avanzada de portadoras.** La agregación avanzada de portadoras en LTE-Advanced Pro aumentará el número de portadoras diferentes que pueden admitirse simultáneamente de cinco (bajo LTE-A) a 32. Eso significa que se necesita mucho espectro para implementar LTE-Advanced Pro y poder mostrar su capacidad completa como tecnología pre-5G, y este aspecto desde luego no lleva a esperar los resultados de la CMR-2019, antes de explorar con tecnologías 5G.

**Acceso asistido con licencia. (LAA: Licensed Assisted Access).** Una de las características nuevas e importantes de LTE-Advanced Pro es el denominado acceso asistido con licencia (LAA), que fue introducido por 3GPP en 2015. La disponibilidad del espectro radioeléctrico es un problema con LTE, pero hay una banda de frecuencia significativa en los 5 GHz sin licencia que se utiliza actualmente en las redes WiFi. LAA permite el uso simultáneo de bandas de espectro radioeléctrico con licencia y sin licencia para hacer el uso más eficiente de todo el espectro disponible, mientras que LTE WiFi (Link) Aggregation (LWA) permite la agregación entre LTE y WiFi.

LAA mejorado (eLAA) es un proyecto dentro de la versión 14 que permite la agregación de espectro radioeléctrico licenciado y sin licencia en el enlace ascendente, además de las transmisiones de enlace descendente admitidas por LAA.

**Celdas pequeñas.** Las celdas pequeñas son ideales para su uso con espectro radioeléctrico sin licencia y normalmente se implementan como puntos de acceso dentro de la cobertura de macro celdas. Se utilizan cada vez más para satisfacer las crecientes demandas de transferencia de datos. La agregación entre celdas pequeñas y macro a través de conectividad dual mejorará significativamente el rendimiento por usuario y la robustez de la movilidad, y LTE-Advanced Pro continúa el trabajo ya iniciado en esta área. Sin embargo es nuevo para LTE Advanced Pro, la agregación dinámica de enlace ascendente y enlace descendente que permitirá a los operadores ajustarse dinámicamente a las diferentes necesidades de tráfico al:

- Cambiar la configuración de enlace ascendente / enlace descendente en función del tráfico y
- Habilitar la descarga de tráfico del enlace descendente.

**MIMO masivo.** La formación de haces (Beamforming) o el filtrado espacial es una técnica de procesamiento de señales que se utiliza en matrices de sensores para la transmisión o recepción de señales direccionales y MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), se han identificado como tecnologías clave para abordar la demanda de capacidad futura. Antes de LTEAdvanced, la formación del haz se centraba en la dimensión del acimut, esencialmente a nivel del suelo. LTE-Advanced comenzó las investigaciones sobre la formación del haz de elevación, donde las matrices de antenas apuntan a edificios más altos. LTE-Advanced Pro explota la dimensión completa MIMO (FD-MIMO), que simultáneamente admite la

formación de haces de elevación y acimut para aumentar significativamente la capacidad y la cobertura.

**Internet celular de las cosas (IoT).** Se necesita una nueva categoría de dispositivos de bajo costo y bajo rendimiento para muchas aplicaciones de IoT. LTE-Advanced Pro en la Versión 13 define tres tecnologías dirigidas a los mercados de IoT a ser soportadas:

- **eMTC (Enhanced Machine Type Communication):** proporciona más mejoras LTE para Comunicaciones Tipo Máquina, que también se abrevia como LTE-MTC o LTE-M (Evolución a Largo Plazo para Máquinas)
- **NB-IoT (Internet de las cosas de banda estrecha):** se define como la nueva radio agregada a la plataforma LTE optimizada para el segmento más bajo del mercado.
- **EC-GSM-IoT (Cobertura extendida GSM para Internet de las cosas):** Define las mejoras de EGPRS que hacen que los mercados GSM / EDGE estén preparados para IoT (por lo tanto, GSM / EDGE sigue operativo).

Nos podríamos preguntar si realmente se necesita eMTC y NB-IoT. La respuesta simple aquí es 'sí, se necesitan'. Sin embargo, tanto el eMTC como el NB-IoT están de hecho diseñados para tipos algo diferentes de escenarios de uso de IoT. eMTC utiliza solo 1,4 MHz de ancho de banda para entregar hasta 1 Mbps de rendimiento. Es compatible con la movilidad total para una amplia gama de casos de uso de IoT, incluidos, por ejemplo, los rastreadores de activos y los dispositivos para uso personal. La tecnología LTE-M tiene como objetivo proporcionar acceso de banda estrecha de menor velocidad para dispositivos de baja potencia. LTE-M es una variante de LTE que se ha desarrollado para comunicaciones de máquina a máquina (M2M). Las redes de gran ancho de banda se reservarán para dispositivos más potentes que necesiten un alto rendimiento y una baja latencia.

Por otro lado, el NB-IoT está diseñado con extrema simplicidad, para proporcionar equipos de usuario final muy económicos, que tendrán aplicaciones de bajo rendimiento y tolerante al retardo (por ejemplo, los metros y sensores son ejemplos típicos aquí). Permite velocidades de datos de varias decenas de kbps con 200 kHz de ancho de banda. Además, NB-IoT se creó para poder implementarlo dentro de una banda LTE existente, en la banda de protección entre dos portadoras LTE estándar, o en su propio modo independiente, lo que proporciona una ruta de migración sencilla para el GSM/ GPRS. Por lo tanto, NB-IoT apunta al extremo más bajo del mercado de IoT. Puede ser un dinamizador o acelerador de la era de IoT.

EC-GSM-IoT está desarrollado para ser compatible con versiones anteriores para permitir que la tecnología se introduzca en redes GSM existentes como una actualización de software en la red de radio y también en la red central. De acuerdo con la GSMA, el EC-GSM-IoT no requiere ninguna planificación de

frecuencia adicional ya que el sistema es compatible con las implementaciones GSM existentes. Las bandas de espectro utilizadas más comúnmente para GSM se encuentran en 800-900 MHz y 1800-1900 MHz. De acuerdo a 3GPP, es probable que las consideraciones de cobertura impulsen las primeras implementaciones EC-GSM-IoT en las bandas inferiores. EC-GSM-IoT puede ser desplegado con un impacto mínimo en los sistemas vecinos 2G, 3G y 4G de manera similar a las implementaciones GSM estándar.

**Comunicación dispositivo a dispositivo (D2D).** El protocolo directo de LTE nació del trabajo realizado por Qualcomm. La tecnología de dispositivo a dispositivo (D2D) permite el descubrimiento de miles de dispositivos en una proximidad de alrededor de 500 m para facilitar los servicios de proximidad. El trabajo en servicios de proximidad enfocados en aplicaciones de seguridad pública comenzó en LTEAdvanced y continuó en el R13. El trabajo futuro también analizará las aplicaciones sociales. R13 además tenía como objetivo permitir a los operadores multiplexar dispositivos de comunicaciones de tipo máquina (MTC) de ancho de banda reducido y dispositivos regulares en redes LTE existentes. Un área específica de enfoque en R14 será D2D y relés de dispositivo a red para IoT y dispositivos de uso personal, teniendo en cuenta cómo los dispositivos MTC remotos, como los dispositivos de uso personal, se conectan a otros dispositivos, que a su vez se conectan a la red de acceso. Específicamente, R14 tiene como objetivo definir una arquitectura de retransmisión genérica de dispositivo a red.

**Servicios de emergencia y seguridad pública.** El uso de LTE para servicios de emergencia y seguridad pública fue un aspecto importante del R13, que culminó en el primer conjunto de especificaciones que cubren los servicios de misión crítica, en particular el protocolo de misión crítica Push-To-Talk (MC-PTT). Este trabajo continuará en R14 con servicios de video y datos de misión crítica.

**Vehículo a cualquier cosa (V2X).** Un proyecto clave dentro de R14 son las comunicaciones de vehículo a cualquier cosa (V2X), que en última instancia apoyará a los vehículos conectados con la infraestructura, las personas y las redes para habilitar automóviles autónomos (autónomos). V2X incluirá dos modos de transmisión complementarios:

- **Comunicación directa:** basada en LTE D2D con mejoras para altas velocidades, alta densidad, sincronización mejorada y baja latencia.
- **Comunicación de red:** Permitir la transmisión de mensajes de un servidor V2X a vehículos y más; Los vehículos pueden enviar mensajes al servidor a través de unicast.

Visto lo anterior, vemos que la implementación de todos estos servicios significa que se necesita mucho espectro radioeléctrico para implementar LTE-Advanced Pro. Sin embargo con la disponibilidad de la tecnología de agregación avanzada de portadoras, es totalmente factible para los dos grandes operadores nacionales en llegar a implementar en sus redes LTEAdvanced y LTEAdvanced Pro, ya que

ambos y solo ellos en Nicaragua cuentan con suficiente espectro radioeléctrico licenciado y con la posibilidad adicional de acceder a espectro compartido en la banda de 5 GHz. Por otro lado es necesario esperar los resultados de la CMR-2019, antes de explorar a futuro con tecnologías 5G.

En conversaciones con los gerentes de ingeniería y de regulación de las diferentes empresas aglutinadas en CANITEL se pone de manifiesto que en por lo menos los dos grandes operadores, sus principales operaciones están siendo soportadas con tecnología LTE en versión FDD y tanto Claro como Movistar han manifestado tener proyectos pilotos de LTE-Advanced y que a nivel corporativo existe la visión de migrar a futuro a LTE-Advanced Pro, pero que dicha migración obedecerá en el tiempo a los niveles de economía de escala que vayan alcanzando sus grandes operaciones en América Latina en el caso de Claro y a nivel mundial en el caso de Movistar, luego de analizar con detalle los resultados de la CMR-2019 en relación a las nuevas bandas de frecuencias radioeléctricas para los servicios móviles.

## **2.6- Tecnología WiMAX 802.16e y 802.16m.**

Worldwide Interoperability for Microwave Access. (WiMAX), es una norma de comunicación inalámbrica para redes de área metropolitana basada en el estándar IEEE 802.16 del Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (Molish Andreas F. 2011). Este estándar posibilita que las aplicaciones de red de computadoras sean móviles, a velocidades de banda ancha, con una nueva y creciente familia de dispositivos conectados a Internet a velocidades varias veces más rápidas que las actuales velocidades de telefonía celular de tercera generación (3G).

El estándar IEEE 802.16 se desarrolló en su primera versión, como un medio de acceso inalámbrico fijo de banda ancha en el rango de frecuencia 10-66 GHz. El estándar ha sido sometido a una serie de actualizaciones tales como, 802.16a, 802.16c, y también el estándar WiMAX fijo, 802.16d (802.16-2004), el estándar móvil WiMAX 802.16e (802.16-2005) que cada uno especifica la interfaz aérea para el sistema fijo y estándares móviles de WiMAX junto con funciones relacionadas. (Rábanos J. 2008)

El estándar especifica la interfaz aérea del acceso inalámbrico de banda ancha (BWA - Broadband Wireless Access), que incluye las capas de control de acceso al medio (MAC) y capa física (PHY). El avance principal de la capa PHY incluye la multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), en la que se logra acceso múltiple asignando un subconjunto de subportadoras para cada usuario individual. Con el uso de OFDM se incrementa la eficiencia espectral debido a que no hay necesidad de bandas de guarda. Con los avances en estándares que incluyen el soporte 802.16e para el sistema de antena avanzado (AAS) a través de la tecnología MIMO, que usa múltiples antenas tanto en el transmisor como en el receptor, lo que configura un flujo de datos múltiple en el mismo canal, aumentando la capacidad de datos del canal en gran medida. La capa MAC usa

un algoritmo de programación que determina el acceso entre el equipo de usuario y la estación base. También proporciona control de los parámetros de calidad de servicio (QoS) a través de la estación base. (Rábanos J. 2008)

En el estándar Mobile WiMAX, la capa radio SOFDMA-PHY (SOFDMA, Scalable OFDM Access) define anchos de banda nominales que varían desde 1.25 MHz hasta 20 MHz, en cada caso se utilizan desde 128 hasta 2048 puntos FFT (FFT, Fast-Fourier Transform), permitiendo comunicaciones escalables variando el espaciado entre subportadoras (IEEE802.16e). A su vez, las diferentes combinaciones de modulaciones disponibles y tasas de codificación permiten disponer de un gran abanico de regímenes binarios. La tecnología WiMAX 802.16e permite disponer de cobertura en áreas de hasta 8.4 km para anchos de banda nominales de 5 MHz y 10 MHz. (Rábanos J. 2008)

Actualmente, Mobile WiMAX se encuentra estandarizado por IEEE 802.16e (IEEE802.16e), y también con las revisiones 1.0 y 1.5 realizadas por el WiMAX Forum. Este conjunto de estándares y revisiones completa la definición de la tecnología Mobile WiMAX a nivel de comportamiento de red y parámetros radio. A su vez, se ha trabajado en el seno de IEEE 802.16 en la transición desde esta revisión 1 hacia la revisión 2 es decir el estándar IEEE 802.16m, que busca cumplir con los requisitos de IMT-Advanced con respecto a la próxima generación de redes móviles prevista por la UIT.

La enmienda 802.16m se ha desarrollado de acuerdo con la solicitud de autorización de proyecto P802.16 (PAR), aprobada el 6 de diciembre de 2006, y con la Declaración de cinco criterios en IEEE 802.16-06 / 055r3. Este estándar enmienda la especificación IEEE 802.16 WirelessMAN-OFDMA para proporcionar una interfaz aérea avanzada para operar en bandas con licencia. Cumple con los requisitos de capa celular de las redes móviles de próxima generación IMT-Advanced. Esta enmienda proporciona soporte continuo para los equipos WirelessMAN-OFDMA heredados. El objetivo de esta norma es proporcionar las mejoras de rendimiento necesarias para admitir futuras aplicaciones y servicios avanzados, como los descritos por la UIT en el Informe UIT-R M.2072. (Rábanos J. 2008)

Se muestra a continuación en la **tabla 7** una comparación entre WiMAX fijo y WiMAX móvil. Se han realizado ya más de 400 despliegues, incluyendo más de 50 con IEEE 802.16e, en 133 países (Rohde & Schwarz .2018). El objetivo del despliegue actual está en las bandas de 2,3 GHz, 2,5 GHz y 3,5 GHz. La mayoría de los despliegues de WiMAX™ utilizan bandas de frecuencias con licencia. Queda por ver si los operadores de red que aplican hoy WiMAX™ fijo adoptarán la actualización a WiMAX™ móvil en un futuro próximo. Con la decisión de la UIT de abrir el espectro 3G para WiMAX™, se espera que se incrementen los despliegues en el espectro 3G de 1,9 GHz y 2 GHz. (WiMAX Forum. 2018).

	<b>802.16</b>	<b>802.16-2004</b>	<b>802.16e-2005</b>
Estatus	Completado en diciembre de 2001	Completado en junio de 2004	Completado en diciembre de 2005
Banda de frecuencia	10 GHz – 66 GHz	2 GHz – 11 GHz	2GHz – 11 GHz para red fija ; 2 GHz – 6 GHz para aplicaciones móviles
Aplicación	LOS fijo	NLOS fijo	NLOS fijo y móvil
Arquitectura MAC	Malla punto - multipunto	Malla punto - multipunto	Malla punto - multipunto
Esquema de transmisión	Únicamente portadora sencilla	Portadora sencilla, 256 OFDM ó 2048 OFDM	Portadora sencilla, 256 OFDM o OFDM variable con 128, 512, 1024 ó 2048 subportadoras
Modulación	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Tasa de transmisión de datos absoluto	32 Mbps – 134.4 Mbps	1 Mbps – 75 Mbps	1 Mbps – 75 Mbps
Multiplexado	TDM / TDMA	TDM / TDMA / OFDMA	TDM / TDMA / OFDMA
Duplexado	TDD y FDD	TDD y FDD	TDD y FDD
Ancho de banda de los canales	20 MHz, 25 MHz, 28 MHz	1.75 MHz, 3.5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 1.25 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 8.75 MHz	1.75 MHz, 3.5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 1.25 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 8.75 MHz.
Designación de interfaz aérea	Wireless MAN-SC	Wireless MAN-SCa, Wireless MAN-OFDM, Wireless MAN-OFDMA, Wireless HUMAN	Wireless MAN-SCa, Wireless MAN-OFDM, Wireless MAN-OFDMA, Wireless HUMAN.
Implementación	Ninguna	256 OFDM como WiMAX fijo	OFDMA variable como WiMAX móvil

**Tabla 7. Comparación entre WiMAX fijo y WiMAX móvil.**  
**Fuente: Estándar IEEE 802.16 WiMAX. UNAM. 2017.**

Se muestra a continuación en la **tabla 8**, una comparación entre las tecnologías móviles celulares y WiMAX móvil.

Características		WCDMA	HSDPA	1x	1xEV-DO	802.16e
Espectro		824-894/ 830-885/ 1710- 1880/ 1710-2155/ 1850- 1990/ 1920- 1980/ 2110 - 2170 [MHz]	824-894/ 830-885/ 1710-1880/ 1710-2155/ 1850-1990/ 1920-1980/ [MHz]	411-493/ 824-925/ 1750-1990 [MHz]	412-493/ 824-925/ 1750-1990 [MHz]	2-11 GHz
BW Canal		5 MHz	5 MHz	1.25 MHz	1.25 MHz	1.5 – 20 MHz escalable
Duplexación		CDM/TDD	CDM/TDD	CDM	CDM/TDD	CDM/TDD
Acceso Múltiple		TDMA/ CDMA	TDMA/ CDMA	CDMA	TDMA/ CDMA	SOFDMA
Modulación		QPSK/ BPSK	QPSK/ 16QAM	QPSK/ HPSK	BPSK/ QPSK/ 8-PSK/ 16-QAM	OFDM/ QPSK/ 16QAM/ 64QAM
Tasa de datos	DL	2.63 Mbps	14.03 Mbps	153 kbps	3.1 Mbps	15 Mbps (máx) 3-5 Mbps
	UL	2.25 Mbps	2.25 Mbps	153 kbps	1.8 Mbps	
Eficiencia Espectral [bps/Hz]		0.521 (< 0.77 x móvil)	~1.6 (< 2.88)	0.25-0.37	0.96	< 3
Re-uso de Frecuencia		1	1	1	1	1

**Tabla 8. Comparación entre las tecnologías móviles celulares y WiMAX móvil.**  
Fuente: WiMAX Forum. Technical Specification Library.2018.

En la **tabla 9**, se muestra una comparación entre el WiMAX móvil y sistemas celulares B3G, en donde destaca la velocidad de transmisión de datos, tanto en el segmento ascendente como en el descendente.

Característica	1xEV-DO Rev. A	HSPA	WiMAX Móvil
Estándar base	CDMA2000/IS-95	WCDMA	WCDMA
Método dúplex	FDD	FDD	TDD/FDD
Multiplexación Downlink	TDM	CDM/TDM	OFDMA
Acceso múltiple uplink	CDMA	CDMA	
Ancho de banda de canal	1.25 MHz	5 MHz	5/7/8.75/10 MHz
Tamaño de frame	DL	1.67 ms	5 ms TDD
	UL	6.67 ms	
Modulación DL	QPSK/8PSK/16QAM	QPSK/16QAM	QPSK/16QAM/64QAM
Modulación UL	BPSK/QPSK/8PSK	BPSK/QPSK	QPSK/16QAM
Codificación	Turbo	CC, Turbo	CC, Turbo
Peak DL sobre la tasa de datos aérea	3.1 Mbps	14 Mbps	46 Mbps, DL/UL=3 32 Mbps, DL/UL=1 (10 MHz BW)
Peak UL sobre la tasa de datos aérea	1.8 Mbps	5.8 Mbps	7 Mbps, DL/UL=1 4 Mbps, DL/UL=3
HARQ	4-canales rápido, IR síncrono	6 canales rápido CC asíncrono	Multicanal CC asíncrono
Despacho	Despacho rápido DL	Despacho rápido DL	Despacho rápido DL/UL
Handover	Soft virtual	Hand iniciado por la red	Hand optimizado por la red
Diversidad Tx y MIMO	Diversidad de lazo abierto simple	Diversidad de lazo abierto y cerrado simple	STBC, SM
Beamforming	No	Sí (pilotos dedicados)	Sí

**Tabla 9. Comparación entre el WiMAX móvil y sistemas celulares B3G.**  
Fuente: WiMAX Forum. Technical Specification Library.2018.

### El rendimiento, escalabilidad, QoS y seguridad de WiMAX.

**Rendimiento:** Al usar un esquema de modulación robusto, IEEE 802.16 ofrece un alto rendimiento a grandes distancias con un alto nivel de eficiencia espectral que también es tolerante a las reflexiones de la señal. La modulación dinámica adaptativa permite a la estación base sacrificar el rendimiento para el rango. Por ejemplo, si la estación base no puede establecer un enlace robusto a un abonado distante utilizando el esquema de modulación de orden más alto, 64 QAM (Modulación de amplitud en cuadratura), el orden de modulación se reduce a 16 QAM o WiMAX QPSK (Cuadratura de fase Shift Keying) lo que reduce el rendimiento pero aumenta el alcance efectivo, logrando la comunicación mediante compromisos de calidad del servicio.

**Escalabilidad:** Para acomodar más fácilmente la planificación de celdas tanto en el espectro radioeléctrico licenciado como exento de licencia en todo el mundo, 802.16 admite anchos de banda de canal flexibles. Por ejemplo, si a un operador se le asignan 20 MHz de espectro, ese operador podría dividirlo en dos sectores

de 10 MHz cada uno, o 4 sectores de 5 MHz cada uno. Al enfocar la energía en sectores cada vez más estrechos, el operador puede aumentar la cantidad de usuarios mientras mantiene un buen alcance y rendimiento. Para escalar aún más la cobertura, el operador puede reutilizar el mismo espectro en dos o más sectores creando un aislamiento adecuado entre las antenas de la estación base.

**Cobertura:** Además de soportar un esquema de modulación robusto y dinámico, el estándar IEEE 802.16 también admite tecnologías que aumentan la cobertura, incluida la topología de malla y las técnicas de antena inteligente. A medida que la tecnología de radio mejora y los costos bajan, la capacidad de aumentar la cobertura y el rendimiento mediante el uso de múltiples antenas para transmitir y / o recibir diversidad mejorará en gran medida la cobertura en entornos extremos.

**Calidad de servicio:** La capacidad de voz es extremadamente importante, especialmente en mercados internacionales desatendidos. Por esta razón, el estándar IEEE 802.16 incluye características de calidad de servicio que permiten servicios que incluyen voz y video que requieren una red de baja latencia. Las características de concesión / solicitud del 802.16 Media Access Controller (MAC) permiten que un operador proporcione simultáneamente niveles premium de servicio garantizados a las empresas, como el servicio de nivel T1 o E1, y el servicio WiMAX de gran volumen "best-effort" para hogares, similares al servicio de nivel de cable, todo dentro de la misma celda del área de servicio de la estación base.

**Seguridad:** Las características de privacidad y encriptación se incluyen en el estándar 802.16 para admitir transmisiones seguras y proporcionar autenticación y encriptación de datos.

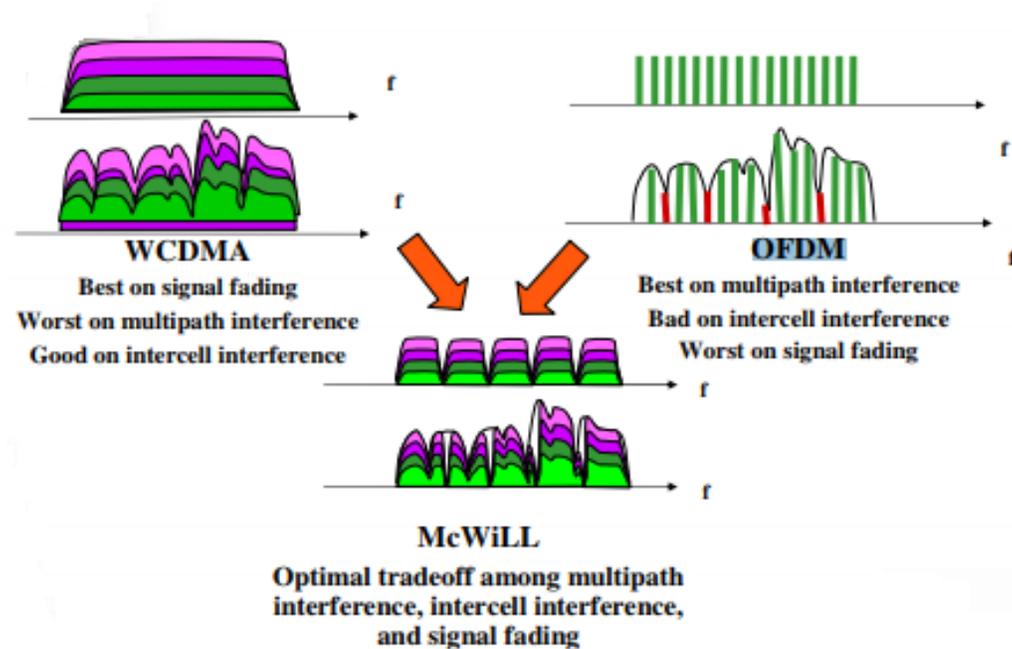
Todos estos aspectos impactan positivamente en las empresas en tanto posibilitan un rápido retorno de la inversión.

En Nicaragua el despliegue de red WiMAX está por debajo del 1 % de la red inalámbrica. Básicamente se está brindando a clientes corporativos y residenciales de altas prestaciones. Su crecimiento no es significativo. CANITEL lo denomina como vegetativo, es decir que es igual o menor al crecimiento poblacional en Nicaragua. La tecnología WiMAX 802.16e está disponible en Nicaragua, teniendo presencia a nivel de cabeceras departamentales y algunas cabeceras municipales con capacidades productivas tales como Nueva Guinea, Jalapa, Sébaco y sitios similares de alta productividad, siendo un cliente importante el sistema bancario nacional. La tecnología WiMAX 802.16m ha sido desplegada de forma muy restringida en Managua por las empresas Alphanumeric, Ideay e IBW para lo que ellos denominan la demanda servible y que está ubicada en los ejes viales principales de la ciudad de Managua. Es una forma de preparar infraestructura para servir los futuros servicios, en tanto no cuentan con espectro radioeléctrico en la cantidad suficiente como para desplegar operaciones eficientes con tecnología LTE.

## 2.7- Tecnología McWiLL

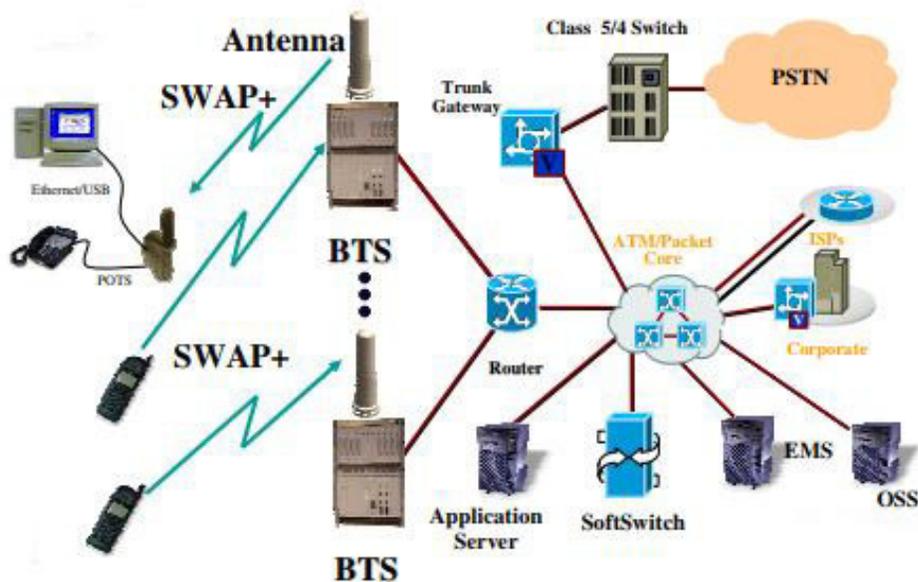
McWiLL (Multi-Carrier Wireless internet Local Loop) integra voz de banda estrecha y datos nómadas de banda ancha en redes basadas en IP. Evolucionó a partir de SCDMA (Synchronous Code Division Multiple Access) y fue desarrollado por Beijing Xinwei desde 1995 aunque gran parte del trabajo inicial fue desarrollado por la Academia de Tecnología de Telecomunicaciones de China (CATT) (Wei Chen, 2018) Su primera prueba comercial fue en el año 2004.

McWiLL combina el uso tradicional de SCDMA (CDMA síncrono), en voz de banda estrecha e introduce un servicio de datos de banda ancha móvil que se conecta a una red central basada en IP. Se basa en la modulación adaptativa CS-OFDMA (acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal de codificación de código) y utiliza la asignación dinámica de canales y las antenas inteligentes para mejorar su rendimiento. Debemos resaltar que WCDMA, es lo mejor superando el desvanecimiento de la señal y bueno en superar la interferencia entre celdas, pero no ayuda mucho en superar la interferencia multirrayecto, en cambio OFDM, es lo mejor para superar la interferencia multirrayecto pero malo para superar interferencia entre celdas y pésimo tratando de superar el desvanecimiento de la señal. McWiLL al utilizar estas dos técnicas, SCDMA en canales de voz y CS-OFDM en canales de datos, logra una compensación óptima entre la interferencia multirrayecto, la interferencia entre celdas y el desvanecimiento de la señal, tal y como se muestra en la **figura 21**.



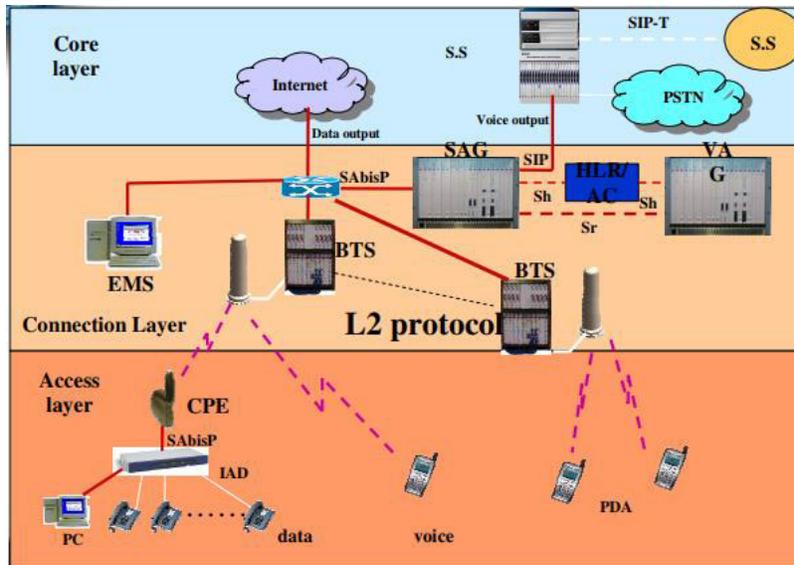
**Figura 21. Combinación por McWiLL del uso de WCDMA y OFDM.**  
Fuente: Multi-carrier Wireless internet Local Loop (McWiLL). Beijing Xinwei Telecom Technology Inc. Wei Chen. 2018.

La tecnología actual se denomina TD-SCDMA (Time division-synchronous code division multiple access) y es una versión TDD adicional de UMTS. TD-SCDMA ha sido adoptado como un estándar 3G por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), y es parte del sistema 3GPP UMTS que se define en los estándares 3GPP. TD-SCDMA puede soportar servicios de IP, y ha sido diseñado para incorporar nuevas tecnologías tales como detección conjunta, antenas adaptativas y asignación dinámica de canales y el traspaso antes de la interrupción, para ofrecer servicios de voz y datos de alta velocidad. Se muestra en la **figura 22** la topología de red y la arquitectura de McWiLL.



**Figura 22. Topología de Red y Arquitectura de McWiLL**  
**Fuente: Multi-carrier Wireless internet Local Loop (McWiLL). Beijing Xinwei Telecom Technology Inc. Wei Chen. 2018.**

Aunque similar en muchos aspectos a las especificaciones UMTS TDD, TD-SCDMA tiene una serie de diferencias principalmente vinculadas a la baja movilidad y los teléfonos para los dos sistemas no serían compatibles a menos que la capacidad para ambos sistemas estuviese específicamente integrada en ellos, lo que constituye una severa desventaja competitiva en los mercados mundiales. En la **figura 23** se muestra una solución McWiLL.



**Figura 23. Solución McWiLL basada en la red central**  
**Fuente: Multi-carrier Wireless internet Local Loop (McWiLL). Beijing Xinwei Telecom Technology Inc. Wei Chen. 2018.**

La tecnología McWiLL, cuenta actualmente con dos versiones comerciales, la primera utiliza la banda de los 400 MHz y es principalmente utilizada en las áreas rurales de China, una segunda versión utiliza la banda de 1800 MHz para ser utilizada principalmente en áreas urbanas y es un sistema de mayores prestaciones pero de movilidad limitada. Ambas versiones están presentes en Nicaragua en la operación de la empresa COOTEL, siendo la más extendida la que utiliza la banda de 1800 MHz (1785-1805 MHz), dado que soporta servicios de valor agregado, lo que constituye la única posibilidad real de competir con los dos grandes operadores móviles del mercado nicaragüense. La tecnología McWiLL utiliza modulación adaptativa. El sistema selecciona el modo de modulación QPSK, 8PSK, QAM16 o QAM64, en dependencia de las características del canal y potencia de recepción.

Un aspecto a resaltar es que si bien UMTS (W-CDMA) y CDMA2000 son ampliamente reconocidos como estándares celulares 3G, y que TD-SCDMA (McWiLL) es igualmente válido, de hecho, se ha adoptado como la versión de baja velocidad de chips LCR (low chip rate) del estándar 3GPP TDD.

TD-SCDMA (McWiLL) es un sistema limitado en potencia para el control de interferencias y para la planificación de cobertura radioeléctrica. Las tecnologías clave de SCDMA forman la base de TD-SCDMA, un estándar de ITU para comunicaciones inalámbricas 3G. Si bien los productos de SCDMA son productos de banda estrecha que se enfocan en aplicaciones de voz fija y móvil, una nueva generación de productos SCDMA son productos de banda ancha, que se enfoca en voz fija y móvil y aplicaciones de datos de muy alta velocidad.

## 2.7.1- Descripción general y especificaciones TD-SDCMA.

A continuación en la **tabla 10**, se ofrece un resumen de las características y especificaciones básicas:

CARACTERISTICAS	FIGURA
Ancho de banda	1.6 MHz
Velocidad de chip por portadora	1.28 Mcps.
Frame rate	10 ms
Modo de difusión de espectro	DS SF = 1 / 2 / 4 // 8 / 16
Modulación	QPSK / 8PSK / 16 QAM / 64 QAM
Codificación de canal	Códigos convolucionales: R = 1/2 , 1/3 con turbo implementado
Entrelazado	10 / 20 / 40 / 80 ms.
Frame structure	Super frame 720 ms. Radio frame 10 ms. Sub frame 5 ms.
Sincronización de enlace de subida	1/2 chip
Número de canales de voz por portadora	48
Eficiencia espectral	25 Erl./MHz.
Tasa de transmisión total proporcionada por cada portadora	1.971 Mbps.

**Tabla 10. Características y especificaciones básicas TD-SCDMA (McWILL)**  
Fuente: TD-SDCMA Specification Overview, Radio Electronics. Ian Poolo.2018.

El sistema UMTS TD-SCDMA (McWILL) ha adoptado una serie de técnicas y tecnologías avanzadas para optimizar la operación. Estas a menudo están por encima y más allá de aquellas que han sido atendidas en las formas estándar más ampliamente utilizadas de FDD y TDD UMTS. Algunos de estos resultados provienen del hecho de que TD-SCDMA usa la misma frecuencia (TDD, QPSK/16-QAM) tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente, y de los niveles de procesamiento más altos ahora disponibles.

### Éstas incluyen:

**Antenas inteligentes:** La tecnología de antena inteligente se incorpora a la estación base. Esto permite formar haces y esto puede reducir la interferencia entre los terminales y concentrar la potencia transmitida en los terminales activos. Esta técnica se implementa utilizando matrices de antenas inteligentes que incorporan algoritmos avanzados DSP (Digital Signal Processing).

**Tecnología de detección conjunta:** Dentro de CDMA, todos los usuarios múltiples ocupan la misma banda de frecuencia, accediendo a la estación base usando diferentes códigos. De esta forma, resulta la interferencia de acceso múltiple y este es un problema importante en los sistemas basados en CDMA. Una técnica denominada tecnología de detección conjunta trata las señales de todos los usuarios como útiles y las procesa en paralelo.

**Terminales de usuario y sincronización de estación base:** La sincronización de la red permite un ajuste preciso de los avances de temporización para la transmisión desde terminales para que las señales de diferentes usuarios lleguen

juntas a la estación base y no se solapan en el tiempo en los marcos de tiempo de transmisión haciendo la detección mucho más simple. Esta sincronización permite una búsqueda más rápida de celdas vecinas durante el traspaso y también elimina la necesidad de un traspaso continuo.

En la **tabla 11** se muestran algunas diferencias entre las tecnologías TD-SCDMA (McWiLL), WCDMA y CDMA2000:

ESPECIFICACIONES	TD-SCDMA (McWiLL)	WCDMA	CDMA2000
<b>Forma completa</b>	Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access, Utilizes concept of TDMA,FDMA,CDMA and SDMA	Wideband Code Division Multiple Access	También conocido como IMT-2000, como las especificaciones introducidas en servicio en los años 2000-2002. Admite 1x EV-DO (solo datos avanzados) y 1x EV-DV (datos avanzados y voz)
<b>Frecuencia portadora (RF)</b>	Se utiliza en China. Utiliza frecuencias entre 1785-2220 MHz	Para 2100 MHz Band: 1920-1980 Uplink, 2110-2170 downlink. Para 1900 MHz band: 1850-1910 Uplink, 1930-1990 Downlink,	806-960 MHz, 1710-2025 MHz, 2110-2200 MHz 2500-2690 MHz
<b>Ancho de banda del canal</b>	5 MHz	1.25 MHz	
<b>Estructura de trama</b>	10 ms	20 ms	
<b>Técnica dúplex</b>	FDD	FDD	
<b>Spectrum Allocation</b>	Necesita espectro radioeléctrico no apareado para el enlace descendente (DL) y el enlace ascendente (UL).	Necesita espectro radioeléctrico emparejado uno para UL y el otro para DL	Necesita espectro radioeléctrico emparejado uno para UL y el otro para DL
<b>Asignación de espectro</b>	Para el tráfico asimétrico, las ranuras se asignan de acuerdo con el uso y, por lo tanto, el espectro radioeléctrico individual se utiliza de manera eficiente tanto para DL como para UL (caso TDD).	Para el tráfico asimétrico, como las bandas se asignan de manera exclusiva para DL y UL, el espectro radioeléctrico se desperdicia cuando no hay datos para enviar / recibir.	Para el tráfico asimétrico, como las bandas se asignan de manera exclusiva para DL y UL, el espectro radioeléctrico se desperdicia cuando no hay datos para enviar / recibir.
<b>Chip rate por portadora</b>	1.28 Mcps/sec	3.84 Mcps/sec	1.2288 Mcps/sec
<b>Modulación soportada</b>	QPSK,8PSK,16QAM	QPSK, 16QAM	QPSK,8PSK,16QAM
<b>Factor de propagación</b>	1/2/4/8/16	4 to 256	----

**Tabla 11. Diferencias entre las tecnologías TD-SCDMA (McWiLL), WCDMA y CDMA2000.**  
Fuente: TD-SDCMA Specification Overview, Radio Electronics. Ian Poolo.2018.

En la **figura 24** se muestra la cobertura geográfica actual con la tecnología McWiLL de COOTEL. Aun cuando se mapea departamento enteros del país, el servicio solamente está disponible en la cabeceras departamentales y

municipales correspondientes a dichos departamentos. Los servicios disponibles son: Voz, SMS y acceso móvil/fijo a Internet.



**Figura 24. Cobertura geográfica con tecnología McWiLL de COOTEL. 2018.**  
Fuente: Mapa de cobertura. COOTEL. 2018.

## 2.8- Resumen y comparativa de características de las tecnologías disponibles en el mercado de las telecomunicaciones móviles en Nicaragua.

Una vez que hemos señalado las diferentes tecnologías inalámbricas de acceso móvil disponibles que posibilitan velocidades  $\geq 512$  Kbps (HSPA – McWiLL - LTE) en Nicaragua, hacemos un resumen en la **tabla 12** de los servicios soportados por estas tecnologías, agregando LTE-A y LTE-A Pro, por la importancia que están tomando en los grupos de estudios de la UIT para las redes móviles.

	HSPA	McWiLL	LTE	LTE-A	LTE-A. Pro
Internet	SI	SI	SI+	SI++	SI+++
MMS	SI	SI	SI+	SI++	SI+++
Mensajes de video	SI	SI	SI+	SI++	SI+++
Audio/Video Streaming	SI	SI	SI+	SI++	SI+++
Descarga de archivos	SI	SI	SI+	SI++	SI+++
Video llamada	SI	SI	SI+	SI++	SI+++
IoT	NO	NO	SI	SI++	SI+++
Internet de servicios	NO	NO	NO	SI++	SI+++

**Tabla 12. Servicios propiciados por la evolución tecnológica.**  
Fuente. Elaboración propia, con información tomada de 3GPP technologies.2018.

Agregamos en la **tabla 12**, las tecnologías LTE-A y LTE-A Pro, que aunque no están disponibles comercialmente en Nicaragua, son el resultado más reciente de la evolución del Long Term Evolution (LTE), desarrollado por 3GPP, también denominado 4G, tecnología que por sus características proporciona sorprendentes ventajas y que muy pronto estará disponible comercialmente.

La **tabla 13** mostrada a continuación, resume y permite una comparación de las características más relevantes de la familia de tecnologías 3GPP: WCDMA, HSDPA, HSUPA, TD-SCDMA (McWiLL) y TD-CDMA.

Tecnología		WCDMA	HSDPA Rel 5	HSDPA Rel 6	TD-SCDMA	TD-CDMA
Duplex		TDD/FDD	TDD/FDD	TDD/FDD	TDD	TDD
Método de acceso		TDMA/CDMA	TDMA/CDMA	TDMA/CDMA	CDMA	CDMA
Modulación		QPSK (DL) HPSK (UL)	QPSK/ 16 QAM	QPSK/ 16 QAM	QPSK/ 8 PSK	QPSK
Ancho de banda canal		5 MHz	5 MHz	5 MHz	1.6 MHz	5 MHz
Chip rate						
Tasa de datos peak	DL	2.63 Mbps	14.1 Mbps	14.1 Mbps	2 Mbps	2.4 Mbps
	UL	2.25 Mbps	2.3 Mbps	5.76 Mbps	2 Mbps	2.4 Mbps
Throughput teórico máximo	DL	2.63 Mbps	14.06 Mbps	14.06 Mbps	2 Mbps	14 Mbps
	UL	2.25 Mbps	2.25 Mbps	4.88 Mbps	2 Mbps	?
Tasa de datos promedio		200-320 Kbps	550-1100 Kbps	?	?	?
Tecnología de antena		Sectorizada	Sectorizada	Sectorizada	Sectorizada	Sectorizada
Disponibilidad		2005	2005	2005 -2006	2005	2005
Eficiencia espectral (bps/Hz)		0.521 [<0.77 por móvil]	~1.6 (<2.88)	~1.6 (<2.88)	~1.5	1.2 / 1.52
Espectro (MHz)		824-894 830-885 1710-1880 1710-2155 1850-1990 1920-1980 2110-2170	824-894 830-885 1710-1880 1710-2155 1850-1990 1920-2170	824-894 830-885 1710-1880 1710-2155 1850-1990 1920-2170	2010-2025 China  1900-1920 WLL	1900-1920   2010-2025
Reutilización de frecuencia		1	1	1	163	1
Factor spreading		4...256 UL. 4...512 DL.	?	?		
Largo frame (ms)		10	2	2	5/10	10

**Tabla 13. Resumen las características más relevantes de la familia de tecnologías 3GPP**  
Fuente: 3GPP technologies.2018.

Comparando las características más relevantes de la familia de tecnologías 3GPP: WCDMA, HSDPA, HSUPA, TD-SCDMA (McWiLL) y TD-CDMA contenidas en la **tabla 13**, con las características de la tecnología LTE contenidas en la **tabla 4** y tomando en cuenta que LTE fue desarrollado y estandarizado por 3GPP (como la Versión 8), y que se desarrolló a partir de GSM / UMTS con el objetivo de garantizar una competencia continua para el futuro, proporcionar mayores velocidades de datos de usuario y QoS, para proporcionar una red totalmente conmutada de paquetes de baja complejidad y reducidos retrasos, para permitir la

reducción de costos y evitar la fragmentación innecesaria de las tecnologías para el funcionamiento de la banda emparejada y no emparejada (3GPP, LTE, 2008), vemos LTE ofrece beneficios a los operadores y usuarios que no estaban disponibles con las tecnologías de acceso anteriores. Es importante señalar que los esfuerzos para mejorar las tecnologías de acceso llevaron a la evolución de LTE Release 8 a LTE-Advanced (LTE-A), también conocida como Release 10 (Nakamura, Takehiro, 2009). La versión 10 de LTE proporciona mejores parámetros y características técnicas de forma rentable y cumple completamente los requisitos de la UIT para IMT-Advanced. Incluso hoy día hay trabajos en curso para la evolución de LTE para proporcionar características más potentes que den lugar a nuevas versiones (Release 11, 12, 13) (Nakamura, Takehiro, 2013).

Es importante mencionar que los clientes de los principales operadores de telefonía móvil celular, tienen disponibles todas las tecnologías (2G/3G/LTE-4G), de modo que los clientes pueden navegar en internet a través de LTE 4G (también en HSPA y Edge), mientras sus llamadas y mensajes de texto cursarán siempre por la red 2G o 3G, en tanto exista despliegue de las mismas.

En la **tabla 14** se muestra la presencia de las diferentes tecnologías móviles a nivel municipal:

Dpto / Municipio	HSPA	WiMAX	McWiLL	LTE
<b>Caribe Norte</b>				
1. Bilwi	√	√	√	√
2. Bonanza	√	√	√	√
3. Mulukukú	√			
4. Prinzapolka	√			
5. Rosita	√	√	√	√
6. Siuna	√	√	√	√
7. Waslala	√			
8. Waspán	√	√	√	√
<b>Caribe Sur</b>				
1. Bluefields	√	√		√
2. Corn Island	√	√		√
3. Desembocadura de Río Grande (Karawala)	√			
4. El Ayote	√			
5. El Tortuguero				
6. Kukra Hill	√			
7. La Cruz de Río Grande	√			

8. Laguna de Perlas	√			
9. Muelle de los Bueyes	√			
10. Nueva Guinea	√	√		√
11. Paiwas	√			
12. El Rama	√	√		√
<b>Boaco</b>				
1. Boaco	√	√	√	√
2. Camoapa	√	√	√	
3. San Lorenzo	√		√	
4. San José de los Remates	√		√	
5. Santa Lucía	√		√	
6. Teustepe	√		√	
<b>Carazo</b>				
1. Jinotepe	√	√	√	√
2. Diriamba	√	√	√	√
3. Dolores	√		√	
4. El Rosario	√		√	
5. La Conquista	√		√	
6. La Paz de Oriente	√		√	
7. San Marcos	√	√	√	√
8. Santa Teresa	√	√	√	
<b>Chinandega</b>				
1. Chinandega	√	√	√	√
2. Chichigalpa	√	√	√	√
3. Cinco Pinos	√	√	√	√
4. Corinto	√	√	√	√
5. El Realejo	√	√	√	
6. El Viejo	√	√	√	√
7. Posoltega	√		√	
8. San Francisco del Norte	√		√	
9. San Pedro del Norte	√		√	
10. Santo Tomás del Norte	√		√	
11. Somotillo	√	√	√	

12. Puerto Morazán	√		√	
13. Villanueva	√		√	
<b>Chontales</b>				
1. Juigalpa	√	√	√	√
2. Acoyapa	√	√		√
3. Comalapa	√			
4. Cuapa	√	√		
5. El Coral	√			
6. La Libertad	√	√		
7. San Pedro de Lóvago	√	√		√
8. Santo Domingo	√	√		
9. Santo Tomás	√	√		√
10. Villa Sandino	√	√		√
<b>Estelí</b>				
1. Estelí	√	√	√	√
2. Condega	√	√		
3. La Trinidad	√	√		√
4. Pueblo Nuevo	√			
5. San Juan de Limay	√			
6. San Nicolás	√			
<b>Granada</b>				
1. Granada	√	√	√	√
2. Diriá	√	√	√	
3. Diriomo	√	√	√	
4. Nandaime	√	√	√	√
<b>Jinotega</b>				
1. Jinotega	√	√	√	√
2. El Cuá	√			
3. La Concordia	√			
4. Bocay	√			
5. San Rafael del Norte	√			
6. Yalí	√		√	
7. Pantasma	√			
8. Wiwilí	√	√	√	√

<b>León</b>				
1. León	√	√	√	√
2. Achuapa	√		√	
3. El Jicaral	√		√	
4. El Sauce	√	√	√	
5. La Paz Centro	√	√	√	√
6. Malpaisillo	√	√	√	
7. Nagarote	√	√	√	√
8. Quezalguaque	√		√	
9. Santa Rosa del Peñón	√	√	√	
10. Telica	√	√	√	√
<b>Madriz</b>				
1. Somoto	√	√	√	√
2. Las Sabanas	√			
3. Palacagüina	√			
4. Cusmapa	√			
5. San Juan de Río Coco	√	√		√
6. San Lucas	√			
7. Telpaneca	√			
8. Totogalpa	√			
9. Yalagüina	√			
<b>Managua</b>				
1. Managua	√	√	√	√
2. Ciudad Sandino	√	√	√	√
3. El Crucero	√	√	√	√
4. Mateare	√	√	√	√
5. San Francisco Libre	√	√	√	
6. San Rafael del Sur	√	√	√	√
7. Ticuantepe	√	√	√	√
8. Tipitapa	√	√	√	√
9. Villa El Carmen	√	√	√	√
<b>Masaya</b>				
1. Masaya	√	√	√	√
2. Catarina	√	√	√	√

3. La Concepción	√	√	√	√
4. Masatepe	√	√	√	√
5. Nandasmo	√	√	√	√
6. Nindirí	√	√	√	√
7. Niquinohomo	√	√	√	√
8. San Juan de Oriente	√	√	√	√
9. Tisma	√		√	
<b>Matagalpa</b>				
1. Matagalpa	√	√	√	√
2. Ciudad Darío	√	√		√
3. La Dalia	√	√		
4. Esquipulas	√			
5. Matiguas	√			
6. Muy Muy	√	√		
7. Rancho Grande	√	√		
8. Río Blanco	√	√		
9. San Dionisio	√			
10. San Isidro	√	√		
11. San Ramón	√	√		
12. Sébaco	√	√		√
13. Terrabona	√			
<b>Nueva Segovia</b>				
1. Ocotal	√	√	√	√
2. Ciudad Antigua	√			
3. Dipilto	√			
4. El Júcaro	√			
5. Wiwilí	√	√		√
6. Jalapa	√	√		√
7. Macuelizo	√			
8. Mozonte	√			
9. Murra	√			
10. Quilalí	√	√		
11. San Fernando	√			

12. Santa María	√			
<b>Río San Juan</b>				
1. San Carlos	√	√		√
2. El Almendro	√			
3. Boca de Sábalos	√			
4. Morrito	√			
5. San Juan del Norte	√			
6. San Miguelito	√			√
<b>Rivas</b>				
1. Rivas	√	√	√	√
2. Altagracia	√	√	√	√
3. Belén	√		√	
4. Buenos Aires	√		√	
5. Cárdenas	√			
6. Moyogalpa	√	√	√	√
7. Potosí	√			
8. San Jorge	√	√	√	√
9. San Juan del Sur	√	√	√	√
10. Tola	√		√	√
<b>Total de municipios</b>	<b>153</b>	<b>84</b>	<b>80</b>	<b>65</b>

**Tabla 14. Presencia de las diferentes tecnologías móviles a nivel municipal.**  
Fuente: CANITEL 2018.

Debemos tener en cuenta que los operadores móviles con mayor número de usuarios en Nicaragua tienen implementadas redes GSM y UMTS/HSPA y LTE y por tanto les es más fácil desplegar la tecnología LTEA, ya que la interconexión con E-UTRAN no es muy compleja para sus divisiones de ingeniería y empresas contratadas para el desarrollo de red. Por este motivo los operadores establecidos están implementando y desarrollando redes LTE que coexisten con tecnologías anteriores, a las cuales se interconectan la UTRAN y GERAN para poder ofrecer servicio a los usuarios que no dispongan de terminales LTE.

### **2.8.1- Determinación de la tecnología más apropiada para una red de acceso de muy alta velocidad e internet de banda ancha en el contexto previo a la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2019 (CMR-2019).**

Después de haber identificado las distintas tecnologías móviles desplegadas en Nicaragua y ver que se caracterizan por avances significativos en la eficiencia

espectral, arquitecturas de red que posibilitan el desarrollo futuro, velocidades de datos cada vez mayores, técnicas de modulación y otros parámetros, es necesario el determinar qué tecnología es la más adecuada a futuro para la implementación de redes de acceso de muy alta velocidad en nuestro país en el contexto previo a la CMR-2019, poniendo especial atención a aspectos y características tales como:

- Mayor rendimiento,
- Uso flexible del espectro radioeléctrico,
- Coexistencia e interoperabilidad con los sistemas 3G, así como con los sistemas que no pertenecen a 3GPP,
- Reducción del costo por Megabyte,
- Robustez ante interferencias por trayectoria múltiple,
- Robustez ante interferencias por emisiones de banda estrecha,
- Reducción de la complejidad computacional,
- Explotación de la diversidad de frecuencias,
- Esquema eficiente de acceso múltiple,
- Uso de MIMO,
- Diversidad de transmisión,
- Beamforming,
- Multiplexado espacial.

En la **Tabla 15** se muestra una comparación entre LTE (Versión 8, 3GPP) y LTE-A (Versión 10, 3GPP). En tanto tratamos de definir las características principales de una tecnología celular se han considerado los parámetros más importantes para realizar su descripción, estos parámetros tienen que ver con velocidad de transmisión, ancho de banda, eficiencia espectral, latencia, movilidad, cobertura y capacidad.

Parámetro			LTE	LTE-Advanced
Velocidad de transmisión pico	DL		300 Mbps (MU – MIMO 4x4, 64 QAM, 20 MHz)	1.2 Gbps (SU – MIMO 8x8, 64 QAM, 2 CCs 40 MHz)
	UL		75 Mbps (MU – MIMO 4x4, 64 QAM, 20 MHz)	600 Mbps (SU – MIMO 8x8, 64 QAM, 2 CCs 40 MHz)
Ancho de banda soportado			Hasta 20 MHz (1.4 , 3, 5, 10, 15, y 20 MHz)	Hasta 100 MHz Agregación de portadora
Eficiencia espectral	Pico [bps/Hz]	DL	15	30
		UL	3.75	15
	Promedio [bps/Hz]	DL	1.87	3.7
		UL	1	2
	Borde de celda [bps/Hz]	DL	0.06 (MIMO 4x2)	0.12 (MIMO 4x4)
		UL	0.03 (MIMO 2x4)	0.07 (MIMO 2x4)
Latencia en el plano de usuario			< 30 ms	< 10 ms

Latencia en el plano de control	< 100 ms	< 50 ms
Movilidad	Optimizado para bajas velocidades (< 15 Kms/h) hasta los 120 Kms/h. Los enlaces se mantienen hasta velocidades de 350 Kms/h.	Optimizado para bajas velocidades (< 15 Kms/h) hasta los 120 Kms/h. Los enlaces se mantienen hasta velocidades de 350 Kms/h.
Radio de cobertura de una celda	5 Km	5 Km
Número de usuarios en una celda	200 usuarios activos por celda en 5 MHz	200 usuarios activos por celda en 5 MHz

**Tabla 15. Comparación entre LTE y LTEAdvanced.**

**Fuente: Camilo Calle. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Quito, Ecuador. 2014.**

Sin embargo con la llegada de la cuarta generación, los operadores móviles que cuentan con una buena cantidad de espectro radioeléctrico licenciado, están realizando la complementación de sus redes establecidas (2G y 3G) con la nueva tecnología LTE con el objetivo principal de prepararse para la prestación de nuevos servicios vinculados a los aspectos comerciales que trataremos en el capítulo 4. La adopción generalizada de la tecnología LTE comienza con el interfuncionamiento y la coexistencia con tecnologías de acceso previamente existentes, resaltando que se garantiza la interoperabilidad entre dichas tecnologías. Los cambios necesarios se indican a detalle en la Recomendación ITU-R M1457.

Por otro lado debemos recordar que la tecnología HSPA+ fue la primera tecnología de la tercera generación de redes móviles que presentó una mejora en las tasas de transferencia de datos móviles para los enlaces ascendentes y descendentes (3GPP Releases 2017), esto mediante la combinación de las tecnologías HSDPA y HSUPA. La implementación de esta tecnología a partir de una red GSM requiere la implementación del nuevo bloque de conmutación por paquetes (CP), sin embargo la implementación de la tecnología LTE-A basada en una arquitectura de red LTE es, en términos generales, relativamente fácil (Camilo Calle. 2014) ya que no requiere la eliminación de elementos de red, únicamente requiere la incorporación de tres nuevos elementos de red y sus respectivas interfaces de comunicación. Con esto se logra implementar una red LTE siguiendo a detalle los requerimientos impuestos por 3 GPP para una red 4G y la recomendación ITU-R M1457, de la que se deriva que con respecto a la tecnología HSPA+, la tecnología LTE presenta mejoras perceptibles en cuanto a calidad del servicio.

Al momento de hacer una complementación paulatina de operaciones entre una red GSM y una red HSPA+, se debe tener la visión de crea una arquitectura de red básica y sencilla, no agregar muchos elementos de redundancia que puedan complicar el diagrama de red ya que para un futuro esto influirá en los cambios necesarios para su complementación con la tecnología LTE (Akyildiz Ian F. 2018). Para la implementación operativa de una red LTE, se puede tomar como

base una red GSM, HSPA o HSPA+. La mejor de las tres opciones es tomar como base una red HSPA+ ya que la técnica de acceso a radio, aunque no es igual en su totalidad, los fundamentos básicos son los mismos.

Si la complementación operativa con la tecnología LTE, se hace desde una red GSM se debe tomar en cuenta, que a nivel del núcleo de red se debe incorporar totalmente el bloque ECP (conmutación por paquetes mejorado); adicionalmente se deben hacer cambios en todo el bloque de acceso a radio.

Si la complementación operativa con la tecnología LTE se hace desde una red HSPA, se debe tomar en cuenta que el bloque CP (Conmutación por paquetes) debe ser eliminado en su totalidad y luego incorporar un nuevo bloque ECP. También, la técnica de acceso de radio debe cambiar a EUTRAN (debe agregarse ENodo B). La implementación de la red LTE-A puede ser basada en tecnologías anteriores, como HSPA o HSPA+, pero no es recomendable ya que no se estarían cumpliendo con las normas establecidas por la ITU. Adicionalmente, migrar de una red HSPA o HSPA+ es un gasto de recursos ya que LTE-A es en su mayoría una red LTE, por esta razón el diseño de red sería migrado de HSPA/HSPA+ a un LTE y luego a una red LTE-A. Un aspecto importante de mencionar es que la arquitectura general de LTE y LTE-Advanced es la misma para ambas tecnologías. La integran tres redes: la red de acceso E-UTRAN, la red de core EPC y la red de servicios externos. La diferencia fundamental se encuentra en E-UTRAN ya que LTEAdvanced incorpora una arquitectura adicional basada en Relay Node y en el núcleo de red se agrega el HeNB-GW. Ver **tabla 16**.

Bloque	Elemento de Red	LTE	LTE-A	Observación
Equipo de usuario	Dispositivo móvil	Si	Si	El usuario debe cambiar su dispositivo móvil LTE, por uno que soporte LTE-A
Acceso a red E-UTRAN	ENodo B	Si	Si	
	Relay Node	No	<b>Si</b>	
	HeNB	No	No	
Núcleo de red EPC	HLR	Si	Si	Apoyo al HSS
	VLR	Si	Si	Apoyo al HSS
	EIR	Si	Si	
	SMSC	Si	Si	
	MMSC	Si	Si	
	MME	Si	Si	
	S-GW	Si	Si	
	P-GW	Si	Si	
	PCRF	Si	Si	
HSS	Si	Si		
	HeNB-GW	No	<b>Si</b>	

**Tabla 16. Cambios a nivel de arquitectura en la migración de LTE a LTE-A.**  
**Fuente: 5G Roadmap: 10 key enabling technologies. Ian F. Akyildiz, Shuai Nie y Shih-Chun Lin. 2018.**

No obstante los requerimientos vinculados al IoT, al Internet de servicios, IP TV Móvil, servicios “celular-IoT / M2M”, “Mobile Cloud Computing (MCC)” y “Mobile OTT data services”, implican mejoras sustanciales relacionadas con la calidad del servicio brindado a través de las tecnologías de las redes inalámbricas, que van más allá de las actuales posibilidades de LTE y LTE-A que implican características de red ya vinculadas a los parámetros que en el ámbito de la UIT se han determinado para las redes 4.5G y 5G. Desde luego si bien los requerimientos para 5G ya están definidos en el ámbito de la UIT, aún su desarrollo tecnológico está en proceso y no hay suficiente espectro radioeléctrico disponible para los operadores y por tanto es conveniente el desarrollar las redes para soportar los servicios anteriormente mencionados con las nuevas versiones de redes móviles que corresponden a LTE- Advanced y esperar las decisiones relacionadas a disponibilidad de nuevas bandas de espectro radioeléctrico que se tomarán en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2019 de la UIT y que se llevará a efecto entre el 28 de octubre y el 22 de noviembre en Sharm El Sheikh en Egipto. No debemos olvidar que para la implementación comercial de redes 5G ningún operador cuenta con el espectro radioeléctrico suficiente para ello y en cambio con la tecnología de agregación de portadoras disponible en LTE-Advanced y LTE-Advanced Pro existe la posibilidad real de implementar los servicios vinculados al IoT, al Internet de servicios, IP TV Móvil, servicios “celular-IoT / M2M”, “Mobile Cloud Computing (MCC)” y “Mobile OTT data services”.

Si bien todos los principales fabricantes de equipos están trabajando en LTE-Advanced Pro, surge la pregunta muy importante para los reguladores, el mundo de los negocios y las áreas de tecnología, es cuándo estará disponible comercialmente LTE-Advanced Pro, no tanto por su desarrollo tecnológico, sino por la disponibilidad de espectro radioeléctrico, por lo que habrá en principio esperar los resultados de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR-2019).

Por otro lado, a pesar del progreso realizado alrededor de LTE-Advanced, ninguna de las operaciones comerciales ha logrado velocidades de datos de 3 Gbps. Muchos operadores móviles no están usando la capacidad completa de LTE-Advanced, en muchos casos debido a la falta de disponibilidad de ancho de banda en el espectro radioeléctrico autorizado para ese propósito. Por otro lado, ahora mismo no hay teléfonos de 3 Gbps en el mercado. LG, Samsung y Sony tienen teléfonos con capacidades de 600Mbps, pero el próximo en llegar al mercado sólo admitirá 1Gbps. En febrero de 2016 Qualcomm anunció el primer conjunto de chips LTE de Categoría 16. Por ejemplo, la última serie de teléfonos inteligentes (la vanguardia de hoy día) admite hasta categoría 16 en enlace descendente, es decir, 1 Gbps y, por lo general, hasta 150 Mbps en el enlace ascendente. Por lo tanto, tenemos la posibilidad de Gigabit LTE este año (2018) con respecto a ambos extremos en la parte de acceso de radio (es decir, equipo de cliente y equipo de operador móvil), sin embargo, todavía se espera en el futuro cercano (2020) un amplio lanzamiento de servicios comerciales LTE Advanced / LTEAdvanced Pro con mayores requerimientos a las redes.

Se hace evidente que la mejor tecnología para las redes de acceso de muy alta velocidad y el internet de banda ancha ahora mismo es LTE y desde luego sus mejoras actuales y futuras. No obstante, su implementación efectiva depende de contar con suficiente espectro radioeléctrico asignado. En comparación con la tecnología LTE, la tecnología LTE-A presenta un aumento de hasta un 600 % en las tasas de transferencia de datos máximas (3GPP Releases. 2017), esto para ambos enlaces, ascendentes y descendentes. Esto, a nivel de usuario final, representa una mejora bastante significativa para los servicios de streaming, juegos en línea y nuevos servicios de VoIP.

Visto lo anterior lo razonable para desarrollar redes de alta y muy alta velocidad en futuro inmediato, es instalar tecnología LTEAdvanced y en caso de ameritarlo la demanda servible el instalar hacia el 2020 tecnología LTEAdvancedPro, todo esto desde luego después de los resultados de la CMR-2019 e implementando un programa paralelo de monitoreo de la calidad del servicio de las redes todo IP para las cuales la UIT ha emitido la recomendación ITU-T Y.1545.1 (Marco para monitorear la calidad del servicio de servicios de red IP), que es una referencia de diagnóstico para el monitoreo de la calidad de servicio (QoS) de las redes todo IP y es principalmente una guía utilizada para ayudar a los reguladores y operadores a monitorear la QoS en el ámbito de las redes todo IP.

## Capítulo 3.

### **Aspectos regulatorios como elementos de fomento a la infraestructura de banda ancha en Nicaragua.**

Los gobiernos y los entes reguladores deben revisar y actualizar su marco regulatorio, que incluye la evaluación comparativa y las comparaciones con las mejores prácticas internacionales y el análisis de las opciones regulatorias disponibles para la banda ancha móvil. Una regulación oportuna, consistente y bien ejecutada, desarrollada en consulta con la industria y otras partes interesadas, generalmente puede beneficiar a los operadores, los consumidores y la economía doméstica. Los responsables políticos deben revisar periódicamente los marcos regulatorios para fomentar aún más el desarrollo de la banda ancha con el uso de la TIC y muy en particular tecnologías 4G. En el caso de Nicaragua, una primera revisión y actualización se puso en vigencia mediante el **Decreto Ejecutivo No. 136-2004** que contiene un detalle de la **Política Sectorial y Lineamientos de Apertura del Mercado de las Telecomunicaciones en Nicaragua**, el que fue aprobado el 28 de diciembre del año 2004 y publicado en La Gaceta Diario Oficial No. 2 del 4 de enero del año 2005. En la actualidad, los marcos regulatorios también deberían incluir la consideración del internet de las cosas (IoT) emergente, la privacidad y la protección de los datos, lo que aún es un tema pendiente en la legislación de las telecomunicaciones en Nicaragua.

#### **3.1- Mejores prácticas regulatorias en el ámbito de la banda ancha.**

La OCDE y el BID (2018) han convenido que las siguientes son las mejores prácticas de políticas públicas de banda ancha en el contexto internacional, por lo que daremos un breve detalle de las mismas:

**A. Despliegue de redes y servicios.** Las buenas prácticas se centran en dos aspectos clave: despliegue de redes y suministro de servicios de banda ancha por parte de inversores privados, complementado por el sector público cuando sea necesario, y fomento de la demanda de banda ancha haciéndolo más asequible, relevante, utilizable y más segura para las personas y las empresas. Este aspecto está siendo impulsado en gran medida por el sector privado mediante la implementación de sus planes de inversión y oferta de servicios y en los últimos años se ha incorporado al esfuerzo de desarrollo de la red de banda ancha ENATREL. Dicha empresa pública está invirtiendo en la expansión de su red troncal de fibra óptica y más recientemente con la creación de la empresas COMUNICA empiezan a ofertar servicios de banda ancha, tanto de acceso como de transporte. En el año 2005 la Asociación de Internet de Nicaragua (AIN) inició el TIC Meter con el fin de llevar un seguimiento del incremento de las TIC y las redes de banda ancha en Nicaragua, compartiendo dicha información con los miembros de la asociación.

**B. Estrategia digital nacional.** Las políticas del sector público para aumentar el acceso a la banda ancha y reducir las brechas de uso deberían diseñar

estrategias digitales y planes nacionales de banda ancha que utilicen un enfoque de todo el gobierno. Basados en la colaboración con las partes interesadas y un liderazgo claro, deberían incorporar una recopilación regular de datos para evaluar el progreso y hacer las revisiones necesarias. Este punto aún está pendiente de ser incorporado en la agenda gubernamental.

**C. Promover inversiones.** Alentar la inversión para reducir los cuellos de botella en la infraestructura, establecer una política sólida y los incentivos reglamentarios, debe ser una prioridad política. Se necesita un marco regulatorio modernizado, estable y predecible para atraer inversiones a largo plazo en infraestructura de banda ancha. El Ente Regulador del sector telecomunicaciones y la Asamblea Nacional cuentan con anteproyectos de una nueva ley general de telecomunicaciones pero ninguna ha sido sometida al proceso de creación de ley. Se cuenta con Ley de Promoción de Inversiones Extranjeras (Ley No. 344), aprobada el 27 de Abril del año 2000, en la que se especifica al Ministerio de Fomento, Industria y Comercio (MIFIC) como la autoridad de aplicación. Esta ley fue publicada en La Gaceta No. 97 del 24 de Mayo del año 2000. No obstante lo anterior, ahora mismo el Gobierno de Nicaragua fomenta inversiones mediante la gestión de la entidad denominada PRONicaragua, que es la agencia oficial de inversión y exportación del país. .

**D. Reducción de costos.** Disminuir los costos de despliegue para estimular la competencia, así como la inversión y la expansión de la infraestructura, lo cual puede requerir reformas regulatorias. Facilitar el acceso a los derechos de paso y al espectro e incentivar el uso compartido de la infraestructura; la infraestructura pasiva, por ejemplo, puede ayudar a expandir la provisión de banda ancha. Lograr esta reducción no ha sido posible en tanto los Gobiernos Municipales en sus planes de arbitrio establecen tasas de hasta el 10 % sobre la inversión total para autorizar el despliegue de red en los diferentes municipios.

**E. Competencia.** La competencia es crucial para reducir los precios, mejorar la capacidad de respuesta a la demanda y garantizar la innovación en los servicios de banda ancha. Se necesitan agencias reguladoras independientes y financiadas adecuadamente. Debería imponerse una regulación mayorista cuando sea necesario para facilitar el acceso a las instalaciones esenciales y reducir las barreras para los nuevos entrantes. Nicaragua creó a tal efecto el Instituto Nacional de Promoción de la Competencia (PROCOMPETENCIA), mediante la Ley de Promoción de la COMPETENCIA, aprobada el 28 de Septiembre del año 2006 y publicada en La Gaceta No. 206 del 24 de Octubre del mismo año.

**F. Aumentar el acceso.** Es esencial ampliar el acceso de banda ancha a los grupos desfavorecidos y las zonas rurales y remotas. Las autoridades públicas pueden establecer incentivos y financiar redes troncales nacionales, cuando los mercados no pueden satisfacer la demanda. Este aspecto ha sido tratado mediante la creación del Fondo de Inversión de las Telecomunicaciones (FITEL), que mediante créditos internacionales, convoca periódicamente a

participar en proyectos de desarrollo de red. El FITEC fue creado mediante el Decreto Ejecutivo 5-2006, publicado en La Gaceta, Diario Oficial, No. 19 del veintiséis de enero del año 2006. Otro aspecto que ayuda mucho en este tema es la interconexión y acceso a infraestructura de operadores que cuentan con red y están operando. Esta posibilidad que establece la Ley General de Telecomunicaciones, está regulada a detalle mediante el Reglamento General de Interconexión y Acceso, que fue emitido y puesto en vigencia mediante el Acuerdo Administrativo No. 004-2005, aprobado el 7 de enero del año 2005 y publicado en La Gaceta, Diario Oficial No. 10 del 14 de enero del mismo año.

**G. Asequibilidad y accesibilidad.** Hacer que los servicios de banda ancha sean asequibles y accesibles es vital para maximizar los beneficios de la economía digital. Para aumentar la inversión y la competencia, los responsables de las políticas deberían evitar el exceso de impuestos sectoriales en los servicios de telecomunicaciones, especialmente para la banda ancha. Los altos cargos del gobierno en servicios de telecomunicaciones o en la importación de equipos de telecomunicaciones y dispositivos pueden impedir la expansión y el uso de la banda ancha, afectando a individuos, empresas y gobiernos. Este aspecto ha sido tradicionalmente abordado de dos maneras, una de ellas son proyectos FITEC y el otro por medio de regulación tarifaria de precios tope, lo que en teoría propicia que las empresas busquen de forma continua la eficiencia operativa y por tanto se propicie una reducción en las tarifas, ya sea por decisión de mercado de los operadores regulados o mediante nuevos planes tarifarios aprobados por el ente regulador de las telecomunicaciones.

### **3.2- Propuestas de opciones para fomentar la infraestructura de banda ancha en Nicaragua.**

De acuerdo con los informes de Tendencias en las Reformas de Telecomunicaciones de la UIT, muchos países han adoptado o están en proceso de adoptar marcos regulatorios más flexibles durante la última década. Existe una variedad de opciones de políticas públicas sectoriales disponibles para fomentar la inversión en infraestructura de banda ancha y maximizar el acceso a la banda ancha móvil maximizando sus beneficios. Estas opciones de política pública sectoriales se pueden dividir en términos generales en amplias condiciones marco para mejorar el sector de telecomunicaciones en general, y medidas para mejorar la cobertura de banda ancha de manera más específica. Las condiciones generales del marco son condiciones que facilitan la banda ancha como un todo.

**Estas pueden incluir las condiciones marco bien conocidas de:**

- **Liberalización del mercado:** incluida, la cesión de la administración, la privatización y la competencia;

- **Un regulador independiente y transparente**, que realiza consultas regulares y evaluaciones comparativas, con un enfoque abierto que fomenta la adopción de nuevas tecnologías.
- **Enfoque “ligero” a las políticas y regulaciones de telecomunicaciones / TIC que fomenta la competencia** y permite la entrada de nuevos actores en el ecosistema de las TIC, al tiempo que permite la promoción de modelos comerciales innovadores.
- **Modelos de financiación flexibles**, que involucran tanto a la industria como a otras fuentes de financiación (por ejemplo, inversiones extranjeras directas).
- **Un enfoque progresivo para abordar los problemas a medida que surgen** (que varían significativamente según el país o la región, pero que pueden incluir, por ejemplo, tarifas de itinerancia, convergencia, interconexión y / o impuestos).
- **La reducción de los costos** de despliegue para estimular tanto la competencia, como la inversión en infraestructuras y su expansión. Esto puede exigir reformas normativas. Si se facilita el acceso a derechos de vía y espectro radioeléctrico y se incentiva el uso compartido de infraestructuras, especialmente de infraestructura pasiva, se fomentará la expansión de la banda ancha.

Estas condiciones marco son bien conocidas y, hasta el momento, la gran mayoría de los países se han movilizado para participar en las medidas de liberalización del mercado en el sector de las telecomunicaciones. Por ejemplo, en 2016, 151 países habían permitido la participación del sector privado en su sector de línea fija, al menos 147 países habían permitido la participación del sector privado en sus operadores móviles (basados en uso del espectro radioeléctrico) y en la actualidad hay 164 autoridades regulatorias en todo el mundo. Nicaragua no ha sido la excepción en cuanto a estos temas, sin embargo a partir del año 2007 no sea aplicado la fórmula de ajuste de precios tope que contemplan todos los contratos de concesión y licencias que ha otorgado TELCOR, lo que ha impedido una mayor baja de precios en los servicios de telecomunicaciones, principalmente las tarifas de los servicios de acceso al Internet y transmisión de datos.

Con base en un cuerpo importante de investigación sobre el impacto económico de la banda ancha, generalmente se acepta que la banda ancha tiene un impacto beneficioso en el crecimiento económico. Además, algunas investigaciones sugieren que la velocidad de la banda ancha es importante. El impacto de la banda ancha móvil incluye lo siguiente:

- **Efectos directos** a través de inversiones en infraestructura a gran escala que conducen a una mayor actividad económica (por ejemplo, aumento inmediato en el empleo y la compra de materia prima),
- **Efectos indirectos** o de largo plazo que estimulan la innovación y la productividad a través, p. Ej. Velocidades mejoradas de banda ancha, y

- **Efectos inducidos**, como el desbordamiento hacia otros sectores económicos, al permitir el acceso al entretenimiento, la educación, la atención médica, los servicios bancarios, el comercio electrónico y otros.

Los beneficios de una banda ancha más rápida incluyen efectos económicos tales como una mayor innovación y productividad, efectos sociales tales como un mejor acceso a los servicios y una mejor atención médica y efectos ambientales, como un consumo de energía más eficiente.

Dado el impacto beneficioso bien documentado de la banda ancha en la economía y la sociedad en general y los objetivos de desarrollo y conectividad asociados establecidos por la comunidad internacional, es útil saber aproximadamente cuánto se necesita en términos de inversión para lograr la conexión de la comunidad internacional, principalmente los casi 1,500 millones de personas que actualmente no usan Internet, para desarrollar una mejor comprensión de la magnitud de la tarea en cuestión.

Hay una serie de factores que impulsan la adopción de las TIC y la banda ancha móvil. Un factor que se ha identificado como clave en este proceso es el entorno regulatorio. El entorno regulatorio adecuado puede garantizar que los consumidores puedan utilizar toda la gama de nuevas oportunidades y servicios que brinda la mayor variedad de dispositivos, servicios y aplicaciones en línea, creando el marco adecuado para la protección, la inversión y la innovación del consumidor.

Se pueden identificar y respaldar las pautas de mejores prácticas regulatorias para proteger los intereses de los consumidores y al mismo tiempo garantizar un campo de juego nivelado para los jugadores tradicionales y nuevos del mercado mediante el fomento de un enfoque regulador ligero y de fomento mediante la emisión y puesta en vigencia de planes de desarrollo de la banda ancha en Nicaragua. Desde luego un marco de monitoreo y retroalimentación es una parte necesaria de cualquier plan integral de banda ancha. De acuerdo a la ITU Broadband Commission, en su informe “The State of Broadband 2015”, (2015) y luego en el informe del año 2017 (“The State of Broadband 2017”, September 2017), idealmente, un Plan debe incorporar un número manejable de indicadores que deben:

- relacionarse con objetivos de alto nivel;
- ser prácticos de recolectar;
- ser consistentes entre regiones o países en la medida de lo posible; y
- medir el progreso hacia el logro de objetivos mensurables en el despliegue y la adopción de servicios de banda ancha (incluso por género y demografía).

Muchos Planes establecen objetivos y una gran cantidad de Planes monitorean la penetración de Internet por habitante o por hogar. Sin embargo, no existe una concepción compartida entre los planes sobre cuál debería ser la velocidad de

descarga mínima aceptable o cuál es el objetivo apropiado de banda ancha móvil. Parte del motivo por el que no existe un consenso total sobre tales objetivos se debe a que la estipulación de tales objetivos se basa, en muchos casos, en imperativos políticos en lugar de fundamentarse en un análisis cuantitativo cuidadoso de los costos y los rendimientos sociales y económicos. Por ejemplo, los planes nacionales de banda ancha rara vez discuten el beneficio económico esperado de lograr el servicio universal de banda ancha o los beneficios relativos de la implementación del acceso de muy alta velocidad en ciertas regiones de un país determinado. La necesidad de basar el establecimiento de objetivos en un análisis tecnológico y económico cuidadoso es particularmente importante ya que los objetivos tienen un impacto lógico en los requisitos de inversión. TELCOR financiado por el BID contrató la elaboración de un Plan Nacional de Banda Ancha, pero el mismo aún no ha sido publicado y por tanto hoy día aún carecemos de políticas públicas de fomento en tal sentido.

A pesar de la falta de acuerdo sobre los objetivos y las herramientas de políticas, los planes nacionales de banda ancha representan una iniciativa que puede tener un gran impacto en múltiples niveles:

- Crean conciencia, tanto dentro de la sociedad civil como de entidades gubernamentales, sobre la importancia económica y social del servicio de banda ancha, incluyendo particularmente la banda ancha móvil como la más emergente en la escala global.
- Los planes representan una forma de crear consenso y promover la coordinación entre todas las áreas del gobierno que pueden tener un impacto en el despliegue y la utilización de la banda ancha.
- Los planes nacionales de banda ancha tienen el potencial de convertirse en políticas estatales que trascienden los ciclos políticos electorales.
- Ayudan a construir la responsabilidad del cumplimiento del plan en los niveles más altos del gobierno, particularmente en la rama ejecutiva.

Además de definir las funciones respectivas del sector público y privado, los planes nacionales de banda ancha móvil pueden articular los roles respectivos de las entidades gubernamentales específicas que pueden contribuir, ya sea en el lado de la demanda o de la oferta, para cumplir los objetivos de penetración de la banda ancha móvil. Como tal, los planes nacionales de banda ancha sirven para delinear las responsabilidades del gobierno en áreas tan diversas como ciencia y tecnología (para el despliegue de banda ancha en apoyo de programas de investigación), educación (para promover la alfabetización digital) y salud (para fomentar la adopción de programas de salud electrónica) y administración general (para promover aplicaciones de gobierno electrónico).

Finalmente, la evolución en la industria de las telecomunicaciones es incesante. Habrá desafíos acompañados de oportunidades. En la era actual 4G y el comienzo de la era 5G, los operadores, reguladores y proveedores de equipos deben comprender los últimos cambios y adaptarse rápidamente preparándose

para nuevos modelos de negocios, nuevos planes regulatorios y desde luego nuevas fuentes de ingresos y ganancias.

### **3.3- Aspectos sobre la administración, gestión y explotación del Espectro de frecuencias radioeléctricas atribuidas a servicios móviles de banda ancha.**

Sin dudas, el espectro radioeléctrico es uno de los problemas más importantes a los que se enfrentan la industria, las comunicaciones móviles y los organismos reguladores. **Hay dos cuestiones a considerar:**

- Un problema es la cantidad limitada de espectro radioeléctrico disponible para soportar las necesidades creciente del mismo de esta dinámica industria y
- Otro es, cómo está respondiendo la industria para aprovechar la tecnología disponible.

Dado que el espectro radioeléctrico es un recurso limitado, la industria está llevando a cabo las siguientes iniciativas para aprovechar todo el espectro disponible:

- Aumentar la eficiencia espectral de las tecnologías para aumentar continuamente los bits por segundo del ancho de banda de datos por cada Hertz disponible.
- Adaptación de especificaciones para habilitar el funcionamiento de UMTS / HSPA y LTE / LTE-Advanced / LTE-Advanced Pro en todas las bandas disponibles.
- Diseño de versiones de tecnología FDD y TDD para permitir el funcionamiento en bandas emparejadas y no emparejadas.
- Diseñar técnicas de agregación de operadores en HSPA +, LTE y LTE-Advanced en múltiples canales de radio para mejorar tanto las tasas de datos máximas como la eficiencia espectral.
- Desplegar tantas celdas nuevas (grandes y pequeñas) como sea posible, principalmente haciendo una combinación de cobertura con frecuencias radioeléctricas de buena propagación como de capacidad de tráfico con frecuencias radioeléctricas más altas.

Se podría pensar que las nuevas tecnologías, como las celdas pequeñas y las antenas inteligentes, eliminarían una mayor necesidad de espectro radioeléctrico. Sin embargo, estas tecnologías ya se encuentran en la hoja de ruta para la evolución del 3GPP y, por sí mismas, no aumentan suficientemente la capacidad para satisfacer la creciente demanda. Además, el término "gestión del espectro radioeléctrico" es el proceso de regulación del uso de radiofrecuencias para promover el uso eficiente y obtener un beneficio social neto. El término espectro de radio típicamente se refiere al rango de frecuencia completo de 3 kHz a 300 GHz que se puede usar para la comunicación inalámbrica. El aumento de la demanda de servicios tales a través de teléfonos móviles y muchos otros dispositivos ha requerido cambios en la filosofía de gestión del espectro La

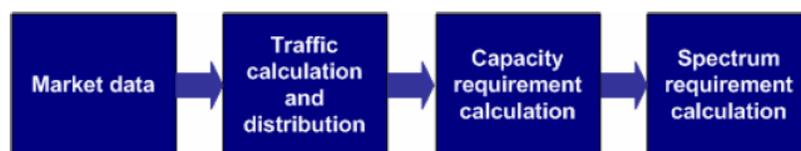
demanda de banda ancha móvil se ha disparado debido a la innovación tecnológica, la implementación de 4G y futuros servicios móviles 5G, así como rápida expansión de los servicios móviles e inalámbricos de Internet y el IoT emergente.

El Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R) desempeña un papel fundamental en la gestión global del espectro radioeléctrico y en la identificación de los cambios necesarios en las asignaciones de espectro radioeléctrico existentes para adaptarse a los cambios en la demanda.

Las asignaciones de espectro que figuran en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT se revisan cada tres o cuatro años en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de la UIT (WRC). En la Comisión de Estudio 5 del sector UIT-R se realizan numerosos estudios para preparar cada CMR, con especial énfasis hoy día en lo relativo a las especificaciones de los sistemas móviles 3G y 4G en el marco de las comunicaciones móviles internacionales (IMT) en la UIT. La CMR de la UIT tiene el mandato de revisar el Reglamento de Radiocomunicaciones, el tratado internacional que rige el uso del espectro de radiofrecuencias (gestión del espectro) y los recursos de la órbita de los satélites. La agenda de una conferencia mundial de radiocomunicación puede incluir cualquier otra cuestión de carácter mundial dentro de la competencia de la conferencia. TELCOR como ente regulador de las telecomunicaciones debe retomar la participación activa en dicho foro.

Es importante mencionar, que ya existía una metodología para calcular los requisitos del espectro radioeléctrico que incorpora múltiples tipos de servicios (es decir, video, voz y datos). Esta metodología es aplicable tanto al tráfico con conmutación de circuitos como a la conmutación de paquetes, y todavía proporciona un medio válido para estimar los requisitos de espectro total. Sin embargo, los futuros modelos de estimación deben tener en cuenta diversos factores de mercado y económicos interrelacionados relacionados con los tipos de tráfico 3G y 4G y más adelante de las redes 5G.

El diagrama de flujo general de la metodología de la Recomendación UIT-R M.1768-1 consta de nueve pasos consecutivos que se agrupan en cuatro bloques principales, como se muestra en la **figura 25**. La metodología comienza con un análisis de los datos del mercado, avanza para calcular y distribuir el tráfico, y luego calcula la capacidad requerida, antes de concluir con una estimación de los requisitos del espectro.

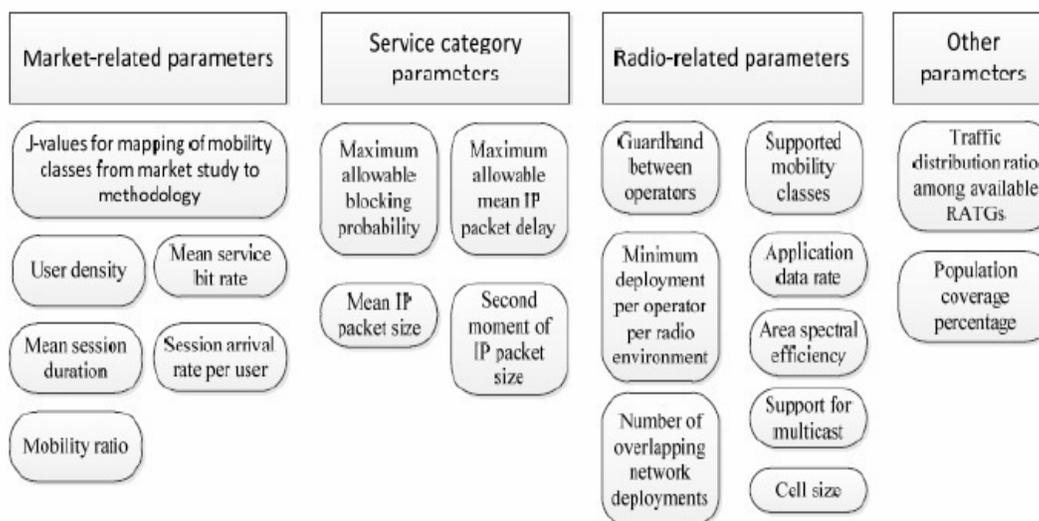


**Figura 25. De los datos de mercado al cálculo de requisitos de espectro.**

**Fuente: ITU-R M.2290, Future spectrum requirements estimate for terrestrial IMT, 2013.**

Además, el requisito estimado futuro de espectro radioeléctrico total que se está evaluando actualmente probablemente en el año 2020 superará la opinión expresada en el Informe UIT-R M.2078 (Esta información del Informe UIT-R M.2078 se está actualizando en un último Informe del UIT-R para CMR-15).

La Recomendación UIT-R M. 2078 se da en el contexto de la creciente presión sobre las redes de operadores móviles derivada del rápido aumento del tráfico de datos móviles, que tiene lugar globalmente, por lo que la UIT establece una cantidad mínima de espectro asignada para IMT-2000 y IMT-Advanced, para los años 2010, 2015 y 2020 según el estado de desarrollo del mercado: menor ajuste del mercado vs mayor ajuste del mercado. La recomendación de la UIT clasifica los requisitos de espectro radioeléctrico del Grupo de Tecnología de Acceso Radio (RATG). RATG 1 cubre pre-IMT e IMT, así como también mejoras a IMT, y RATG 2 se compone de IMT-Advanced. La estimación del espectro requerido se basa en la clasificación de un conjunto de parámetros de entrada como se muestra en la **figura 26**.



**Figura 26. Clasificación de los parámetros de entrada a la metodología de estimación de los requisitos del espectro radioeléctrico.**

**Fuente: ITU-R M.2290, Future spectrum requirements estimate for terrestrial IMT, 2013.**

La última CMR, la CMR-15 tuvo lugar en Ginebra el 27 de noviembre de 2015. Tras la creciente demanda de espectro radioeléctrico para servicios de banda ancha móvil, la CMR-15 identificó bandas de frecuencias en la banda L (1427-1518 MHz) y en la parte inferior de la banda C (3.4 -3.6 GHz). La CMR-15 logró un acuerdo sobre algunas porciones adicionales en otras bandas que también fueron asignadas y/o atribuidas a servicios de banda ancha móvil para ser utilizadas en regiones donde no hay posibilidad de interferencia con otros servicios.

En el **tabla 17**, se resumen las nuevas bandas de frecuencias IMT en la CMR-15, y que Nicaragua a través de TELCOR debe atribuir a la brevedad posible en el

Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) a fin de ponerlas disponibles para el desarrollo y despliegue de infraestructura de banda ancha mediante acceso móvil.

<b>WRC - 15</b>				
<b>Band (MHz)</b>	<b>Bandwidth (MHz)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>
470 – 608	138		some	
614 – 698	84		some	
1427 – 1452	25	any	any	any
1452 – 1492	40	some	any	any
1492 – 1518	26	any	any	any
3300 – 3400	100	some	some	some
3600 – 3700	100		some	
4800 – 4990	190		some	some
<b>8 Bands</b>	<b>New BW 703</b>			

**Tabla 17. Nuevas bandas de frecuencias IMT en la CMR-15.**

**Fuente: ITU, Radio Assembly & World Radio Conference 2015, Workshop on National Spectrum Management and Spectrum Management System for Developing Countries. Aamir Riaz, 2016.**

Otro tema importante para el espectro móvil es el dedicado al Internet celular de las cosas (IoT). Una de las principales ventajas del uso de espectro radioeléctrico con licencia es una gestión del tráfico más eficiente: dado que el espectro no se comparte con otros operadores, hay menos interferencia, mejor fiabilidad y calidad de servicio (QoS).

Los operadores móviles usan espectro con licencia para ofrecer el servicio globalmente y lograr una escala mayor. Sin embargo, al desarrollar un servicio de IoT, es importante encontrar qué banda de frecuencia se adapta mejor al servicio, ya que esto tiene un impacto significativo en el tamaño del dispositivo y su módulo de antena. El tamaño de la antena es inversamente proporcional a la frecuencia utilizada, es decir, cuanto mayor sea la frecuencia, menor será la antena y viceversa. Entonces, si la frecuencia disminuye, el tamaño de la antena aumenta. El uso de bandas de frecuencia más altas permitirá módulos más pequeños, lo cual es importante para las aplicaciones de IoT donde el tamaño es un factor primordial.

Por otro lado, las frecuencias más bajas proporcionan una mejor cobertura y son más adecuadas para aplicaciones de cobertura extendida donde el tamaño de la antena y el módulo no es un problema. Las bandas consideradas para las soluciones de IoT basadas en LTE se dan en la **tabla 18**.

Tecnología	Espectro radioeléctrico	Requerimiento de ancho de banda
<b>Cat-1, Cat-0 y Cat-M1</b>	Lo mismo que LTE heredado: entre 450 MHz y 3.5 GHz	Independiente de la banda se requiere un ancho de banda de 1.4 MHz
<b>EC-GSM-IoT</b>	Igual que GSM: 850 - 900 MHz y 1800 - 1900 MHz	Igual que GSM: 850 - 900 MHz y 1800 - bandas de 1900 MHz.
<b>NB - IoT</b>	Puede implementarse 2G / 3G / 4G en espectro (e. 450 MHz a 3.5 GHz), mientras que las bandas sub-2 GHz son preferidas para aplicaciones NB - IoT que requieren buena cobertura	180 KHz para despliegue en banda y banda de guardia, 200 KHz para despliegue independiente

**Tabla 18. Espectro radioeléctrico para IoT celular basado en LTE**  
Fuente: UIT 2017.

En cuanto al espectro radioeléctrico con licencia para las tecnologías basadas en LTE, ya está a disposición y en explotación de los operadores móviles en Nicaragua (Claro y Movistar).

En el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) edición 2012 de la UIT, se han identificado hasta ahora las siguientes bandas para las IMT. Esta identificación no impide que estas bandas se utilicen para otras aplicaciones de los servicios a los que están atribuidas o identificadas ni tampoco establece prioridad alguna en el Reglamento de Radiocomunicaciones. Cabe señalar que a cada banda se aplican distintas disposiciones reglamentarias. Las variaciones regionales para cada banda se describen en las diferentes notas señaladas y que se aplican a cada banda, como se muestra en la **tabla 19**.

Banda (MHz)	Notas que identifican la banda Para IMT
<b>450 – 470</b>	5.286AA
<b>698 – 960</b>	5.313A, 5317 <sup>a</sup>
<b>1710 – 2025</b>	5.384A, 5.388
<b>2110 – 2200</b>	5.388
<b>2300 – 2400</b>	5.384 <sup>a</sup>
<b>2500 – 2690</b>	5.384 <sup>a</sup>
<b>3400 – 3600</b>	5.430A, 5.432A, 5,432B, 5.433A

**Tabla 19. Variaciones regionales de frecuencias radioeléctricas para IMT-2000**  
Fuente: UIT. Recomendación UIT-R M.1036-5. (10/2015).

En Nicaragua se están utilizando intensivamente las bandas de 689 – 960 MHz, 1710 – 2015 MHz, 2110 – 2200 MHz y 2300 – 2400 MHz en los servicios móviles.

Vemos pues, que el espectro radioeléctrico es una pieza clave para el desarrollo de IoT. A pesar de los avances de los últimos años, históricamente América Latina ha tenido falencias en la entrega de espectro radioeléctrico. Un estudio de 5G Americas<sup>38</sup> indica que, en promedio, los gobiernos latinoamericanos han entregado 330 MHz para servicios móviles, es decir, el 25,38% de los 1300 MHz recomendados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) para el año 2015. La cifra del espectro otorgado cae al 19,19% si se toman los 1720 MHz recomendados por el organismo internacional para el año 2020. La necesidad de otorgar mayor cantidad de espectro a los prestadores de servicio móvil a lo largo de la región es un elemento necesario para impulsar el despliegue de tecnologías de banda ancha móvil y IoT. La solución a esta necesidad permitirá continuar con la evolución tecnológica para saciar la creciente demanda de la sociedad (5GAméricas, 2016).

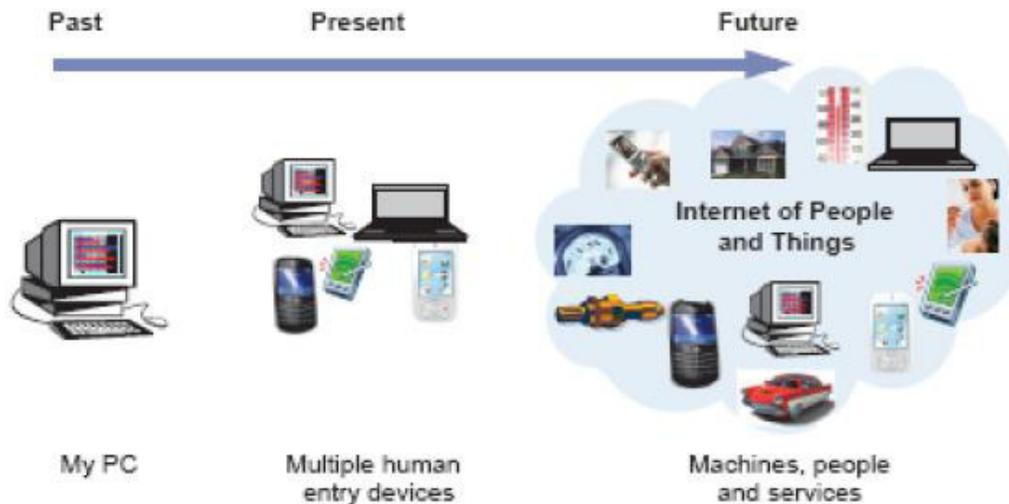
Los 420 MHz actualmente atribuidos a servicios móviles en Nicaragua (CNAF TELCOR, 2014) representan el 32.3% de la cantidad del recurso radioeléctrico recomendada por ITU-RM 2078 para 2015, y solo el 24.42% de la recomendación de la UIT para 2020. Desde luego en el mercado nicaragüense la limitación para la mayoría de los operadores es la disponibilidad de espectro accesible mediante procesos no competitivos, ya que de lo contrario el espectro radioeléctrico alcanza valores muy altos.

## Capítulo 4.

### Aspectos comerciales para el desarrollo de la Banda Ancha.

Las tecnologías y los modelos comerciales que ofrece el desarrollo de Internet de banda ancha darán lugar a oportunidades masivas en todos los negocios, tanto para la sociedad, como los entes reguladores y el propio gobierno. Si las empresas comerciales de TIC toman las decisiones correctas sobre cómo invierten y aplican el desarrollo de Internet de banda ancha, se beneficiarán no solo de la reducción de costos en la entrega de servicios, negocios y de los nuevos servicios de Internet para empresas y consumidores, sino que también harán a sus empresas de telecomunicaciones, un lugar muy atractivo para invertir, en donde ya no solo hablamos de servicios sobre infraestructura sino de la gestión de contenidos e información sistematizada que se vislumbra como una enorme fuente de ingresos.

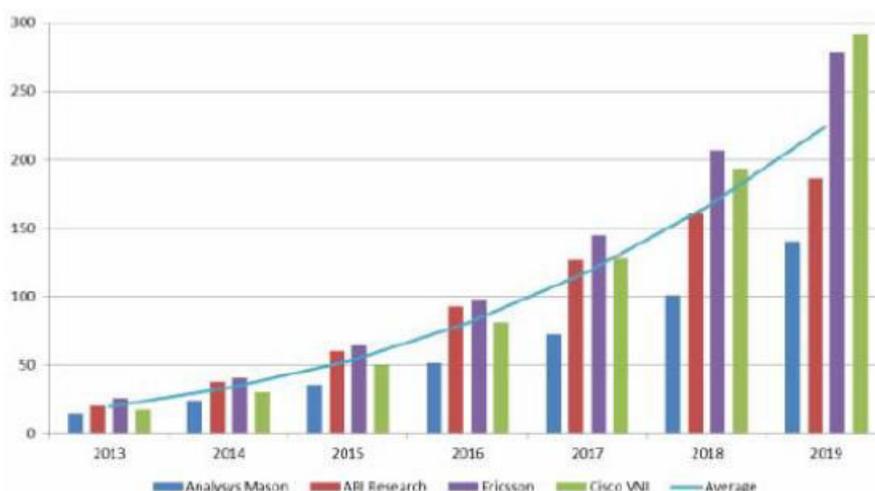
El Internet de banda ancha no es una entidad única que se lanza como una nueva pieza de software en un punto fijo en el tiempo; es una evolución más que una invención. Es un continuo desarrollo que no sólo se trata de una banda ancha más rápida, sino más bien de una creciente "inteligencia" basada en un "Internet de personas, cosas y servicios" (**ver figura 27**). De hecho, pensar en el futuro de Internet de banda ancha simplemente como una banda ancha más rápida es pasar completamente por alto lo que este nuevo entorno puede ofrecer, tanto a cada usuario en términos de mejores servicios, más accesibles y más eficientes, diseñados para cada individuo, como en la mejora de la competitividad y la rentabilidad de las empresas.



**Figura 27. El futuro desarrollo de Internet.**  
Fuente: UIT 2017.

Además, la evolución de Internet de banda ancha móvil y el crecimiento de la penetración de teléfonos inteligentes han dado lugar a un cambio de paradigma en

la sociedad. Desencadena una mayor expectativa para el usuario y aumenta el nivel de competencia en los mercados. El uso promedio de los usuarios de datos móviles aumenta a varias decenas de MB de datos por mes, en comparación con algunos MB/mes hace varios años. Se prevé que esto aumentará en el futuro, llegando a más de 1 GB / mes en un futuro cercano. El tráfico total ha crecido exponencialmente en los últimos años y tiene una tendencia creciente continua, como se muestra en la **gráfica 7**. Esto plantea un desafío considerable para la industria de las telecomunicaciones, como el debilitamiento de las relaciones de los usuarios y la disminución de los ingresos de los servicios de voz y mensajería existentes.



**Gráfica 7. La tendencia en el aumento anual de datos móviles según diversas consultoras. Fuente: Analysys Mason, ABI Research, Ericsson, Cisco y Average. 2017.**

Debemos estar plenamente conscientes que mejores servicios de banda ancha y dispositivos de usuario crean demanda de contenido multimedia más rico y aplicaciones más interactivas, impulsando un ciclo virtuoso de inversión en toda la cadena de valor de Internet y más en el acceso inalámbrico. Como consecuencia, el tráfico de banda ancha móvil ha estado creciendo exponencialmente y Nicaragua no es la excepción y se espera que crezca a nivel mundial a una tasa de aproximadamente 50% anual hasta 2019, previéndose de parte de los principales operadores móviles una tendencia similar para Nicaragua. Garantizar un ecosistema inalámbrico / móvil saludable (incluye aplicaciones y servicios a los que se accede a través de dispositivos móviles, incluidos los servicios proporcionados por los operadores móviles, así como los servicios OTT) es esencial para que eso ocurra. La salud del ecosistema de banda ancha inalámbrico enfrenta desafíos desde varias direcciones, que incluyen:

- (i) mantener una inversión de infraestructura continua para expandir la capacidad y actualizar a tecnologías 4G, más nuevas, más eficientes y capaces para satisfacer el crecimiento exponencial del tráfico inalámbrico;

- (ii) aliviar la escasez de espectro de radiofrecuencia, un recurso esencial para todos los servicios inalámbricos; y
- (iii) la transición a un ecosistema basado en el mercado que puede gestionar de manera más eficiente esta industria cada vez más compleja y dinámica. La competencia sólida en servicios de banda ancha móvil ayudará a abordar cada uno de estos desafíos.

Además, en el contexto del futuro desarrollo de Internet de banda ancha e Internet de Servicios, el objetivo clave es lograr la **Continuidad y multiplicidad de los servicios**. La continuidad de los servicios como una de las mejores prácticas comerciales para el desarrollo de la banda ancha tiene dos perspectivas principales, a saber:

- El consumidor del servicio y
- Las perspectivas del proveedor del servicio.

Los consumidores de servicios buscan la "interactividad perfecta". Donde por "perfecto" queremos decir permanente (es decir, interactividad en cualquier momento), transparente (es decir, el consumidor del servicio solo necesita concentrarse en los beneficios del servicio que está usando), sin interrupciones (es decir, la interacción se realiza utilizando dispositivos "típicos" apropiados al contexto actual) y confiable (por ejemplo, seguro, privado y seguro).

Los proveedores de servicios requieren nuevos enfoques de gestión en los que la complejidad del principio de control central se desplaza hacia la simplicidad del enfoque para mantener la consistencia de cada servicio. En línea con lo anterior, Internet de Servicios que está pensado para integrarse en la vida cotidiana de los usuarios de manera directa y rápida automatizando determinados procedimientos apoyará y estimulará la creatividad, la comunidad y el comercio. El usuario ya no quiere servicios que tenga que instalar o programar constantemente, sino que espera que sean los propios dispositivos los que aprendan sus hábitos de comportamiento y consumo para configurarse automáticamente y adelantarse a sus necesidades.

El Internet de Servicios es una evolución muy lógica en el campo del IoT, generada por la multiplicación exponencial de dispositivos y funciones conectadas a la red. El valor añadido del Internet de Servicios no es tanto en la cantidad de dispositivos conectados, sino en los servicios que obtenemos gracias a una gestión eficiente de los dispositivos y en la capacidad de éstos para integrarse en nuestra vida cotidiana. Es decir que ofrecerá servicios enriquecidos centrados en el usuario.

El Internet en el futuro llevará a la demanda de servicios innovadores caracterizados por un acceso sin interrupciones, transmisión multimedia personalizada, "software-as-a-service" (SaaS) y "recursos como servicio" (RaaS). Aparecerán nuevos modelos de ingresos y poderosos espacios personales y comunitarios. La virtualización se utilizará para aumentar la eficiencia del uso de la

infraestructura, extender la escalabilidad de las plataformas y fomentar la creación generalizada de organizaciones.

Los servicios unirán cada vez más la vida real con el virtual. Además, cuestiones como la interoperabilidad se tratarán como servicios. Sectores tales como la educación, salud, banca, transporte, computación móvil, la inteligencia artificial, la gestión de datos y en general la gestión de infraestructura y servicios asociados a ciudades y regiones “inteligentes”, serán gestionados mediante servicios y aplicaciones con altos requerimientos de ancho de banda.

Por otro lado, desde el punto de vista de los expertos en negocios, los clientes empresariales están buscando una gama de módulos de funcionalidad que puedan seleccionar por sí mismos. Este enfoque tiene tres ventajas principalmente para las entidades bancarias:

- **Retención:** los clientes se vuelven más rígidos, ya que pueden hacer más de lo que deben hacer con su proveedor actual.
- **Ingresos:** los bancos pueden cobrar por estos módulos incrementales de funcionalidad si así lo desean, ya sea por función, en forma transaccional o en agrupaciones de funcionalidades adicionales de valor agregado.
- **Reducción de costos:** los clientes comerciales dependen menos de los canales de alto costo para realizar transacciones.

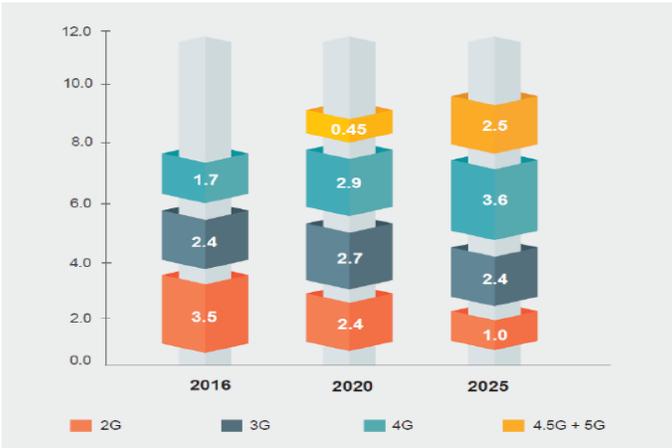
Por esta razón, pienso y creo que en el futuro las cuentas bancarias de negocios gestionadas por medio de aplicaciones sobre Internet se basarán en menús de funcionalidad y combinaciones de precios. Además, los pagos están en el corazón de la banca en línea. Como resultado, la funcionalidad de pagos y cobros está relativamente más desarrollada en las ofertas actuales de banca en línea. Sin embargo, los expertos creen que existe la capacidad de aprovechar este nivel de funcionalidad como una forma de ahorrar tiempo a los clientes y alentarlos a utilizar canales de menor costo.

El requisito clave debe ser garantizar que los clientes tengan toda la gama de opciones de pago y cobranza disponibles para el autoservicio. Para los clientes de banca comercial, esto nuevamente puede formar parte de un módulo adicional de funcionalidad, por el cual los clientes pueden cobrar. Con la amplia gama de tipos de pagos disponibles, es crucial que las interfaces sean fáciles de usar y configurables por el cliente. El cliente debe poder personalizar los campos de datos para poder cambiarlos según la transferencia o el tipo de pago seleccionado, y solo se mostrarán los campos requeridos para un tipo de transacción específico. Esto facilita los pagos al usuario, reduciendo los errores y, por lo tanto, el tráfico del centro de contacto. Proporcionar una función de reconciliación automática en línea simple ahorrará tiempo a los clientes al hacer coincidir los pagos / cobros emitidos y / o recibidos.

Se hace evidente que la introducción de una sencilla herramienta de facturación electrónica garantizará que los clientes comerciales y corporativos también puedan completar sus operaciones en línea. La clave para ofrecer intercambios y transacciones efectivas de divisas y mercados de dinero en línea es garantizar que sean lo más conveniente posible para los clientes corporativos y lo más simple posible para los clientes comerciales. Los clientes buscan cada vez más bancos en línea para mostrar las tasas de cambio para brindar un servicio más conveniente y sin interrupciones. Los bancos de Internet podrían permitirles a los clientes enviar mensajes instantáneos a los banqueros para confirmar las tarifas en tiempo real, especialmente en grandes negocios.

Los clientes comerciales exigen que se pueda actualizar a esta funcionalidad donde sea necesario. También necesitan la flexibilidad para ver los detalles de su saldo en una variedad de monedas. Para los clientes corporativos, de forma muy similar a la funcionalidad de pagos y cobranzas, se debe poner a disposición una amplia gama de tipos de transacciones.

Partiendo de que las redes de banda ancha móvil brindan conectividad de muy alta velocidad, estas redes han puesto una gran variedad de servicios de información, entretenimiento y comunicaciones al alcance de la mano de las personas, lo que les permite mejorar sus vidas. Hoy en día, hay alrededor de cuatro mil millones de conexiones de banda ancha móvil (3G y 4G) en todo el mundo (UIT, 2017). Para 2020, Huawei anticipa que esa cifra aumentará a 6,2 mil millones, y para el 2025, a 8,5 mil millones (**ver gráfica 8**). Estas conexiones permitirán nuevas categorías de servicios que integrarán cada vez más los mundos físico y virtual, mejorando la calidad de vida de las personas e impulsando su productividad. Para los operadores móviles, los servicios de banda ancha móvil proporcionan una base sólida sobre la cual pueden desarrollar nuevos servicios digitales. Su éxito en el mercado de servicios digitales dependerá en gran medida del tamaño de su base de suscriptores de banda ancha móvil.



**Gráfica 8. Crecimiento en las conexiones móviles globales excluyendo M2M celular.**  
**Fuentes: Ovum, GSMA Forum y Huawei Wireless X Labs.2018.**

A medida que los servicios de entretenimiento, comunicación e información se vuelven requieren más ancho de banda, los consumidores buscan conectividad de muy alta velocidad mientras se desplazan, en el hogar, en el automóvil y en el trabajo. Para los operadores, satisfacer esa demanda es a la vez un desafío y una oportunidad. Se requiere para esto nuevas tecnologías o versiones más avanzadas de las ya estandarizadas. Entonces, la aparición de nuevas tecnologías de acceso y transmisión con características de última generación, en particular LTE. LTEA y LTEAPro, están generando en el sector comercial lo siguiente:

**1.- Menor costo de adquisición / operación / mantenimiento:** Debido principalmente al desarrollo de la microelectrónica, la disponibilidad de procesadores más potentes a menor costo y las economías de escala que los operadores alcanzan en sus operaciones mundiales y regionales.

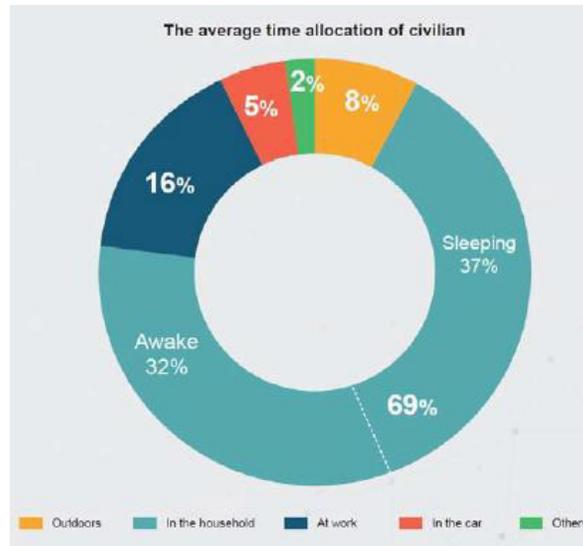
**2.- Interoperabilidad:** dado que muchas empresas están uniendo esfuerzos para apoyar nuevas tecnología, en tanto una de las grandes oportunidades de negocios es poder brindar servicios más allá de las redes propias, es decir servicios interconectados que implican per se su interoperabilidad.

**3.- Amplio soporte:** Por la cantidad de desarrolladores de tecnología involucrados en el desarrollo de redes móviles de nueva generación, que implica cierta seguridad a la hora de realizar una gran inversión a futuro.

Las conexiones de banda ancha móvil son cada vez más rápidas, transformando la experiencia del usuario. Para el año 2025, 2,500 millones de personas tendrán una conexión inalámbrica Gigabit (4.5 G o 5 G) capaz de entregar datos a 1 Gbps.

La gente quiere disfrutar de comunicaciones de entretenimiento multimedia y servicios de información estén donde estén. Tanto los consumidores como los empresarios utilizan cada vez más sus dispositivos móviles para consumir video mientras están fuera de casa. Miran videos en el autobús o el tren, transmiten secuencias de eventos en vivo y hacen video llamadas desde casi cualquier lugar.

De hecho, los dispositivos móviles se están convirtiendo gradualmente en la pantalla principal para consumir contenido de video, tomando el control de la televisión como el principal conducto para el entretenimiento. Hoy, las personas con un dispositivo móvil pasan un promedio de dos horas al día usando ese dispositivo y Huawei cree que esa cifra aumentará a 3.5 horas para 2020 y 5.5 horas para 2025 (**ver gráfica 9**). Los consumidores utilizan cada vez más sus dispositivos móviles para acceder a contenido bajo demanda, en lugar de ver TV cable.



**Gráfica 9. Cómo las personas dividen su tiempo entre el hogar, el trabajo, el automóvil y al aire libre.**

**Fuente: American Time Use Survey. 2017.**

Adicionalmente, para los operadores móviles, a futuro el IoT y a corto plazo, el mercado de automóviles conectados abre múltiples oportunidades de negocios, que crecerán con el tiempo. En términos de ingresos, Huawei estima que el mercado en este nicho de negocios para los operadores móviles será tres o cuatro veces mayor en 2022 que en 2016. Según Huawei, existe el potencial de ganar para 2022 US \$ 92.3 mil millones en servicios vinculados a: infoentretenimiento y telemática, tráfico de datos móviles, entretenimiento WEB, soporte de centro de llamadas y servicios de diagnóstico remoto, (frente a US \$ 27.3 mil millones en 2016) y US \$ 21 mil millones en gestión de flotas vehiculares (terrestres, aéreas y marítimas) para clientes empresariales (hasta US \$ 8.7 mil millones en 2016).

Huawei estima que el mercado servible para los servicios V2X, que permite que los vehículos se comuniquen con otros vehículos e infraestructura, tendrá un valor de US \$ 31,500 millones en 2022. El organismo de estándares 3GPP ha introducido el estándar C-V2X (vehículo celular a X), que evolucionará aún más con el despliegue de redes de comunicación 5G. Además, es probable que el establecimiento de la Asociación Automotriz 5G acelere el desarrollo de las soluciones V2X.

Para 2020, según Accenture, el 50% de los automóviles nuevos estarán conectados a redes celulares y para el 2025, todos los automóviles nuevos estarán conectados. Se estima que el valor comercial total de los servicios de automóviles conectados alcanzará los 100 mil millones de dólares para 2020 y los 500 mil millones para 2025.

Con el tiempo, los automóviles utilizarán la conectividad para ser cada vez más autónomos, permitiendo a todos los ocupantes del vehículo acceder a los servicios de entretenimiento, información y comunicaciones mientras viajan. Para el año 2025, habrá disponibles automóviles completamente autónomos.

Visto lo anterior, podemos decir que se evidencian e identifican tres familias de escenarios de casos de uso y aplicaciones, algunas de las cuales pueden ser atendidas por las tecnologías 4G actuales, mientras que otras requieren capacidades de red 5G:

- Las comunicaciones masivas tipo máquina: requieren conectividad para millones de dispositivos, por lo general transmiten un volumen relativamente bajo de datos no retardados (bajo ancho de banda y no crítico a la latencia) a través de dispositivos de bajo costo con una vida útil prolongada de la batería.
- Comunicaciones de tipo máquina: que son críticas para una conectividad instantánea ultra confiable y resistente, con requisitos estrictos para capacidades tales como rendimiento, latencia y disponibilidad.
- Banda ancha móvil mejorada: para la conectividad móvil masiva de muy alta velocidad a medida que continúa aumentando la demanda de banda ancha móvil.

Finalmente, podemos concluir que el desarrollo de los futuros servicios de Internet de banda ancha tendrá un tremendo impacto socioeconómico y especialmente comercial a diferencia de cualquier instrumento de comunicación o infraestructura anterior hasta ahora: comercio, servicios gubernamentales, ciencias sociales, ciencias de la salud, entretenimiento, normas de comunicación, interacciones sociales, estrategia de negocios, etc., todos dependerán de los desarrollos del Internet, surgiendo un nuevo frente de innovación en relación a la seguridad de datos y transacciones, en donde los responsables políticos y expertos de redes; deben viabilizar y garantizar la seguridad en todas las actividades en red; y desde luego permitir el anonimato y la privacidad necesarios.

Estamos llegando a un momento en que la limitación en la prestación de servicios de cualquier tipo que sean, estará vinculada directamente a la capacidad de imaginación y de innovación. Podríamos decir que estamos cercanos al punto de llegar al Internet sin límites, en donde la potencia real y las capacidades de la banda ancha se pondrán en evidencia.

## Capítulo 5. Conclusiones.

- Con sus capacidades en cuanto a rendimiento técnico de eficiencia y velocidad, HSPA provee el medio para alcanzar niveles sin precedentes de satisfacción del usuario y nuevos flujos de ingresos para los operadores, sin embargo no posibilita la prestación de servicios vinculados al IoT e Internet de servicios.
- Con respecto a la tecnología HSPA+, la tecnología LTE presenta mejoras perceptibles en cuanto a diversidad y calidad del servicio.
- La tecnología McWiLL por sus actuales prestaciones y su poca posibilidad de lograr diversidad de suplidores de tecnología no es la mejor escogencia para un desarrollo futuro de red.
- La tecnología McWiLL no está siendo objeto de un desarrollo sustantivo para alcanzar parámetros y prestaciones que posibiliten el IoT y el internet de servicios, lo que debilita la posibilidad de ser seleccionada para futuros desarrollos de red.
- Las técnicas basadas en OFDM/OFDMA tienen un mejor rendimiento que CDMA de McWiLL en ambientes multipath, ya que superan de mejor manera la interferencia entre símbolos (ISI) y tienen mejor eficiencia espectral en el enlace ascendente (UL). Además, OFDMA es más resistente a la atenuación selectiva en frecuencia, ya que su naturaleza paralela permite que los errores en las sub-portadoras sean corregidos de manera muy simple.
- El uso de la codificación y modulación adaptativa (AMC: Adaptive Modulation and Coding) por parte de OFDMA permite lograr un mayor rendimiento (throughput) que en los sistemas que utilizan CDMA. Además, es capaz de utilizar mayores órdenes de modulación (mayores tasas de datos) a mayores alcances. Por otra parte, OFDMA puede mejorar aún más su ventaja sobre CDMA cuando aplica AMC a nivel de sub-canales, lo cual es conocido como SDMA, pudiendo optimizar la selección de los sub-canales basado en la ubicación geográfica del suscriptor.
- Con tecnologías como UMTS/HSPA, las ventajas tecnológicas para los servicios de banda ancha móvil incrementaron significativamente, que a su vez constituyeron un paso hacia el desarrollo de tecnologías móviles basadas en IP. Ahora con la entrada al mercado de LTE, los operadores cuentan con una plataforma robusta, que permitirá la implementación de dicha tecnología.
- Los operadores de redes móviles deben centrar sus esfuerzos en obtener licencias de espectro radioeléctrico por debajo de los 2 GHz.
- Vistas las tecnologías y sus prestaciones disponibles en Nicaragua, y observando el desarrollo tecnológico y economías de escala en el mundo alrededor de LTE y sus mejoras tales como LTEAdvanced y LTEAdvancedPro, es conveniente el decantarse por esa misma tendencia para ser usadas en las redes de acceso de muy alta velocidad y el internet móviles de banda ancha. Esta tecnología será importante en el crecimiento

de la digitalización industrial, creando y mejorando casos de uso de digitalización industrial tales como juegos inmersivos, conducción autónoma, cirugía robótica remota y soporte de realidad aumentada en situaciones de mantenimiento y reparación. La mayor oportunidad se verá en la industria de la energía y los servicios públicos, seguida de cerca por los sectores de fabricación y seguridad pública. La tecnología LTE soporta aplicaciones del IoT y sus mejoras LTEAdvanced y LTEAdvanced Pro soportarán aplicaciones masivas tanto IoT como del Internet de servicios. Sin embargo la implementación de LTEAdvanced Pro, deberá esperar los resultados de la CMR 2019, en tanto hoy día no existe espectro radioeléctrico disponible para los operadores. Mientras llega ese momento es posible el implementar LTEAdvanced en tanto permite la técnica de agregación de portadoras.

- El despliegue eficiente de sistemas de acceso inalámbrico de muy alta velocidad e internet móvil de banda ancha requiere de la atribución de nuevas bandas de frecuencias radioeléctricas, por lo que de parte de las administraciones nacionales debe prepararse una participación muy activa en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2019 en el ámbito de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.
- Actualmente las mejores bandas para continuar con el desarrollo de redes de acceso inalámbrico de alta velocidad e internet móvil de banda ancha son 694-790 MHz y la 1427-1518 MHz.
- Las tendencias comerciales tales como la hipercompetencia, los nuevos requerimientos y sofisticación de los clientes, el cambio vertiginoso en los ecosistemas empresariales y los avances tecnológicos disruptivos afectan a las industrias verticales en diferentes grados, por lo que apostar a un modelo híbrido en donde se incluya la horizontalización de la participación en la cadena de valor del Internet es lo menos riesgoso.
- Las industrias verticales fuera del sector de las TIC no tienen la experiencia necesaria para proporcionar por sí mismas soluciones de servicios integrales. La digitalización de industrias que antes no eran digitales genera una gran oportunidad para los operadores de telecomunicaciones que asisten a los clientes con modelos de negocios recientemente habilitados en base a incidir en todos los pasos de la cadena de valor del Internet. Si bien los operadores tienen las capacidades y la ventaja tecnológica para ofrecer dichos servicios de TIC, deberán enfocar los modelos de participación, operación y producción de su organización para tener éxito a partir de estas oportunidades de negocio. En este tiene un peso fundamental la inteligencia de negocios, la sistematización de información y el análisis de estadísticas vinculado a los perfiles de usuarios y consumidores.
- En general, la conectividad de banda ancha móvil no es un recurso sustitutivo o universal, pero cuando se integra con los sistemas existentes, puede mejorar cierta prestación de servicios o facilitar el desarrollo de nuevos servicios con el objetivo de ofrecer los mejores resultados. Por ejemplo, la salud móvil y la educación virtual en Nicaragua podrían generar

varias decenas de millones de dólares en ahorros en el Presupuesto General de la República.

- El Internet de banda ancha no es una entidad única que se lanza como una nueva pieza de software en un punto fijo en el tiempo; es una evolución. Es un continuo desarrollo que no sólo se trata de una banda ancha más rápida, sino más bien de una creciente "inteligencia" basada en un "Internet de personas, cosas y servicios". De hecho, pensar en el futuro de Internet de banda ancha simplemente como una banda ancha más rápida es pasar completamente por alto lo que este nuevo entorno puede ofrecer en el ámbito comercial, tanto a cada usuario en términos de mejores servicios, más accesibles y más eficientes, diseñados para cada individuo, como en la mejora de la competitividad y la rentabilidad de las empresas.
- Podemos concluir que el desarrollo de las redes de acceso de muy alta velocidad y de los futuros servicios de Internet de banda ancha sobre la tecnología LTE, LTEA y LTEAPro, tendrá un tremendo impacto socioeconómico y especialmente comercial a diferencia de cualquier instrumento de comunicación o infraestructura anterior hasta ahora: comercio, servicios gubernamentales, ciencias sociales, ciencias de la salud, entretenimiento, normas de comunicación, interacciones sociales, estrategia de negocios, etc., todos dependerán de los desarrollos del Internet, surgiendo un nuevo frente de innovación en relación a la seguridad de datos y transacciones, en donde los responsables políticos y expertos de redes; deben viabilizar y garantizar la seguridad en todas las actividades en red; y desde luego permitir el anonimato y la privacidad necesarios.

## Capítulo 6. Recomendaciones.

### A las empresas operadoras:

- Participar activamente en las reuniones preparatorias a nivel regional (COMTELCA), a nivel continental (CITEL) y a nivel mundial (UIT) para la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2019, en tanto las decisiones que se tomarán en relación a la atribución de nuevas bandas de espectro radioeléctrico para servicios móviles soportados en redes de banda ancha son cruciales para los futuros planes de inversión y negocios.
- Tomar en consideración los siguientes criterios para adoptar decisiones sobre tecnología:
  - La disponibilidad actual de bandas de frecuencias y anchura de banda disponible.
  - Analizar la Importancia y viabilidad de las soluciones multimodo/multibanda.
  - Trayectoria de desarrollo tecnológico El GT 5D del UIT-R revisa actualmente las Recomendaciones UIT-R M.1457 y UIT R M.2012.
  - Aspectos relativos a la red de enlace de retroceso
- Concentrar sus inversiones de desarrollo de red mediante el despliegue de tecnología LTE y sus mejoras LTEAdvanced y LTEAdvancedPro, ya que al implementar tecnología 4G y migrar a 5G mediante LTE y sus nuevas versiones para resolver los desafíos clave de la digitalización para las industrias (como la fabricación y la automoción), los operadores pueden convertirse en algo más que desarrolladores de red, enfocándose en los flujos de ingresos adicionales al convertirse en habilitadores de servicios o incluso creadores de servicios.
- Implementar un modelo de negocios híbrido, vertical en el sentido del control y la gestión de infraestructura y horizontal, abarcando la mayor cantidad posible de aspectos de la cadena de valor del Internet
- Dotarse de títulos habilitantes principalmente en las siguientes bandas del espectro radioeléctrico, ya que tienen buena propagación y penetración en edificios:
  - 450-470 MHz.
  - 698-960 MHz.
  - 1710-2025 MHz
  - 2110-2200 MHz.
  - 2300-2400 MHz.
  - 2500-2690 MHz.
  - 3400-3600MHz.

## A las entidades reguladoras:

- Dotarse de una nueva Ley General de Telecomunicaciones, en tanto la actual ya ha sido totalmente superada por las realidades tecnológicas y de negocios del sector con especial énfasis en :
  - **Una mayor liberalización del mercado.**
  - **Enfoque ligero a las políticas y regulaciones de telecomunicaciones / TIC para fomentar la competencia,** permitiendo la entrada de nuevos actores en el ecosistema de las TIC, al tiempo que permite la promoción de modelos comerciales innovadores.
  - **Modelos de financiación flexibles,** que involucran tanto a la industria como a otras fuentes de financiación (por ejemplo, inversiones extranjeras directas).
  - **Un enfoque progresivo para abordar los problemas a medida que surgen** (que pueden incluir, por ejemplo, la reducción de tarifas de itinerancia, convergencia, interconexión y / o impuestos).
  
- Fomentar la instalación de infraestructura de banda ancha, incluyendo las zonas de baja rentabilidad económica pero de alta rentabilidad social.
- Fomentar la prestación de servicios soportados por la banda ancha.
- Fomentar la masificación de la disponibilidad y acceso a las redes de banda ancha.
- Fomentar la alfabetización digital de la ciudadanía en general mediante su incorporación en los planes de estudio en primaria y secundaria.
  
- Fomentar la mejora del clima de negocios mediante la remoción de obstáculos y barreras administrativas. (Gobierno Central y Gobiernos Municipales).
- Posibilitar la reducción de costos regulatorios por parte de TELCOR que permitan una mejor oferta a la demanda servible, principalmente vinculado a la gestión y administración del espectro radioeléctrico.
- Fomentar y viabilizar estímulos e incentivos relacionados con el CAPEX y OPEX de los operadores.
- Posibilitar la participación de ENATREL como operador neutral en el despliegue de infraestructura de transporte de Banda Ancha.
- Incrementar la potencialidad de adquisición de terminales por parte de la demanda servible mediante la reducción o eliminación del Impuesto Selectivo al Consumo (ISC).
- El Ente Regulador de las telecomunicaciones en el país debe presentar estrategias y planes de migración para liberar el espectro radioeléctrico utilizado actualmente por algunos servicios en las bandas de frecuencias que serán utilizadas para implementar LTE en la mayor brevedad posible, de esta forma podrán ser asignados mediante procesos competitivos a los operadores que estén interesados en cada una de ellas. (CMR-2015 y CMR-2019).

## 7. Bibliografía.

**Acuerdo General sobre el Comercio de Servicio.** Anexo 1B. Anexo sobre Telecomunicaciones y Anexo relativo a las Negociaciones sobre Telecomunicaciones Básicas. OMC. Enero de 1995.

**Akyildiz Ian, Nie Shuai and Lin Shih-Chun.** 5G Roadmap: 10 key enabling technologies. Georgia Institute of Technology. 2018.

**Alcatel-Lucent,** “LTE Mobile Transport Evolution”, 2011.

**Ariana Herbert,** Gerente de Servicios Móviles de Centroamérica de Movistar. 2018.

**Avance Digital.** Secretaría de Estado para el avance digital. Ministerio de Economía y Empresa. Gobierno de España. 2018.

**Ayestas Hjalmar. Informe de Gestión 2017. Presidencia CANITEL.** Cámara Nicaragüense de Telecomunicaciones. 2018.

**Bermúdez Claudio** (2015), antiguo vicegerente del ICE (Instituto Costarricense de Electricidad).

**Comes Ramón Agustín, Álvarez Francisco Bernardo.** LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. Editorial: Fundación Vodafone España, 2010.

**CANITEL.** Cámara Nicaragüense de Internet y Telecomunicaciones. Estadísticas 2017.

**CANITEL.** Cámara Nicaragüense de Internet y Telecomunicaciones. Reporte Ejecutivo, I Semestre. 2018.

**Calle Camilo.** 2014. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Quito. Ecuador.

**CEPAL.** “El Estado de la Banda Ancha en América Latina y el Caribe”. 2017.

**Chambi Percy.** Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE). Recuperado de: <http://lonely113.blogspot.com>. 2018.

**CISCO.** SGSN Administration Guide, StarOS Release 20. 2016

**CISCO.** Mobile Wireless Gateway GPRS Support Node, Release 15. 2016

**Cuadro Nacional de Frecuencias Radioeléctricas.** CNAF.TELCOR, 2004.

**Dahlman, E., S. Parkvall, J. Skold, and P. Beming.** 3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband, 2nd Edition, 318, Elsevier, Department in Oxford, UK.(2008).

**Decreto Ejecutivo No. 136-2004.** “Política Sectorial y Lineamientos de Apertura del Mercado de las Telecomunicaciones en Nicaragua”, el que fue aprobado el 28 de diciembre del año 2004 y publicado en La Gaceta Diario Oficial No. 2 del 4 de enero del año 2005.

**Del Valle Díaz Antonio.** Diseño, integración y optimización de estaciones base de segunda generación. Escuela de Ingeniería en Telecomunicación. Universidad de Sevilla. 2012.

**Díez Vega Rafael.** Las redes de banda ancha, infraestructuras básicas de la sociedad del conocimiento. Telefónica. 2017.

**Documento SG1RGQ/90.** “Desarrollo de un marco reglamentario en el contexto de las redes de la próxima generación (NGN) en Nepal”, Autoridad de las Telecomunicaciones de Nepal (NTA) (República Democrática Federal de Nepal).2015.

**Ecu Red.** GPRS. <https://www.ecured.cu/GPRS>.2018.

**ELAC2007:** Informe sobre infraestructura regional. 2007.

**Ericsson,** "Ericsson Mobility Report", June. 2016.

**Ericsson.** Documento de referencia. EDGE Introducción de altas velocidades de datos en redes GSM/GPRS, abril de 2002.

**Ericsson.** Technical Paper: “EDGE. Introduction of High – Speed data in GSM/GPRS networks”. 2013.

**Fabricio D’almeida y Diego Margot.** La Evolución de las Telecomunicaciones Móviles en América Latina y el Caribe. Universidad de Illinois, BID Invest. 2018.

**Gómez Cristian** (2018), Gerente de Regulación e Interconexión. Empresa Nicaragüense de Telecomunicaciones. ENITEL, CLARO.

**Guerra Oscar.** Migración de una red de telefonía móvil HSPA+ a una red de telefonía móvil LTE tipo A, de acuerdo con la norma ITU-R M1457. Universidad de San Carlos. 2017.

**GSMA,** 3GPP Low Power Wide Area Technologies, 2016.

**GSMA Intelligence.** Data and Analytics for the mobile industry, 2018.

- Halonen Timo, Romero Javier, Melero Juan.** GSM, GPRS and EDGE Performance: Evolution towards 3G/UMTS, Ed. John Wiley and Sons Ltd., 2003.
- Holman, Harri y Toskala, Antti.** LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA based Radio Access. John Wiley & Sons, Ltd, 2009.
- IEEE.** WiMAX vs LTE. Who will lead the broadband Mobile Internet? IEEE Mobile Computing, 2018.
- Janevski Toni.** Internet Technologies for Fixed and Mobile Networks, Artech House, USA, 2015.
- Janevski Toni.** Traffic Analysis and Design of Wireless IP Networks. Artech House, 2003.
- Janevski Toni,** “NGN Architectures, Protocols and Services”, John Wiley & Sons, 2014.
- Korowajczuk L.** LTE, WIMAX and WLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis, CelPlan Technologies, Inc., Reston, VA, USA, 2da ed., Ed. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 2011.
- Lo. J.C.** Secure Communication Mechanisms for GSM Networks, IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 45, N° 4. 1999.
- Molish Andreas F.** Wireless Communications. John Wiley & Sons Ltd, 2011.
- Narcís Cardona, Juan Olmos, Mario García y José Monserrat.** 3GPP LTE: Hacia la 4G móvil. Editorial Marcombo. 2011.
- New World Network.** Puntos de aterrizaje del Cable Arcos 1. 2007.
- Nakamura Takehiro,** “Proposal for Candidate Radio Interface Technologies for IMT-Advanced Based on LTE Release 10 and Beyond (LTE -Advanced),” ITU-R .
- Nakamura Takehiro,** “LTE Release 12 and beyond,” LTE Africa, 2013.
- Moreno Jiménez Celia.** Campaña de benchmarking. 2018.
- OCDE.** Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico. Foro Políticas de Banda Ancha. 2018.

**Plan Nacional de Desarrollo Humano.** (2012-2016). Gobierno de Nicaragua. 2012.

**Poole Ian.** TD-SDCMA Specification Overview, Radio Electronics. Recuperado de: <http://www.radio-electronics.com/info/cellular/telecomms/umts/3g-tdscdma-tutorial-basics.php> (2018).

**Qualcomm.** Documento 1/188. Qualcomm Technologies, Inc. USA. 2017.

**Qualcomm.** Leading the path towards 5G with LTE Advanced Pro, May 2016.

**Qualcomm.** The essential role of Gigabit LTE & LTE Advanced Pro in a 5G World” Qualcomm Technologies, Inc., February 2017.

**Rábanos, J., Tomás, L. & Salís, J.** Comunicaciones Móviles. Madrid. Editorial Universitaria Ramón Areces. 2015.

**Rábanos J.** Transmisión por radio 6ta edición. Madrid. Editorial Universitaria Ramón Areces. 2008.

**Restrepo José Fernando.** Estudio de las características técnicas de LTE y su nivel de concordancia con los requerimientos de IMT-avanzado establecidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones”. 2011.

**Riaz Aamir.** ITU, Radio Assembly & World Radio Conference 2015, Workshop on National Spectrum Management and Spectrum Management System for Developing Countries. 2016.

**Rohde & Schwarz.** Tecnología WiMAX. 2018.

**Rysavy Research.** 3GPP Broadband Evolution. Whitepaper Mobile Broadband Explosion. 2011. Recuperado: <https://www.slideshare.net/allabout4g/mobile-broadband-explosion-ppt-rysavysept2011>. 2011.

**Sánchez González Luis.** Redes de Telefonía Celular. 2018.

**TELECO.** Inteligencia en telecomunicaciones. 2018, recuperado el 23/10/2018 de: [http://www.teleco.com.br/es/tutoriais/es\\_tutorialedge/pagina\\_2.asp](http://www.teleco.com.br/es/tutoriais/es_tutorialedge/pagina_2.asp).

**UIT.** Comisión de Banda Ancha, “El estado de la Banda Ancha 2015”, 2015.

**UIT.** Comisión de Banda Ancha, “El estado de la Banda Ancha 2016”, 2016.

**UIT.** Comisión de Banda Ancha, “El estado de la Banda Ancha 2017”, 2017.

**UIT.** Documentos Finales. 13ª reunión en pleno de la Comisión de la Banda Ancha para el Desarrollo Sostenible (Emiratos Árabes Unidos). Dubái. 2016.

**UIT.** Informe Final. Conferencia Mundial de Desarrollo de las Telecomunicaciones (CMDT-2006, Doha).

**UIT-D,** "ICT facts and figures 2016", 2016.

**UIT-D.** Informe sobre la C25/2, del periodo de estudios 2010-2014 del UIT-D, 2015.

**UIT-D.** Development sector, "Impact of broadband on the economy", Broadband Series, 2012.

**UIT-D,** "ICT facts and figures 2017", 2017.

**UIT-R Recomendación M.1308:** Evolución de los sistemas móviles terrestres hacia las IMT-2000

**UIT-R Recomendación M.1311:** Marco para la modularidad y los elementos radioeléctricos comunes en las IMT-2000

**UIT-R Recomendación M1457.** Especificaciones detalladas de las interfaces radioeléctricas de las telecomunicaciones móviles internacionales 2000 (IMT-2000).

**UIT-R. Reporte M.2134,** "Requerimientos y características técnicas para la interfaz de radio de las IMT Avanzadas, 2008.

**UIT-R.** Reporte de la Reforma Regulatoria de las Telecomunicaciones. Reporte 2015.

**UIT-R.** WP 5D 3rd Workshop on IMT-Advanced, October 2009.

**UIT-T Y.1903,** "Functional requirements of mobile IPTV", 2014.

**UIT-T Recommendation Y.2221,** "Requirements for support of ubiquitous sensor network (USN) applications and services in the NGN environment", January 2010.

**UNAM.** Estándar IEEE 802.16 WiMAX. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería en Telecomunicaciones. 2017.

**Wei Chen.** Multi-carrier Wireless internet Local Loop (McWiLL). Beijing Xinwei Telecom Technology Inc. 2018.

**WiMAX Forum.** Technical Specification Library.2018.

**3GPPLTE,** <http://www.3gpp.org/lte>. 2008.

**3GPPReleases,**<http://www.3gpp.org/specifications/67-releases>.2018.

**3GPPRelease 15,**<http://www.3gpp.org/release-15>. 2018.

**3GPPTechnologies.**<http://www.3gpp.org/technologies/>. 2018.

**3 GPP.The Mobile Broadband Standard.**  
<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/102-gprs-edge>. 2018.

**3 GPP.The Mobile Broadband Standard.**  
[3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte](http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte).2018.

**3GPP TS 23.272.EPS:** Stage 2 (3GPP TS 23.272 version 8.11.0 Release 8). 2012

**3GPP TS 23.272. LTE:** Circuit Switched (CS) fallback in Evolved Packet System. 2015.

**3GPP TS 23.401, LTE:** General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network. 2017.

**3G Americas,** “GSM-UMTS network migration to LTE,” Whitepaper, February 2010.

**3G Americas.** UMTS Evolution from 3GPP Release 7 to Release 8 HSPA and SAE/LTE. 2008.

**4G Americas.** “Mobile Broadband Explosion”, August 2012.

**4G Americas** 5G Technology Evolution Recommendations. October 2015

**5G Americas.** Análisis de las recomendaciones de la UIT sobre el espectro en la región América Latina, abril de 2016. UIT. 2016.

**5G Américas.** HSPA y HSPA+.  
<http://www.5gamericas.org/es/resources/technology-education/hspa-and-hspa/>.2018.

**5G Americas.** Tecnologías celulares para habilitar el Internet de las Cosas. 2016.