



**Unidad Ejecutora: DIIT UNLaM**

**Título del proyecto de investigación: C189\_Redes LTE**

**Programa de acreditación: PROINCE**

**Director del proyecto: Roca José Luis**

**Co-Director del proyecto: Biga Daniel Rodolfo**

**Integrantes del equipo:  
Dufour Fernando Javier  
Serra Ariel Miguel  
Peliza Carlos  
Micieli Gustavo Ariel  
Agüero Guerrero Facundo**

**Fecha de inicio: 1/1/2016**

**Fecha de finalización: 31/12/2017**

**Informe final**

## Sumario:

### Contenido

Título del proyecto de investigación: C189_Redes LTE .....	1
1. Resumen y palabras clave .....	3
2. Memoria descriptiva .....	4
3. Organización del Informe .....	5
3.1. Estudio pormenorizado del tema y análisis de la situación de los mercados .....	5
3.2. Contacto con personal relevante del mercado para realizar entrevistas que permitan informarnos sobre el estado de la tecnología en el mercado argentino .....	7
3.3. Relevamiento de información de la Web respecto de la situación de las tecnologías en cuestión .....	9
3.4. Estudio de la arquitectura de las redes 4G.....	9
3.5. Equipamientos que satisfacen las funcionalidades lógicas.....	18
3.6. Protocolos que interaccionan dentro de la arquitectura .....	21
3.7. Estudio de un caso de implementación real o despliegue avanzado .....	29
3.8. Pruebas del funcionamiento de los protocolos .....	36
3.9. Informe de los potenciales servicios en la integración con IMS .....	39
3.10. Estudio y descripción de la evolución de los servicios en los próximos 3 años en Argentina .....	41
3.11. Estudio de las mejores prácticas para la implementación de servicios 4G....	49
3.12. Bibliografía .....	60
3.13. Glosario / Definiciones.....	61
3.14. Documentación complementaria.....	63
a. Modulación OFDM.....	63
b. Encuestas.....	89
4. Cuerpo de Anexo .....	114

# 1. Resumen y palabras clave

En el presente trabajo, se resumen las principales características de la tecnología 4G, se describirán las conclusiones de entrevistas y encuestas que se realizaron con profesionales del sector de las Comunicaciones en el país, esto permite integrar las opiniones de los especialistas que por pertenecer a distintos ámbitos no interactúan entre sí, por lo que es este uno de los aspectos originales más importantes de la presente investigación, permitiendo la transferencia al mercado de esta visión global. Se detallarán la arquitectura y las interfaces que componen las redes 4G según las normas del 3GPP, se mencionarán los proveedores líderes en el mercado y los equipamientos más utilizados por los Carriers a nivel mundial y en el ámbito local, además se describirán los protocolos y mecanismos que interactúan en el acceso entre los terminales y las radio base.

Dentro de los aspectos de 4G se ha elegido Carrier Aggregation por ser la próxima aplicación que se incorporará y por lo tanto el que más incertidumbre presenta.

Cabe aclarar que la descripción, pruebas y conclusiones de Carrier Aggregation serán realizadas en el segundo año de la investigación de referencia, siendo las pruebas por realizar otro aspecto original y que aportará información que se transferirá a los especialistas. En el presente informe de avance hacemos una pequeña mención ya que es un tema de vital importancia para los servicios que se prestarán en los próximos 3 años. Los operadores cuentan con bandas de frecuencias asignadas para la operación, teniendo cada una de ellas características concretas: unas penetran mejor en interiores, otras permiten un mayor throughput, otras son más estables, etc. En función de la situación, el Smartphone se conecta a una u otra banda para intentar la mejor conexión posible.

Si se pudiera complementar el tráfico obtenido desde diversas bandas de frecuencias, se obtendría lo mejor de cada banda y con ello se lograría una conexión más veloz y más estable.

De la misma forma, también se podría lograr un mayor ancho de banda total (hasta 375 Mbps), pues se obtendrían datos de varias portadoras diferentes.

## **Palabras clave:**

Telecomunicaciones, LTE, Redes, Movilidad, 4G, Carrier Aggregation, VoLTE, IoT.

## 2. Memoria descriptiva

En el análisis de la arquitectura de las redes 4G se ha concluido con un estudio pormenorizado de la situación del mercado nacional e internacional y realizado un fluido contacto con personal relevante del mercado nacional para las entrevistas que permitieron conocer el estado de la tecnología en Argentina. Además, se analizó equipamiento que satisface las funcionalidades lógicas dentro de la red junto a los protocolos que interaccionan dentro de la arquitectura.

El grupo ha analizado un caso de implementación real (Carrier Aggregation).

Es importante resaltar la incorporación de un nuevo integrante en el equipo de investigadores a partir del segundo año del proyecto, participando como becario e iniciándose en el proceso de investigador en la UNLaM, lo cual permite que se puedan formar recursos humanos en investigación y tecnología.

Las actividades de difusión de resultados preliminares en jornadas, congresos y en publicaciones en revistas especializadas, junto con tareas de vinculación y transferencia en el marco del proyecto se corresponden con:

- Presentación de un paper en el V Congreso Argentino de la Interacción Persona-Computador, Telecomunicaciones, Informática e Información Científica.
- Presentación de dos paper en el VI Congreso Argentino de la Interacción Persona-Computador, Telecomunicaciones, Informática e Información Científica.
- Exposición en Conferencia sobre la Evolución de la Telefonía Móvil.
- Charla en la semana de la Tecnología en UADER.

El contenido de la investigación se ha incluido como actualización de las materias Redes de Computadoras de la carrera de Ingeniería Electrónica de la UNLaM y en Protocolos de Redes WAN en la UTN-FRBA, lo cual convierte a la investigación en un documento de estudio para varias cátedras del último año de Ingeniería Electrónica, proyectando los conocimientos sobre cientos de futuros profesionales. Por otra parte, muchos profesionales que se desempeñan en los carriers de Telecomunicaciones están tomando las sugerencias del informe de mejores prácticas para su trabajo.

### 3. Organización del Informe

#### 3.1. Estudio pormenorizado del tema y análisis de la situación de los mercados

La UIT indicó que IMT-Advanced es considerada '4G', aunque este término puede aplicarse también a las tecnologías antecesoras como LTE y WiMAX. Decimos que 4G es la red móvil basada en el protocolo IP.

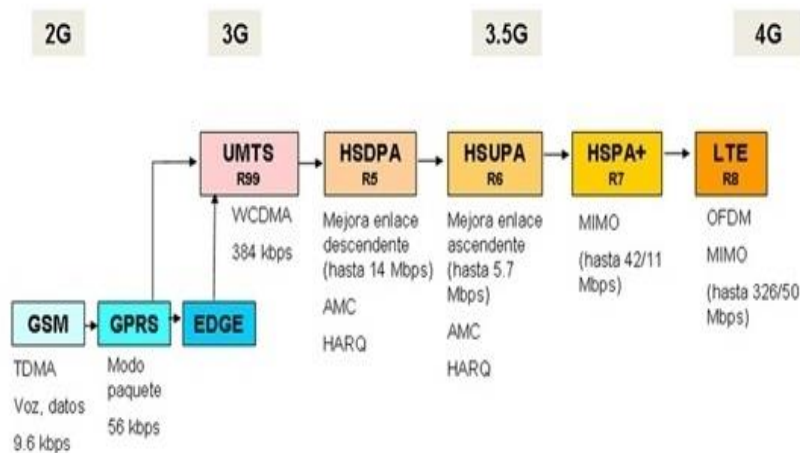


Figura 1: Evolución de las redes móviles

Cuando fué diseñada la arquitectura 3G o UMTS se pensó en una interfaz de aire con un ancho de banda de portadora de 5Mhz. Se usó Wide CDMA (WCDMA) para ello, y esto funciona bien. Sin embargo, no fue un diseño escalable, entonces cuando se necesitó incrementar la velocidad de transmisión, se debió reducir el tiempo de transmisión. Esta reducción del tiempo de transmisión, hizo que el desvanecimiento por múltiples trayectos (Multipath Fading) fuera muy importante o tomara mucha relevancia.

El cambio elegido fue usar 5 MHz de ancho de banda con OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales) dividido en portadoras de 180 KHz cada una. En punto denominado "Documentación Complementaria" se desarrolla el estudio detallado de OFDM.

Adicionalmente, se decidió hacer varias transmisiones simultáneas para un equipo móvil, frente a lo que ocurría en UMTS que era una única transmisión, pero ocupando el mismo ancho de banda.

Un avance posterior, llamado LTE Advanced, permitió dejar la obligación de los 5Mhz de UMTS y con ello, LTE se vio posibilitada de definir gran cantidad de anchos de banda

usables para 4G que, en la práctica, dependerán del espectro de frecuencias que disponga el operador de la red móvil.

### Release 9

Este Release del 3GPP introduce el concepto de Femto Celdas (Home e-Node B) y la evolución de funcionalidades importantes como Self Organising Networks (SON), Evolved Multimedia Broadcast and Multicast Service (eMBMS), Positioning Support (LCS), MIMO Beamforming y Public Warning System (PWS) e incorpora nuevas bandas del espectro (por ej.: 800MHz y 1500MHz) para el funcionamiento de LTE.

### Release 10

El Release 10, también conocido como LTE-Advanced, incluye mejoras y funcionalidades que cumplen con especificaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) sobre redes 4G. Con LTE-Advanced se suman una serie de mejoras que incrementan la capacidad y velocidades de transmisión de las redes LTE: Enhanced Uplink multiple Access, MIMO enhancements, Relay Nodes, enhanced inter-cell interference coordination (eICIC), Carrier Aggregation (CA) y otras.

### Release 11

El Release 11, dentro de lo que es LTE-Advanced incluye mejoras en Carrier Aggregation (CA).

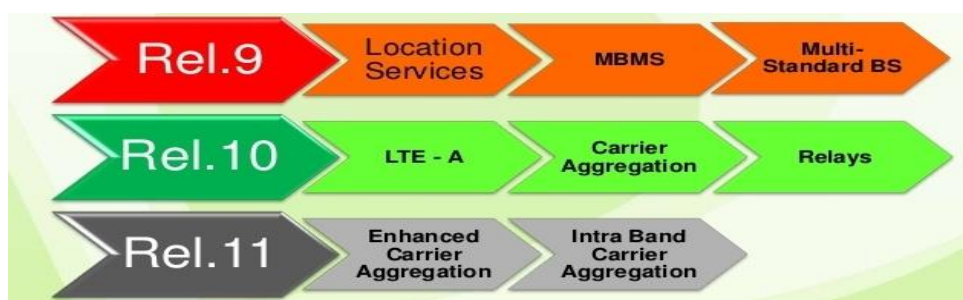


Figura 2: Principales capacidades de LTE asociados con los releases 9 - 10 y 11 de 3GPP

Es posible, a partir de la versión 9 y hasta la 11, hablar de LTE-A y en el Release 12 del comienzo de LTE-B (o segundo paso de LTE).

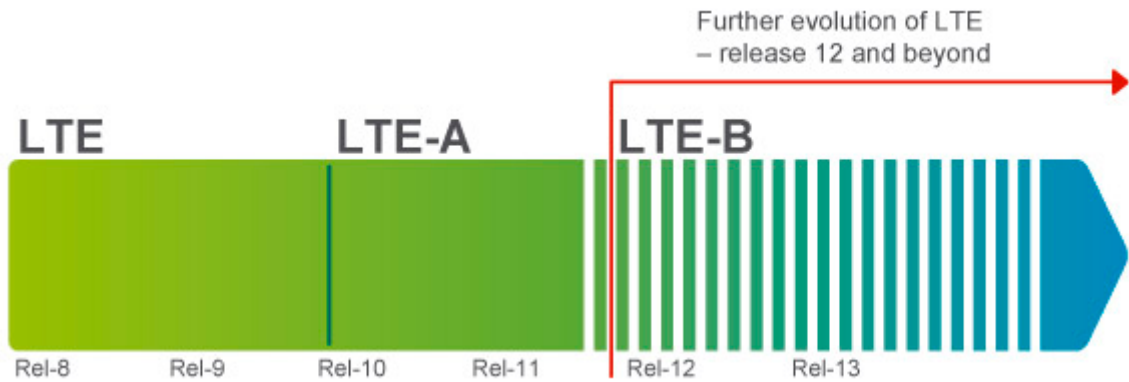


Figura 3: LTE - LTE A – LTE B

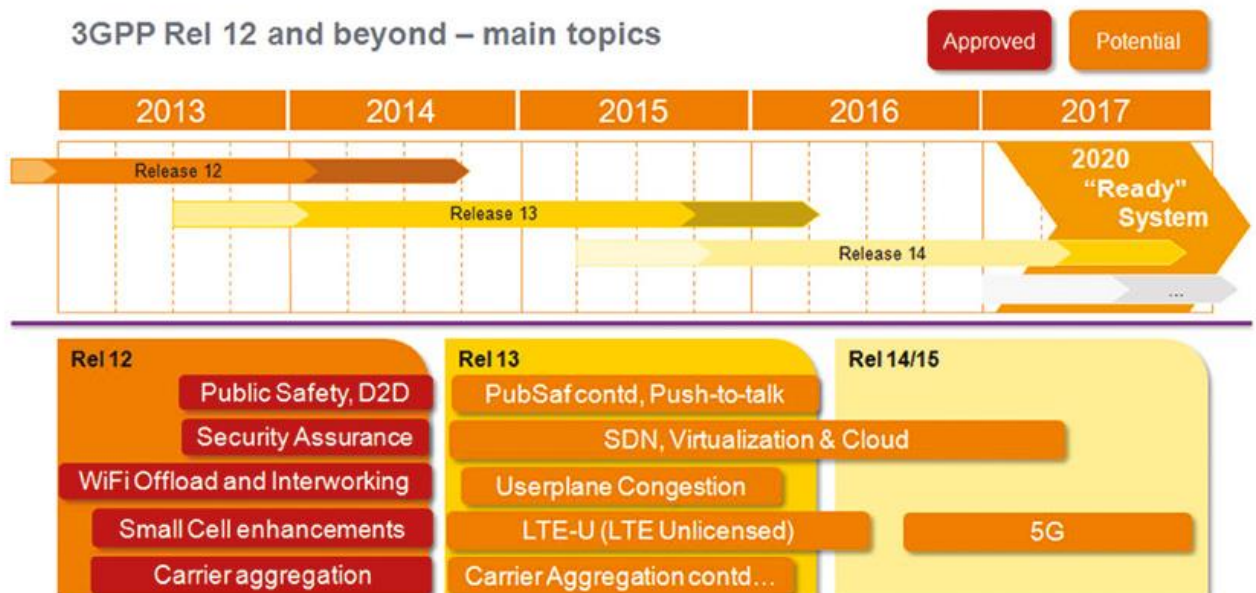


Figura 4: Principales capacidades de LTE asociadas con los releases 12 - 13 y 14 de 3GPP

### 3.2. Contacto con personal relevante del mercado para realizar entrevistas que permitan informarnos sobre el estado de la tecnología en el mercado argentino

El presente informe pretende dar a conocer los resultados obtenidos tras la realización de la investigación cuantitativa. Esta investigación tenía como principal objetivo conocer el grado de maduración de la tecnología LTE (4G) existente y la posibilidad de establecer las medidas necesarias para fomentar y promover dicha tecnología, así como las medidas a establecer la reorientación laboral de los profesionales del mercado de las telecomunicaciones a nivel nacional e internacional.

Teniendo en cuenta el principal objetivo de la presente investigación, se estimó necesario el desarrollo de una investigación cuantitativa, para lo cual se planteó el diseño y elaboración de un cuestionario que se realizó con la colaboración de especialistas profesionales relacionados a las tecnologías de redes móviles.

La metodología utilizada para el diseño y los resultados obtenidos de la misma se detallan en el punto “Encuestas” dentro de “Documentacion Complementaria”.

Remarcamos nuevamente la importancia de este punto, dado que por motivos asociados a distintos aspectos como ser la falta de contacto entre los distintos profesionales, el hecho de que trabajan en empresas que compiten entre sí, etc. No existe la visión global de la problemática, que sí se logra a través de este trabajo.

Cabe destacar que los profesionales de la especialidad son muy abiertos y receptivos cuando el interlocutor pertenece a una Universidad, a diferencia de lo que ocurre cuando dialoga con alguien de la competencia.



### 3.3. Relevamiento de información de la Web respecto de la situación de las tecnologías en cuestión

El contenido de este apartado fue distribuido en otros puntos del presente informe para que la lectura del mismo sea más fluida.

### 3.4. Estudio de la arquitectura de las redes 4G

A continuación, se describen los bloques genéricos de la arquitectura 4G:

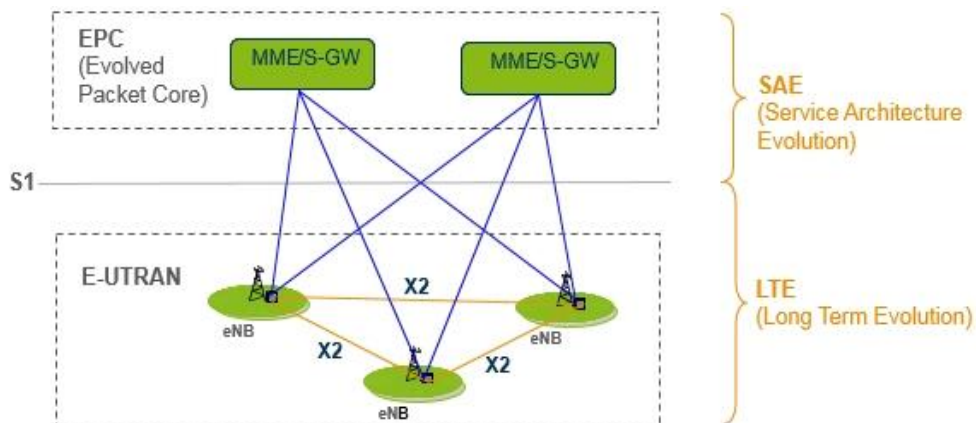


Figura 5: Arquitectura de Long Term Evolution (LTE)

La arquitectura del estándar LTE se divide en dos partes (tal como se muestra en la Figura anterior), por un lado, el System Architecture Evolution (SAE) que hace referencia al Evolved Packet Core (EPC), y Long Term Evolution (LTE) que se refiere a la Evolved UMTS Radio Access Network (E-UTRAN).

Una de las simplificaciones de la arquitectura de LTE contra la de UMTS y GSM es la supresión del Radio Network Controller (RNC) y del Base Station Controller (BSC) respectivamente. En UMTS, la RNC se ocupaba de controlar Nodos B conectados a ella, gestionando recursos de radio y movilidad, y tareas de encriptación, mientras que en 2G, la BSC era el responsable de manejar el tráfico y la señalización entre un teléfono móvil y el subsistema de conmutación de red.

La radiobase de 2G, se llamó nodo B en 3G y ahora e-Node B (eNB) o Nodo B Mejorado. También se menciona la e-UTRAN, en referencia a la red de acceso mejorada para acceder a la evolucionada red de Core de paquetes o e-PC.

La mejora en los eNB, consiste en que ahora no son unos “módems de radio inteligentes” como en 3G, sino que en ellos se han integrado funciones que antes cumplía el RNC o la propia red de Core. A saber:

- Manejar y administrar la interfaz de aire (al igual que antes).
- Administrar la potencia de señal entre equipo usuario y estación para asegurar la QoS.
- Balancear la carga entre eNB para no sobrecargar a un eNB con todos los radios Bearer (radio enlaces).
- Manejar interferencias para reducirlas, cuando hay descargas de datos en el borde de celda. Este es el lugar donde dos celdas “se pelean” por atender al usuario.

El eNB integra todas las funciones de la red de acceso. Por ello, en él terminan todos los protocolos específicos de la interfaz de radio. Mediante dichos protocolos, el eNB realiza la transmisión de los paquetes IP hacia/desde los equipos de usuario junto con los mensajes de señalización necesarios para controlar la operación de la interfaz de radio. El servicio de transferencia de paquetes IP entre un eNB y un equipo de usuario se denomina formalmente como Radio Bearer (RB) o servicio portador de radio. El eNB mantiene información de cada uno de los equipos de usuario que tiene conectados. En dicho contexto se almacena la información necesaria para mantener los servicios de E-UTRAN activos (información sobre el estado del equipo de usuario, servicios portadores activos, información de seguridad, capacidades del terminal, etc.).

Sin duda, la funcionalidad clave de un eNB consiste en la gestión de los recursos radio. Así, alberga funciones de control de admisión de los servicios portadores de radio, control de movilidad (por ej.: decisión de realizar un handover), asignación dinámica de los recursos radio tanto en el enlace ascendente como descendente (denominadas funciones de scheduling), control de interferencias entre estaciones base, control de la realización y del envío de mediciones desde los equipos de usuario que puedan ser útiles en la gestión de recursos, etc.

Otra función importante introducida en la funcionalidad de un eNB es la selección dinámica de la entidad MME de la red troncal EPC cuando un terminal se registra en la red LTE. Esta función otorga un grado de flexibilidad muy importante en la operativa de la red. En E-UTRAN, a diferencia de arquitecturas más jerarquizadas como GERAN o las primeras versiones de UTRAN, un eNB puede estar conectado simultáneamente a múltiples MMEs de la red troncal. El conjunto de MMEs a los que tiene acceso un eNB se denomina su área pool. Así, mediante la selección de la entidad MME que va a controlar el acceso de cada usuario, es posible balancear la carga de señalización entre diferentes MMEs, así como aumentar la robustez del sistema frente a puntos de falla críticos. Esta opción se soporta mediante lo que se denomina la interfaz S1 flexible (S1-flex).

Al igual que la posibilidad de interactuar con múltiples MMEs, un eNB puede enviar/recibir paquetes IP de los usuarios a los que sirve a través de diferentes Serving Gateway (S-GW) de la red troncal EPC. Ello conlleva a que el eNB albergue funciones de enrutamiento del tráfico de los usuarios hacia el S-GW correspondiente.

Un eNB puede gestionar una o varias celdas. Un caso típico es que gestione 3 sectores de 120° cada uno o 6 sectores de 60° dependiendo del diseño de la red de acceso.

La interfaz de radio soporta básicamente tres tipos de mecanismos de transferencia de la información en el canal de radio:

- Difusión (broadcast) de señalización de control en la zona de cobertura de la celda.

La información enviada permite a los equipos de usuario detectar la presencia del eNB y conocer sus parámetros básicos de operación (potencia máxima que pueden utilizar los equipos de usuario en la celda) así como la identidad de los operadores de red a los que puede accederse a través del eNB. La información difundida corresponde tanto a información específica de la red de acceso (denominada información del Access Stratum, AS) como de la red troncal (denominada información del Non Access Stratum, NAS). La difusión de señalización de control también sirve para forzar que un equipo de usuario que no tenga una conexión de control establecida con el eNB, inicie un acceso a la red (función de aviso o paging).

- Transferencia de paquetes IP de los usuarios a través del canal de radio.

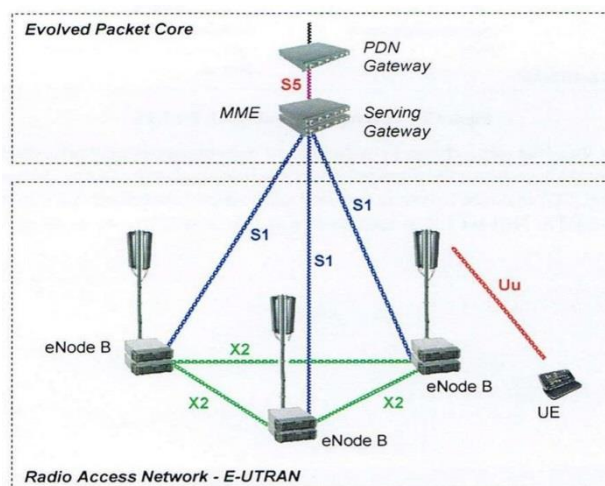
Tal como se ha comentado anteriormente, los servicios de transferencia entre un eNB y un equipo de usuario se denominan servicios portadores de radio (Radio Bearer, RB). Es importante destacar que los servicios portadores de radio de E-UTRAN han sido diseñados específicamente para soportar tráfico IP y no permiten la transferencia de otros protocolos (paquetes X.25, tramas Ethernet, etc.). Por ello, de cara a la optimización del envío de tráfico IP a través de la interfaz de radio, los servicios portadores albergan funciones como la compresión de cabeceras de los paquetes IP que permiten reducir el número de bytes enviados por la interfaz de radio (las cabeceras de los paquetes IP pertenecientes a un mismo tipo de tráfico contienen un gran número de parámetros idénticos, por ejemplo, direcciones origen y destino, por lo que no resulta necesario enviar todos los bytes de la cabecera IP en cada uno de los paquetes).

- Transferencia de señalización de control dedicada entre el eNB y un equipo de usuario.

El establecimiento de una conexión de control dedicada resulta imprescindible de cara a poder gestionar el uso de los servicios portadores de radio, así como para realizar cualquier gestión de señalización con la red troncal (registro del terminal en la red).

La conexión de control se soporta mediante el protocolo Radio Resource Control (RRC). A través de dicho protocolo se gestionan, además del establecimiento, modificación y liberación de los servicios portadores de radio entre el eNB y el equipo de usuario, otros mecanismos claves para la gestión eficiente de los recursos de radio. Entre dichos mecanismos cabe citar el control y envío de medidas de radio desde los terminales hacia el eNB y el mecanismo de handover, que permite que un equipo de usuario cambie de celda manteniendo activos tanto la conexión de control como los posibles servicios portadores de radio que esté utilizando. Los terminales que mantienen una conexión de control con E-UTRAN se dice que se encuentran en modo conectado o activo, en contraposición al denominado modo idle en que el terminal no tiene una conexión RRC y básicamente se encuentra monitorizando la información de control difundida por la red.

En la figura siguiente, extraída de la referencia bibliográfica<sup>1</sup>, se representan las interfaces más importantes de la red de acceso de radio desde un punto de vista lógico.



**Figura 6: Principales interfaces de LTE (Representación Lógica)**

La interfaz de aire (Uu) es la conexión entre el terminal de usuario o User Equipment (UE) y el eNB. Estos últimos hacen uso de Uu cada vez que reciben o transmiten a través de la interfaz de aire en LTE.

La interfaz X2 conecta un eNB con otro eNB. Esto permite la transición de señalización y datos entre vecinos. (Este trabajo antes era realizado a través del RNC).

<sup>1</sup> 3GPP TS 36.213 version 10.13.0 Release 10) LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures

En el plano de control de la interfaz X2 (X2-CP) permite la señalización entre e-Node B.

En el plano de usuario de la interfaz X2 (X2-UP) permite la transferencia de datos de la aplicación entre eNB.

La interfaz S1 conecta un eNB con el Evolved Packet Core (EPC). Permite a ambos, señalización y datos, ser transmitidos entre el EPC y el Evolved UMTS Radio Access Network (E-UTRAN).

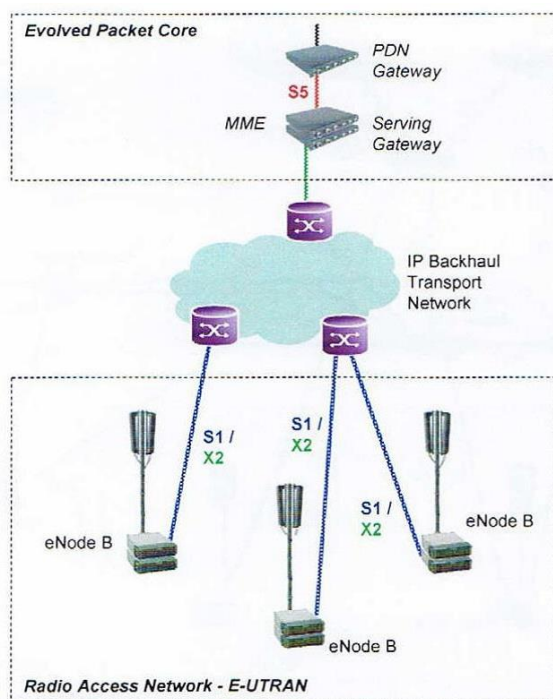
El plano de control de la interfaz S1 (S1-CP) permite la señalización con la MME.

El plano de usuario de la interfaz S1 (S1-UP) permite la transferencia de datos a través del Serving Gateway.

Ambas interfaces, X2 y S1, están basadas en IP.

Hasta ahora, hablamos de una representación lógica de las interfaces dentro de E-UTRAN.

En la práctica, el X2 y S1 es muy probable que utilicen una única conexión física en el eNB, es decir, un solo cable Ethernet o patchcord de fibra óptica se puede utilizar tanto para la interfaz X2 como para la interfaz S1.



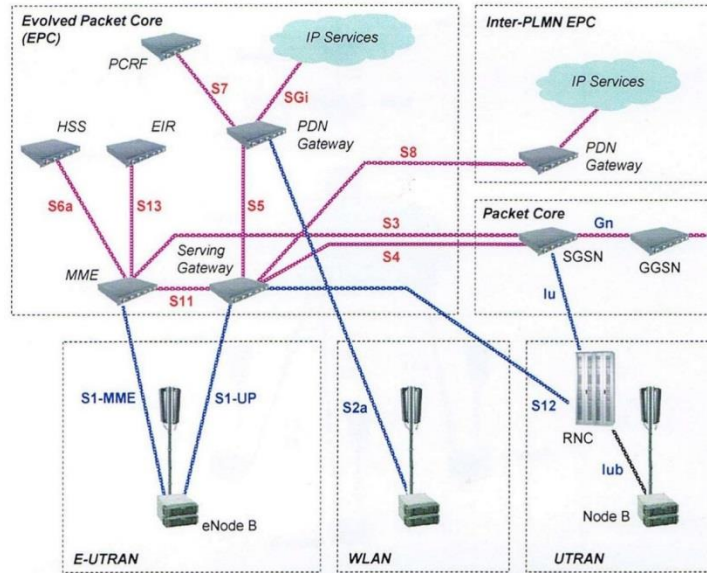
**Figura 7: Principales interfaces de LTE (Representación física)**

En la figura anterior se observa una representación gráfica de la interfaz física simplificada. En la misma, se ven las interfaces X2 y S1 sobre la misma conexión entre cada eNB y la red de transporte o backhaul IP.

En el caso de la interfaz X2, los routers IP dentro de la red de transporte reciben la información del eNB y la envían directamente a otro eNB. Pero en el caso de la interfaz S1, los routers IP proporcionan conectividad entre el eNB y el EPC.

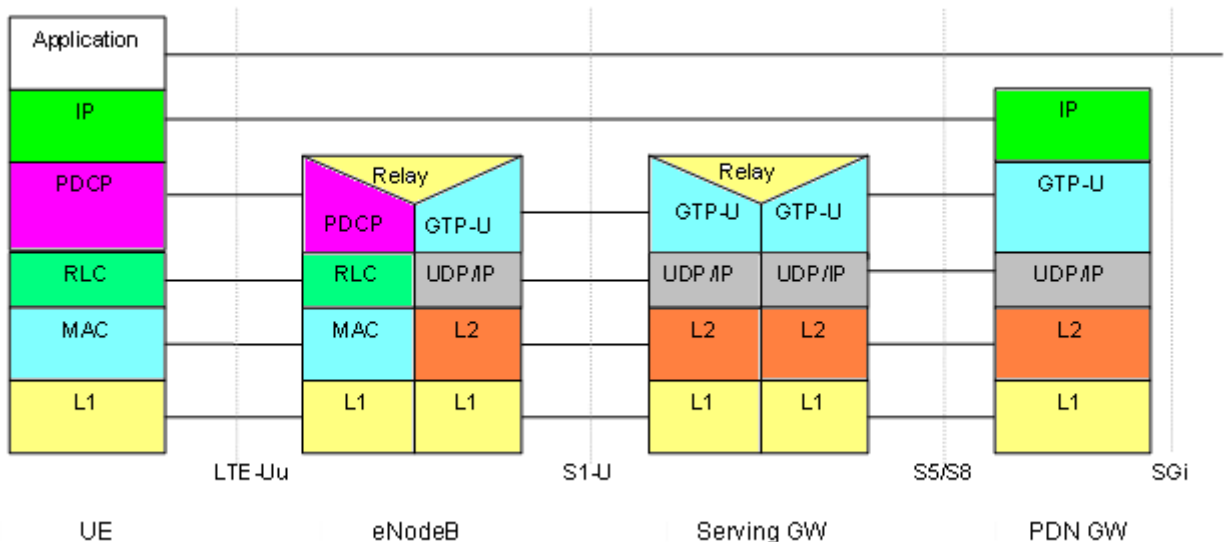
La Calidad de Servicio IP (QoS) se puede utilizar para diferenciar y priorizar los paquetes transferidos a través de la red de transporte backhaul IP.

Para la sincronización del eNB, se pueden utilizar los protocolos Network Time Protocol (NTP) o Precision Time Protocol (PTP). Alternativamente, se puede utilizar un receptor de GPS como fuente de sincronismo.



**Figura 8: Interfaces adicionales de LTE y EPC**

A continuación, se muestran la pila de protocolos que interactúan. Los mismos serán detallados más adelante en este documento:



**Figura 9: Protocolos que interactúan**

El 3GPP especifica un bloque de 6 anchos de bandas posibles, que van de 1,4 MHz a 20 MHz:

	Channel Band (MHz)					
	1.4	3	5	10	15	20
Número de bloques de recursos (rB)	6	15	25	50	75	100
Numero de subportadoras	72	180	300	600	900	1200
Ancho de banda Uplink de subportadoras (MHz)	1,08	2,70	4,50	9,00	13,50	18,00
Ancho de banda Downlink de subportadoras (MHz)	1,095	2,715	4,515	9,015	13,515	18,015

**Figura 10: Anchos de banda**

Un bloque de recursos (rB) representa la unidad básica de recursos para LTE. El eNB planifica la asignación de los bloques de recursos a los UE para permitir la transferencia de datos.

Las subportadoras utilizan la tecnología de Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonales de (OFDMA) en el enlace Downlink y Acceso múltiple por división de frecuencia de portadora única (SC-FDMA) en el enlace Uplink.

Un servicio fundamental de la red 4G, es el servicio de voz que tradicionalmente se realizaba sobre una red basada en circuitos, la evolución para las llamadas de voz en una red de paquetes 4G es denominado VoLTE (Voice Over LTE), pero el camino conlleva un costo elevado y varias funcionalidades que se deben habilitar en la red.

La primera alternativa de aplicación que surgió para permitir llamadas de voz en una red LTE sin VoLTE fue VoLGA (Voice over Lte Generic Access), cuyo objetivo era tratar de usar los recursos que ya están disponibles, con cambios mínimos necesarios.

Para utilizar la infraestructura de redes legadas 2G/3G, VoLGA introduce una nueva entidad de red, el VNC (VoLGA Network Controller), que básicamente funciona como un BSC 2G, que comunica con una MSC GSM (Centro de Conmutación Móvil) y como una RNC 3G, en la comunicación con una MSC UMTS (Mobile Switching Center).

Aunque es posible llevar a cabo la prestación de los servicios de voz y SMS a los usuarios de LTE, VoLGA no tuvo éxito. Esto es porque se necesita una inversión exclusiva para este fin y por lo tanto esta alternativa, finalmente, cayó en desuso.

### **Circuit Switched FallBack - CSFB**

Una de las facilidades más importantes que tiene una red VoLTE, sobre todo al momento del despliegue, es CSFB (Circuit Switched FallBack). El CSFB brinda la capacidad de poder realizar un handover de una red de acceso LTE a una red 2G o 3G, para permitir que



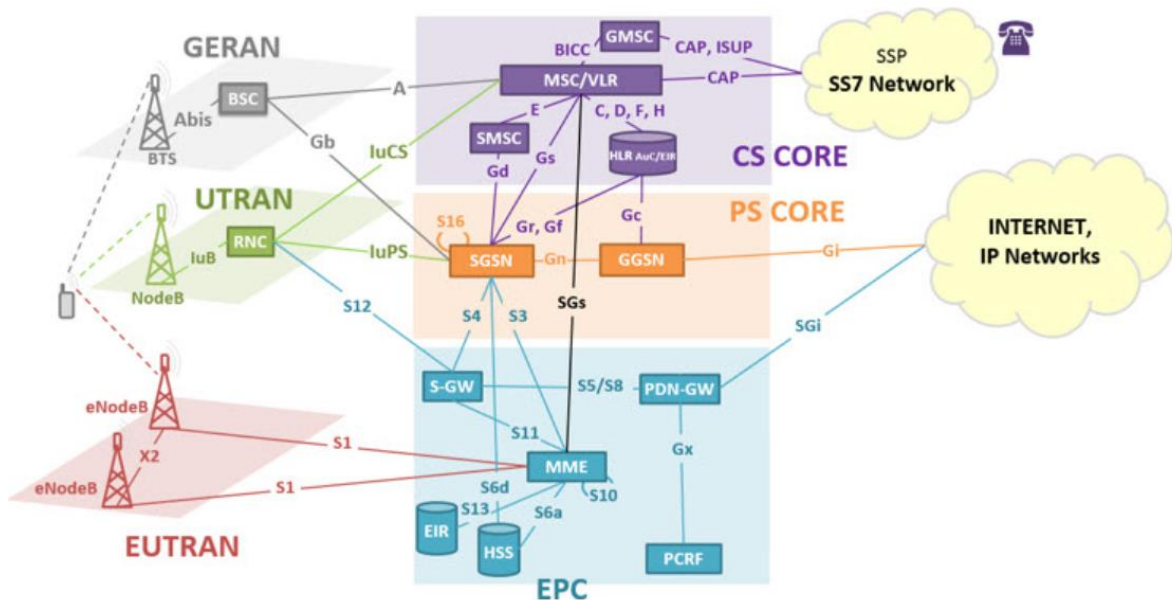
la llamada de voz se realice por la red legada (Circuit Switch) si aún no está la funcionalidad VoLTE desplegada comercialmente o por falta de cobertura LTE.

En las redes tradicionales de 2G y 3G, los servicios de voz utilizan el dominio CS (Circuit Switch), pero también se pueden hacer a través de soluciones OTT (Over The Top), que son aplicaciones que encapsulan la voz y hacen el transporte a través de un dominio de Internet (PS), pero que carecen de los requisitos de calidad de servicio necesarios para garantizar una buena comunicación - con los servicios de tipo No GBR (sin garantía de tasa de bits), como es el ejemplo de Skype. En estos casos de aplicaciones OTT la voz al ser paquetes de datos se encaminará por la red LTE y no hará uso de la funcionalidad CSFB.

Básicamente, CSFB es pasar de la red IP a la red de Circuitos para permitir realizar la llamada, luego de la misma si se tiene cobertura LTE el terminal volverá a tomar ésta red de acceso para aprovechar los beneficios para los servicios de datos.

Para que CSFB sea viable, los terminales de usuarios deben utilizar dispositivos de modo dual, es decir, capaz de operar tanto en la red LTE y en la red legada (2G/3G). Para soportar CSFB en la red del operador, se introduce una nueva interfaz (SGs), que conecta la MME al MSC legada en el plano de control para poder realizar la llamada.

Como podemos ver en la siguiente figura, el LTE (EPC) no tiene "vínculo" directo a la red CS (si no fuera por la interfaz SGs), puesto que está diseñado para cuidar puramente la red IP (PS) llamadas. No tiene ningún Media Gateway conectado directamente, por lo que ninguna llamada CS es apoyada por el MME.



**Figura 11: Red Móvil simplificada con interfaz SGs para CSFB**

Este mecanismo es el más utilizado por las compañías a nivel mundial, y los pasos básicos serán mencionados a continuación:



- CSFB - Registro y Localización

Cuando se enciende un UE con la facilidad CSFB habilitada se registra en las dos redes: la red LTE y legada (CS). Para permitir la transferencia rápida de la red legada (sea 2G o 3G) cuando sea necesario, la red LTE necesita saber la localización del UE, para ello, el MME que rastrea la localización del UE en la red LTE, proporciona continuamente información de localización a la MSC legada, usando la nueva interfaz de SGs que se observa en el gráfico anterior. El conjunto de mensajes SGs soporta la gestión de la movilidad, los pages y SMS.

- CSFB - Llamada Originada

Cuando el UE decide originar una llamada de voz, envía un SRM (Service Request Message) al MME (más específicamente la ESR - Solicitud de Servicio Extendido), este es un mensaje en el plano de control. El MME comprueba si el UE tiene la capacidad de CSFB, y notifica al e-Node B para transferir el UE a la red legada.

Antes de realizar la transferencia del UE, el e-Node B le puede solicitar al UE (dependiendo el criterio que defina el operador) las mediciones de radio frecuencia (RF) en las antenas de la red 2G/3G. El e-Node B entonces decide la mejor red para el UE y realiza la transferencia.

Luego de este proceso, el UE realiza el procedimiento de llamada tradicional de la red elegida.

### **SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity)**

La facilidad SRVCC proporciona la capacidad de hacer el handover de una llamada de voz en curso, desde la red LTE (dominio de Paquetes) a WCDMA o GSM (dominio legado de Circuitos).

Esto permite a las operadoras de telefonía móvil, desplegar el servicio de VoLTE en la medida que avanza con el despliegue de la red LTE, ya que las llamadas de voz no se verán interrumpidas al pasar de un lugar con cobertura LTE a otro sin cobertura LTE, pero con servicio de GSM o WCDMA.

“Single Radio” se refiere a que el UE transmite y recibe señales por una sola red de acceso a la vez (LTE, WCDMA o GSM), de manera de minimizar el consumo de potencia y las emisiones de radio.

SRVCC funciona de la siguiente manera. Durante una llamada, el UE escanea y mide la potencia y calidad de la señal de radio de LTE, envía esta información al eNB y si la calidad de la señal de radio LTE es menor a un cierto límite, el eNB solicita al MME que coordine con la MSC server el handover de la llamada en curso a la red de WCDMA o GSM, dependiendo de la calidad de señal de las mismas.

La MSC establece el camino de señalización para el UE en la red legada y notifica al CORE IMS que una llamada de voz se está moviendo del dominio de paquetes al de circuitos. Cuando el móvil obtiene el canal en la red legada, se cambia la llamada de voz de una red a otra y la llamada continúa.

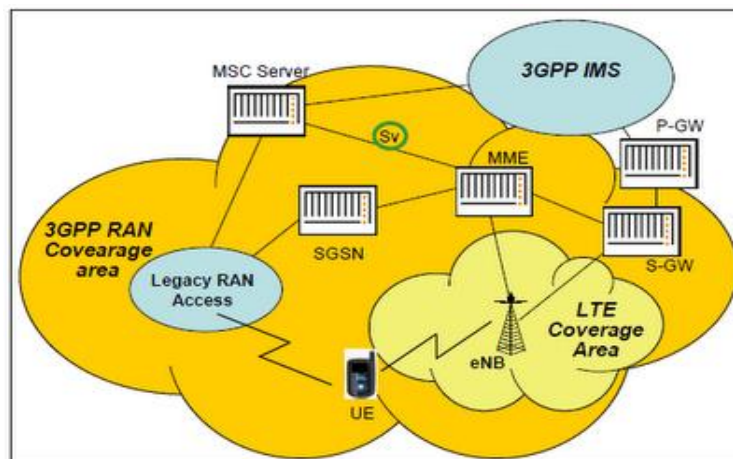


Figura 12: Esquema de SRVCC

Luego de terminada la llamada de voz, el UE debe volver a la red LTE tan pronto como sea posible. Para esto, se debe implementar alguna de las funciones siguientes en la red de acceso legada:

- Enviar por Broadcast al UE la información de la red LTE para que pueda seleccionar una celda LTE.
- Liberar la conexión del UE con la red legada y obligarlo a conectarse a LTE.

### 3.5. Equipamientos que satisfacen las funcionalidades lógicas

Se realiza la presentación de equipos de las dos empresas con mayor participación en el mercado de redes móviles, Huawei y Ericsson. Se agruparán los mismos según su función en la red LTE, es decir: Core, Transporte y Acceso. En esta última categoría se presentan Radio Bases de cobertura Macro y de cobertura Micro.



## Equipos de Transporte:

### Ericsson Router 6672

- 8 puertos GE/10GE SFP+
- 8 puertos GE SFP
- 4 puertos 100/1000 Base-T RJ45
- 1 puerto 100/1000 Base-T eth
- MPLS
- Ethernet
- VPN de capas 2 y 3
- Protocolos de Multicast

### Huawei Switch CE8860



- 4 ranuras; se pueden combinar diferentes tarjetas de manera flexible para lograr un máximo de:

- 32 x 100 GE QSFP28
- 64 x 40 GE QSFP+
- 128 x 25 GE SFP28
- 128 x 10 GE SFP+
- 3200 Mpps

## Equipos de Acceso (RBS Macro):

### Ericsson RBS 6601

- Soporta hasta 12 unidades de radio remotas (RRU por sus siglas en inglés).



- Posibilidad de mezclar RRU de distintas tecnologías (GSM, WCDMA y LTE).
- RRU GSM: Hasta 8 transceivers
- WCDMA: Hasta 4 portadoras
- LTE: Hasta 20 MHz con MIMO
- Potencia de salida: Hasta 1 x 100 W o 2 x 60 W

### Huawei DBS3900



- Multi banda: LTE TDD/FDD, 800MHz a 3.7 GHz.
- Ancho de banda flexible: 5M/10M/15M/20 MHz

### Equipos de Acceso (RBS Micro):

#### Ericsson RBS 6501



- Bandas de frecuencia: Todas (UTRA/FDD, E-UTRA/FDD)
- WCDMA: 6 x portadora
- LTE: 120 MHz
- IBW: 25 MHz
- MIMO: Sí, 2 x 2
- LTE carrier aggregation: Sí
- WCDMA dual carrier: Sí
- WCDMA: 168/24 Mbit/s, 96 usuarios (voz o datos), CE DL/UL 128/144, 60 HS codes
- LTE: 225/75 Mbit/s, 1000 usuarios conectados

#### Huawei eA660



- Multi banda: LTE-TDD 1.8G/2.3G/2.6G/3.5G/3.7G

## Equipos de Core:

### Ericsson SGSN-MME



- Usuarios conectados simultáneamente: 3 a 6 millones
- Cantidad de e-Nodes B soportados: 100000

### Huawei eCNS600

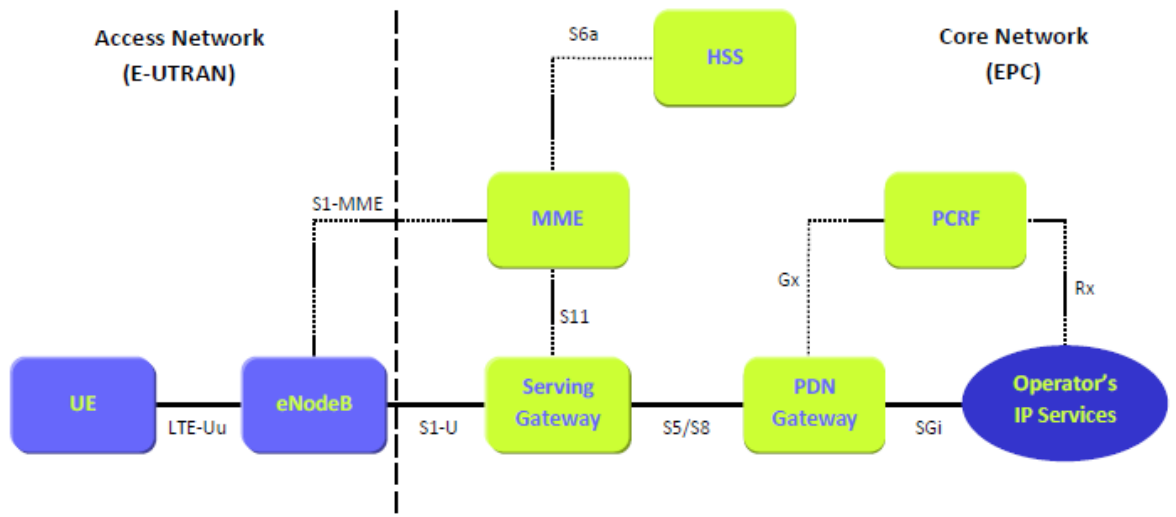


- Alta performance: 200000 usuarios, 40 Gbit/s throughput, 1500 e-Nodes B
- Alta integration: 5 NEs (MME, S-GW/P-GW, HSS, and PCRF) en 1 subrack

## 3.6. Protocolos que interaccionan dentro de la arquitectura

De acuerdo con lo propuesto en el punto 6 del cronograma de trabajo, se presentará una visión general del stack de protocolos para LTE. En primer lugar, en la Figura 14 se repasan los elementos del sistema de paquetes evolucionado (EPS) junto con las interfaces.

La Figura 15 muestra la división funcional entre E-UTRAN y EPC.



**Figura 14: Elementos de la red EPC**

La arquitectura de protocolos de radio para LTE se puede separar en arquitectura del Plano de Usuario (User Plane) y arquitectura del Plano de Control (Control Plane) como se muestra en la Figura 16 y la Figura 17 respectivamente. El stack de protocolo de User Plane entre el eNB y el UE consta de las siguientes subcapas: PDCP (Packet Data Convergence Protocol o Protocolo de Convergencia de Datos), RLC (Radio Link Control o Control de enlace de radio) y MAC (Medium Access Control o Control de Acceso al Medio). El Control Plane incluye la capa de RRC (Radio Resource Control o Control de Recursos de Radio) que es la responsable de configurar las capas inferiores.

En el User plane, los paquetes en la EPC están encapsulados en un protocolo EPC específico y tunelizado entre el P-GW y el e-Node B. Se utilizan diferentes protocolos de tunelización dependiendo de la interfaz. El protocolo de túnel GPRS Tunneling Protocol (GTP) se utiliza en la interfaz S1 entre el e-Node B y S-GW y en la interfaz S5/S8 entre el S-GW y el P-GW.

Como nomenclatura, los paquetes recibidos por una capa se denominan SDU (Service Data Unit o Unidad de Datos de Servicio), mientras que el PDU (Protocol Data Unit o Unidad de Datos de Protocolo) hace referencia a la salida de paquetes de una capa. Así, por ejemplo, en el camino de transmisión de User Plane, el PDCP envía una PDU de PDCP al RLC, que se refiere a ella como SDU de RLC. En el camino de recepción, se invierte la operación de modo que una capa envía una SDU a una capa superior que la recibe como una PDU.

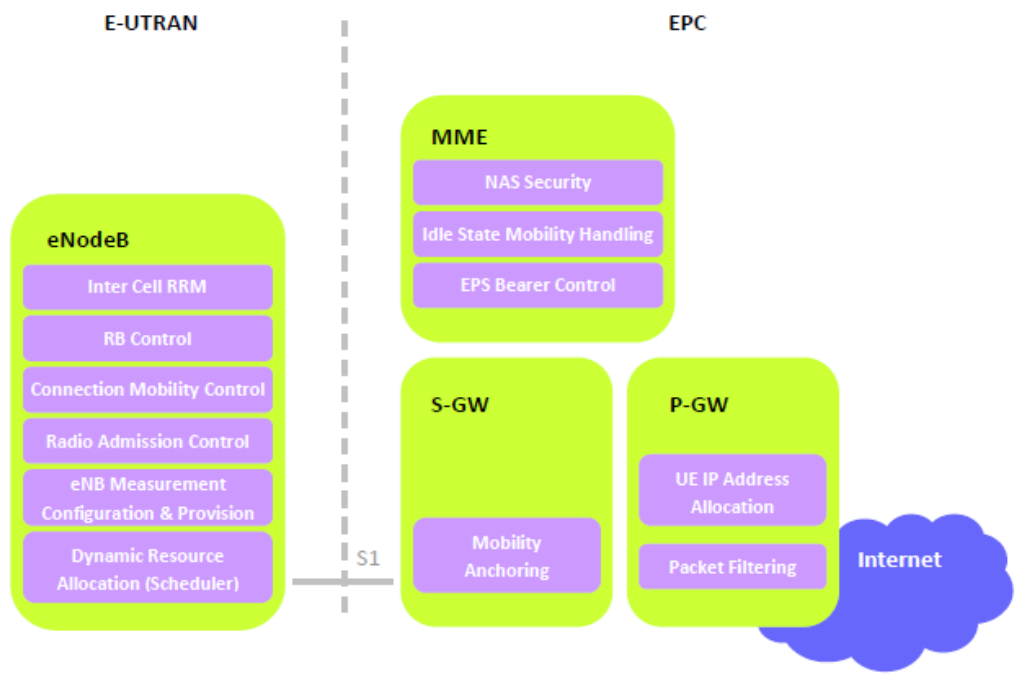


Figura 15: Diagrama funcional del EPS

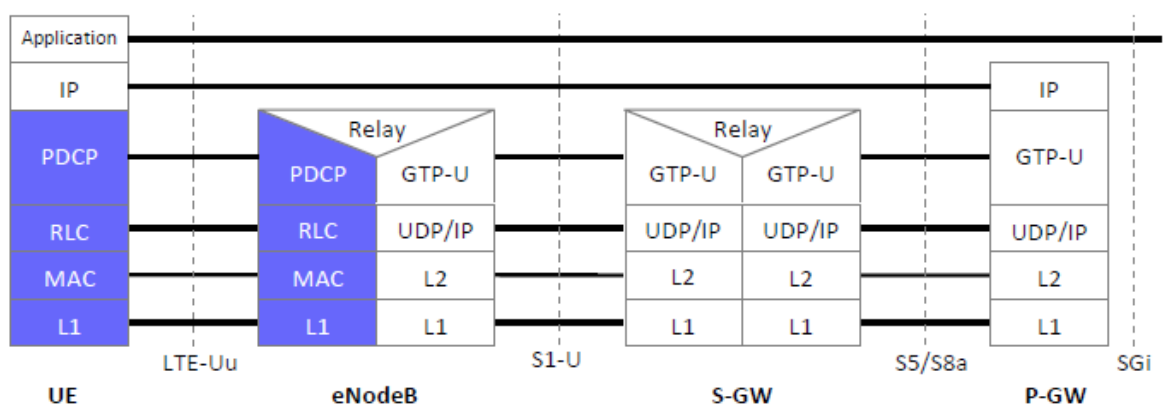


Figura 16: Stack de protocolos del User Plane

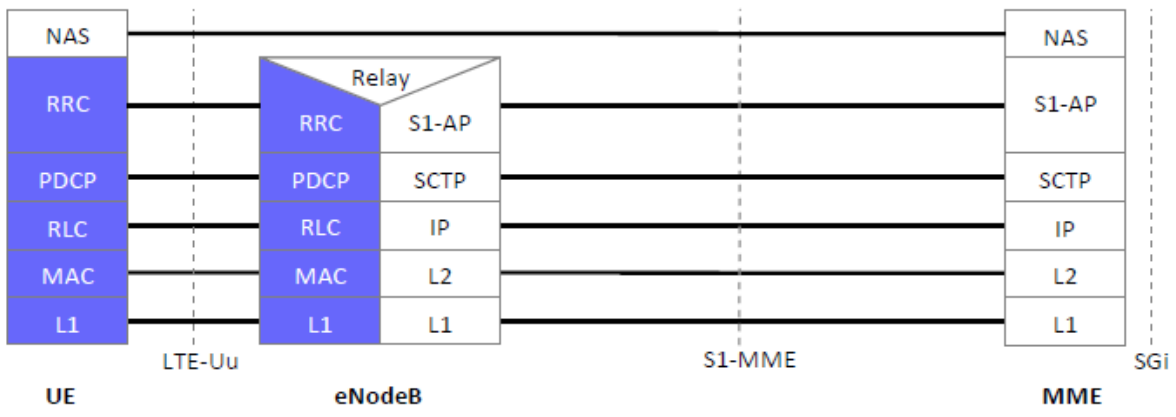


Figura 17: Stack de protocolos del Control Plane

## **Protocolo del Control Plane – RADIO RESOURCE CONTROL (RRC)**

El Plano de Control maneja funcionalidades específicas de radio, que dependen del estado del UE (Equipo de Usuario) y contempla dos estados: inactivo (idle) o conectado (connected).

En el modo inactivo, el UE acampa en una celda luego de un proceso de selección o re selección de celdas, en el que se consideran factores como la calidad del enlace de radio, el estado de la celda y la tecnología de acceso de radio. El UE también monitorea el canal de paging para detectar llamadas entrantes y adquirir información del sistema. Los protocolos del plano de control en este modo incluyen procedimientos de selección y re selección de celdas.

En el modo conectado, el UE suministra a la E-UTRAN con información sobre la calidad de canal de enlace descendente e información de celda vecina (incluyendo otras frecuencias y tecnologías de acceso de radio) para permitir que la E-UTRAN seleccione la celda más adecuada para el UE. En este caso, el protocolo del plano de control incluye al protocolo RRC.

El protocolo RRC cubre las siguientes áreas funcionales:

1- Información del sistema: La información del sistema se define en los Bloques de Información del Sistema o System Information Blocks (SIBs) que contienen diferentes parámetros. Se definen 8 SIBs adicionalmente al MIB (Master Information Block) que incluyen los parámetros que se transmiten más frecuentemente y que son esenciales para el primer acceso del UE a la red. La información del sistema se mapea en diferentes canales lógicos, dependiendo del estado del UE y del tipo de información.

2- Control de conexión: incluye procedimientos para el establecimiento, modificación y liberación de conexiones para paging, activación de seguridad, Portadores de Señalización de Radio o Signaling Radio Bearers (SBRs), Portadores de Datos de Radio o Data Radio Bearers (DRB), handover y otras funciones como la configuración de capas de protocolo inferiores.

3- Movilidad Controlada en la Red: incluye procedimientos de movilidad, activación de seguridad y transferencia de información contextual del RRC del UE.

4- Reportes de Medición y Configuración: necesarios para soportar la función de movilidad. Además del RRC, el PDCP y el RLC realizan funciones en los datos del plano de control.



Dichas funciones se describirán a continuación cuando se desarrollen los protocolos de dicho plano.

## **Protocolos del User Plane**

El plano de usuario contempla las siguientes capas:

- 1- Packet Data Convergence Protocol Layer (PDCP)
- 2- Radio Link Control Layer (RLC)
- 3- Medium Access Control Layer (MAC)

### **PACKET DATA CONVERGENCE PROTOCOL LAYER (PDCP)**

La capa PDCP es responsable de las siguientes funciones:

1- Compresión de cabecera y descompresión para todos los paquetes de datos del plano de usuario. Esto está basado en el protocolo ROHC (Robust Header Compression) que almacena partes estáticas del encabezado actualizándolas sólo cuando cambian. Las partes dinámicas se comprimen transmitiendo la diferencia con respecto a la referencia. ROHC es especialmente importante para los servicios de voz donde la cabecera IP/UDP/RTP comprende un gran porcentaje del tamaño real del paquete. Por ejemplo, el encabezado IPV4 es de 40 bytes que se pueden comprimir a 4-6 bytes, lo que resulta en un gran ahorro de capacidad considerando que la carga útil de transporte VoIP es de sólo 32 bytes.

2- Gestión del handover: reordena y secuencia a las PDUs durante un handover de un área de cobertura de celda a otra. Se definen dos tipos de handovers: HO sin interrupciones y HO sin pérdidas.

a. HO sin interrupciones: se aplica a los datos del plano de control y a los datos del plano del usuario del Modo No Reconocido o Unacknowledged Mode (UM) de RLC (son datos que pueden soportar pérdidas, pero no retrasos, por ejemplo, VoIP). Este tipo de HO es relativamente simple y está diseñado para minimizar el retardo, ya que no hay que intercambiar ningún contexto de seguridad entre el eNB origen y destino durante el HO.

b. HO sin pérdidas: Este modo se utiliza para datos que soportan retardos, pero son sensibles a las pérdidas, como, por ejemplo, la descarga de archivos. En donde se desea minimizar las pérdidas de paquetes para ahorrar la utilización del ancho de banda y mejorar la velocidad de transmisión de datos.

3- Realiza servicios de encriptación y des-encriptación para datos de los planos de usuario y control, además de verificar y proteger la integridad de los datos del plano de control. El cifrado protege contra escuchas y la protección de la integridad permite detectar la inserción o sustitución de paquetes por un tercero. Los sistemas LTE pueden utilizar encriptación SNOW 3G o AES-128. LTE incluye la autenticación mutua entre el UE y la red. Esto se logra mediante una clave compartida en el Centro de Autenticación o Authentication Center (AuC) del HSS y en el USIM.

Las funciones de seguridad se producen por debajo del RoHC, ya que no puede operar con los paquetes cifrados, por no entender el encabezado cifrado. Por lo tanto, en la transmisión, la compresión de RoHC se produce antes del cifrado y en la recepción, la descompresión de RoHC se produce después del descifrado.

### **RADIO LINK CONTROL (RLC)**

En el camino de transmisión, el RLC tiene la tarea de reformatear (segmentar y/o concatenar) las PDU PDCP, para ajustarse al tamaño requerido por la capa MAC (bloque de transporte). En el camino de recepción, el RLC reconstruye las PDU PDCP. El tamaño de los bloques de transporte depende de los requisitos de ancho de banda, distancia, requisitos de potencia, esquema de modulación y tipo de aplicación. La segmentación y la concatenación pueden estar presentes al mismo tiempo en una PDU RLC.

El RLC también reordena los paquetes recibidos fuera de secuencia durante la operación HARQ. El RLC se comunica con el PDCP a través de un Punto de Acceso de Servicio o Service Access Point (SAP) y con el MAC a través de canales lógicos. Existen tres modos de transmisión de datos por el RLC: Modo Transparente o Transparent Mode (TM), Modo no reconocido o Unacknowledged Mode (UM) y Modo de reconocimiento o Acknowledged Mode (AM).

**Modo Transparente:** Este es un modo de paso que mapea RLC SDUs a RLC PDU y viceversa sin ninguna sobrecarga o modificación a los paquetes. Sólo se utiliza para algunas señales de control, como por ejemplo el broadcast de la información del sistema y los mensajes de paging.

**Modo no reconocido:** este modo se utiliza para tráfico sensible al retardo, como, por ejemplo, VoIP. El tráfico punto a multipunto, como el servicio de Broadcast/Multicast multimedia (MBMS), también utiliza este modo. En este modo, la capa realiza la

segmentación y concatenación de las SDUs de RLC, la reordenación y la detección de duplicados de las PDUs de RLC y el re ensamblado de las SDUs de RLC.

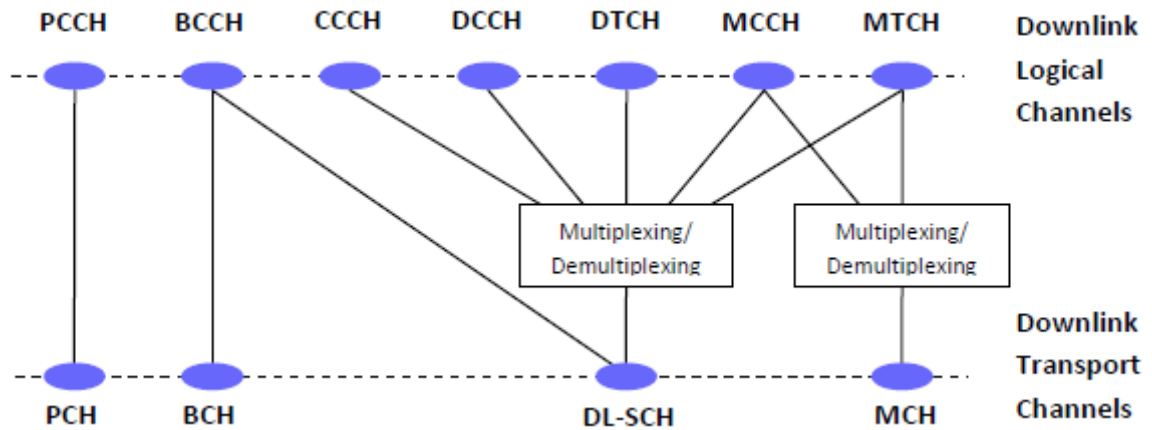
Modo de Reconocimiento: Este modo se utiliza para soportar tráfico que tolera el retardo, pero es sensible al error (aplicaciones en tiempo real, como la navegación web). Permite la transferencia bidireccional de datos donde el RLC puede transmitir y recibir datos. Requiere repetición automática o Automatic Repeat reQuest (ARQ) para corregir paquetes erróneos a través de retransmisión de datos. Algunos datos del plano de control (es decir, mensajes RRC) también usan este modo. Además de las funciones del modo UM, el modo RLC AM realiza retransmisión de PDUs de RLC, re segmentación de PDUs de datos RLC retransmitidas y otras funciones tales como sondeo y notificación de estado.

## **MEDIUM ACCESS CONTROL LAYER**

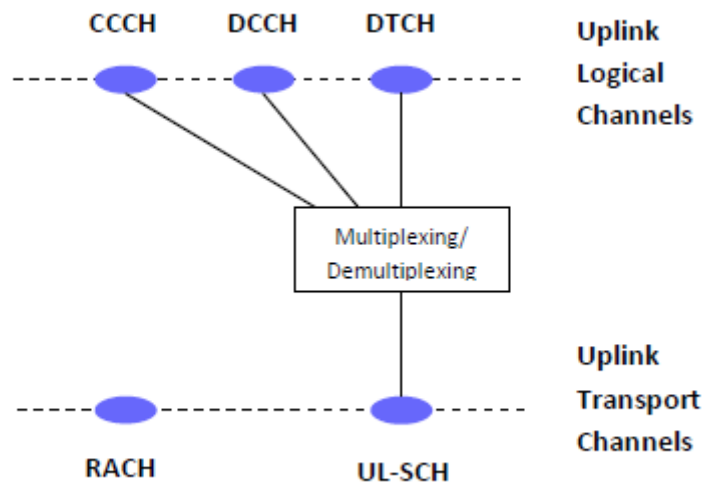
La capa MAC realiza una serie de funciones importantes que incluyen el planificador o scheduler que distribuye el ancho de banda disponible entre un número de UEs activos. La implementación del scheduler varía entre los diferentes proveedores y su rendimiento es un diferenciador clave del producto. El procedimiento de control de acceso aleatorio es una función MAC que es utilizada por el UE que no tiene asignados recursos de radio en uplink para acceder y sincronizarse con la red. El MAC también realiza una sincronización tiempo en el uplink que asegura que las transmisiones de los UEs no se superpongan cuando se reciben en la Radio Base. La recepción discontinua o Discontinuous reception (DRX) se implementa en la capa MAC para ahorrar energía de la batería limitando el tiempo que el UE recibe canales de downlink. El costo es una mayor latencia.

La capa MAC también implementa la operación HARQ para retransmitir y combinar bloques de datos recibidos (bloques de transporte) y generar señalización ACK o NACK en caso de fallo de CRC. HARQ intenta corregir los datos combinando múltiples transmisiones de los datos incluso cuando cada transmisión tiene errores. En caso de no poder recuperar los datos correctos, se llama a la función ARQ en el RLC para iniciar retransmisiones y re-segmentación de las PDU afectadas. LTE usa HARQ síncrono en el uplink, donde las retransmisiones ocurren en un tiempo predefinido relativo a la transmisión inicial y HARQ asíncrona en el enlace downlink, donde pueden ocurrir retransmisiones en cualquier momento con respecto a la transmisión inicial requiriendo de información adicional para indicar al receptor el número de proceso HARQ para asociar la retransmisión con su transmisión correspondiente. En realidad, la retención y la re-combinación de datos se realiza en la capa física, la capa MAC realiza la gestión y la señalización.

La capa MAC asigna los datos RLC recibidos mediante canales lógicos a canales de transporte que conectan el MAC con la Capa Física o Physical Layer (PHY) como se muestra en la Figura 18 y la Figura 19. La operación inversa se realiza en el lado de recepción. En la figura 20 se describen estos canales.



**Figura 18: Multiplexación de canales lógicos en Downlink**



**Figura 19: Multiplexación de canales lógicos en Uplink**

Tipo de Canal		Descripción
<b>Canales de Control Lógico</b>		
BCCH	Broadcast Control Channel	Canal de Downlink utilizado para el broadcast de información del sistema
PCCH	Paging Control Channel	Canal de Downlink utilizado para notificar al UE de una llamada entrante o cambios en la configuración del sistema
CCCH	Common Control Channel	Canal de Uplink y Downlink utilizado para distribuir información de control durante el establecimiento de la conexión cuando no se estableció la asociación entre el UE y el E-node B
MCCH	Multicast Control Channel	Canal de Downlink utilizado para transmitir información de control del servicio de MBMS
DCCH	Dedicated Control Channel	Canal de Downlink y Uplink utilizado para transmitir información de control a un UE específico
<b>Canales de Tráfico Lógico</b>		
DTCH	Dedicated Traffic Channel	Canal de Uplink y Downlink utilizado para transmitir datos

		dedicados de usuario
MTCH	Multicast Traffic Channel	Canal de Uplink y Downlink utilizado para transmitir datos de usuario para el servicio de MBMS
<b>Canal de Transporte en Downlink</b>		
BCH	Broadcast Channel	Utilizado por el SI para acceder al DL-SCH
DL-SCH	Downlink Shared Channel	Utilizado para transportar datos de usuario (downlink) o para mensajes de control e información de sistema no transportados por el BCH.
PCH	Paging Channel	Utilizado para transportar información de paging
MCH	Multicast Channel	Utilizado para transportar datos de usuarios o mensajes de control durante MBSFN
<b>Canal de Transporte en Uplink</b>		
UL-SCH	Uplink Shared Channel	Utilizado para transportar datos de usuario o mensajes de control (uplink)
RACH	Random Access Channel	Utilizada para acceder a la red cuando el UE no tiene reservados recursos de transmisión en uplink o cuando no hay sincronización precisa de tiempo en uplink

**Figura 20: Canales lógicos y de transporte**

### **3.7. Estudio de un caso de implementación real o despliegue avanzado**

De acuerdo con lo propuesto en el punto “Estudio de un caso real o despliegue avanzado” del cronograma de trabajo, presentamos el caso de implementación real.

Tal cual se menciona en la memoria descriptiva del presente documento, se ha analizado un caso de implementación de pruebas de la funcionalidad Carrier Aggregation (CA) en una red LTE. Este análisis se realiza mediante el uso de hasta 5 portadoras (las llamadas Component Carrier), logrando un ancho de banda máximo total de 100 MHz. Si bien el Release 10 contempla la señalización para la agregación de las 5 portadoras, en la actualidad solo se puede hacer CA con 2 portadoras únicamente. Cada componente puede tener 1.4, 3, 5, 10, 15 o 20 MHz de ancho de banda. En FDD el número de agregación de portadoras es diferente para uplink (UL) como para Downlink (DL). Sin embargo, el número de Component Carrier en UL es siempre igual o menor que el número de Component Carrier de DL. Y el ancho de banda de cada portadora puede variar, es decir que se pueden agregar 2 portadoras de diferentes anchos de banda.

Dependiendo del espectro disponible, los operadores pueden elegir de 3 tipos de CA:

- Intra-band contigua
- Intra-band no contigua
- Inter-band no contigua

Las diferentes combinaciones de portadoras intra/inter band contiguo y no contiguo se van definiendo con cada release (10, 11 y 12). Para los escenarios no contiguos, la banda de guarda en frecuencia  $N \times 30\text{Khz}$  ( $N=\text{Entero}$ ) debe ser asegurada.

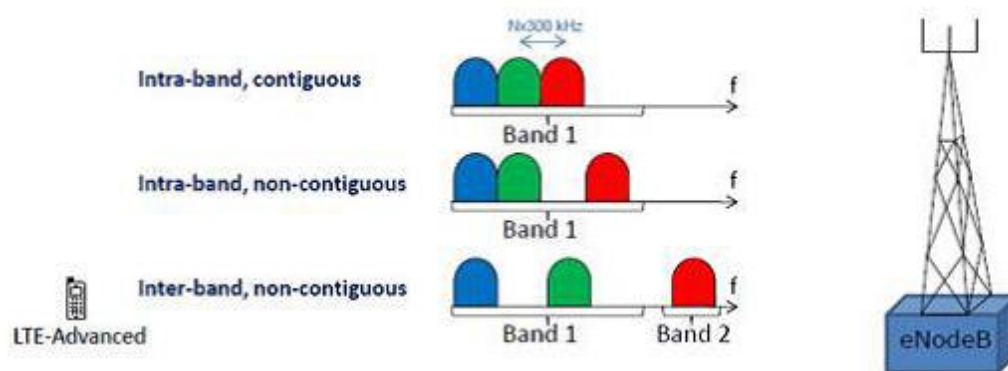


Figura 21: Los 3 tipos de Carrier Aggregation

Para crear las especificaciones de CA, 3GPP se definieron los siguientes 3 conceptos:

- La Configuración del ancho de banda de transmisión agregada (ATBC), representa el número total de bloques de recursos físicos agregados (PRB).
- Las clases de ancho de banda de CA indican una combinación de máxima ATBC y el número máximo de Component Carrier. En el release 10 y 11 se definen 3 clases: A (ATBC  $\leq 100$ , número máximo de Component Carrier = 1), B (ATBC  $\leq 100$ , número máximo de Component Carrier = 2), y C ( $100 < \text{ATBC} \leq 200$ , número Component Carrier = 2).
- Configuración de CA indica una combinación de las bandas de operación de la E-UTRAN y de las clases de ancho de banda de CA. Release 10 define hasta 3 agregaciones de portadora (opciones de combinación), mientras que en el Release 11 se agregan más opciones de combinación de portadoras. El máximo ancho de banda agregado sigue siendo 40 MHz y el número máximo de componentes de soporte es 2. Además, tanto para el Release 10 como para el Release 11, todo Component Carrier de UL tendrá el mismo ancho de banda que el Component Carrier de DL que le corresponde. Además por inter-band de CA sólo habrá un Component Carrier de UL, es decir, que en UL no habrá CA.

En base a la asignación de espectro en el mundo real y la necesidad de los operadores, 3GPP RAN 4 ha estado trabajando en 14 combinaciones de bandas diferentes, la mayoría de las cuales agregan dos portadoras para lograr un ancho de banda total de 40 MHz tanto en el Downlink y como en uplink.

### Escenarios donde sería necesario implementar CA<sup>2</sup>

Los escenarios de implementación de CA tienen como objetivo mejorar las velocidades de datos para los usuarios dentro de las áreas de solapamiento de celdas y dependen en gran

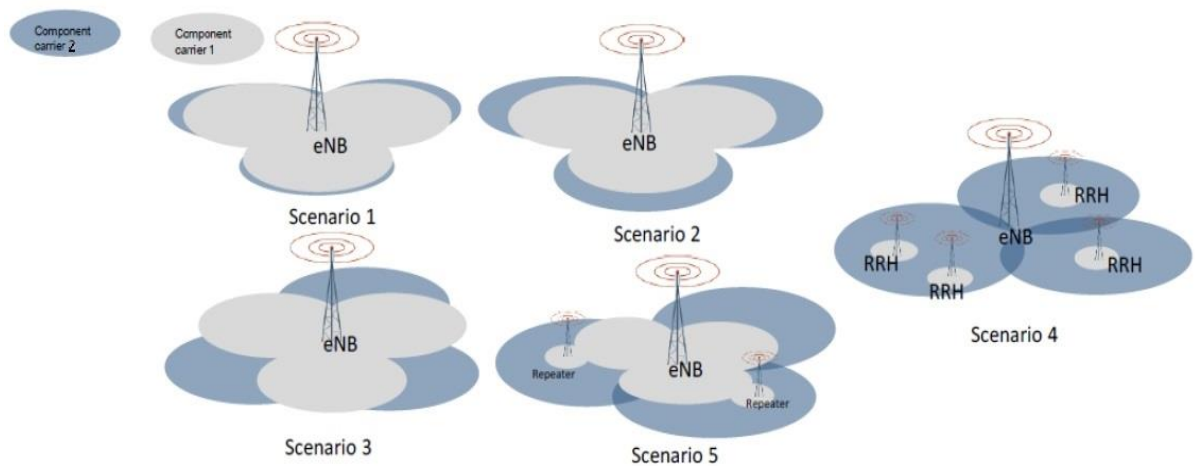
<sup>2</sup> Anders Hedlund y Irina Cotanis, 2014, Introduction to Carrier Aggregation Testing, Ascom

medida de las necesidades del operador. Para la implementación eficiente, los operadores tienen en cuenta varios factores, tales como la asignación del espectro, si la zona es rural, urbana o suburbana, la existencia de Hot spots, y la presencia de repetidores selectivos en frecuencia.

Escenario de celdas con antenas co - localizadas	Breve descripción
1	Las frecuencias utilizadas tienen una separación muy pequeña; los component carriers dentro de la misma banda. Al tener una separación pequeña, la cobertura de las portadoras agregadas será muy similar. La movilidad es compatible con cualquier de portadora. Se alcanza una velocidad de datos mayor dentro de la zona de las celdas superpuestas gracias a CA.
2	Las frecuencias utilizadas tienen una separación mayor; los component carriers están en diferentes bandas de frecuencia. Tener una separación de frecuencias mayor, trae como consecuencia que la portadora de frecuencia superior tendrá una zona de cobertura más reducida. La movilidad se basa en la portadora de menor frecuencia por tener una zona de cobertura mayor. El mayor throughput se encontrará en la zona que cubre la frecuencia más alta, es decir donde ambas portadoras tienen cobertura.
3	Las antenas de las celdas son co-localizadas, pero las mismas estarán orientadas en diferentes posiciones para cubrir la zona fuera de cobertura en el límite de la celda; los component carriers están en diferentes bandas de frecuencia. De esta forma se cubren zonas que antes no tenían cobertura, y en la zona de solapamiento entre las frecuencias se tendrá CA. La gestión de la movilidad normalmente no se realiza en la celda de la portadora de mayor frecuencia. Las antenas orientadas al borde de celda logran la posibilidad de alcanzar velocidades de datos mejoradas y mejoran el throughput.
5	Aunque es similar al escenario 2, en el escenario 5 se agregan repetidores de frecuencia selectiva para ampliar la cobertura de una de las frecuencias portadoras. Está pensado para entornos en los que la pérdida de penetración es muy grande, como en zonas muy urbanizadas o el subterráneo. Los repetidores no necesariamente están desplegados para todas las bandas, sino más bien en función de la política de despliegue de un operador teniendo en cuenta los presupuestos de enlace y los costos.
Escenario de celdas con antenas NO co - localizadas	Breve descripción
4	Las antenas de las celdas no están co-localizadas, porque aparte de los tradicionales eNode B, se utilizan los Remote Radio Heads (RRHs); los component carriers suelen ser de diferentes bandas, las celdas que proporcionan cobertura eNode B macro y RRHS se emplazan en los Hot spots. CA es aplicable a los usuarios dentro de la cobertura de RRHS; tanto las celdas del eNode B y celdas RRH están bajo el control del eNode B. La gestión de la movilidad la realiza la macrocelda. El throughput se mejora en los hot spots por los RRHS.

**Figura 22: Escenario de celdas**

La operación de Downlink con CA no afecta a la sincronización de enlace Downlink en cualquiera de los escenarios descritos en la Tabla anterior. Por lo tanto, CA ya está cubierto para el Downlink a partir del Release 10, mientras que el caso de Uplink, estará disponible recién a partir del Release 11.



**Figura 23: Escenarios donde sería necesario implementar CA**

### **Pruebas de laboratorio recreando el escenario 2**

La operadora en la que se realizaron las pruebas utiliza para LTE las bandas 4 (AWS 2100 MHz) y 28 (700 MHz), por lo que se definió utilizar una RRU (Remote Radio Unit) en cada una de estas frecuencias. Las mismas deben ir conectadas a un eNode B o BBU (Baseband Unit) con capacidad para agregación de portadoras. Finalmente se decidió utilizar hardware del proveedor Huawei ya que gran parte del despliegue de la operadora está realizado con este hardware.

Definido BBU (equipo de banda base) y RRUs se pasa a la elección de un terminal de usuario (o UE) que cumpla con una serie de requisitos específicos:

- Compatibilidad con ambas frecuencias en LTE
- Compatibilidad con Release 10
- Capacidad de realizar Carrier Aggregation en las 2 bandas disponibles.

Esta combinación no es muy común entre los equipos disponibles en el mercado nacional. Se obtuvo el equipo Samsung Galaxy A5 (2016), en particular el modelo específico SM-A510M ya que es el único que reúne las 2 primeras cualidades y se sabe que es Categoría 6. Se verificará a través de la interpretación de los mensajes entre UE y BBU si es compatible con CA entre las bandas 4 y 28.

Se realizó el conexionado, configuración e integración a la red del nuevo eNode B y se verificó que el ambiente de pruebas estuviera libre de interferencias de todo tipo.

El equipamiento utilizado responde a las siguientes características:



BBU	Huawei DBS3900
RRU	Huawei 3832 para banda 4 (AWS) Huawei 3832 para banda 28 (700 MHz)
UE	Samsung Galaxy A5 (2016) (SM-A510M)
PC Genérica	Usada para gestión de la BBU con herramienta propietaria de Huawei

Mientras que el escenario configurado para las pruebas:

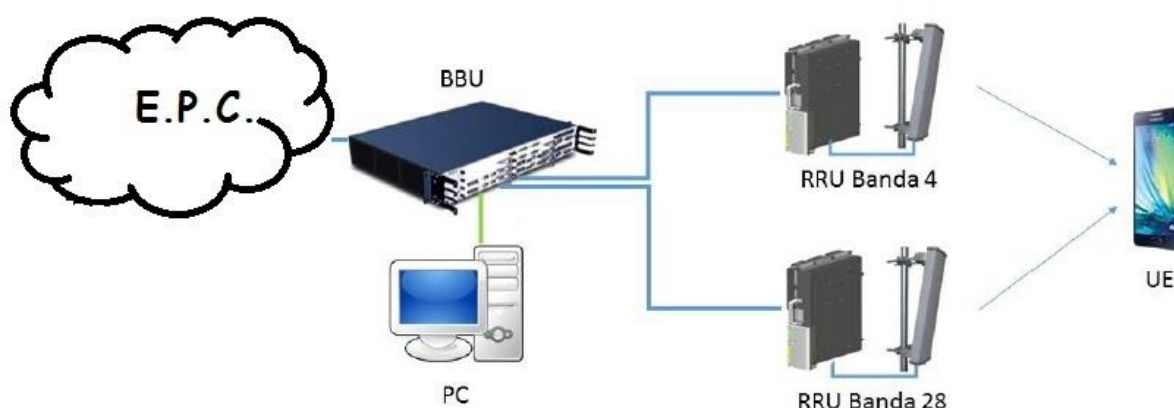


Figura 24: Escenario de Laboratorio

### Configuraciones en el eNode B:

Canales PCELL y SCELL: En el eNode B, compatible con Release 10 para poder realizar CA, debe tener configuradas las bandas para cada una de las celdas, es decir, una celda será la principal o primaria (PCELL) y la otra la Secundaria (SCELL). Como nuestro escenario define una prueba de CA similar al escenario 2, las celdas están en diferentes bandas de frecuencia. En este caso, el eNode B se configuró para tener configurado el PCELL en Banda 4 y el SCELL en Banda 28. De esta forma el UE primero usará la Banda 4, y luego de intercambiar sus capacidades con el eNode B, este permitirá que se conecte en simultáneo con la banda 28

En el eNode B también se debe definir el ancho de banda de las portadoras. Se utilizará el a máximo ancho de banda contemplado en LTE, para alcanzar un ancho de banda total luego de la agregación de portadoras de 40 MHz (20+20).

### Resultados Obtenidos

#### a. Medición de Throughput (En eNode B)

El pico en DL máximo fue de 292,74 MBPS

El pico en UL máximo fue de 46,31 MBPS

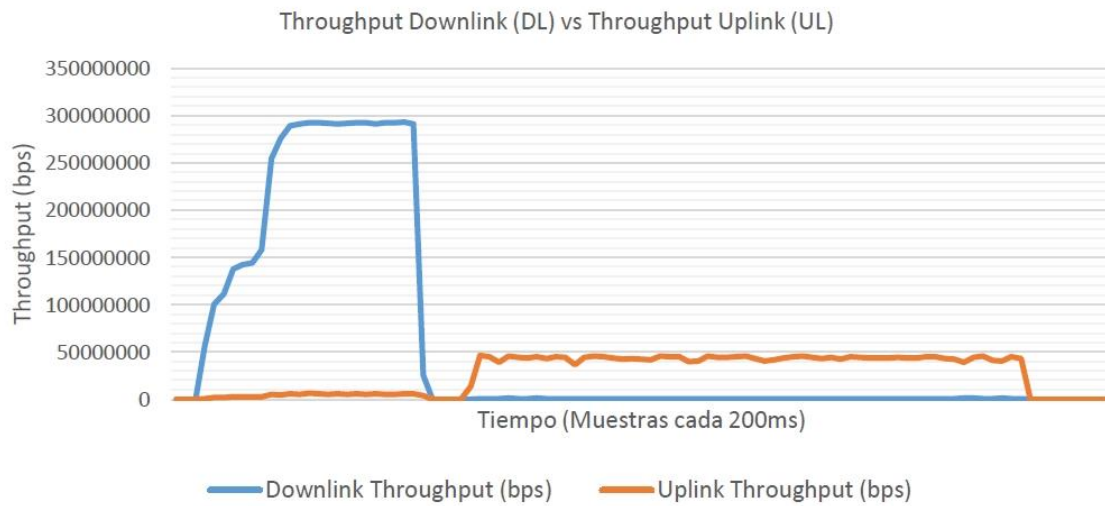


Figura 25: Throughput DL vs UL

### b. Confirmación del uso de Carrier Aggregation (En el UE)

Se observa en la vista de Ingeniería del teléfono que se realizó CA entre las Bandas 4 y 28.

ServiceMode	MÁS
LTE-BASIC Info	
Band:4 BW: 20MHz	
DL & UL Frequency: 2100 / 20100	
MIMO Mode/MIMO RI: TBD / 2	
Serving Cell ID:2 (PCI:178)	
Registered PLMN: 722 07	
RSRP:-66 RSRQ:-8 RSSI:-51	
TAC:4515 SINR: 27	
RRC: CONNECTED	
Tx Pwr: 18	
Ant RSRP Diff:-14(Avg:-12)	
Scell RSRP Diff:-4(Avg:-2)	
CA:ACTIVATED_SC_NUM:1	
(S1)BAND:28,BW:20Mhz,DL:9410	
(S1)PCI:100, TM:3	
(S1)RSRP:-76,RSRQ: -7,SINR: 17	
IMEI Status : OK	
RB(DL/UL):100/96	
Max RB(DL/UL):100/96	

**Figura 26: Bandas entre las que se realizó CA**

## Conclusiones

Por medio del análisis de los mensajes RRC y S1AP se comprobó que las condiciones estaban dadas para alcanzar las máximas tasas para la configuración planteada, ya que el UE era cien por ciento compatible con CA para las bandas disponibles para la prueba y no había limitación de la tasa máxima en DL.

El UE utilizado es categoría 6, y por ello su Throughput máximo según definición de 3GPP para tal categoría es exactamente la misma que se esperaba en base a cálculo teórico.

Se verificó el establecimiento de la agregación de portadoras, logrando el ancho de banda de 40MHz, máximo establecido hasta el Release 10.

Viendo que las condiciones iniciales se cumplieron tal cual lo esperado se pasó a analizar el Throughput en DL y como resultado se obtuvo un valor realmente alto, similar al esperado según los cálculos teóricos. Se observó una variación del 3% entre los resultados de la medición tomada desde el eNode B y los resultados arrojados por la aplicación del UE, la explicación de esto es porque el eNode B contempla la medición a nivel IP mientras que la aplicación del UE solo considera la carga útil o datos útiles a nivel TCP en el proceso de descarga, por este motivo no cuantifica la información de encabezados, corrección de errores y demás datos propios de los protocolos IP.

En las pruebas se alcanzó un máximo de 292,74 MBPS a pesar de estar en un entorno de laboratorio con todas las condiciones comprobadas para alcanzar su máximo.

Adicionalmente, vale aclarar que, si se activaran el resto de las funciones del release 10 y posteriores, se debería llegar a la tasa requerida. Pero hoy no existe UE comercial compatible con todas estas funciones, por lo cual el hardware también es un limitante.

### 3.8. Pruebas del funcionamiento de los protocolos

De acuerdo con lo propuesto en el punto “Pruebas del funcionamiento de los protocolos” del protocolo presentado, desarrollamos el tema.

Cuando el UE necesita contactarse a la red, ya sea para obtener información del sistema (Tracking Area Update), por un timer que expira (Periodic Registration), por un mensaje de paging recibido (Mobile Terminating) o porque el UE desea iniciar una configuración de llamada (Mobile Originating), se debe establecer siempre un canal de señalización.

El canal de señalización se realiza mediante la configuración del Signaling Radio Bearer y la conexión de señalización S1AP. Además, el Signaling Radio Bearer se mapea a un canal lógico que a su vez está mapeado con un canal de transporte y este a su vez, a un canal físico.

En las Figuras 27 y 28 se observa el detalle del stack de protocolos utilizados para señalización en los planos de control (Control Plane) y usuario (User Plane).

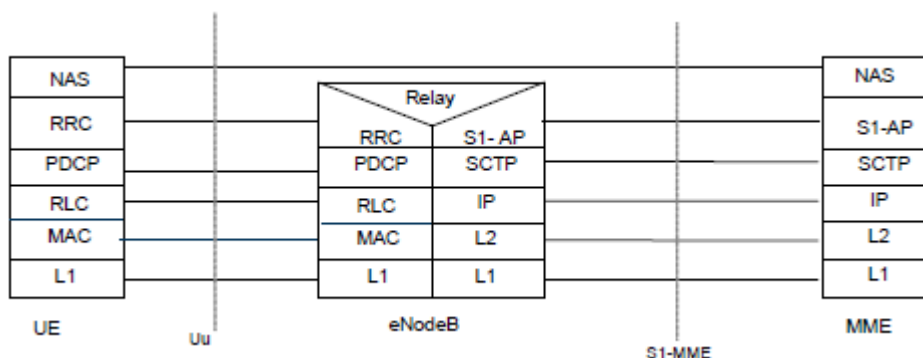


Figura 27: Stack de Protocolos de Control Plane (UE-MME)

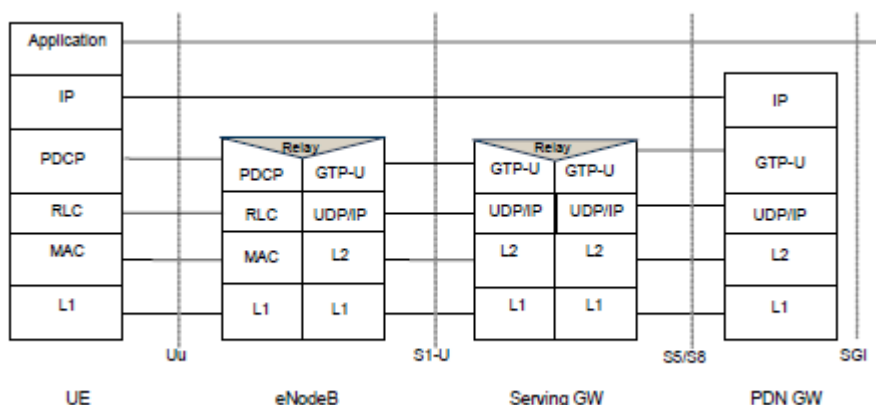


Figura 28: Stack de Protocolos de User Plane (UE-PGW)

Analizaremos a continuación el caso de tráfico de Tracking Area Update.

La red conoce la ubicación de un UE que está en itinerancia dentro de ella. Esto hace posible que el usuario de un teléfono móvil reciba una llamada donde sea que esté. Para mantener la red actualizada con la ubicación del abonado, el UE realiza la actualización de la ubicación (Tracking Area Update).

La ubicación de un UE en modo IDLE se mantiene en una lista de Tracking Area (TA). El concepto de TA Intra-LTE es único tanto para RAN como para el CN.

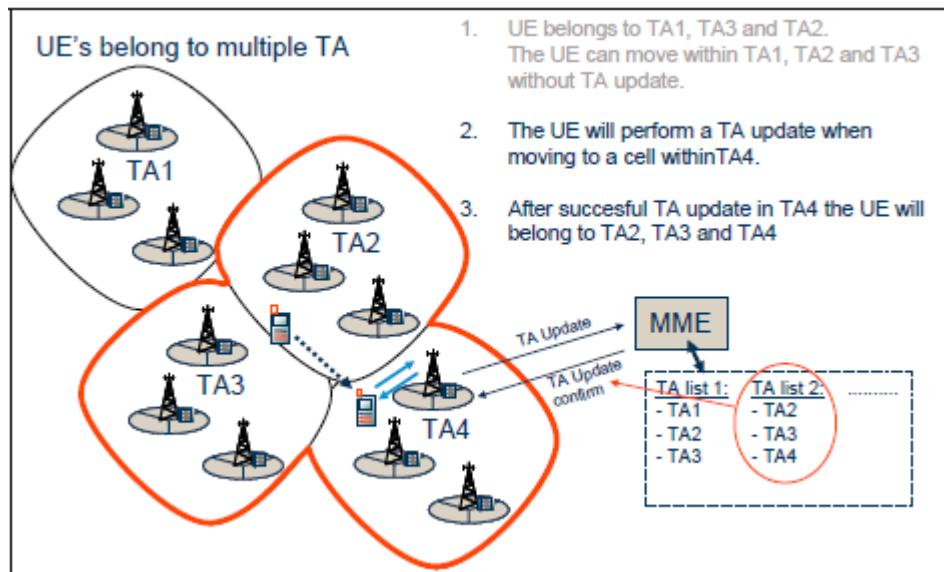
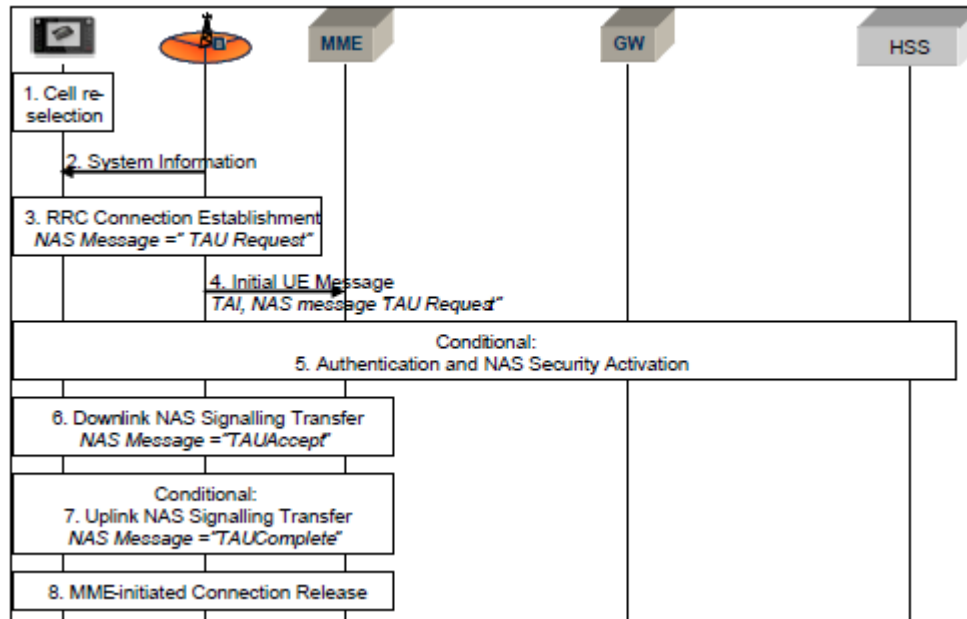


Figura 29: Concepto de Tracking Area

Cuando un UE en modo IDLE se mueve a una celda que pertenece a un TA diferente de aquel con el que está registrado actualmente, realiza una actualización de TA. El tracking área de la celda se transmite en el System Information.

A continuación, podemos observar en forma simplificada el caso de tráfico de Tracking Area Update.



**Figura 30: Caso de tráfico de Tracking Area Update**

1. El UE realiza la re-selección de celda (típicamente en base a la información del sistema recibida en la celda anterior).
2. El UE lee la información del sistema, transmitida en la celda seleccionada.
3. Si el TA al que pertenece la celda no es el TA en el que está registrado el UE, se establece la Conexión RRC, con el mensaje NAS "Tracking Area Update (TAU) Request".
4. El "Tracking Area Update (TAU) Request" se proporciona al MME en el mensaje " Initial UE Message".
5. Paso condicional: si falla la verificación de protección de integridad, el MME realiza la autenticación y activa las funciones de seguridad del NAS utilizando el procedimiento de Autenticación y Activación de seguridad NAS.
6. El MME envía al UE el mensaje "Tracking Area Update (TAU) Accept", utilizando el procedimiento de transferencia de señalización de DL NAS.
7. Si se ha reasignado el GUTI (Globally Unique Temporary Identifier), se transfiere el mensaje NAS "Tracking Area Update (TAU) Complete" al MME, utilizando el procedimiento de transferencia de señalización UL NAS.
8. MME-initiated Connection Release (MME to eNB).

8. Dado que el MME no estableció ninguna portadora o conexión de plano de usuario, el MME libera la conexión de radio (y los recursos de RAN) mediante el MME-initiated Connection Release.

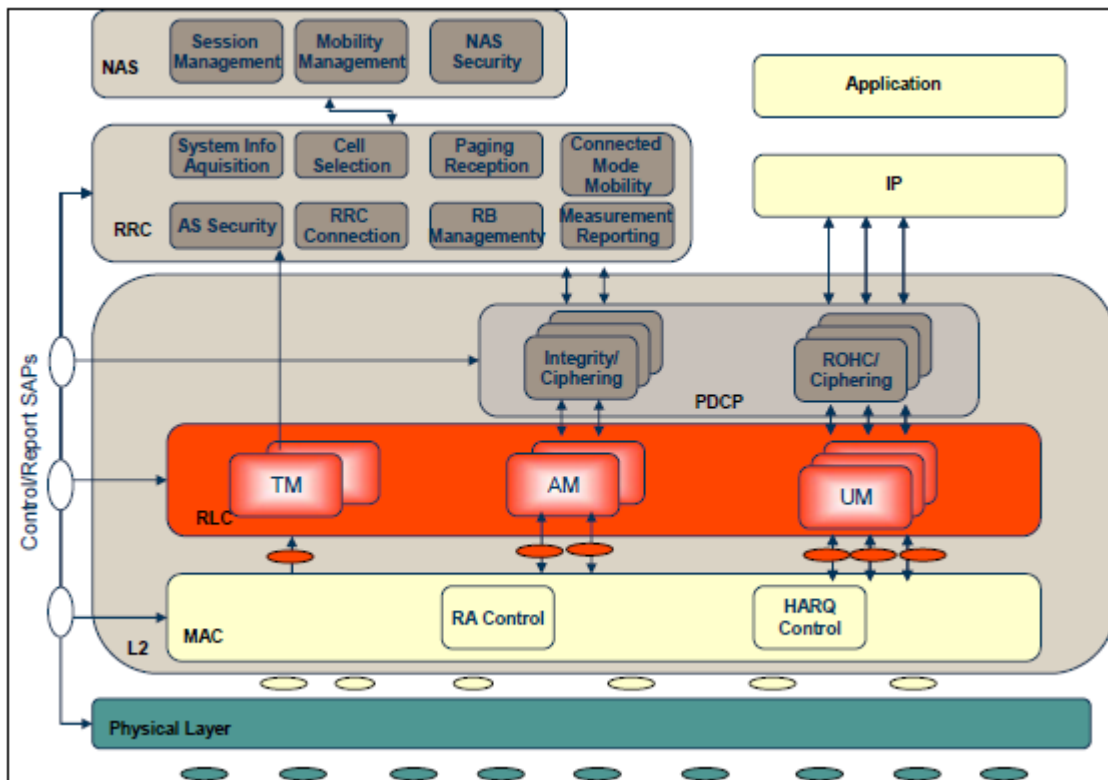


Figura 31: Stack de protocolos del UE

### 3.9. Informe de los potenciales servicios en la integración con IMS

De acuerdo con lo propuesto en el punto “potenciales servicios en la integración con IMS” del protocolo presentado, desarrollamos el tema.

La arquitectura IMS (Ip-Multimedia Subsystem) es la arquitectura elegida por los operadores de red para el despliegue de los servicios convergentes, en este contexto se han abierto oportunidades de negocio a empresas que no tenían la posibilidad de participar, puesto que la mencionada arquitectura independiza la red a la etapa de creación de servicio permitiendo a empresas especializadas en desarrollo poder ofrecer servicios teniendo como consumidores a clientes de las redes de proveedores de red fija y móviles. Todo ello sumado a la creciente demanda de servicios de contenidos que el cliente exige y consume, este escenario obliga a una revolución tanto técnica como en la oferta de productos, que antes estaba acotada y no permitía que empresas que no sean expertas en temas de red puedan participar del negocio.

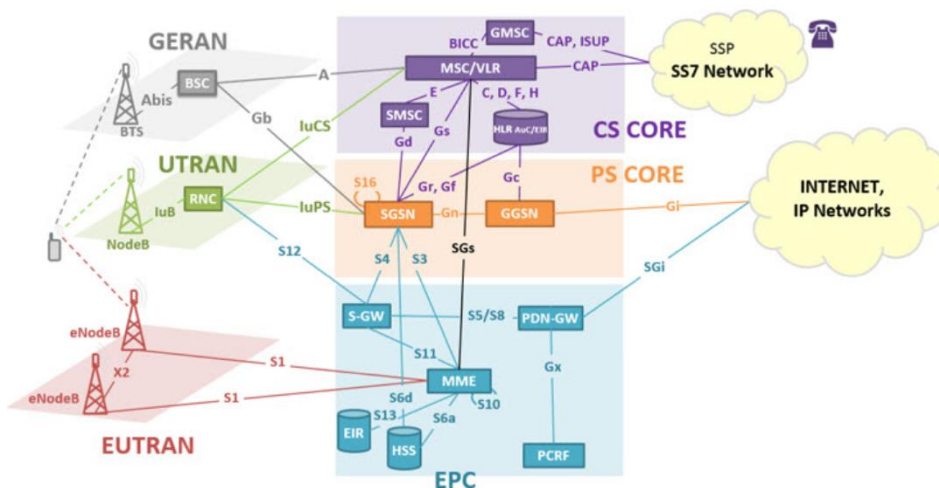
Se ha realizado una investigación exhaustiva sobre la arquitectura IMS donde se han expresado las oportunidades y el estado del arte al momento de realizar el estudio. Al día de hoy, las operadoras han madurado sobre este avance tecnológico y han desarrollado o han avanzado en nuevas ofertas a sus clientes, Push-to-talk, push-to-share, mensajería instantánea (IM) y presencia y Mobile IP Centrex han surgido como servicios de base de IMS.

Actualmente el servicio de voz en las redes móviles 4G no se desarrollan sobre dicha red, sino que se realizan mediante redes legadas, pudiendo ser la red 2G que está en vías de desaparición o mayoritariamente sobre redes 3G, para lograr que estas funciones se utilice una técnica llamada CSFB (Circuit Switched FallBack).

Una de las facilidades más importantes que tiene una red VoLTE, sobre todo al momento del despliegue es CSFB (Circuit Switched FallBack), es la de tener la capacidad de poder realizar un handover de una red de acceso LTE a una red 2G o 3G, para permitir que la llamada de voz se realice por la red legada (Circuit Switch) si aún no está la funcionalidad VoLTE desplegada comercialmente o por falta de cobertura LTE.

Básicamente, pasamos de la red IP a la red de Circuitos para permitir realizar la llamada, luego de la misma si se tiene cobertura LTE el terminal volverá a tomar esta red de acceso para aprovechar los beneficios para los servicios de datos.

Para que CSFB sea viable, los terminales de usuarios deben utilizar dispositivos de modo dual, es decir, capaz de operar tanto en la red LTE y en la red legada (2G/3G). Para soportar CSFB en la red del operador, se introduce una nueva interface (SGs), que conecta la MME al MSC legada en el plano de control para poder realizar la llamada.



**Figura 32: Nodos e interfaces de red LTE**

La arquitectura IMS es excluyente para poder brindar servicios de voz en redes 4G (LTE), en la Argentina al momento de cerrar el presente informe el servicio de VoLTE (Voice over LTE) se encuentra en etapa pre-comercial, este servicio es el tradicional de voz nativo por



la red LTE extremo a extremo, es decir, enteramente IP por el acceso LTE y utilizando el Core IMS.

Se realizaron experiencias previas a la implementación de VoLTE, la primera tecnología que se probó se llamó VoLGA. Esta alternativa de aplicación que surgió para permitir llamadas de voz en una red LTE sin VoLTE llamada VoLGA (Voice over Lte Generic Access), tenía como objetivo tratar de usar los recursos que ya están disponibles, con cambios mínimos necesarios.

Para utilizar la infraestructura de redes legadas 2G/3G, VoLGA introduce una nueva entidad de red, el VNC (VoLGA Network Controller), que básicamente funciona como un BSC 2G, que comunica con una MSC GSM (Centro de Conmutación Móvil) y como una RNC 3G, en la comunicación con una MSC UMTS (Mobile Switching Center).

Aunque es posible llevar a cabo la prestación de los servicios de voz y SMS a los usuarios de LTE, VoLGA no tuvo éxito. Esto es porque se necesita una inversión exclusiva para este fin y por lo tanto esta alternativa, finalmente, cayó en desuso.

VoLTE tiene una gran ventaja, es el ancho de banda que permite el codec de audio AMR-WB (Adaptive Multi-Rate WideBand) a diferencia de otros tiempos, los codecs son adaptables a las tasas hoy. AMR-WB puede codificar voz a una velocidad entre 6,6 y 23,85 kbit / s. En el extremo inferior, la calidad del sonido es bastante limitada, mientras que la codificación de una señal de voz muestreada a 16,000 Hz a 23,85 kbit / s da un resultado excelente. En la práctica, la mayoría de los operadores de red eligieron limitar AMR-WB a 12,65 kbit / s, ya que parece que hay poco ganado en términos de calidad de voz más allá de esa velocidad de datos.

Se ha participado dentro del grupo de trabajo de pruebas de laboratorio que una empresa multinacional ha realizado en Argentina, se ha realizado un paper al respecto con detalles de las pruebas que se adjunta en el Anexo III del “Cuerpo de Anexo” del documento.

### **3.10. Estudio y descripción de la evolución de los servicios en los próximos 3 años en Argentina**

De acuerdo con lo propuesto en el punto “evolución de los servicios en los próximos 3 años” del cronograma de trabajo, desarrollamos el tema.

El tema de la prospectiva de las de comunicaciones celulares está directamente asociado a lo que ya oportunamente se ha explicado acerca de los organismos de estandarización entre los cuales se ha mencionado el 3GPP.

Cuando se habla de 3G, 4G o 5G, estos nombres no son suficientes para definir las prestaciones del servicio. Para definir las debemos mencionar a qué release se refiere. De

hecho, si se menciona el release se pueden determinar las prestaciones de un equipo o un servicio (si es 3G, 4G o 5G).

También se debe tener en cuenta que en la prestación del servicio intervienen dos equipos que interactúan, por un lado, el equipo del proveedor y por el otro el terminal del usuario. Tanto uno como el otro deben soportar las prestaciones que el release indica.

Por ello entonces encontraremos varios tipos de roadmap, el de liberación de las normas a los fabricantes, el de tecnologías de proveedores de fabricantes de equipo, de equipos de proveedores para carriers, de terminales de clientes, de prestación de los servicios de carriers.

En este caso se considera especialmente la liberación de los estándares por parte de los organismos de estandarización (Releases), pues son los disparadores de todos los procesos posteriores.

El proceso completo de un release se desarrolla de la siguiente forma:

Los organismos de estandarización determinan las prestaciones que va a tener cada release en función del estado del arte de la tecnología para los próximos años.

A partir de allí se redactan las normas, teniendo en cuenta las posibilidades tecnológicas futuras (que en general se basa en los roadmaps de fabricantes de chips y de equipos).

Para que esas normas se conviertan en una prestación, los fabricantes desarrollan lo especificado y se lo ofrece a los carriers para la prestación del servicio.

En esta situación el proveedor de servicios toma las nuevas versiones y las lleva al ámbito de laboratorio para realizar pruebas de sus prestaciones. En general estas pruebas se hacen con fuerte soporte del proveedor de tecnología

Por último, el operador comienza el despliegue de la tecnología para su explotación comercial.

La aparición de un producto en el mercado está regulada por las reglas de la competencia, si algún proveedor de servicios se adelanta en alguna prestación nueva, esto acelera los procesos del resto de los prestadores para la implementación de estas, de manera de no perder mercado.

En el siguiente gráfico podemos ver la evolución de las prestaciones en el camino al reléase 16 (5G):

## Progress LTE capabilities towards 5G In parallel driving 4G and 5G to their fullest potential

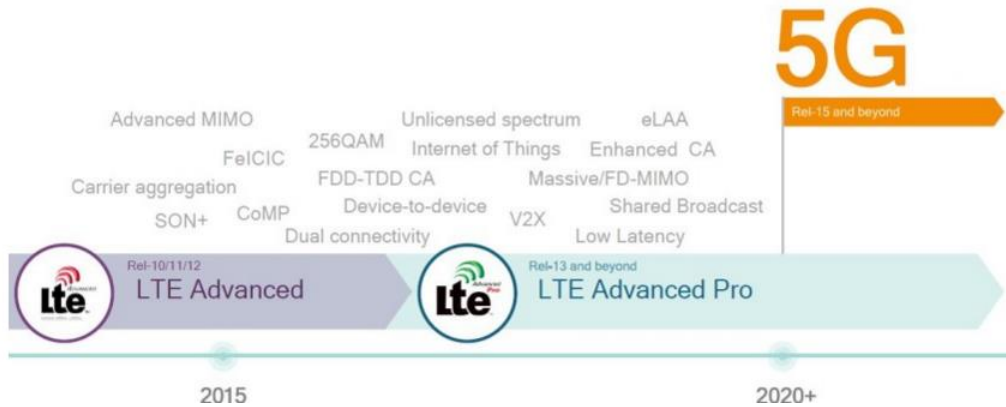


Figura 33: Evolución de capacidades

LTE Advanced Pro (LTE-A Pro, también conocido como 4.5G, 4.5G Pro, 4.9G, Pre-5G, Proyecto 5G) es un indicador especificado en las versiones 13 y 14 de 3GPP. Es la evolución natural de Long Term Evolution (LTE).

Incorpora muchas tecnologías que se usarán en 5G, incluyendo la modulación 256-QAM, MIMO masivo, LTE en espectro no sometido a licencia, IoT LTE, y otras, para ir adaptando las redes existentes a la 5G.

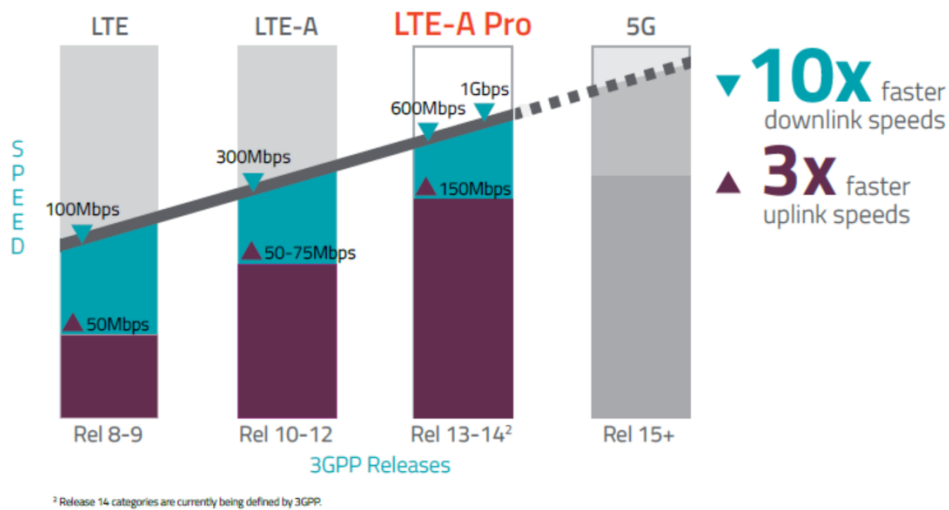


Figura 34: Velocidad en función de los Releases de 3GPP

Carrier Aggregation: disponible para hasta 5 portadoras con ancho de banda de 20MHz con LTE-Advanced, la agregación de portadoras permite la transmisión de frecuencias combinadas en paralelo, brindando un mayor rendimiento. Sin embargo, LTE-Advanced

Pro aumenta esto a 32 portadoras, cada una con un ancho de banda de 100MHz, ofreciendo un ancho de banda agregado máximo de 640 MHz.

Mayor capacidad de red y eficiencia: LTE-Advanced Pro duplica aproximadamente la capacidad de la red sin la necesidad de ningún espectro adicional o estaciones base.

Además de soportar Time-Division Duplex (TDD) y Dúplex por División de Frecuencia (FDD)

Por otro lado, el uso de antenas MiMo 4x4 aumenta la capacidad permitiendo múltiples señales de transmisión y recepción simultáneamente.

Finalmente, un esquema de modulación de 256 QAM (un aumento de 64) hace posible transportar más bits de datos por símbolo, aumentando throughput y haciendo un mejor uso del espectro.

Otros beneficios ofrecidos por LTE-Advanced Pro sobre las tecnologías LTE anteriores incluyen una mayor duración de la batería de terminales de usuario (hasta 10x).

También permite a las organizaciones privadas aprovechar el intercambio de espectro para establecer redes LTE privadas, sin tener que comprar una licencia de espectro.

LTE IoT: LTE IoT es un conjunto de dos tecnologías complementarias de banda estrecha, eMTC (Enhanced machine type communications) y NB-IoT, que hoy comienza a conectar el IoT en forma masiva.

Cellular-V2X (C-V2X): C-V2X conecta los vehículos a todo para no solo respaldar mejor la seguridad vial de los automóviles, sino también allanar el camino hacia el futuro de la conducción autónoma. Rel-16 + 5G NR C-V2X mantendrá la compatibilidad con versiones anteriores de Rel-14 C-V2X.

Gigabit LTE: Gigabit LTE está aquí ahora y ofrece una experiencia móvil 5G sin inconvenientes. Complementa las implementaciones de 5G NR (5G New Radio) que comenzarán en 2019 y continúa evolucionando para alcanzar velocidades de 2 Gbps.

Private LTE Network: Implementa una red on-premise optimizada y dedicada para casos de uso de IoT industriales.

La red privada LTE optimiza el rendimiento para una amplia variedad de casos de uso de IoT industrial utilizando equipos dedicados administrados localmente. La red privada 5G NR permitirá servicios avanzados como Ethernet industrial inalámbrica.

Gigabit LTE con LAA:

El acceso asistido con licencia (LAA) se introduce en la versión 13 de 3GPP como parte de LTE Advanced Pro. Utiliza la agregación de operadores en el enlace descendente para combinar LTE en espectro sin licencia (5 GHz) con LTE en la banda autorizada. Esta agregación de espectro proporciona un tubo más grueso con velocidades de datos más rápidas y una experiencia de usuario más receptiva. Por ejemplo, un operador de telefonía móvil que use LAA puede admitir Gigabit Class LTE con tan solo 20 MHz de espectro con licencia. Al mantener un anclaje persistente en el espectro de la licencia que transporta toda la información de control y señalización, la experiencia del usuario es perfecta y confiable.

### 5G Fase 1 - Releases 15 y Fase 2 - Releases 16

El término 5G se abrevia como Quinta generación de sistemas inalámbricos móviles. Se espera que sea un gran paso, ya que promete ofrecer altas tasas de datos junto con otros servicios de vanguardia.

Las especificaciones aún están en desarrollo y se espera que se implementen para 2020. Cuando inicialmente se implemente 5G, no se espera que la cobertura sea plena. los terminales tendrán que funcionar en modo 5G cuando puedan y volverán a 4G, 3G o incluso 2G.

Si bien no vamos a entrar en mayor profundidad, los siguientes gráficos nos muestran el roadmap de las normativas de 5G.

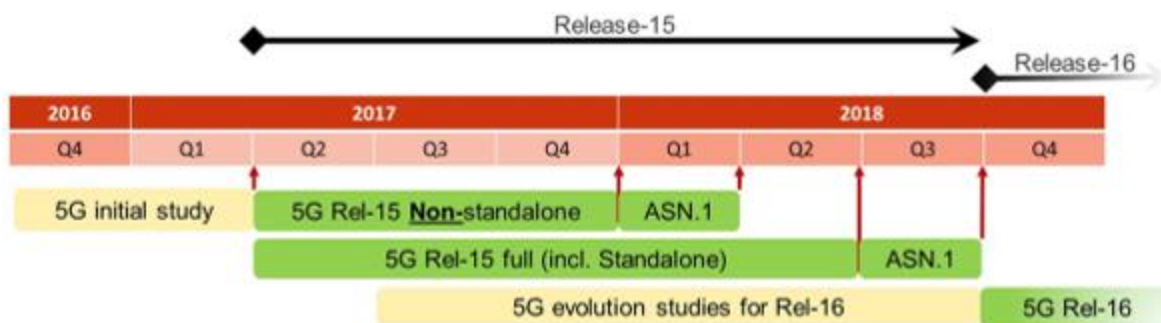


Figura 35: Roadmap de las normativas de 5G

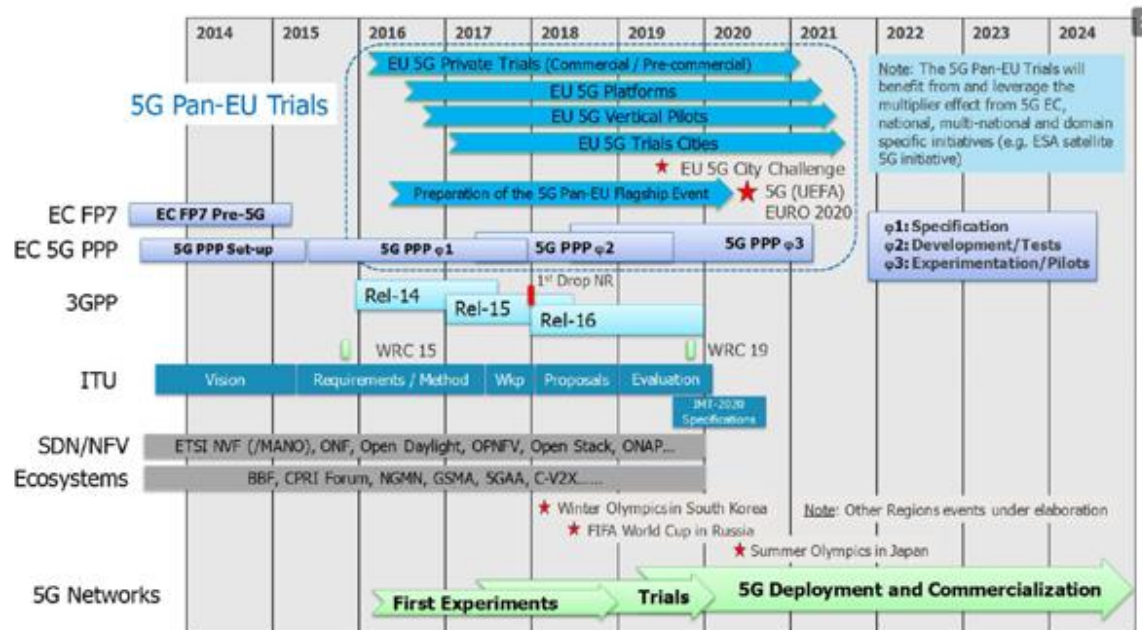


Figura 36: Roadmap de las normativas de 5G

## 5G TRIALS

### a. AT&T 5G Trials

Los ensayos 5G de AT&T están ayudando con contribuciones a los estándares 5G 3GPP. AT&T ha estado probando equipos inalámbricos fijos 5G con distintos proveedores, y mostró las posibilidades de la tecnología de acceso por radio de onda milimétrica (mmWave) para las redes del futuro.

AT&T y partners como Ericsson, Samsung, Nokia e Intel han estado probando la tecnología fija de mmWave, que puede entregar velocidades de varios gigabits utilizando una banda de espectro no desarrollada. Estas pruebas de 5G incluyeron la transmisión de video, descargas y experiencias de conferencias y velocidades de carga y descarga de alrededor de 1Gbps.

En 2017, AT&T probó los servicios de entretenimiento de la próxima generación en conexiones fijas 5G, brindando valiosas lecciones sobre cómo la tecnología inalámbrica fija de mmWave maneja el tráfico de video pesado.

Durante ese mismo año, AT&T colaboró con Intel y Ericsson en las pruebas de mmWave en una experiencia de red 5G ultrarrápida. Clientes residenciales, de pequeñas empresas y empresariales participantes transmitieron el servicio premium de televisión en vivo y experimentaron servicios rápidos de banda ancha a través de una red inalámbrica fija 5G.

A principios de dicho año, AT&T junto con Qualcomm y Ericsson realizaron ensayos inalámbricos móviles y fijos basados en la especificación 5G New Radio (5G NR). Los ensayos probaron soluciones inalámbricas móviles y fijas que operan en el espectro de

mmWave, mostrando las nuevas tecnologías de radio de 5G mmWave para aumentar la capacidad de la red y al mismo tiempo lograr velocidades de datos de varios gigabits.

#### **b. Sprint 5G Trials**

Sprint ha estado trabajando activamente con organismos de estandarización para ayudar a desarrollar el estándar global 5G.

En junio de 2016, Sprint demostró 5G en un evento público a gran escala. Esta versión de prueba 5G, coordinada con Nokia, utilizó el espectro de 73 GHz mmWave para ofrecer velocidades máximas de descarga de más de 2 Gbps. Los asistentes experimentaron un sistema en vivo de realidad virtual (VR) en vivo y altamente receptivo, así como también un video transmitido en vivo en 4K ultra HD.

#### **c. Verizon 5G Trials**

En 2017, Verizon probó el servicio 5G inalámbrico con clientes en 11 ciudades, marcando el movimiento serio del proveedor hacia el futuro 5G. Esos clientes experimentaron un servicio de Internet que proporcionó una velocidad y capacidad de respuesta significativamente más altas, a velocidades de 1 Gbps o más rápidas.

Verizon también se embarcó en pruebas 5G con Intel y Ericsson en una prueba residencial 5G con un hogar conectado a 5G que demostró cómo los consumidores podrán aprovechar al máximo las futuras velocidades de 5G multigigabit con baja latencia y alta capacidad.

Otra prueba anterior involucró a Verizon que se asoció con Nokia para probar el potencial de "banda ancha extrema" de 5G, en el que el acceso por cable de banda ancha a edificios residenciales y comerciales fue reemplazado por inalámbrico. La solución de banda ancha inalámbrica 5G entregó contenido de video Ultra HD 4K en múltiples dispositivos con velocidad de tráfico y rendimiento de datos superiores.

#### **d. Trial 5G en Argentina**

A principio de noviembre de 2017, Movistar y Ericsson realizaron la primera demostración de 5G en el país. Para esta demo, se utilizó el espectro de 28 GHz mmWave y se lograron velocidades superiores a 20 Gbps. Se pudo verificar también el uso de Massive MIMO, massive beamforming, Distributed MIMO, Multi-user MIMO y beam tracking. Todas estas funcionalidades son requisitos clave para las futuras aplicaciones de 5G.

<https://www.baenegocios.com/negocios/EI-5G-comienza-a-dar-sus-primeros-pasos-en-el-pais-20171108-0064.html>

<http://www.lanacion.com.ar/2080471-hicieron-la-primera-prueba-publica-de-una-conexion-5g-en-la-argentina>

[https://www.clarin.com/economia/estiman-5g-operativo-2020\\_0\\_Hy7bKGvyG.html](https://www.clarin.com/economia/estiman-5g-operativo-2020_0_Hy7bKGvyG.html)

<http://www.perfil.com/tecnologia/por-primera-vez-se-realizo-una-prueba-publica-de-5g-en-la-argentina.phtml>

<http://www.tynmagazine.com/movistar-y-ericsson-mostraron-con-exito-5g-en-argentina/>

<http://www.convergencialatina.com/Nota-Desarrollo/206075-12-23->

[Ericsson y Movistar realizaron la primera prueba 5G?Lang=SP&SMMK=4318.46515984954w.FhP5VAi6U1](http://www.convergencialatina.com/Nota-Desarrollo/206075-12-23-Ericsson_y_Movistar_realizaron_la_primer_a_prueba_5G?Lang=SP&SMMK=4318.46515984954w.FhP5VAi6U1)

## ROADMAP DE TERMINALES DE CLIENTES

Como hemos dicho el roadmap implica tanto equipos de carrier como terminales de cliente, en esta parte dado que hay una gran cantidad de terminales y a lo a los efectos de darle trato al roadmap de los terminales sólo nos focalizaremos en dos de ellos que son muy representativos el iPhone y Samsung.

### a. IPHONE

Con respecto a iPhone debemos aclarar que utiliza módems de distintos fabricantes, con diferencias en sus prestaciones.

***iPhone 8 y 8 Plus:*** Incorpora el módem Cat 16 LTE, 2x2 MIMO antenas con soporte de hasta cuatro agregaciones de operador (4CA) y logra velocidades teóricas de 800 Mbps.

***iPhone X:*** Incorpora el módem Cat 16 LTE 4x4 MIMO antenas con soporte de hasta cuatro agregaciones de operador (4CA) y logra velocidades teóricas de 1 Gbps.

***iPhone 12 (Futuro):*** Los desarrollos futuros de los proveedores son secretos estrictos, con lo cual lo que pondremos aquí son especulaciones sobre el posible futuro.

Intel prometió un módem LTE de 1,6 Gbps programado para mediados de 2019, justo cerca del tiempo para el posible lanzamiento de un iPhone 12. Esa es la conexión LTE más rápida conocida como promesa hasta el momento.

El Intel XMM 7660 es el primer módem LTE de categoría 19, de 1,6 Gbps que se ha escuchado.

Intel, por supuesto, no mencionó a Apple en su anuncio. Pero Apple es, por mucho, el cliente de módem de teléfono inteligente 4G más grande de Intel, por lo que sería razonable pensar que lo incorporaría.



## **b. SAMSUNG**

**Samsung's Galaxy S8:** El Samsung Galaxy S8 fue uno de los primeros en admitir velocidades Gigabit, especialmente a través de 3x Carrier Aggregation, 4x4 MIMO, 256 QAM.

Incorpora el módem Cat 16 pudiendo llegar a velocidades teóricas de 1 Gbps.

**Samsung Galaxy S9:** Fecha estimada de lanzamiento Febrero/Marzo 2018

Incorpora el módem Cat 18 LTE con soporte de hasta seis agregaciones de operador (6CA) y logra velocidades teóricas de 1.2 Gbps.

### **3.11. Estudio de las mejores prácticas para la implementación de servicios 4G**

De acuerdo con lo propuesto en el punto “Estudio de las mejores prácticas” del cronograma de trabajo, desarrollamos el informe de mejores prácticas.

Las mejores prácticas para la implementación de servicios LTE, podemos dividirlos en distintos aspectos.

- Instalaciones radioeléctricas.
- IMS
- VOLTE
- Carrier Agregation
- Small Cells
- Las redes heterogéneas (HetNet)
- Tecnología SON (Self-Organizing Network)
- Backhaul
- MIMO
- Time to market

#### **Cobertura de radio**

El primer aspecto que se considera en las mejores prácticas es la cobertura del equipamiento radioeléctrico.

Sobre esta temática, si bien hay aspectos específicos de 4G, en general las mejores prácticas de las instalaciones radioeléctricas se apoyan en las mejores prácticas de las tecnologías previas de telefonía celular. Este es un área en la que el mercado cuenta con mucha experiencia previa.

Entre los temas importantes del enlace radioeléctrico tenemos que tener en cuenta:

- Propagación
- Ganancia de las antenas.
- Potencia de transmisión.
- Altura de las torres.
- Cantidad de usuarios conectados en cada antena.

En el punto Tecnología SON (Self-Organizing Network) encontraremos la tecnología que mide los parámetros radioeléctricos y toma acciones sobre la totalidad de estos parámetros (potencia, ganancia de las antenas, etc.) de manera de optimizar en forma automática la cobertura con el máximo de eficiencia.

Los parámetros que más hay que considerar en las mejores prácticas son:

- Mitigación de ruido
- Mitigación de interferencia
- Cómo evitar la Intermodulación pasiva (PIM: Passive intermodulation)
- Selección e implementación de tecnología de la antena
- Tecnología actual de co-ubicación.

### **Necesidad de IMS**

Para la implementación de voz en 4G o sea voz sobre LTE es necesario que los carriers pongan en servicio el esquema de gestión llamado IMS (IP Multimedia Subsystem) que es el que permite la implementación de voz sobre LTE.

Este es un sistema de gestión muy sofisticado, una de las empresas que operan en Argentina ha avanzado en el tema y es probable que próximamente lo ponga en servicio comercial.

IMS es el sistema de gestión futuro de las comunicaciones, por lo que su implementación por parte de los carriers es imprescindible.

### **Voice over LTE (VoLTE)**

En las mejores prácticas tenemos que hacer un párrafo aparte para el tema VoLTE.

VoLTE es la tecnología que permite realizar comunicaciones de voz sobre redes LTE. Consiste en una comunicación sobre IP similar a la utilizada en voz sobre IP (VoIP).

Al igual que VOIP, VoLTE tiene una señalización SIP, pero en este último caso utiliza servidores de gestión de IMS, permitiendo comunicaciones con todo tipo de telefonía, teléfonos fijos, tecnologías celulares, etc.

VoLTE, utiliza códecs de última generación, pudiendo llegar hasta 7 kilohertz de ancho de voz lo cual permite voz de alta calidad.

Cuando los carriers de telefonía celular vuelquen todos sus servicios a VoLTE, podrán eliminar las tecnologías anteriores, pudiendo disponer de ese espectro para mejorar sus servicios. El uso de tecnología IP permite un aprovechamiento mayor del ancho de banda aumentando la cantidad de usuarios por MHZ en al menos un orden de magnitud.

Actualmente hay más de 102 redes comerciales VoLTE en 54 países.

VoLTE en Argentina:

En la actualidad en Argentina las comunicaciones de voz no se realizan por la red LTE, a diferencia de los datos que si lo hacen. Las comunicaciones de voz en los celulares todavía se realizan sobre redes 3G en paralelo con los datos que si van sobre redes LTE.

VoLTE es un servicio que no se está brindando aún en Argentina a clientes, en la actualidad todo lo que es voz en telefonía celular en Argentina (salvo experiencias piloto) se está dando con tecnologías legacy.

Al menos una de las empresas de Argentina ya lo tiene instalado y en funcionamiento, pero en pruebas piloto.

Con la implementación de VoLTE, el usuario final va a notar una importante mejora en la calidad de la voz, en el caso de que la comunicación sea con otro terminal VoLTE, y que los carriers no limiten el ancho de banda desde el sistema IMS.

Queda claro que dentro de las mejores prácticas recomendadas está la rápida implementación y puesta en explotación de VoLTE para el servicio comercial de manera que los clientes finales puedan contar con voz de alta calidad. Esto por supuesto implica tener operativo previamente el sistema de gestión IMS.

La situación actual de competencia entre carriers será un catalizador de este servicio, debemos recordar que en Argentina (sin mencionar proveedores), siempre algún proveedor es más innovador que el resto y luego el resto de los proveedores para no quedar fuera de mercado lo tienen que seguir, tal como ocurrió oportunamente con la aparición del sistema 3G. Es altamente probable que esto también ocurra con VoLTE.

### **Carrier Agregation**

En LTE-Avance, la tecnología de red heterogénea se fusiona con Carrier Agregation, uno de los grandes habilitadores para disponer de velocidades de datos más rápidas. La agregación de operadores permite que el dispositivo móvil reciba varias señales 4G de diferentes frecuencias, todas a la vez.

En la versión LTE-Advanced Pro, la cantidad de portadores de componentes aumentará a 32 portadoras diferentes.

La tecnología de Carrier Agregation ya está disponible en los operadores, sin embargo, en el caso de Argentina todavía no ha sido liberado a la explotación comercial.

La rápida puesta en explotación comercial es una de las mejores prácticas altamente recomendadas.

### Celdas reducidas o Small Cells

Los distintos tipos de celdas que podemos encontrar en LTE son:

- Macrocells.
- Microcells.
- Picocells.
- Femtocells.

Las Microcells, Picocells y Femtocells son las que forman el grupo de las Small Cells.

Las características globales de cada una las podemos observar en el siguiente gráfico:





Indoor: 10-100mW Outdoor: 0.2-1W Coverage radius: 10s of meters	 Femto
Indoor: 100-250mW Outdoor: 1-5W Coverage radius: 10s of meters	 Pico
Outdoor: 5-10W Coverage radius: 100s of meters	 Micro
Outdoor: >10W Coverage radius: kilometer(s)	 Macro

Figura 37: Características de las celdas

Small Cells: Las Small Cells son pequeñas estaciones base celulares, son las herramientas que permiten la implementación de áreas con máximo nivel de cobertura y mayor cantidad de usuarios por área.

Son puntos de acceso de radio de baja potencia que mejoran la cobertura de redes móviles, con el fin de aumentar la capacidad y el tráfico de red a un menor costo.

Las Small Cells proporcionan un pequeño footprint de radio, que puede variar desde 10 metros dentro de las ubicaciones urbanas y en edificios hasta 2 km para una ubicación rural.

Dentro de las Small Cells encontramos la Microcells, Picocells y Femtocells.

LTE utilizan esquemas de modulación adaptativa, lo que significa que cuanto mejor sea la calidad de la señal, mayor será la velocidad de datos. Las “Small Cells” permite que los usuarios estén cerca de la celda contando con una alta calidad de señal, lo que además permite un menor consumo de la batería de nuestro terminal.

Además, los recursos de la celda son compartidos entre todos los usuarios de esta, lo que significa que la experiencia del usuario (QoE) es mejor cuando hay un pequeño número de usuarios “enganchados” a ella.

Al emitir con menos potencia y, en algunas ocasiones, utilizar antenas inteligentes que permiten la conformación del haz (beamforming), se reducen las interferencias entre celdas próximas, a la vez que se aumenta la calidad de la señal, redundando en un menor consumo de las baterías.

La tecnología Wi-Fi no se descarta como la solución a largo plazo de las redes LTE para descargar tráfico (off load) y es previsible que las Small Cells Wi-Fi y LTE se complementen entre sí en el mismo lugar, para resolver los problemas de capacidad en entornos de alta densidad de tráfico, en combinación con la infraestructura de Macrocells.

**Microcells:** Una Microcell es una célula de una red de telefonía móvil servida por una estación base celular de baja potencia montada en torre, que cubre un área limitada, como un centro comercial, un hotel o un centro de transporte. Una Microcell suele ser más grande que una Picocell, aunque la distinción no siempre es clara. Una Microcell usa control de potencia para limitar el radio de su área de cobertura.

**Picocells:** Una “Picocells” es una estación base celular pequeña que generalmente cubre un área pequeña. Normalmente, el rango de una Microcell tiene menos de dos kilómetros de ancho.

Las Picocells suelen utilizarse para extender la cobertura a áreas interiores donde las señales exteriores no alcanzan bien, o para agregar capacidad de red en áreas con un uso muy denso del teléfono, como estaciones de tren o estadios, oficinas, centros comerciales, bolsas de valores, etc. Los Picocells brindan cobertura y capacidad en áreas difíciles o costosas de alcanzar utilizando el enfoque de Microcells más tradicional.

**Femtocells:** Una Femtocell es una estación base pequeña en tamaño y potencia (Un eNodeB de hogar B (HeNB)), diseñada para el uso en hogares o negocios. Normalmente, se conecta a la red del proveedor de servicio a través de una conexión de banda ancha cableada, típicamente DSL o cable.

Una Femtocell permite a los operadores de servicio extender su cobertura en interiores, y que se liberen canales de comunicación en las estaciones base cercanas a ella.

La Femtocell incorpora la funcionalidad de una típica estación base, pero la amplía para permitir un despliegue más sencillo y autónomo. Un Femtocell contiene un eNodeB (la estación base propiamente dicha junto con un enlace troncal, normalmente ADSL).

Desde el punto de vista del cliente, una Femtocell ofrece mejoras en la cobertura del servicio móvil y una mejora en la calidad de las llamadas, a un coste de utilización de la infraestructura de acceso de banda ancha del cliente.

### **Las redes heterogéneas (HetNet)**

El concepto de redes heterogéneas (HetNet) introduce la utilización de Small Cells (micro, pico y femto), así como el uso de otras tecnologías de acceso que no pertenecen a la familia 3GPP, como por ejemplo, Wi-Fi.

En las redes heterogéneas, las “Small Cells” son un elemento fundamental, que ayuda a desatascar el tráfico mundial de datos móviles.

La utilización de este tipo de tecnología es fundamental para los operadores móviles, debido al gran aumento de su base de usuarios.

Una HetNet, comúnmente, está formada por múltiples tecnologías de acceso de radio, arquitecturas superpuestas, soluciones de transmisión y estaciones base de diversas potencias de transmisión.

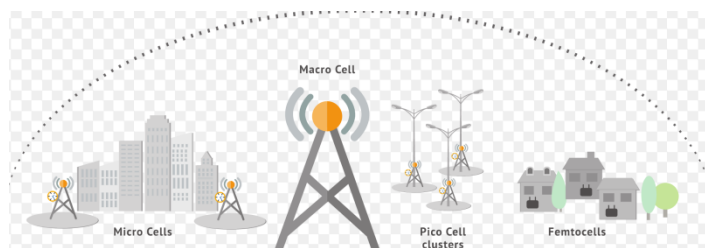
Este tipo de redes implica disponer de una red sobrepuesta a la red macro.

La introducción de Small Cells implica un aumento rápido en el número de puntos de acceso, para los cuales los carriers tendrán que ofrecer algún tipo Backhaul (fibra, cobre, inalámbrico, entre otros).

Para reducir el número de zonas de mala/baja cobertura y/o falta de capacidad, los operadores pueden desplegar un gran número de Small Cells, (típicamente entre 200 y 300 por cada celda macro) siendo ésta una de las posibles soluciones. Esta solución se usa tanto en el exterior (outdoor), espacios públicos urbanos y zonas rurales, como en el interior (indoor) de edificios, y haciendo uso de un Backhaul de microondas (IP MW) o de fibra óptica (FTTx) para transportar el tráfico generado.

En este tipo de red los operadores utilizan las Small Cells, añadidas sobre las celdas macro, esta solución es más compleja en términos de cobertura e interferencias, por lo que su planificación, gestión de canales radio y traspaso entre celdas (handover) resulta algo más complicada que en una red homogénea.

Las redes heterogéneas constituyen un medio interesante para expandir la capacidad de la red móvil.



**Figura 38: Redes heterogéneas**

### **Tecnología SON (Self-Organizing Network)**

Una red que implementa SON (Self-Organizing Network) es una tecnología de automatización diseñada para simplificar y agilizar la planificación, la configuración, la gestión, la optimización y la recuperación de las redes de acceso de radio móvil. La funcionalidad y el comportamiento de SON se han definido y especificado en recomendaciones de la industria móvil generalmente aceptadas, producidas por organizaciones como 3GPP (3rd Generation Partnership Project) y NGMN (Next Generation Mobile Networks).

Las estaciones base recién agregadas deben configurarse automáticamente en línea con un paradigma de "enchufar y usar", mientras que todas las estaciones base operativas regularmente optimizan automáticamente los parámetros y el comportamiento algorítmico en respuesta al rendimiento de la red y las condiciones de radio observadas. Además, se pueden activar mecanismos de autocuración para compensar temporalmente una interrupción del equipo detectada, mientras se espera una solución más permanente.

Además, se mejoran las prestaciones/rendimiento en el borde de las celdas, con lo que con el despliegue de estas últimas los usuarios localizados en él dejarán de recibir un pobre servicio, como sucede ahora.

Por su parte, "SON" ayuda a reducir los costos de operación de la red al disminuir la operación manual que requiere tiempo.

La tecnología SON incluye un portafolio de soluciones que ayudan a los operadores a discernir las estrategias más eficientes de despliegue y procesos de red, implementar nuevos elementos en la red con simplicidad "plug&play", automatizar tareas operacionales críticas, balancear el tráfico y capacidad, y automatizar parámetros claves que garantizan la calidad de la red, algo muy conveniente dada la complejidad de las redes de telecomunicación.

### **Backhaul (latencia, conexiones y ancho de banda)**

Las redes de backbone conectan redes de datos, redes de telefonía celular, y otros tipos de redes de comunicación, además de ser usadas para interconectar redes entre sí utilizando diferentes tipos de tecnologías alámbricas o inalámbricas.

Un ejemplo de red de backbone, lo constituye un radio enlace que conecta una estación base eNodeB con el resto de los elementos que conforman la red de teléfonos móviles.

En las redes inalámbricas es la parte más importantes de esta, ya que es el Core de la red. Esto significa que la red posee una parte esencial (fibra óptica, radios, antenas, etc.) para que pueda realizar las comunicaciones necesarias. "Mobile Backhaul" es el medio por el que las estaciones celulares se conectan al centro de conmutación del operador móvil sobre una variedad de medios.

La transformación del Backhaul de la estación base en IP marca tanto la evolución de la red como una revolución tecnológica.

De hecho, la mayoría de los operadores actualmente implementan dispositivos MPLS PTN para redes de Backhaul móvil. El túnel PWE3 se adopta en MPLS PTN para garantizar que la capa portadora esté unificada.

PWE3 transmite servicios TDM, ATM o Ethernet en Backhaul y simplifica el acceso de la estación base a las redes portadoras IP. El PTN está estructurado de manera similar a los anillos jerárquicos de las redes SDH, lo que reduce la complejidad general del mantenimiento.

Esta tecnología esta especificada en el MEF (Metro Ethernet Forum) en su especificación Carrier Ethernet 2.0. Si bien MEF es agnóstico respecto de las tecnologías con que se da el servicio, es estricto respecto de sus prestaciones.

Existe una certificación del MEF que permite a los operadores indicar que están certificados (podemos hacer una analogía con la certificación ISO 9000), en Argentina no hay redes ME certificadas CE 2).

Esto es de particular relevancia para los operadores móviles que evolucionan sus redes, ya que brinda soporte para niveles de tráfico prioritario como se detalla en las especificaciones LTE, como alta prioridad para transmisión de video y tráfico de señalización y menor prioridad para tráfico menos dependiente del tiempo como navegación web

MEF ha definido ocho tipos de servicio diferentes dentro del programa de certificación CE2.0, brindando al operador una amplia gama de opciones de servicio.

Forma parte de las mejores prácticas que el backbone este certificada.

Adicionalmente una red de backbone debe poder soportar para cada eNodeB, la cantidad de usuarios simultáneos que éste soporte, el ancho de banda máximo para cada usuario, y una latencia acorde a sus requerimientos.



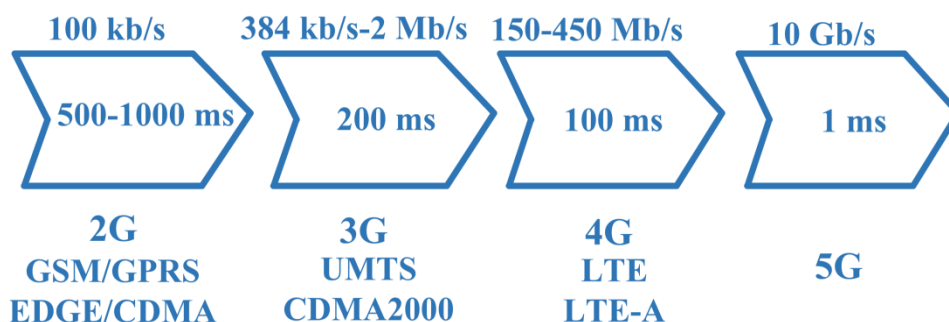
Latencia: En los días de Backhaul móvil basado en TDM, la latencia era relativamente fija en función de la fibra / cobre y las demoras de hardware que eran razonablemente constantes.

Sin embargo, a medida que el Backhaul se movía a Ethernet, la complejidad del hardware aumentaba, con el potencial de una mayor latencia si no se manejaba con cuidado. Además, debido a la naturaleza del hardware Ethernet de Capa 2, la variación en la latencia a través del hardware a lo largo del tiempo también se convierte en un factor significativo, conocido como jitter.

Conexiones: 4G en el caso de Macrocells debe poder soportar miles de conexiones para cada celda.

Ancho de banda: El ancho de banda de cada usuario en 4G puede ir desde 150 a 450 Mbps, dependiendo de la implementación. El Backhaul debe poder transportar los anchos de banda de todos los usuarios que se conecten simultáneamente respetando la latencia.

El siguiente grafico muestra las necesidades de latencia de las distintas generaciones de telefonía celular.



**Figura 39: Necesidades de latencia**

Estos tiempos de latencia son cumplidos por los principales proveedores de 4G, sin embargo, la mayoría de los proveedores si bien se acercan a estos valores, no la cumplen en todas sus estaciones.

Cumplir con estos valores e incluso mejorarlos está dentro de las mejores prácticas.

### Implementación de MIMO

MIMO (Múltiples Entradas, Múltiples Salidas) es una técnica que utiliza múltiples antenas de transmisión y recepción para aumentar en gran medida la capacidad y la cobertura de un sitio celular.

Es muy importante tanto desde el punto de vista del terminal como de las antenas del cliente, avanzar al máximo posible en los esquemas de tipo MIMO. Teniendo en cuenta la cantidad de antenas que interactúan nos aumenta el ancho de banda disponible.

MIMO explota la propagación multitrayecto para enviar y recibir simultáneamente más de un flujo de datos (ya sea una señal o varias señales) a través de un canal determinado, multiplicando efectivamente la capacidad de ese canal y aumentando enormemente el rendimiento de la red.

En la práctica real, el rendimiento de MIMO es extremadamente sensible a la interferencia. Los beneficios teóricos de la implementación de MIMO son altísimos sin embargo una alta relación señal-interferencia-más-ruido (SINR) es crítica para lograr los máximos beneficios de MIMO.

Una SINR mayor de 20 dB es ideal, lo que permite un rendimiento y mejoras de QoS que se acercan a los límites teóricos y cuando SINR desciende a unos 15 dB, estos beneficios prácticamente desaparecen. Con un SINR de 10 o menos, MIMO puede incluso degradar el rendimiento en comparación con los modos de transmisión más simples como la diversidad de transmisión o los sistemas SISO (salida única de entrada única).

Para lograr el máximo potencial de MIMO, la interferencia (incluida la PIM) debe mantenerse en un mínimo absoluto, un objetivo que respalda muchas de las mejores prácticas de LTE además de MIMO.

MIMO aumenta la capacidad y la cobertura, una ventaja fundamental para las redes LTE de rápido crecimiento.

Implementar MIMO en un sitio existente de 2x2 permitiría duplicar la capacidad y en el caso de 4x4 cuadruplicarlo.

La evolución de esta técnica consiste en aumentar la relación NxN en la medida que la evolución de la tecnología lo permita.

### **Disminución del Time to Market por parte de los carriers**

Uno de los puntos clave de las mejores prácticas es que los Carriers hagan las inversiones para realizar el despliegue del equipamiento necesario para las coberturas mencionadas que disminuyan al máximo el time to Market que es el tiempo que transcurre entre que el proveedor de tecnología le provee equipos con las últimas actualizaciones y el momento en el que los carriers ponen estas tecnologías al servicio de los clientes. En el caso de Argentina se ha notado que éste Time to Market es un tanto elevado. Si bien se entiende que poner nuevas prestaciones en servicio implica un riesgo operativo importante, cuando hablamos de un time to Market elevado se refiere a valores relativos frente a países más avanzados.

Las mejores prácticas consisten en un conjunto de soluciones para aumentar la capacidad de atención de clientes simultáneos, con la mayor velocidad posible, la mejor calidad y la mayor disponibilidad posible.

Todo esto se logra con distintas implementaciones que actuando de manera conjunta permiten lograr el objetivo deseado.

A continuación, se muestra un resumen de los ítems mencionados como mejores prácticas:

- Cobertura radioeléctrica: Optimizar la parametrización de los sistemas de radio, apuntando a soluciones SON (Self Organization Network).
- Necesidad de IMS: Puesta en explotación comercial del sistema IMS.
- VoLTE: A partir de la implantación de IMS dar el servicio VoLTE.
- Small Cells: Despliegue masivo de Small Cells como camino para mejorar la calidad de servicio.
- Implementación de redes heterogéneas: Despliegue masivo de redes heterogéneas como camino para mejorar la calidad de servicio.
- MIMO: Implementar la relación NxN de antenas, (4 x 4, 8 x 8, en la medida que esté disponible) de manera de multiplicar los Mbps/Hz ofrecidos.
- Agregación de portadoras en múltiples bandas (Carrier Agregation):
- Backhaul de: baja latencia, alto ancho de banda para todas las conexiones simultaneas y certificada CE 2.0.
- Despliegue de redes heterogéneas (HetNet): Permite topologías de red de mayor capacidad. mezclan las macro estaciones base convencionales con Small Cells para mejorar la cobertura y prestaciones, tanto en interiores como en exteriores, facilitando al mismo tiempo la operación y mantenimiento de la red. Este tipo de redes mejora el nivel de potencia sobre los terminales de usuarios, permitiendo que se utilicen las modulaciones más sofisticadas y por lo tanto más bps/Hz por antena.
- Implementación de la tecnología “SON” (Self Organizing Network) que provee a los operadores de estrategias más eficientes de despliegue y procesos de red, implementar nuevos elementos en la red con simplicidad “plug&play”, automatizar tareas operacionales críticas, balancear el tráfico y capacidad, y automatizar parámetros claves que garantizan la calidad de la red.
- Implementación del máximo potencial de MIMO, la interferencia (incluida la PIM) debe mantenerse en un mínimo absoluto.
- Disminución del Time to Market, por parte de los carriers para que los servicios disponibles lleguen rápidamente a los usuarios.

## **Conclusiones de las mejores prácticas**

Con la implementación de estas mejores prácticas se mejora la experiencia del usuario y aumenta la satisfacción del cliente.

A través de estas mejores prácticas se podrá revertir la percepción y realidad indiscutible de que en el mercado argentino los anchos de banda de 4G son bajos respecto de otros países de este o superior nivel de desarrollo.

Por otro lado, la implementación de lo recomendado como mejores prácticas es el camino que permitirá llegar rápidamente al 5G como se ha visto en el punto roadmap de este documento.

Las mejores prácticas mencionadas en este documento dan un amplio panorama de hacia dónde deben ir las redes LTE, cada una de las practicas acá mencionadas tiene un nivel de desarrollo muy alto que escapan a las posibilidades de este documento.

## **3.12. Bibliografía**

1. (3GPP TS 36.413 version 10.9.0 Release 10) LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP).
2. (3GPP TS 36.331 version 10.19.0 Release 10) LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC) Protocol specification.
3. <http://howltestuffworks.blogspot.com.ar/2014/10/carrier-aggregation-secondary-cell.html>.
4. <http://www.3gpp.org/keywords-acronyms/1612-ue-category>.
5. Chris Johnson, 2012, Long Term Evolution in BULLETS - 2nd Edition, Inglaterra, Independiente.
6. <http://howltestuffworks.blogspot.com.ar/2011/10/ue-capability-information.html>.
7. [http://www.sharetechnote.com/html/Handbook\\_LTE\\_UE\\_Capability.html](http://www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE_UE_Capability.html).
8. Anders Hedlund y Irina Cotanis, 2014, Introduction to Carrier Aggregation Testing, Ascom.
9. <http://es.slideshare.net/veermalik121/throughput-calculation-for-lte-tdd-and-fdd-system>.
10. (3GPP TS 36.213 version 10.13.0 Release 10) LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures.
11. <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/101-carrier-aggregation-explained>,

### 3.13. Glosario / Definiciones

3GPP	3rd Generation Partnership Project
ABS	Almost Blank Subframes
AMR-WB	Adaptive Multi-Rate WideBand
ACK	acknowledge
ANR	Automatic Neighbour Relation
ATBC	Aggregated Transmission Bandwidth Configuration
AWS	Advanced Wireless Services
BBU	Baseband Unit
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
CA	Carrier Aggregation
CDMA	Code division multiple access
CN	Core Network
CoMP	Coordinated Multi-Point transmission
CSFB	Circuit Switched FallBack
CSG	Closed subscriber group
DL	Downlink
DL-SCH	Downlink Shared Channel
eNodo B	Evolved Node B
ENB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
E-UTRA	Evolved UMTS Radio Access
E-UTRAN	Evolved UMTS Radio Access Network
FDMA	Frequency-division multiple access
FDD	Frequency Division Duplex
GUTI	Globally Unique Temporary Identifier
HSS	Home Subscriber Server
ICIC	Inter-Cell Interference Coordination
IMT-A	International Mobile Telecommunications-Advanced
IoT	Internet of Things
ITU	International Telecommunication Union
ITU-R	ITU Radiocommunication Sector
MAC	medium access control
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Services
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
MSC	Modulation and Coding Scheme
NACK	No acknowledge
NAS	Non-Access Stratum
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiple
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OTDOA	Observed Time Difference Of Arrival

PCELL	Primary Cell
PDN	Packet Data Network
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PHICH	Physical Hybrid-ARQ Indicator Channel
PMCH	Physical Multicast Channel
PRB	Physical Resource Block
PRS	Positioning Reference Signals
PUCCH	Physical Uplink Control Channel
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
PWS	Public Warning System
QAM	Quadrature amplitude modulation
RACH	Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
rB	Resource Block
RF	Radio Frecuencia
RNC	Radio Network Controller
RRC	Radio Resource Control
RRHs	Remote Radio Heads
RRU	Remote Radio Unit
SAE	System Architecture Evolution
SCell	Secondary Cell
SC-FDMA	Single Carrier - Frequency Division Multiple Access
SON	Self-Organizing Network
SSMA	Spread spectrum multiple access
TA	Tracking Area
TBS	Transport Block Size
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time division multiple access
TTL	Transmit Time Interval
UE	User Equipment
UL-SCH	Uplink Shared Channel
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UP	Uplink
UTRAN	UMTS Radio Access Network
VoLTE	Voice over LTE
VoLGA	Voice over Lte Generic Access
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

### 3.14. Documentación complementaria

#### a. Modulación OFDM

#### Modulación en sistemas de acceso múltiple

En LTE se encuentra un modelo de acceso múltiple. Los principios básicos de modulación de acceso múltiple son:

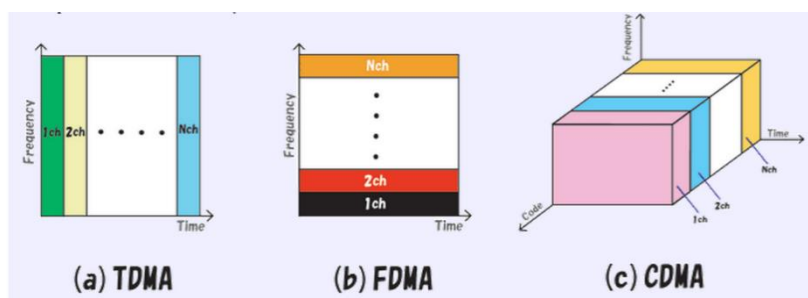


Ilustración 1: Tipos de modulación

#### Time division multiple access (TDMA)

El acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) es un método de acceso a canales para redes de medios compartidos. Permite a varios usuarios compartir el mismo canal de frecuencia dividiendo la señal en diferentes intervalos de tiempo. Los usuarios transmiten en sucesión rápida, uno tras otro, cada uno usando su propio intervalo de tiempo. Esto permite que múltiples estaciones compartan el mismo medio de transmisión (por ejemplo, un canal de radiofrecuencia) mientras que usan solamente una parte de su capacidad de canal. TDMA se utiliza en los sistemas celulares 2G digitales como el Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM), IS-136, Personal Digital Celular (PDC) e iDEN, y en el estándar Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) para teléfonos portátiles. También se utiliza extensivamente en sistemas de satélites, sistemas de radio de combate y redes de PON para el tráfico ascendente de las instalaciones al operador.

#### Frequency-division multiple access (FDMA)

El esquema de acceso de canal de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) se basa en el esquema de multiplexación por división de frecuencia (FDM), que proporciona diferentes bandas de frecuencia a diferentes flujos de datos. En el caso FDMA, los flujos de datos se asignan a diferentes nodos o dispositivos. Un ejemplo de sistemas FDMA fueron los sistemas de telefonía celular de primera generación (1G), donde cada llamada

telefónica fue asignada a un canal de frecuencia de enlace ascendente específico, y otro canal de frecuencia de enlace descendente. Cada señal de mensaje (cada llamada telefónica) se modula en una frecuencia portadora específica.

Una técnica relacionada es el acceso múltiple por división de longitud de onda (WDMA), basado en multiplexación por división de longitud de onda (WDM), donde diferentes flujos de datos obtienen diferentes colores en las comunicaciones de fibra óptica. En el caso WDMA, diferentes nodos de red en una red de bus o hub obtienen un color diferente.

Una forma avanzada de FDMA es el esquema ortogonal de acceso múltiple por división de frecuencia (OFDMA), por ejemplo, utilizado en sistemas de comunicación celular 4G. En OFDMA, cada nodo puede usar varias subportadoras, lo que hace posible proporcionar diferentes calidades de servicio (diferentes velocidades de datos) a diferentes usuarios. La asignación de subportadoras a los usuarios se puede cambiar dinámicamente, en base a las condiciones actuales del canal de radio y a la carga de tráfico.

### **Code division multiple access (CDMA)/Spread spectrum multiple access (SSMA)**

El esquema de acceso múltiple por división de código (CDMA) se basa en el espectro ensanchado, lo que significa que se utiliza un espectro de radio más amplio en Hertz que la velocidad de datos de cada uno de los flujos de bits transferidos y varias señales de mensaje son transferidas simultáneamente sobre la misma frecuencia portadora, utilizando diferentes códigos de ensanchamiento. El amplio ancho de banda hace posible enviar con una muy pobre relación señal-ruido de mucho menos de 1 (menos de 0 dB) de acuerdo con la fórmula Shannon-Heartly, lo que significa que la potencia de transmisión puede reducirse a un nivel por debajo del nivel de ruido e interferencia de otras señales de mensajes que comparten la misma frecuencia.

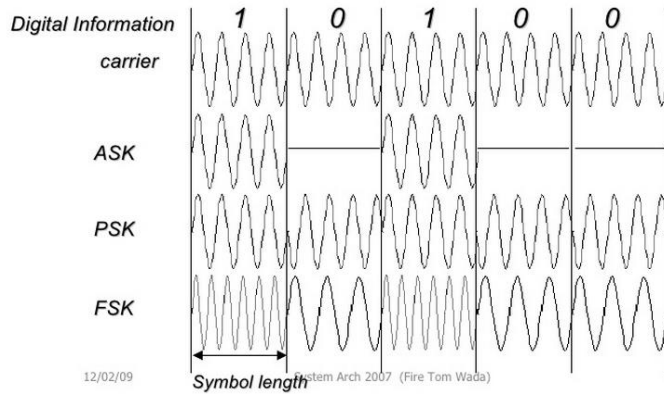
Una forma es el espectro de dispersión de secuencia directa (DS-CDMA), utilizado por ejemplo en sistemas de teléfono celular 3G. Cada bit de información (o cada símbolo) está representado por una secuencia de código larga de varios impulsos, llamados chips. La secuencia es el código de ensanchamiento, y cada señal de mensaje (por ejemplo, cada llamada telefónica) utiliza un código de ensanchamiento diferente.

## **Técnicas de modulación Tradicionales**

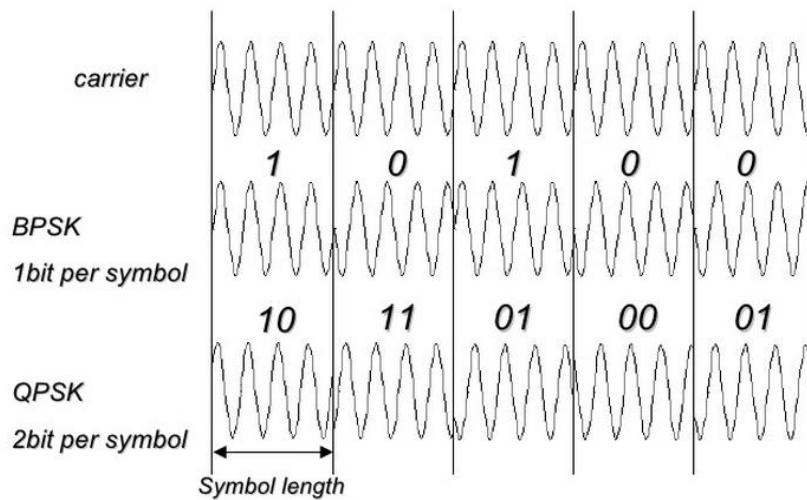
### **Modulación single bit**

En los casos en que se utiliza modulación





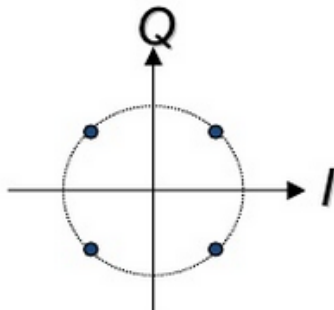
### Modulación Multi bit



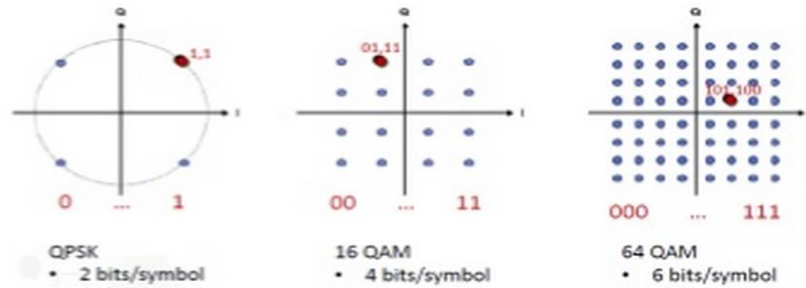
La modulación digital se caracteriza matemáticamente por el coeficiente de banda base complejo.

$$(a_k + jb_k)$$

El ploteo de estos coeficientes da el siguiente mapa de constelación.



A continuación, se presentan los esquemas de Quadrature Amplitud Modulation (QAM) utilizados en LTE.



## Modulación OFDM

La multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) es un método de codificación de datos digitales en múltiples frecuencias portadoras. OFDM se ha convertido en un esquema popular para la comunicación digital de banda ancha, utilizada en aplicaciones tales como televisión digital y radiodifusión sonora, acceso a Internet DSL, redes inalámbricas, redes de líneas eléctricas y comunicaciones móviles 4G.

La primera propuesta apareció en los 1950, completándose los aspectos teóricos en los 1960.

A fines de los 80 Europa lo utilizó para broadcasting terrestre digital, y luego junto con Japón lo aplicaron en broadcasting de video terrestre.

El boom internacional ocurrió cuando comenzó a utilizarse en ADSL y en Wireless LAN (WLAN) en su versión 802.11a

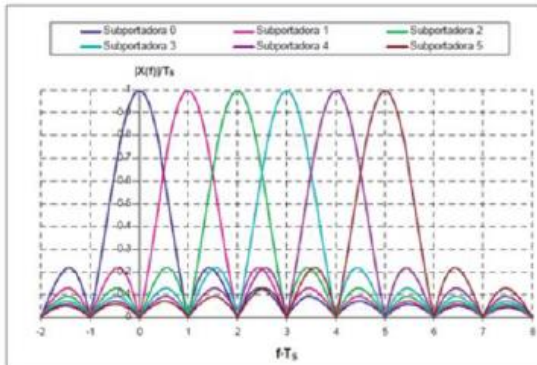
OFDM es un esquema de multiplexación por división de frecuencia (FDM) utilizado como un método de modulación digital de múltiples portadoras. Un gran número de señales subportadoras ortogonales estrechamente espaciadas se utilizan para transportar datos en varios flujos o canales de datos paralelos. Cada subportadora está modulada con un esquema de modulación convencional (tal como modulación de amplitud en cuadratura o modulación por desplazamiento de fase) a una tasa de símbolos baja, manteniendo velocidades de datos totales similares a los esquemas de modulación de una sola portadora convencionales en el mismo ancho de banda.

La principal ventaja de OFDM sobre esquemas de una sola portadora es su capacidad para hacer frente a condiciones de canal severas (por ejemplo, atenuación de altas frecuencias en un hilo de cobre largo, interferencia de banda estrecha y atenuación selectiva de frecuencia debido a multitrayectoria) sin filtros complejos de ecualización.

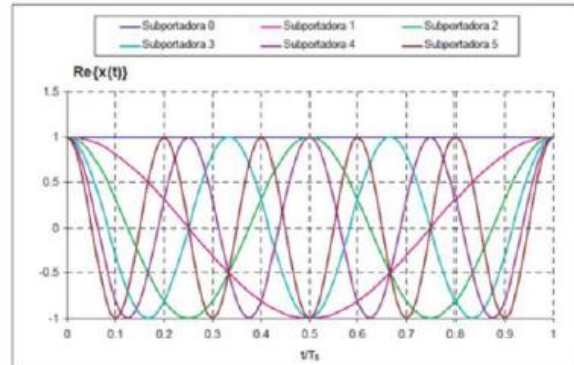
La ecualización de canal se simplifica porque OFDM puede considerarse que utiliza muchas señales de banda estrecha moduladas lentamente en lugar de una señal de banda ancha modulada rápidamente.

La baja tasa de símbolos hace que el uso de un intervalo de guarda entre símbolos sea asequible, lo que permite eliminar la interferencia entre símbolos (ISI) y utilizar ecos y propagación de tiempo (en televisión analógica estos son visibles como fantasmas y borrosos, respectivamente) para lograr una diversidad, es decir, una mejora de la relación señal-ruido.

El siguiente esquema muestra un sistema OFDM de 6 portadoras en el dominio de tiempo y frecuencia.

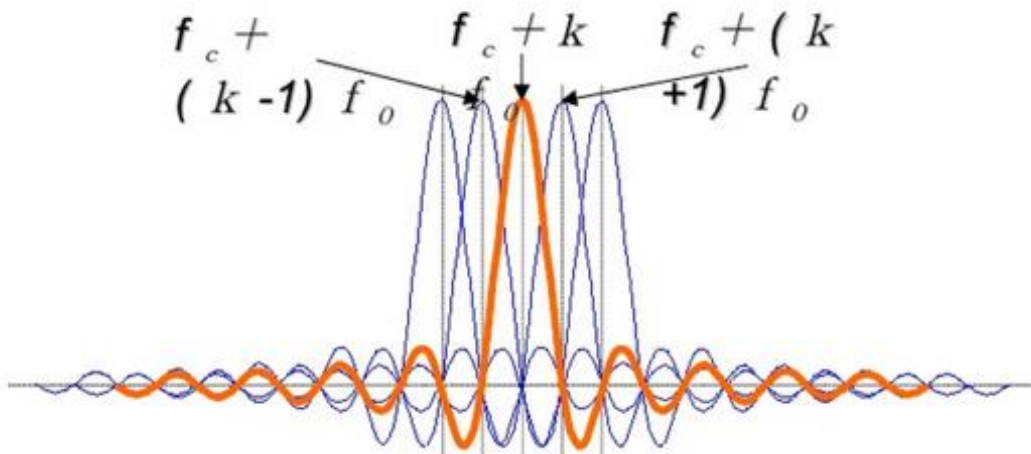


Espectro de 6 portadoras de RF Ortogonales



Señal temporal de las 6 subportadoras

## Espectro de OFDM



En los sistemas OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), el ancho de banda original se subdivide en múltiples subportadoras.

Cada una de estas subportadoras pueden ser moduladas individualmente.

Típicamente en sistemas OFDM se pueden tener cientos de subportadoras con un ancho de banda de 15KHz en el caso LTE.

Puesto que las múltiples subportadoras en OFDM se transmiten en paralelo, es posible que cada una transmita con una tasa de símbolos distinto.

Cada portadora es modulada con un sistema de modulación independiente, pudiendo encontrarse modulaciones simples (en el caso de señales de control, o datos de terminales con baja recepción de la antena) o modulaciones sofisticadas para terminales cercanos a la antena. Esto mejora la robustez de la tecnología para las condiciones de propagación móvil.

La cadena para generar una señal OFDM tiene las siguientes etapas:

- comienza paralizando los símbolos que necesitan ser transmitidos.
- después de que son modulados (en LTE la modulación puede ser QPSK, 16AQM, 64QAM).

Antes de la transmisión, sin embargo, un prefijo cíclico se incluye en los símbolos OFDM con el fin de evitar la interferencia intersímbolo.

Este prefijo cíclico en LTE tiene 5.2us en el primer símbolo, 4.7us para el resto de ellos y un prefijo cíclico extendido para celdas más grandes.

## **Modulación OFDMA**

El acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) es una versión de la modulación OFDM (multiplexación ortogonal de división de frecuencia) que resulta optimizada para múltiples usuarios, específicamente para teléfonos celulares y otros dispositivos móviles.

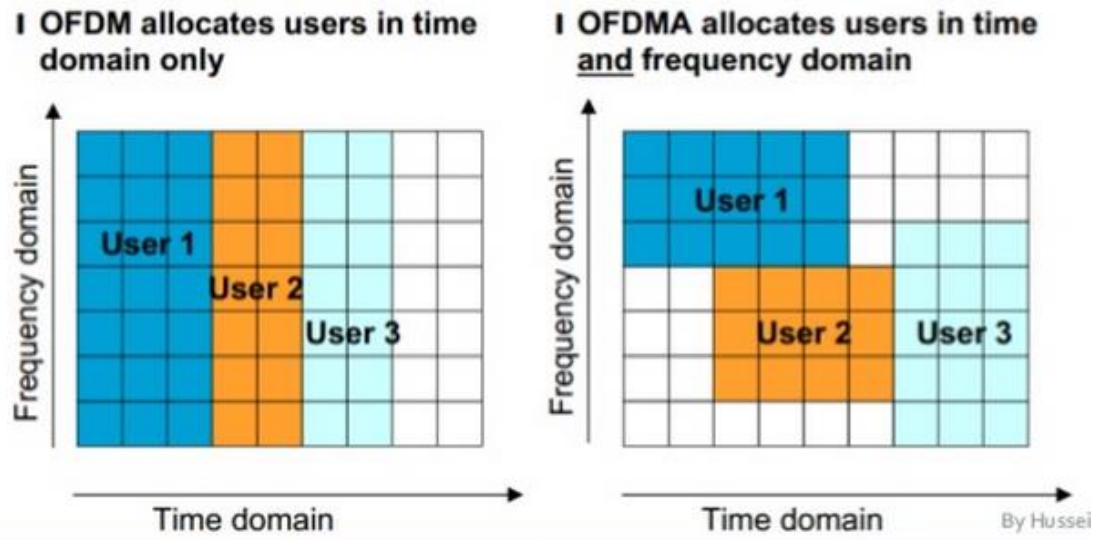
Sus ventajas sobre esquemas de modulación 3G tales como CDMA (acceso múltiple por división de código), CDMA de banda ancha y sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS) incluyen una mayor eficiencia espectral y una mejor resistencia al desvanecimiento. También requiere una menor potencia de transmisión para usuarios de baja velocidad de datos, tiene demoras más cortas que son constantes en lugar de variar el tiempo, y una metodología más sencilla para la prevención de colisiones.

OFDMA asigna subconjuntos de subportadoras a usuarios individuales. Basándose en la retroalimentación sobre las condiciones del canal, el sistema puede implementar la asignación adaptativa de usuario a subportadora. Siempre y cuando estas asignaciones de subportadora se ejecuten rápidamente, el desvanecimiento rápido y el rendimiento de interferencia co-canal de banda estrecha se mejoran en comparación con OFDM. Esto, a su vez, mejora la eficiencia espectral del sistema.

La principal diferencia entre un OFDM y un sistema OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

- en el OFDM el usuario se asigna en el dominio del tiempo sólo mientras se utiliza un sistema

- en OFDMA, el usuario sería asignado por tiempo y frecuencia.



Por ejemplo, sería posible explotar el hecho de que el usuario 1 podría tener una mejor calidad de enlace de radio en algún área específica de ancho de banda del ancho de banda disponible.

OFDMA se utiliza en el Downlink, pero dado que presenta una relación de potencia Peak-to-Average alta, no es posible usarla en el enlace ascendente. Para el enlace ascendente se utilizará SC-FDMA lo cual representa un ahorro de energía frente al OFDMA (cosa que es muy importante dado que el que transmite es el terminal).

## LTE OFDMA en el Downlink

En lugar de usar OFDM, ahora pasaremos al término OFDMA, que significa acceso múltiple ortogonal de división de frecuencia.

En las señales LTE reales se asignan en unidades de 12 subportadoras adyacentes (180 kHz) llamadas bloques de recursos que duran 0,5 ms y normalmente contienen siete símbolos cuya modulación puede ser QPSK, 16QAM o 64QAM.

- QPSK (= 4QAM) 2 bits por símbolo
- 16QAM 4 bits por símbolo
- 64QAM 6 bits por símbolo

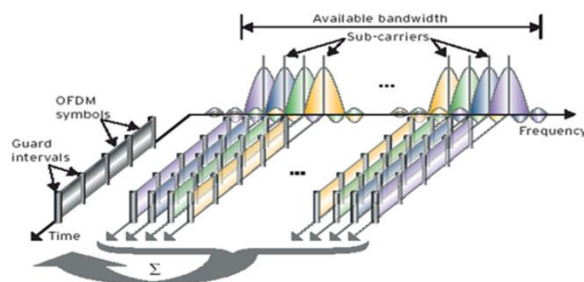
La señal OFDM utilizada en LTE comprende un máximo de 2048 subportadoras diferentes que tienen un espaciamiento de 15 kHz. Aunque es obligatorio que los móviles tengan la capacidad de poder recibir todas las 2048 subportadoras, no todas necesitan ser transmitidas por la estación base que sólo necesita ser capaz de soportar la transmisión de

72 subportadoras. De esta manera todos los móviles podrán hablar con cualquier estación base.

La modulación exacta que elige LTE depende de las condiciones que prevalecen para cada terminal que desea conectarse. La forma más baja de modulación es QPSK, que no requieren una relación señal-ruido tan grande, pero no son capaces de enviar los datos tan rápidamente. Sólo cuando se dispone de una relación señal / ruido suficiente se puede utilizar el formato de modulación de orden superior.

La modulación de amplitud en cuadratura, QAM es ampliamente demandada para la transmisión de datos, ya que permite mejores niveles de eficiencia espectral que otras formas de modulación. QAM utiliza dos portadoras de la misma frecuencia desplazada en 90 ° que son moduladas por dos flujos de datos - I o elementos en fase y Q - cuadratura. Sólo cuando se dispone de una relación señal / ruido suficiente se puede utilizar el formato de modulación más complejo.

## OFDM Signal



## Estructuración en bloques de portadoras en LTE Down link

En el enlace descendente, las subportadoras se dividen en bloques de recursos. Esto permite que el sistema pueda compartimentar los datos a través de números estándar de subportadoras.

Los bloques de recursos comprenden aspectos de recursos FDM y simultáneamente TDM, en FDM agrupa 12 subportadoras, independientemente del ancho de banda total de la señal LTE. En TDM también estructura cada portadora en tramas. Esto significa que diferentes anchos de banda de señal LTE tendrán números diferentes de bloques de recursos.

A continuación, se muestran los distintos sistemas disponibles en función de los anchos de banda contratados. En este esquema, se pueden ver la cantidad de subportadoras que cada sistema soporta.

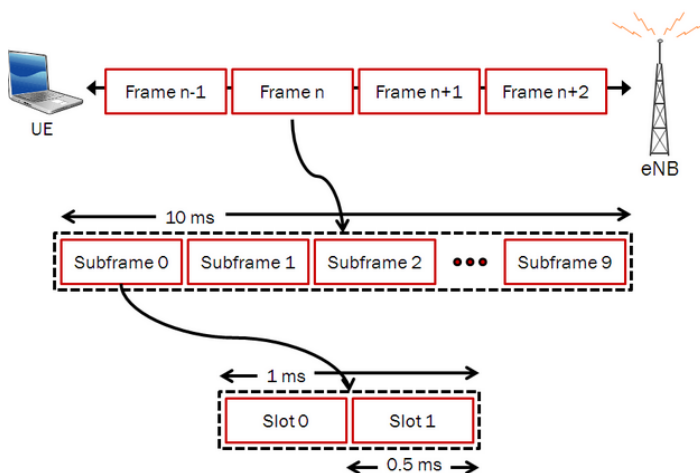
	Channel bandwidth, MHz					
	1.4	3	5	10	15	20
Number of Resource Blocks	6	15	25	50	75	100
Number of Subcarriers	72	180	300	600	900	1200

## Estructura en Resource Blocks de la trama LTE Downlink

Como se ha dicho el sistema se estructura en un cruce de modulación OFDM y TDM, lo cual se estructura en grupos llamados Resource Blocks.

La parte de multiplexado en frecuencia ya se ha visto al explicar OFDM, nos concentraremos en la parte TDM.

La trama TDM en Down link se estructura en 10 sub-tramas, cada una de las cuales se divide en 2 slots.

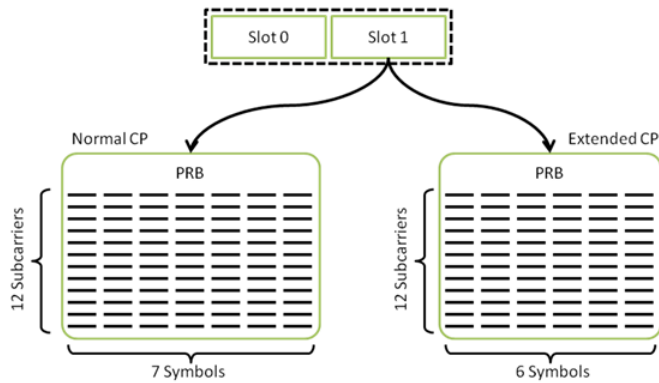


En este punto nos se demuestra que hasta el momento tenemos:

- 10 sub tramas de dos slots cada una dentro de una trama.
- 20 slots en una trama.
- Se transmiten 100 tramas por segundo y por portadora.

Veremos a continuación un esquema que muestra dos posibilidades configuración de un slot.





Motivo de la existencia de los dos tipos de configuración de slot

La estructura de un slot se compone de 6 o 7 símbolos, (dependiendo de la opción usada), que están separados entre sí por prefijos cíclicos.

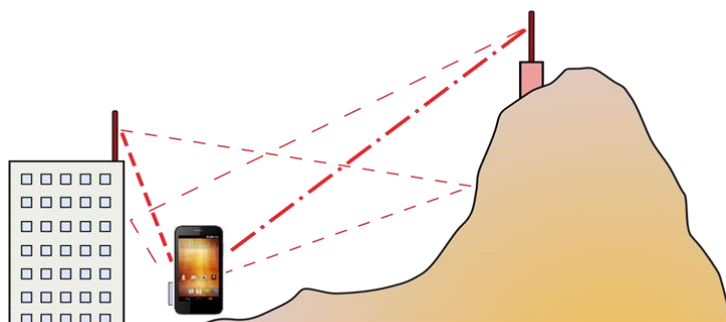
El motivo de estas dos opciones está asociado al ámbito en que se va a utilizar un sistema. El caso de 7 símbolos se aplica a ámbitos urbanos y el de 6 símbolos se aplica a ámbitos no urbanos.

Para que se entienda esto mejor, se debe tener en cuenta que una señal transmitida por una antena se emite a través de un lóbulo de radiación, lo que implica que la señal se emite en distintas direcciones. Por lo expuesto encontraremos que a un mismo terminal puede llegar la misma señal por distintos caminos, uno probablemente directo y otros como consecuencia de rebotes por ejemplo en distintos edificios.

El sistema tiene la habilidad de tomar todos estos rebotes, ajustarlos temporalmente y hacer que la suma de todas estas señales se refuerce y construyan una señal mejor.

Sin embargo, hay que evitar que un símbolo que llega por un camino más largo se superponga y mutile al siguiente que llega por un camino directo.

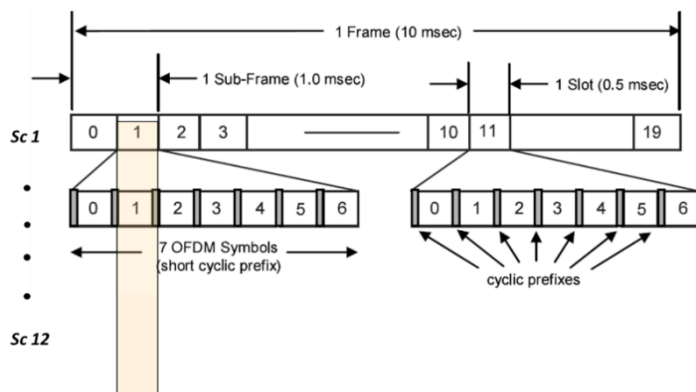
Para evitar que esto suceda se pone una separación entre símbolos, y esta separación debe ser mayor cuando las distancias son largas y menor cuando las distancias son cortas.



Como el tiempo de un slot por condiciones de diseño es fijo (0,5 ms) la única forma de aumentar esa separación es sacrificando un símbolo y repartiendo su tiempo para aumentar la separación.

A continuación, mostramos un símbolo con su prefijo cíclico asociado.





## El Resource Block en Downlink

Ya mencionamos que OFDMA cruza las modulaciones OFDM con un esquema de tramas TDMA.

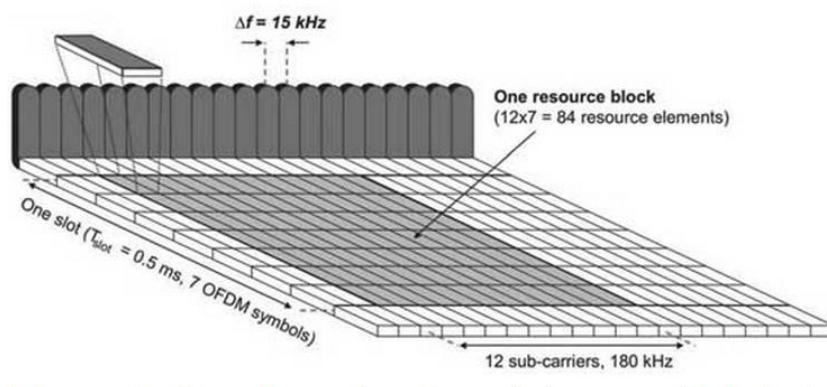
TDM asociado a la modulación por división de tiempo, y MA que implica el concepto de acceso múltiple (que serían los distintos teléfonos celulares que utilizan el Down link).

Este cruce entre el dominio de frecuencias y el TDMA nos da un cuadrículado donde cada cuadrado representa una frecuencia y un slot de tiempo o sea un símbolo (dentro del cual se inserta la modulación que corresponda).

Dado que sería ineficiente manejar el ancho de banda a nivel de símbolos, los organismos de estandarización han decidido agrupar las portadoras en grupos de a 12.

De este agrupamiento surge el concepto de Resource Blocks que es la transmisión simultánea de 12 portadoras con 6 o 7 símbolos cada una.

El siguiente esquema grafica lo expuesto.



El Resource Block es la unidad mínima que se asigna a una comunicación (en general se asignan muchos Resource blocks a una comunicación).

<b>Bandwidth</b>	<b>Resource Blocks</b>	<b>Subcarriers (downlink)</b>
1.4 MHz	6	73
3 MHz	15	181
5 MHz	25	301
10 MHz	50	601
15 MHz	75	901
20 MHz	100	1201

De la tabla anterior surge por ejemplo que en un sistema de 15 Mhz podemos tener:

- 75 agrupaciones de 12 subcarriers.
- Lo que implica 75 RB por cada slot
  - Esto nos da 75 RB cada 0,5 ms.
  - Cada RB tiene
    - 7 símbolos x 12 frecuencias = 84 símbolos
    - Cada símbolo tiene 6 bits (suponiendo 64 QAM)
    - Esto nos da que cada RB tiene  $84 \times 6 \text{ bits} = 504 \text{ bits}$
- En una trama (10 ms) tenemos 20 slots
  - Quiere decir que en una trama (10 ms) se pueden transmitir sobre un agrupamiento de 12 subcarriers)  $20 \times 504 \text{ bits} = 10,080 \text{ kbps}$
- La trama se repite cada 10 ms lo que implica 100 tramas por segundo.
  - Por ello se tendran  $10,080 \times 100 = 1,008,000 \text{ bits}$ .
- En un sistema de 15 Mhz se pueden tener 75 agrupaciones de 12 subportadoras.
  - $75 \times 1,008 \text{ Mbps} = 75,6 \text{ Mbps}$  (en downlink)

Se puede hacer el mismo análisis desde la cantidad de RBs que tiene un sistema

- En un sistema de 15 Mhz se pueden tener 75 agrupaciones de 12 subportadoras que tiene un slot cada una, lo que da, 75 RBs por 0,5 ms.
- En una trama se tienen 20 slots, lo que da 1500 RBs cada 10 ms.
- Como se tienen 100 tramas por segundo, esto da 150.000 RBs por segundo.
- Como se vio que un RB con 64 QAM y 7 símbolos tiene 504 bits, que multiplicado por 150.000 RBs nos da los mismos 75,6 Mbps.

Debemos recordar que se trata de un sistema de 15 Mhz, con todos sus símbolos trabajando a 64 QAM y trabajando con 7 símbolos por slot.

También se debe recordar que se trata de una sola antena y un solo terminal.

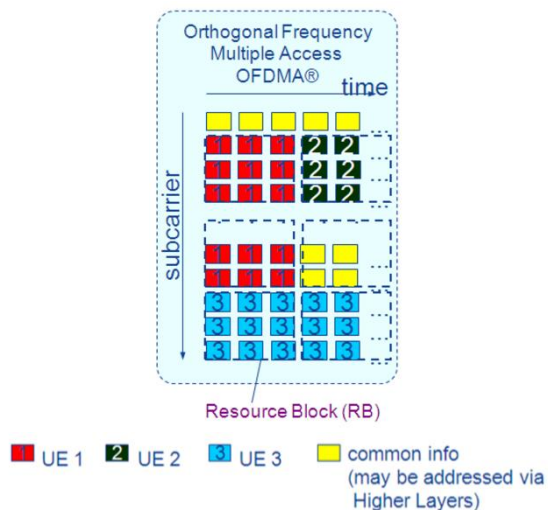
El presente cálculo es bastante aproximado y solo intenta mostrar cómo se llega a los anchos de banda que maneja cada terminal de LTE en Downlink.

Sin embargo, para acercarnos más a la realidad se debe decir que no todo el ancho de banda se usa para datos de usuario, una parte de ellos son utilizados para canales físicos complementarios,

La velocidad asignada a una comunicación dependerá de la cantidad de Resource Blocks que se le asigne. Para ello existe en el sistema un módulo que se llama scheduler, que asigna dinámica, y periódicamente los RB a cada terminal.

Si hay un solo terminal sobre la antena obtendrá todos los RB para datos de usuario para él, sin embargo, si se enciende un segundo terminal repartirá los RB entre ambos.

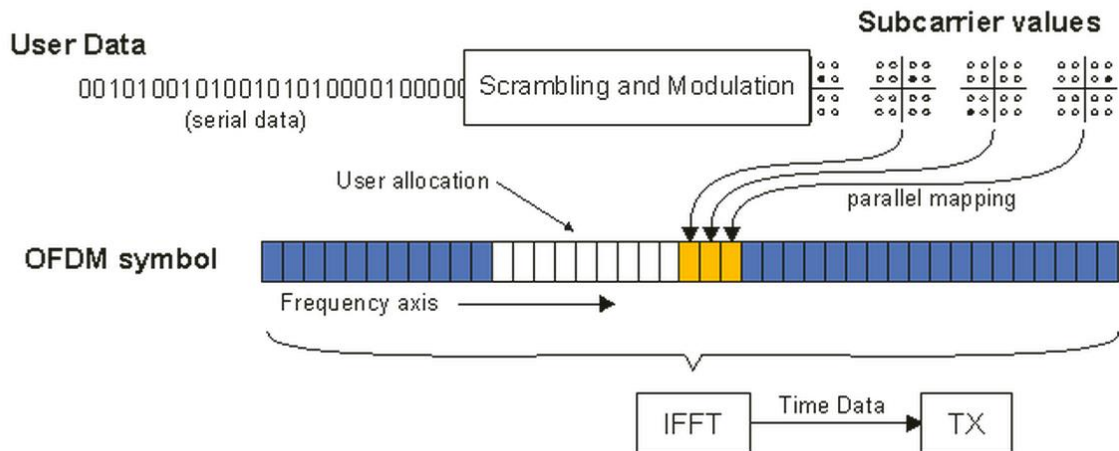
Ya se ha visto qué es un Resource Block (que es la unidad mínima que puede asignarse a una comunicación). El siguiente esquema muestra a varios terminales comunicándose, y como se asignan varios RB a cada comunicación.



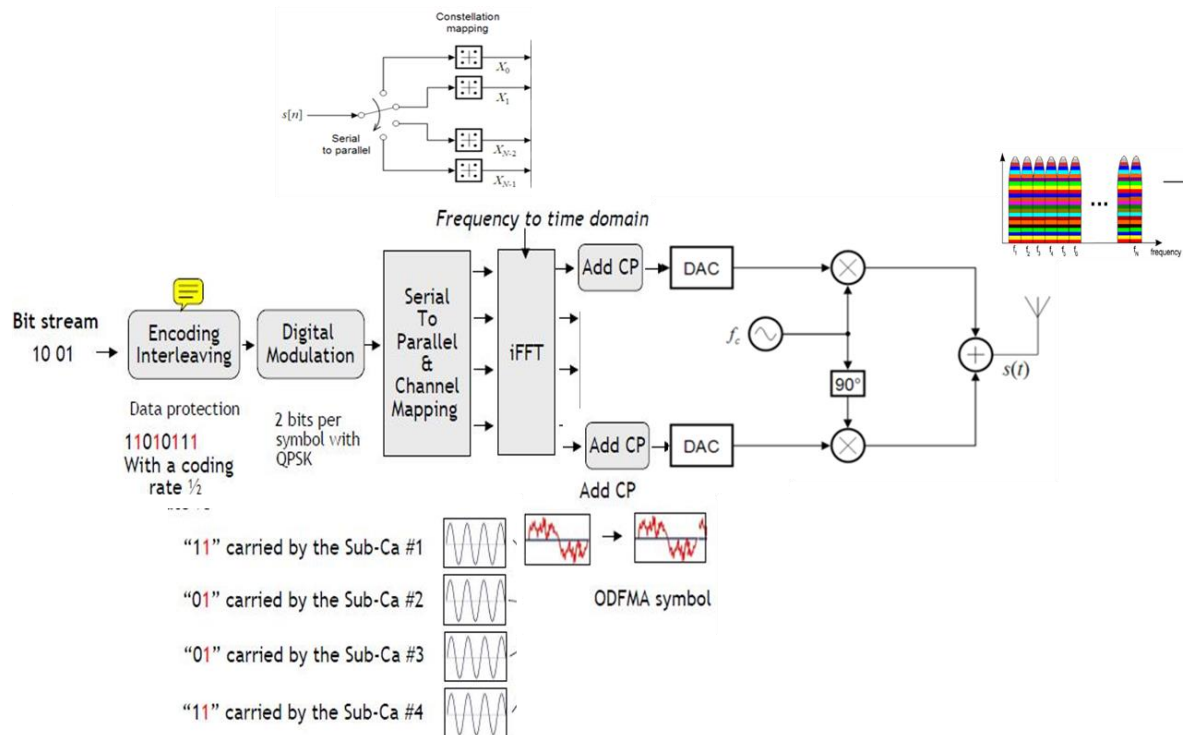
El siguiente esquema nos muestra cómo los datos se mapean en un 16 QAM, y cada constelación QAM se mapea en un símbolo.

## LTE Downlink OFDMA

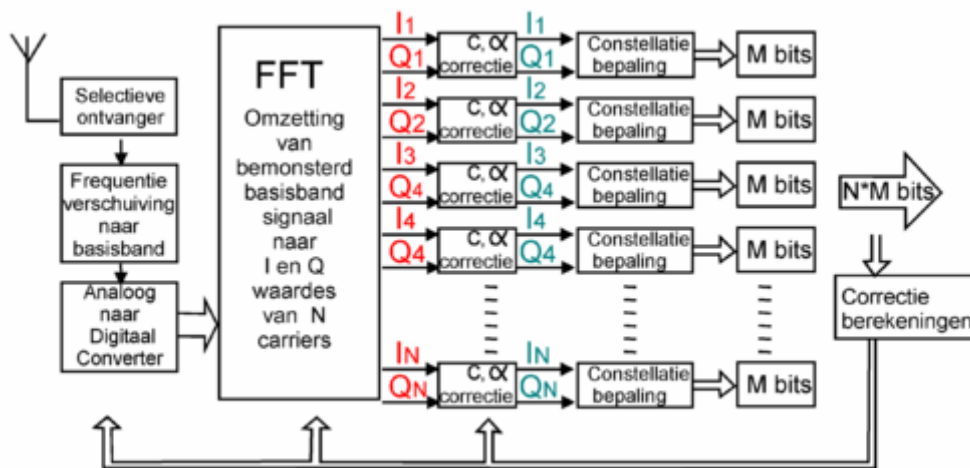
1 antenna port, no precoding



El siguiente esquema nos muestra a IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), insertando cada constelación en una subportadora. Se debe recordar que el IFFT convierte el espectro de frecuencia en el dominio del tiempo.



Del lado del receptor



La cantidad de Resource Blocks que tiene un sistema LTE, está asociada al ancho de banda del sistema (que son valores fijos).

A continuación, se adjunta una tabla de los sistemas posibles, aclarando que cada operador compra el sistema de acuerdo a las frecuencias que contrató.

<b>Bandwidth</b>	<b>Resource Blocks</b>	<b>Subcarriers (downlink)</b>	<b>Subcarriers (uplink)</b>
1.4 MHz	6	73	72
3 MHz	15	181	180
5 MHz	25	301	300
10 MHz	50	601	600
15 MHz	75	901	900
20 MHz	100	1201	1200

## LTE SC-FDMA (Single-carrier FDMA) en el Uplink

Para el enlace ascendente LTE, se utiliza un concepto diferente en la técnica de acceso. Aunque todavía utiliza una forma de tecnología OFDMA, la implementación se denomina Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA).

En SC-FDMA, los datos de usuario se modulan en un formato de modulación de portadora única (QPSK, 16QAM, o 64QAM) y los símbolos de dominio de tiempo se transforman en el dominio de frecuencia mediante una FFT. A continuación, los puntos de dominio de frecuencia se asignan a las subportadoras asignadas al usuario en el símbolo OFDM. Finalmente, se realiza un IFFT en todo el símbolo OFDM y se transmiten los datos de tiempo

Las características principales de SC FDMA

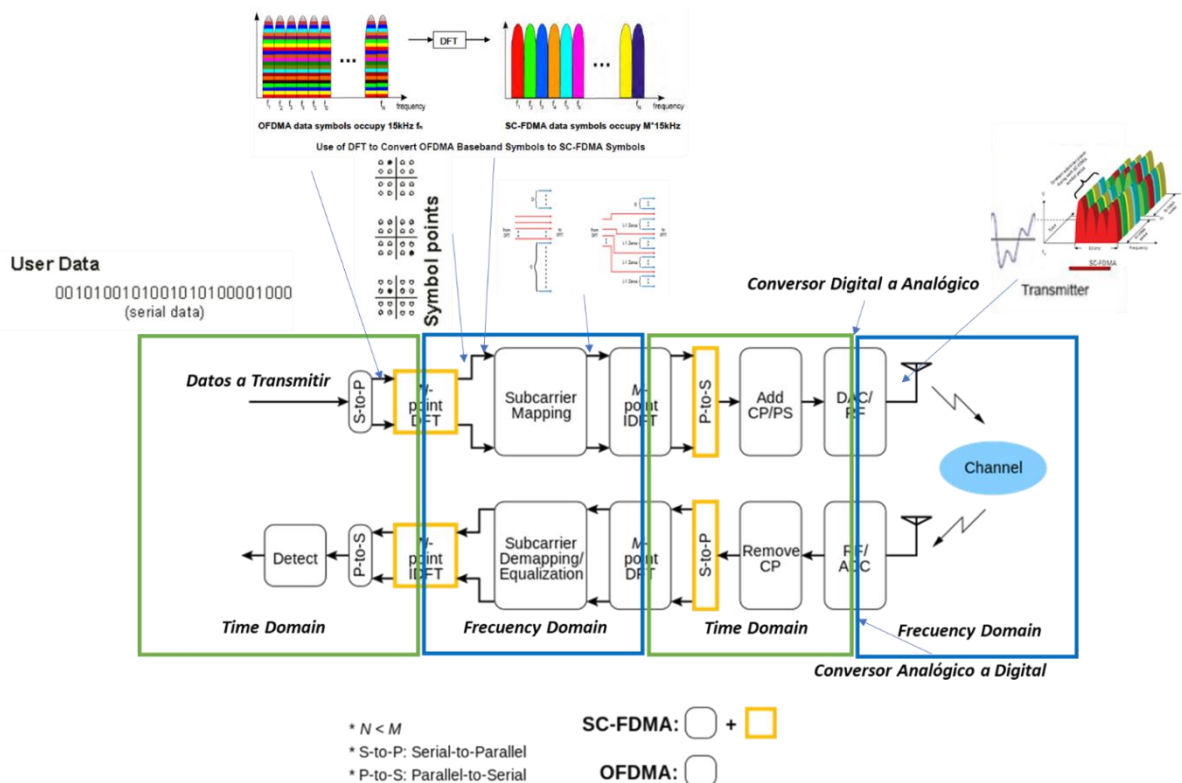
- SC-FDMA se utiliza porque el alto PAR de la señal OFDMA la hace inadecuada para su utilización en equipos móviles por su gran consumo energético.

- La diferencia entre estas dos tecnologías es que en OFDMA los símbolos se transmiten en paralelo.
- De acuerdo con la gráfica la señal OFDMA luce como una señal multiportadora mientras que la SC FDMA luce como portadora simple de allí el nombre de “portadora simple”.
- Esta característica hace que la señal SC-FDMA tenga un PAR menor que la adecuada para el canal ascendente

FDMA de una sola portadora (SC-FDMA) es un esquema de acceso múltiple por división de frecuencia. Al igual que otros esquemas de acceso múltiple (TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA), se ocupa de la asignación de múltiples usuarios a un recurso de comunicación compartida.

SC-FDMA puede interpretarse como un esquema OFDMA pre codificado linealmente, en el sentido de que tiene un paso adicional de procesamiento de DFT que precede al procesamiento OFDMA convencional.

A continuación, se presenta un esquema de un transmisor SC-OFDMA simplificado en donde se han insertado los tipos de señales simplificadas que encontraremos en el sistema



El procesamiento de transmisión de SC-FDMA es muy similar al de OFDMA. Para cada usuario, la secuencia de bits transmitida se mapea a una compleja constelación de símbolos (BPSK, QPSK o modulación de amplitud en cuadratura M).

Entonces se asignan diferentes coeficientes de Fourier a diferentes transmisores (usuarios).

Esta asignación se lleva a cabo en los bloques de asignación y desmapeado. El lado receptor incluye un bloque de desmapeado, un bloque IDFT y un bloque de detección para cada señal de usuario a recibir.

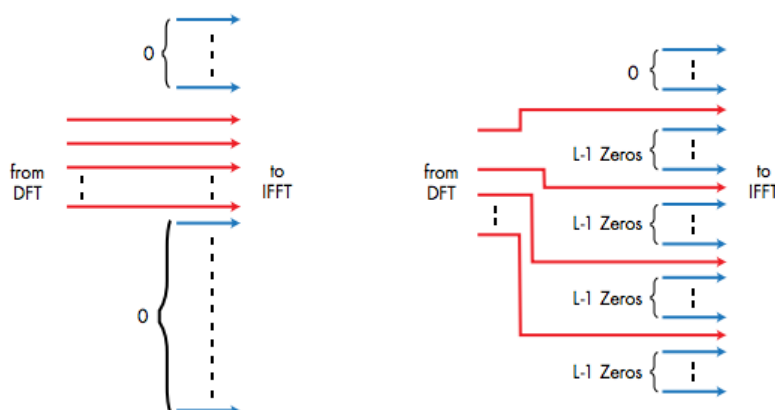
Al igual que en OFDM, se introducen intervalos de guarda (llamados prefijos cíclicos) con repetición cíclica entre bloques de símbolos con el fin de eliminar eficientemente la interferencia entre símbolos entre el tiempo de propagación.

En SC-FDMA, el acceso múltiple entre usuarios se hace posible asignando a diferentes usuarios diferentes conjuntos de coeficientes de Fourier que no se superponen (subportadoras).

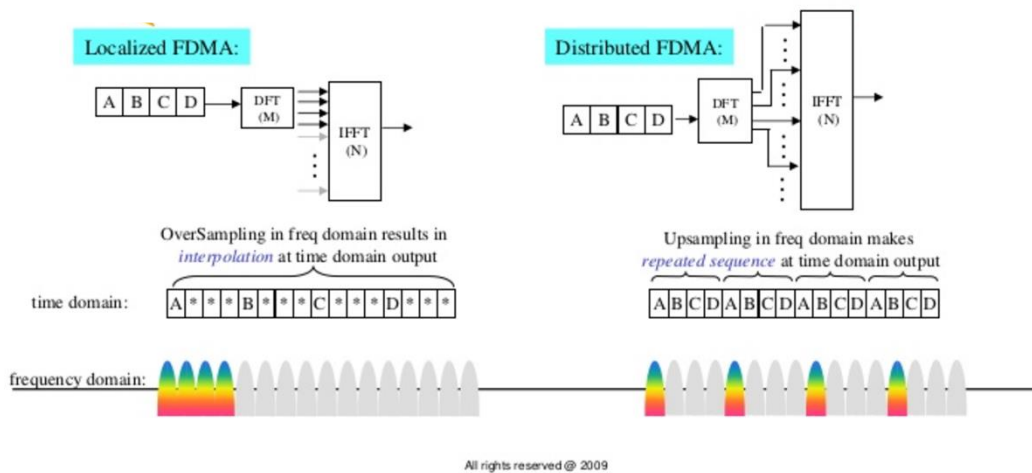
Esto se logra en el transmisor mediante la inserción (antes de IDFT) de coeficientes de Fourier silenciosos (en las posiciones asignadas a otros usuarios), y la eliminación de ellos en el lado del receptor después de la DFT.

El mapeo de subportadoras puede clasificarse en dos tipos:

- Mapeo localizado: En la asignación localizada, las salidas DFT se asignan a un subconjunto de subportadoras consecutivas, limitándolas a sólo una fracción del ancho de banda del sistema.
- Mapeo distribuido: En mapeo distribuido, las salidas DFT de los datos de entrada se asignan a subportadoras sobre el ancho de banda entero de forma no continua, dando como resultado amplitud cero para las subportadoras restantes. Un caso especial de SC-FDMA distribuido se llama intercalado SC-FDMA (IFDMA), donde las subportadoras ocupadas están igualmente espaciadas sobre el ancho de banda entero.





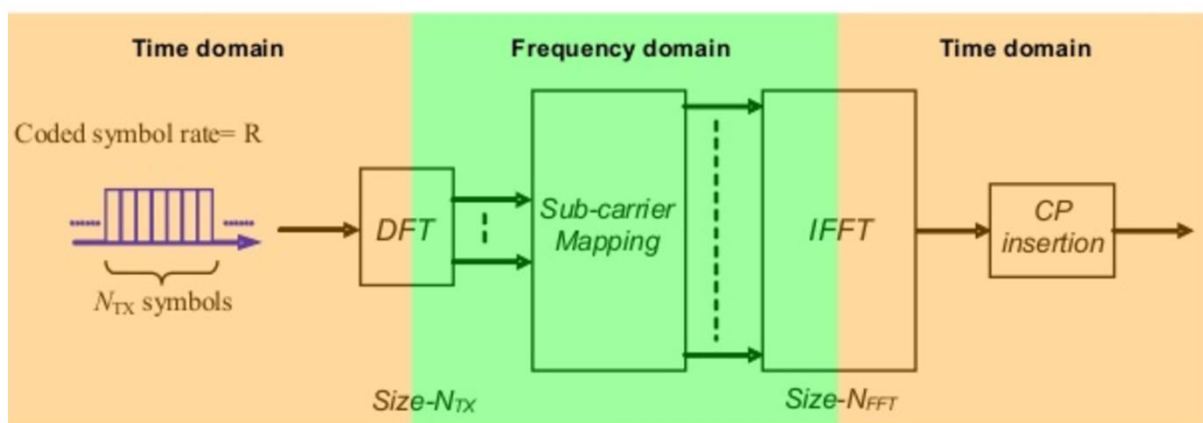


Debido a su estructura de soporte único inherente, una ventaja prominente de SC-FDMA sobre OFDM y OFDMA es que su señal de transmisión tiene una relación de potencia de cresta a media más baja (PAPR), dando como resultado parámetros de diseño relajados en la trayectoria de transmisión de un abonado unidad.

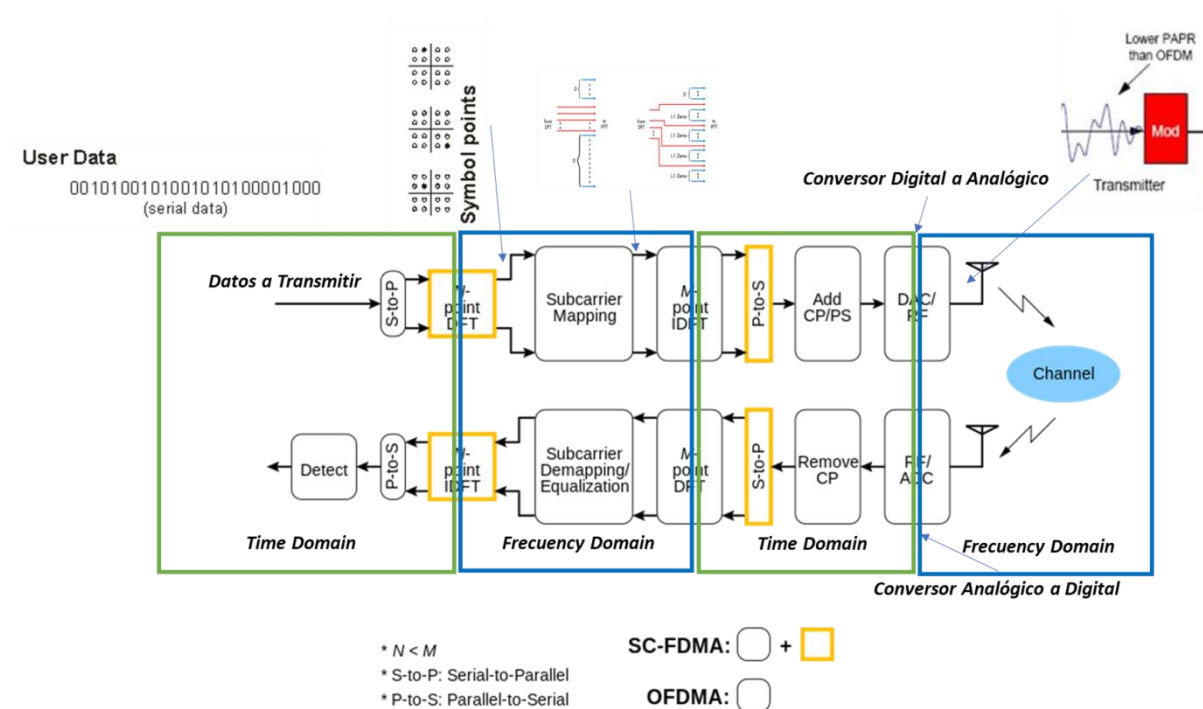
Intuitivamente, la razón reside en el hecho de que cuando los símbolos de transmisión OFDM modulan directamente múltiples subportadoras, los símbolos de transmisión SC-FDMA se procesan primero mediante un bloque DFT de N puntos.

En OFDM, así como SC-FDMA, se consigue la igualación en el lado receptor, después del cálculo de DFT, multiplicando cada coeficiente de Fourier por un número complejo. Por lo tanto, el desvanecimiento selectivo en frecuencia y la distorsión de fase pueden ser fácilmente contrarrestados. La ventaja es que la ecualización de dominio de frecuencia utilizando FFT requiere menos computación que la ecualización convencional en el dominio temporal.

A continuación, vemos esquemas de la estructura de transmisión para SC-FDMA, para entender su funcionamiento







SC-FDMA ha llamado gran atención como una alternativa atractiva al OFDMA, especialmente en las comunicaciones de enlace ascendente, donde la menor relación entre el pico y el promedio (PAPR) beneficia enormemente al terminal móvil en términos de eficiencia de potencia de transmisión y coste reducido del amplificador de potencia. Se ha adoptado como el esquema de acceso múltiple de enlace ascendente en la Evolución a Largo Plazo 3GPP (LTE), o UTRA Evolucionado (E-UTRA).

El rendimiento de SC-FDMA en relación con OFDMA ha sido objeto de diversos estudios. Aunque la brecha de rendimiento es pequeña, la ventaja de SC-FDMA de un PAPR bajo hace que sea deseable para la transmisión inalámbrica de enlace ascendente en sistemas de comunicaciones móviles, donde la eficiencia de potencia del transmisor es de suma importancia.

### El problema de la batería

Uno de los parámetros clave que afecta a todos los móviles es la duración de la batería. A pesar de que el rendimiento de la batería está mejorando todo el tiempo, todavía es necesario asegurarse de que los móviles utilicen la energía de la batería con el mayor rendimiento posible.

Con el amplificador de potencia de RF que transmite la señal de radiofrecuencia a través de la antena a la estación base que es el elemento de mayor potencia dentro del móvil, es necesario que funcione en el modo más eficiente posible.

Esto puede ser afectado significativamente por la forma de la modulación de radiofrecuencia y el formato de la señal. Las señales que tienen una alta relación entre el

pico y el promedio y requieren amplificación lineal no se prestan al uso de amplificadores de potencia RF eficientes.

Como resultado, es necesario emplear un modo de transmisión que tenga un nivel de potencia constante cuando esté en funcionamiento.

Desafortunadamente, el OFDM tiene una alta relación entre el pico y el promedio. Si bien esto no es un problema para la estación base donde la energía no es un problema particular, es inaceptable para el móvil.

Como resultado, LTE utiliza un esquema de modulación conocido como SC-FDMA - Single Carrier Frequency Division Multiplex que es un formato híbrido.

Esto combina:

- La baja relación entre el pico y el promedio ofrecida por los sistemas de una sola portadora con la resistencia de interferencia de trayectos múltiples
- La asignación de frecuencia de la subportadora flexible que OFDM proporciona.

Se trata de la asignación de múltiples usuarios a un recurso de comunicación compartida.

SC-FDMA puede interpretarse como un esquema OFDMA pre codificado linealmente.

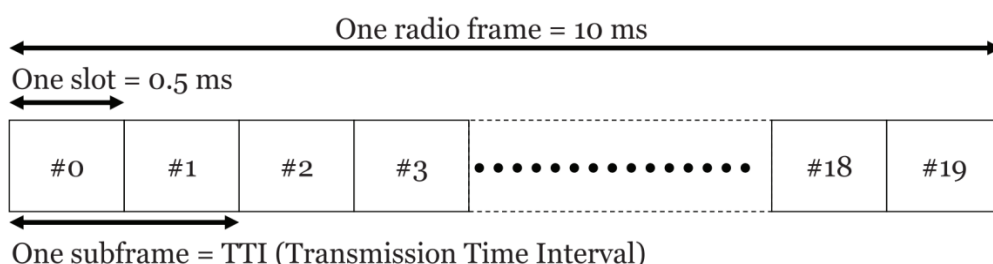
Tiene un paso adicional de procesamiento de DFT que precede al procesamiento OFDMA convencional.

### 1.1. Técnicas de modulación utilizadas en SC FDMA

El proceso de transmisión de SC-FDMA es muy similar al de OFDMA. Para cada usuario, la secuencia de bits transmitida se mapea a una compleja constelación de símbolos (BPSK, QPSK o modulación de amplitud en cuadratura M).

### 1.2. Estructuración en bloques de portadoras en LTE Uplink

Como se representa en la figura, un marco SC-FDMA constituye 20 ranuras, donde cada una tiene una duración de 0,5 milisegundos. Dos ranuras se llaman subtrama o intervalo de tiempo de transmisión.



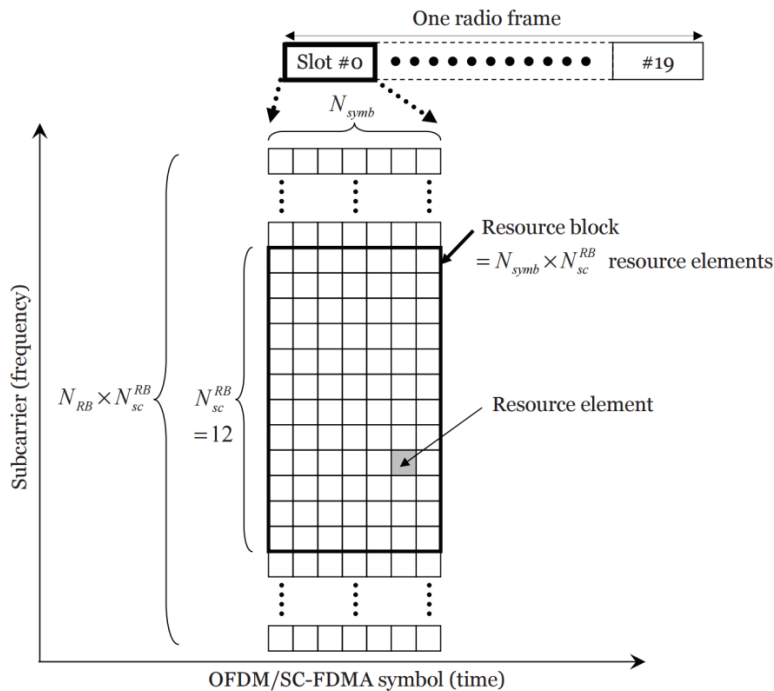
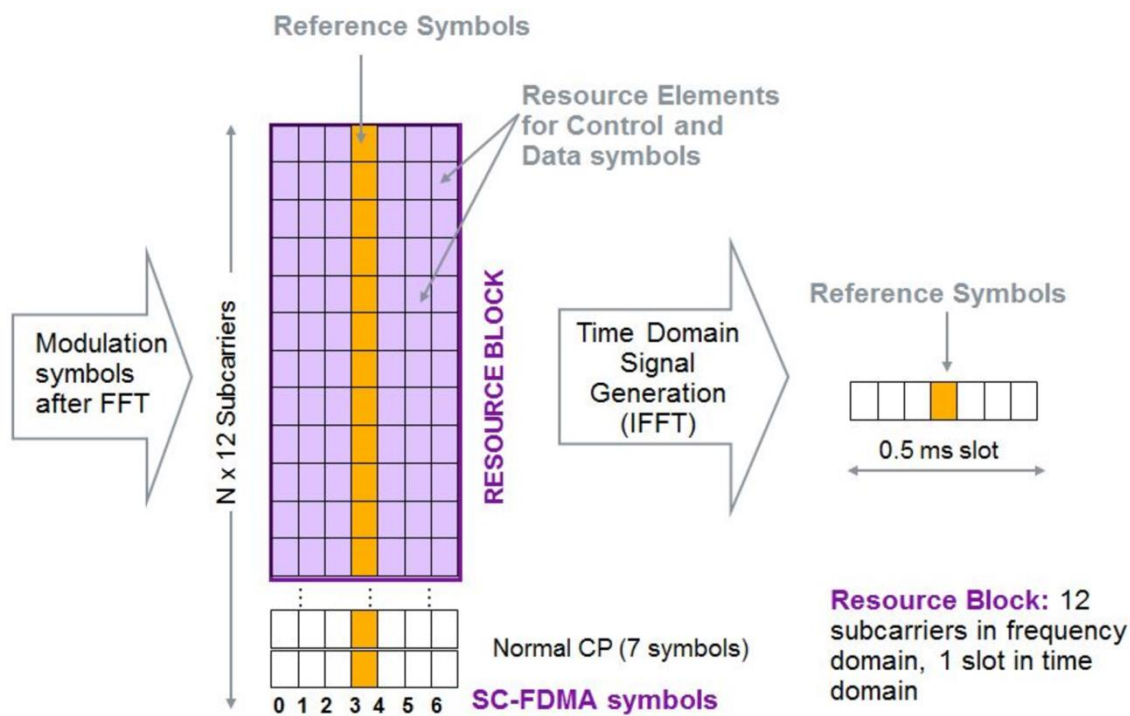


Figure 4: Uplink resource grid for one slot [3].

Dado que en SC-OFDMA a diferencia de OFDMA se utiliza todo el ancho de banda (la sumatoria de las 12 subportadoras para transmitir), a este agrupamiento lo llamamos Reference Symbols (que sería el agrupamiento de 12 de los símbolos de OFDMA y que ahora lo llamamos Reference Elementos).

El ancho de banda para transmitir es más alto por lo que la velocidad de transmisión es más alta que en 15 khz.



**Visualmente:**

La señal OFDMA es claramente multiportadora

Y la señal SC-FDMA se parece más a una sola portadora, lo que explica el "SC" en su nombre.

Obsérvese que las longitudes de los símbolos OFDMA y SC-FDMA son las mismas a 66,7  $\mu$ s; Sin embargo, el símbolo SC-FDMA contiene N "sub-símbolos" que representan los datos de modulación.

**1.3. Estructura de la trama LTE Uplink**

El procesamiento de transmisión de SC-FDMA es muy similar al de OFDMA. Para cada usuario, la secuencia de bits transmitida se mapea a una compleja constelación de símbolos (BPSK, QPSK o modulación de amplitud en cuadratura M).

Entonces se asignan diferentes coeficientes de Fourier a diferentes transmisores (usuarios). Esta asignación se lleva a cabo en los bloques de asignación y desmapeado.

El lado receptor incluye un bloque de desmapeado, un bloque IDFT y un bloque de detección para cada señal de usuario a recibir.

Al igual que en OFDM, se introducen intervalos de guarda (denominados prefijos cíclicos) con repetición cíclica entre bloques de símbolos con el fin de eliminar eficientemente la interferencia entre símbolos en el tiempo de propagación (causado por la propagación de múltiples trayectos) entre los bloques.

En SC-FDMA, el acceso múltiple entre usuarios se hace posible asignando a diferentes usuarios diferentes conjuntos de coeficientes de Fourier que no se superponen (subportadoras).

Esto se logra en el transmisor mediante la inserción (antes de IDFT) de coeficientes de Fourier silenciosos (en las posiciones asignadas a otros usuarios), y la eliminación de ellos en el lado del receptor después de la DFT.

Debido a su estructura de soporte único inherente, una ventaja prominente de SC-FDMA sobre OFDM y OFDMA es que su señal de transmisión tiene una relación de potencia de cresta a media más baja (PAPR), dando como resultado parámetros de diseño relajados en la trayectoria de transmisión de un abonado unidad.

Intuitivamente, la razón reside en el hecho de que cuando los símbolos de transmisión OFDM modulan directamente múltiples subportadoras, los símbolos de transmisión SC-FDMA se procesan primero mediante un bloque DFT de N puntos.

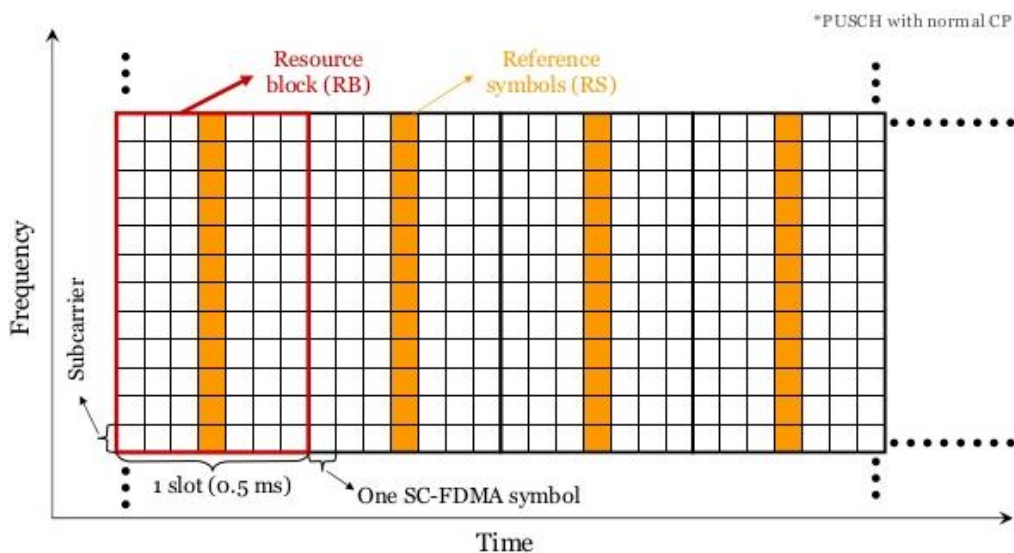
En OFDM, así como SC-FDMA, se consigue la igualación en el lado receptor, después del cálculo de DFT, multiplicando cada coeficiente de Fourier por un número complejo. Por lo

tanto, el desvanecimiento selectivo en frecuencia y la distorsión de fase pueden ser fácilmente contrarrestados. La ventaja es que la ecualización de dominio de frecuencia utilizando FFT requiere menos computación que la ecualización convencional en el dominio temporal.

Después de eliminar el prefijo cíclico en el receptor, se aplica una DFT para llegar al dominio de frecuencia, donde puede emplearse un esquema simple de compensación de dominio de frecuencia de una sola portadora (SC-FDE), seguido por la operación IDFT.

#### 1.4. El Resource Block en Uplink

El resource block ahora se compone de 7 Reference Symbols, y que nuevamente es la unidad mínima asignada a un terminal.



Entonces se asignan diferentes coeficientes de Fourier a diferentes transmisores (usuarios). Esta asignación se realiza en los bloques de asignación y desmapeado

El lado receptor incluye un bloque de desmapeado, un bloque IDFT y un bloque de detección para cada señal de usuario a recibir.

Al igual que en OFDM, se introducen intervalos de guardia (denominados prefijos cíclicos) con repetición cíclica entre bloques de símbolos con el fin de eliminar eficientemente la interferencia entre símbolos entre el tiempo de propagación (causado por la propagación de múltiples trayectos) entre los bloques.

En SC-FDMA, el acceso múltiple entre usuarios se hace posible asignando a diferentes usuarios diferentes conjuntos de coeficientes de Fourier que no se superponen (subportadoras).

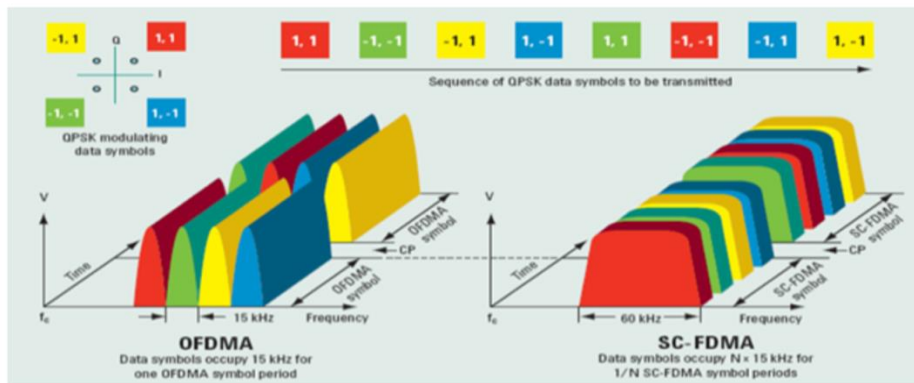
Esto se logra en el transmisor mediante la inserción (antes de IDFT) de coeficientes de Fourier silenciosos (en las posiciones asignadas a otros usuarios), y la eliminación de ellos en el lado del receptor después de la DFT.

## Localized Mapping and Distributed Mapping

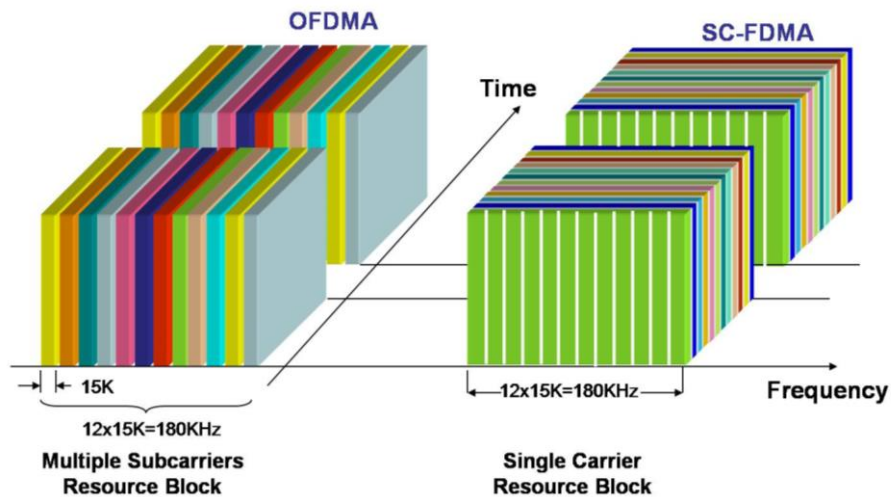
Debido a su estructura de soporte único inherente, una ventaja prominente de SC-FDMA sobre OFDM y OFDMA es que su señal de transmisión tiene una relación de potencia de cresta a media más baja (PAPR), dando como resultado parámetros de diseño simple del terminal de abonado.

## Comparación entre OFDMA y SC-FDMA

Para comparar ambos sistemas de modulación se tomo el ejemplo genérico de un sistema de 4 portadoras



El siguiente esquema muestra la realidad de un sistema LTE que agrupa 12 portadoras.

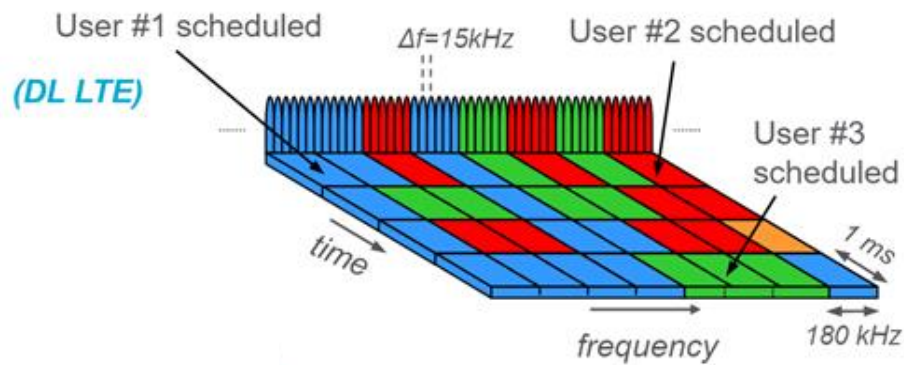


Nótese que tanto en OFDMA como en SC-FDMA el largo del símbolo es de 66.7  $\mu$ s;

En OFDMA (Downlink LTE):

- Cada subportadora dura el tiempo de un símbolo.
- Cada subportadora dura 15 khz.

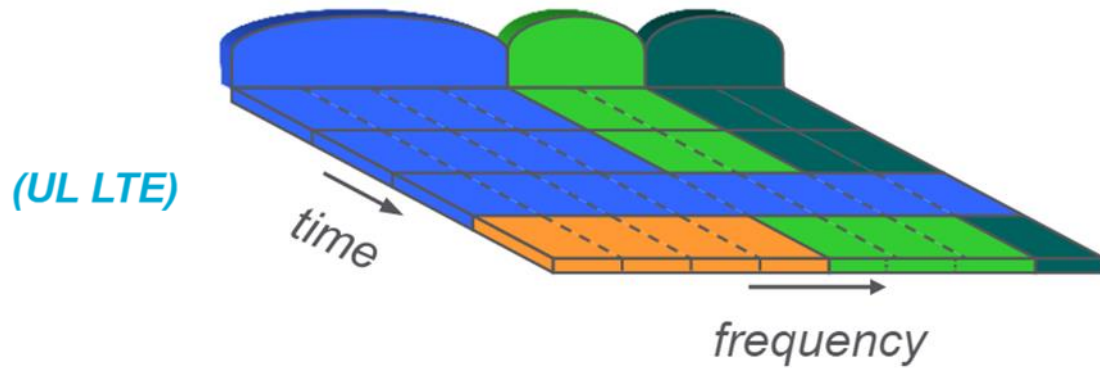
- Dentro de cada portadora un slot (que dura 0,5 ms y es medio subframe y transmite un symbol) transmite una constelación (recordar que en LTE se agrupan en RB que se componen de 12 subportadoras por 7 symbols).
- Utiliza scheduling para la adaptación del enlace (en frecuencia y tiempo).
- La señal OFDMA es claramente multiportadora



#### En SC OFDMA (Uplink LTE)

- SC OFDMA SC significa Single Carrier.
- En este caso las cuatro subportadoras de 15 khz se agrupan en una portadora de 120 khz.
- En el tiempo de un symbol de OFDMA en SC FDMA (en el ejemplo anterior) debe transmitir las 4 señales que transmitía en OFDMA, lo cual implica transmitir 4 veces más rápido (que ahora puede por tener 4 veces más ancho de banda), Recordemos que en LTE en lugar de 4 son 12.
- El reference symbol en cada momento ocupa el ancho de banda de las 4 portadoras (las 12 portadoras en LTE).
- Tiene un PAR más bajo que OFDM (Lo que implica una eficiencia de potencia mayor)
- Utiliza OFDM pre codificado.
- La generación de señales SC-FDMA comienza con un proceso especial de precodificación pero luego continúa como con OFDMA.
- La señal SC-FDMA se parece más a una sola portadora, lo que explica el "SC" en su nombre.
- Sin embargo, el símbolo SC-FDMA contiene N "sub-símbolos" que representan los datos de modulación.

- El ancho de banda ocupado por SC-FDMA es el mismo que el OFDMA de múltiples portadoras, pero fundamentalmente, el PAR es el mismo que el utilizado para los símbolos de datos originales.





## b. Encuestas

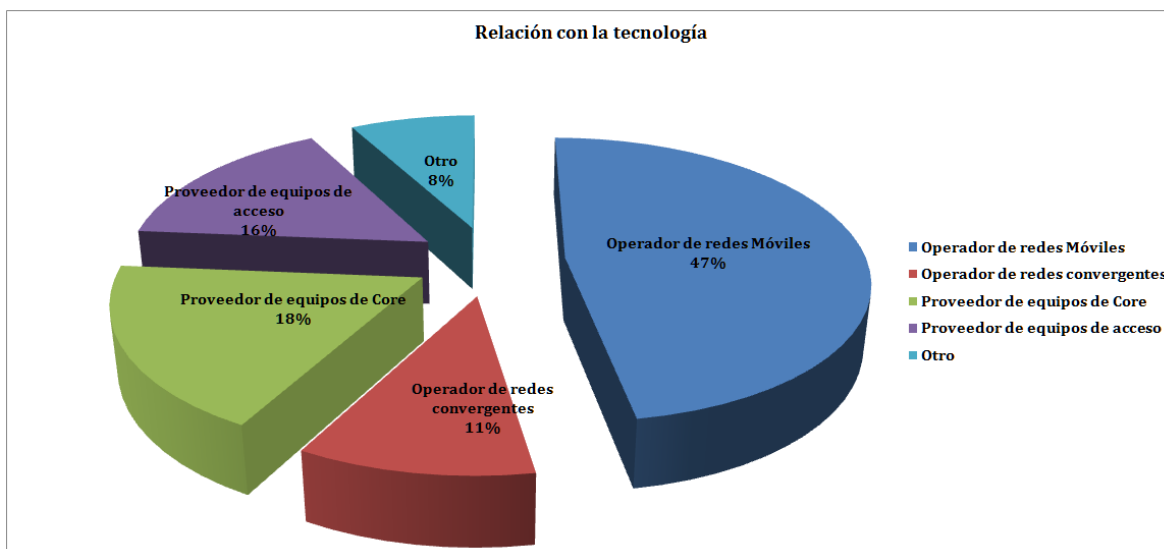
La investigación clasificada según la obtención de las fuentes de información, combina las técnicas de investigación documental y la investigación de campo<sup>3</sup> con muestras intencionales. Este tipo de muestreo se caracteriza por un esfuerzo deliberado de obtener muestras "representativas" mediante la inclusión en la muestra de grupos típicos.

La innovación, definida por la RAE como la fase en la que un producto, idea o concepto se modifica y se introduce en un mercado, está dada por la intención de obtener una serie de mejoras para el desarrollo de redes LTE, mientras que la originalidad de la investigación encuentra basamento en la misma tecnología investigada, que se halla en pleno desarrollo evolutivo, ya sea en el orden de la explotación como en el de la generación de nuevas funcionalidades.

A continuación, el detalle de datos obtenidos de las entrevistas y contactos con profesionales involucrados en la temática.

### Bloque de aspectos generales de 4G-VolTE

#### 1.1. Actividad de los entrevistados para con LTE

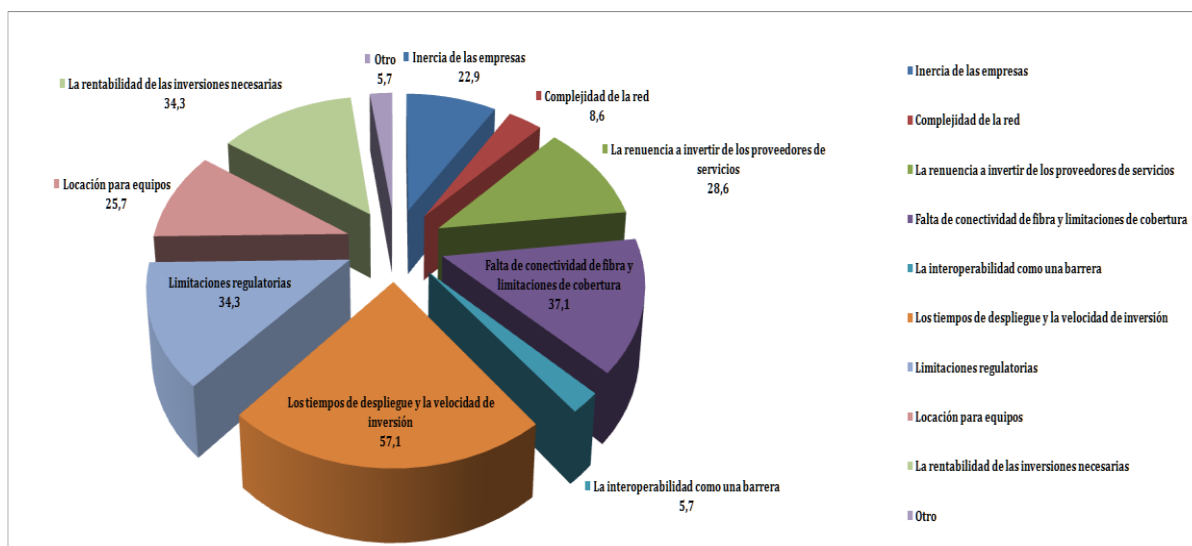


El gráfico anterior indica que el universo de entrevistados se encuentra entre Operadores de Redes Fijas, Convergentes, Móviles y proveedores de equipamiento para Carriers, lo

<sup>3</sup>Rojas Crotte, Ignacio Roberto- ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DE TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN: UNA PROPUESTA DE DEFINICIONES Y PROCEDIMIENTOS EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA *Tiempo de Educar*, vol. 12, núm. 24, julio-diciembre, 2011, pp. 277-297 Universidad Autónoma del Estado de México

que demuestra la heterogeneidad en la selección los profesionales de la industria de las Telecomunicaciones.

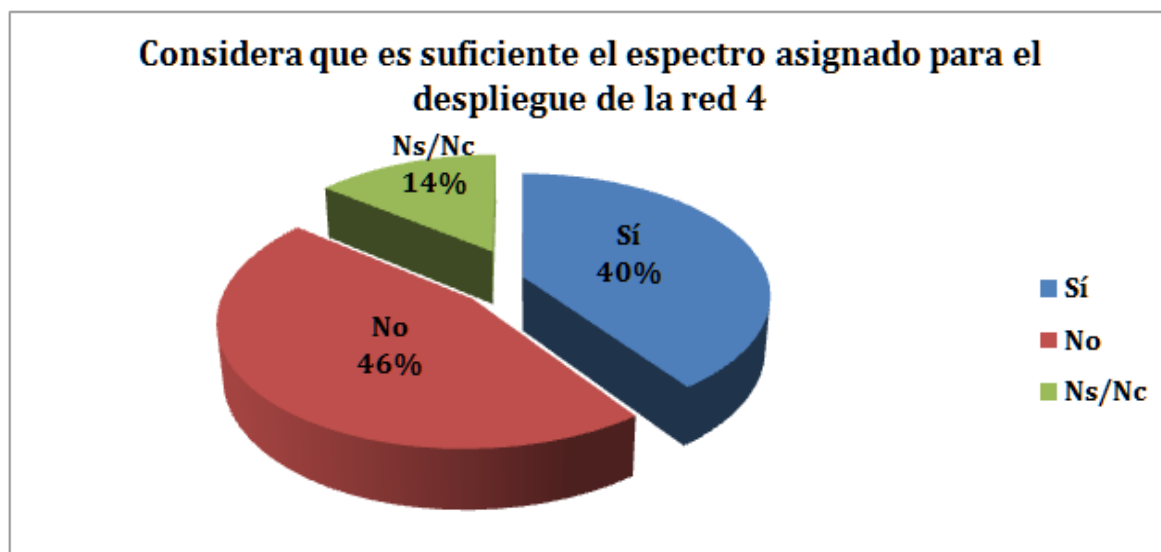
## 1.2. Inhibidores para el despliegue de la red LTE



Como describe el gráfico anterior, de acuerdo con la opinión de los entrevistados entre los inhibidores para el desarrollo de una red LTE se destacan los tiempos de despliegue (fijados por marco regulatorio), la falta de conectividad física por fibra óptica y la rentabilidad de las inversiones.

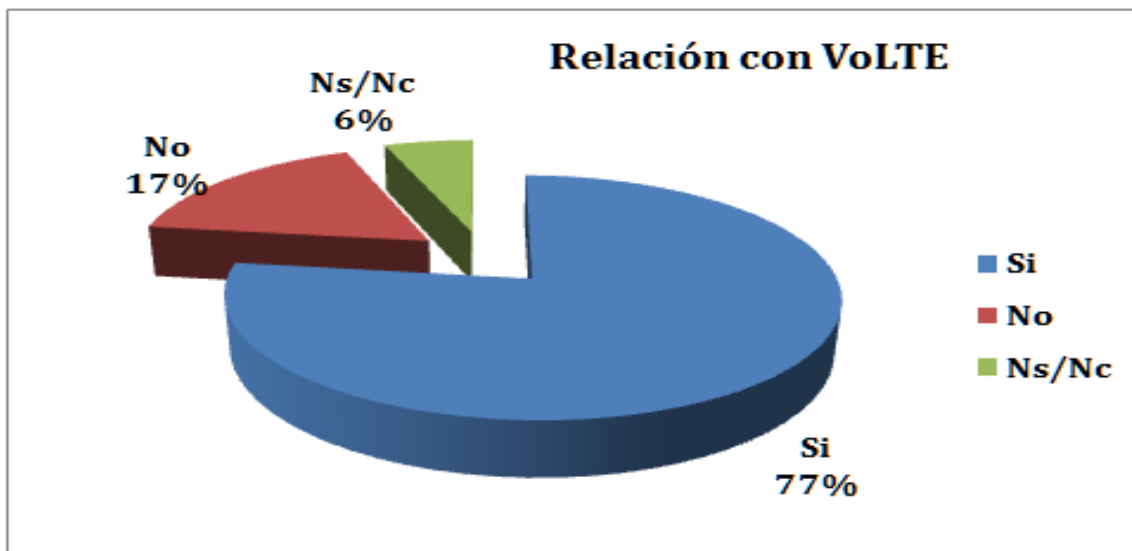
Se debe hacer mención a la particularidad, que cada entrevistado contó con la posibilidad de brindar hasta tres respuestas ordenadas de acuerdo a su criterio, por esa razón la excedencia de 100% al sumar las diferentes opciones.

- Considera que es suficiente el espectro asignado para el despliegue de la red 4G.

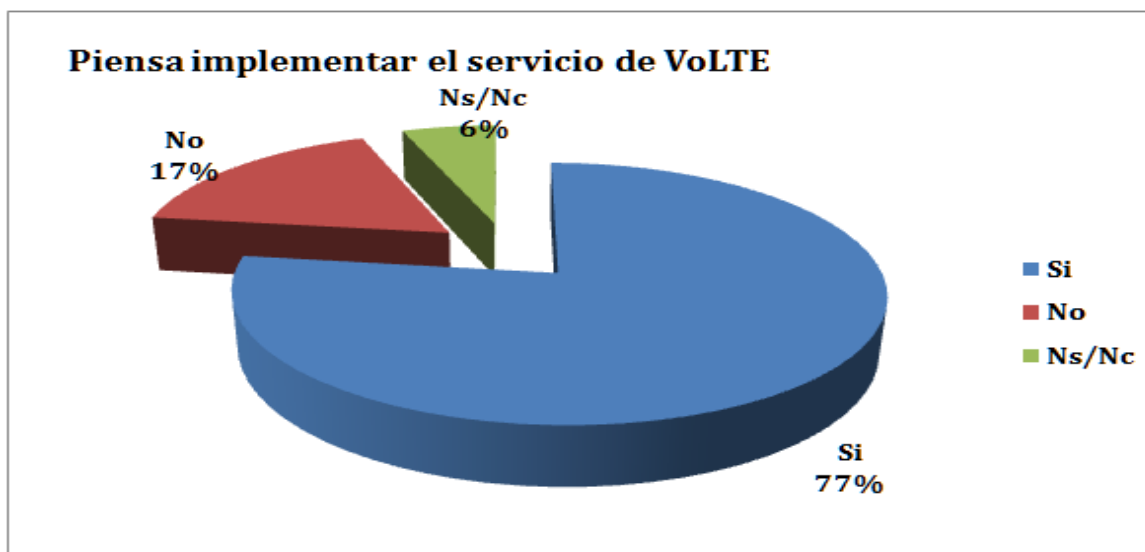


Este gráfico demuestra que no existe unanimidad de criterio sobre el espectro asignado. Considerando que en la pregunta anterior el marco regulatorio ocupa el tercer lugar en los inhibidores, es posible afirmar que respecto del espectro no hay una limitación de peso para el despliegue de las redes LTE.

- Su empresa está relacionada con el servicio de VoLTE



- Está proyectando implementar el servicio de VoLTE



El análisis conjunto de las respuestas a las 2 preguntas anteriores, permite interpretar que VoLTE no es visto como un diferencial de servicio, sino más bien como una tendencia u obligación tecnológica en redes LTE.

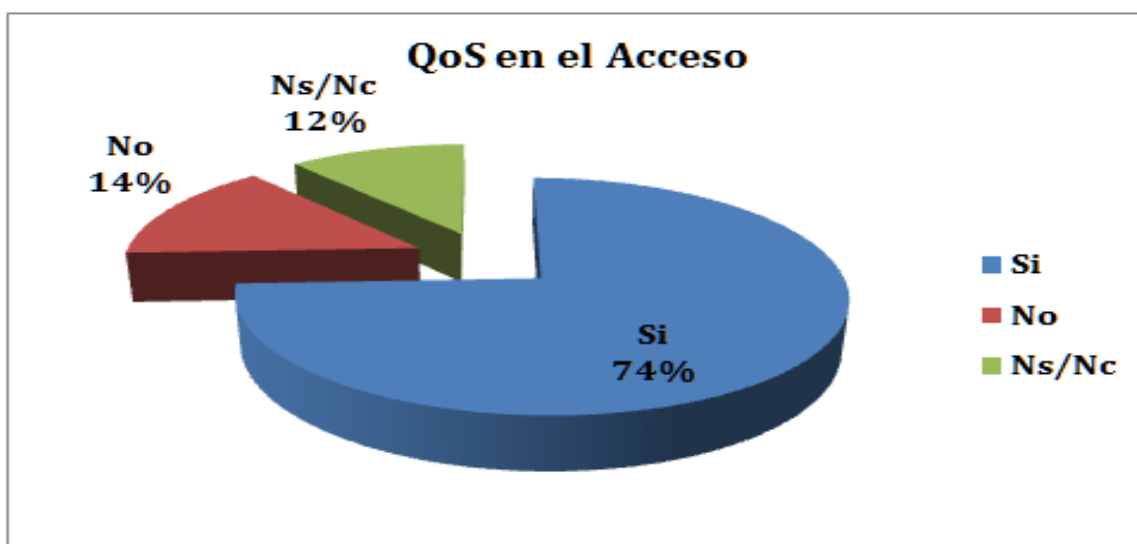
En conjunto, los entrevistados afirman categóricamente (70%) que están implementando o se hallan relacionados con la implementación de VoLTE.

Sin embargo, el peligro detectado para el avance de las redes LTE y con ello VoLTE, no parece hallarse en VoLTE, sino en la conectividad de los sitios o los tiempos que exige el demandante mercado de las Telecomunicaciones.

## 2. Bloque de Despliegue y Planificación de la red 4G

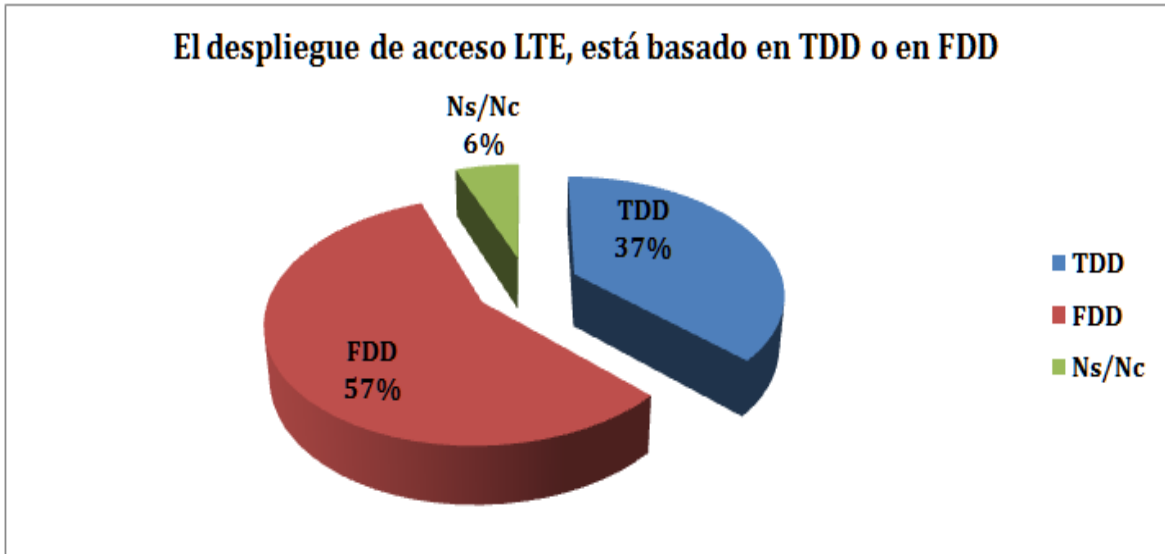
El siguiente bloque de preguntas está destinado a brindar a los investigadores, conocimiento acerca de la conformación de la red de los proveedores LTE y sus características.

### 2.1. ¿Su red 4G tiene configurado QoS en el Acceso?



Para conocer una red LTE, el concepto de QoS toma importancia cuando es necesaria la diferenciación servicios y usuarios. En este sentido, los mecanismos de QoS deben permitir al operador ofrecer, por un lado, un acceso diferenciado a cada uno de los servicios, puesto que estos tienen diferentes requisitos de desempeño, como ancho de banda y retardo, y, por otro lado, una diferenciación de usuarios, es decir, diferenciar el trato por grupos de usuarios para el mismo servicio, como por ejemplo diferenciar usuarios pre-pago de los usuarios post-pago en el acceso a Internet.

### 2.2. ¿El despliegue de acceso 4G, está basado en TDD o en FDD?

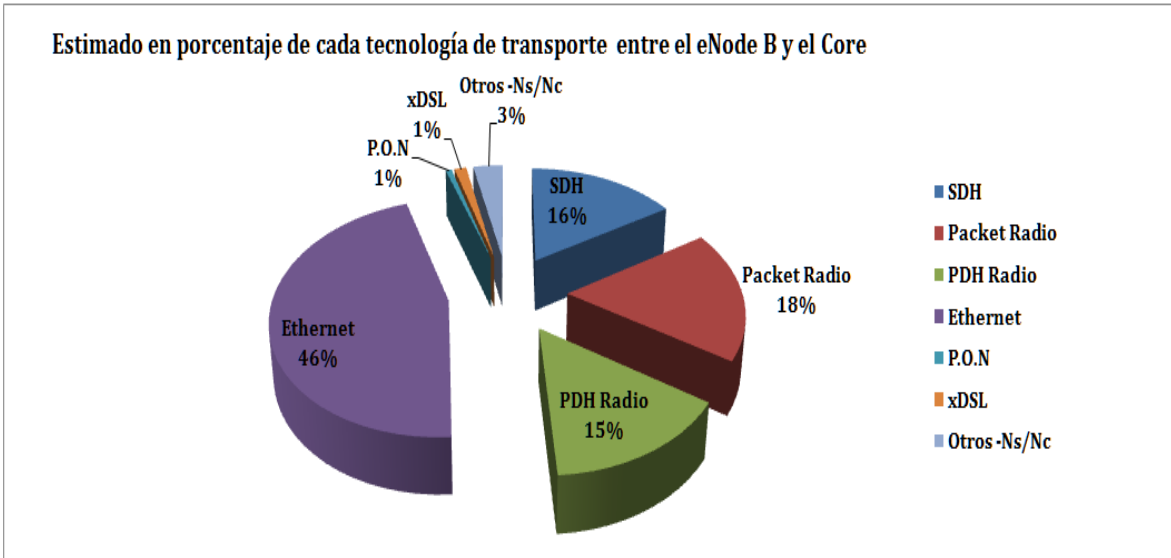


FDD es el acrónimo de División de Duplexación por Frecuencia (equivalente a Full-Duplex), que significa que el radio transmite y recibe datos al mismo tiempo, logrando así alto rendimiento y latencia muy baja.

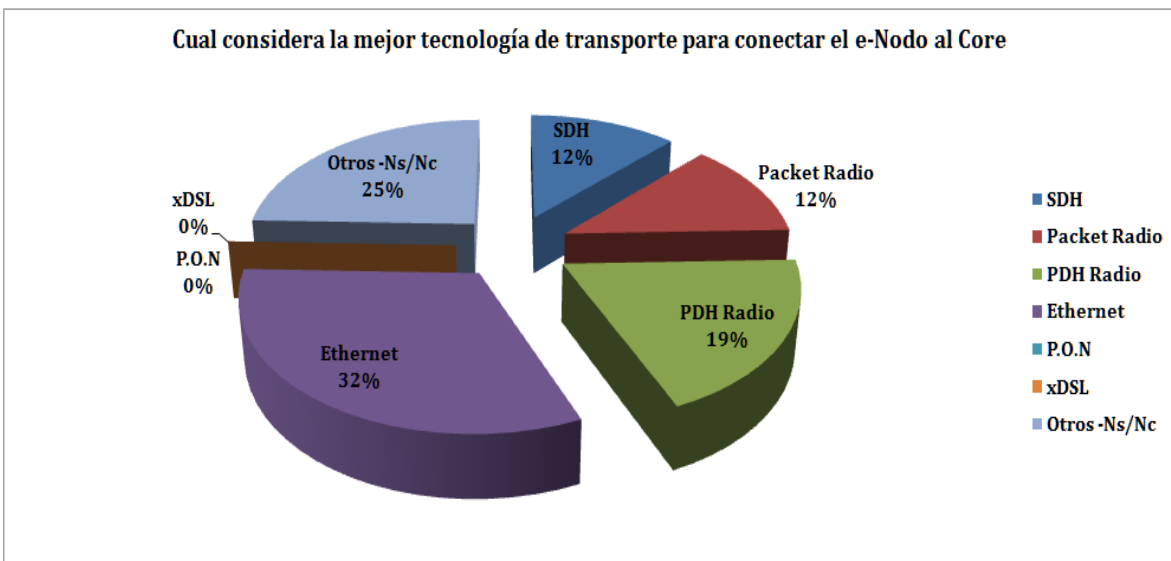
TDD es el acrónimo de División de Duplexación por Tiempo (equivalente a Half-Dúplex), lo que significa que el radio puede transmitir o recibir datos, pero no realizar ambas acciones al mismo tiempo. Es importante recordar que los enlaces Half-Duplex siguen siendo bidireccionales, pero el radio debe dejar de transmitir para recibir, y viceversa.

Del análisis conjunto de las preguntas anteriores referidas al acceso, se desprende que FDD ha sido elegido como método de sincronismo y se puede asumir que se han implementado soluciones tecnológicas que no son consideradas como las mejores, caso xDSL o P.O.N. pero por razones de servicio o de velocidad de implementación, han obligado a implementarlas.

**2.3. Indique un estimado en porcentaje de cada tecnología de transporte que usa para conectar e-Node B al Core**

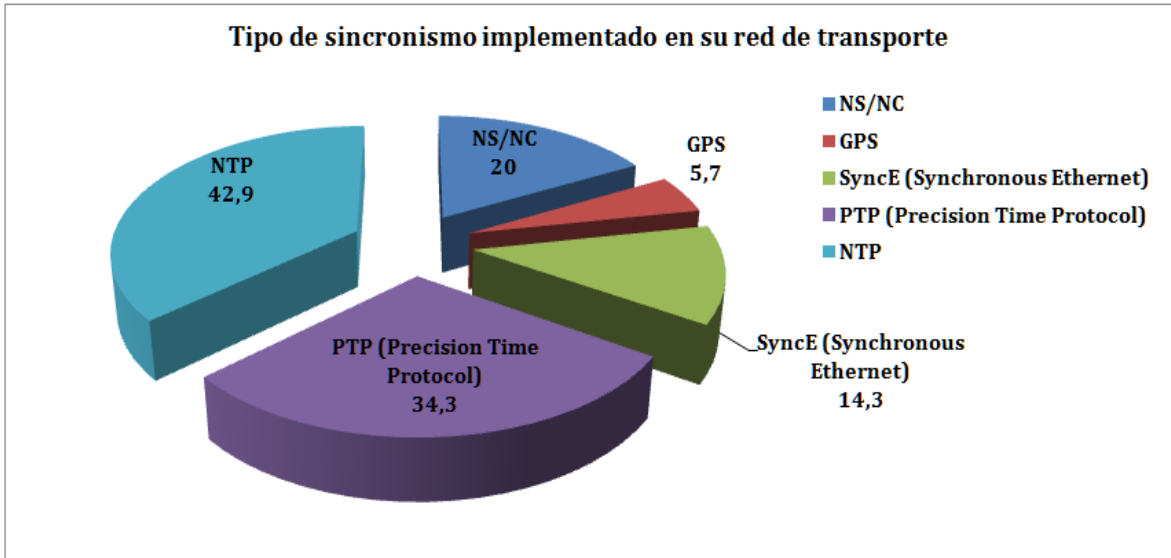


**2.4. ¿Cuál considera la mejor tecnología de transporte para conectar el e-Nodo B al Core?**

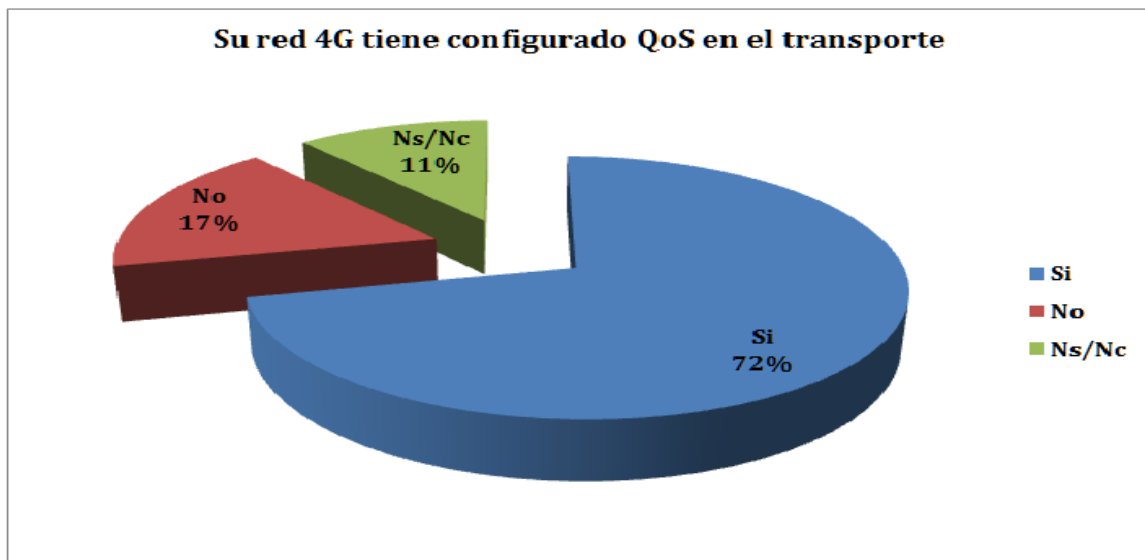


Se observa, en base de las dos respuestas anteriores, el predominio de las tecnologías Ethernet por sobre las restantes tecnologías de transporte, gracias a su evolución en grandes velocidades (bps - Bit Por Segundo) y su costo competitivo. A la fecha de la presente investigación la mayoría de los limitantes de la tecnología Ethernet para las comunicaciones móviles (como el transporte del sincronismo) han sido solucionados y estandarizados.

**2.5. ¿Qué tipo de sincronismo tiene implementado en su red de transporte?**



**2.6. ¿Su red 4G tiene configurado QoS en el transporte?**



Del análisis conjunto de las preguntas anteriores referidas al transporte, se desprende que NTP y PTP han sido elegidos como método de sincronismo y que la calidad de servicio es asumida como mandatorio.

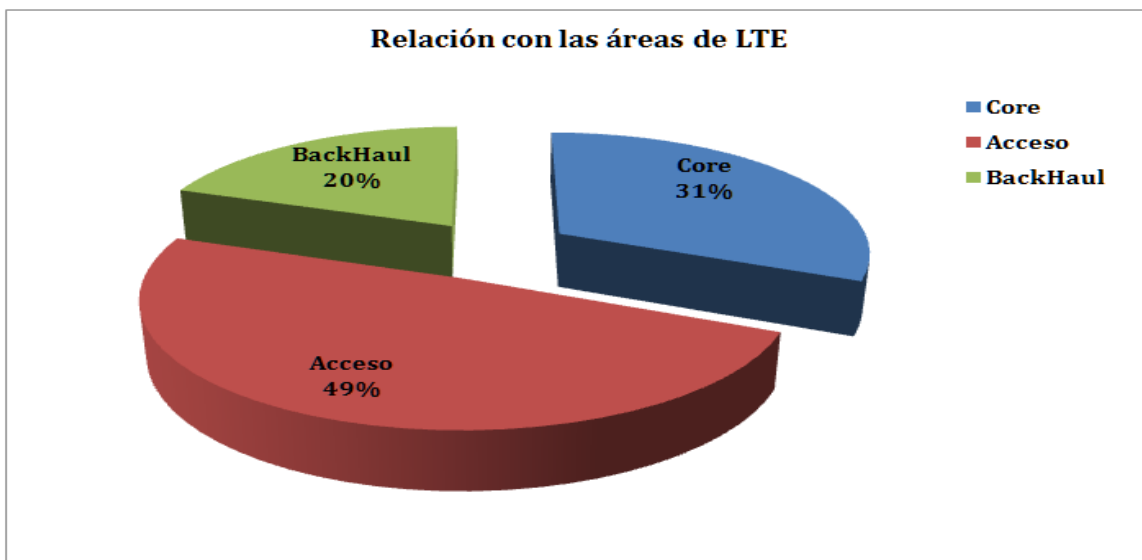
**Bloque de tecnologías/proveedores actuales**

El siguiente bloque de preguntas pretende hacer una distinción entre equipos de Acceso y de Core (o Núcleo) en la red. Se muestra con los resultados una percepción integral sobre estos proveedores.

En este apartado se consideraron integralmente la calidad y cantidad de calificaciones que se realizaron en las encuestas.

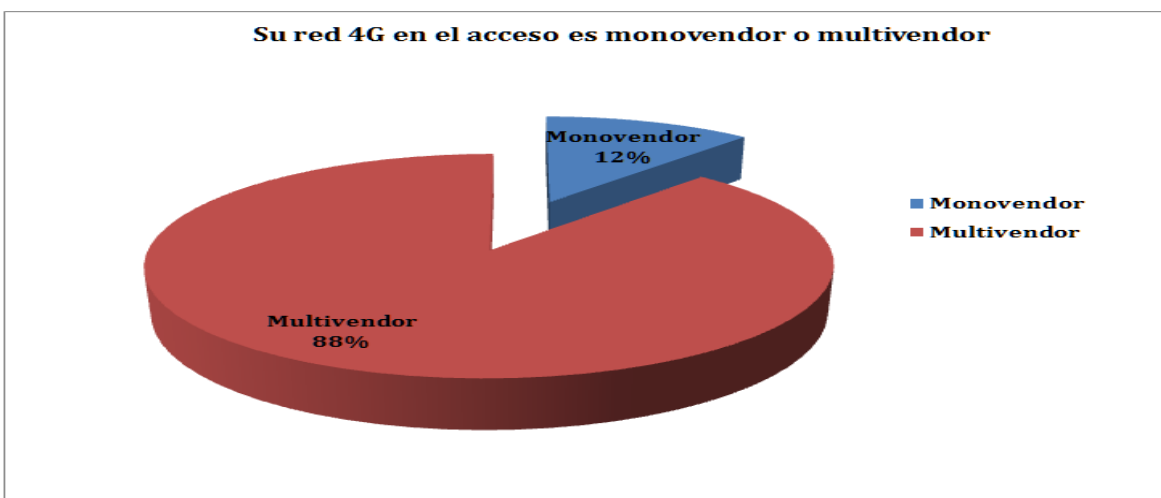
Se debe puntualizar que varios de los proveedores no tienen dedicación exclusiva con un área específica de la red LTE, así, por ejemplo, Huawei aplica en todas las áreas de la red que hemos considerado.

### 2.7. ¿Con cuál de las siguientes áreas de una red LTE se halla relacionado Ud. o su empresa?



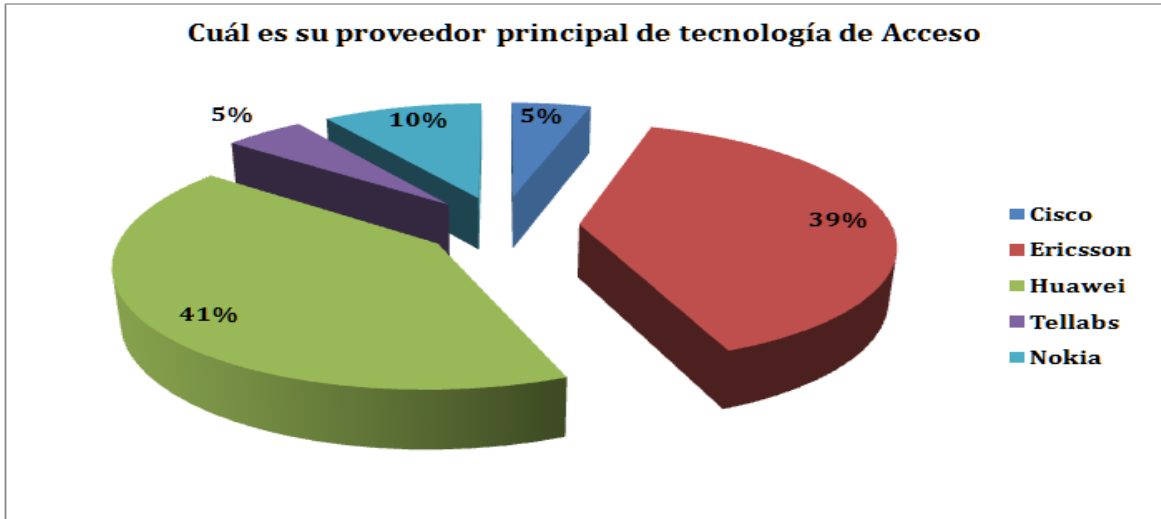
Esta pregunta busca establecer la pertinencia de considerar el BackHaul o red de transporte como una parte específica de la red de Core. El BackHaul de la red LTE es tan específico en su interacción, que no es erróneo considerarlo parte específica del Core LTE.

### 2.8. ¿Su red LTE en el acceso es monovendor o multivendor?



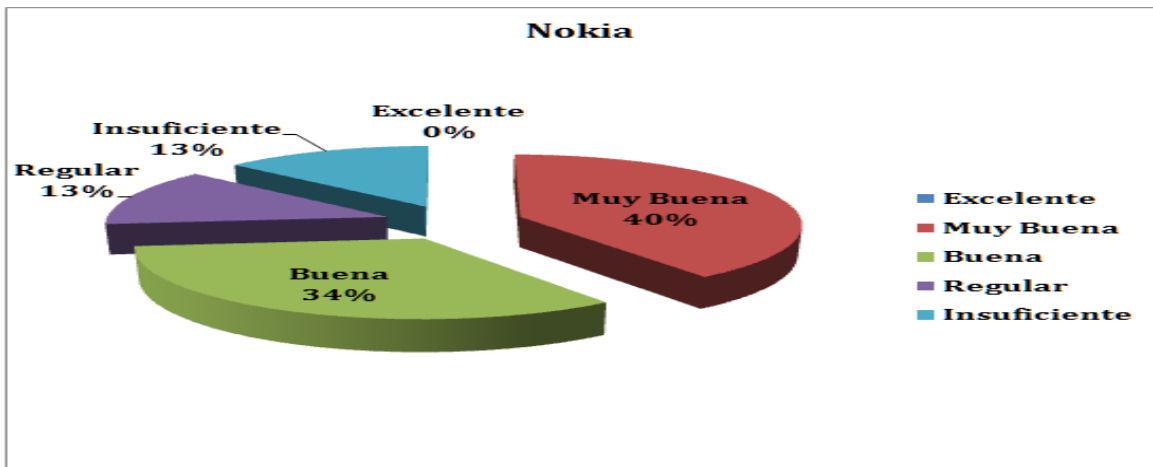
### 2.9. ¿Cuál es su proveedor principal de tecnología de Acceso?

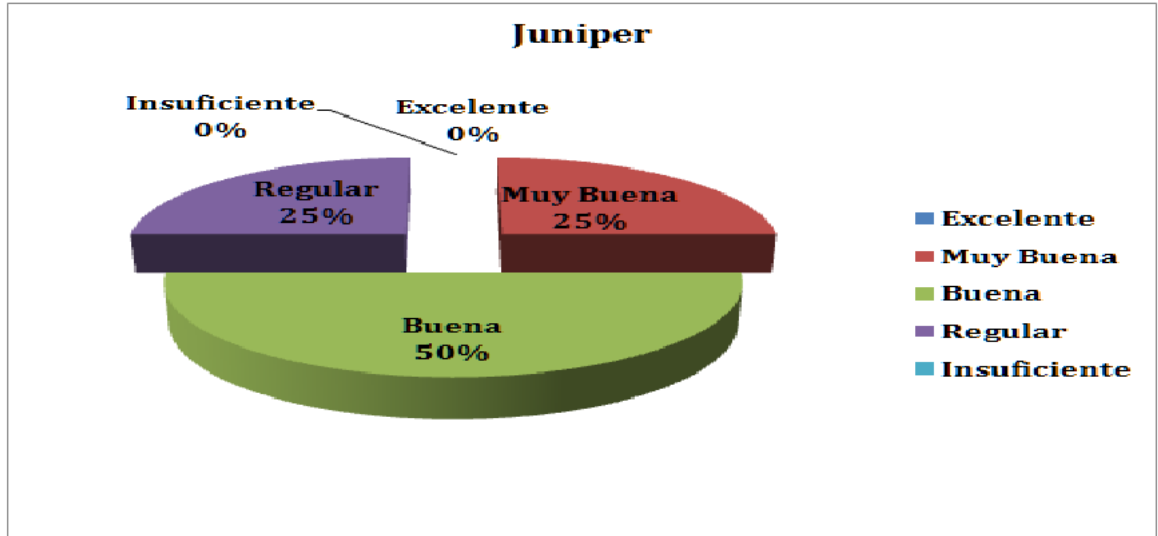
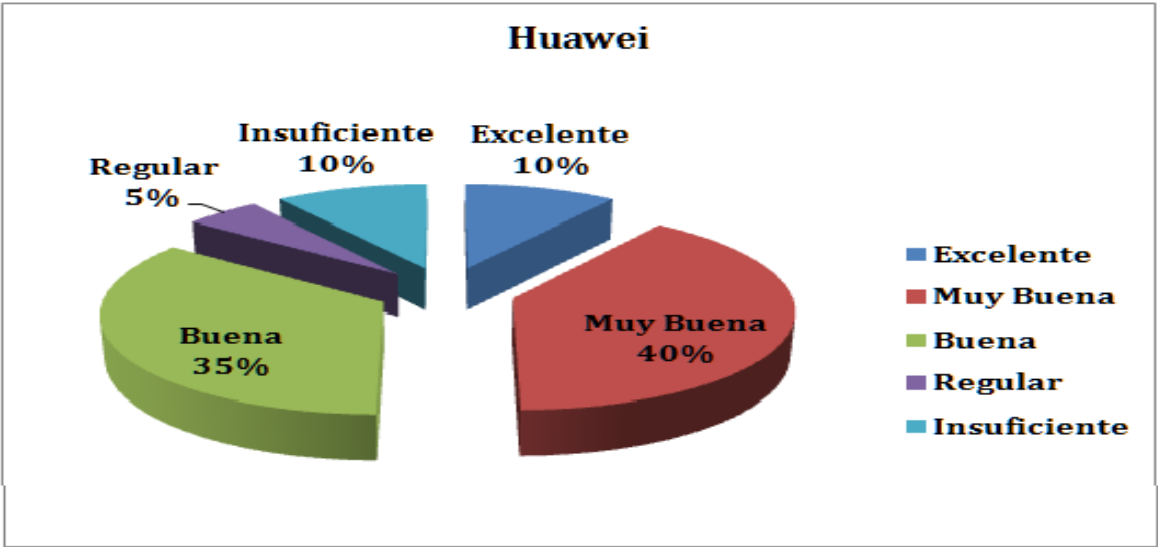
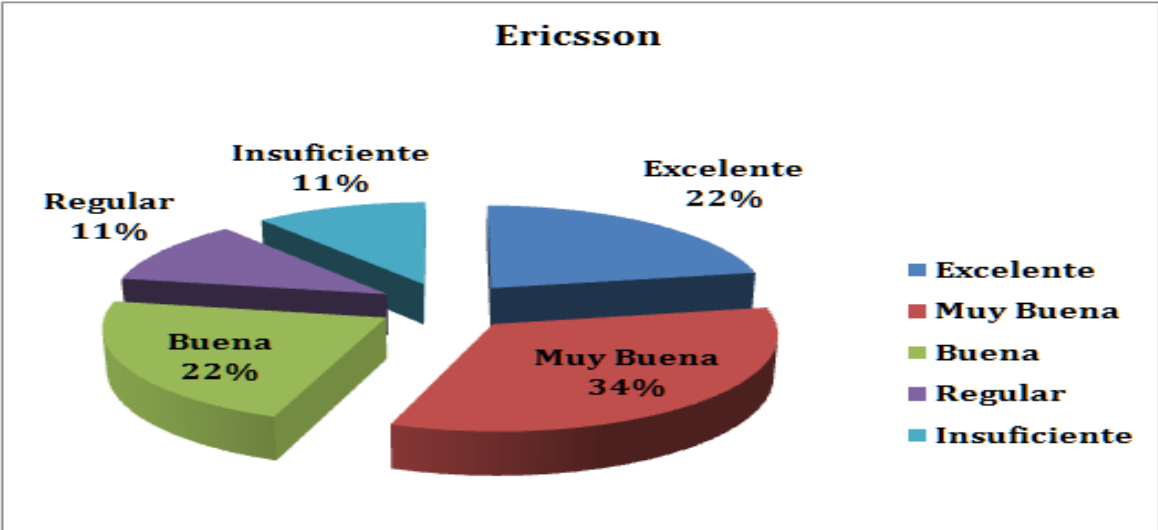


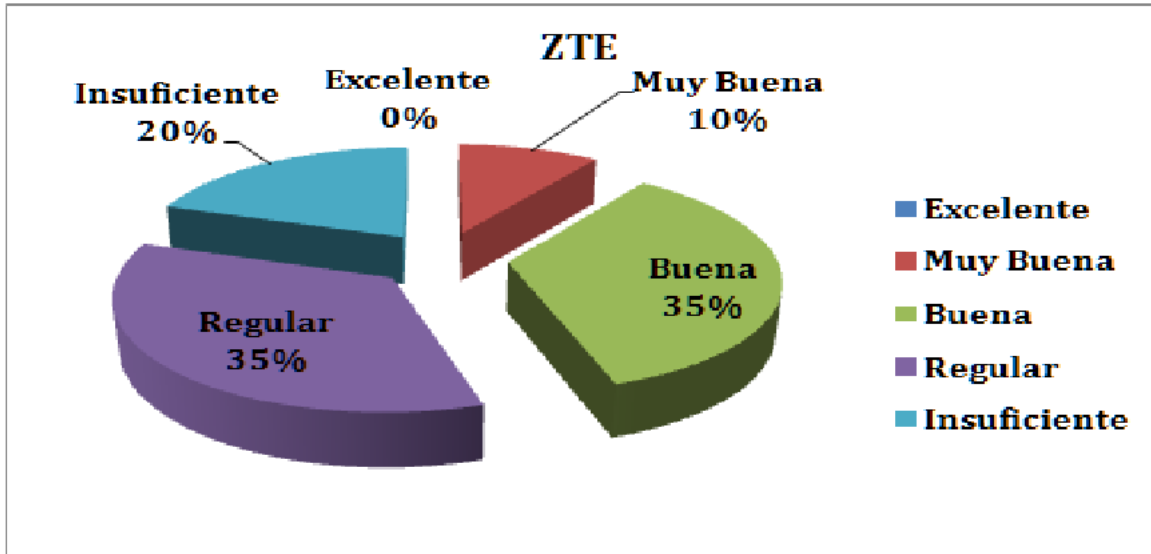


En el acceso claramente se observa que los proveedores de servicio utilizan escenarios de múltiples proveedores, siendo Huawei y Ericsson los que se llevan el market share a nivel nacional. Estos mismos proveedores predominan en el mercado internacional.

#### 2.10. Valoración de los proveedores de equipos para el Acceso

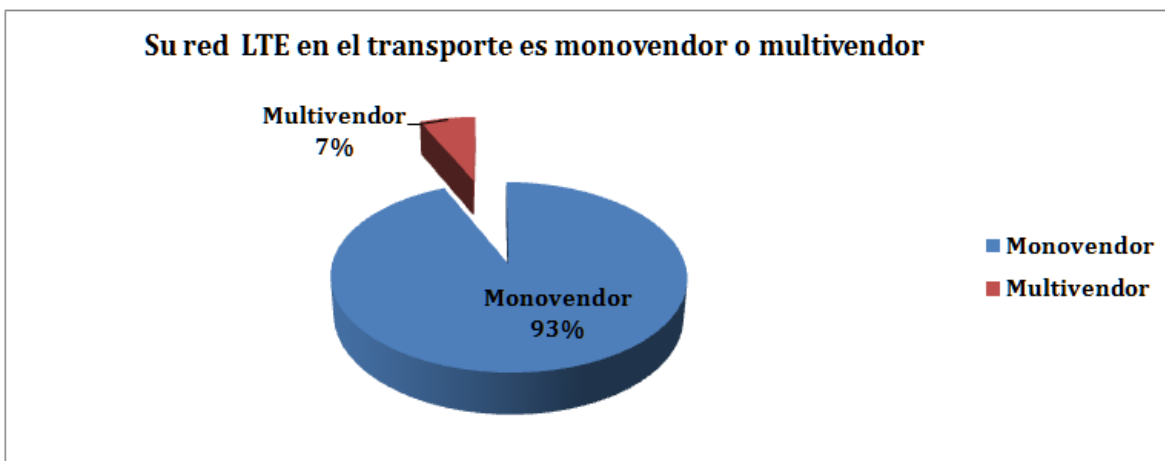






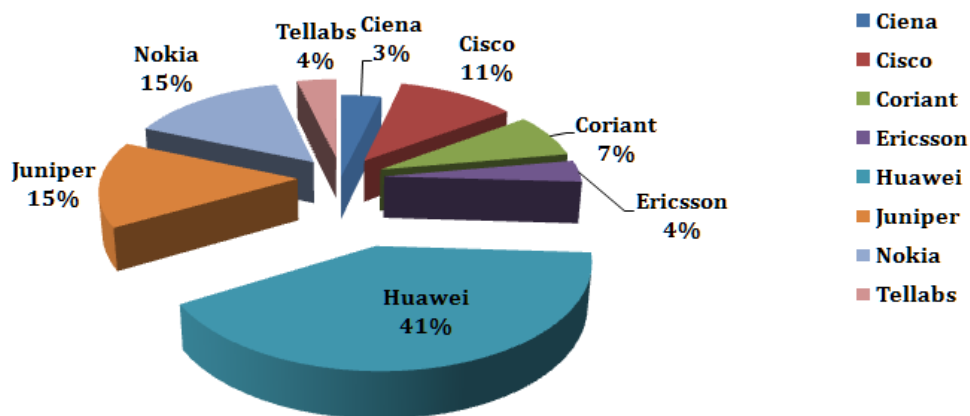
De las respuestas de los profesionales se verifica que Huawei, Nokia y Ericsson son las empresas con mejor calificación en la percepción del rendimiento de los equipos.

**2.11. ¿Su red LTE de transporte es monovendor o multivendor?**



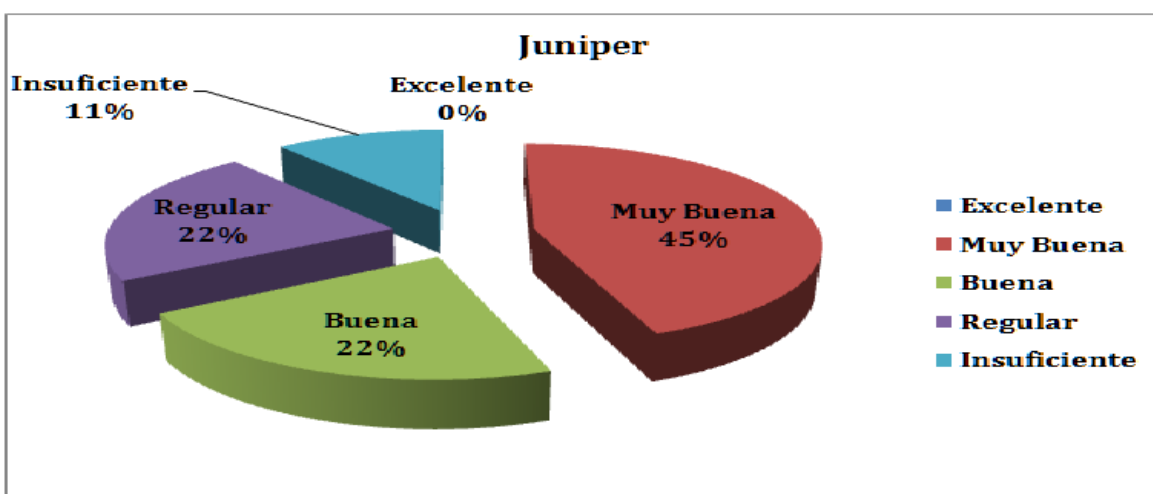
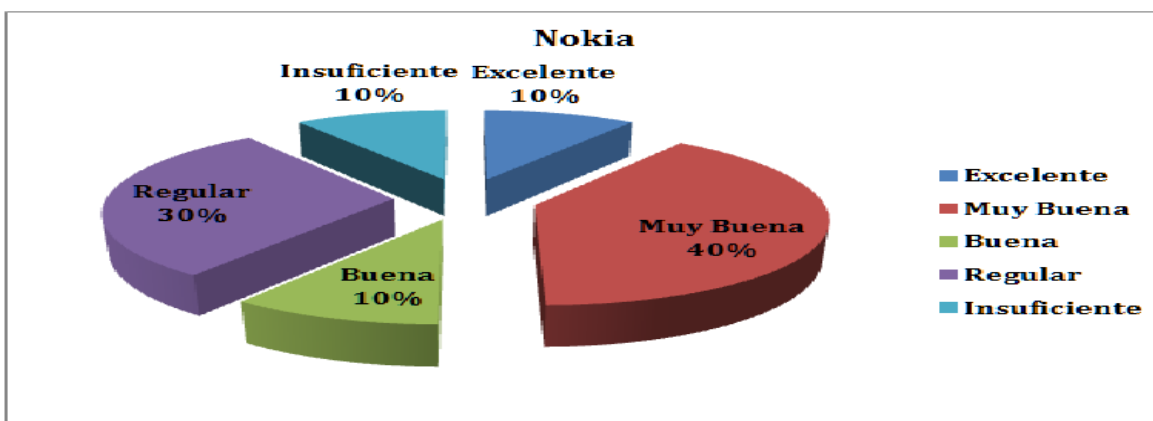
**2.12. ¿Cuál es su proveedor principal de tecnología de Transporte?**

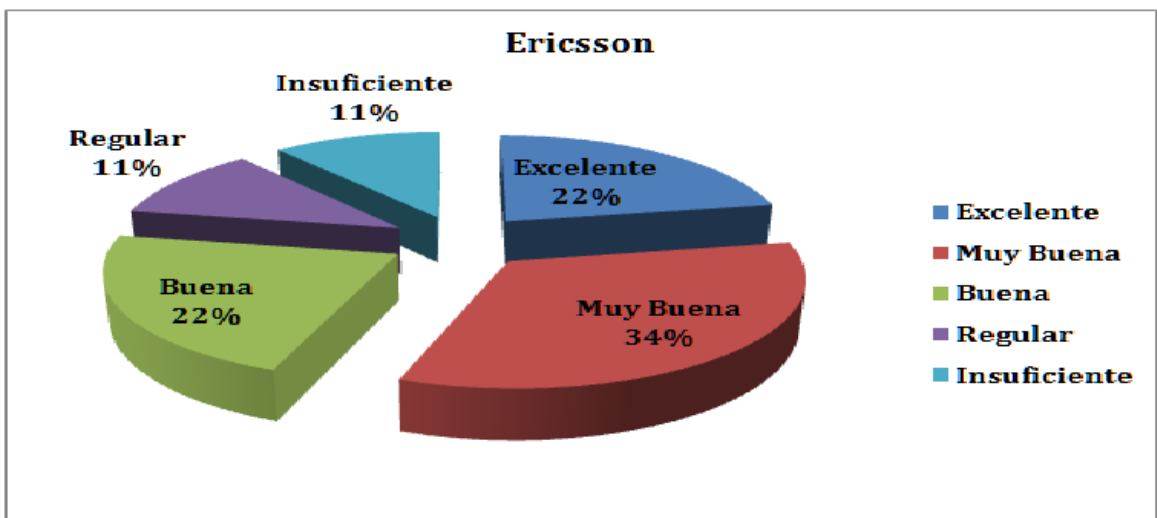
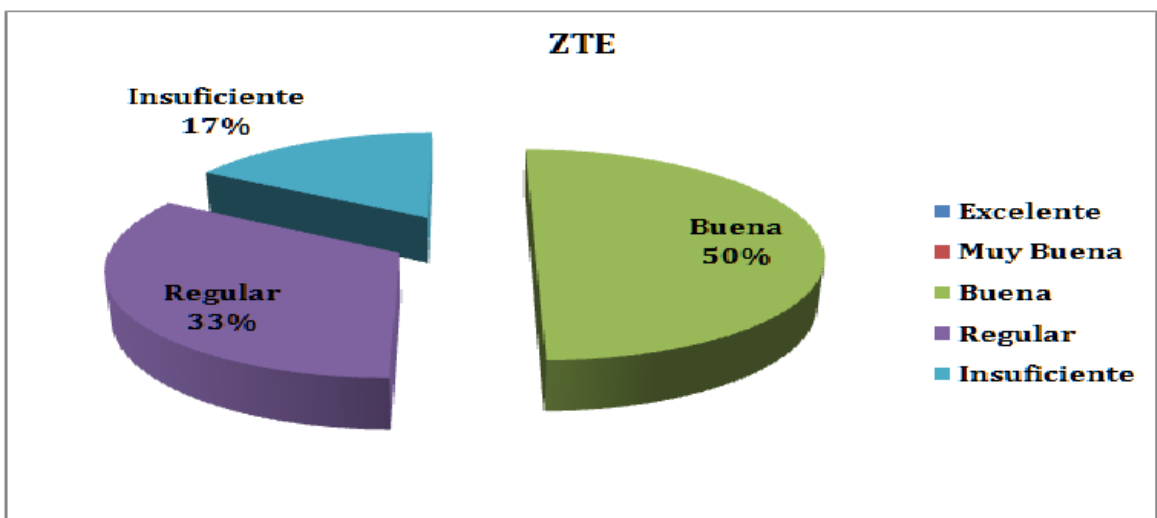
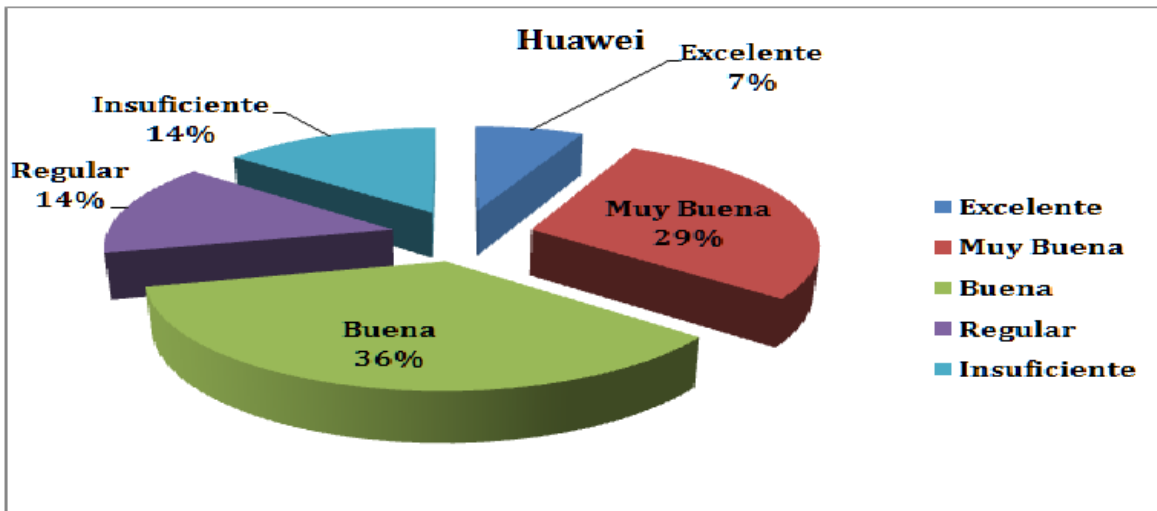
### Cuál es su proveedor principal de tecnología de Transporte

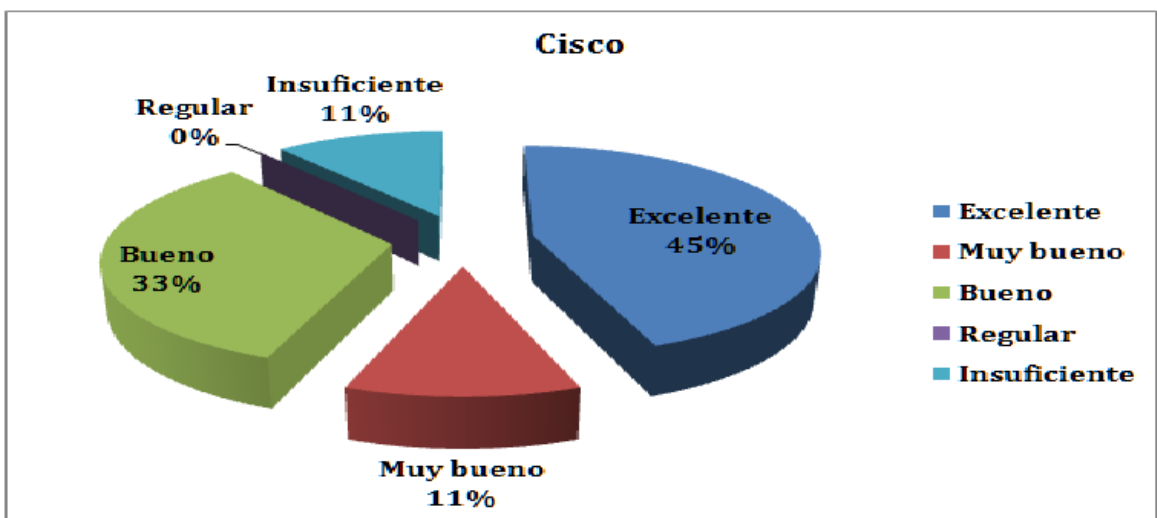
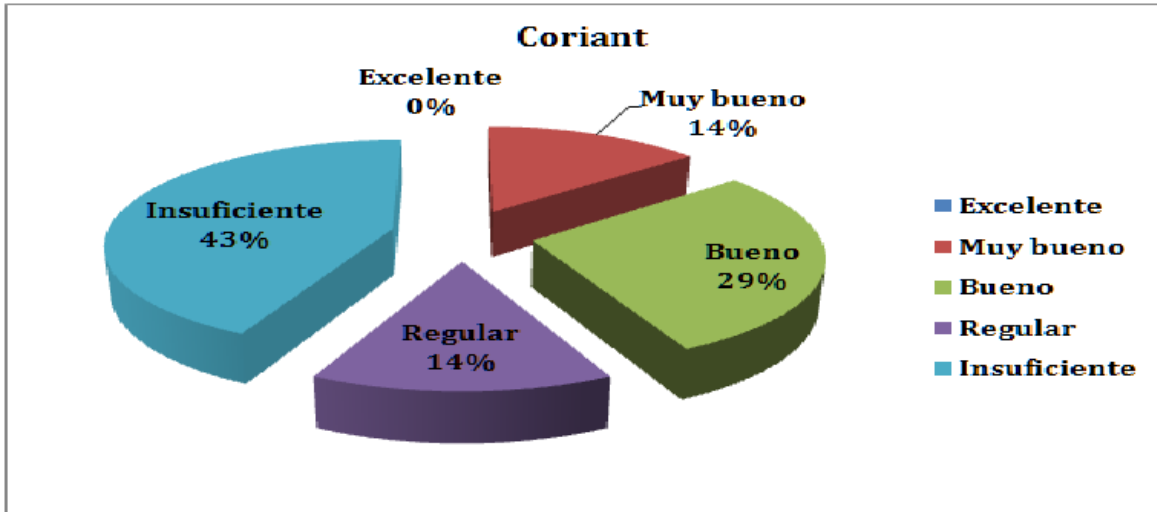


A diferencia del Acceso, en el Transporte los Carriers utilizan escenarios de único proveedor, se puede apreciar el alto porcentaje que refleja el resultado de este apartado.

### 2.13. Valoración de los proveedores de equipos para el Transporte.

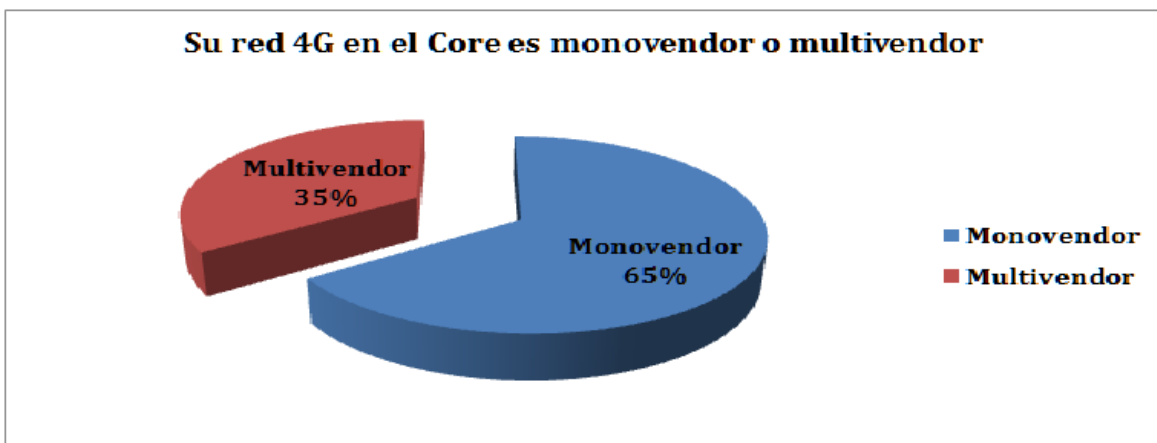




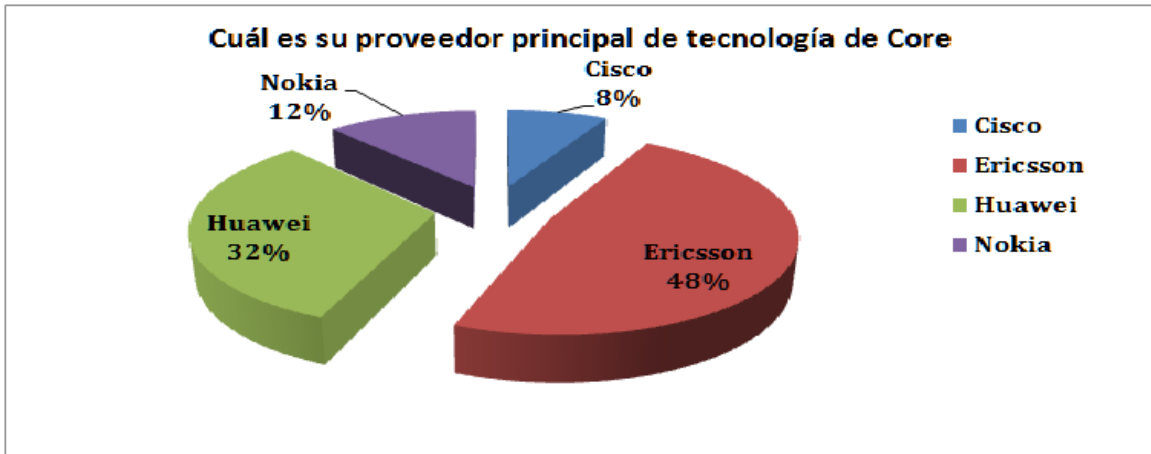


Se observa una alta calificación de los profesionales en los equipamientos de Cisco para el segmento de red de Transporte.

**2.14. ¿Su red LTE en el Core es monovendor o multivendor?**

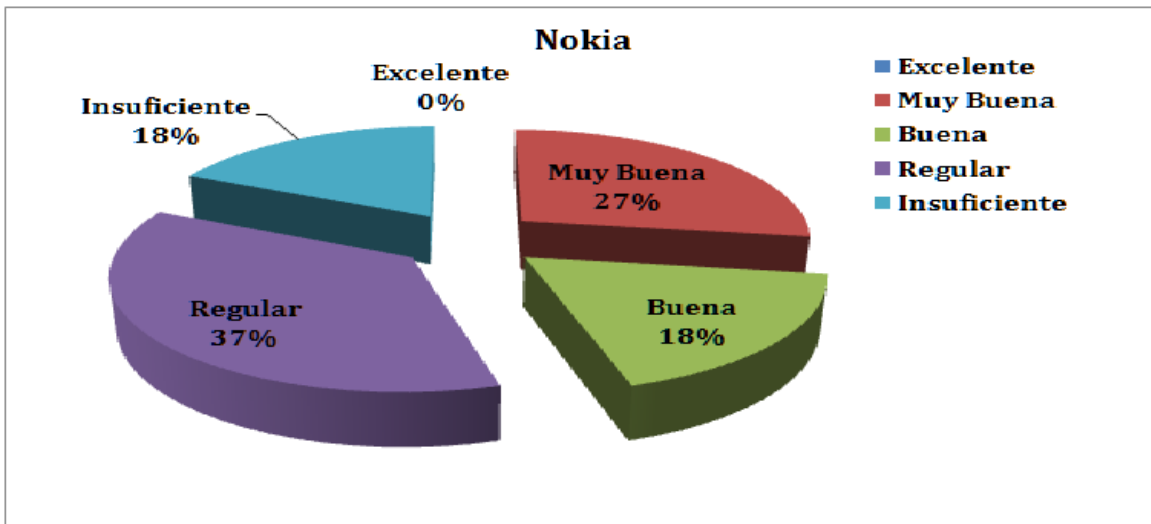


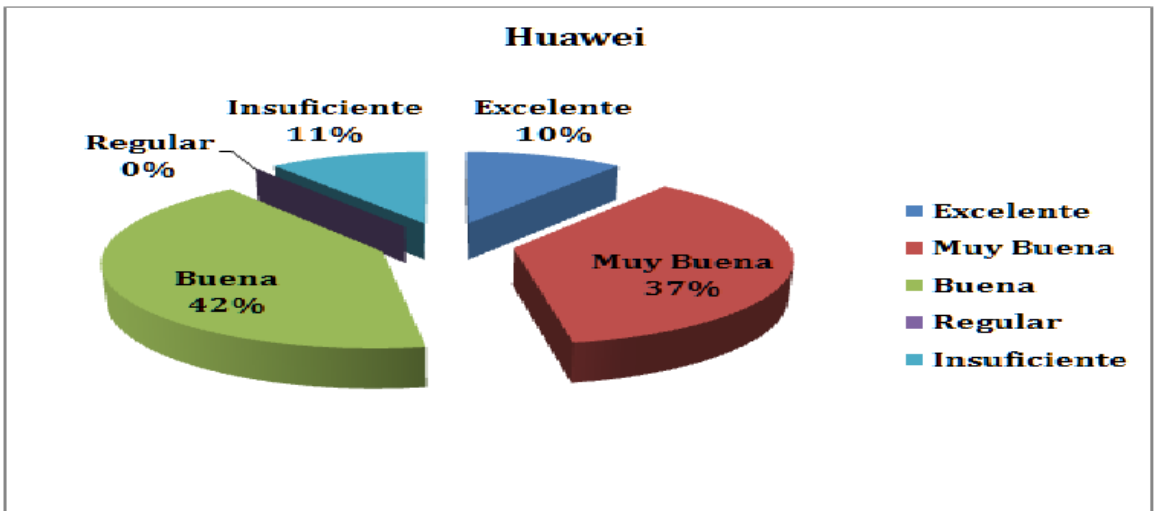
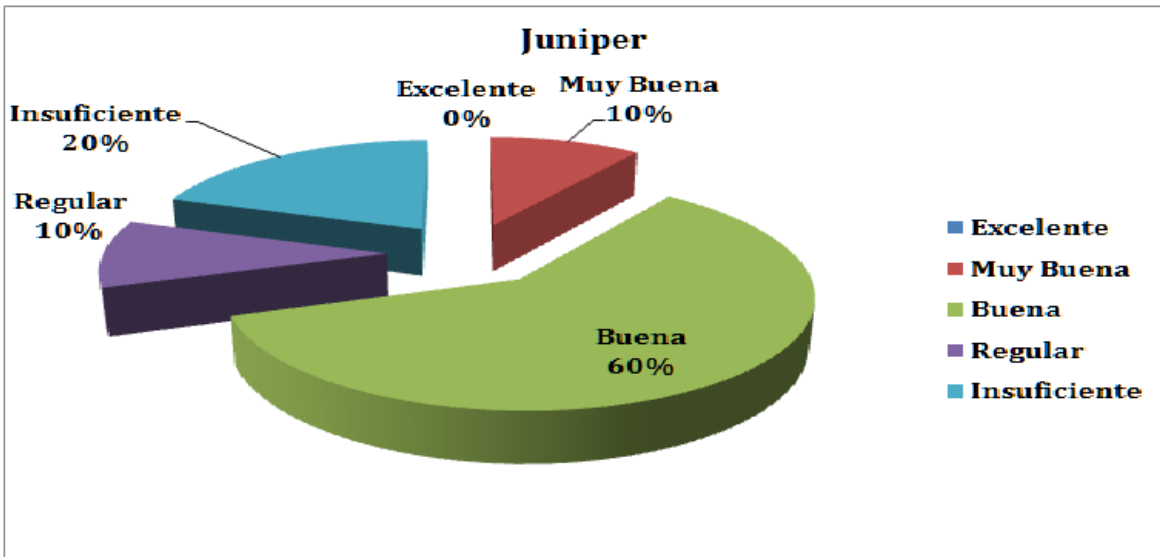
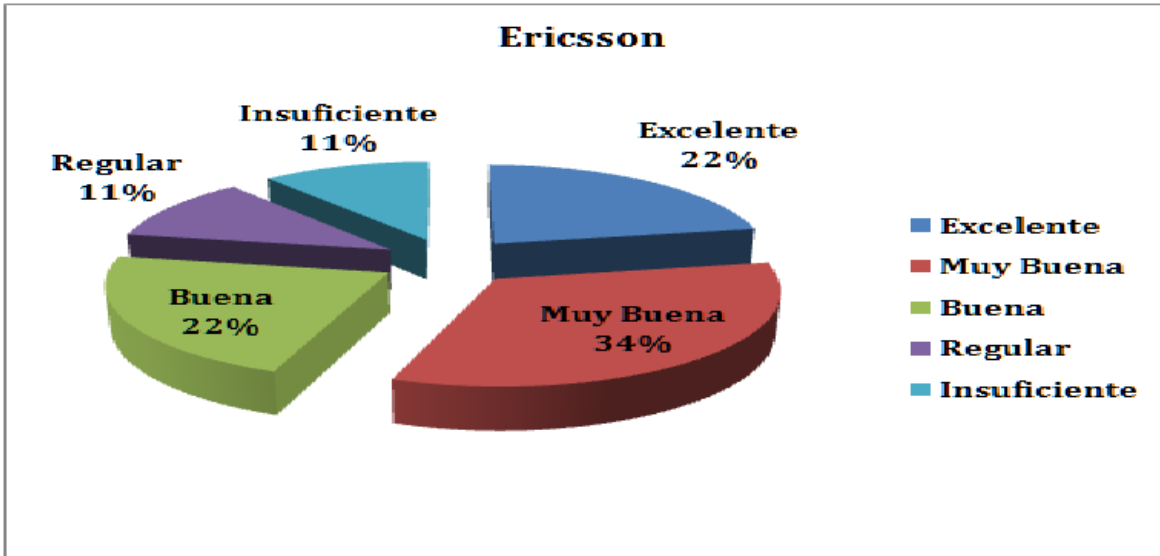
2.15. ¿Cuál es su proveedor principal de tecnología de Core?



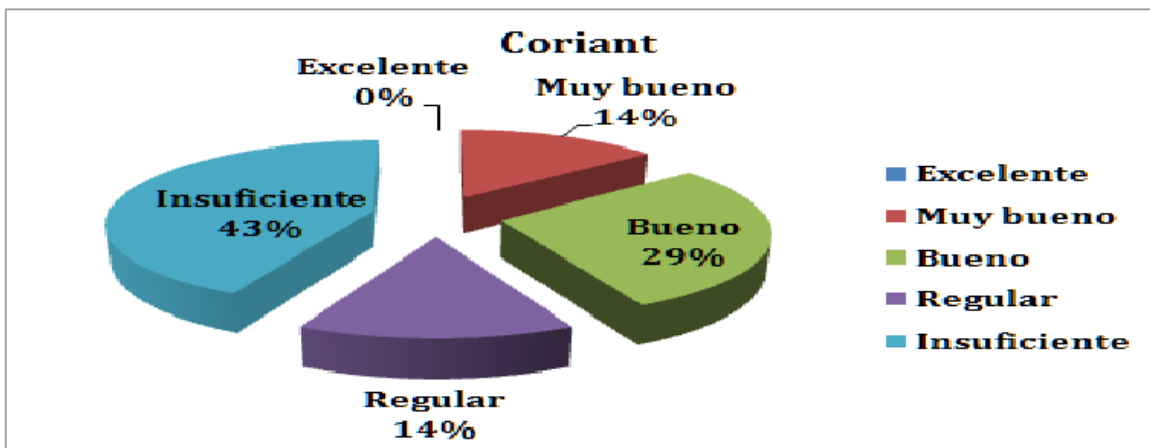
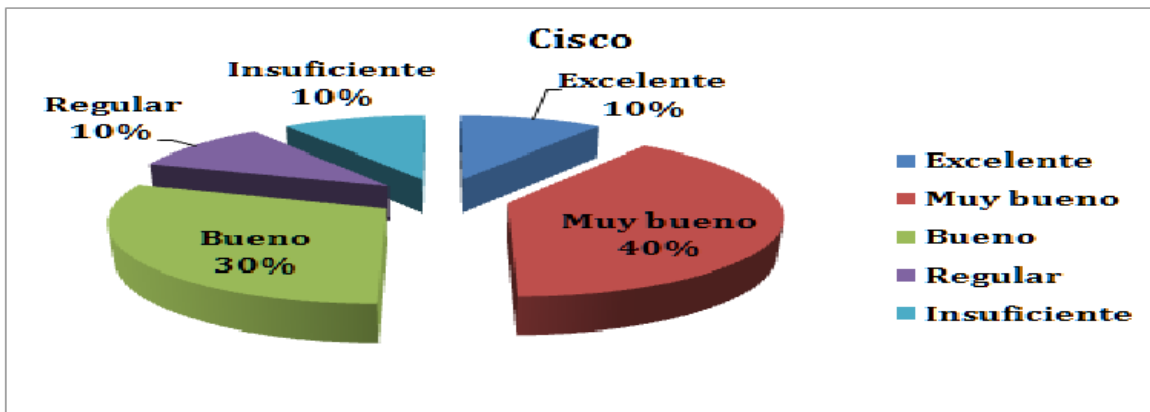
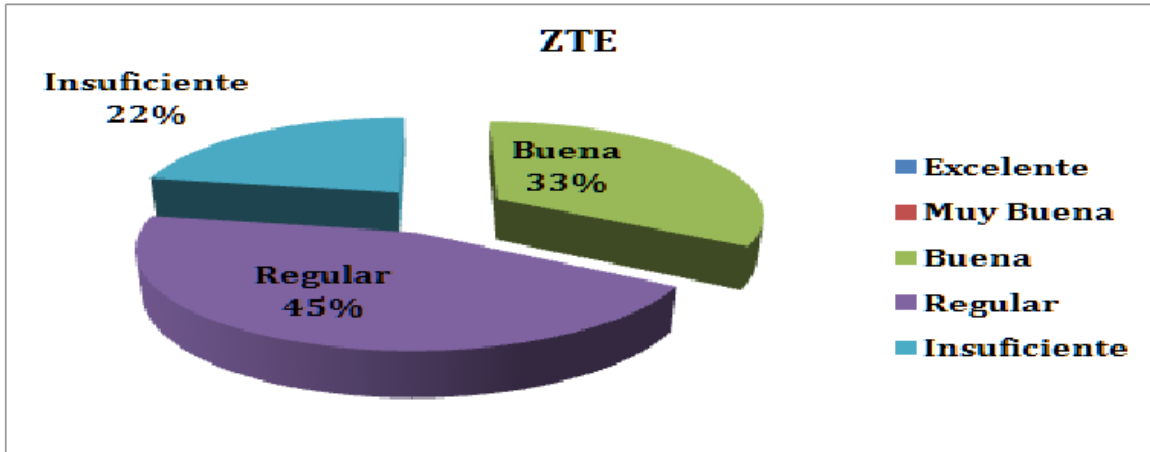
Basado en los resultados se verifica en el Core de la red que hay diferencia en la selección de escenarios monovendedor por sobre los multivendedor, pero a diferencia del Acceso y Transporte esta diferencia no es abrumadora.

2.16. Valoración de los proveedores de equipos 4G para el Core.









En el Core de la red, Ericsson predomina en la calificación positiva de los profesionales, una particularidad en este segmento de la red es la importancia de su experiencia en la arquitectura IMS, que es necesaria para poder brindar el servicio de VoLTE.

El análisis conjunto de las preguntas de este bloque de preguntas posiciona a Huawei y a Nokia como proveedores de productos para toda la red LTE, mientras que Juniper es destacado como proveedor de Transporte.

Ericsson, por el contrario, se ubica como proveedor de Acceso y Core.

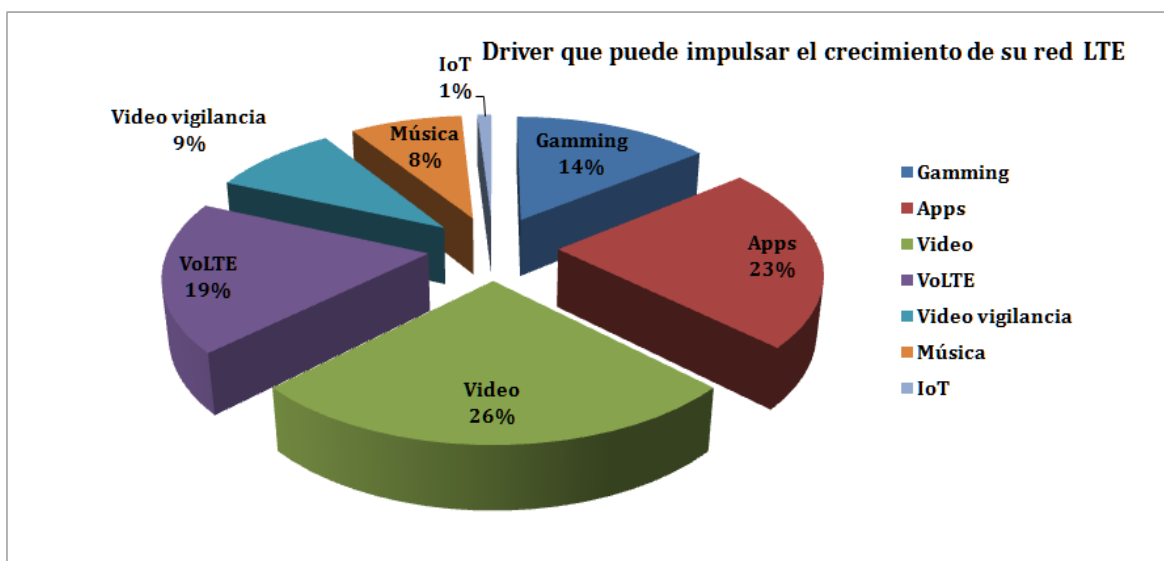
En cuanto a una clasificación cualitativa, Ericsson se impone con calificaciones positivas en la percepción de los encuestados, también Huawei y Nokia en menor medida. Mientras que Juniper destaca en lo que parece ser su negocio principal, la venta de equipamiento de transporte.

## Bloque de situación futura (Prospectiva)

En el siguiente bloque de preguntas se analiza la perspectiva de crecimiento de la red LTE, junto a las oportunidades de mejoras tecnológicas o nuevos desarrollos en LTE.

Es necesario mencionar que muchas de las preguntas pertenecientes a este bloque, presentan un elevado nivel de respuestas Ns/Nc debido a que, en los operadores móviles, las decisiones tecnológicas de futuro, suelen aguardar a la normalización de los estándares, en cambio los proveedores que impulsan tecnologías suelen ser quienes imponen las normas de estandarización, hallándose “un paso adelante”.

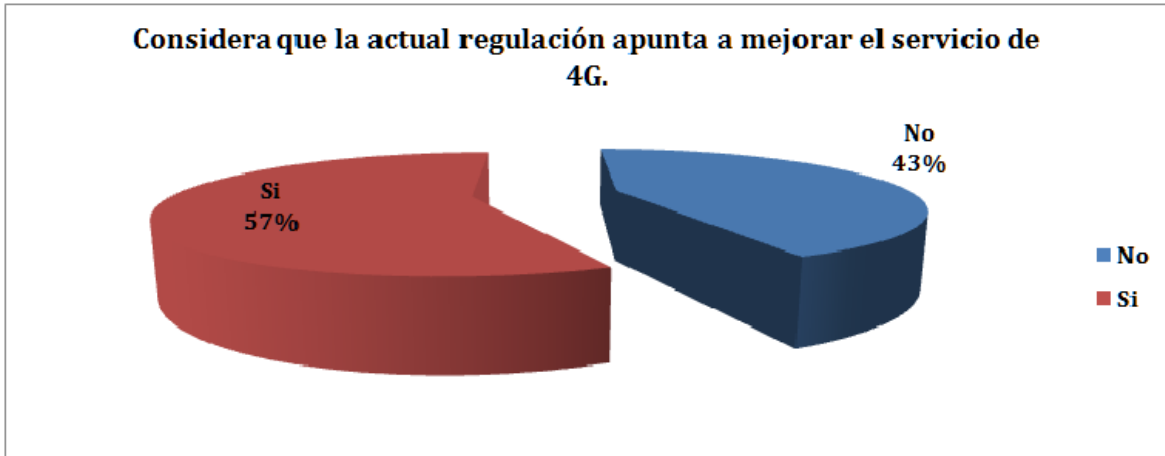
### 2.17. ¿Qué driver piensa que puede impulsar el crecimiento de su red LTE?



Complementando las consultas específicas de VoLTE al inicio del presente punto, no pareciera que dicho servicio sea relevante para el impulso de la red LTE.

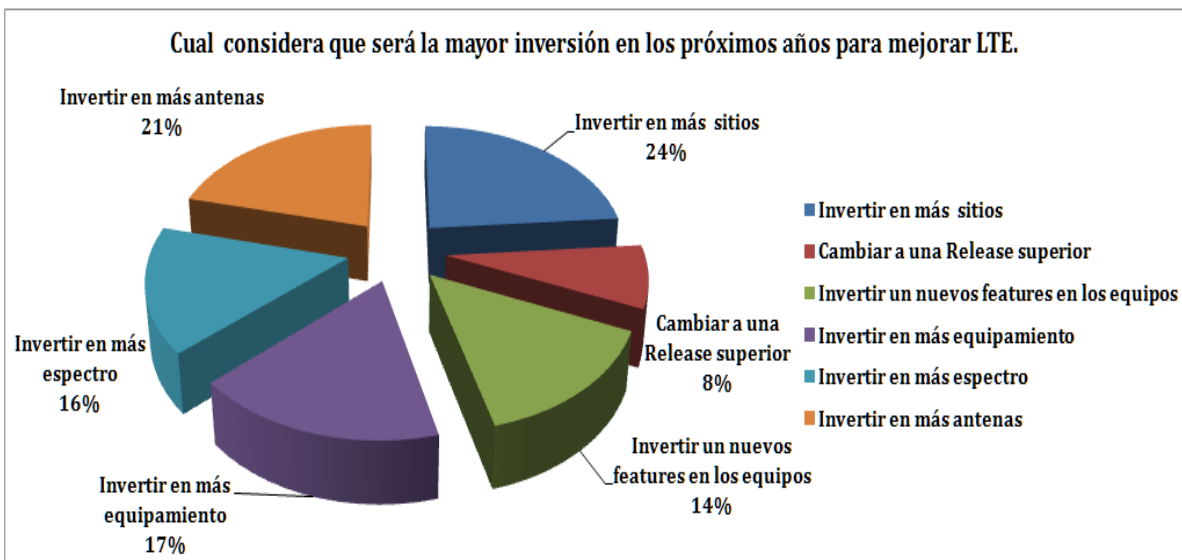
Se puede afirmar que los especialistas de las empresas proveedoras de LTE consideran que VoLTE es un paso natural y obligatorio, pero que no será la aplicación demandada por el usuario.

### 2.18. ¿Considera que la actual regulación apunta a mejorar el servicio de 4G?



La paridad de las respuestas de los profesionales sobre esta consulta no permite obtener una conclusión sobre el accionar de la regulación actual sobre el escenario de 4G.

**2.19. ¿Cuál considera que será la mayor inversión en los próximos años para mejorar LTE?**

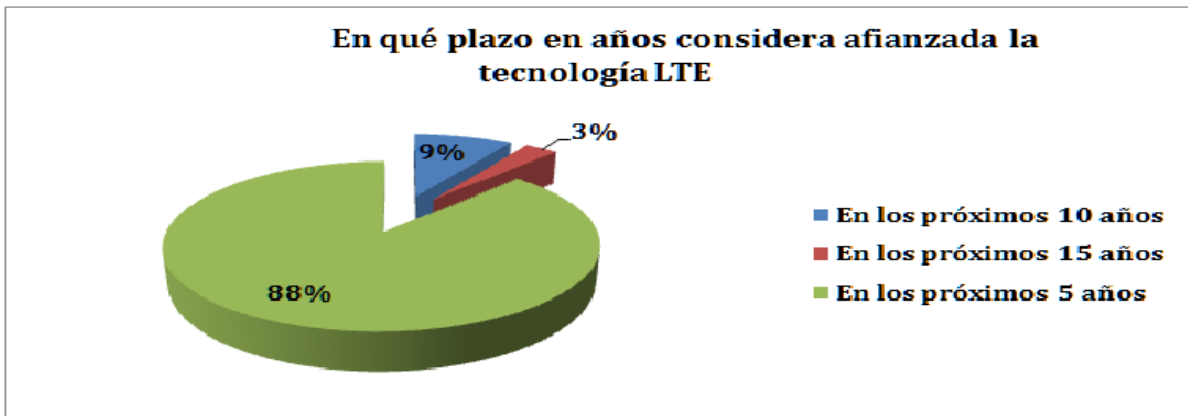


Esta nueva consulta referida al factor económico, o de las inversiones futuras, remite a las preguntas realizadas en el bloque de aspectos generales de LTE, donde los especialistas consultados han indicado que una falta de conectividad física por fibra óptica y las limitaciones en la cobertura resultan inhibidores al despliegue LTE. La respuesta natural a dichos inhibidores, según lo demuestra el anterior gráfico, es invertir en sitios y antenas.

Se ha realizado una pregunta de control (4.4.- Considera que la cantidad actual de sitios es suficiente para cubrir su demanda) cuya contundente respuesta (100% de respuestas negativas) es la que ha permitido confirmar todas las afirmaciones descritas previamente.

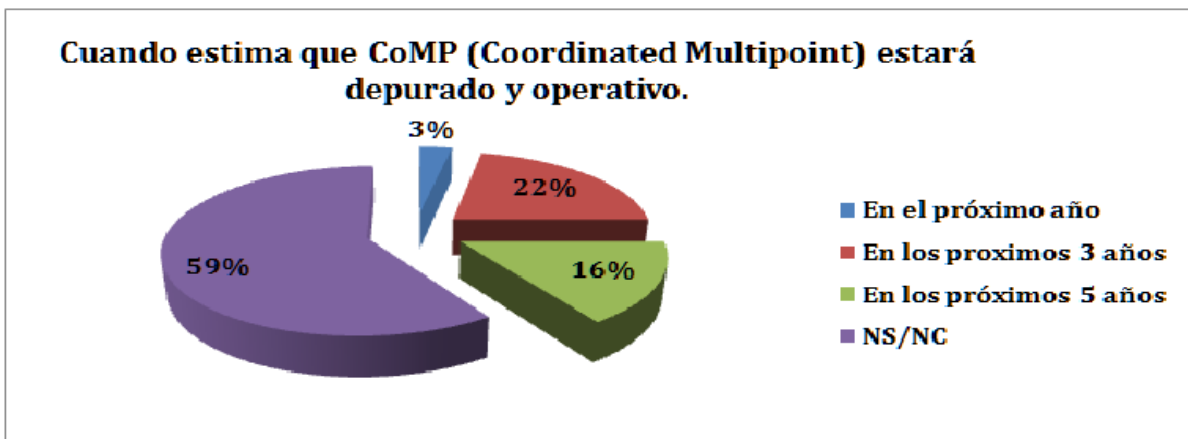
**2.20. Considera que la cantidad actual de sitios es suficiente para cubrir su demanda**

2.21. ¿En qué plazo en años considera afianzada la tecnología LTE?



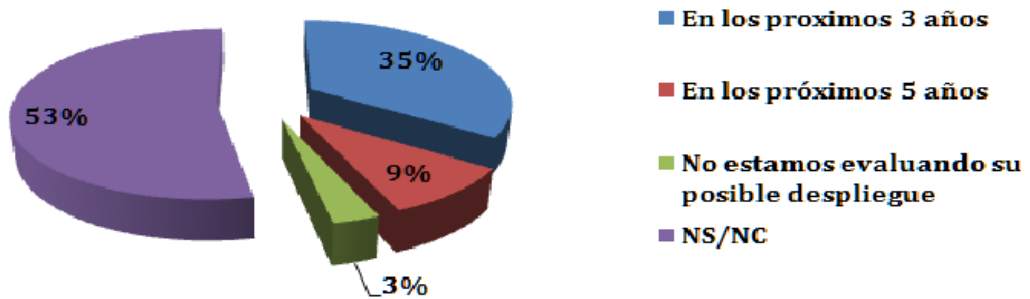
La necesidad creciente de los clientes y el avance de los estándares del 3GPP permite inferir a los encuestados que en un período menor a 5 años la tecnología estará estable y desplegada con varias aplicaciones funcionales.

2.22. ¿Cuándo estima que CoMP (Coordinated Multipoint) estará depurado y operativo?



2.23. ¿Cuándo estima que D2D (Device to Device) estará depurado y operativo?

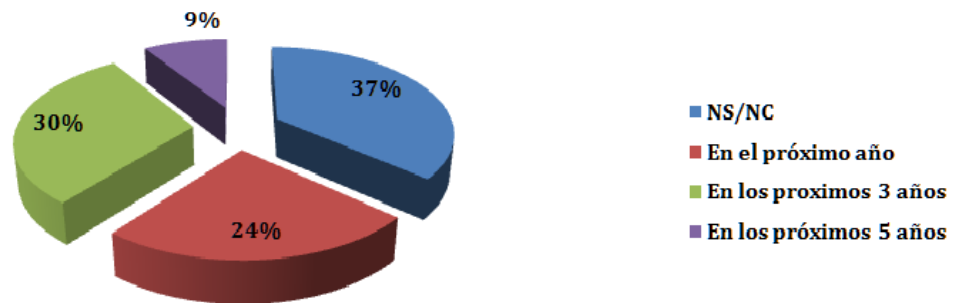
**Cuando estima que D2D (Device to Device) estará depurado y operativo.**



De las respuestas de los profesionales a las dos preguntas anteriores, se desprende que no está claro para ellos en cuanto tiempo más estarán operativas las funcionalidades de CoMP y D2D.

**2.24. ¿Cuándo estima que Carrier Aggregation estará depurado y operativo?**

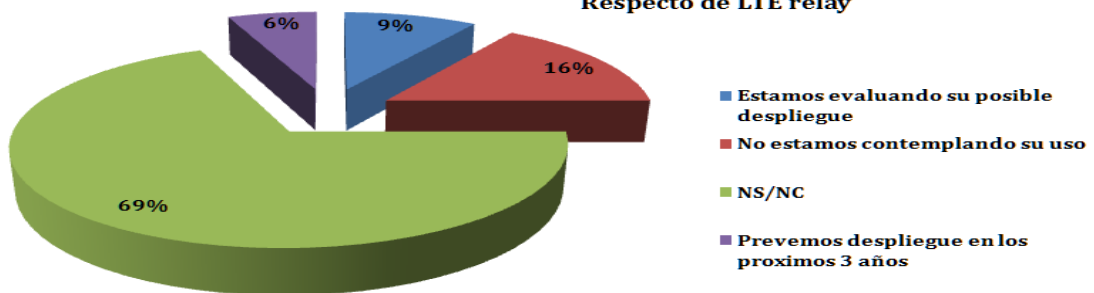
**4.8 Cuando estima que Carrier Aggregation estará depurado y operativo**



A diferencia de las funcionalidades anteriores, la mayoría de los profesionales opina que Carrier Aggregation estará depurada y operativa entre 1 y 3 años.

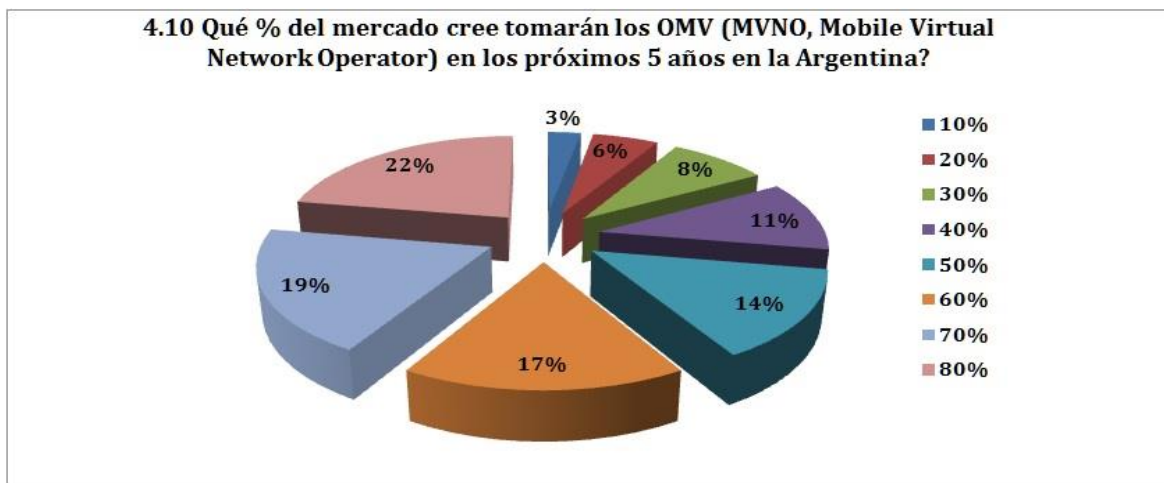
**2.25. Respecto de LTE relay**

**Respecto de LTE relay**

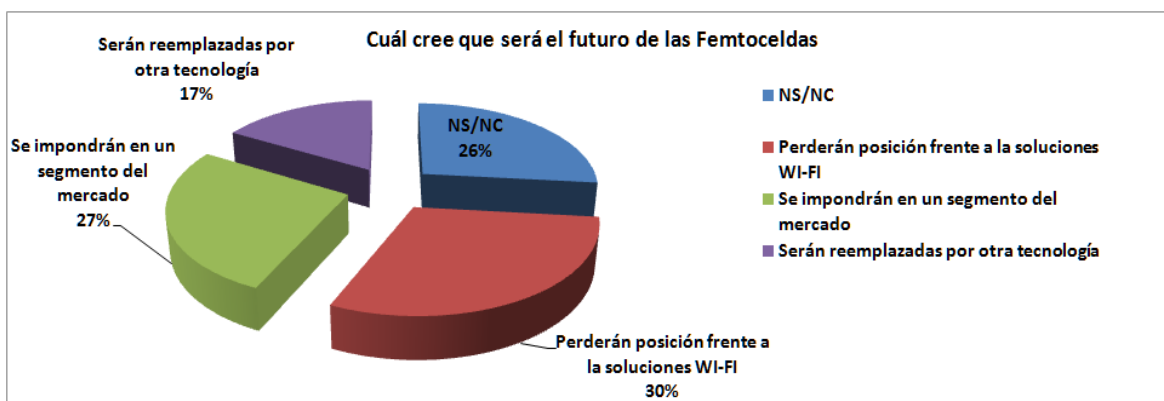


La mayoría de los entrevistados no cuentan con la suficiente información para estimar el despliegue de la funcionalidad de LTE relay, mientras que otra porción no contempla su uso.

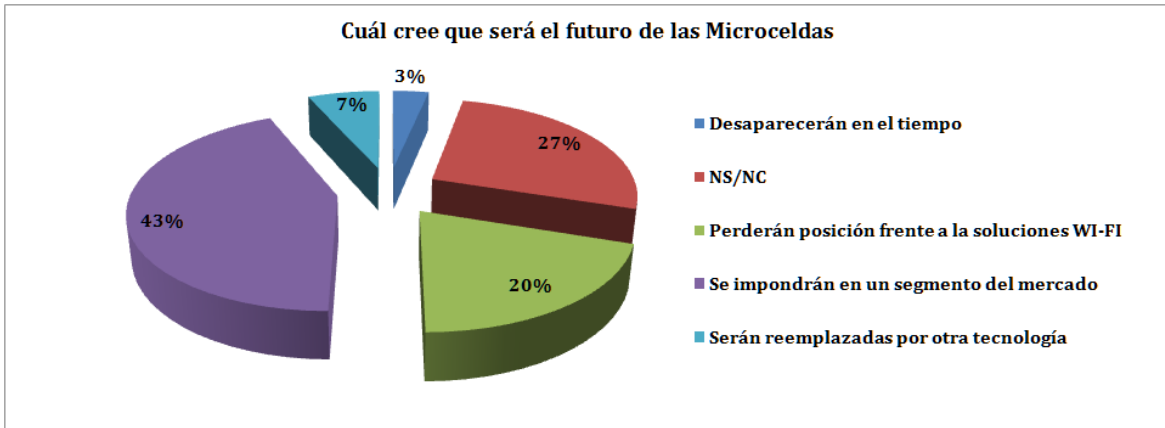
**2.26. ¿Qué % del mercado cree tomarán los OMV (MVNO, Mobile Virtual Network Operator) en los próximos 5 años en la Argentina?**



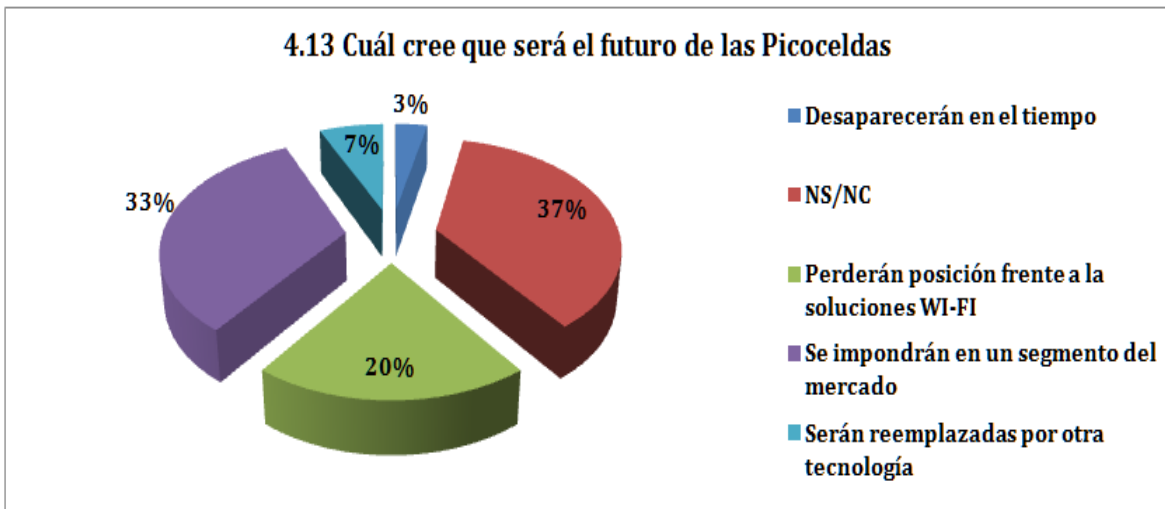
**2.27. ¿Cuál cree que será el futuro de las Femtoceldas?**



## 2.28. ¿Cuál cree que será el futuro de las Microceldas?



## 2.29. ¿Cuál cree que será el futuro de las Picoceldas?

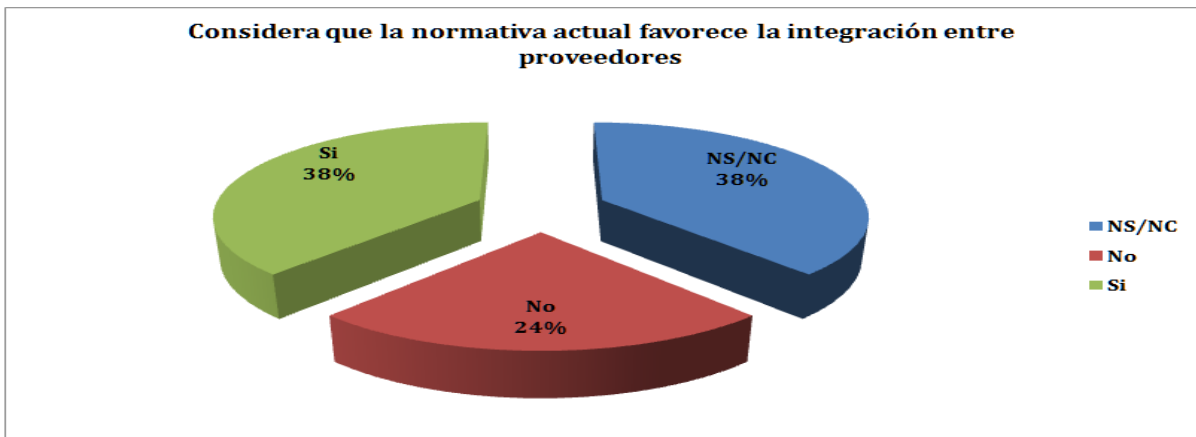
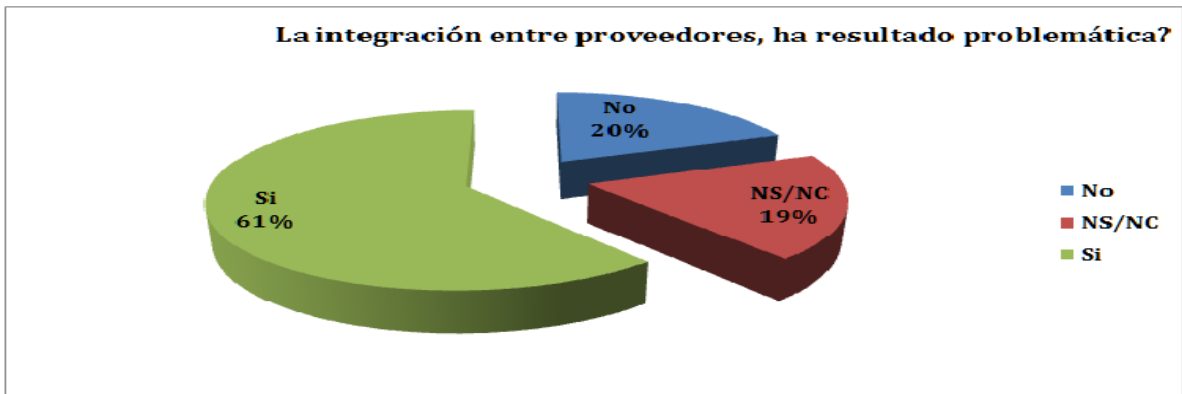


Del grupo de preguntas previas se detecta que la industria de las Telecomunicaciones es demandante de desarrollos y actualizaciones constantes.

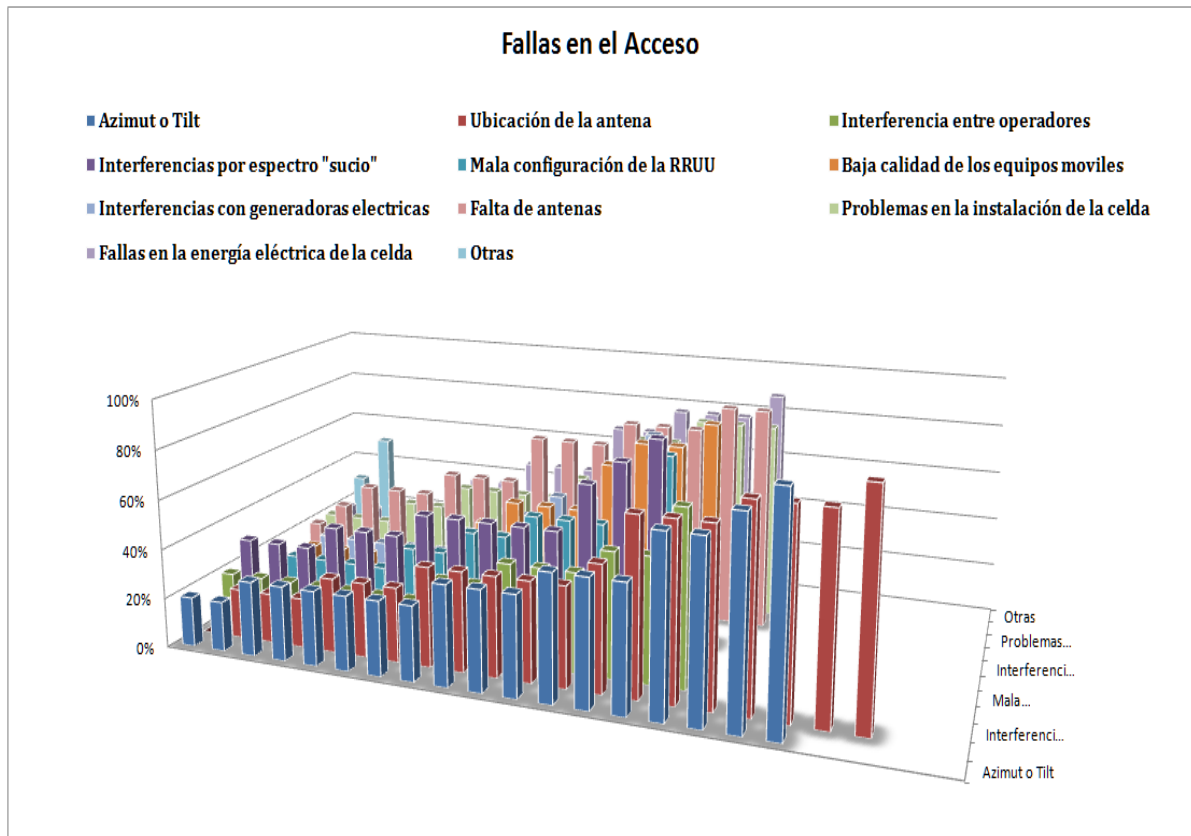
La tendencia parece indicar que se reducirá de manera constante en el tiempo el tamaño de los sitios de ubicación de antenas, reducción de espacios para ubicación de equipos y menor potencia de transmisión y que el desarrollo tomará el camino de D2D, más conocido como Internet de las cosas o IoT (Internet of Things).

No se distingue una tendencia a la búsqueda de mayores velocidades para los datos, más allá de Carrier Aggregation.

## Bloque de funcionamiento de la red (en el Acceso)







Basado en las respuestas, como usualmente ocurre con las nuevas tecnologías, la integración no ha sido fácil entre proveedores y podemos enumerar algunas dificultades puntuales que los profesionales han tenido durante los despliegues de la red 4G:

- Complejidad en integrar funcionalidades.
- Coordinación con el proveedor.
- Diferencias de interpretación de la estandarización.
- Diferentes criterios en el Manejo de colas en QoS entre otros.
- Establecer valores y criterios de QoS.
- Los proveedores no siempre cumplen con los estándares.
- Muchas veces no manejan la misma nomenclatura (no se respetan los estándares).
- Quizás no fue del todo colaborativa entre ambos proveedores en una integración.

## 4. Cuerpo de Anexo

**Anexo I:** Rendición de gastos del proyecto de investigación

**Anexo II:** Copias de certificados de participación de integrantes en eventos científicos.

**Anexo III:** Copia de artículos presentados en publicaciones periódicas, ponencias presentadas en eventos científicos.