



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Estudio del uso de las celdas pequeñas, sus características, escenarios de aplicación y la convergencia con la red móvil LTE-Advanced

AUTOR:

Astudillo Parra, Hugo Enrique

Trabajo de Titulación previo a la obtención del grado de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

Montenegro Tamayo, Marcos Enrique

Guayaquil, Ecuador

16 de Marzo del 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.
Astudillo Parra, Hugo Enrique como requerimiento para la obtención del
título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

Montenegro Tamayo, Marcos Enrique

DIRECTOR DE CARRERA

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 16 días del mes de Marzo del año 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Astudillo Parra, Hugo Enrique**

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación “**Estudio del uso de las celdas pequeñas, sus características, escenarios de aplicación y la convergencia con la red móvil LTE-Advanced**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 16 días del mes de Marzo del año 2017

EL AUTOR

ASTUDILLO PARRA, HUGO ENRIQUE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Astudillo Parra, Hugo Enrique**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Estudio del uso de las celdas pequeñas, sus características, escenarios de aplicación y la convergencia con la red móvil LTE-Advanced”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 16 días del mes de Marzo del año 2017

EL AUTOR

ASTUDILLO PARRA, HUGO ENRIQUE

REPORTE DE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface. On the left, a sidebar contains document metadata: **Documento**: Tesis continuacion.docx (D25938957); **Presentado**: 2017-02-21 22:48 (-05:00); **Presentado por**: hugoastudillo01@gmail.com; **Recibido**: edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com; **Mensaje**: Tesis final [Mostrar el mensaje completo](#). A yellow highlight indicates that 2% of the document's text is derived from 4 sources. On the right, a 'Lista de fuentes' (List of sources) table is visible, listing URLs such as <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstr...>, [PORTADA FINAL_1.doc](#), <http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream...>, <http://www.cs.odu.edu/~magella/LT...>, <http://www.bdigital.unal.edu.co/117...>, and <http://www.3gpp.org/technologies/k...>. The bottom of the interface features a toolbar with icons for navigation and actions like 'Reiniciar', 'Exportar', and 'Compartir'. A notification at the bottom right states '0 Advertencias'.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE
GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA
EL DESARROLLO CARRERA

DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

ESTUDIO DEL USO DE LAS CELDAS PEQUEÑAS, SUS
CARACTERÍSTICAS, ESCENARIOS DE APLICACIÓN Y LA
CONVERGENCIA CON LA RED MÓVIL LTE-ADVANCED

AUTOR: Astudillo Parra, Hugo Enrique

Trabajo de Titulación previo a la obtención del grado
de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR: Montenegro Tamayo, Marcos Enrique

DEDICATORIA

Dedico el trabajo de titulación a toda mi familia por siempre estar ahí para mí en las buenas y en las malas, en especial a mis padres Hugo Astudillo y Leonor Parra, que, gracias a ellos, cumpla mi tan anhelada meta de convertirme en ingeniero, por nunca dejar de apoyarme y darme fuerzas en todo momento.

EL AUTOR

ASTUDILLO PARRA, HUGO ENRIQUE

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primeramente a Dios, por ser el guía durante mi vida, por darme las fuerzas y la voluntad necesaria para no rendirme y seguir adelante cumpliendo todas mis metas.

A mi familia, mis padres y hermanas, por ser los pilares de mi formación y mi modelo a seguir. Por todos los esfuerzos realizados, para tener una excelente educación, por los valores que me inculcaron en la vida y el apoyo incondicional que tuve durante la universidad, sin ellos, no lo hubiese logrado.

A mis compañeros universitarios que durante todo este largo camino hacia la ingeniería vivimos momentos que recordaré siempre, a mis profesores, por sus enseñanzas y sabios consejos. Finalmente, a mi tutor, por ayudarme en la culminación de este trabajo de titulación.

A todos, muchísimas gracias.

EL AUTOR

ASTUDILLO PARRA, HUGO ENRIQUE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

MONTENEGRO TAMAYO, MARCOS ENRIQUE
TUTOR

f. _____

HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
COORDINADOR DE TITULACIÓN

Índice General

Índice General.....	IX
Índice de Figuras	XIII
Índice de Tablas.....	XV
Índice de Gráficos	XVI
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes	3
1.3. Justificación del Problema.....	4
1.4. Definición del Problema.....	5
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.....	5
1.5.1. Objetivo General.....	5
1.5.2. Objetivos Específicos.	5
1.6. Hipótesis.....	6
1.7. Metodología de Investigación.....	6
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
2.1. Fundamentos teóricos.....	7
2.2. Definición de red celular.....	7
2.3. Características de una red celular.....	8
2.3.1. Áreas de cobertura.....	9
2.3.2. Servicios.....	9
2.3.3. Uso del espectro radioeléctrico.....	9
2.3.4. Consumos de baja potencia.....	10
2.4. Redes homogéneas.....	10
2.5. Redes heterogéneas (HetNets).....	11
2.5.1. Características de las HetNets.....	12

2.5.2.	Tecnologías dentro de las HetNets.....	13
2.5.3.	Diferenciación de UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) y LTE (Long Term Evolution).	14
2.6.	Cuarta generación 4G.	16
2.6.1.	LTE.	16
2.6.2.	Técnicas de acceso al medio de LTE y LTE-Advanced.....	18
2.6.3.	OFDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales).....	18
2.6.4.	SC-FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencias de Portadora Única).....	19
2.6.5.	LTE-Advanced.....	19
2.6.6.	Agregación de portadoras.	22
2.6.7.	CoMP (Multipunto Coordinado).	24
2.6.8.	Redes de auto-organización.....	26
2.7.	Arquitectura de LTE y LTE-Advanced.....	31
2.7.1.	Equipo terminal.....	32
2.7.2.	E-UTRAN (Red de Acceso de Radio Terrestre Universal Evolucionado).....	32
2.7.3.	eNB (Nodo B evolucionad).	33
2.7.4.	EPC (Núcleo de Paquetes Evolucionado).	34
2.7.5.	Interfaz de radio.....	34
2.7.6.	Interfaz S1.	36
2.7.7.	Interfaz X2.	36
CAPÍTULO 3: ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CELDAS PEQUEÑAS		38
3.1.	Definición de celdas pequeñas.....	38
3.2.	Arquitectura de las celdas pequeñas.	40

3.3.	Soluciones alternativas para el incremento de capacidad de la red móvil.....	41
3.3.1.	División de celdas.....	42
3.3.2.	Adquisición de espectro.....	43
3.4.	Tipos de celdas pequeñas y escenarios de aplicación.....	43
3.4.1.	Femtoceldas.....	43
3.4.2.	Picoceldas.....	45
3.4.3.	Metro/Microceldas.....	47
3.5.	Tipología de sitios para despliegue de celdas pequeñas.....	50
3.6.	Impacto ambiental en el despliegue de celdas pequeñas.....	51
3.6.1.	Impacto energético.....	51
3.6.2.	Impacto en la salud.....	52
3.6.3.	Impacto visual.....	52
3.7.	Desafíos con el despliegue de las celdas pequeñas.....	53
3.7.1.	Backhaul.....	54
3.7.2.	Localización de sitio.....	56
3.7.3.	Espectro radioeléctrico.....	56
3.7.4.	Handover.....	57
3.8.	Resultados obtenidos en países desarrollados.....	57
3.8.1.	Estación de tren de Zhengzhou.....	57
3.8.2.	Nascar Venue.....	58
3.9.	Estimación de los costos CAPEX (Capital Expenditure) y OPEX (Operating Expense) de implementación.....	60
CAPÍTULO 4: CELDAS PEQUEÑAS Y LA CONVERGENCIA CON LTE-ADVANCED		63
4.1.	El uso de las celdas pequeñas en la convergencia con las redes 4G.....	63
4.2.	Requerimientos para la convergencia de celdas pequeñas.....	64

4.2.1. Sincronización en la red.	64
4.2.2. Cobertura de backhaul.	64
4.3. Servicios de las celdas pequeñas en redes LTE-Advanced.....	65
4.3.1. Residencial.	65
4.3.2. Empresarial.....	67
4.3.3. Acceso público y espacios abiertos.	67
4.4. Perfeccionamiento en los sistemas LTE-Advanced.	68
4.5. El desarrollo de las celdas pequeñas en las redes de nueva generación.	69
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
5.1. Conclusiones.....	72
5.2. Recomendaciones.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2.1: Esquemática de una red básica de telecomunicaciones.	7
Figura 2. 2: Esquema de una red heterogénea común.....	12
Figura 2.3: Esquema de arquitectura UMTS y LTE.	16
Figura 2. 4: Vista en el dominio del tiempo de las tecnologías de acceso múltiple OFDMA & SC-FDMA.....	19
Figura 2. 5: Agregación de portadoras clasificadas en alternativas interbanda e intrabanda.....	23
Figura 2. 6: Componentes de portadoras de un máximo de 5 con portadoras diferentes en banda de frecuencia.....	23
Figura 2. 7: Coordinación de eNB1, eNB2 y eNB3 creando transmisiones multipunto hacia los UE1 y UE2.....	24
Figura 2. 8: Proceso de procesamiento unido y planificación coordinada/modificación del patrón.	25
Figura 2. 9: Configuración del ANR y comunicación de PCI en la auto-configuración.....	28
Figura 2. 10: Compensación por parte del eNB2.	31
Figura 2. 11: Arquitectura de red LTE y LTE-Advanced.	31
Figura 2. 12: Arquitectura de E-UTRAN en LTE y LTE-Advanced.....	33
Figura 2. 13: Capa física y protocolos de capa de enlace en E-UTRAN.....	35
Figura 2. 14: Protocolos de la interfaz S1 y X2 divididos en plano de control y plano de usuario.	37

Capítulo 3

Figura 3. 1: Escenarios para despliegue de celdas pequeñas.....	38
Figura 3. 2: Ecosistema HetNet usando mezcla de celdas pequeñas y macroceldas.....	39
Figura 3. 3: Arquitectura de red de celdas pequeñas y eNB.....	41
Figura 3. 4: Proceso de subdivisión de celdas.....	42
Figura 3. 5: Escenario típico de femtoceldas.	44
Figura 3. 6: Escenario empresarial básico con picoceldas.	47

Figura 3. 7: Escenario básico de despliegue de metroceldas/microceldas. .	48
Figura 3. 8: Arquitectura genérica del escenario urbano.	48
Figura 3. 9: Arquitectura genérica del escenario rural.	50
Figura 3. 10: Despliegue de celdas pequeñas en postes de luz.	53
Figura 3. 11: Despliegue de celdas pequeñas en postes de luz.	53
Figura 3. 12: Backhaul inalámbrico.....	55
Figura 3. 13: Backhaul alámbrico.....	55
Figura 3. 14: Espectro dedicado para macrocelda y celda pequeña.	57
Figura 3. 15: Ubicación de celdas pequeñas en la estación Zhengzhou.	58
Figura 3. 16: Rendimiento de capacidad caso estación Zhengzhou.....	58
Figura 3. 17: Despliegue de celdas pequeñas en Nascar Venue.	59
Figura 3. 18: Comparación de cobertura con COW y celdas pequeñas.	60

Capítulo 4

Figura 4. 1: Convergencia de las celdas pequeñas y macroceldas en 4G. .	63
---	----

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2. 1: Aspectos clave de red de acceso para LTE-Advanced propuestos por 3GPP.....	20
Tabla 2. 2: Comparativa de velocidades de LTE, LTE-Advanced e IMT Advanced.....	21

Capítulo 3

Tabla 3. 1: Características de las celdas pequeñas.....	39
Tabla 3. 2: Tipos de sitio para despliegue de celdas pequeñas.	50
Tabla 3. 3: Cuadro comparativo de costos de macroceldas y celdas pequeñas.	61

Capítulo 4

Tabla 4. 1: Servicios en el sector residencial.....	66
Tabla 4. 2: Servicios en el sector empresarial.	67
Tabla 4. 3: Servicios en espacios abiertos.....	68

Índice de Gráficos

Capítulo 4

Gráfico 4. 1: Proyección de suscripciones por dispositivo.	71
---	----

Resumen

Las celdas pequeñas dentro de las redes heterogéneas (HetNets) son soluciones para mejorar el rendimiento de la capacidad y cobertura de las redes móviles a corto, mediano y largo plazo. Con la introducción de nuevas tecnologías como LTE-Advanced, las celdas pequeñas se ven beneficiadas porque tienen un amplio campo de desarrollo para las redes de nueva generación.

La demanda de dispositivos que con el tiempo aumenta, requerirá de redes móviles más densas y con coberturas que logren abarcar y sostener dicha demanda, es aquí, donde las celdas pequeñas toman un papel protagónico.

En el presente trabajo de titulación se realiza un estudio del uso de las celdas pequeñas por ser un pilar fundamental en las HetNets y las tecnologías que operan con ella, caracterizándolas y haciendo un énfasis en sus diferentes escenarios de aplicación; concluyendo con una convergencia de estas tecnologías para demostrar los beneficios dentro de las redes actuales que muchos países han adoptado como LTE-Advanced.

Palabras claves:

SMALL CELLS, CELDAS PEQUEÑAS, HETNETS, REDES HETEROGÉNEAS, LTE-ADVANCED, COBERTURA, CAPACIDAD, RED MOVIL

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción.

Las celdas pequeñas, que forman parte de las redes heterogéneas (HetNets), son tecnologías para incrementar el rendimiento tanto para la capacidad como la cobertura de las redes móviles actuales, en las cuales las macroceldas, son las encargadas de proveer dichas características, y también el tráfico que la red móvil administra.

La llegada de las nuevas tecnologías dentro de la generación 4G ha mejorado las redes móviles con las que contábamos, pero reflejado únicamente a corto plazo, ya que la demanda de usuarios que crecerá exponencialmente en los próximos años requerirá de grandes capacidades para poder sostener dicha demanda.

El presente trabajo de titulación, se enfocará en el estudio del uso de las celdas pequeñas como parte fundamental de las HetNets y en la solución para incrementar la capacidad y cobertura de las redes móviles. En el primer capítulo, se detallarán los objetivos y las razones del desarrollo de este trabajo.

El segundo capítulo está formado por el marco teórico donde se mencionan los conceptos de las tecnologías a estudiar como las HetNets y la generación 4G, el tercer capítulo se enfoca exclusivamente en el estudio del tema de titulación como son las celdas pequeñas, sus tipos, características y

escenarios de aplicación. En el cuarto capítulo se exponen las aplicaciones que surgen con la convergencia dentro de los distintos escenarios, además de proyectar el desarrollo de las mismas a futuro dentro de la red móvil LTE-Advanced. Finalmente, el quinto capítulo está dedicado a las conclusiones y recomendaciones de este proyecto de titulación.

1.2. Antecedentes

Las redes móviles, han estado en constante evolución desde sus inicios empezando con la primera generación 1G, con el fin de optimizarse y brindar mejores beneficios. La telefonía móvil comenzó con el servicio de voz y se mantuvo así por una cantidad considerable de tiempo. En la actualidad y con las innovaciones tecnológicas, la mencionada telefonía móvil cambió radicalmente, ya que gran parte de los servicios que contamos y requerimos hoy en día, están basados en los datos.

La capacidad y la cobertura de las redes móviles en años pasados no era un tema de suma importancia, debido a que las limitaciones de las generaciones de tecnología no eran tan exigentes. En el presente, la realidad ha cambiado: las tecnologías inalámbricas han evolucionado a tal punto que con la generación 4G, por ejemplo, se puede lograr tener alta conectividad, es decir, todos los dispositivos existentes, estarán conectados entre sí dentro de la red móvil creando nuevos enfoques de servicios y un mundo totalmente futurista.

Apú (2012) nos menciona que “El tráfico inalámbrico de datos ha crecido de manera exponencial en los últimos años, gracias a la nueva generación de terminales móviles”. Con esta afirmación evidenciamos que, la tendencia de crecimiento de dichos dispositivos por medio de los usuarios creará a futuro, una congestión y una falta de capacidad que tendrá como consecuencia que las soluciones actuales sean utilizadas únicamente a corto plazo.

Con estos antecedentes se requiere estudiar tecnologías que permitan solucionar estos problemas e incrementar la capacidad y la cobertura de las redes móviles no solo a corto plazo, sino también a largo plazo. Esto debido a que en los próximos años existirán más dispositivos que necesitarán conectarse a la red.

1.3. Justificación del Problema.

Tomando los antecedentes y los futuros problemas de las telecomunicaciones, la saturación de las redes y la congestión, resulta imperante realizar un estudio de las soluciones que podrían mermar dichos problemas. Las celdas pequeñas son un elemento importante para el desarrollo de las nuevas tecnologías. Está claro que si en la actualidad, el despliegue de ellas ayuda a optimizar las redes móviles, se tomará en cuenta este tipo de soluciones para el futuro. Ya no se vería como una opción sino como un pilar en donde las nuevas generaciones acomodarán sus redes con el fin de que sean bases para su crecimiento.

1.4. Definición del Problema.

A futuro, las redes móviles necesitarán de mejor cobertura y mayor capacidad como parte del requisito de las nuevas generaciones de tecnología, con la meta de que ellas, logren cubrir la demanda de usuarios que crecerá en los próximos años. Es así, que las celdas pequeñas serán las responsables para poder abarcar la creciente cantidad que se generaría. La falta de capacidad y la congestión son problemas que deben ser solucionados a corto, mediano y largo plazo, es por eso que se deben estudiar las soluciones que permitan mitigar dichos inconvenientes.

1.5. Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1. Objetivo General.

Estudiar el uso de las celdas pequeñas haciendo énfasis en sus características, escenarios de aplicación y su convergencia con la red móvil LTE-Advanced.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Definir la estructura de las HetNets como parte de las celdas pequeñas y las tecnologías que operan dentro de ella.
- Analizar las distintas aplicaciones de las celdas pequeñas de acuerdo a sus escenarios de uso.
- Caracterizar el beneficio que trae la convergencia de las celdas pequeñas con la red móvil LTE-Advanced.

1.6. Hipótesis.

Utilizando las celdas pequeñas, se puede solucionar la falta de cobertura y capacidad a corto, mediano y largo plazo dentro de los sistemas de telecomunicaciones, específicamente en la red móvil LTE-Advanced, que es la sucesora de la actual LTE. Por medio de la integración de esta tecnología a manera de convergencia, los distintos escenarios de aplicación y tipos de la misma lograrían optimizar la cobertura de la red tanto en áreas interiores como exteriores.

1.7. Metodología de Investigación.

La metodología utilizada en la presente tesis es bibliográfica documental debido a que se realiza una recopilación de información, ya sea de revistas, documentos, libros actualizados referentes al tema; es descriptiva en tanto se estudian los distintos escenarios donde las celdas pequeñas toman un papel protagónico dentro de las HetNets, y analítica ya que se realiza una convergencia de tecnologías.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Fundamentos teóricos.

En este capítulo se definirá de forma general los conceptos teóricos de las HetNets, los elementos principales y sus características, así como también las tecnologías que las integran poniendo énfasis en la cuarta generación 4G.

2.2. Definición de red celular.

Una red celular móvil se define como inalámbrica, cuya cobertura está conformada por un conjunto de áreas geográficas que toman el nombre de celdas. En este sitio geográfico de la celda existe una estación base (BS), la cual puede tener dentro de ella una o más celdas, las configuraciones y los fabricantes de los equipos están ligados con ellas. En la figura 2.1 se muestra un esquema básico de la red celular.

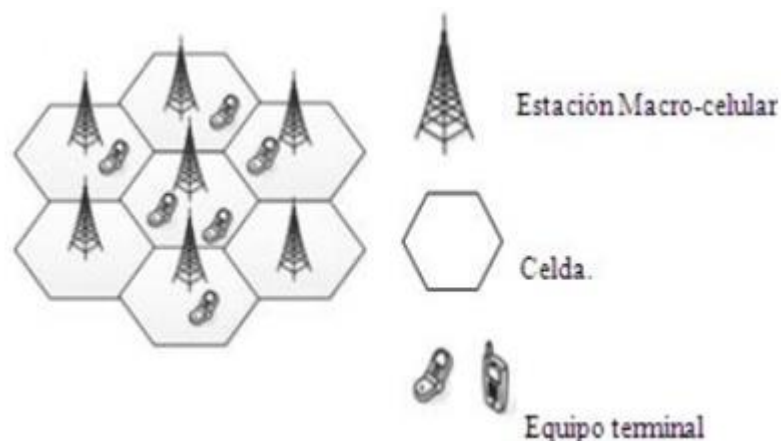


Figura 2.1: Esquemática de una red básica de telecomunicaciones.

Fuente: (Olivera, 2016)

La estación base puede tener varios nombres, dependiendo de la tecnología en la que se esté trabajando, en el caso de las redes 3G tiene el

nombre de Nodo B (NodeB) y para las redes actuales 4G como LTE y LTE-Advanced toma el nombre de Nodo B Evolucionado (eNB), el cual se encuentra detallado posteriormente. El control de la estación base (BSC) y los distintos canales de radiocomunicación es llamado normalmente Red de acceso por radio (RAN).

La función de las estaciones base es permitir la comunicación para los equipos que los usuarios posean, sean estos smartphones, tablets etc. que estén dentro de su celda de cobertura para que, a su vez, a su vez, puedan conectarse con otros usuarios o con el operador, aún si el dispositivo esté estacionario o en movimiento.

Los usuarios al conectarse con las estaciones base hacen uso de dos canales de radio denominados ascendente y descendente, el primero se encarga para las comunicaciones del usuario a la celda y el segundo para las comunicaciones de la celda hacia el usuario. La BSC se encarga de administrar efectivamente distintas estaciones simultáneamente y a su vez hace la conexión de los sitios celulares con otras entidades dentro del núcleo de red de la operadora. (Olivera, 2016).

2.3. Características de una red celular.

Existen características fundamentales dentro de lo que compone una red celular tales como:

- Áreas de cobertura

- Servicios
- Uso del espectro radioeléctrico
- Consumos de baja potencia

2.3.1. Áreas de cobertura.

La forma más común que se estudia con respecto a la cobertura de las celdas, a manera de teoría, es la forma hexagonal. Empero, en el campo laboral o práctico estas pueden tomar distintas formas y tonarse irregulares. Muchos factores inciden en la cobertura de las celdas, por ejemplo:

- La altura de la estación base
- La potencia de transmisión

2.3.2. Servicios.

Los servicios han venido incrementándose gradualmente con el tiempo, aunque se partió inicialmente con la voz, se integraron después los datos y, en la actualidad, existen derivados de los datos los cuales llamamos aplicaciones.

2.3.3. Uso del espectro radioeléctrico.

Resulta algo costoso por parte de los operadores móviles conseguir espectro radioeléctrico, es por esto que, además de usarlo de manera eficiente, también utilizan otros métodos como el re-uso del mismo cuando se recorren ciertas distancias, brindando así mejor cobertura dentro de la red (Guamán & Peñafiel, 2014).

2.3.4. Consumos de baja potencia.

En los inicios de la telefonía celular, los dispositivos que se operaban eran de gran tamaño y limitados a ciertos servicios, esto se debía a que las potencias con las que operaban las BS eran elevadas en aquella época, pero, a medida que fue evolucionando la tecnología, los dispositivos también empezaron a tener mejores cambios, volviéndose de menor tamaño y brindando consigo nuevos servicios (Guamán & Peñafiel, 2014).

2.4. Redes homogéneas.

Como ya se mencionó, la tecnología móvil empezó con el servicio de voz, el costo para la adquisición de los dispositivos era muy costosa debido a su reciente lanzamiento. Las redes celulares convencionales son de forma homogénea, pero para entender este concepto de mejor manera se lo definirá a base de dos criterios:

1. Tecnología de acceso: se puede definir como una red la cual su arquitectura solamente le permite trabajar con una sola tecnología RAN, siendo la misma no dependiente de la potencia de transmisión de las BS de las que esté constituida la red del operador.
2. Potencia de transmisión: se puede inferir que es homogénea la red cuando los nodos que posee transmiten en una potencia común entre todas, independientemente de la tecnología de acceso (considérese las diferentes tecnologías que conocemos como GSM, 3G, 4G, etc.) (Apú, 2012).

2.5. Redes heterogéneas (HetNets).

Existen muchas definiciones acerca de las HetNets y cada uno de ellas comporta puntos de vista distintos. Algunos afirman que está típicamente compuesta por múltiples tecnologías de acceso a radio, arquitecturas, soluciones de transmisiones y estaciones base que varían en poder de transmisión. (Landström, Furuskär, Johansson, Falconetti, & Kronestedt, 2011).

Otros califican a las HetNets como un conjunto de redes celulares, con tecnología WiFi por medio de la integración de celdas pequeñas como un caso meramente específico, donde convergen distintos puntos de acceso, diversos dispositivos en conexión, como Machine to Machine (M2M) y una similitud al internet de las cosas (IoT) (Iyer, Zeto, Schneider, & Kurtz, 2012).

No obstante, con diversas definiciones y conceptos que se tiene con respecto a las HetNets, las investigaciones que se han desarrollado en torno al tema han traído consigo grandes avances dentro de las redes móviles actuales y se estima que, en un futuro, las generaciones y tecnologías móviles dependan de ellas como parte fundamental de sus redes, y con mayor auge, el uso de las celdas pequeñas para lograrlo. Se enfocan en optimizar diversas capas celulares y distintas tecnologías ya que usan las celdas pequeñas para mejorar la cobertura y capacidad en áreas donde exista mayor demanda de dispositivos.

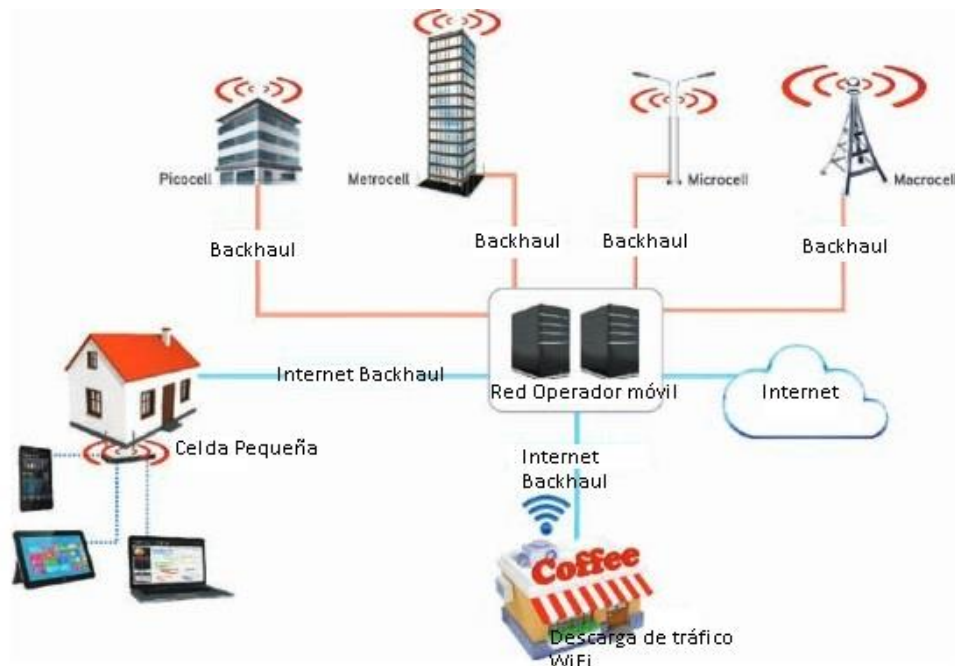


Figura 2. 2: Esquema de una red heterogénea común.
Fuente: (Iyer et al., 2012)

2.5.1. Características de las HetNets.

La enorme cantidad de dispositivos que va aumentando con el paso del tiempo hace que el modelo actual de las redes móviles tenga que estar en constante evolución y esta tecnología representa una parte importante en ellas. Pero, así como brinda soluciones para la congestión y cobertura de los sectores donde las macroceldas carecen de alcance suficiente.

También surgen distintos desafíos, ya que, al tener una red muy compleja, también habría que gestionar la movilidad y la interferencia dentro de la red con los distintos elementos como las celdas pequeñas y los puntos de acceso. El más grande todos es el Backhaul, que comprende la conexión entre las BS y el núcleo de la red. Las características principales de las HetNets se resumen a continuación:

- Poder reutilizar el espectro radioeléctrico con la ayuda de la implementación de las celdas pequeñas
- Mejorar la capacidad y la cobertura de la red móvil en sectores urbanos densamente poblados y rurales.
- Apertura a nuevos servicios específicos por sector y enriquecimiento de los existentes.
- Permite la integración de diversas tecnologías formando una red más dinámica pero más compleja a la vez

2.5.2. Tecnologías dentro de las HetNets.

Haciendo un recuento de lo que tenemos en nuestro país podemos afirmar que actualmente se trabaja con LTE, esto debido a los reportes de 5G Américas, los cuales señalan aquellos países de Sudamérica que cuentan con dicha tecnología. Conociendo las generalidades de las HetNets, las tecnologías LTE y LTE-Advanced son las más propicias para su implementación.

Empero, no significa que las HetNets sean exclusivamente para las tecnologías antes mencionadas, ya que también pueden implementarse en tecnologías antiguas de 3G como HSPA. Sin embargo, las velocidades que se requieren para dar soluciones a la demanda actual, hacen de LTE y LTE-Advanced más aplicables para el enfoque del presente trabajo.

2.5.3. Diferenciación de UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) y LTE (Long Term Evolution).

Las conexiones por medio inalámbrico, los dispositivos electrónicos y móviles se vuelven más inteligentes con el tiempo y con mayores capacidades, es por ello que las tecnologías móviles desde la generación 2G han venido transformándose. Con la llegada de la generación 3G pudimos percibir velocidades que en ese tiempo eran muy grandes y, poco a poco, se ha ido mejorando la generación 4G, con la que contamos actualmente.

Cuando combinamos las capacidades que trae un dispositivo con las velocidades de las tecnologías, se crea una influencia que produce un alto consumo de datos, lo cual se ha convertido en una tendencia. En la actualidad todo depende del internet y para lograr aquello, se necesitan medios que puedan soportarlo.

Es por esto que las operadoras optan por el despliegue completo de redes 4G, las cuales contienen mejores velocidades, mayor seguridad y rápida conexión cuando se está en movimiento, y, se vuelven una pieza fundamental dentro de lo que compone las HetNets. La RAN dentro de UMTS presenta algunos cambios con respecto a LTE. A diferencia de UMTS, la arquitectura de LTE es más simple ya que elimina algunos dominios, integrando servicios para que trabajen por un mismo medio.

La arquitectura de UMTS está conformada por BS o NodosB, conectadas al RNC el cual, a su vez, se conecta al núcleo de la red por medio de la interfaz Iu-cs (control switch) e Iu-ps (packet switch) para los dominios de circuitos y de dominio paquetes correspondientemente, y la interfaz Iur para los demás RNC. La arquitectura de LTE, la cual simplifica elementos añadiéndolos a componentes existentes está detallado en las especificaciones técnicas por la 3GPP (3GPP. TS 136.300, 2014).

La RNC es eliminada en LTE a causa de que se encuentran ya incorporadas dentro de la BS, tomando nombre ahora como eNB. La conexión entre el núcleo y las distintas ahora ENodeB se comunican por medio de dos interfaces llamadas X2 Y S1. S1 es la interfaz para la comunicación con el Núcleo de Paquetes Evolucionado (EPC) mientras que X2 es la interfaz para poder comunicarse entre las vecindades de eNB que existen en la red. El núcleo de red también se ve afectado, en UMTS, existe un ecosistema híbrido, donde la voz y los datos trabajan en distintos dominios, por medio de la conmutación de circuitos y conmutación de paquetes.

En LTE esto se vuelve plano, haciendo una convergencia de estos servicios para que trabajen por un mismo medio, es así que, la voz y los datos trabajan dentro de una arquitectura basada en IP. En la figura 2.3 podemos observar por separado el esquema, diferenciando UMTS de LTE y sus interfaces de conexión.

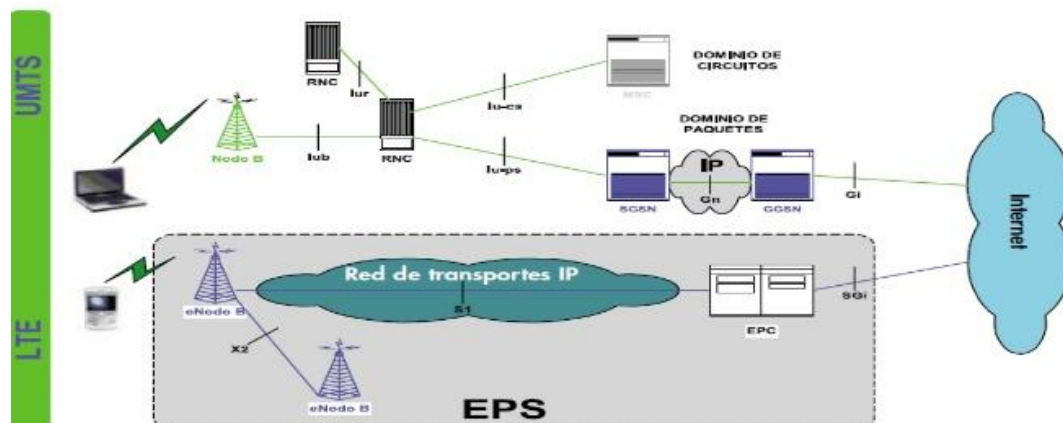


Figura 2.3: Esquema de arquitectura UMTS y LTE.
Fuente: (Olivera, 2016)

2.6. Cuarta generación 4G.

Existen diversas tecnologías que están en desarrollo y en transición como también tecnologías que actualmente el mundo utiliza, como son LTE actualmente en nuestro país. Esta generación de tecnologías se las caracteriza por ser completamente basados en IP. Dentro de 4G coexisten algunas de ellas para redes móviles y banda ancha inalámbrica, pero se tomará en cuenta las referentes a las que operadoras móviles utilizan como LTE y LTE-Advanced en la actualidad.

2.6.1. LTE.

LTE fue lanzado comercialmente en el año 2008 y su objetivo fue desarrollarse dentro de las redes UMTS/HSPA como punto de partida, esto con el fin de poder evolucionar progresivamente sin que la implementación de la red sea muy costosa. Por medio del Release 8 de la 3GPP, LTE ha venido cambiando lanzando nuevas especificaciones con mejoras a la red. Los requerimientos de las redes LTE dentro del Release 8 fueron orientados

primeramente hacía la experiencia del usuario, enfocándose en la capacidad y la cobertura de la red, velocidades más altas con una latencia mucho menor en comparación a las redes ya existentes, reducción de equipos lo cual se convierte en una inversión más baja de implementación y la integración con las redes ya operativas (Olivera, 2016).

Las especificaciones completas acerca de los requerimientos están propuestos en el TS 36.913 de la 3GPP (3GPP. TR 36.913, 2008). Se detallarán los más relevantes a continuación.

- Reducción el costo por bit, brindando eficiencia espectral.
- Reducción del retardo tanto para el establecimiento de la conexión como la transmisión.
- Brinda mayor flexibilidad a los operadores para poder implementar las redes con el espectro que ellos dispongan debido al gran espectro de frecuencias que se puede elegir (1.4Mhz, 3Mhz, 5Mhz, 10Mhz, 15Mhz y 20Mhz).
- Arquitectura de red simplificada basada en IP.
- Velocidades incrementadas que pueden llegar a los 100Mbps para DL y 50Mbps para UL.
- Entorno de compatibilidad con diferentes tecnologías para soportar HetNets y celdas pequeñas, tanto las estandarizadas por la 3GPP como las no estandarizadas por el organismo como WLAN y WiMAX.
- Movilidad continua incluso entre diferentes tecnologías de acceso a radio.

- Optimización para distancias largas con mejores velocidades promedio.
- Latencia reducida tanto para el plano de control como plano de usuario.

2.6.2. Técnicas de acceso al medio de LTE y LTE-Advanced.

LTE y LTE-Advanced, siendo LTE-Advanced una evolución de LTE, utilizan los mismos esquemas y modulaciones como son Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales (OFDMA) para el canal ascendente y Acceso Múltiple por División de Frecuencias con Única Portadora (SC-FDMA) para el canal descendente. Elegido entre diferentes candidatos por diferentes beneficios como los esquemas de acceso múltiples avanzados que se pueden lograr como también diversas tecnologías transmisión de múltiples antenas (Sesia, Toufik, & Baker, 2011).

2.6.3. OFDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales).

Es una técnica de acceso usado principalmente en sistemas celulares LTE, basado en OFDM, subdivide el ancho de banda disponible para las señales de transmisión en distintas sub portadoras de banda estrecha separadas entre sí para que no exista interferencia siendo mutuamente ortogonales, para a su vez poder integrar diversos usuarios simultáneamente, OFDMA es usado en el canal descendente con el fin de minimizar la interferencia que puede producir por multitrayectoria por el canal de radio, dando como resultado una efectividad espectral.

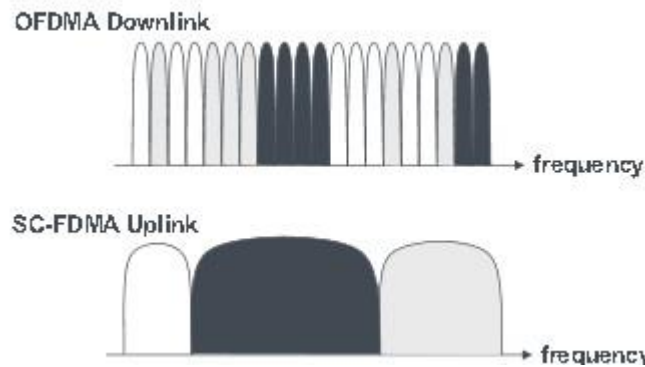


Figura 2. 4: Vista en el dominio del tiempo de las tecnologías de acceso múltiple OFDMA & SC-FDMA.
Fuente:(Álvarez, 2014)

2.6.4. SC-FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencias de Portadora Única).

Usado por el canal ascendiente, la característica de SC-FDMA, es transmitir los símbolos de datos, uno a uno haciendo uso de todo el ancho de banda que se le ha asignado, siendo este método distinto al que opera OFDMA por su sub división. SC-FDMA fue elegido para el canal ascendiente porque comparte similares ventajas con OFDMA, debido al bajo requerimiento de retroceso, lo que significa que existirá una baja potencia de transmisión media.

2.6.5. LTE-Advanced.

Luego de terminar con el Release 8 de LTE, 3GPP siguió trabajando en futuros proyectos. LTE-Advanced fue presentado en el Release 10 posterior a LTE como una evolución de la misma. A pesar de los posteriores trabajos realizados con el fin de mejorar la red LTE, el Rel-8 y Rel-9 de la 3GPP satisfacían los requerimientos estipulados por la ITU-R mediante el IMT

Advanced, fue el Release 10 o Rel-10 el que pudo cumplir con todos los requerimientos e inclusive pudiendo llegar a mucho más. LTE-Advanced es completamente compatible con versiones anteriores como lo hacía LTE, generalmente con todos los escenarios de cobertura y dando a su vez mejoramientos en el campo desde las macroceldas hasta los escenarios de interiores.

Las especificaciones de LTE-Advanced están presentados en (3GPP. TR 36.913, 2011). Entre los requerimientos establecidos en la IMT Advanced por la ITU-R, el más relevante está enfocado hacia las velocidades que debe tener la red (Holma & Toskala, 2009).

En la tabla 2.1 podemos observar las características principales de esta tecnología.

Tabla 2. 1: Aspectos clave de red de acceso para LTE-Advanced propuestos por 3GPP.

Parámetros	Descarga	Subida
Máximo ancho de banda	Mayor a los 100MHz	
Picos máximos de velocidad	1000Mbps	500Mbps
Latencia en el plano del usuario	10ms	
Latencia en plano de control	50ms (Inactivo a Activo) 10ms (Reposo a Activo)	

Fuente: (Sesia et al., 2011)
Elaborado por: Autor.

Las metas alcanzadas por LTE-Advanced fueron desarrolladas independientemente de los requerimientos de IMT Advanced, como podemos ver en la tabla inclusive exceden en cuanto a los propuestos en máxima eficiencia espectral. Podemos relacionar que, en el caso de un ancho de banda de 40Mhz, el rendimiento a obtener para el DL sería de 1.2Gbps y de 600Mbps para el UL (Olivera, 2016).

Pese a que LTE está dentro de la generación 4G muchos consideran que LTE debería llamarse 3.9G debido a que no cumple con los requisitos de IMT Advanced, es por esto que LTE-Advanced la catalogan por ser la verdadera 4G sucesora. En la siguiente tabla 2.2 se hace una comparación de las velocidades establecidas por las redes LTE, LTE-Advanced y el requerimiento por parte de IMT Advanced.

Tabla 2. 2: Comparativa de velocidades de LTE, LTE-Advanced e IMT Advanced.

		LTE	LTE-Advanced	IMT-Advanced
Pico de velocidad de datos	Bajada	300Mbits/s	1 Gbit/s	1 Gbit/s
	Subida	75 Mbits/s	500 Mbits/s	1 Gbit/s

Elaborado por: Autor.

Las características principales que trae LTE-Advanced más allá de altas velocidades se puede resumir de la siguiente forma (Holma & Toskala, 2012).

- Agregación de portadoras.
- Evolución de la tecnología MIMO para enlaces de subida y bajada.
- Coordinación multipunto para interferencia interceldas.

- Redes auto organizadas (SON).
- Facilidad para implementación de celdas pequeñas.

2.6.6. Agregación de portadoras.

Es necesario una nueva técnica para cumplir esa meta, llamada agregación de portadoras. En LTE el máximo ancho de banda por portadora es de 20Mhz, para considerar subir las velocidades es necesario también tener un ancho de banda amplio, pero la falta de espectro continuo hace que se vean limitadas las velocidades.

La solución es entonces usar la agregación de portadora para combinar distintas portadoras de hasta 20Mhz para enriquecer y agrandar el ancho de banda al mismo equipo terminal. De esta manera los dispositivos recibirán las portadoras al mismo tiempo usando múltiples bandas de frecuencia simultáneamente, la técnica donde las portadoras están en diferentes bandas de frecuencia se lo conoce como agregación de portadoras interbanda (Holma & Toskala, 2012).

Si la portadora no proviene de diferentes bandas de frecuencia, es decir, si una operadora tiene capacidad para más de 20Mhz en una banda de frecuencia se denomina agregación de portadora intrabanda. En la figura 2.5 podemos observar cómo se clasifican las agregaciones, siendo contigua y no contigua todas en el dominio de la frecuencia.

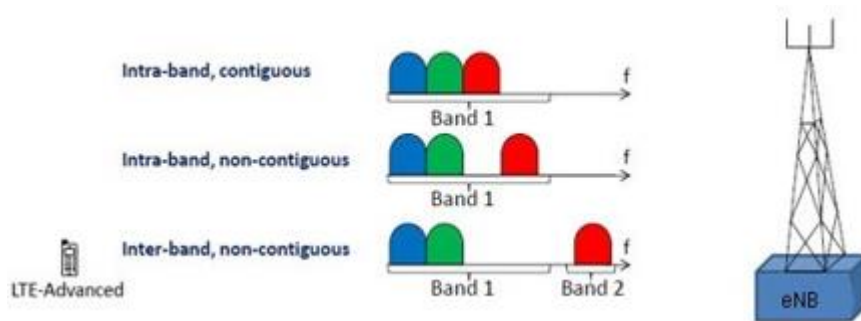


Figura 2. 5: Agregación de portadoras clasificadas en alternativas interbanda e intrabanda.
Fuente: (Wannstrom, 2013)

Al utilizar la técnica de agregación de portadoras podremos crear un canal máximo de 100MHz por medio de la adición de 5 portadoras de 20MHz cada una, por ejemplo. El número de portadoras agregadas puede ser independientemente en el DL y UL, aunque el número de ellas en UL nunca es más grande que el número de portadoras en el DL, a su vez, como se mencionó anteriormente las distintas portadoras pueden venir de diferentes bandas de frecuencia.

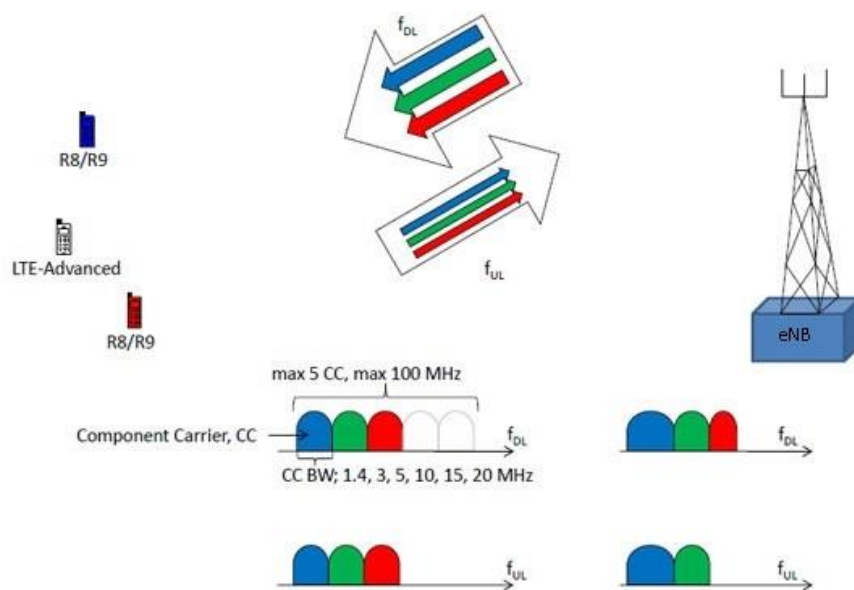


Figura 2. 6: Componentes de portadoras de un máximo de 5 con portadoras diferentes en banda de frecuencia.
Fuente: (Wannstrom, 2013)

En la figura 2.6 se puede observar la combinación de portadoras para crear canales más grandes como ejemplo, 5 portadoras combinadas formando uno de mayor ancho de banda como 100Mhz, así como también el número de portadoras para el DL y UL sin excederse el uno de la otra.

2.6.7. CoMP (Multipunto Coordinado).

Consiste en transmitir de manera coordinada varios puntos tanto para la transmisión como la recepción. Se introduce con el fin de mejorar la ganancia que existe en los bordes de las celdas adyacentes. Básicamente, cuando el equipo terminal está en la región de borde de la celda, el mismo podrá recibir distintas señales de los diferentes sitios cercanos a él y a su vez la transmisión del equipo terminal será recibido por las distintas celdas cerca al mismo como se aprecia en la figura 2.7.

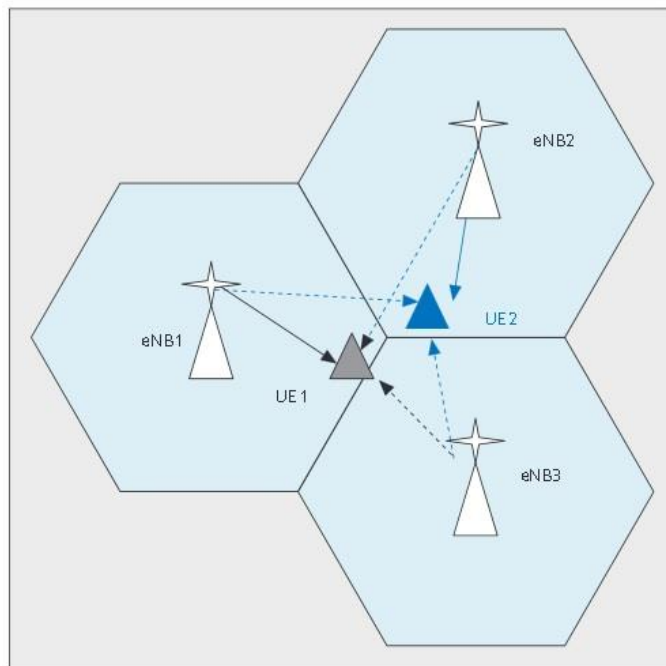


Figura 2. 7: Coordinación de eNB1, eNB2 y eNB3 creando transmisiones multipunto hacia los UE1 y UE2.

Fuente: (Ghosh, Ratasuk, Mondal, Mangalvedhe, & Thomas, 2010)

En la figura 2.7 se observa la transmisión que se realiza entre los eNB1, 2 y 3. La coordinación por parte de los tres eNB permite la comunicación no solo con el equipo terminal y las mismas, sino también entre los dos equipos terminales, formando una transmisión multipunto hacia ellos. CoMP se puede dividir en dos categorías, Planificación Coordinada (CS)/ Modificación del patrón coordinado (BS) y Procesamiento Unido (JP). En CS/BS la transmisión se realiza por una sola celda hacia un equipo terminal y se realiza entre las celdas para poder reducir la interferencia que puedan causar las otras celdas adyacentes.

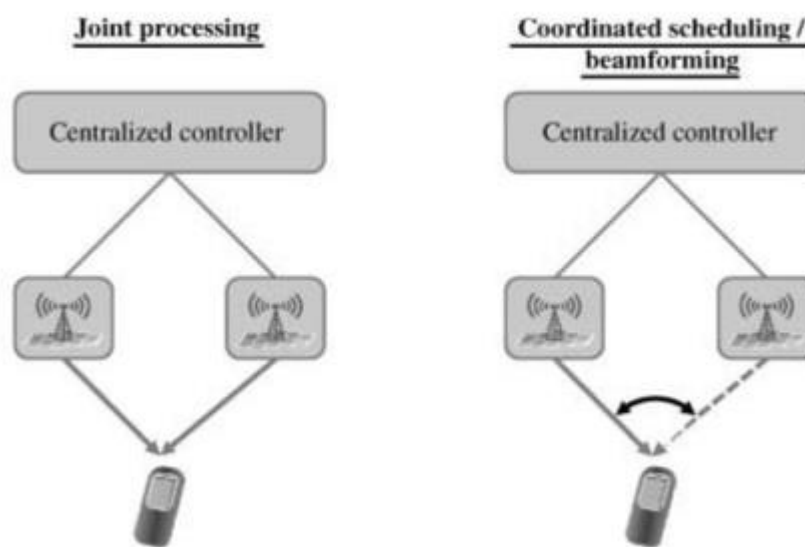


Figura 2. 8: Proceso de procesamiento unido y planificación coordinada/modificación del patrón.
Fuente: (Holma & Toskala, 2012)

Por una parte, en (JP) las transmisiones se realizan ya no solo por una celda, sino por múltiples celdas hacia un equipo terminal, en el cual las distintas celdas transmiten utilizando los mismos recursos de tiempo y de frecuencia y, por otra parte, selección dinámica, donde celdas son seleccionadas tomando en cuenta la menor interferencia que se produzca,

dentro de (JP). En la figura 2.8 se puede ilustrar el trabajo de CS/BS y de JP respectivamente.

En (JP) los datos están disponibles en múltiples celdas, mientras que en CS/BS están disponibles en una de ellas, además en CS/BS la planificación es la que decide que celda transmite al equipo terminal mientras que en (JP) se puede seleccionar la celda dinámicamente dependiendo de la interferencia que se pueda producir. Una de las innovaciones que fue parte fundamental de la creación de cuarta generación dentro de los sistemas móviles fue la introducción de una nueva tecnología de antenas de múltiples entradas y múltiples salidas conocidas como MIMO (Multiple Input Multiple Output), la cual aumenta la transmisión y recepción el flujo de los datos mediante múltiples antenas.

En comparación a la transmisión y recepción de una sola antena, MIMO incrementa de manera sustancial la capacidad de las mismas haciéndola indispensable debido a que tiene la capacidad de soportar las velocidades y grandes capacidades que las nuevas y futuras generaciones presentan como requerimientos.

2.6.8. Redes de auto-organización.

Las redes de auto-organización o Self Organizing Networks (SON) se pueden definir cómo; “Un conjunto de casos de uso que rigen una red que incluye la planificación, configuración y actividades de mantenimiento” (Poole,

s/f). Con la llegada de las celdas pequeñas, planificar y administrar las numerosas BS que se desplegarían requieren de un control más extenso para que dicha red pueda operar de manera eficiente. Debido a que las distintas tecnologías celulares son cada vez más complejas, se requiere que las redes móviles cuenten una mejor organización y una reparación óptima, y más aún con la integración de nuevos puntos de acceso. Sin embargo, estas operaciones mucho antes hubiesen requerido de configuración manual, si trasladamos dicho escenario dentro de una red compleja se traduciría a costos muy elevados para mantener la red en buen funcionamiento.

Por ello, SON opera de manera automática, reduciendo costos de operación o planificación además de ser una ventaja, puesto que también disminuiría los errores humanos que se puedan presentar por la reparación de las mismas. Las razones por las cuales la motivación a la utilización de esta técnica es importante son las siguientes:

- Con la tendencia de escalabilidad de la red móvil, las técnicas y soluciones tradicionales de manipulación humana, provoca que las redes complejas no puedan ser debidamente atendidas por la labor humana, por lo que métodos automáticos serían lo ideal para reducir los errores que causarían la configuración manual de todo el sistema.
- La evolución rápida de las redes desde la generación 2G han hecho que las infraestructuras de dichas redes tengan que operar paralelamente, necesitando así de un debido control y configuración.

- La integración de celdas pequeñas como los elementos adicionales dentro de las redes móviles actuales necesitarán de una mejor planificación y gestión eficiente, debido a las grandes cantidades de BS que se tendrían que administrar.

Las principales áreas dentro de SON se pueden dividir en auto-configuración, auto-optimización y auto-reparación y su arquitectura a su vez puede ser centralizada, distribuida o híbrida. En la auto-configuración los nuevos eNB o las celdas pequeñas también, se configuran automáticamente como en la Identidad de la Celda Física (PCI), transmisión de frecuencia y potencia, produciendo una planificación e implementación rápida de celdas.

Se introduce un nuevo método el cual minimiza el trabajo manual como lo es la Relación Automática Vecina (ANR) la cual configura la lista de las recientes celdas implementadas con las diferentes celdas ya existentes. Las PCI minimizan la colisión que exista por la comunicación entre las distintas celdas como también la confusión al momento de transmitir como podemos observar en la figura 2.9.

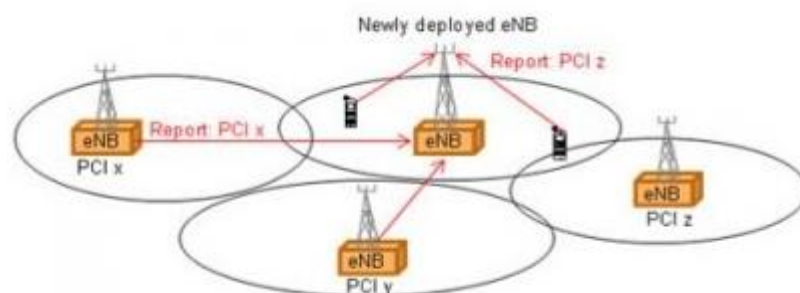


Figura 2. 9: Configuración del ANR y comunicación de PCI en la auto-configuración.

Fuente: (Poole, s/f)

La auto-optimización tiene varias áreas en las que se enfocan distintos problemas.

- Optimización de la movilidad robusta: en ella el mayor enfoque es de garantizar que exista una mejor movilidad en la red y esto es, que los handover se realicen correctamente minimizando los fallos en los radioenlaces (RLF) y la caída de las llamadas.
- Balance de carga: en el balance de carga, se busca que los distintos eNB tengan una comunicación para conocer las cargas dentro de su celda y la disponibilidad de ella para evitar la congestión, así mismo, esto se produce por medio de la interface X2 en la que las distintas celdas se comunican. Así, se evita que toda la carga la mantenga un solo eNB y más bien todas las ellas tengan cargas por iguales.
- Ahorro de energía: dentro de las metas de las operadoras móviles y las redes en general ha sido de minimizar el consumo de energía preservando la calidad de servicio el cual siempre es un objetivo de los usuarios. Mediante un sleep mode o modo descanso, se pueden apagar los distintos eNB que estén teniendo una carga baja, incrementando la cobertura de las que sí están teniendo cargas altas, también utilizando las horas de tráfico alto, ya que generalmente se da más durante el día que durante las noches.
- Cobertura y optimización de la capacidad: el objetivo en esta área es de proveer de suficiente capacidad y cobertura sin la necesidad de hacer uso de todos los recursos que se tengan disponibles. Uno de los primeros objetivos para la optimización es el área de cobertura, lo que

implica que se deba garantizar una cobertura de manera continua en términos de calidad de señal que se reciba, el cual debe de ser alto comparando con el valor mínimo. Como segundo objetivo debe de proveer suficiente señal de buena calidad dentro de toda el área de cobertura para poder tener un máximo de velocidad de rendimiento en términos de Mbps, de este modo se optimizaría todo el rango de las celdas, la razón de bit en los bordes de ellas y el rendimiento en velocidad. La cobertura y capacidad se puede mejorar por ejemplo ajustando los parámetros de las antenas, las cuales se requiere que tengan antenas con tilt eléctrico o remoto para poder configurarse.

En la auto-reparación se busca que los problemas que ocurren en la red, sean solucionados automáticamente y de mejor manera. Debido que la gestión de los inconvenientes que ocurrían era realizada manualmente, con las distintas BS que se puede tener dentro de la red móvil, se tornaría en un trabajo extenso el cual puede conllevar a que los errores humanos ocurran, produciendo pérdidas para las operadoras.

Uno de los problemas comunes que se pueden solucionar con la auto-reparación es la compensación cuando algún eNB entre temporalmente en un estado deshabilitado, ya sea por algún daño en hardware o software o mantenimiento, la compensación se daría por parte de la celda adyacente que pueda cubrir el área de cobertura de la celda temporalmente sin

funcionamiento, ajustando el tilt y aumentando la potencia máxima como podemos apreciar en la figura 2.10.

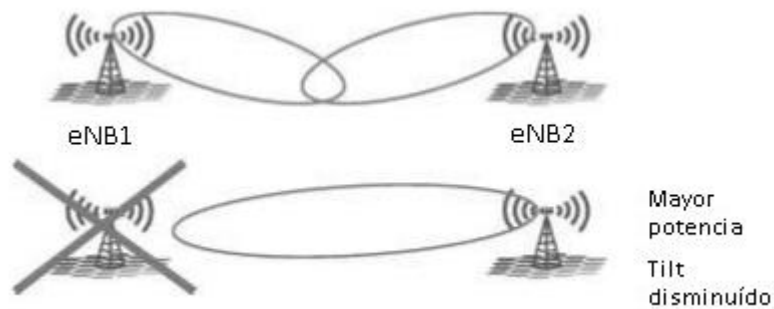


Figura 2. 10: Compensación por parte del eNB2.
Fuente: (Holma & Toskala, 2012)

2.7. Arquitectura de LTE y LTE-Advanced.

La arquitectura de LTE-Advanced no sufre cambios, por lo tanto, comparte las mismas especificaciones que LTE, el objetivo de LTE es de simplificar el sistema, la cual ahora se basa todo a IP, suprimiendo la conmutación de circuitos. En la figura 2.11 podemos observar la arquitectura de los sistemas LTE y LTE-Advanced. Los componentes dentro del sistema LTE se dividen en dos fundamentales, E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) y el EPC (Evolved Packet Core).

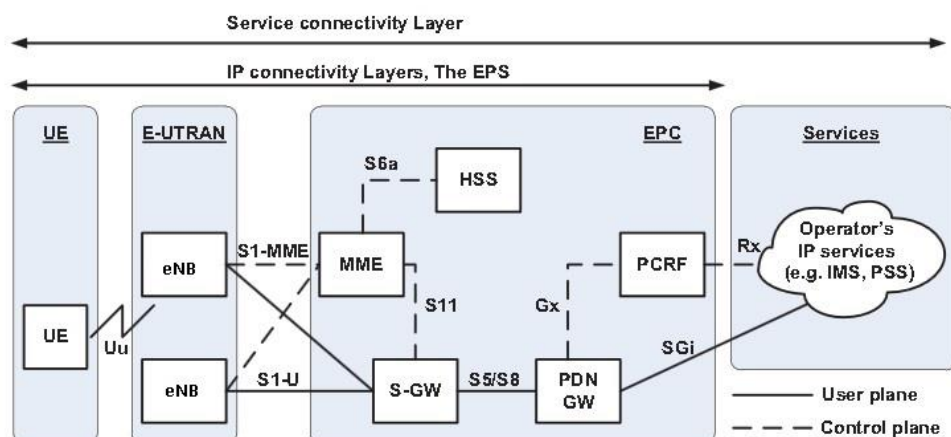


Figura 2. 11: Arquitectura de red LTE y LTE-Advanced.
Fuente: (Zaki, 2012)

2.7.1. Equipo terminal.

El equipo terminal (UE) es en sí, el dispositivo con tecnología LTE disponible que efectúa la conexión a la red LTE que exista. Los UE no solamente son teléfonos celulares, pueden ser tablets, tarjetas de red que estén dentro de laptops, etc.

Toman las mismas características que los sistemas de 3GPP en donde el UE se conforma por dos principales entidades, la SIM card, que es el módulo el cual posee información necesaria para la autenticación. Por parte del UE dispone del hardware necesario para efectuar las diferentes aplicaciones y servicios que las operadoras ofrecen dentro de LTE.

2.7.2. E-UTRAN (Red de Acceso de Radio Terrestre Universal Evolucionado).

En LTE, E-UTRAN consiste eNB interconectados unos a otros directamente por medio de la interface X2 y con el núcleo de la red por medio de la interfaz S1, esto evita los procedimientos de conexión con el RNC que existía en redes UMTS y HSPA. En la figura 2.12 podemos observar la arquitectura de E-UTRAN en LTE/LTE-Advanced.

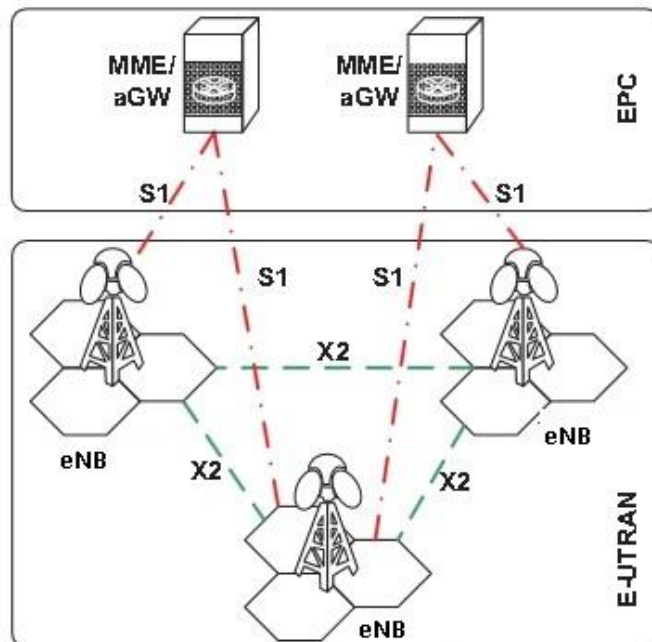


Figura 2. 12: Arquitectura de E-UTRAN en LTE y LTE-Advanced.
Fuente: (Zaki, 2012)

2.7.3. eNB (Nodo B evolucionad).

eNB realiza las funciones de la red de acceso, por lo que los protocolos específicos utilizados por la interfaz de radio culminan ahí mismo. eNB trabaja como un intermediario entre el UE y EPC. El protocolo GTP, que sirve como túnel, trabaja por encima de los protocolos conocidos como UDP e IP.

Una de las funciones primordiales de eNB es gestionar los recursos de radio, como la función scheduling que es la asignación dinámica de los recursos de radio que se necesiten para el enlace descendente como para el enlace ascendente y, por último, realiza funciones de gestión de movilidad como por ejemplo el handover cuando el UE se mueve entre celdas. Cabe recalcar que, en el ámbito de celdas pequeñas, también son consideradas eNB, por lo tanto, realizan las mismas funciones.

2.7.4. EPC (Núcleo de Paquetes Evolucionado).

Se considera en LTE a EPC como el núcleo de la red y está constituido por tres principales entidades: la Entidad de Gestión de Movilidad (MME), la Puerta de Enlace de Servicios (S-GW) y la Puerta de enlace de Red de Datos por Paquetes. Existen otras dos entidades a nivel lógico fuera de las tres principales llamados Servidor de Abonado Local (HSS) como también la Función de Política y Reglas de Carga (PCRF) (Saltos, 2016).

La función MME provee de funciones que gestionan el control como también la señalización para la EPC, trabaja estrictamente para el plano de control y no para el plano del usuario. La función S-GW es la puerta de enlace por donde todo el tráfico producido de usuarios IP viaja. Finalmente, la función PDN-GW opera como el punto de interconexión entre la EPC y las redes externas de IP, realiza a su vez funciones como asignación de direcciones, control de políticas y cargos.

2.7.5. Interfaz de radio.

Se encarga de la información para la gestión de la red núcleo y el acceso, además de la comunicación por parte de los eNB hacia los usuarios y hacia la EPC. Existen protocolos que operan tanto para el plano del usuario como por el plano de control en la capa física y en la capa de enlace para la transmisión de datos, los cuales están detallados en la figura 2.13.

La capa de enlace se subdivide en tres diferentes capas: Protocolo de Convergencia de Paquetes de Datos (PDCP), Control de Enlace a Radio (RLC) y Control de Acceso al Medio (MAC).

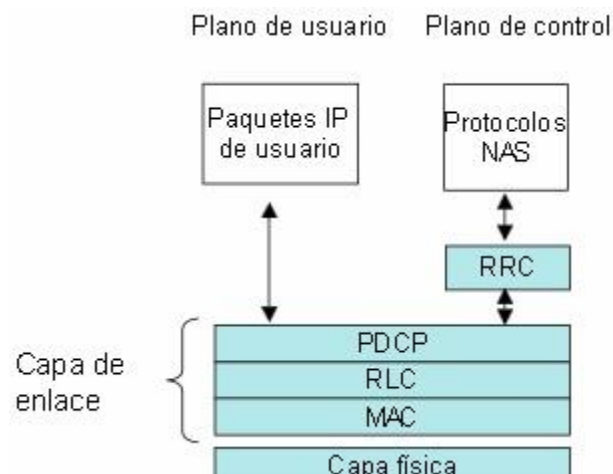


Figura 2. 13: Capa física y protocolos de capa de enlace en E-UTRAN.
Fuente: (Agusti et al., 2010)

- Protocolo de Convergencia de Paquetes de Datos: Sirve como puerta para que los paquetes IP del tráfico del usuario puedan ser recibidos y debidamente entregados.
- Control de Radio de Enlace a Radio (RLC): Funciona como intermediario para las comunicaciones entre los eNB y el UE mediante el envío de paquetes PDCP. Una entidad RLC generalmente está situada en cada servicio de portador de radio.
- Control de Acceso al Medio (MAC): Se encarga de controlar el acceso que se obtiene en el canal de radio, realiza las funciones scheduling de manera dinámica entre las distintas entidades, ya sean equipos terminales o servidores de portadora, basándose en las prioridades que se tengan previamente estipuladas.

En la capa física se realizan las distintas comunicaciones por medio del canal de radio, funciones de modulación y de las múltiples de antena como también las funciones que se manejan en los canales de enlace ascendente y descendente por medio de SC-FDMA y OFDMA respectivamente.

2.7.6. Interfaz S1.

La interfaz S1 conecta los eNB de la red con el núcleo de la red EPC, dividiéndose en dos sub interfaces tanto para el plano de control como para el plano de usuario. La interfaz para el plano de control se denomina S1-MME la cual permite la señalización con el MME, mientras que para el plano de usuario se denomina S1-U y esta interconecta las distintas eNB con el S-GW la cual permite la transferencia de los datos para del usuario.

2.7.7. Interfaz X2.

La interfaz X2 por su parte, es la que se encarga permitir la interconexión entre los eNB, indistintamente de los tipos de estaciones base, ya que pueden ser también celdas pequeñas, debido a que ellas actúan como un eNB. De la misma manera que la interfaz S1, X2 también posee interfaces para el plano de control y el plano de usuario. Para el control, se denomina X2-CP, cuya función es de proveer la señalización entre los eNB, por parte del usuario, se denomina X2-UP y permite la transferencia de datos entre los eNB así mismo, permite el intercambio de información de la carga de tráfico y sobrecapacidad como también el correcto handover del abonado de un eNB a otro.

En la figura 2.14 podemos apreciar la arquitectura de los protocolos de la interface S1 y X2 la cual está dividida en capa de red de radio y capa de transporte respectivamente, para así aislar los protocolos específicos que dependen de la red de acceso a radio y de los que dependen de la red de transporte.

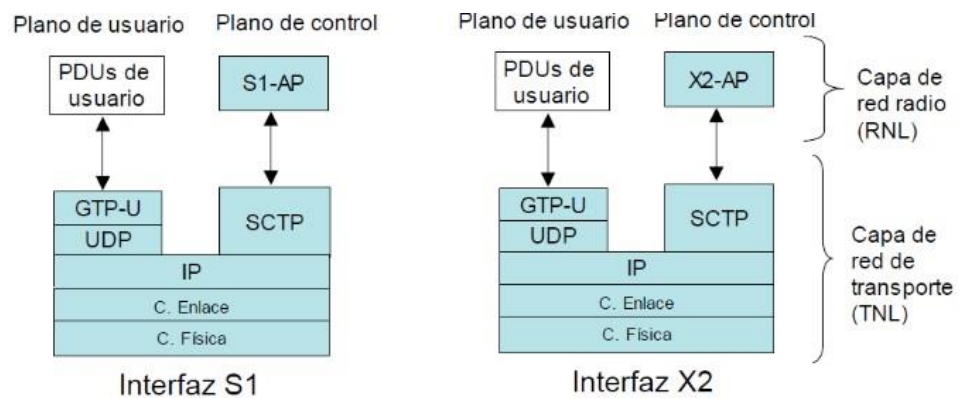


Figura 2. 14: Protocolos de la interfaz S1 y X2 divididos en plano de control y plano de usuario.

Fuente: (Nuñez, 2013)

CAPÍTULO 3: ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CELDAS PEQUEÑAS

PEQUEÑAS

3.1. Definición de celdas pequeñas.

Las celdas pequeñas son puntos de acceso inteligentes que operan a baja potencia dentro de un rango de escenarios, que varía desde las unidades más pequeñas para entornos residenciales, hasta las más grandes para entornos empresariales, rurales y urbanos como se observa en la figura 3.1.



Figura 3. 1: Escenarios para despliegue de celdas pequeñas.
Fuente:(Small Cell Forum, 2014c)

La razón es proveer mejores coberturas, capacidades y nuevas aplicaciones dentro de las redes móviles. También pueden utilizarse para brindar acceso inalámbrico en: estructuras marinas, aeronaves, trenes, etc. Existen diversos tipos de celdas pequeñas, las cuales están enfocadas a escenarios específicos para su aplicación. Tienen el nombre de: femtoceldas, picoceldas, metroceldas y microceldas. En la figura 3.2 podemos observar un ecosistema básico de convivencia entre las diferentes celdas pequeñas y macroceldas.

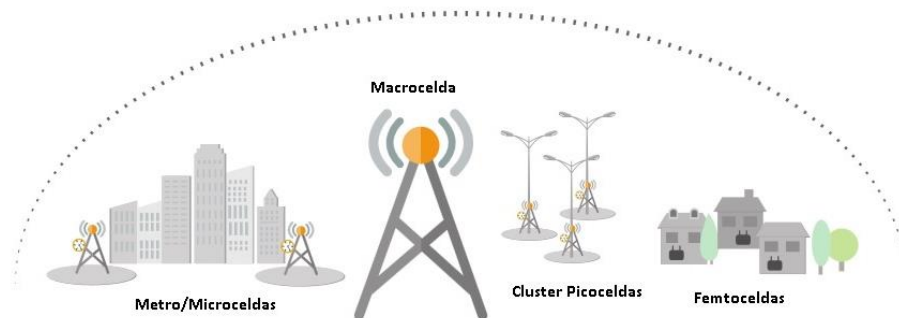


Figura 3. 2: Ecosistema HetNet usando mezcla de celdas pequeñas y macroceldas.
Fuente: (Qulsar, 2017)

Puesto que cada celda pequeña varía en potencias, número de capacidad de usuarios y zonas geográficas, en la tabla 3.1 observamos una comparación de las distintas características de dichas celdas pequeñas con respecto a la macrocelda.

Tabla 3. 1: Características de las celdas pequeñas.

	Potencia de salida	de	Radio de celda	de la	Número de usuarios	de	Localización
Fentoceldas	1mW 250mW	–	10m – 100m		1 - 30		Interiores
Picocelda	250mW – 1W		100metros 200m	–	30 - 100		Interiores
Metro/Microcelda	1W – 10W		200m – 2Km		100 - 2000		Interior/Exterior
Macrocelda	10W – más de 50W		8Km – 30km		Más de 2000		Exteriores

Fuente: (Iyer et al., 2012)
Elaborado por: Autor.

Algunos de los beneficios que contamos con el despliegue de ellas se mencionan a continuación:

- Proporcionan una mejor calidad, con un ancho de banda mayor y se disminuye a su vez la latencia al situarse cerca de los usuarios, porque las celdas pequeñas tienen rangos de cobertura menor en comparación a las macroceldas.
- Abastecen de cobertura en áreas donde la señal proveniente de la macrocelda es muy débil, producto de obstáculos como edificaciones o interferencia.
- Al situarse en los bordes de la celda, agrandan la capacidad de la macrocelda, ya que es el sector en donde la señal toma una degradación.
- El rendimiento promedio para los casos de las metroceldas y microceldas es igual que el de las macroceldas, porque las dos trabajan con el mismo ancho de banda de radio.

3.2. Arquitectura de las celdas pequeñas.

La arquitectura basada en celdas pequeñas está definida de la misma manera que la de macroceldas, muy comunes vistas en las redes LTE. Operan con el mismo fin de las mismas, pero tienen distintos propósitos que van orientados a sus aplicaciones y funciones específicas de acuerdo a la configuración y escenario. Al actuar como eNB, utilizan las mismas interfaces S1 y X2. El diseño de la arquitectura fue definido por 3GPP en el TS 36.300 Release 11, el cual está formado por diversas macroceldas denominadas eNB de la red móvil y las añadidas celdas pequeñas con el nombre de HeNB, detallado en la figura 3.3.

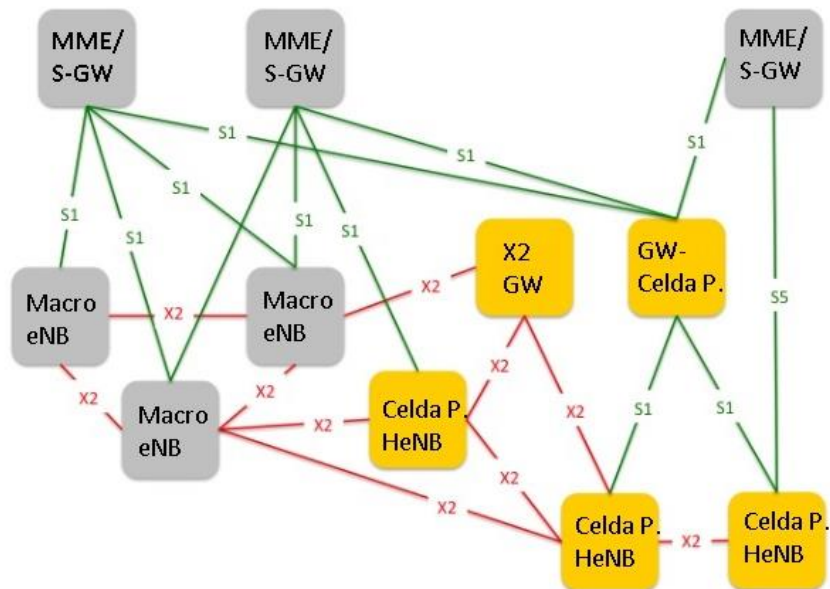


Figura 3. 3: Arquitectura de red de celdas pequeñas y eNB.
Fuente:(Small Cell Forum, 2014d)

Como podemos observar en la figura 3.3, las diferencias con respecto a la arquitectura de macroceldas, es la agregación de una puerta de enlace de celda pequeña (GW-Celda P.) la cual se encarga de integrar las interfaces lógicas S1 necesarias para la comunicación con el núcleo de la red, tomando la función de concentrador S1 y la puerta de enlace de X2 (X2-GW) que se encarga de comunicar las celdas pequeñas con las macroceldas. En esta arquitectura, la desvinculación de las puertas de enlace es producida, para que realicen las funciones de forma independiente y no sobrecarguen la red.

3.3. Soluciones alternativas para el incremento de capacidad de la red móvil.

Existen varias opciones para optimizar la capacidad de una red más allá del uso de las celdas pequeñas, pero son dependientes de los recursos que

posean las operadoras móviles. A continuación, se mencionan las más relevantes (Buddhikot & Sori, 2013).

3.3.1. División de celdas.

Consiste en dividir el radio de cobertura de una celda, en este caso, la macrocelda en nuevos sitios, para poder liberar la congestión y aumentar la capacidad de la red. Con esto, cada división celular tendría su propia estación base con su respectiva reducción de antena.

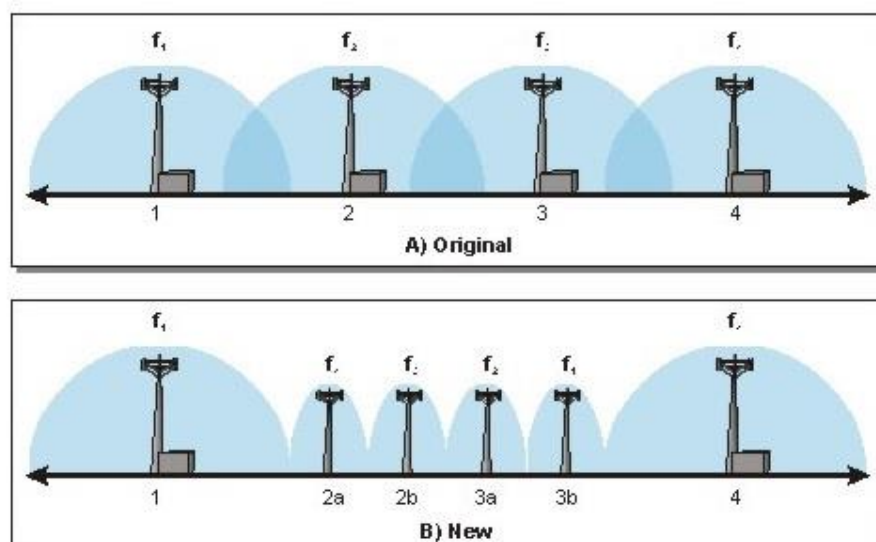


Figura 3. 4: Proceso de subdivisión de celdas.
Fuente: ("Cell Splitting", 2009)

Al realizar el proceso de subdivisión de celdas, incrementamos la capacidad de la red móvil, pero el punto débil, reside en que la cobertura se disminuye, ya que, al cambiar las configuraciones de la antena, el rango de operación de la misma se ve reducida. Se resuelven los problemas de capacidad, pero la cobertura cada vez más tendría que sacrificarse, posteriormente, con dicha técnica, se requerirían más macroceldas para suplir la disminución de cobertura, lo cual lo vuelve en la actualidad, una solución

costosa. En la figura 3.4 observamos el proceso de subdivisión de celda de una macrocelda celular.

3.3.2. Adquisición de espectro.

La compra de espectro radioeléctrico implica fuertes gastos para las operadoras y un problema para ciertas regiones, en el caso puntual de nuestro país, la ARCOTEL (2017) afirma que "... La legislación de telecomunicaciones ecuatoriana lo define como un recurso natural limitado, perteneciente al dominio público del Estado, inalienable e imprescriptible." Con el provecho de tener mayor espectro, la solución para incrementar la capacidad de la red resulta factible para operadoras porque les permitirían la instalación de nuevos equipos dentro de los sitios de la macrocelda, sin necesidad de afectar la red en sí.

3.4. Tipos de celdas pequeñas y escenarios de aplicación

3.4.1. Femtoceldas.

Dentro del abanico de celdas pequeñas, las femtoceldas son las más pequeñas de la categoría. Se las conoce como HNB en redes de tercera generación y como Home HeNB desde LTE en adelante. Fueron diseñadas primeramente para abarcar pocos usuarios, pero con el tiempo la capacidad fue creciendo llegando a soportar actualmente de 1 a 30 por femtocelda.

Por su radio de cobertura limitado, variando de 10 a 100 metros, las femtoceldas están destinadas a entornos domésticos y empresas pequeñas.

Debido a que las femtoceldas son desplegadas por los clientes o consumidores; existen tres tipos de configuración para la femtocelda denominados: Grupo de Suscripción Cerrado (CSG), Abierto e híbrido.

En el CSG, solamente los números de los usuarios que han sido registrados en dicha femtocelda pueden tener acceso a ella, el resto es denegado, en la configuración abierta por su parte, permite que todos los usuarios disponibles cerca de la misma, puedan conectarse a dicha femtocelda y la híbrida permite las dos configuraciones, todos pueden ingresar a ella, pero los que estén registrados tendrán prioridad por encima de los que sean usuarios libres. En la figura 3.5 se ilustra un escenario típico de femtoceldas, orientado al sector residencial.

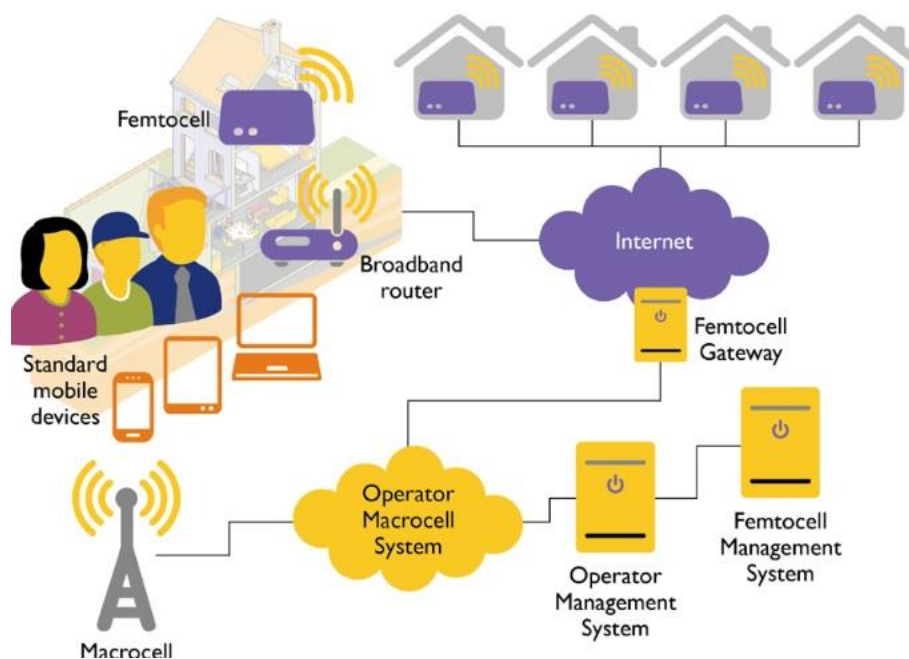


Figura 3. 5: Escenario típico de femtoceldas.
Fuente: (Small Cell Forum, 2014b)

Como podemos observar, el escenario está compartido con las macroceldas. Para que la conexión de la femtocelda con la red móvil se realice, se requiere que ésta tenga salida a internet por medio del router doméstico. La Femtocell Gateway (Puerta de enlace de femtocelda, F-GW) se encarga de comunicarse con el nodo principal de la red móvil llamado Operator Macrocell System (sistema de operación de macrocelda), ella se encarga de las acciones de administración tanto para el sistema de la red móvil como para el sistema de la femtocelda.

3.4.2. Picoceldas.

Las picoceldas le siguen tanto en tamaño como en potencia a la femtocelda dentro del grupo de celdas pequeñas, su rango de cobertura es de 100 a 200 metros y su uso está enfocado para el sector comercial y empresarial. La capacidad de usuarios se ve incrementada en comparación a la femtocelda creciendo de 30 a 100 usuarios por celda. La configuración para ellas solo es abierta y es administrada por el operador móvil que la despliegue. Las picoceldas son utilizadas para lograr una ganancia de diversidad por medio de la cooperación entre las macroceldas y picoceldas (Jacob, 2014).

Se pueden realizar configuraciones de múltiples picoceldas para abarcar una mayor cobertura cuando se tratan de sitios comerciales recurrentes donde se agrupe tráfico. En esta configuración las múltiples picoceldas se interconectan entre ellas por medio de Ethernet, formando clústeres y no necesitan de interfaces X2 para poder comunicarse como lo hacen los demás

eNB. Las interfaces S1 se compilan en un solo grupo para comunicarse con el núcleo de la red del operador con el fin de minimizar las diferentes interfaces que se generarían por cada picocelda desplegada. Para entornos empresariales, tenemos la Enterprise Small Cell Network (red de celda pequeña empresarial, E-SCN).

En estos escenarios, los nodos de la red se dedican a enlazar los servidores propios de la empresa con sus respectivos servicios, así mismo, provee de integración para las diferentes picoceldas en red y escalabilidad para más despliegues de los mismos. Estos elementos son llamados Enterprise Small Cell Concentrator (concentrador de celda pequeña empresarial, ESCC) y Enterprise Small Cell Gateway (puerta de enlace de celda pequeña empresarial, ESCG).

ESCG se encarga de enlazar las diferentes picoceldas de la red con los servidores de la empresa dedicados al de soporte de operaciones (OSS) y soporte de negocios (BSS) y permite la configuración y comunicación con otras picoceldas empresariales o femtoceldas residenciales. El ESCC por su parte, se encarga de enlazar todos estos elementos antes mencionados con los servidores propios de la empresa y los servicios de la misma como el PBX permitiendo así total comunicación con todos los nodos de la red empresarial.

La ESCG y ESCC son dinámicas porque sus operaciones pueden darse aun cuando estén aisladas una de otras, combinadas entre sí o fusionadas

con sus distintas funciones. En la figura 3.6 se detalla el escenario de picoceldas dentro del entorno empresarial que, a pesar de no ser una arquitectura de red definida, nos orienta con descripción de los diferentes elementos dentro de ella.

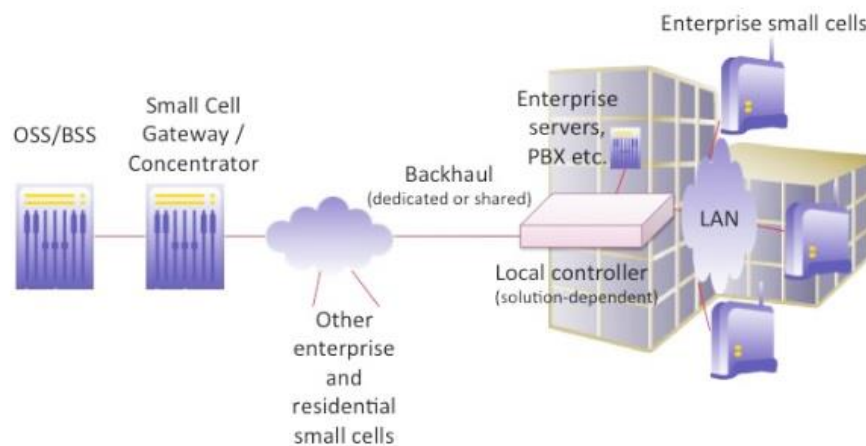


Figura 3. 6: Escenario empresarial básico con picoceldas.
Fuente: (Small Cell Forum, 2014b)

3.4.3. Metro/Microceldas.

El caso de las metroceldas y microceldas, su operación está dedicada a los entornos exteriores, como áreas públicas, centros comerciales densos, sectores de la ciudad céntricos donde exista gran tráfico, universidades y sectores rurales alejados de la zona urbana.

Por ser las más grandes dentro de la categoría de celdas pequeñas, su rango de cobertura pasa los 300 metros hasta llegar a los 2 kilómetros, se las compara con las macroceldas ya que comparten las mismas configuraciones y radio de banda ancha. La capacidad de usuario se ve incrementada hasta 2000 por celda y son las más aptas dentro del grupo por las mismas razones. Al ir enfocadas en mejorar la cobertura en los bordes de la celda también

permiten el balance de tráfico y descongestión para las macroceldas. en la figura 3.7 podemos observar un escenario ejemplo de despliegue.

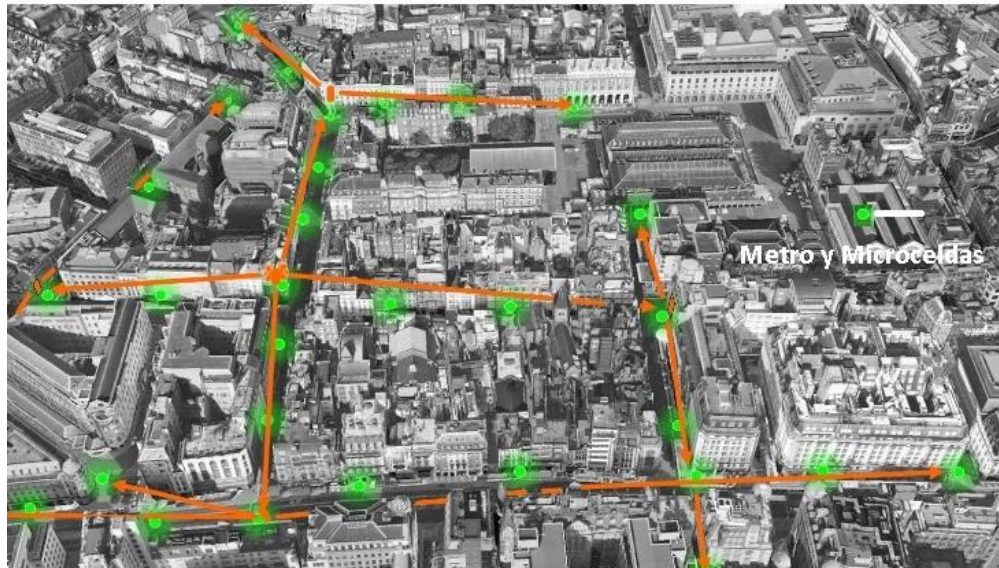


Figura 3. 7: Escenario básico de despliegue de metroceldas/microceldas.
Fuente:(Robson, 2012)

En escenarios urbanos, la arquitectura de red para las metroceldas/microceldas tiene diversidad y se diferencia mucho de las arquitecturas anteriores de celdas pequeñas, en primer lugar, puede compartir escenarios con diferentes tipologías, como picoceldas y femtoceldas. En la figura 3.8 podemos observar en detalle la arquitectura genérica de esta red.

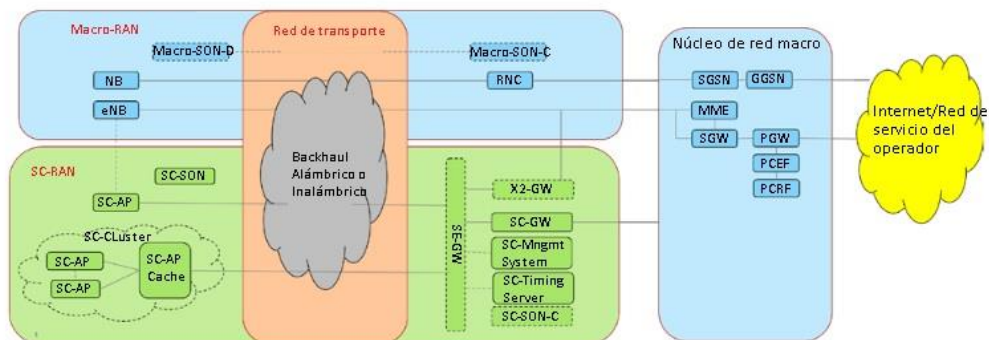


Figura 3. 8: Arquitectura genérica del escenario urbano.
Fuente:(Small Cell Forum, 2014d)

En esta arquitectura, existen diversos dominios de arquitectura divididos en cuatro secciones: red de acceso macro (Macro-RAN), red de acceso de celda pequeña (SC-RAN), red de transporte para el backhaul y por último el núcleo de red. Con respecto a la arquitectura mostrada podemos decir:

- En la red de acceso macro (Macro-RAN) las funciones llamadas SON-C y SON-D son parte de tecnología SON distribuida y centralizada.
- Las funciones eNB y NB están definidas por LTE y 3G respectivamente.
- En la SC-RAN la función Small Cell Access Point (punto de acceso de celda pequeña, SC-AP) permiten el uso de las distintas celdas pequeñas como por ejemplo las femtoceldas y las picoceldas.
- Las funciones dentro de la Security Gateway (puerta de enlace de seguridad SE-GW) puede excluirse, pero de ser así, la red de transporte debe encargarse de ella tanto para la red y como las celdas pequeñas mediante mecanismos de seguridad adicionales.
- La red de transporte puede operar tanto backhaul inalámbrico como alámbrico dependiendo del tipo que se tenga disponible.
- El propósito de las funciones dentro del núcleo de la red macro es de permitir la interoperabilidad con las redes móviles 3G.

En escenarios rurales, las metroceldas y microceldas brindan cobertura a comunidades poco pobladas lejos de las zonas urbanas. El objetivo de este escenario es brindar más cobertura que capacidad. En la figura 3.9 podemos observar la arquitectura simple de un escenario rural.

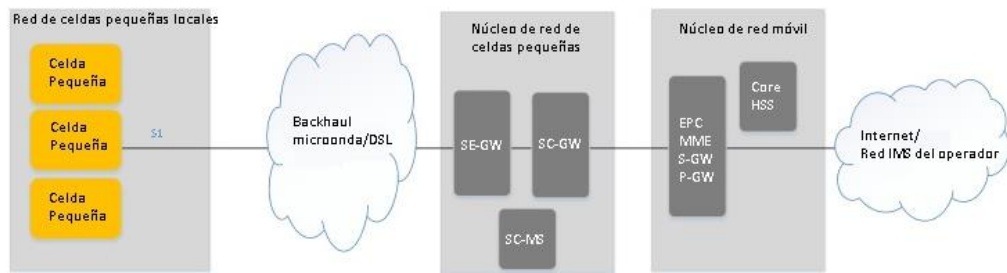


Figura 3. 9: Arquitectura genérica del escenario rural.
Fuente:(Small Cell Forum, 2015)

En la arquitectura de la figura 3.9 la cobertura celular para la comunidad de una zona rural se basa en el número de celdas pequeñas conectadas con el núcleo de la red dependiendo del backhaul disponible como microonda o DSL.

3.5. Tipología de sitios para despliegue de celdas pequeñas.

Los sitios en donde las celdas pequeñas se sitúan pueden variar dependiendo del lugar, pero en general, al no ser de gran tamaño, la variedad de áreas de instalación es amplia, además de que no se necesita infraestructura adicional para su despliegue lo cual es un ahorro significativo en su implementación. En la tabla 3.2 se detalla las distintas localidades de acuerdo a su tipo de despliegue.

Tabla 3. 2: Tipos de sitio para despliegue de celdas pequeñas.

Tipo de despliegue	Localidad
Escenarios urbanos densos	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Postes de luz ❖ Semáforos ❖ Buses y estaciones ❖ Librerías y cafeterías

	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Sitios de CCTV y postes ❖ Vallas publicitarias
Escenarios urbanos	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tiendas y supermercados ❖ Postes de luz ❖ Fachadas de edificios ❖ Sitios de CCTV
Escenarios rurales	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Paredes de edificios ❖ Vallas publicitarias

Fuente:(Small Cell Forum, 2013)
Elaborado por: Autor.

3.6. Impacto ambiental en el despliegue de celdas pequeñas.

El uso e implementación de celdas pequeñas puede abrir inquietudes con respecto al impacto ambiental que estas pueden producir. La mayor cantidad de celdas implicaría mayor cantidad de equipos de transmisión y recepción que se introducirían al sistema, pero existen algunos puntos a favor que se mencionarán a continuación.

3.6.1. Impacto energético.

Las celdas pequeñas al tener técnicas de eficiencia energética y operar a bajas potencias desde los 1mW hasta los 10W con relación a las macroceldas que operan a partir de los 10W en adelante, reducirían notablemente el consumo de energía. Los algoritmos diseñados para ellas permiten también configuraciones donde en casos de no estar en

funcionamiento, esta se pondría en un estado de inactividad, minimizando el consumo de energía innecesario.

3.6.2. Impacto en la salud.

Si bien, al tener una gran cantidad de celdas pequeñas en un sector específico, este produciría incertidumbre en las personas con respecto a la radiación no ionizante. El punto a favor de las celdas pequeñas es que, debido a sus rangos reducidos, la potencia de transmisión es mínima y al estar cerca de los usuarios, no requerirán de mayor esfuerzo para poder mantener la comunicación como ocurre con las macroceldas cuando se opera al borde de ellas.

3.6.3. Impacto visual.

Como se mencionó anteriormente en el apartado 3.5, no se necesita de nueva infraestructura para situar las celdas pequeñas, estas pueden utilizar las mismas fachadas, mobiliarios de las calles y la misma construcción de las estaciones base. Por consiguiente, el impacto visual producido es mínimo, evitando requerir de nuevos espacios para poder desplegarlas.

En las figuras 3.10 y 3.11 podemos observar ejemplos evidentes de despliegues dentro de las fachadas de las calles y parques.



Figura 3. 10: Despliegue de celdas pequeñas en postes de luz.
Fuente:(Mobile Europe, 2014)



Figura 3. 11: Despliegue de celdas pequeñas en postes de luz.
Fuente:(Meyer, 2016)

3.7. Desafíos con el despliegue de las celdas pequeñas.

Existen inconvenientes que surgen con el despliegue de las celdas pequeñas que no se pueden ignorar y por su importancia, se deben seguir diferentes directrices para su correcta implementación. En la actualidad se buscan soluciones con el fin de aminorarlos para que no logren ser un freno y posible impedimento en futuros despliegues.

3.7.1. Backhaul.

El backhaul es uno de los inconvenientes más grandes que traen las celdas pequeñas con su despliegue. La razón del backhaul es para proporcionar conexión entre las celdas pequeñas y los nodos dentro del núcleo de la red. Según Noordman, (2012) “El rendimiento del backhaul no afecta solamente al desempeño de los datos disponible de los usuarios, sino también al rendimiento general de la red de acceso a radio”.

La inversión que implica la adquisición del backhaul para las celdas pequeñas es mucho mayor al de las implementadas por las macroceldas, es por esto que la inquietud de las operadoras móviles para lograr desplegar eficientemente las celdas pequeñas es buscar la manera de instalarlas dentro del backhaul que ya existe en la red. Entre las alternativas de backhaul inalámbrico que se tienen en la actualidad podemos mencionar la Línea de Vista (LoS), utilizadas por diferentes esquemas donde sea fácil la conexión de backhaul cuando se tenga visión directa sin obstáculos. (Small Cell Forum, 2014a).

La Línea de Vista Nula (NLoS) es considerada en casos donde haya impedimentos y obstrucciones como edificaciones, árboles, etc. Las diferentes aplicaciones de backhaul inalámbrico se pueden observar en la figura 3.12.

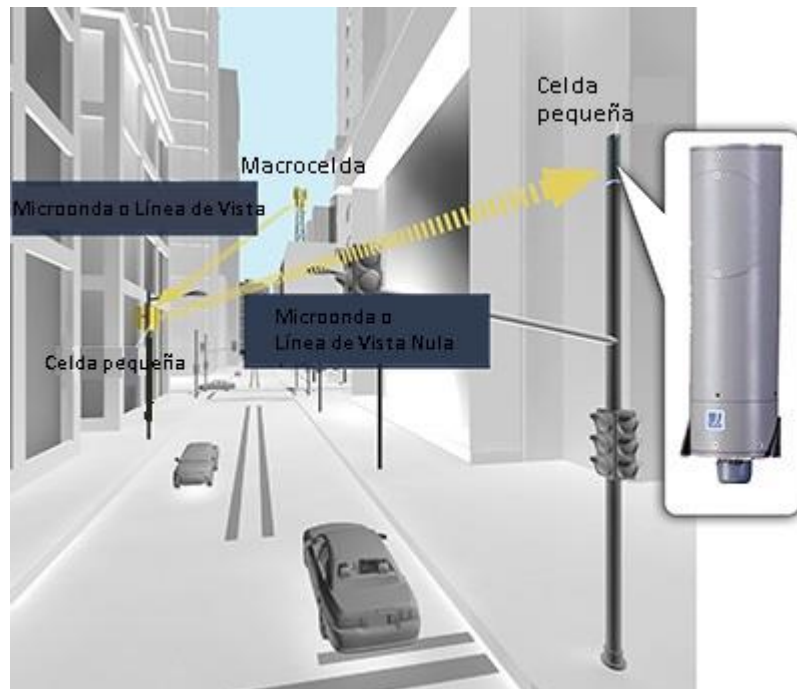


Figura 3. 12: Backhaul inalámbrico.
Fuente:(Mudoj, 2013)

Para las alternativas alámbricas de backhaul, las macroceldas utilizan la fibra óptica, el cobre y la tecnología GPON, en casos de no tener línea de vista directa, se toman estas medidas, pero si hay ausencia de fibra óptica, el inconveniente surge debido a que la adquisición de la misma es costosa. En la figura 3.13 podemos observar las distintas alternativas para la opción cableada.

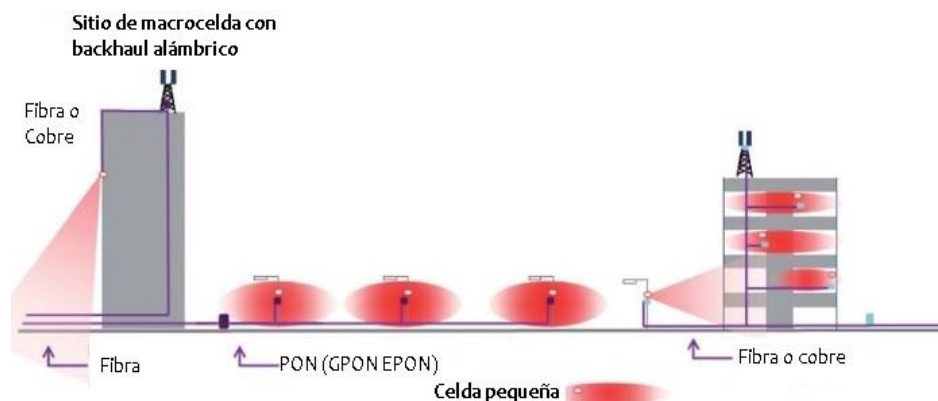


Figura 3. 13: Backhaul alámbrico.
Fuente: (Alliance, 2012)

3.7.2. Localización de sitio.

La instalación de las celdas pequeñas no se puede realizar sin una planificación previa, localizar el sitio adecuado de despliegue para poder maximizar el uso del espectro de radio disponible es indispensable, de lo contrario existiría una pérdida en lugar de una mejoría en la red. En muchos casos las operadoras de servicio móvil necesitarían crear alianzas con municipalidades o agentes externos que sean dueños de áreas públicas para su posterior aprobación y uso del sitio.

3.7.3. Espectro radioeléctrico.

Requerir más espectro radioeléctrico resulta una inversión que se debe realizar cuidadosamente, debido a que está limitado para las operadoras de servicio móvil. Cuando existen despliegues de celdas pequeñas, se recomienda dedicar una portadora para las celdas pequeñas.

Al trabajar con diferentes bandas de frecuencia de diferentes portadoras, se evitaría la interferencia que se produce con la macrocelda, mejorando el rendimiento de los datos. La configuración de espectro para este método es la agregación de portadoras para las macroceldas con diferentes bandas de frecuencia, dedicando una de ellas para las celdas pequeñas. En la figura 3.14 podemos observar un ejemplo de lo mencionado. Asignando para la portadora de la macrocelda la banda de 700Mhz y para el caso de la celda pequeña, la banda AWS.



Figura 3. 14: Espectro dedicado para macrocelda y celda pequeña.
Fuente:(Buddhikot & Sori, 2013, p. 5)

3.7.4. Handover.

Con la extensión de la red móvil mediante la adición de celdas pequeñas y en lugares donde las mismas son desplegadas cerca de ellas incrementa considerablemente el handover en comparación con el que se produce por las macroceldas solamente. Al existir una gran cantidad de handover, se tiene como consecuencia, un esfuerzo mayor para la red móvil por los procedimientos a efectuar. Es por eso que se necesita añadir técnicas para optimizar dicho problema, pero la consecuencia se refleja en una red mucho más compleja.

3.8. Resultados obtenidos en países desarrollados.

A continuación, se mencionarán dos casos para poder entender la optimización de los sistemas con el despliegue de celdas pequeñas efectuados en países desarrollados.

3.8.1. Estación de tren de Zhengzhou.

Esta ubicación, que es una de las estaciones más grandes de China, tiene aproximadamente un flujo de personas por día de 150,000 en un área de 144,000 metros cuadrados, el número de celdas pequeñas desplegadas

por parte de la empresa Huawei es de 10, las cuales están situadas en las bases de los pilares de la estación como se aprecia en la figura 3.15.

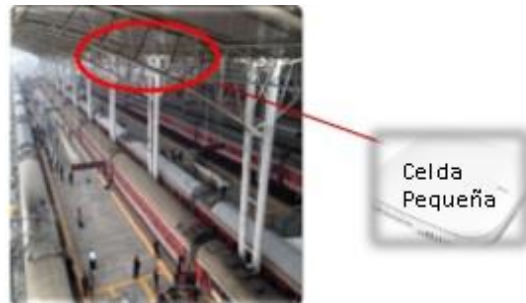


Figura 3. 15: Ubicación de celdas pequeñas en la estación Zhengzhou.
Fuente:(Huawei Technologies, 2014)
Elaborado por: Autor.

La capacidad medida en Mbps, nos demuestra que, el rendimiento de la red móvil en ese sector previo al despliegue de celdas pequeñas es de un 1,3Mbps. Con la implementación de las celdas pequeñas, la capacidad aumenta a 4.1Mbps respectivamente. Es decir, el rendimiento general de la red dentro de la estación incrementa en cerca de un 315%. Como podemos observar en la figura 3.16.

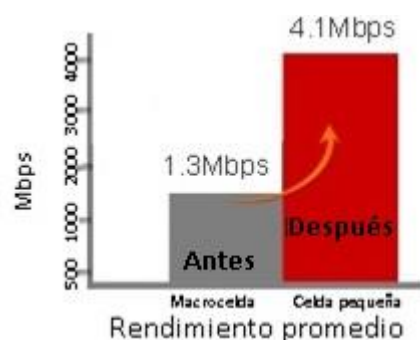


Figura 3. 16: Rendimiento de capacidad caso estación Zhengzhou.
Fuente:(Huawei Technologies, 2014)
Elaborado por: Autor.

3.8.2. Nascar Venue

Situado en Phoenix, Estados Unidos, la empresa Qualcomm fue la encargada en brindar el despliegue. Tradicionalmente para este tipo de

eventos se utilizaba el método Cell-on-Wheel (COW, Celda en ruedas) que consistía en celdas transportables. La solución fue de desplegar sitio a sitio un total de 31 celdas pequeñas situadas a 21 metros cada una para suplir de mayor capacidad dentro del área de congestión y brindar mayor cobertura dentro de toda la zona.

En la figura 3.17 podemos observar el despliegue de las celdas pequeñas dentro de Nascar Venue.

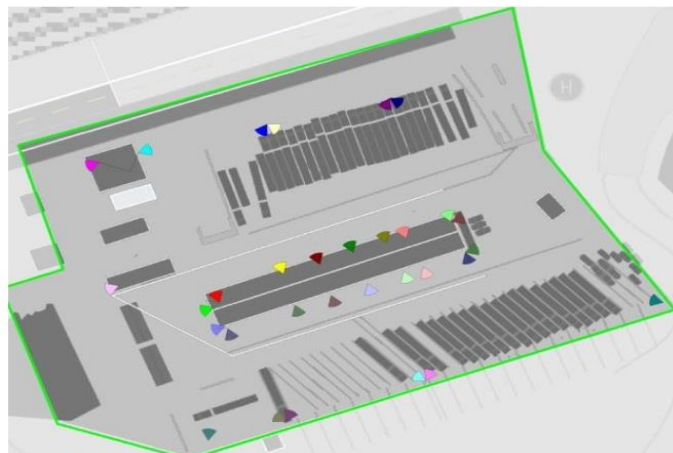


Figura 3. 17: Despliegue de celdas pequeñas en Nascar Venue.
Fuente:(Qualcomm Research, 2014)
Elaborado por: Autor.

En comparación a los métodos tradicionales, las celdas pequeñas lograron más allá de brindar capacidad para el sector con gran congestión durante el evento, sino también incrementar notablemente la capacidad de toda el área. En la figura 3.18 podemos observar la comparación de cobertura por parte de los métodos COW y celdas pequeñas.

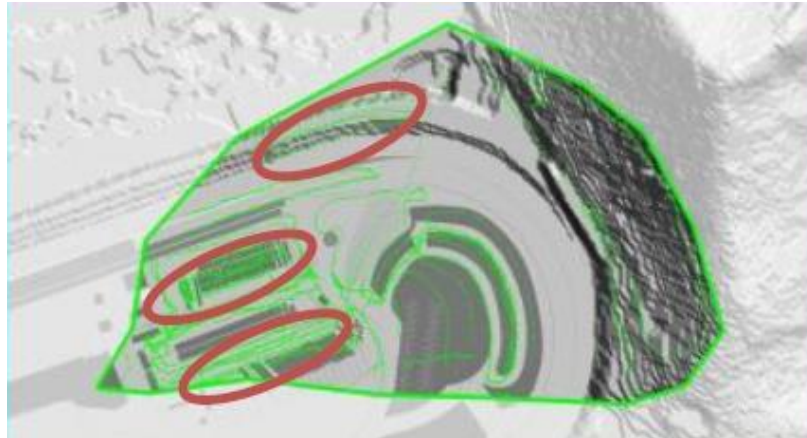


Figura 3. 18: Comparación de cobertura con COW y celdas pequeñas.
Fuente:(Qualcomm Research, 2014)
Elaborado por: Autor.

3.9. Estimación de los costos CAPEX (Capital Expenditure) y OPEX (Operating Expense) de implementación.

Para poder tener una visión de los costos que las operadoras móviles requieren para desplegar ya sean, macroceldas o celdas pequeñas, se presentarán los valores de CAPEX y OPEX respectivos para cada tipo, para su posterior comparación.

El CAPEX es el presupuesto que el operador de la red invierte para adquirir y desplegar nuevos equipamientos, adquisición de sitios y permisos. Por su parte el OPEX es el presupuesto que se requiere para poner en operación el sistema, así como también para darles el mantenimiento adecuado a los equipos, configuración, optimización, etc. Los CAPEX y OPEX son valores que se costean y evalúan anualmente (Bouras, Kokkinos, & Papazois, 2014).

A continuación, en la tabla 3.3 se analizarán los diferentes valores estimados para cada ejemplo de CAPEX y OPEX. Tomamos como referencia, el valor más elevado en el caso de las celdas pequeñas y una estimación de 50:50 para el backhaul y así, comparar los costos totales de implementación con respecto a la configuración tradicional de macrocelda que es tres sectores.

Tabla 3. 3: Cuadro comparativo de costos de macroceldas y celdas pequeñas.

	Macro-celda tres sectores LTE	Celda pequeña tres sectores LTE	Celda pequeña un sector LTE.
CAPEX			
Estación base (Celda)	\$27,500	\$7,000	\$3,500
Backhaul inalámbrico	\$7,500	\$3,500	\$2,500
Backhaul alámbrico	\$2,000	\$1,400	\$1,000
Planificación, instalación y comisionamiento	\$40,000	\$7,000	\$6,500
OPEX			
Arrendamiento de sitio (estación base)	\$15,000	\$1,440	\$1,200
Backhaul inalámbrico	\$6,000	\$1,980	\$1,800
Backhaul alámbrico	\$24,000	\$12,000	\$10,000
Energía, mantenimiento, etc.	\$10,000	\$1,640	\$1,250
Total	\$132,000	\$35,960	\$27,750

Fuente: (Paolini, 2012)
Elaborado por: Autor.

Como podemos observar en la tabla 3.3 los costos por macrocelda y celdas pequeñas en CAPEX y OPEX se ven diferenciados notablemente. La configuración tres sectores en las celdas pequeñas permiten el soporte para múltiples interfaces como, por ejemplo: LTE y 3G; para la configuración un

sector el único soporte es LTE. El costo por macrocelda estarían en los \$132,000 anuales, en cambio con la misma configuración, las celdas pequeñas tendrían un valor de \$35,960 respectivamente, lo que, para la configuración de una sola celda pequeña, el valor es de \$27,750 ligeramente bajo con respecto a tres sectores.

CAPÍTULO 4: CELDAS PEQUEÑAS Y LA CONVERGENCIA CON LTE-ADVANCED

En este capítulo se analizarán los beneficios que sobresalen de la convergencia de esta tecnología con la red móvil LTE-Advanced, basado en los estudios de los casos, escenarios de aplicación y la caracterización de las celdas pequeñas, así como los requerimientos necesarios para un funcionamiento óptimo.

4.1. El uso de las celdas pequeñas en la convergencia con las redes 4G.

Las redes 4G, en especial la LTE-Advanced es la tecnología que está en despliegue en diversos países actualmente, ya que supera a gran escala las redes móviles actuales como LTE. Las celdas pequeñas que forman parte de las HetNets, son una solución a considerar para que puedan realizarse sin ningún inconveniente porque al existir muchos más dispositivos conectados, las redes y en especial, las macroceldas, necesitarán de cobertura para poder abastecer dicha demanda y no tener dificultades con respecto a la congestión y saturación de las mismas.



Figura 4. 1: Convergencia de las celdas pequeñas y macroceldas en 4G.

Fuente: (Qualcomm, 2015)

Elaborado por: Autor.

4.2. Requerimientos para la convergencia de celdas pequeñas.

4.2.1. Sincronización en la red.

Se requiere una sincronización optimizada dentro de la red ya que, con el despliegue de celdas pequeñas, el número de nodos en operación crecerá. La administración y la autoconfiguración de dichos elementos se logra mediante el uso de la tecnología SON y CoMP. Dependiendo del número de celdas pequeñas que se implementen, éstas deben coordinar su comunicación por medio de la interfaz X2 de la red móvil para trabajar dentro de ella. La sincronización por parte del núcleo de la red está provista por la misma arquitectura de LTE-Advanced. Las arquitecturas de las celdas pequeñas al ser diseñadas dinámicamente para diferentes escenarios, permiten aún más la integración de las mismas con las macroceldas de la red móvil.

4.2.2. Cobertura de backhaul.

Uno de los requisitos esenciales para el funcionamiento correcto de las celdas pequeñas está ligado con el backhaul. Se necesita que las mismas tengan una buena conexión con el núcleo de la red para su operación. Se recomienda con respecto a los sitios de instalación de las celdas pequeñas, que éstas se sitúen de 3 a 6 metros sobre el nivel de calle para poder usar eficientemente las técnicas de LoS y NLoS.

La infraestructura que poseen las áreas donde se sitúan las macroceldas pueden compartirse para la red de transporte, servir de backhaul y conectar

las celdas pequeñas con el núcleo de la red. En estos casos, los mencionados sitios pueden ser asignados como puntos de agregación para soluciones de backhaul inalámbrico debido a que generalmente están bien situados y proveen de buena cobertura sobre el nivel de la calle. Para el caso de soluciones cableadas se hace el uso de las estructuras en las calles o en fachadas de los edificios. En dichos lugares, los puntos de agregación pueden ubicarse y, por ende, ser muy factibles.

4.3. Servicios de las celdas pequeñas en redes LTE-Advanced.

Con el uso de las celdas pequeñas se pueden generar nuevos servicios que junto con LTE-Advanced, por su mejora en conectividad, pueden servir tanto para automatizar una gran variedad de actividades como creando nuevos tipos de aplicaciones dependientes de los requerimientos de los usuarios o empresas. Así, las empresas dedicadas a la prestación de servicios verían nuevas oportunidades de crecimiento como modelo de negocios. A continuación, se analizan los escenarios donde las celdas pequeñas operan y se presentan diversos servicios que pueden surgir con el despliegue de las celdas pequeñas.

4.3.1. Residencial.

Dentro de la zona residencial, las femtoceldas al tener rangos pequeños pueden automatizar diversas acciones comunes dentro del hogar. Aunque no se puede descartar el traslado de los mismos servicios para escenarios más grandes.

Tabla 4. 1: Servicios en el sector residencial.

Tipo de servicio	Servicio
Números virtuales para hogares o pequeñas empresas	Los dueños de empresas u hogares podrán adquirir un número virtual que estará asociado a la celda pequeña para que distintas personas naturales puedan llamar y comunicarse con el hogar o la empresa. La red de la celda pequeña se encargará de encaminar la llamada hacia el usuario que esté dentro de la oficina u hogar, si no se contesta entraría el buzón de voz como cualquier otro servicio de llamada.
Recordatorios	Mensajes tipo alertas que notifican al usuario dentro de la celda pequeña como por ejemplo actividades pendientes o por realizar anteriormente programadas.
Vigilancia y monitoreo	Encendido y apagado de cámaras de seguridad, avisos de nuevos visitantes cuando ingresen a la red. Se alertaría con un mensaje identificando qué dispositivos nuevos están ingresando al hogar y consecuentemente a la red, con el fin de monitorear sus actividades.
Servicios multimedia en línea	Realizar compras de cualquier contenido multimedia cuando se encuentre fuera del rango de la celda pequeña por medio de internet. La operadora móvil efectuaría la compra, pero la mantendría en cola hasta que el usuario vuelva a entrar en rango con su celda pequeña, facilitando las compras sin necesidad de esperar a llegar al hogar.
Ahorro de energía	En la actualidad se busca mejorar considerablemente el consumo de energía, automatizar servicios comunes, por ejemplo, encender y apagar equipos, luces, aires acondicionados, etc. Automatizando las mencionadas actividades, se logra administrar el ahorro de energía dentro del hogar cuando el propietario o los usuarios de la red estén ausentes.

Elaborado por: Autor.

4.3.2. Empresarial.

En el sector empresarial, las opciones de servicios se enfocan en un mejor manejo tanto de los recursos que posee la empresa como en minimizar costos combinando servicios existentes dentro de la celda pequeña.

Tabla 4. 2: Servicios en el sector empresarial.

Tipo de servicio	Servicio
Recordatorios	Enfocado en el sector empresarial, las celdas pequeñas harían un reconocimiento de los empleados, por ejemplo: conocer a las personas que están dentro de la oficina. Ellos recibirían alertas, las cuales ayudarían a que el sujeto realice alguna actividad pendiente, como por ejemplo realizar labores específicas dentro del área o comunes como encendido y apagado de equipos.
PBX dentro de celdas pequeñas	Las empresas verían un ahorro significativo al integrar los servicios de PBX dentro de las celdas pequeñas con el fin de reducir el gasto de recursos, dejando de adquirir aquellos elementos para sustituirlos por los dispositivos móviles, ya que es el medio con el cual las personas se comunican frecuentemente y siempre están al alcance de ellos. Las redes de las operadoras móviles verían nuevas oportunidades de negocios generando dichos servicios.
Seguridad de los datos	Para aplicaciones en las que la información es muy valiosa e importante, las celdas pequeñas podrían administrar dicho contenido para que solamente pueda ser accedida cuando se esté en el sitio, mejorando la fidelidad y confiabilidad de los datos.

Elaborado por: Autor.

4.3.3. Acceso público y espacios abiertos.

En áreas públicas, los servicios pueden basarse puramente en proporcionar información para los usuarios, ya sea en zonas turísticas como

por ejemplo reconocimiento de lugares o ayuda y compras que podrían realizarse en la nube.

Tabla 4. 3: Servicios en espacios abiertos.

Tipo de servicios	Servicio
Compras basadas en la nube	Se pueden agilizar compras sin necesidad de hacer colas por medio de internet con servicios de membresías. Las celdas pequeñas se encargarían de registrar a los usuarios y los procesos de la compra.
Acceso VIP, programas de venta al por menor.	De igual manera con los servicios basados en la nube, se pueden realizar suscripciones donde los usuarios tengan beneficios, por ejemplo, cupones y ofertas específicas, dentro de centros comerciales y a su vez, servicios personalizados establecidos por las preferencias de los usuarios.
Puntos de interés	Los usuarios suscritos pueden hacer uso de información cuando se encuentren en lugares públicos, por ejemplo, zoológicos, museos etc.

Elaborado por: Autor.

4.4. Perfeccionamiento en los sistemas LTE-Advanced.

Con la convergencia de las celdas pequeñas, se logran optimizar diversas áreas dentro de la red móvil que se mencionarán a continuación.

- Mayor capacidad en la red: con el incremento de la cobertura, el acceso a la red para los usuarios se volverá mucho más ligero, ya que existiría mayor capacidad en los bordes de la celda. Tanto las macroceldas como las celdas pequeñas podrán operar eficientemente, manteniendo la conexión con los distintos usuarios cuando éstos se desplacen del rango, ya sea de macrocelda a celda pequeña o viceversa. Debido a la coordinación que existe entre ellas por medio de

las interfaces X2, no existiría interrupción, el dispositivo móvil navegaría regularmente además de brindar mejor conectividad, mejorando preclaramente la señal que el dispositivo recibe.

- Offloading mejorado: el uso de las celdas pequeñas, lograrán optimizar la descarga de tráfico de datos que sufra la macrocelda, debido a que la gran parte del mismo se produce en entornos interiores, las macroceldas podrán trabajar sin ningún inconveniente en exteriores, dejando a las celdas pequeñas en sitios más reducidos. Las femtoceldas y picoceldas en este caso, harían el proceso para poder así asistir a la macrocelda, por situarse dentro de su rango de cobertura en zonas dónde mayor congestión de tráfico ocurra.
- Mejor experiencia de usuario: la experiencia de usuario crecería con respecto al nivel de señal que reciba, al tener celdas pequeñas cerca, la conexión se realizaría hacia ellas y así se evita que el dispositivo intente conectarse a una macrocelda que se encuentre muy lejos de su rango óptimo. Los beneficios por parte del usuario se reflejarían en un rendimiento notable de la batería del dispositivo, al tener una buena conexión por parte de la celda pequeña, evitaría que el dispositivo gaste más recursos para poder engancharse a la red.

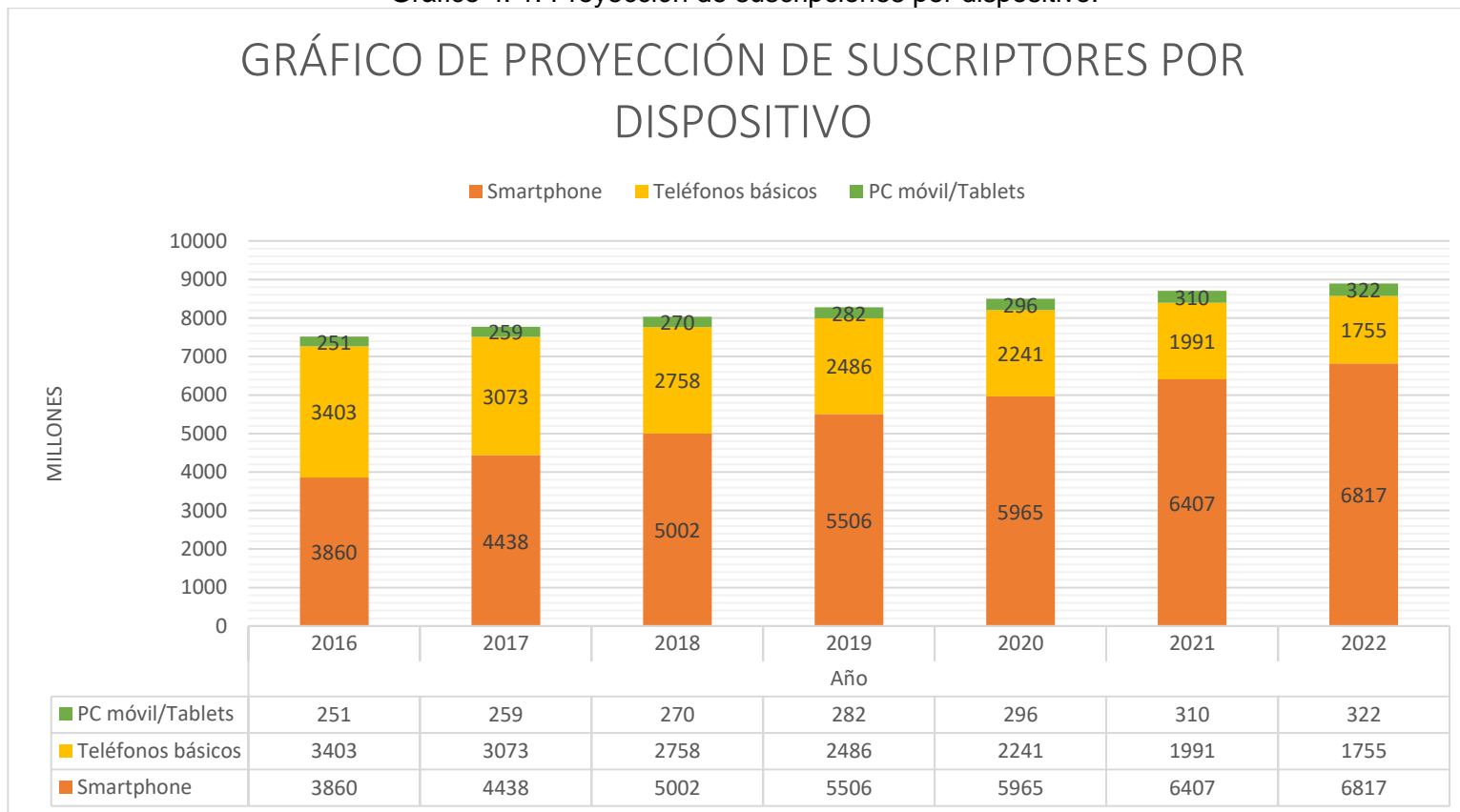
4.5. El desarrollo de las celdas pequeñas en las redes de nueva generación.

Utilizando los datos del último “Mobility Report” provisto por Ericsson, en el gráfico 4.1. Se puede observar las suscripciones móviles que crecerán

significativamente en un lapso de 6 años, sin el despliegue de las celdas pequeñas, las redes móviles no lograrían soportar dicha cantidad. Para el año 2022, los smartphones liderarán con la mayor cantidad de dispositivos, seguido de las tablets y PC's móviles.

Por otro lado, los teléfonos de legado, que no están dentro de la categoría 4G disminuirán notablemente, debido a que las necesidades y requerimientos de las nuevas tecnologías no satisfacen las especificaciones de los mismos. Analizando el gráfico, podemos afirmar que el porcentaje de smartphones para el año 2022 aumentará cerca de un 177%, con lo cual prueba que las redes móviles tendrán que depender de soluciones por medio de la integración de celdas pequeñas para el incremento de la capacidad de la red móvil.

Gráfico 4. 1: Proyección de suscripciones por dispositivo.



Elaborado por: Autor.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- Entre las diferentes alternativas para mejorar la capacidad de las redes móviles como la adquisición del espectro radioeléctrico y la división de celdas, las celdas pequeñas son las más elegidas por el bajo costo que implica la implementación de las mismas ya que minimiza los recursos que las operadoras móviles necesitarían gastar para optimizar sus redes.
- Las celdas pequeñas tienen una gran variedad de servicios que se generan, dependiendo del sector y del tipo de ellas que se vaya a utilizar. Las distintas aplicaciones ayudarán a la automatización y simplificación de las actividades que las personas realizan cotidianamente e impulsarán a empresas dedicadas a la prestación de servicios, para expandir sus campos de negocios.
- Con la integración de las celdas pequeñas, la red LTE-Advanced se ve optimizada más allá de las mejoras que dicha tecnología trae. Con sus avances en técnicas de conectividad y soporte para una mejor coexistencia entre las celdas pequeñas con las macroceldas, promoverán el desarrollo de ciudades más inteligentes y redes móviles completamente densas en donde no solamente la comunicación será entre smartphones, sino también con diferentes tecnologías, en vanguardia como Machine to Machine (M2M) que podrán operar sin

ningún tipo de congestión por medio de la expansión de cobertura y capacidad de las redes móviles.

- La implementación de las celdas pequeñas permitirá la expansión de la red móvil produciendo una mejor conectividad, cobertura y capacidad de la red; así, se cumplirán los objetivos precisos para la demanda que en los próximos años las operadoras móviles tendrán que afrontar, y también, formar la base para las futuras tecnologías de redes.
- El desarrollo de las celdas pequeñas a partir de LTE-Advanced, impulsará un mayor estudio de las mismas para que éstas formen parte de las redes de nueva generación como un pilar dentro de sus sistemas, permitiendo así, la solución temprana con respecto a la capacidad y la cobertura para las próximas tecnologías.

5.2. Recomendaciones.

- Promover la investigación de las nuevas técnicas de transmisión que se utilizarían en conjunto con las celdas pequeñas para las redes que están en desarrollo como la 5G.
- Estudiar el comportamiento que tienen las celdas pequeñas con las diversas tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y las HetNets completamente densas en las futuras redes móviles.
- Realizar un análisis del impacto económico que traería el despliegue de las celdas pequeñas como único elemento de la red móvil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3GPP. TR 36.913. (2008). Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) (LTE-Advanced) V. 8.0.0 Release 8. Recuperado a partir de http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/136900_136999/136913/08.00.01_60/tr_136913v080001p.pdf
- 3GPP. TR 36.913. (2011). Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) (LTE-Advanced) V.10.0.0 Release 10. Recuperado a partir de http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/136900_136999/136913/10.00.00_60/tr_136913v100000p.pdf
- 3GPP. TS 136.300. (2014). LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN). Recuperado a partir de http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136300/11.09.00_60/ts_136300v110900p.pdf
- 5G Americas. (2016). *LTE Deployment Status*. Recuperado a partir de http://www.5gamericas.org/files/4014/6956/6737/02_LTE_Latin_America_7.1.16.pdf
- Agusti, R., Álvarez, F., Casadevall, F., Ferrúz, R., Pérez, J., & Sallent, O. (2010). *LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles*. España: Fundación Vodafone España. Recuperado a partir de

http://catedraisdefe.etsit.upm.es/wp-content/uploads/2015/04/pre_ucm_mgmt_002620.pdf

Alliance. (2012). Small Cell BackHaul Requirements. Recuperado a partir de https://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_Whitepaper_Small_Cell_Backhaul_Requirements.pdf

Alvarez, D. (2014). *Diseño de una red 4G (Long Term Evolution)*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Recuperado a partir de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3771/1/04%20RED%20046%20Art%C3%ADculo%20Cient%C3%ADfico.pdf>

Apú, E. (2012). *Análisis de las tecnologías de Redes Heterogéneas (HetNet) en los sistemas móviles Estudio caso: Tecnología lightRadio™*. Universidad de Costa Rica. Recuperado a partir de http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb2012/pb2012_005.pdf

Bouras, C., Kokkinos, V., & Papazois, A. (2014). Financing and pricing small cells in next-generation mobile networks. En *International Conference on Wired/Wireless Internet Communications* (pp. 41–54). Springer. Recuperado a partir de http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-13174-0_4

Buddhikot, M., & Sori, R. (2013). *Small Cell Techonology Overview (and 3.5GHz Small Cell CBS Band)*. Recuperado a partir de <http://wireless.fcc.gov/workshop/OVERVIEW%20-%20Milind%20Buddhikot%20-%20Alcatel%20Lucent.pdf>

- Cell Splitting. (2009). Recuperado el 14 de febrero de 2017, a partir de <http://www.wirelessdictionary.com/Wireless-Dictionary-Cell-Splitting-Definition.html>
- Ericsson. (2016). *Ericsson Mobility Report: On the pulse of the networked society* (Ericsson Mobility Report). Recuperado a partir de <https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report/documents/2016/ericsson-mobility-report-november-2016.pdf>
- Ghosh, A., Ratasuk, R., Mondal, B., Mangalvedhe, N., & Thomas, T. (2010). LTE-advanced: Next-generation wireless broadband technology [Invited Paper]. *IEEE Wireless Communications*, 17(3). Recuperado a partir de <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5490974/>
- Guamán, P., & Peñafiel, A. (2014). *Análisis de la implementación de femtoceldas para mejorar la capacidad de un operador móvil*. Universidad Politecnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, Ecuador. Recuperado a partir de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8430/1/UPS-CT004938.pdf>
- Holma, H., & Toskala, A. (2009). *LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. John Wiley & Sons.
- Holma, H., & Toskala, A. (Eds.). (2012). *LTE-advanced: 3GPP solution for IMT-advanced*. Chichester, West Sussex, U.K. ; Hoboken, N.J: Wiley.
- Huawei Technologies. (2014). *Huawei Small Cell Solution*. Recuperado a partir de https://www.scribd.com/document_downloads/direct/234060853?exte

nsion=pdf&ft=1489275491<=1489279101&user_id=39536924&uahk
=dHcTDCN0TzDXtdcqj9+pAxOrtuU

Iyer, R., Zeto, J., Schneider, D., & Kurtz, L. (2012). *Small Cells, Big Challenge: A definitive guide to designing and deploying HetNets* (First Edition).

Ixia. Recuperado a partir de
<https://www.ixiacom.com/sites/default/files/resources/wireless/hetnets-small-cells-big-challenge-new.pdf>

Jacob, M. (2014). *Spectral Efficient Cell Selection and Resource Allocation for Small Cells in Heterogeneous Networks*. Korea Advanced Institute of Science and Technology.

Landström, S., Furuskär, A., Johansson, K., Falconetti, L., & Kronstedt, F. (2011). Heterogeneous networks—increasing cellular capacity. *The data boom: opportunities and challenges*, 4. Recuperado a partir de
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.422.5647&rep=rep1&type=pdf#page=4>

Meyer, D. (2016). AT&T network focused on spectrum, 5G, small cells; plans for IoT. Recuperado a partir de
<http://www.rcrwireless.com/20160513/carriers/at-plans-for-iot-tag2>

Mobile Europe. (2014). Small cells as a service “kickstarts” market, claims new report. Recuperado el 12 de marzo de 2017, a partir de
<http://www.mobileeurope.co.uk/press-wire/small-cells-as-a-service-kickstarts-market-claims-new-report>

Noordman, M. (2012). El Rol de las celdas pequeñas en las redes heterogéneas. Recuperado a partir de

https://www.ericsson.com/res/region_RLAM/press-release/2012-10-22-small-cell-es.pdf

Nuñez, J. (2013). *Diseño de una red de nueva generación LTE-A para una zona urbana en Bogotá bajo el estándar 3gpp y la recomendación ITU-R M.1457*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Recuperado a partir de <http://www.bdigital.unal.edu.co/11717/1/2300612.13.pdf>

Olivera, Y. (2016). *Estudio del Uso de las Redes Heterogéneas para expandir la cobertura y capacidad de las redes móviles*. Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara. Recuperado a partir de <http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/6839/Yadier%20Olivera%20Alonso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Paolini, M. (2012). *The economics of small cells and Wi-Fi offload*. Senza Fili Consulting. Recuperado a partir de http://www.senzafiliconsulting.com/Portals/0/docs/Reports/SenzaFili_SmallCellWiFiTCO.pdf

Poole, I. (s/f). What is SON? | Self Organizing Networks | Tutorial. Recuperado el 23 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/self-organising-networks-son/basics-tutorial.php>

Qualcomm. (2015). Qualcomm Small Cells Infographic. Recuperado a partir de <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/qualcomm-small-cells-infographic.pdf>

Qualcomm Research. (2014). *Hyper-Dense Small Cell Deployment Trial in Nascar Environment*. Qualcomm Technologies, Inc.

- Qulsar. (2017). Synchronizing HetNets for 4G LTE and beyond • Qulsar. Recuperado el 20 de febrero de 2017, a partir de http://qulsar.com/Applications/Telecom_and_Networks/HetNets.html
- Robson, J. (2012). Small cell deployment strategies and best practice backhaul. Cambridge Broadband Networks. Recuperado a partir de <http://cbtnl.com/sites/all/files/userfiles/files/Small%20cell%20deployment%20strategies%20and%20best%20practice%20backhaul.pdf>
- Saltos, F. (2016, septiembre 12). *Diseño de una red LTE usando espectros combinados AWS y 700 APT*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Recuperado a partir de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6400/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-143.pdf>
- Sesia, S., Toufik, I., & Baker, M. (2011). *LTE: The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice* (Segunda edición). John Wiley & Sons. Recuperado a partir de <http://www.cs.odu.edu/~rnagella/LTE-simulation/Wiley.LTE.The.UMTS.Long.Term.Evolution.From.Theory.to.Practice.2nd.Edition.0470660252.pdf>
- Small Cell Forum. (2013). Backhaul technologies for small cells; Use cases, requirements and solutions. Recuperado a partir de <http://scf.io/en/download.php?doc=049>
- Small Cell Forum. (2014a). Extending rural and remote coverage using small cells. Recuperado a partir de <http://scf.io/en/download.php?doc=047>
- Small Cell Forum. (2014b). Regularoty aspects of small cells. Recuperado a partir de <http://scf.io/en/download.php?doc=076>

Small Cell Forum. (2014c). Small cells, what's the big idea?

Small Cell Forum. (2014d). Urban small cell network architectures.

Recuperado a partir de <http://scf.io/en/download.php?doc=088>

Small Cell Forum. (2015). Rural and remote small cell network architectures.

Recuperado a partir de <http://scf.io/en/download.php?doc=153>

Wannstrom, J. (2013). LTE-Advanced. Recuperado el 5 de diciembre de 2016,

a partir de [http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-](http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced)

[lte-advanced](http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced)

Zaki, Y. (2012). *Future Mobile Communications: LTE Optimization and Mobile*

Network Virtualization. Recuperado a partir de

<http://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-658-00808-6.pdf>



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Astudillo Parra, Hugo Enrique** con C.C: # 0927744557 autor del Trabajo de Titulación: **ESTUDIO DEL USO DE LAS CELDAS PEQUEÑAS, SUS CARACTERÍSTICAS, ESCENARIOS DE APLICACIÓN Y LA CONVERGENCIA CON LA RED MÓVIL LTE-ADVANCED** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 16 de Marzo de 2017

f. _____

Nombre: Astudillo Parra, Hugo Enrique

C.C: 0927744557

REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	ESTUDIO DEL USO DE LAS CELDAS PEQUEÑAS, SUS CARACTERÍSTICAS, ESCENARIOS DE APLICACIÓN Y LA CONVERGENCIA CON LA RED MÓVIL LTE-ADVANCED		
AUTOR(ES)	ASTUDILLO PARRA, HUGO ENRIQUE		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. MONTENEGRO TAMAYO, MARCOS ENRIQUE		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	16 de Marzo de 2017	No. DE PÁGINAS:	96
ÁREAS TEMÁTICAS:	Redes inalámbricas, Telecomunicaciones, Comunicaciones inalámbricas.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Small cells, celdas pequeñas, redes heterogéneas, HetNets, LTE-Advanced, Red móvil, Cuarta generación, 4G.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>Las celdas pequeñas dentro de las redes heterogéneas (HetNets) son soluciones para mejorar el rendimiento de la capacidad y cobertura de las redes móviles a corto, mediano y largo plazo. Con la introducción de nuevas tecnologías como LTE-Advanced, las celdas pequeñas se ven beneficiadas porque tienen un amplio campo de desarrollo para las redes de nueva generación. La demanda de dispositivos que con el tiempo aumenta, requerirá de redes móviles más densas y con coberturas que logren abarcar y sostener dicha demanda, es aquí, donde las celdas pequeñas toman un papel protagónico. En el presente trabajo de titulación se realiza un estudio del uso de las celdas pequeñas por ser un pilar fundamental en las HetNets y las tecnologías que operan con ella, caracterizándolas y haciendo un énfasis en sus diferentes escenarios de aplicación; concluyendo con una convergencia de estas tecnologías para demostrar los beneficios dentro de las redes actuales que muchos países han adoptado como LTE-Advanced.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 042212976 +593-999587000	E-mail: hugoastudillo01@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-68366762		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			