



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y
VINCULACIÓN CON LA COLECTIVIDAD

MAESTRIA EN GERENCIA DE REDES Y
TELECOMUNICACIONES
IV PROMOCIÓN

TEMA: PLAN DE NEGOCIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE REDES
HETEROGÉNEAS (HETNET) EN LA CIUDAD DE QUITO PARA
PROVEEDORES DE EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES

AUTOR: ING. JOSE LUIS VACA PARRA

DIRECTOR: ING. PAUL BERNAL
CODIRECTOR: ING. ROMAN LARA

SANGOLQUÍ
2015

Certificación

Certificamos que el presente proyecto de grado titulado “Plan de negocio para la implementación de redes heterogéneas (HetNet) en la ciudad de Quito para proveedores de equipos de telecomunicaciones” ha sido desarrollado en su totalidad por el Señor JOSE LUIS VACA PARRA con cédula de identidad 060218870-8, bajo nuestra dirección.



**Ing. Paul Bernal Msc.
DIRECTOR DE TESIS**



**Ing. Román Lara
OPONENTE DE TESIS**

Declaración de responsabilidad

El presente proyecto titulado “Plan de negocio para la implementación de redes heterogéneas (HetNet) en la ciudad de Quito para proveedores de equipos de telecomunicaciones”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado el derecho intelectual de terceros considerándolos en citas a pie de página y como fuentes en el registro bibliográfico.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance del proyecto en mención.

Sangolquí, Abril del 2015




José Luis Vaca Parra

Autorización

Yo, Jose Luis Vaca Parra, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la publicación del presente trabajo titulado “Plan de negocio para la implementación de redes heterogéneas (HetNet) en la ciudad de Quito para proveedores de equipos de telecomunicaciones.” realizado como proyecto de grado del programa de maestría en Gerencia de Redes y telecomunicaciones IV Promoción cuyo contenido y criterio son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Abril del 2015.



José Luis Vaca Parra

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado a la comunidad que estudia, trabaja y opera el sector de telecomunicaciones en Ecuador, especialmente a todos mis compañeros y amigos de trabajo.

Agradecimiento

A Dios por todas las bendiciones recibidas.

A mi esposa Ruth por su comprensión y apoyo durante todo este proceso.

A mis Padres y hermanos por sus consejos y ejemplo.

Al equipo de tutorías presenciales de la dirección de Postgrados de la ESPE por la organización del taller y su soporte en todo el proceso.

A mi director MSC Paul Bernal por su invaluable apoyo.

Tabla de contenidos

Certificación.....	II
Declaración de responsabilidad.....	III
Autorización.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
Tabla de contenidos.....	VII
Índice de tablas.....	IX
Índice de gráficos.....	X
Resumen.....	XIII
Abstract.....	XIV
Lista de Acrónimos.....	XV
Capítulo I.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación e Importancia.....	2
1.3. Planteamiento del problema.....	3
1.4. Formulación del problema.....	4
1.5. Hipótesis.....	4
1.6. Objetivo General.....	5
1.7. Objetivos Específicos.....	5
Capítulo II.....	6
2.1. Antecedentes del Estado del Arte.....	6
2.2. Redes de Telecomunicaciones.....	11
2.3. Redes Homogéneas.....	14
2.4. Redes Heterogéneas.....	16
2.5. Elementos de una Red Heterogénea.....	19
2.6. Técnicas multi-radio.....	22
Capítulo III.....	25
3.1. De la eficiencia espectral a la eficiencia de las redes.....	25
3.2. Capacidad en redes móviles.....	27
3.2. Aspectos de Capacidad en sistemas GSM.....	28
3.3. Aspectos de Capacidad en sistemas UMTS.....	31
3.3.1. Capacidad de una sola celda.....	32
3.3.2. Capacidad con múltiples celdas.....	34
3.4. Shannon y las comunicaciones móviles.....	40
3.5. Desempeño de redes móviles en zonas de alta carga de usuarios en Quito.....	41
3.5.1. Evaluación Zona Universitaria.....	42

3.5.2. Evaluación zona financiera NN. UU.	48
3.6. Estrategias de Implementación de redes Heterogéneas.	52
3.7. Recursos de radio y gestión de interferencias en redes Heterogéneas.....	53
Capítulo IV.....	56
4.1. Marco conceptual Financiero	56
4.2. Modelamiento de costos para una red Heterogenia.....	56
4.3. Soluciones HetNet de Nokia Networks.....	64
4.3.1. Zona Flexi.....	64
4.3.2. Smart Wi-Fi.....	65
4.3.3. Femtoceldas	66
4.3.4. Estación Base Flexi Lite.....	66
4.4. Propuestas de valor agregado para la aplicación de HetNet.....	67
4.4.1. Expansión de cobertura	67
4.4.2. Incremento de capacidad.....	71
Capítulo V.....	73
5. Conclusiones y Recomendaciones	73
5.1. Conclusiones	73
5.2. Recomendaciones	74
Bibliografía.....	75

Índice de tablas

Capítulo II

Tabla 2.1. Proyección de la demanda de datos móviles e internet 2011-2016.	8
Tabla 2.2. Características de varios tipos de nodos en Redes Heterogéneas.	22

Capítulo III

Tabla 3.1. Trama TDMA en GSM.	29
Tabla 3.2. Tasas de información en canales de tráfico en GSM.	30
Tabla 3.3. Características de tecnologías de radio acceso.	41

Capítulo IV

Tabla 4.1. Parámetros generales de tipos Base y comparativa de costos.	62
Tabla 4.2. Mínimos de cobertura por tecnología.	68
Tabla 4.3. Detalle equipos Cel-FI.	69
Tabla 4.4. Niveles de señal RSCP con aplicación de HetNet.	69
Tabla 4.5. Niveles de señal Ec/Io con aplicación de HetNet.	70

Índice de gráficos

Capítulo II

Figura 2.1. Número de tabletas versus computadores y proyección hacia el 2017. .	6
Figura 2.2. Proyección de ventas globales de tabletas y teléfonos inteligentes.	7
Figura 2.3. Porcentaje de personas que han utilizado internet en los últimos 12 meses por área.....	8
Figura 2.4. Frecuencia de uso de Internet a nivel nacional.	9
Figura 2.5. Porcentaje de personas que tienen teléfono inteligente a nivel nacional.	9
Figura 2.6. Usuarios de Internet Fijo y Móvil - Marzo 2013	10
Figura 2.7. Usuarios de telefonía móvil en Ecuador.	10
Figura 2.8. Porcentaje de personas con teléfono celular activado por grupo de edad.	11
Figura 2.9. Estructura de una red de telecomunicaciones.....	11
Figura 2.10. Arquitectura UTRAN.	13
Figura 2.11. Redes Homogéneas.....	14
Figura 2.12. Redes Homogéneas desplegadas en zona centro norte de Quito.....	15
Figura 2.13. Combinación de WiFi y micro celdas con redes convencionales.....	16
Figura 2.14. Arquitectura de una red Heterogénea.	17
Figura 2.15. Arquitectura Multicapa.....	18
Figura 2.16. Configuración típica de una Red Heterogénea.....	20
Figura 2.17. Escenario Multi-RAT.....	23

Capítulo III

Figura 3.1. Evolución de las tecnologías inalámbricas.....	25
Figura 3.2. Acceso Múltiple en GSM.....	29
Figura 3.3. Mapeo canales físicos y lógicos en GSM.....	30
Figura 3.4. Acceso múltiple en UMTS.....	32
Figura 3.5. Modelado de la interferencia inter-celda.	35
Figura 3.6. Cálculo de la interferencia en el uplink.....	36
Figura 3.7. Software de geoposicionamiento de demanda de redes móviles.....	42
Figura 3.8. Despliegue de macroceldas en zona universitaria.	43

Figura 3.9. KPI de tráfico cursado por la macrocelda 3G de la zona universitaria..	43
Figura 3.10. KPI de tráfico cursado por la macrocelda 2G de la zona universitaria.	44
Figura 3.11. Usuarios HSPA en macrocelda 3G de la zona universitaria.....	44
Figura 3.12. RTWP en macrocelda 3G de la zona universitaria	45
Figura 3.13. Desempeño servicio de Voz en macrocelda 3G de la zona universitaria.	46
Figura 3.14. Desempeño HSDPA en macrocelda 3G de zona universitaria.	47
Figura 3.15. Tráfico cursado por horas en macrocelda 3G de la zona universitaria.	47
Figura 3.16. Usuarios y tráfico HSDPA en macrocelda 3G de la zona universitaria en semana 41 del 2013.	48
Figura 3.17. Despliegue de Macro estaciones en zona de la Av. Naciones Unidas.	49
Figura 3.18. KPI de tráfico cursado por una macro celda 3G de la zona financiera.....	49
Figura 3.19. Usuarios HSPA en macrocelda 3G de la zona financiera.	50
Figura 3.20. RTWP en macrocelda 3G de la zona financiera.....	50
Figura 3.21. Desempeño servicio de Voz en macrocelda 3G de la zona financiera.....	51
Figura 3.22. Desempeño HSDPA en macrocelda 3G de zona financiera.	51
Figura 3.22. Estrategias para implementación de HetNet.	52
Figura 3.23. Gestión de recursos de radio.	55

Capítulo IV

Figura 4.1. Combinación de una Macro estación con Micro (1) y Pico Estaciones (2).....	57
Figura 4.2. Carga de usuarios de la Celda en % vs. Trafico cursado por la celda..	58
Figura 4.3. Capacidad de red con combinación de celdas pequeñas.....	59
Figura 4.4. Elementos de la red de acceso considerados en el modelo de costo...	60
Figura 4.5. Costos por tipo de Estación Base incluidos CAPEX y OPEX.	63
Figura 4.6. Ejemplos de costo de infraestructura por usuario por mes en función del volumen de tráfico cursado para diferentes combinaciones de estaciones base y puntos de acceso.	63
Figura 4.7. Solución Nokia Zona Flexi.	65
Figura 4.8. Solución SMART Wi-Fi	66

Figura 4.9. Macro estaciones disponibles + planificadas y ubicación de cliente.....	69
Figura 4.10. Niveles de señal RSCP y EcIo registrados antes y después de la implementación de HetNet en las instalaciones del cliente corporativo.....	70
Figura 4.11. Distribución de antenas en edificio hotspot.	71
Figura 4.12. Incremento de usuarios y tráfico en zona con HetNet.	72

Resumen

Este trabajo presenta un análisis del comportamiento del mercado mundial y ecuatoriano en el uso de redes de comunicación móvil para mostrar el crecimiento de la demanda en los servicios de datos. Además se estudia la importancia del crecimiento de las redes para satisfacer esta demanda y se definen las limitaciones en el despliegue de nuevas estaciones con tecnologías tradicionales de radio acceso. Por ello se establece el concepto de redes heterogéneas (HetNet) y un análisis de las diferencias técnicas y operativas con respecto a las tecnologías tradicionales y se definen ventajas y limitaciones en el uso de este tipo de tecnología, luego se detallan las diferentes soluciones HetNet disponibles en el mercado con sus respectivas estrategias de aplicación y los costos asociados al despliegue de estas redes. Finalmente se estudia el costo versus beneficio de la aplicación de esta tecnología mostrando casos de éxito de expansión de cobertura en sitios donde no existía señal móvil y el incremento de capacidad y tráfico cursado en hasta 130%.

PALABRAS CLAVES:

- HETNET
- REDES HETEROGÉNEAS
- SISTEMAS CELULARES
- COMUNICACIONES MÓVILES
- REDES CELULARES

Abstract

This work presents an analysis about traffic of mobile communication networks in Ecuadorian and worldwide in order to show that the data services demand has grown. This study analyzes the increase of radio base stations in order to satisfy the traffic demand for mobile broadband services and the limitations in this rollout with traditional radio access technologies. It defines the heterogeneous networks conception used in radio access and it establishes differences between traditional networks, it defines advantages and limitations in the use of these technologies, finally it reviews some solutions named heterogeneous networks. Also it lists some HetNet solutions available in the market, strategies and recommendations for implementation and deployment, it reviews costs about networks growing, and it studies cost versus benefit between heterogeneous and traditional technologies. Finally it reviews some success cases with HetNet solutions in order to solve specific problems of mobile operations with low cost in order to increase capacity and traffic until 130%.

KEYWORDS:

- HETNET
- HETEROGENEOUS NETWORKS
- CELLULAR SYSTEMS
- MOBILE COMMUNICATIONS
- CELLULAR NETWORKS

Lista de Acrónimos

1G	Primera generación
2G	Segunda generación
3G	Tercera generación
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	Cuarta generación
AP	Punto de acceso (Access Point)
BS	Estación Base (Base Station)
BTS	Estación Base (Base Transceiver Station)
BAM	Banda ancha móvil
BAF	Banda ancha fija
CAPEX	Gastos de Capital (Capital Expenditure)
CDMA	Multiplexación por División de Código
CIR	Carrier-to-Interference Ratio
CRRM	Common Radio Resource Management
CS	Coding Scheme
CSG	Grupo de Suscriptor Abierto (Closed Subscriber Group)
CUN	Coeficiente de Utilidad Nominal
DAS	Sistema de Antenas Distribuidas
DBS	Digital Broadcasting System
DL	Enlace de Bajada (Downlink)
DS	Direct Sequence
DSA	Dynamic Spectrum Allocation
DS-CDMA	Direct-Sequence Code Division Multiple Access
DSCH	Downlink Shared CHannel
EDGE	Enhanced Data-rates for GSM/Global Evolution
eNB	eNodoB (Evolved NodeB)
ETSI	European Telecommunications Standardization Institute
FAP	Punto de Acceso por Femtocelda (Femtocell Access Point)
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access

FH	Frequency Hopping
FIFO	First-In First-Out
FL	Enlace Directo (Forward Link)
GERAN	GSM/EDGE Radio Access Network
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HeNB	Home eNodeB
HetNet	Red Heterogénea (Heterogeneous Network)
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HS-DSCH	High Speed Downlink Shared Channel
HSPA	High-Speed Packet Access
HTTP	HyperText Transfer Protocol
I+D	Investigación y Desarrollo
INR	Relación Interferencia/Ruido (Interference-to-Noise Ratio)
IP	Protocolo de Internet (Internet Protocol)
IR	Incremental Redundancy
ISO	International Standardization Organization
ITU	International Telecommunication Union
Kbps	Kilobits por segundo
LAN	Red de Área Local (Local Area Network)
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
Mbps	Megabits por segundo
MBS	Mobile Broadband Systems
Mcps	Megachip por segundo
MCS	Modulation and Coding Scheme
MIMO	Múltiple Entrada-Múltiple Salida
NB	Nodo B
NIR	Radiación No Ionizante (Non-Ionization Radiation)
OFDM	Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales
OFDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal

OPEX	Gastos de Funcionamiento (Operating Expense)
OSG	Grupo de Suscriptor Abierto (Open Subscriber Group)
PSK	Phase Shift Keying
PSTN	Red Telefónica Pública Conmutada
QoS	Calidad de Servicio (Quality of Service)
RA	Radio Access
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RF	Radiofrecuencia
RL	Enlace Inverso (Reverse Link)
RLC	Radio Link Control
RNC	Controlador de la Red Radio (Radio Network Controller)
RRM	Radio Resource Management
SINR	Relación Señal/Interferencia-Ruido
SIR	Signal-to-Interference Ratio
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SNS	Sequence Number Space
SOHO	Small Office Home Office
TCP	Transmission Control Protocol
TD-CDMA	Time Division - Code Division Multiple Access
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TD-SCDMA	Time Division - Synchronous Code Division Multiple Access
UBET	Utility Based on Expected Throughput
UBReQoS	Utility Based on Required Quality of Service
UE	Terminal de un usuario (User Equipment)
UFR	Sistema Universal de Reutilización de Frecuencia
UL	Enlace de Subida (Uplink)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	Red de Acceso Radio Terrestre UMTS
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network

Capítulo I

1.1. Introducción

La creciente popularidad de los servicios de internet móvil y la escasez del espectro electromagnético plantea grandes desafíos para los proveedores de equipos y servicios de telecomunicaciones móviles para soportar la alta demanda de datos móviles de los usuarios, los operadores continuamente despliegan más celdas y el espectro se reutiliza cada vez más y en la práctica se necesitan cada vez más estaciones base cerca de los usuarios para cubrir las demandas de capacidad generadas por los mismos, sin embargo, un denso despliegue celular puede llegar a ser muy costoso en redes macro celulares y la implementación de un acceso barato para puntos de específicos de alta concentración de usuarios parece ser un mejor enfoque. La combinación entre macroceldas con picoceldas, puntos de acceso o femtoceldas da lugar al concepto de redes heterogéneas, también conocidas como HetNet.

Bajo este marco de desarrollo la aplicación de nuevas técnicas de radio acceso diseñadas para distribuir el tráfico de una red de radio heterogénea entre las diversas alternativas de radioacceso disponibles pueden permitir ventajas competitivas a las empresas operadoras de servicios móviles, brindando al usuario mayor experiencia y mejorando su percepción de calidad en el servicio. El objetivo de este trabajo es realizar un modelo de negocio para la implementación de estas redes heterogéneas que permitan proveer una eficiente distribución del tráfico especialmente datos de alta velocidad y permitan mejorar cobertura, calidad y satisfacer los requisitos de los usuarios en su demandas de tráfico garantizando al mismo tiempo un aprovechamiento óptimo de los recursos económicos y de espectro.

1.2. Justificación e Importancia

Hoy más que nunca, el medio cambia con vertiginosa rapidez. Factores como la economía, la tecnología, las leyes, la distribución de la población y la cultura que prevalecen en cada país están en constante evolución, debido tanto a la investigación y desarrollo de productos y servicios, como al intercambio comercial y cultural que se da hoy en día entre todos los países del mundo. La globalización de los mercados y los avances en la comunicación moderna hacen a los habitantes de nuestro planeta más sensibles ante una infinidad de productos y servicios que de otra manera no conocerían. En este mundo de intercambio de información la comunicación es fundamental para el entorno no solo personal, sino también empresarial o corporativo, creando una demanda cada vez más creciente del flujo de información que se requiere y se necesita enviar y para ello son importantes el desarrollo también de los medios y empresas de telecomunicaciones.

Las nuevas generaciones de terminales y la aparición de cada vez más variadas aplicaciones móviles incentiva a la industria de las telecomunicaciones a la explotación comercial de las redes de datos de gran velocidad. Como resultado de esta tendencia en los últimos años se registra un crecimiento exponencial y sostenible del tráfico de datos que las redes móviles cursan poniendo en evidencia las deficiencias en cuanto a satisfacción del servicio y falta de disponibilidad en el espectro asignado a cada operador por considerarse un recurso limitado. En países como Ecuador, la banda ancha móvil se está desarrollando más rápido que la banda ancha fija, sin embargo con las tecnologías actuales de radio acceso tienen grandes limitaciones teóricas en capacidad por las limitaciones espectrales. De acuerdo a un reporte de GSMA Latinoamérica (organización de operadores móviles y compañías relacionadas) Ecuador es el país con menos espectro asignado a servicios móviles en la región por lo que recomendó un “plan claro de licenciamiento de espectro que otorgue previsibilidad para promover inversiones que desarrollen la banda ancha móvil”.

Las empresas operadoras y a la comunidad investigadora buscan cada vez nuevas soluciones que permitan ofrecer a los usuarios de los servicios de telecomunicaciones mayores experiencias de interconexión con lo cual se mejora el rendimiento económico del negocio. El presente proyecto tiene por objetivo realizar un modelo de negocio para la aplicación de estas nuevas tecnologías denominadas HetNet las cuales presentan ventajas para una eficiente distribución de tráfico de alta velocidad en las redes móviles que mejoran la percepción del servicio en los usuarios, la optimización del espectro radioeléctrico y los costes de inversión (CAPEX) y operación (OPEX) de las empresas de telecomunicaciones. También se analizarán las estrategias que los proveedores de telecomunicaciones deben considerar para el despliegue de las mismas.

1.3. Planteamiento del problema

En sitios con alta concentración de usuarios de telefonía y datos móviles como: escenarios deportivos, culturales, edificios empresariales, centros de estudios, entre otros se presentan problemas de capacidad y cobertura en los servicios de comunicaciones móviles: calidad de las llamadas de voz, establecimiento de datos, bajas velocidades de navegación, esto impacta de manera negativa en la percepción que el usuario tiene del servicio de telecomunicaciones. Esto se da por el crecimiento exponencial del tráfico que cursan las redes de las operadoras de telefonía móvil, lo cual desborda las capacidades ofrecidas con las tecnologías tradicionales debido al limitado espectro radioeléctrico, los altos costos de inversión para la expansión de las redes y el difícil despliegue de macro celdas.

La situación actual del negocio motiva a la industria de las comunicaciones móviles a buscar nuevas tendencias tecnológicas y actualmente los proveedores de telecomunicaciones cuentan en sus portafolios con soluciones innovadoras denominadas redes heterogéneas (HetNet). Dentro de estas

soluciones se tienen productos como: femtoceldas, picoceldas, smart WiFi, sistemas distribuidos, entre otros; que son alternativas para distribución de tráfico en las redes móviles, sin embargo ¿cómo y de qué manera estas soluciones ayudan a las empresas a mejorar los niveles de servicio e incrementar la percepción de calidad al usuario? y ¿cuál es el impacto financiero para los operadores? Estas dudas y varias más pueden surgir al referirse a este tema, por lo que es necesario establecer modelo de negocio que permita la implementación de estas soluciones brindando cadenas de valor a los productos y soluciones a las necesidades actuales de los operadores de telecomunicaciones y sobre todo solventando la necesidades en los usuarios de estos servicios.

1.4. Formulación del problema

¿Cuáles son las limitantes con las tecnologías actuales de comunicación móvil?

¿Cuál es la propuesta de valor de las HetNet? ¿Cuál es la razón de que los operadores compren estas soluciones?

¿La implementación de soluciones HetNet mejora la calidad de servicio (cobertura y capacidad) en el usuario de telefonía móvil?

¿Cuáles son los costos más importantes, qué recursos y actividades claves son más costosos en la implementación de Hetet?

1.5. Hipótesis

La estrategia para vender e implementar redes heterogéneas (HetNet) a operadores de telefonía móvil es demostrar que estas soluciones distribuyen el alto tráfico generado en zonas de alta concentración de usuarios, mejorando la experiencia de usuario y los niveles de calidad de red y como consecuencia mayor eficiencia en la explotación comercial de las redes de telecomunicaciones.

1.6. Objetivo General

Desarrollar un plan de negocio para la implementación de redes heterogéneas (HetNet) en la ciudad de Quito para los proveedores de equipos y servicios de telecomunicaciones.

1.7. Objetivos Específicos

Analizar la situación actual de los servicios de telefonía y datos móviles en sitios de alta concentración de usuarios y gran demanda de servicios como son las zonas del Girón (Zona universitaria) y la zona de Amazonas y Naciones Unidas (Zona financiera) de la ciudad de Quito.

Evaluar las ofertas tecnológicas consideradas como redes heterogéneas (NetNet).

Crear una propuesta de valor para la implementación de redes heterogéneas (HetNet), en sitios de gran concentración de usuarios y alta demanda como son las zonas del Girón (Zona Universitaria) y la zona de Amazonas y Naciones Unidas (Zona financiera) de la ciudad de Quito.

Analizar los costos de implementación de redes heterogéneas en las operadoras de telefonía móvil.

Capítulo II

2.1. Antecedentes del Estado del Arte

El tráfico de datos ha crecido rápidamente en los últimos años y esta tendencia va a continuar ya que las aplicaciones actuales se multiplican y demandan cada vez mayores tasas de transferencia de información, esto hace que las cifras de tráfico globales registradas por los operadores del mercado se multiplican cada año. Este crecimiento de tráfico es impulsado por nuevos servicios y aplicaciones que ofrece internet lo cual incrementa las expectativas del usuario en cuanto a “velocidad de transmisión” y “conectividad”. Los avances en la electrónica con la miniaturización de componentes, la gran capacidad de almacenamiento y mejoras en el almacenamiento de energía han permitido la aparición de terminales móviles los cuales se han fusionado al concepto de teléfonos móviles dando lugar a los denominados teléfonos inteligentes o *Smartphones* junto con las tabletas o *Tablets* que por sus características están llegando incluso a sustituir el uso de los computadores personales en varios usuarios.

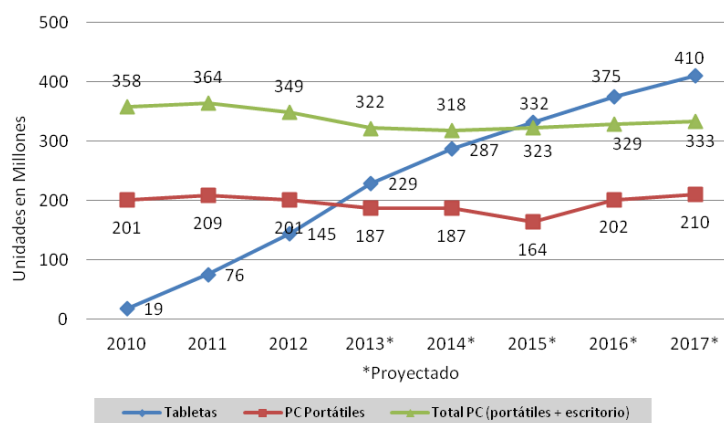


Figura 2.1. Número de tabletas versus computadores y proyección hacia el 2017.

La figura 2.1. muestra el número de tabletas versus al número de

computadores a nivel mundial en una proyección hacia el año 2017 basada en una investigación de *International Data Corporation (IDC)* denominada *Worldwide Tablet Tracker* realizada el 28 de Mayo del 2013.

Ahora los terminales móviles no solo se limitan a simples teléfonos que hacen llamadas de voz sino que se han convertido en pequeños computadores que envían y reciben correos electrónicos, fotos, música, imágenes y videos. Esta idea de conectividad móvil incrementa el tráfico cursado por las redes móviles tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente y ahora la banda ancha móvil (BAM) compite con la oferta ofrecida por la banda ancha fija (BAF). En la figura 2.2 a continuación se observa las ventas de dispositivos móviles tabletas y teléfonos inteligentes con una proyección hacia el año 2016 tomados de un estudio del IDC y basados en estrategias analíticas y proyección en ventas de las compañías.

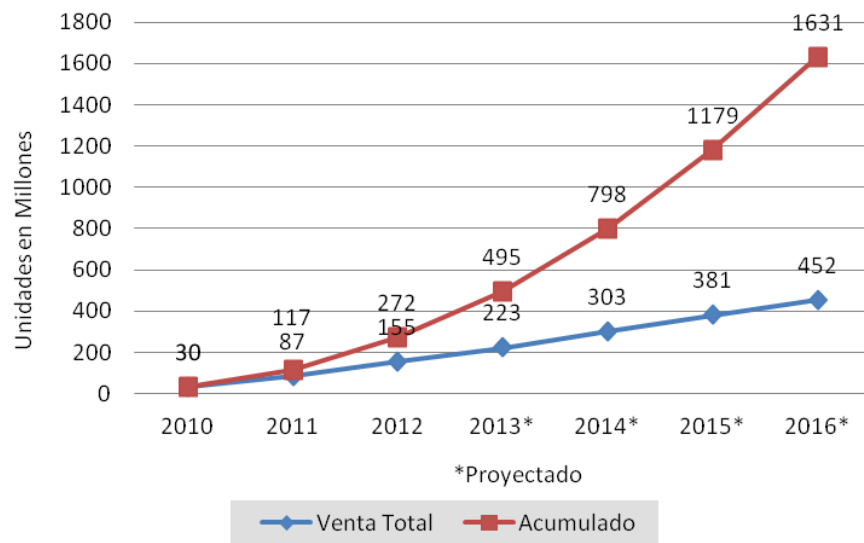


Figura 2.2. Proyección de ventas globales de tabletas y teléfonos inteligentes.

Algunas proyecciones indican que el tráfico de datos móviles crecerá 26 veces entre el 2010 y 2015. En la tabla 2.1. a continuación se muestra una proyección de la demanda de tráfico de datos móviles como: mensajes de texto multimedia y servicios de video para el año 2016 elaborada por Cisco Networks:

Tabla 2.1.

Proyección de la demanda de datos móviles e internet 2011-2016.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Proyección 2011-2016
Por área geográfica (PB por Mes)							
América del Norte	119	259	493	844	1305	1964	75%
Europa Oeste	180	366	684	1161	1705	2438	68%
Asia Pacífico	206	438	832	1503	2614	4323	84%
América Latina	40	77	146	267	455	738	79%
Europa Central y del Este	34	68	134	253	439	706	83%
Medio Oriente y África	18	45	91	187	378	635	104%
Total (PB por Mes)	597	1252	2379	4215	6896	10804	78%
Datos Móviles e Internet							

Ecuador no es la excepción en esta tendencia de conectividad, según la encuesta nacional de empleo, desempleo y subempleo (ENEMDU 2010-2013) realizada por el instituto ecuatoriano de estadísticas y censos (INEC), el 40,4% de la población de Ecuador ha utilizado Internet en los últimos 12 meses. En el área urbana el 47,6% de la población ha utilizado internet, frente al 25,3% del área rural tal como se muestra en la figura 2.3.

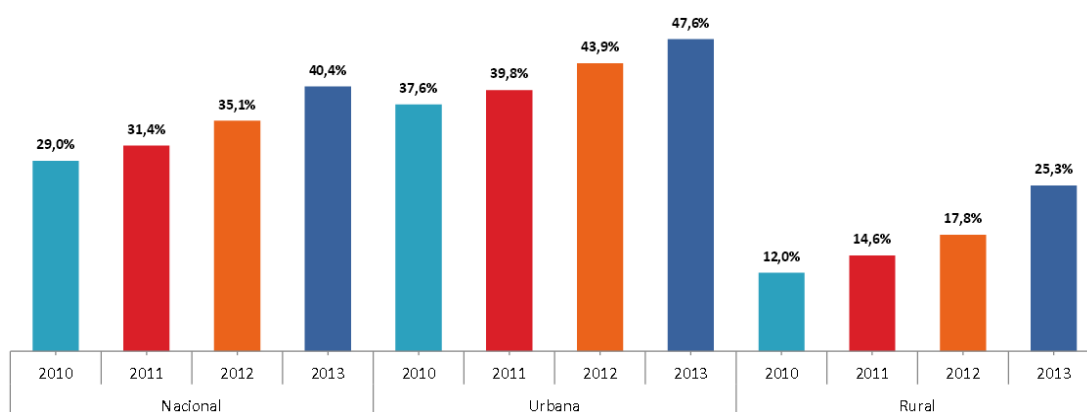


Figura 2.3. Porcentaje de personas que han utilizado internet en los últimos 12 meses por área

Esta misma encuesta muestra que cada vez la tendencia de uso de internet es mayor, el porcentaje de personas que en los últimos 12 meses han usado Internet distribuidos por grupos de edad como se muestra en la figura 2.4.

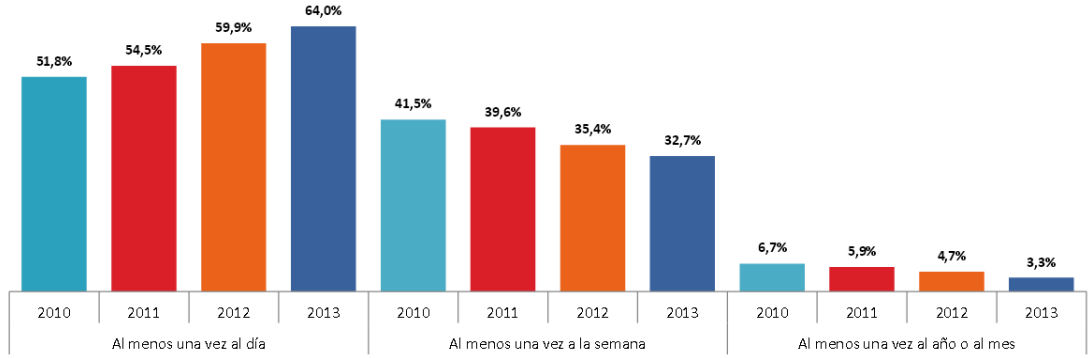


Figura 2.4. Frecuencia de uso de Internet a nivel nacional.

Sin embargo el acceso a internet en gran medida también se da a través de las terminales móviles como servicio complementario a la voz y fue por este motivo por el cual se cambió la terminología a las operadoras de telefonía móvil a sistemas avanzados de telecomunicaciones. La figura 2.5 muestra que el 16,9% de las personas que posee un celular tiene un teléfono inteligente (*smartphone*), frente al 8,4% del 2011, es decir 8,5 puntos más y la tendencia es creciente.

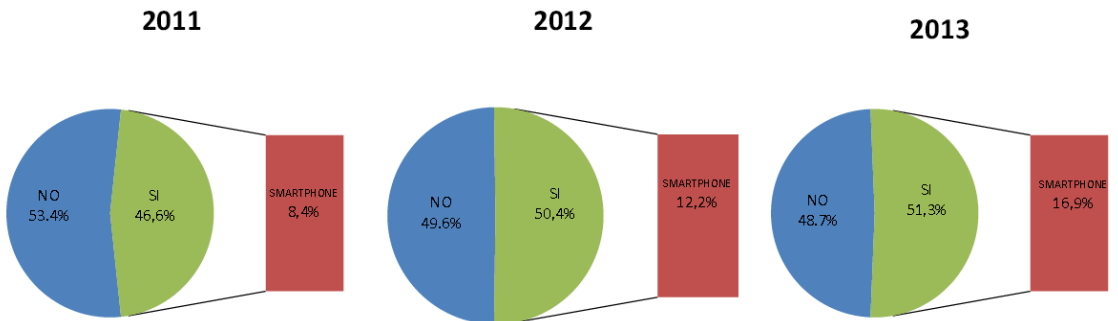


Figura 2.5. Porcentaje de personas que tienen teléfono inteligente a nivel nacional.

En la figura 2.6 se muestra en porcentaje de número de usuarios de internet fijo versus internet móvil a Marzo del 2013 de acuerdo a las estadísticas proporcionadas por la superintendencia de telecomunicaciones de Ecuador - SUPATEL.

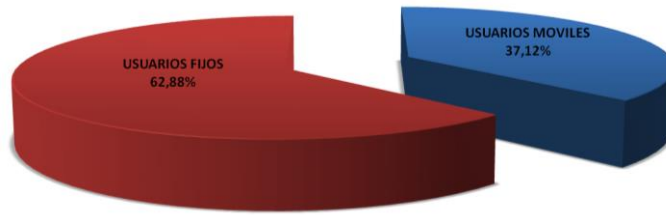


Figura 2.6. Usuarios de Internet Fijo y Móvil - Marzo 2013

El crecimiento de usuarios móviles en el Ecuador también tiene una tendencia creciente. En la figura 2.7 se puede observar el número de usuarios reportados para las 3 operadoras del país según la SUPERTEL en su informe de Julio del 2013.

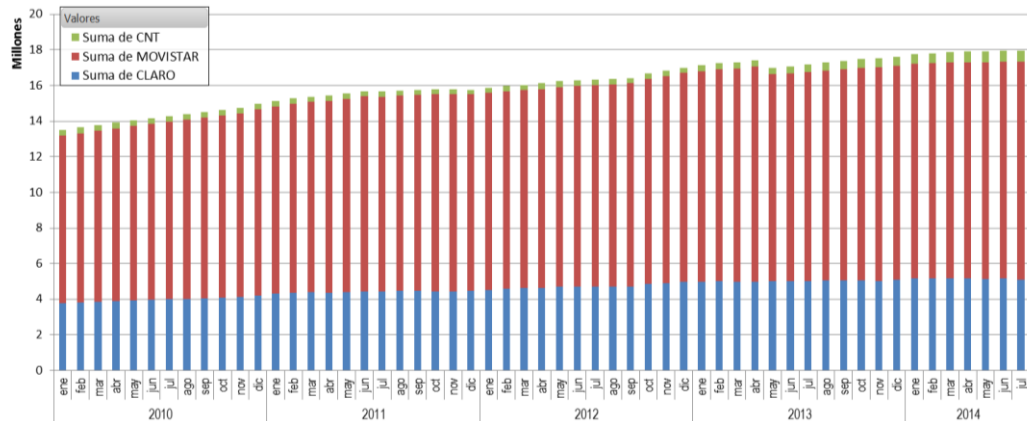


Figura 2.7. Usuarios de telefonía móvil en Ecuador.

Según la encuesta ENEMDU 2010-2013 del INEC el grupo etario con mayor uso de teléfono celular activado es la población que se encuentra entre 25 y 34 años con el 76,5%, seguido de los de 35 a 44 años con el 76,0%, como se muestra en la figura 2.8.

Sin embargo al tratarse de redes de acceso inalámbrico la calidad del servicio y la tasa de transferencia de datos en la banda ancha móvil para cada abonado puede variar mucho en función de la zona geográfica, tipo de terminal, tipo de perfil del plan del abonado y otras variables características de los sistemas de comunicación móvil. La industria móvil, por lo tanto, tiene que estar preparada para soportar la demanda de volumen de tráfico afrontando los

desafíos que presentan las redes de acceso inalámbrico como la eficiencia espectral y los costes asociados a las redes.

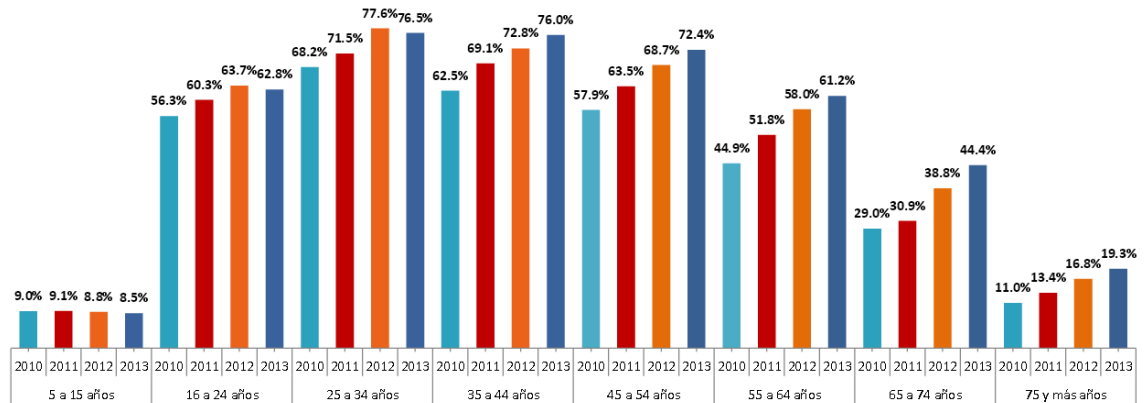


Figura 2.8. Porcentaje de personas con teléfono celular activado por grupo de edad.

2.2. Redes de Telecomunicaciones

A las redes de telecomunicaciones se las puede dividir en tres grandes grupos: el núcleo de red o *core network*, la red de transporte y la red de acceso. En la figura 2.9 a continuación se muestra la división fundamental de una red de telecomunicaciones.

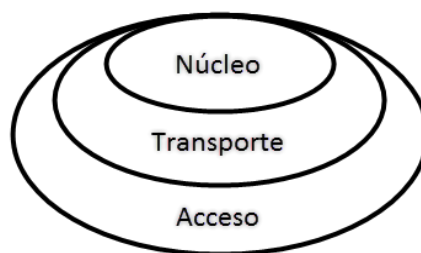


Figura 2.9. Estructura de una red de telecomunicaciones.

El núcleo de red o *core network*, son los equipos o centrales que manejan el tráfico de voz, datos y que interconectan las redes hacia otras redes públicas de telecomunicaciones. En redes móviles como GSM/WCDMA se tienen equipos como: HLR, MSS, MWG, SGSN y en redes LTE equipos como: MME y S-GW.

La red de transporte lleva la información generada en las radio bases y transporta la información generada por los equipos terminales hacia el núcleo de red a través de diferentes tecnologías: SDH, ATM, IP, Frame Relay, etc.

Las redes de acceso constituyen un elemento clave de la cadena de valor de la industria de telecomunicaciones, tanto por su influencia sobre la oferta y calidad de los servicios como por la importancia que adquieren en los mercados por su constante desarrollo. La red de acceso puede ser inalámbrica o pueden emplear cable, lo cual sin duda define a la red de telecomunicaciones y le otorga características fundamentales. En las redes de comunicación móvil esto se conoce como redes de radio acceso RANs (*Radio Access Networks*) por sus siglas en inglés y porque utilizan el espacio libre para la propagación de señales electromagnéticas. En el acceso inalámbrico se han desarrollado varias tecnologías conocidas como RATs (*Radio Access Technologies*) tales como: GRAN, GERAN, UTRAN, E-UTRAN que están relacionadas con las diferentes generaciones móviles y estándares establecidos por normas 3GPP como: GSM, UMTS o LTE.

En la figura 2.10 se muestra la arquitectura de la red UTRAN, en la cual el acceso al núcleo de red de UMTS se realiza vía radio, a través de una serie de elementos de red interconectados entre sí y con el núcleo de red mediante varios interfaces. La interfaz Uu se encuentra entre el equipo de usuario UE (*User Equipment*) y la red UTRAN, y entre la red UTRAN y la red central CN (*Core Network*) se encuentra el interfaz Iu. El interfaz Iu CS hacia el núcleo de Voz y el interfaz Iu PS hacia el núcleo de datos.

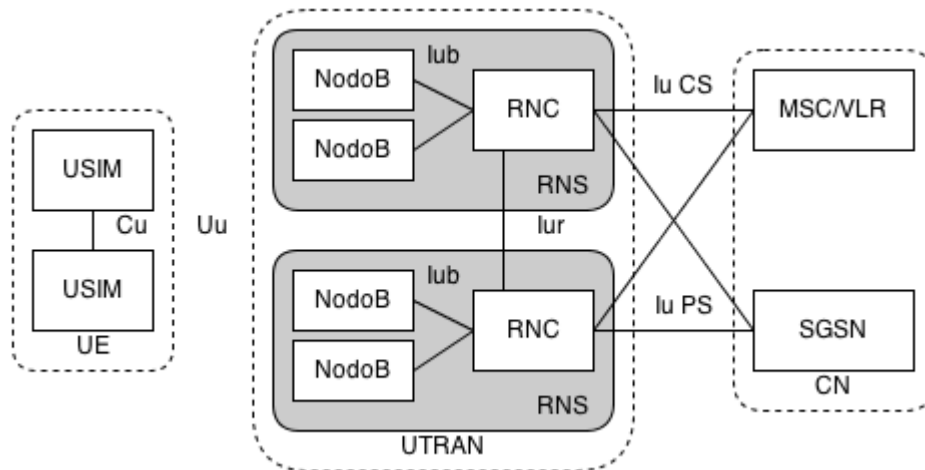


Figura 2.10. Arquitectura UTRAN.

La red UTRAN consiste de varios elementos, entre los que se encuentran las RNC (*Radio Network Controller*) que se encargan de controlar la red de acceso de radio y Nodo B. Ambos elementos en conjunto forman el RNS (*Radio Network Subsystem*). Las interfaces internas de UTRAN incluyen la interfaz lub la cual se encuentra entre el Nodo B y el RNC y la interfaz lur que conecta a los RNC entre sí.

Los proveedores de servicios de telecomunicaciones cuentan con varias soluciones de estas tecnologías de radio acceso RATs desplegadas y en operación por lo que los retos futuros de los sistemas de comunicaciones móviles consistirán en la integración y gestión conjunta de estas diversas tecnologías de radio acceso. Esta tendencia en proveedores y operadores de simplificar la variedad de tipos de redes dan paso a conceptos como “single RAN” y a soluciones en equipos conocidas como multiradios que combinan las diferentes tecnologías ya mencionadas. Por ejemplo *Nokia Networks* ofrece en su portafolio la línea “*Flexi multiradio*” el cual ofrece equipos para macro estaciones celulares compactos y modulares con capacidad de utilizar tecnologías GSM, WCDMA o LTE con simplemente cambiar tarjetas, de igual manera se oferta controladoras que administren estas estaciones base y conmuten de tecnología con simplemente actualizar su software.

2.3. Redes Homogéneas

Las actuales redes móviles de telecomunicaciones son normalmente desplegadas como redes homogéneas usando un proceso de planeación de la ubicación de las macro estaciones base. Un sistema celular homogéneo es una red de estaciones bases basado en un diseño planificado en el cual se realiza una proyección de la cobertura y que permiten el acceso distribuido de los usuarios terminales (UE), en el cual todas las estaciones base tienen similares niveles de potencia de transmisión, patrones de cobertura en las antenas, piso de ruido y similar conectividad hacia el núcleo de red a través su red de transporte. En la figura 2.11 se observa un sistema homogéneo.

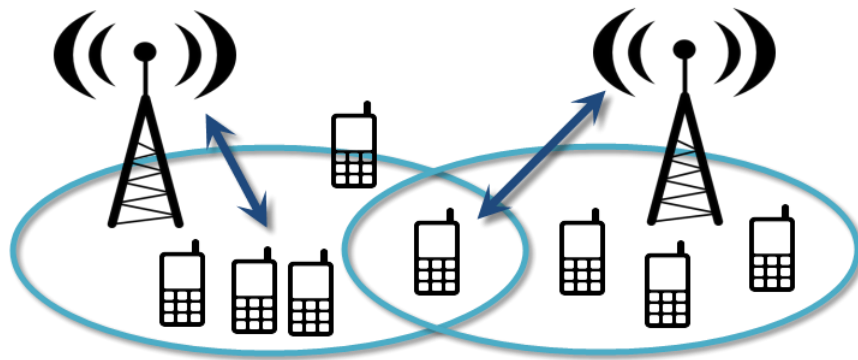


Figura 2.11. Redes Homogéneas.

En otras palabras todas las estaciones base ofrecen acceso sin restricción de los equipos terminales hacia la red y sirven aproximadamente a un mismo número de usuarios, todas las estaciones transportan similar flujo de datos con similares requerimientos de calidad (QoS). La ubicación de las macro estaciones bases son cuidadosamente definidos mediante una planeación de red y las estaciones son configuradas para maximizar la cobertura, la calidad y el control de la interferencia entre las estaciones base. En la figura 2.12 a continuación se detalla la distribución de las macro estaciones celulares de la red WCDMA en la zona bancaria de Quito de uno de los operadores de telefonía móvil en Ecuador.

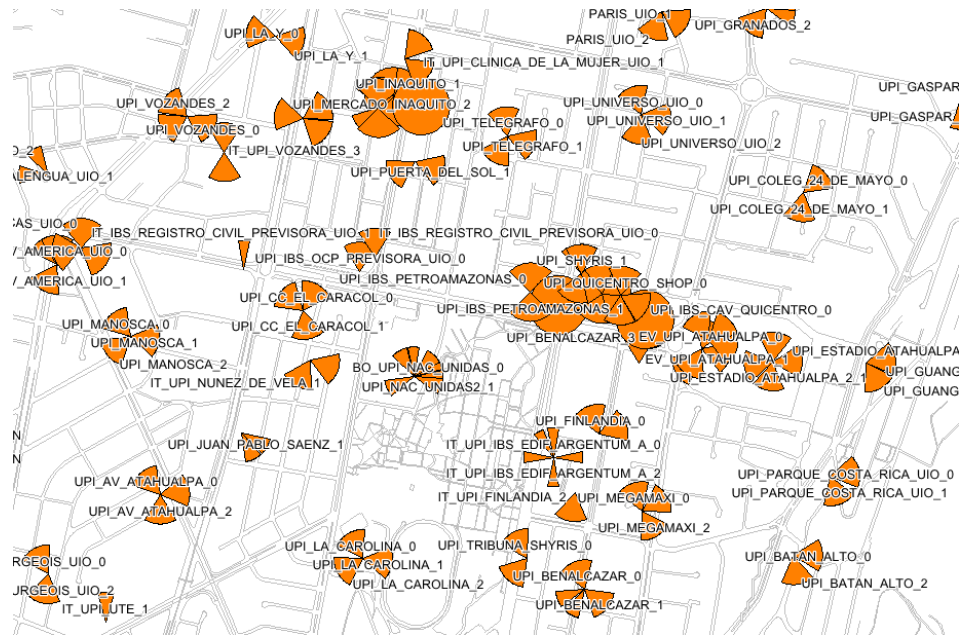


Figura 2.12. Redes Homogéneas desplegadas en zona centro norte de Quito.

Quando existe un crecimiento de tráfico se demanda más recursos hacia las macro estaciones base y el ambiente de radio RF (*Radio Frequency*) también cambia, las redes dependen de una división de sus estaciones o es necesario más portadoras para soportar la capacidad requerida por el mayor requerimiento de los canales de enlaces compartidos para mantener una experiencia de usuario uniforme. No obstante en la operación de las redes este proceso puede resultar muy complejo y muy común. Además los procesos de adquisición de nuevos sitios para el despliegue de macro estaciones base con torres o alguna adecuación de infraestructura en terrazas se convierten más difíciles en zonas densamente urbanas.

Los sistemas celulares homogéneos han evolucionado hasta el punto que están alcanzando los límites de capacidad teórico en cuanto a eficiencia espectral. Los futuros avances y desarrollos en las redes inalámbricas estarán relacionados con topologías más complejas, y la tendencia es ofrecer la red más cerca a los usuarios. Un modelo de despliegue más flexible es necesario para que los operadores puedan mejorar la experiencia de banda ancha hacia el usuario dentro de un plan de costo efectivo y beneficioso para el negocio de los operadores.

2.4. Redes Heterogéneas

Las redes heterogéneas HetNet, utilizan un conjunto de diversas soluciones de estaciones base, las cuales se pueden implementar para mejorar la eficiencia espectral en determinadas áreas geográficas. En la figura 2.13 se puede apreciar una red en la cual se combina una macro estación celular con soluciones heterogéneas como Sistemas distribuidos DAS (*Distributed Antenna System*), Micro y pico estaciones celulares, Femto celdas y redes WiFi.

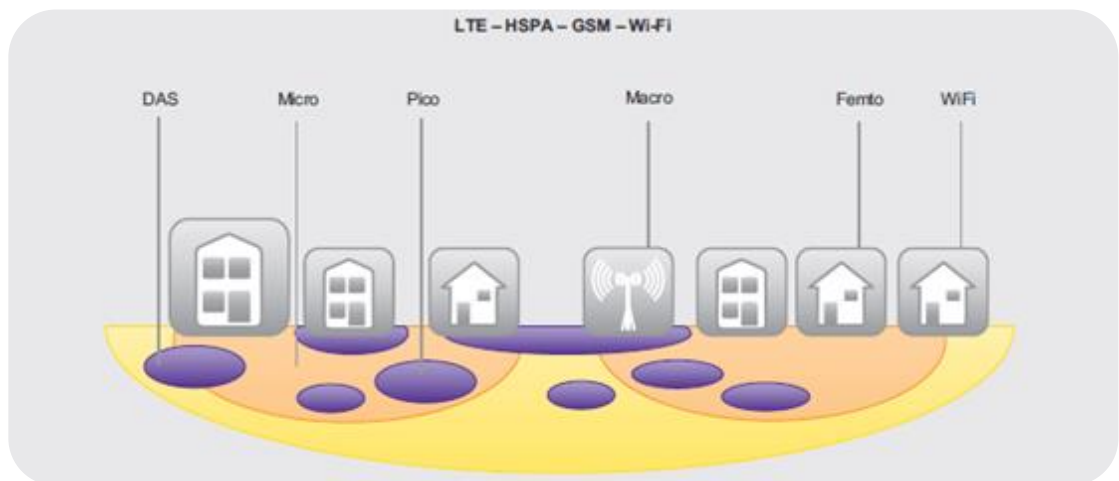


Figura 2.13. Combinación de WiFi y micro celdas con redes convencionales.

En estos sistemas heterogéneos se mantiene la implementación de macro estaciones celulares con etapas de diseño y planeación por lo complicado del despliegue de las mismas estas macro celdas transmiten su señal en potencias altas ($\sim 5W - 40W$), sin embargo se encuentran recubiertas con varias estaciones base pico, estaciones base femto y estaciones base de retransmisión, que emiten sus niveles de potencia sustancialmente más bajos ($\sim 100mW - 2W$) y se despliegan de una manera relativamente no planificada en relación a las estaciones macro, sino mas bien satisfaciendo la demanda focalizada que surge durante la operación. Las estaciones base de baja potencia se pueden implementar para cubrir la falta de cobertura que surge luego la implementación de sistemas desplegados únicamente con macro

celdas y también para mejorar la capacidad de la red en puntos de gran concentración de tráfico y gran número de usuarios.

Mientras que la colocación de estaciones base de macro en una red celular se basa generalmente en una cuidadosa planificación de red, la colocación de estaciones de base pico, femto o de retransmisión se realizan con el concepto “Ad Hoc” es decir, pueden ser una solución específicamente elaborada para un problema o fin preciso y, por lo tanto, no generalizable, por ejemplo: problemas de cobertura o densidad de tráfico en puntos específicos o *hotspots*.

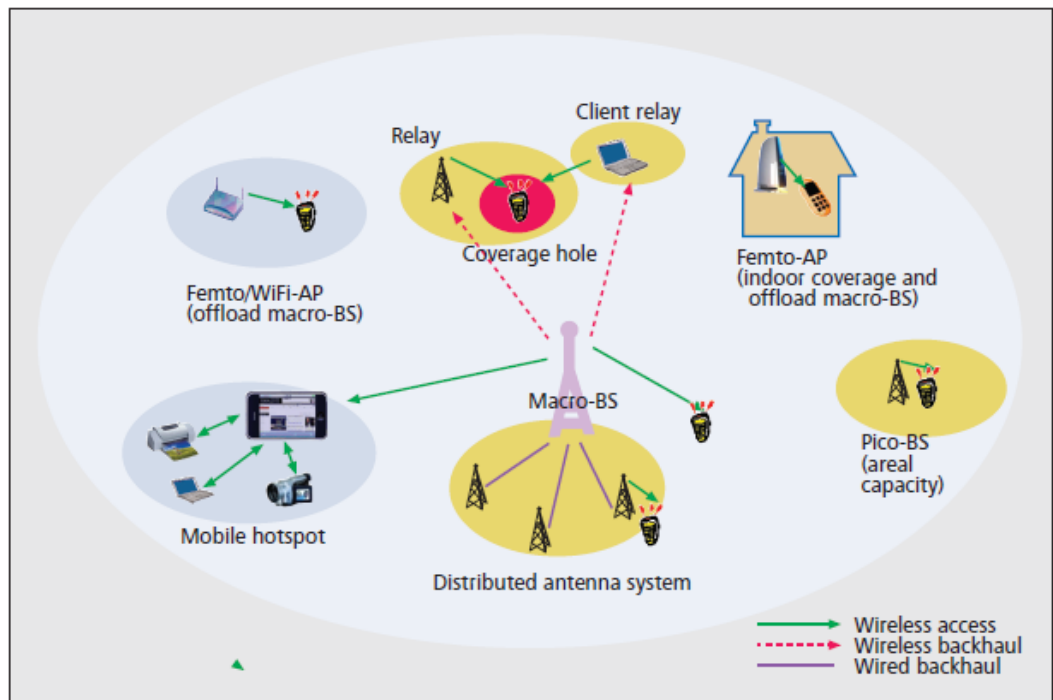


Figura 2.14. Arquitectura de una red Heterogénea.

Debido a su baja potencia de transmisión y menor tamaño físico, las estaciones base pico, femto o de retransmisión pueden ofrecer mayor agilidad en los procesos de adquisición de sitios, lo cual sin duda es una ventaja en la operación de redes celulares, además estas soluciones heterogéneas ofrecen flexibilidad en cuanto a la conexión del backhaul en sitios donde la transmisión no está disponible o no es económica la implementación. En la figura 2.14 se muestra la combinación de redes homogéneas con soluciones pico y micro

dando lugar a redes heterogéneas.

En una red homogénea, cada terminal móvil está conectado a la estación base con la potencia de señal más fuerte, mientras que las señales no deseadas recibidas de otras estaciones base se tratan generalmente como interferencia. En una red heterogénea, estos principios pueden provocar un rendimiento poco favorable. En estos sistemas, la coordinación más inteligente de los recursos de las estaciones base, una mejor estrategia en la selección de servidor y las técnicas avanzadas para la gestión eficiente de la interferencia pueden proporcionar una mejora sustancial en el rendimiento y la experiencia del usuario en comparación con las redes convencionales homogéneas. Las redes heterogéneas se presentan como una estructura multicapa como se ilustra en la figura 2.15.

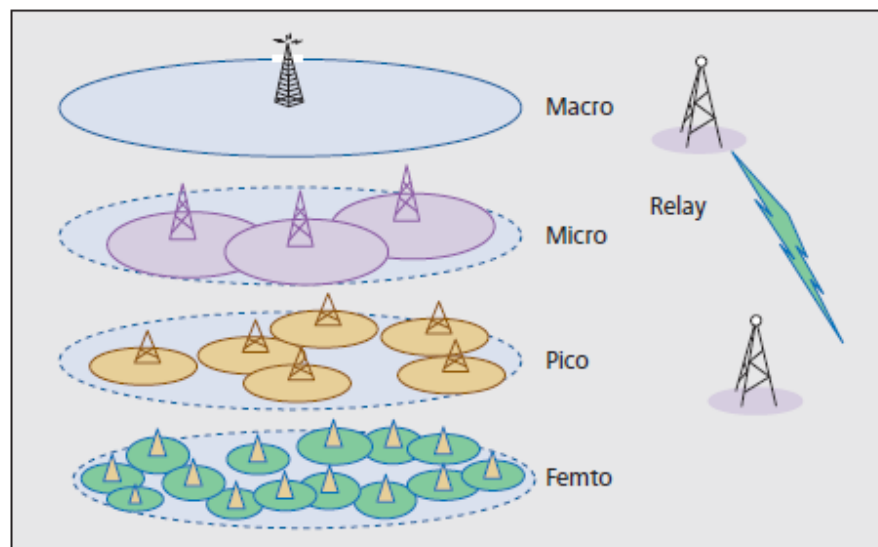


Figura 2.15. Arquitectura Multicapa.

En este tipo de sistemas, uno de los elementos clave que debe considerarse es la gestión común de los recursos de radio CRRM (*Common Radio Resource Management*) de las diferentes RATs del sistema, esto permitirá al proveedor de servicios de telecomunicaciones garantizar un adecuado nivel de calidad de servicio.

El despliegue de estas redes heterogéneas también vendrá con una serie de desafíos que deben ser abordados adecuadamente para maximizar no sólo el uso del espectro, sino también la experiencia del usuario garantizando los niveles de QoS. Al contar con diferentes redes de acceso radio estos pueden ser elementos complementarios y cooperantes dentro de una infraestructura radio heterogénea a través de la cual el proveedor de red puede satisfacer de manera más eficiente los diversos niveles de calidad de servicio (*Quality of Service*, QoS) requeridos en el sistema.

2.5. Elementos de una Red Heterogénea

Una red heterogénea puede estar compuesta de varios niveles o capas de acceso como se muestra en la figura 2.15, que están asociadas a diferentes huellas de cobertura, así como a múltiples tecnologías de radio acceso. En las redes heterogéneas los dispositivos con diferentes huellas de cobertura y capacidades pueden ser superpuestos dentro de la misma área geográfica para servir a usuarios con diferentes requisitos. Los dispositivos dentro de la misma red pueden operar en el mismo espectro, utilizando los mismos protocolos de radio acceso. La combinación de la infraestructura de radio acceso mejora la capacidad y la cobertura y permite la reutilización del espectro mejorando la calidad del enlace de radio. La figura 2.16 muestra una red típica heterogénea con macro celda, pico celda y femto celda, la femto celda puede ser un grupo cerrado de suscriptores CSG (*Closed Subscriber Group*) que sólo permite el acceso a equipos terminales miembros del grupo. Suponiendo un ancho de banda de operación de 10 MHz, una configuración típica en la energía de transmisión (Tx) de una macro estación es de 46 dBm por celda, suponiendo una ganancia en la antena de 14 dBi, la potencia radiada isotrópica equivalente EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*) para la macro celda es de 60 dBm. La pico celda sólo tiene un EIRP de 35 dBm, que naturalmente resulta ser una cobertura significativamente menor que la macro celda y por otro lado la femto celda tiene el más pequeño EIRP de sólo 20 dBm.

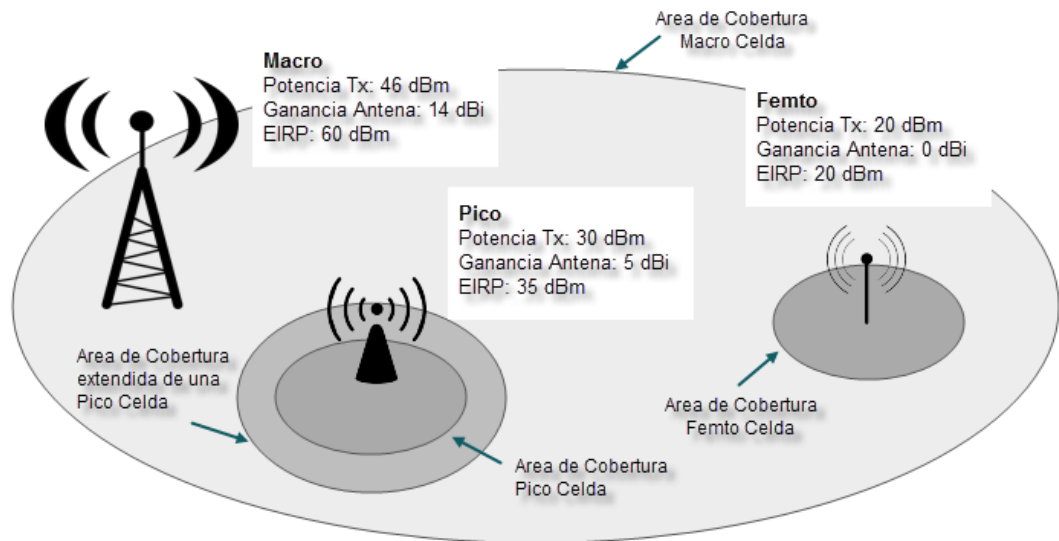


Figura 2.16. Configuración típica de una Red Heterogénea.

A continuación, definimos el papel de cada elemento que pueden ser considerados en la infraestructura de una red heterogénea.

Macro celdas y Micro celdas: En las redes celulares actuales las macro estaciones base (*Macro Base Station*) son desplegadas para dar cobertura a grandes áreas. La huella de cobertura de las macro celdas varía dependiendo de la demanda de tráfico. Las macro celdas están ubicadas a más de 500 m de distancia entre ellas y cubren áreas rurales o suburbanas, mientras que en áreas urbanas requieren micro celdas con radios más pequeños de cobertura. En las redes heterogéneas, las macro y micro celdas proporcionan una cobertura amplia y ofrecen ventajas de alta movilidad.

Pico celdas: Cada servidor está ubicado a una distancia entre 100 - 300 m. Las pico estaciones base (*Pico Base Station*) se pueden implementar como *hotspots* en lugares de gran capacidad y flujo de usuarios como: centros comerciales, aeropuertos y estadios. Las micro estaciones base son básicamente macro celdas simplificados con menor energía y menores costos en infraestructura. Por lo general utilizan infraestructura pública como postes de alumbrado o incrustados en techos con antenas decorativas y por lo tanto son abiertos y accesibles para todos los clientes de la red. El despliegue de las pico

celtas tiene que ser necesariamente planificado por los operadores.

Repetidores: Las estaciones repetidoras RS (*Relay Station*) están desplegados en áreas de cobertura similares a los PBS. Proporcionan una mejor cobertura e incrementan la calidad en throughput de las macro y micro celdas distribuyendo el tráfico entre las estaciones base y estaciones móviles. Los RS se comunican de forma inalámbrica a la MBS o PBS, amplificando la señal recibida de la estación base, por lo que no es necesario una conexión física, sin embargo esto puede causar problemas por el reuso del espectro. Las RS se despliegan en zonas cubiertas por PBS cuando backhaul por cable no está disponible o es de difícil acceso. En nuestro País se utilizan mucho como soluciones de cobertura de carreteras.

Femtoceldas: Los puntos de acceso Femto FAP (*Femto Access Point*) sirven áreas pequeñas en el orden de 10-50 m. por ejemplo: departamentos u oficinas. A diferencia de las MBS o PBS que se conectan a la red a través backhaul propio del operador, los FAP reducen los costes de infraestructura mediante la utilización de backhaul residencial existente como conexiones DSL o cable. Las FAP pueden ser propiedad privada y desplegado por un usuario en base a sus necesidades, por ejemplo cuando no hay cobertura o existe una pobre cobertura en los interiores de edificios. Las FAP pueden tener acceso restringido a un grupo de abonados específicos CSG y cuando un FAP comparte el mismo espectro con otras soluciones de la red esta restricción puede causar interferencia a los abonados que se encuentran en las inmediaciones del FAP pero que no son miembros grupo.

Repetidores Corporativos: Los repetidores de clientes corporativos se pueden considerar como una capa adicional en la arquitectura de redes heterogéneas. Estas soluciones comprenden aéreas de cobertura de muy corto alcance en el orden de 10-20 m. Los repetidores en clientes corporativos mejoran las condiciones de radio en instalaciones o zonas de cobertura de interiores de clientes corporativos donde existe gran cantidad de tráfico y

subscriptores, y donde la señal que se recibe de la estaciones base son pobres. Aumentando la calidad del enlace y las condiciones de transmisión se tiene una reducción significativa en la cantidad de recursos de canal de control y la cantidad de energía necesaria para el enlace lo cual reduce los niveles interferencia con otras celdas. Los estudios demuestran que estos repetidores puede mejorar el rendimiento de la red entre 80 - 200 %.

Tabla 2.2.

Características de varios tipos de nodos en Redes Heterogéneas.

Tipo de nodo	Potencia (dBm)	Cobertura	Backhaul
Macro celda	46	Pocos km	Interface S1
Pico celda	23-30	< 1300 m	Interface X2
Femto celda	< 23	< 50 m	Internet IP
Repetidor	30	300 m	Wireless
Sistemas Distribuidos (DAS)	46	Pocos km	Fibra Óptica

Sistemas Distribuidos de Antenas: Los DAS (*Distributed Antenna System*) separan las antenas de una radio base convencional y los conecta a una unidad de procesamiento común a través de un medio de transporte como la fibra óptica. En efecto se crea una macro celda de una colección de celdas más pequeñas. Los sistemas DAS permiten al operador reemplazar la alta potencia centralizada en una antenas por múltiples antenas de baja potencia que cubren la misma área de cobertura. La ventaja del DAS es que se necesita menos potencia y con mejor línea de vista a los equipos se tiene una mejor calidad en el enlace, mejorando la cobertura y la capacidad de la red.

2.6. Técnicas multi-radio

Dado el incremento de equipos terminales inteligentes que ahora traen interfaces muti-radio como WiFi y 2/3/3G los operadores pueden explotar estas bandas no licenciadas para mejorar la cobertura y calidad de servicio de las redes celulares existentes con bajos costes. En la figura 2.17 se muestra la interconexión de redes de radio licenciadas con no licenciadas.

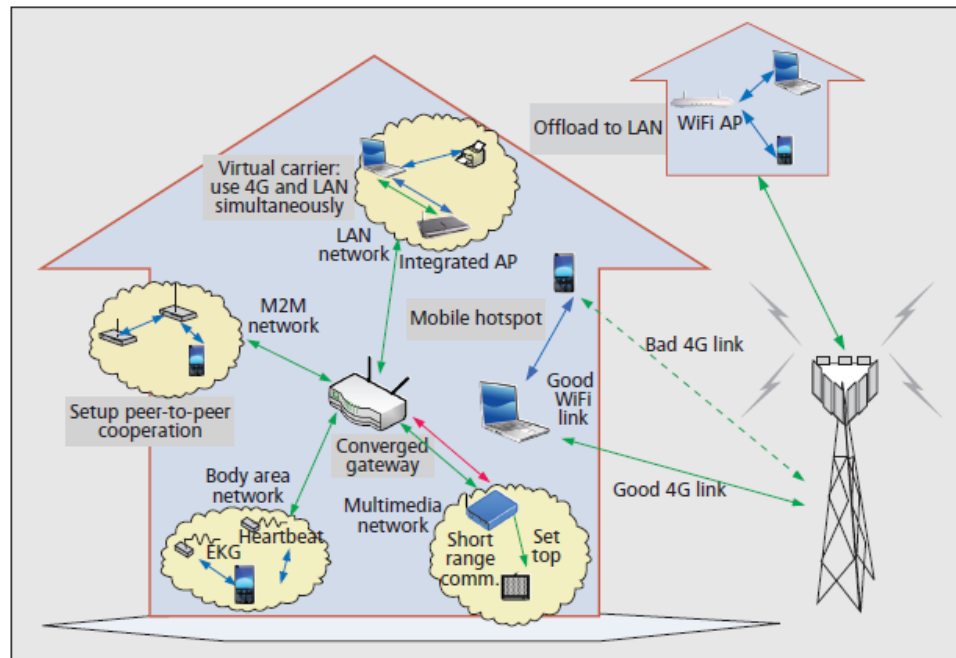


Figura 2.17. Escenario Multi-RAT.

A continuación presentamos algunas de las tecnologías multi-radio que prometen beneficios a los operadores y usuarios.

WiFi Offload: Se trata de una técnica en la que el operador pone a disposición descarga de tráfico de baja prioridad a través de puntos de acceso WiFi para agregar capacidad a un costo mucho más bajo sin comprometer los requisitos de calidad QoS. Esto requiere que los operadores tengan un cierto control de los puntos de acceso WiFi con el fin de controlar el acceso y cargar los costos de conexión.

Virtual Carrier: Esta técnica requiere el uso sinérgico de bandas con licencia (por ejemplo: 3G/4G) y espectro sin licencia (por ejemplo: WiFi) para mejorar la capacidad de la red y el QoS al usuario. Se puede lograr una sinergia entre las bandas licenciadas y no licenciadas dependiendo de si el equipo terminal del cliente tiene capacidad multi-protocolo y se conecta a puntos de acceso que brindan esta sinergia de bandas con y sin licencia y tienen la capacidad de manejar estos enlaces de radio multiprotocolo. Existen nuevos dispositivos con funcionalidades integradas WiFi/4G que se están

desarrollando y su uso y aplicación optimizaran el espectro disponible entre bandas con y sin licencia y disminuirán la interferencia, la diversidad y redundancia de transmisión, mejorando QoS y el equilibrio de carga entre las bandas.

Hotspots móviles: un punto de acceso móvil o *Hotspot* es un dispositivo portátil multi-radio con interfaces tanto hacia la red celular y hacia redes LAN, estos dispositivos conectan los dispositivos sin capacidad de acceso hacia redes celulares con las estaciones base celulares. Estos dispositivos crean un mini punto de acceso WiFi o LAN y permiten la conexión a internet de dispositivos como: netbooks, cámaras o impresoras a través de la red celular. Estos puntos de conexión inalámbrica permiten disponer de zonas WiFi para acceder a Internet donde exista cobertura del servicio celular.

Capítulo III

3.1. De la eficiencia espectral a la eficiencia de las redes

Después de varias décadas en innovaciones en el interfaz aire hoy la industria está prácticamente llegando al límite de capacidad teórica en el canal de radio, comúnmente conocido como el límite de Shannon. Aunque la mejora en el interfaz de aire continuará maximizando los beneficios de la comunicación y sacando el máximo provecho de las tecnologías de procesamiento de señal para incrementar la eficiencia espectral necesitamos otra manera de incrementar la capacidad del sistema. Los futuros incrementos en la capacidad de los sistemas deben provenir por lo tanto de una combinación de soluciones tecnológicas, enfocados particularmente en maximizar la eficiencia general de la red en lugar de depender únicamente de la eficiencia espectral en el enlace de radio. La tecnología base en la mayoría de estas soluciones están relacionadas al concepto de redes heterogéneas. En la figura 3.1. se muestra una evolución de las tecnologías inalámbricas.

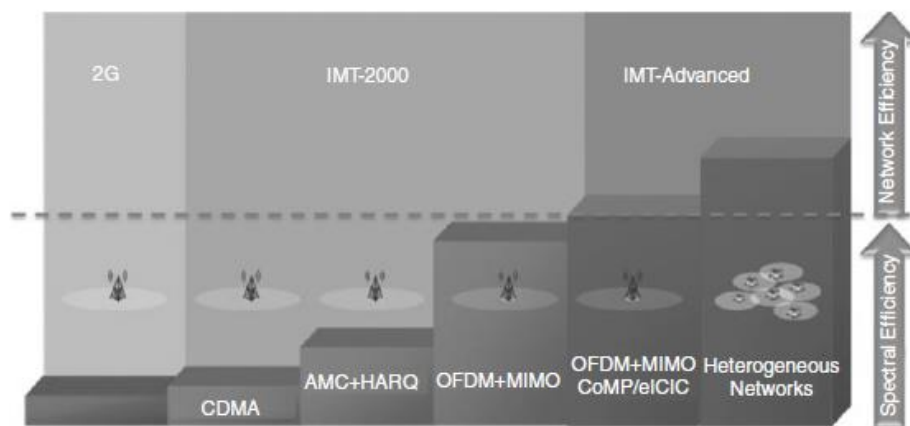


Figura 3.1. Evolución de las tecnologías inalámbricas.

Una de estas soluciones que los operadores de redes móviles están aplicando es la estrategia en la descarga de datos (*data offloading*). Esto se realiza facilitando y brindando ventajas a los suscriptores para descargar el

tráfico en micro estaciones celulares en lugar de las estaciones macro, esencialmente formando un red heterogénea básica. Dado que el cuello de botella de capacidad varía de mercado a mercado y de una red a otra hay muchos escenarios y técnicas para la aplicación de estrategias de descarga como: combinar la red macro con redes micro de una misma tecnología de radio acceso, o combinando diferentes tecnologías y redes de radio acceso, o compartiendo el núcleo del operador de telefonía móvil con conexiones a internet fijas. Todas estas opciones son complementarias y todas ellas se han desarrollado para satisfacer el incremento en la demanda de capacidad.

Otra forma de incrementar la capacidad en las redes es incrementando el espectro asignado a las operaciones, por lo que organismos reguladores y las empresas de telecomunicaciones trabajan en la búsqueda de nuevas bandas para la transmisión de datos móviles, sin embargo el espectro es un recurso limitado y la liberación de nuevas bandas para este fin ha sido lento.

En mercados densamente poblados están a punto de quedarse sin espectro y se observa una fuerte presión para optimizar el espectro asignado con resintonización a las bandas existentes y con un acelerado despliegue de micro celdas para maximizar la reutilización de frecuencias. La industria móvil además ha comenzado a buscar frecuencias para la aplicación en datos móviles en bandas altas, sin embargo estas bandas tienen diferentes características de propagación que las bandas bajas tradicionales (por lo general por debajo de 3 GHz), por lo que la tecnología, el diseño y la operación de estas nuevas redes va a ser muy diferente a redes celulares tradicionales. Por lo tanto, las redes heterogéneas se han convertido en una forma atractiva para dotar a las redes actuales de mayor capacidad.

Además de buscar la asignación de espectro adicional y desarrollar nuevas tecnologías en bandas de frecuencias altas, la industria inalámbrica y los investigadores están buscando formas innovadoras para la utilización más flexible del espectro como: la compartición, el acceso dinámico y el acceso

cognitivo a las redes. Un ejemplo de ello es el uso experimental del espectro de TV en el mercado de EE.UU., donde se está probando la administración del espectro con bases de datos de las emisoras con el fin operar y administrar el espectro para otros fines cuando no es utilizado para la transmisión de TV. Sin embargo la cobertura y la disponibilidad de estos servicios son diferentes a las redes móviles, pero dado la naturaleza dinámica del espectro, la industria está investigando la arquitectura de red y modelos de negocio adecuados para lograr una rentabilidad del negocio, pero se espera nuevos tipos de redes que vengan a formar parte de las futuras redes heterogéneas globales.

3.2. Capacidad en redes móviles

Cada macro estación base puede transmitir una cantidad finita de llamadas, según la capacidad instalada en cuanto a tarjetería y la cantidad de espectro disponible para establecer el canal de radio. En zonas de alta utilización de teléfonos móviles, tales como centros financieros y las zonas de alta densidad de población como: centros de estudios o centros deportivos (estadios, coliseos, teatros), se requieren entonces más estaciones base para manejar el nivel de tráfico generado.

Cada estación base tiene un número de canales de radio, o frecuencias, para comunicarse con los teléfonos móviles. Como este número de frecuencias es limitado, las frecuencias a menudo son reutilizadas en celdas adyacentes. Esto se logra reduciendo el nivel de potencia de la estación base para asegurar que haya una superposición mínima o nula de la cobertura entre celdas.

Para satisfacer esta demanda la opción es desplegar más estaciones base. Sin embargo esto también requiere de un control más eficiente de la propagación y sin duda un mayor reuso del espectro, pero sobre todo mayor inversión, por lo que la introducción de nodos de bajo consumo es un interesante enfoque para cumplir estas exigencias de tráfico y expectativas de rendimiento. El despliegue de redes heterogéneas pueden ser desde soluciones muy específicas dentro de edificios, diseñadas para dar cobertura

de calidad dentro de un edificio específico, hasta estaciones muy pequeñas conocidas como microceldas que cubren áreas geográficas muy reducidas y suelen encontrarse en intersecciones y en zonas de mucho tráfico peatonal. Al combinar nodos de bajo consumo con una capa macro mejorada y densificada, se pueden admitir velocidades de transferencia de datos y volúmenes de tráfico bastante altos mejorando percepción de servicio. La naturaleza de la red existente, así como las consideraciones técnicas y económicas, determinarán qué enfoque (mejorar la capa macro, densificar la capa macro o añadir nodos pico) o combinación de enfoque cumple mejor con los objetivos de volumen y velocidad de transferencia de datos.

En áreas rurales, donde el uso de teléfonos móviles no es tan alto, las estaciones base en general están ubicadas sobre montes o estructuras altas para maximizar el área de cobertura.

3.2. Aspectos de Capacidad en sistemas GSM

GSM usa FDD y una combinación de TDMA y FHMA para proporcionar a las estaciones base y a los usuarios un acceso múltiple. La tecnología GSM utiliza dos bandas de 25 MHz para transmitir y otra para recibir. Las Bandas del GSM son divididas en canales de RF, donde cada canal consiste de un par de frecuencias, una para transmisión y otra para recepción con 200 KHz de banda cada llamado Canales de Radio Frecuencia Absolutos ARFCN (*Absolute Radio Frequency Channel Number*). Existen, por tanto 125 canales de RF por cada banda (asumiendo que no hay ninguna banda de guarda) como se muestra en la figura 3.2.

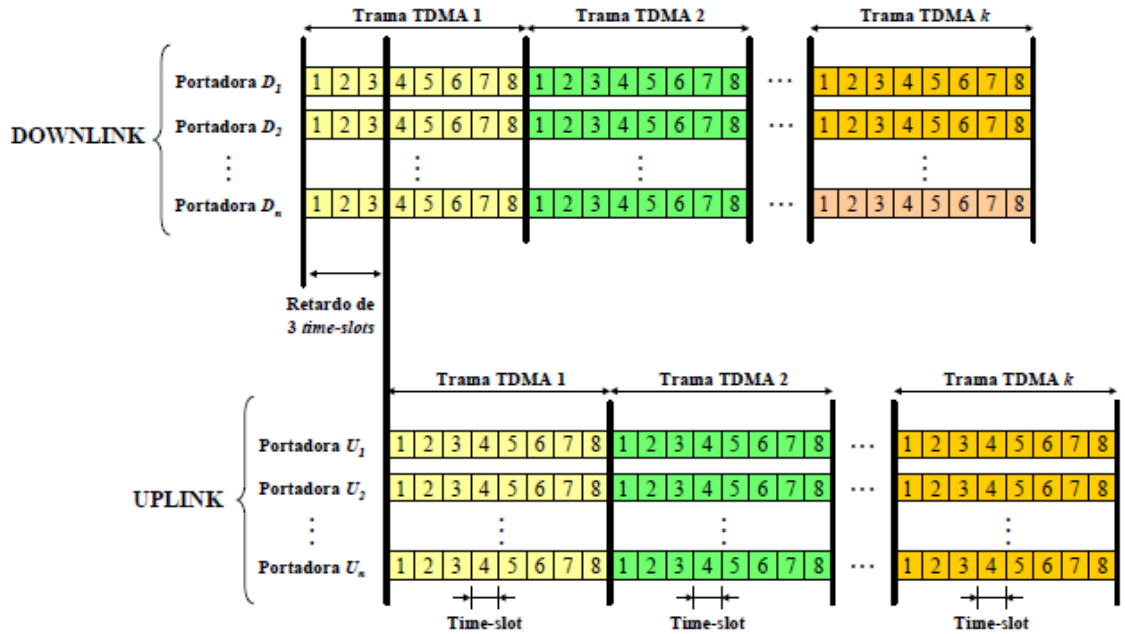


Figura 3.2. Acceso Múltiple en GSM.

Las frecuencias portadoras de los canales de RF son moduladas en 0,3 GMSK por una señal digital con tasa de 270,833 kbit/s. Esta señal digital de 270,833 kbit/s es dividido en el dominio del tiempo en 8 intervalos (*time-slots*) de 576.9 μ s de duración cada uno como se muestra en la tabla 3.1. Cada *time-slot* se asigna de forma periódica a un usuario determinado. La agrupación de estos ocho *time-slots* constituye la trama TDMA, que se repite de forma periódica y cuya duración es de 4.615 ms ($8 \times 576,9 \mu$ s). El GSM es una combinación de FDMA y TDMA.

Tabla 3.1.

Trama TDMA en GSM.

	Periodo	Composición
Señal de 270,833 kbps	4,615 ms	8 slots de tiempo
Slot de tiempo	576,9 us	156,25 bits
Bit	3,692 us	-

En el GSM ningún canal de RF o time slot está designado a priori para una tarea particular. La información del usuario (voz y datos) y los datos de control de señalización son transmitidos en dos tipos básicos de canales lógicos que

van a ocupar la estructura del cuadro (*frame*) TDMA: canal de tráfico (TCH) y canal de control (CCH). Estos canales lógicos son mapeados en los canales físicos según la figura 3.3. a continuación.



Figura 3.3. Mapeo canales físicos y lógicos en GSM.

Los canales de tráfico soportan dos tasas de información: Completa (*Full*) y Media (*Half*) posibilitando que un canal de RF tenga de 8 canales (*Full rate*) a 16 (*Half rate*). El *Half rate* es implementado por la ocupación alternada del mismo slot físico por dos canales lógicos. Las tasas de información para los canales de tráfico (TCH) son las que se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2.

Tasas de información en canales de tráfico en GSM.

	Full Rate	Half Rate
Voz	13 Kbps (22,8 Kbps)	11,4 Kbps
Datos	9,6 Kbps; 4,8 Kbps y 3,6 Kbps	4,8 kits/s y 2,4 Kbps

En el GSM es posible encontrar tres tipos de codificadores de voz (vocoder): el *Enhanced Full Rate* (EFR), el *Full Rate* con tasa de 13 kbit/s, y el *Half Rate* con tasa de 9,6 kbit/s.

La eficiencia de utilización del Espectro, o capacidad de un sistema GSM es mayor que la del AMPS y menor que un sistema TDMA (IS-136). En una Banda de 30 KHz el AMPS tiene capacidad para una llamada telefónica y el TDMA tres. Por su parte el GSM en 200 KHz tiene capacidad para ocho llamadas. En compensación por presentar menos interferencia co-canal los sistemas GSM usan una reutilización de frecuencia de 4 por 12 mientras que en el AMPS y

TDMA lo normal es de 7 por 21 o que propicia una mejor utilización del espectro por parte del GSM.

3.3. Aspectos de Capacidad en sistemas UMTS

UMTS se basa en el interfaz de radio WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) que define un acceso múltiple basado en CDMA de secuencia directa DS-SS-SS-SS (*Direct-Sequence Code Division Multiple Access*). Los bits de información se multiplican por una secuencia aleatoria de bits (denominados chips) con una tasa mucho mayor que la señal de datos, dando lugar a un ensanchamiento espectral de la señal original. La tasa de esta secuencia aleatoria, denominada código de ensanchamiento (*spreading code*) depende del modo de operación o duplexado empleado.

El sistema WDCMA, puede operar en modo FDD o en modo TDD. La componente FDD hace uso de dos bandas de frecuencia emparejadas de 60 MHz cada una, una para el *uplink* y otra para el *downlink*. La componente TDD utiliza dos bandas de frecuencia no emparejadas, una de 15 MHz y otra de 20 MHz.

La componente FDD opera con una tasa de chip de 3.84 Mcps, lo cual da lugar a un ancho de banda de aproximadamente 5 MHz. Esto se traduce en la existencia de 12 portadoras FDD (estas portadoras no se utilizan para diferenciar las transmisiones de varios usuarios mediante FDMA). La componente TDD puede operar con una tasa de chip también de 3.84 Mcps (dando lugar a 7 portadoras TDD) o con una tasa de chip de 1.28 Mcps. En este último caso el ancho de banda de transmisión es de aproximadamente 1.6 MHz. Tanto en FDD como en TDD, el acceso múltiple responde, a grandes rasgos, al esquema mostrado en la figura 3.4. En dicho esquema se puede distinguir entre aspectos relativos al dominio del tiempo y al dominio del código.

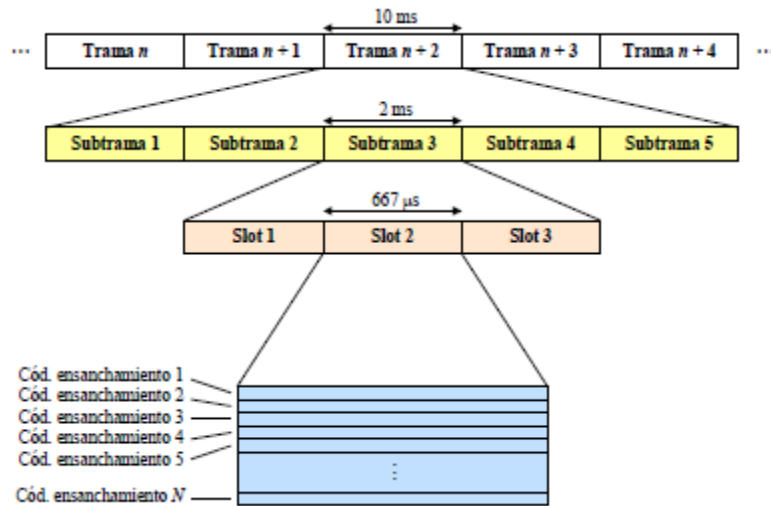


Figura 3.4. Acceso múltiple en UMTS.

La capacidad en los sistemas CDMA son limitados por la interferencia de los usuarios que tienen llamadas activas en el sistema, ya que todos comparten la misma frecuencia de operación. Esto trae como consecuencia el problema de interferencia por acceso múltiple MAI (*Múltiple Access Interference*), que obliga a hacer un control de potencia sobre los terminales móviles para maximizar la capacidad y evitar que los móviles que se encuentran cerca de la estación base interfieran demasiado y castiguen la capacidad.

3.3.1. Capacidad de una sola celda

Si se asume una celda aislada con control de potencia perfecto (es decir, que a la estación base llega el mismo nivel de señal no importa donde esté el usuario), y el mismo tipo de servicio (en tercera generación puede haber varios servicios simultáneamente), la capacidad de un sistema CDMA está dada en términos de la ganancia de ensanche, la interferencia y la relación E_b/N_0 requerida para el funcionamiento adecuado del sistema. Si llamamos N al número de usuarios con llamadas activas, S a la densidad espectral de potencia recibida en la estación base por cada usuario, entonces la relación energía de bit sobre interferencia (o relación E_b/N_0) está dada por:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S \cdot SG}{I + N_0} = \frac{S \cdot SG}{(N - 1) \cdot S + N_0} \quad (3.1)$$

Dónde: N_0 es la densidad espectral de ruido,
 I es la interferencia,
 SG es la ganancia de ensanche.

En el límite, cuando N alcanza la máxima cantidad de usuarios posibles, E_b/N_0 es el mínimo requerido para que el sistema funcione (es decir que la tasa de errores esté por encima de un valor aceptable), la interferencia es lo suficientemente grande para despreciar N_0 , por lo que la ecuación queda:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{req} = \frac{S \cdot SG}{(N_{max} - 1) \cdot S + N_0}$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{req} \approx \frac{S \cdot SG}{(N_{max} - 1) \cdot S} \quad (3.2)$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{req} = \frac{SG}{N_{max} - 1}$$

$$N_{max} \approx 1 + \frac{SG}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{req}} \quad (3.3)$$

Dónde: N_{max} es el máximo número de usuarios atendidos por la celda. Si el servicio suministrado por la celda es un servicio de voz, la interferencia se ve modificada por el factor de actividad de voz, mejorando la capacidad. El factor de actividad de voz α está definido entre cero y uno ($0 < \alpha \leq 1$), y las ecuaciones anteriores se replantean como:

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{req} = \frac{S \cdot SG}{\alpha \cdot (N_{max} - 1) \cdot S + N_0} \quad (3)$$

$$\approx \frac{S \cdot SG}{\alpha \cdot (N_{max} - 1) \cdot S}$$

$$= \frac{SG}{\alpha \cdot (N_{max} - 1)} \quad .4)$$

$$N_{max} \approx 1 + \frac{SG}{\alpha \cdot \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{req}} \quad (3)$$

.5)

A continuación se calcularán los valores de capacidad para una sola celda, utilizando la ecuación 1 empleando los parámetros de ganancia de ensanche y tasa de transmisión con los siguientes valores:

$$W = 5 \times 10^6$$

$$R = 9600$$

$$SG = W / R = 520,833$$

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{req} = 5$$

Con estos valores y aplicando los mismos en la ecuación 1, el número máximo de usuarios será $N_{max} \approx 105$.

3.3.2. Capacidad con múltiples celdas

Cuando se analiza un sistema con varias celdas, hay que tener en cuenta también la interferencia producida por los usuarios activos en las otras celdas del sistema. En el modelo teórico se asume un sistema celular con celdas hexagonales, como se muestra en la figura 3.5.

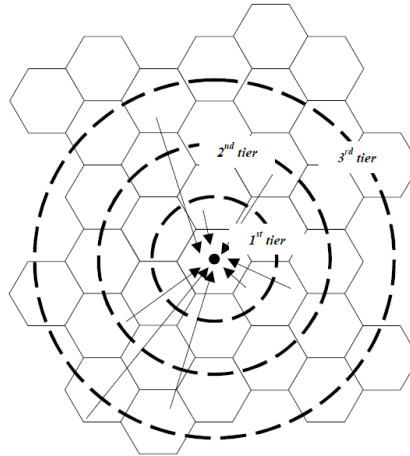


Figura 3.5. Modelado de la interferencia inter-celda.

Al considerar la interferencia intercelda, la ecuación para calcular la relación E_b/N_0 queda así.

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \frac{S \cdot SG}{I_{inter} + I_{intra} + N_0} \quad (3.6)$$

Como la interferencia intercelda proviene de otras celdas en el sistema, si se asume que hay N_c celdas en el sistema, la interferencia intercelda está dada por:

$$I_{inter} = \sum_{i=1}^{N_c=1} I_i(D_i, \gamma) \quad (3.7)$$

Dónde D_i es la distancia entre las estaciones base interferentes y la estación base interferida y γ es el exponente de pérdidas que se asume para el análisis.

Sin embargo, a este factor de pérdidas se le debe agregar el desvanecimiento log-normal, por lo que la interferencia queda dada, según en [2] por:

$$I_{ij} = \frac{S_i \cdot r_j^\gamma \cdot 10^{\xi_i/10}}{R_{ij}^\gamma \cdot 10^{\xi_0/10}} \quad (3.8)$$

Dónde: S_i es la densidad espectral de potencia de cualquier usuario en la celda i , las distancias R_{ij} y r_j están definidas en la siguiente figura 3.6. y

ξ_i es una variable aleatoria gaussiana que modela el efecto del desvanecimiento log-normal en la celda j

Si se asume que todas las celdas del sistema son iguales, entonces $S_i=S$ $\forall i=1.....N_c$ y S es la misma que en la ecuación 6. Además, si se asume que los usuarios están distribuidos uniformemente sobre el sistema, se obtiene la ecuación:

$$dI_i = S \cdot \frac{r^\gamma \cdot 10^{\xi_i/10}}{R^\gamma \cdot 10^{\xi_0/10}} \cdot \rho \cdot dA \quad (3.9)$$

En la figura 3.6 se ilustra los elementos que se consideran para el cálculo de la interferencia en uplink en sistemas de acceso múltiple por división de código.

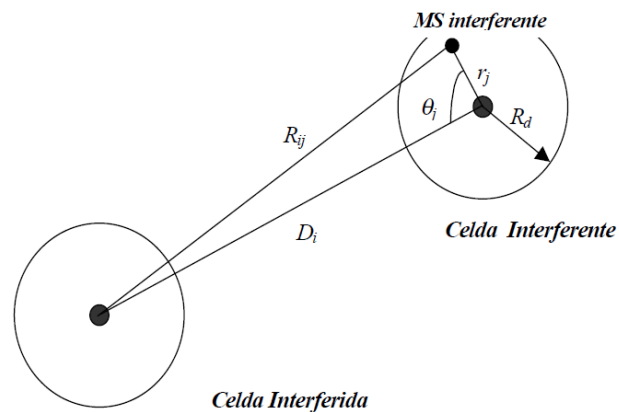


Figura 3.6. Cálculo de la interferencia en el uplink.

Dónde: ρ es la densidad espacial de usuarios, que es proporcional al número de usuarios en una celda, N . Según esto, la interferencia total estará dada por:

$$I_i = \iint_A dI_i = \iint_A S \cdot \frac{r^\gamma \cdot 10^{\xi_i/10}}{R^\gamma \cdot 10^{\xi_0/10}} \cdot \phi \left(\frac{r^\gamma \cdot 10^{\xi_i/10}}{R^\gamma \cdot 10^{\xi_0/10}} \right) \rho \cdot dA \quad (3.10)$$

Donde $\phi(x)=1$ si $x<1$ y $\phi(x)=0$ de otra forma. Como la integral se debe evaluar sobre toda el área de servicio y no es posible establecer a priori sus límites, debido a la aleatoriedad de las fronteras de la celda, la función $\phi(x)$ intenta eliminar de la integral los puntos atendidos por la celda interferida. Ya que I_i es proporcional a S y ρ es proporcional a N , se puede escribir:

$$I_i \propto S \cdot N = I'_{intra} \Rightarrow I_i = F_m \cdot I'_{intra} \quad (3.11)$$

Dónde:

$$F_m = \iint_A \frac{r^\gamma \cdot 10^{\xi_i/10}}{R^\gamma \cdot 10^{\xi_0/10}} \cdot \phi \left(\frac{r^\gamma \cdot 10^{\xi_i/10}}{R^\gamma \cdot 10^{\xi_0/10}} \right) \frac{\rho}{N} \cdot dA \quad (3.12)$$

Es decir, la interferencia intercelda se puede expresar en términos de la interferencia intracelda multiplicada por un factor de corrección F_m . El valor de este factor depende del exponente de pérdidas y de la desviación estándar del desvanecimiento log-normal. Ya que las fronteras del sistema no se conocen a priori, no existe una solución analítica para esta integral y se requiere una

solución numérica.

Al incluir el factor F_m en el cálculo de capacidad para un sistema CDMA, las ecuaciones de E_b/N_0 y capacidad quedan:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \frac{S \cdot SG}{F_m \cdot I'_{intra} + I'_{intra} - S + N_0} \quad (3)$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \frac{S \cdot SG}{(F_m + 1) \cdot N \cdot S - S + N_0} \quad (3)$$

$$N_{max} \approx \frac{1}{(1 + F_m)} + \frac{SG}{(1 + F_m) \cdot \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{req}} \quad (3)$$

(14)

Al ser un sistema basado en CDMA, el UMTS es un sistema limitado por la interferencia generada por los usuarios del sistema. Adicionalmente, los múltiples servicios que manejarán los sistemas de tercera generación hacen que el *spreading factor* varíe según el servicio, y por ende la carga relativa de un usuario sobre el sistema.

Diversos autores entran a analizar también lo que se conoce como el *breath factor* de la celda en UMTS. Este comportamiento se presenta cuando se quiere mantener una calidad determinada en el sistema, que obliga a los terminales móviles a aumentar su potencia de transmisión para mantener dicha calidad.

Evidentemente, los terminales tienen un límite en su potencia de transmisión, por lo que llega un punto en el que el terminal no puede aumentar más su potencia y la calidad empieza a decrecer. Este comportamiento está asociado a la carga de la estación base y se puede asemejar a una especie de “encogimiento” de la celda cuando la carga aumenta. Es decir, si se quiere mantener la calidad del enlace para una potencia máxima de los terminales y un cierto número de usuarios, éstos deberían acercarse a la estación base, con

el fin de mantener la relación de portadora a interferencia requerida para la calidad deseada.

Esto lleva entonces a mirar la capacidad en UMTS desde dos ángulos; uno la capacidad dada en kbps/celda o kbps/MHz si se desprecia el *noise rise*, y el otro es el alcance o radio de la celda según la carga del sistema respecto a una carga máxima teórica o *pole capacity*. Si se considera este segundo caso, la planificación de un sistema UMTS se convierte en un proceso dinámico, donde se debe considerar el encogimiento de la celda y la compensación de este efecto por parte de las celdas vecinas.

En el interface de subida (*uplink*), la relación portadora a interferencia para un único tipo de servicio, que limita la capacidad, viene dada por la ecuación:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_r/R}{(N + I_{intra} + I_{inter})/W} \quad (3.15)$$

Dónde	P	Es la potencia de recepción del sistema
e:	r	
	I _{intra}	Es la interferencia intracelular provocada por los usuarios activos
	I _{inter}	Es la interferencia externa o inter celular
	N	Es la potencia de ruido térmico
	W	Es la tasa de chips del sistema
	R	Es la tasa de bits del servicio (bits/seg)

Tanto en los servicios de voz como de datos, la transmisión no es continua, por lo que se incluye en la ecuación anterior un factor de actividad a que afecta la interferencia intercelda e intracelda, que se suele modelar como una distribución normal. Si se supone un control de potencia ideal y K usuarios en la celda, la interferencia intracelda percibida por un usuario cualquiera,

producida por los $K-1$ usuarios restantes, vendrá dada de la forma:

$$I_{intra} = P_r(k-1) \propto \quad (3.16)$$

La interferencia inter celda se puede calcular de varias formas, según el grado de aproximación que se requiera. Una forma simple, que se basa en el factor de reutilización de la frecuencia, viene dado por:

$$I_{inter} = (f-1)I_{intra} = F_m I_{intra} \quad (3.17)$$

3.4. Shanon y las comunicaciones móviles

Si se desea conseguir altas velocidades de datos es necesario utilizar cada vez un ancho de banda mayor y, al mismo tiempo, conseguir que el ruido o interferencias afecten lo menos posible a la señal de datos, es decir, trabajar en todo momento con un nivel óptimo de señal a ruido. Esto es, ni más ni menos, lo que demostró matemáticamente Claude E. Shannon en 1948, en su famoso teorema de Shannon, también conocido por “Teorema fundamental de las comunicaciones”.

En la tabla 3.3 se detallan las características de cada tecnología de radio acceso disponible. Si se quieren altas velocidades de datos hay que utilizar cada vez un ancho de banda mayor y un canal de transmisión que esté libre de ruido e interferencias lo más posible. Y ambos requisitos son imposibles de cumplir en los sistemas de telefonía móvil: Por un lado el espectro radioeléctrico es limitado, compartido por todos los usuarios y está ocupado en su práctica totalidad. Por otro lado el espacio radioeléctrico es un medio donde existen múltiples interferencias y ruidos lo cual da a la relación señal a ruido una gran importancia en la comunicación móvil.

Tabla 3.3.

Características de tecnologías de radio acceso.

	Tecnología	Portadora	Pico UL	Pico DL	Latencia	Eficiencia Espectral (Bit/s/Hz)
2G	GSM/GPRS/EDGE	200 kHz	56 kbps	114 Kbps	500 ms	0.17
			118 kbps	236 Kbps	300 ms	0.33 EDGE
3G	WCDMA	5 MHz	384 kbps	384 Kbps	250 ms	0.51
	HSPA	5 MHz	5.7 Mbps	14 Mbps	~70 ms	2.88
	HSPA+(16QAM) (64QAM + Dual)	5 MHz	11.5 Mbps	~28 Mbps (42 Mbps)	~30 ms	12.5
	LTE (Rel.8) (2x2 MIMO)	hasta 20 MHz	~75 Mbps	~150 Mbps @20 MHz	~10 ms	16.32
	WiMax IEEE 802.16e	10 MHz	70 Mbps	70 Mbps 134 Mbps	~50 ms	3.7
4G	LTE-Advanced	hasta 100 MHz	> 500 Mbps	> 1 Gbps	< 5 ms	DL: >30 UL: >15
	IMT-Advanced	hasta 100 MHz	270 Mbps 675 Mbps	600 Mbps 1.5 Gbps	< 10 ms	DL: >15 UL: >6.75

3.5. Desempeño de redes móviles en zonas de alta carga de usuarios en Quito

Las zonas de mayor demanda de servicios de telecomunicaciones por lo general son zonas de gran concentración de personas. En Quito existen varios puntos *hotspot* o zonas calientes donde existe este comportamiento en las redes móviles en el cual para cubrir la demanda de tráfico es necesario desplegar mayor equipamiento en las redes. Por ejemplo la zona universitaria del Girón en la avenida 12 de Octubre y Mena Caamaño, la zona financiera en el cruce de las avenidas Naciones Unidas y Amazonas, el Estadio Atahualpa o el Coliseo Rumiñahui, todos estos puntos geográficos tienen muy alta concentración de personas y por ende gran demanda en el tráfico de los servicios de telecomunicaciones.

La correcta identificación de *hotspot* en estos puntos y la utilización de infraestructura de redes heterogéneas permiten al operador gestionar de manera más eficaz la inversión en infraestructura, permitiendo optimizar las

redes para que cursen mayor cantidad de tráfico.

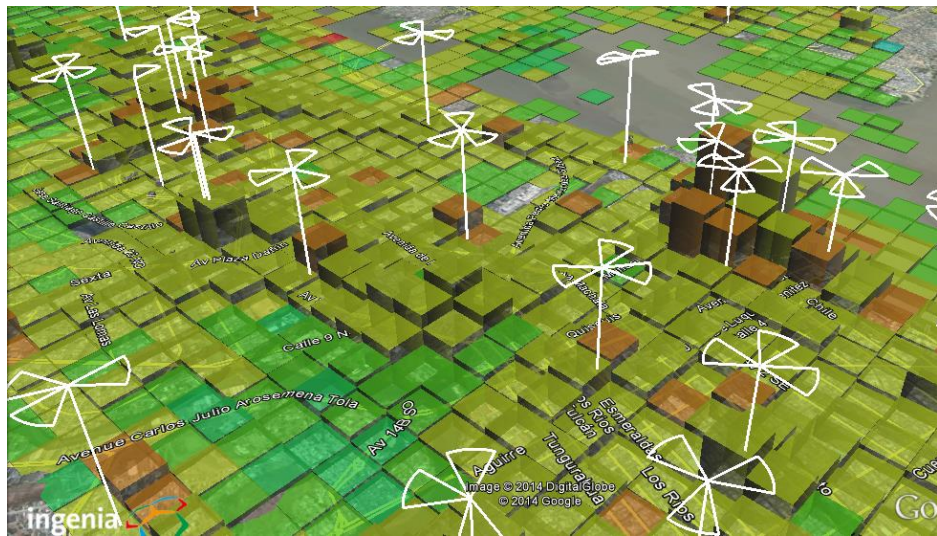


Figura 3.7. Software de geoposicionamiento de demanda de redes móviles.

3.5.1. Evaluación Zona Universitaria

En Quito en la zona del Girón, ubicada en el cruce de las avenidas 12 de Octubre y Mena Caamaño, se concentran varios centros de educación como: Universidad Católica, Universidad Politécnica Salesiana, Politécnica Nacional; todas estas instituciones están ubicadas en un radio geográfico de 2 km y esta concentración refleja gran concentración de personas y por consiguiente una gran demanda en los servicios de telecomunicaciones como llamadas de voz y sesiones de datos ya sea en servicio de datos uplink por ejemplo subiendo fotos o videos hacia las redes sociales videos y servicios de datos de bajada (*downlink*) como el que se requiere al solicitar un *streamming* de video.

En la gráfica 3.8 a continuación vamos a analizar el caso de una operadora en 850 Mhz, la cual para satisfacer la demanda en la zona tiene desplegada varias estaciones aproximadamente en un rango de 500 m cada una.



Figura 3.8. Despliegue de macroceldas en zona universitaria.

La demanda de los servicios en la zona es creciente y eso se registra a través de las estadísticas en los equipos de las operadoras, en la gráfica 3.9 se observa el volumen de tráfico cursado de datos en 3G y la gráfica 3.10 el volumen de tráfico en la red 2G de una macro celda que cubren la zona durante 1 año. La tendencia es un crecimiento lineal en el tiempo.

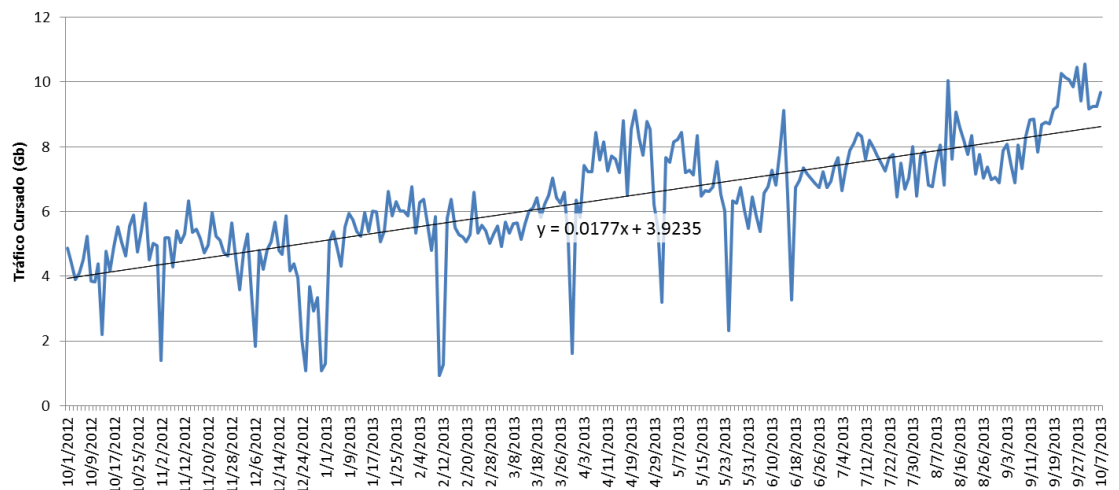


Figura 3.9. KPI de tráfico cursado por la macrocelda 3G de la zona universitaria.

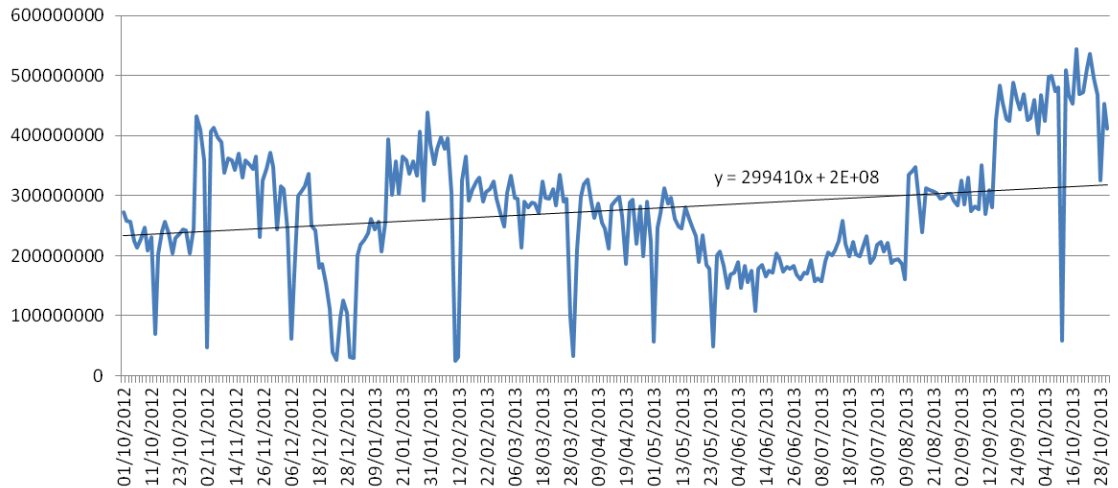


Figura 3.10. KPI de tráfico cursado por la macrocelda 2G de la zona universitaria.

Este continuo crecimiento de la demanda de tráfico demanda una constante inversión por parte de los operadores y a pesar del despliegue de macro estaciones ya densamente realizado la sobredemanda da lugar a que los usuarios experimentaran problemas en la calidad del servicio de telecomunicaciones.

El comportamiento de las macroceldas registran gran cantidad de usuarios en horas hábiles del día desde las 08h00 hasta las 20h00 como se muestra en la gráfica 3.11.

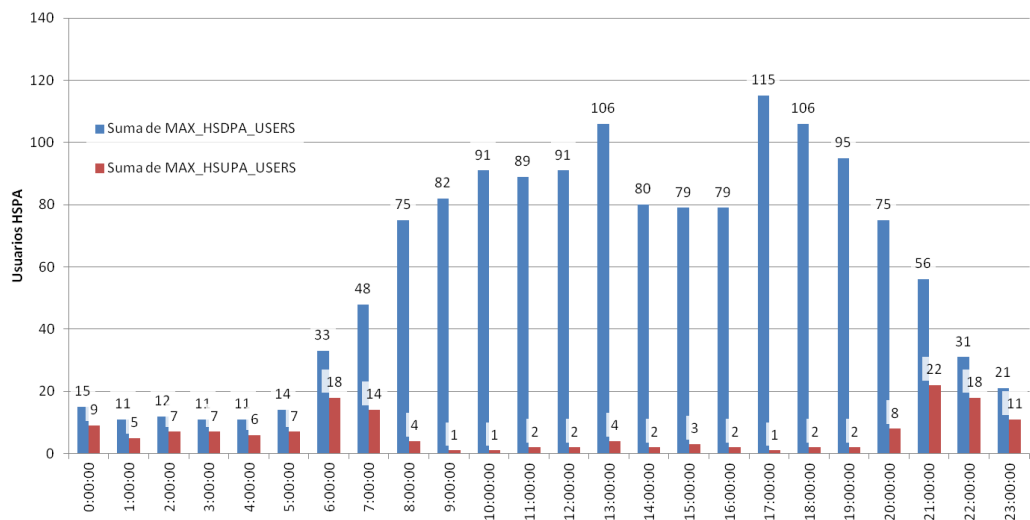


Figura 3.11. Usuarios HSPA en macrocelda 3G de la zona universitaria.

Este gran número de usuarios se reflejará en tráfico y en utilización de los recursos de la macrocelda, sin embargo al compartir el recurso de acceso a la red, este se degrada con alto número de compartición del medio. Esto se puede medir a través del KPI conocido como RTWP (*Received Total Wideband Power*) que representa una medida que relaciona el nivel total de ruido dentro de la banda de frecuencia UMTS de una celda. En la figura 3.12 se observa que en las horas de alta carga de usuarios este valor de RTWP es más degradado.

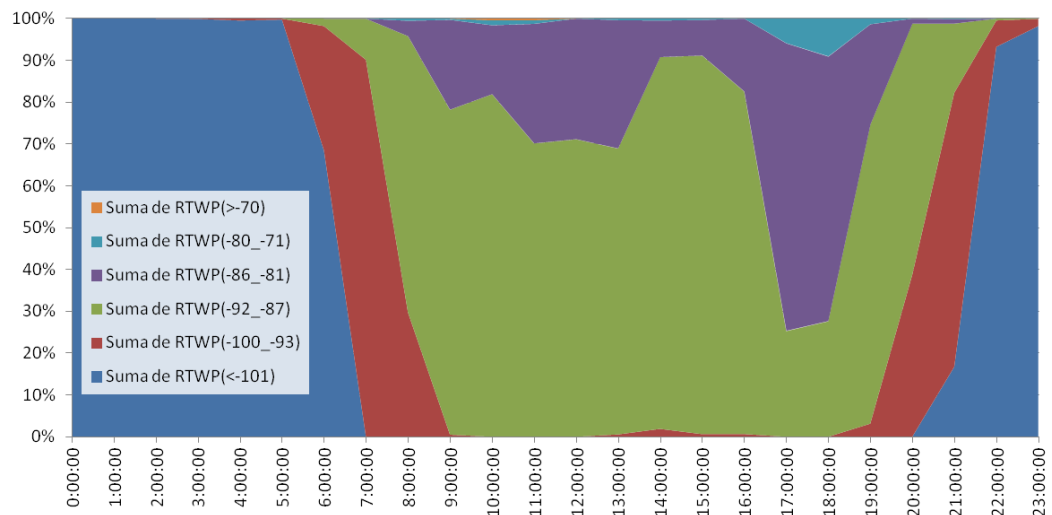


Figura 3.12. RTWP en macrocelda 3G de la zona universitaria

Como se explicó en teóricamente en la sección 3.3. Los sistemas CDMA son limitados por la interferencia de los usuarios que tienen llamadas activas en el sistema, ya que todos comparten la misma frecuencia de operación y por consiguiente este incremento de usuarios implica una degradación de la calidad de la señal que llega a cada uno de los usuarios.

En zonas de gran concentración de usuarios conocidas en planeación de redes como zonas densas urbanas, la sobredemanda se refleja en el rechazo de las solicitudes de conexión hacia la red, es decir que no es posible establecer una llamada o sesión de datos, lo cual es conocido en la operación

de las redes como accesibilidad, sin embargo también es posible experimentar una baja en la retención del servicio, en otras palabras se producen caídas de llamadas.

En la gráfica 3.13 a continuación analizamos del servicio de voz, en el cual se puede observar que existe mayor número de solicitud de conexiones en las horas hábiles del día. Durante estas horas de gran demanda del servicio se observa que los valores relacionados a la accesibilidad y retención disminuyen, lo cual da lugar a una percepción baja de calidad hacia el usuario.

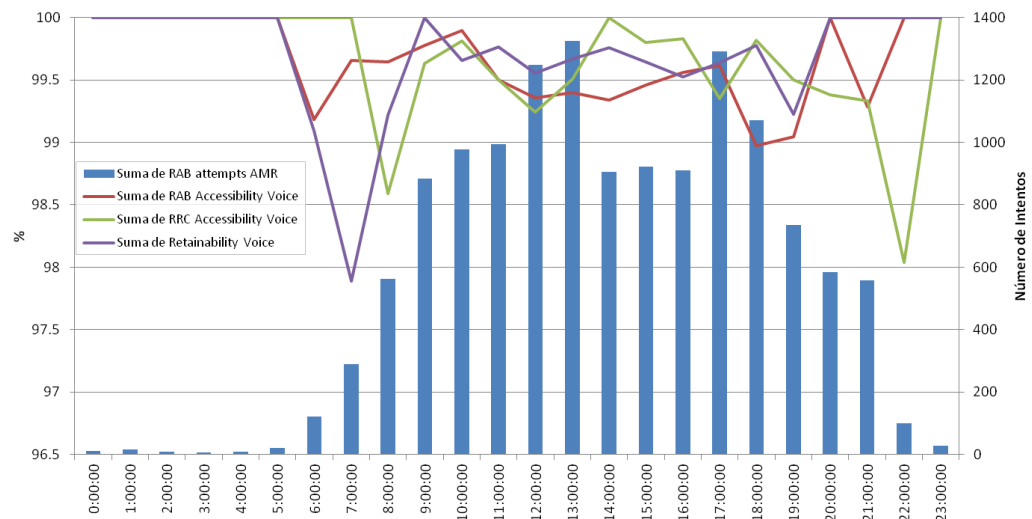


Figura 3.13. Desempeño servicio de Voz en macrocelda 3G de la zona universitaria.

En la gráfica 3.14 se muestra el desempeño del servicio de datos en HSDPA, el cual presenta un comportamiento similar al servicio de voz. Durante las horas hábiles del día se presentan gran demanda del servicio, reflejado en estadísticas por incremento en el número de intentos de establecimiento de sesiones que pasa de 5000 a 30000 que representa un incremento de 600% y esto se refleja en una baja en los KPIs de accesibilidad y retención que son los que se generan la percepción de calidad en el cliente.

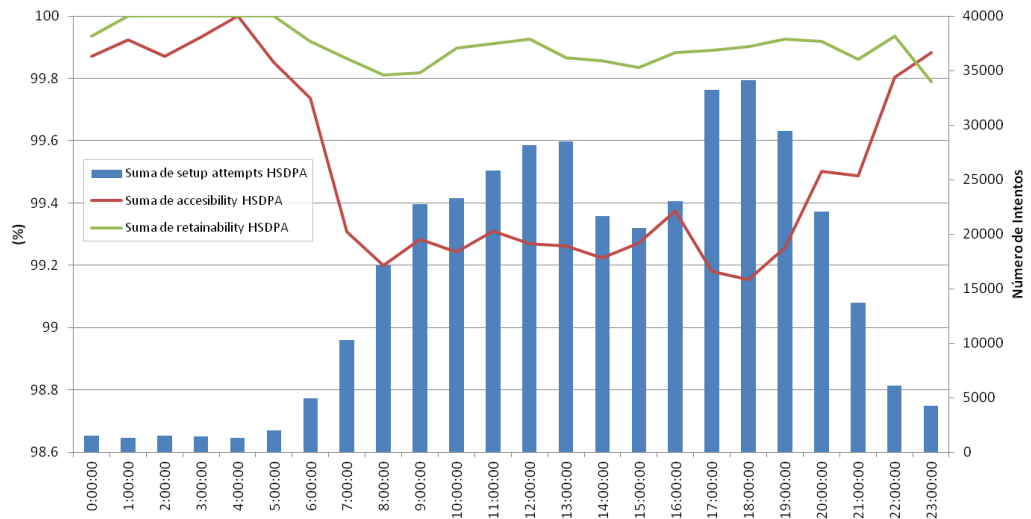


Figura 3.14. Desempeño HSDPA en macrocelda 3G de zona universitaria.

Este incremento de usuarios e intentos de conexión se traduce como es de esperar en un gran tráfico cursado en los servicios. En la gráfica 3.15 a continuación observamos el tráfico cursado por servicios de la macrocelda por horas en un día laboral de la semana.

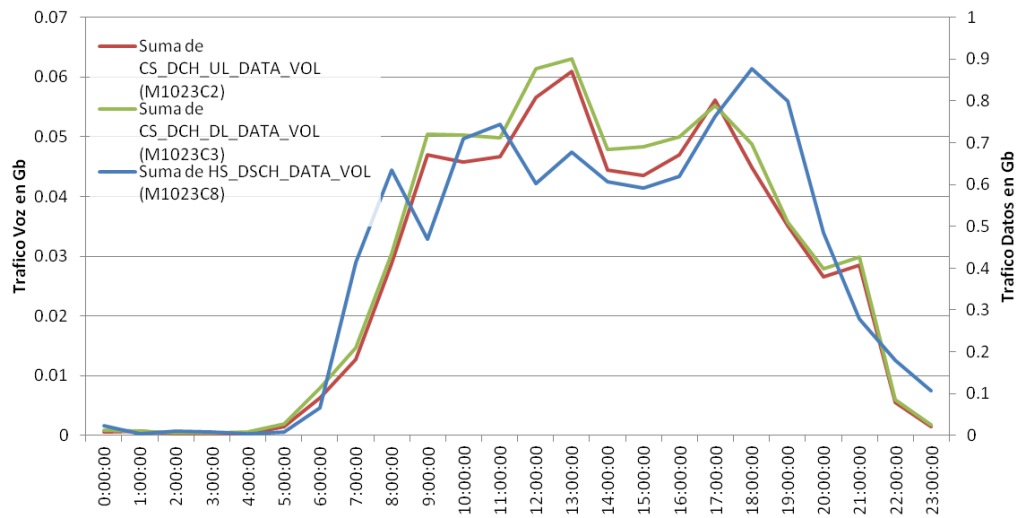


Figura 3.15. Tráfico cursado por horas en macrocelda 3G de la zona universitaria.

Este comportamiento se repite todos los días laborables de la semana, en los cuales por las diferentes actividades se concentran gran cantidad de usuarios de la red de telecomunicaciones en la zona. La grafica 3.16 a

continuación muestra el número de usuarios en los servicios HSDPA de la semana 41 del año 2013 y el tráfico generado por estos, como es de esperar cuando se tiene menor número de usuarios el tráfico cursado por la radiobase también es menor. El viernes 11 de Octubre fue festivo.

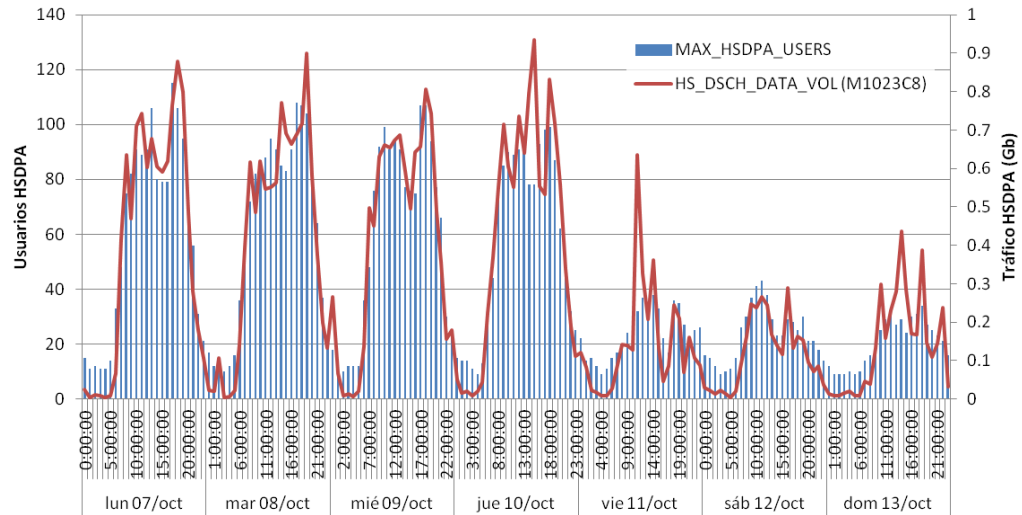


Figura 3.16. Usuarios y tráfico HSDPA en macrocelda 3G de la zona universitaria en semana 41 del 2013.

3.5.2. Evaluación zona financiera NN. UU.

Similar comportamiento se da en zonas de concentración de oficinas, como la Av. Naciones Unidas en la parte centro norte de Quito donde se concentran varios centros corporativos y donde se han desplegado varias macroceldas para satisfacer la demanda del sector. En la figura 3.17 se observa el despliegue de macroceldas de un operador en 850 MHz.

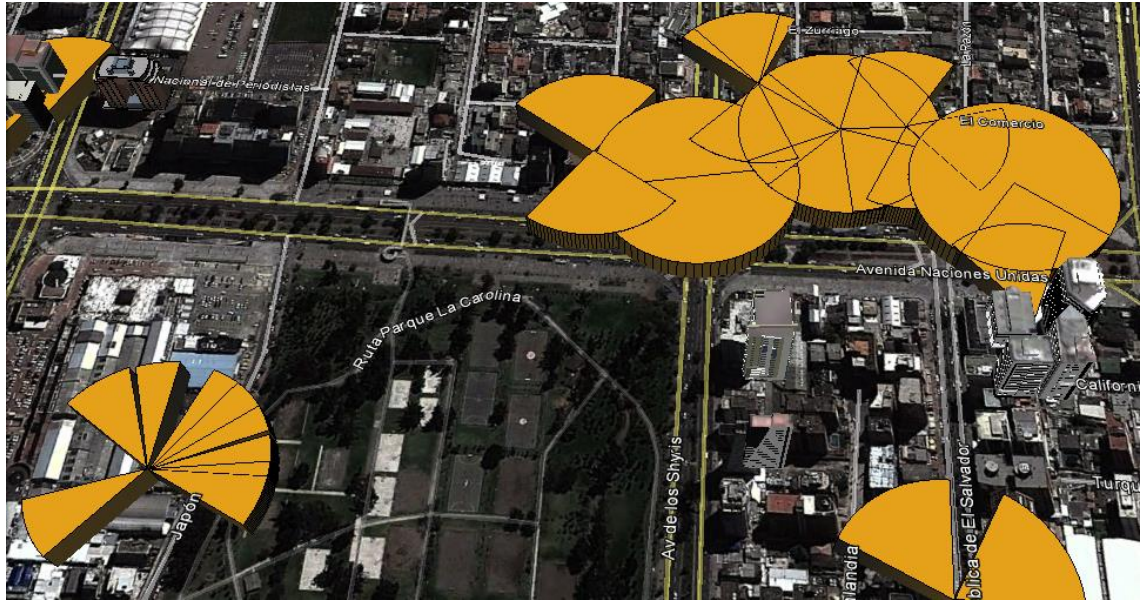


Figura 3.17. Despliegue de Macro estaciones en zona de la Av. Naciones Unidas.

A pesar de la presencia de varias macroceldas, el tráfico creciente de los servicios hacen que la oferta tecnología sea insuficiente para satisfacer la demanda. En la figura 3.18 se muestra el volumen de datos cursado por una radiobase de la zona durante 1 año. La tendencia en esta zona es un crecimiento lineal en el tiempo.

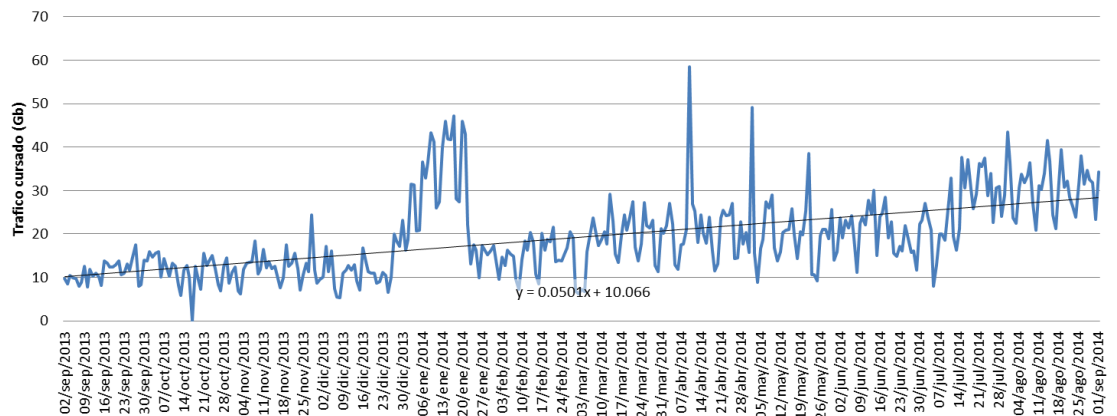


Figura 3.18. KPI de tráfico cursado por una macro celda 3G de la zona financiera.

La gran cantidad de usuarios registrados como se observa en la figura 3.19 degradan la calidad del recurso compartido de acceso que es el espectro radioeléctrico como se muestra en la figura 3.20 respectivamente.

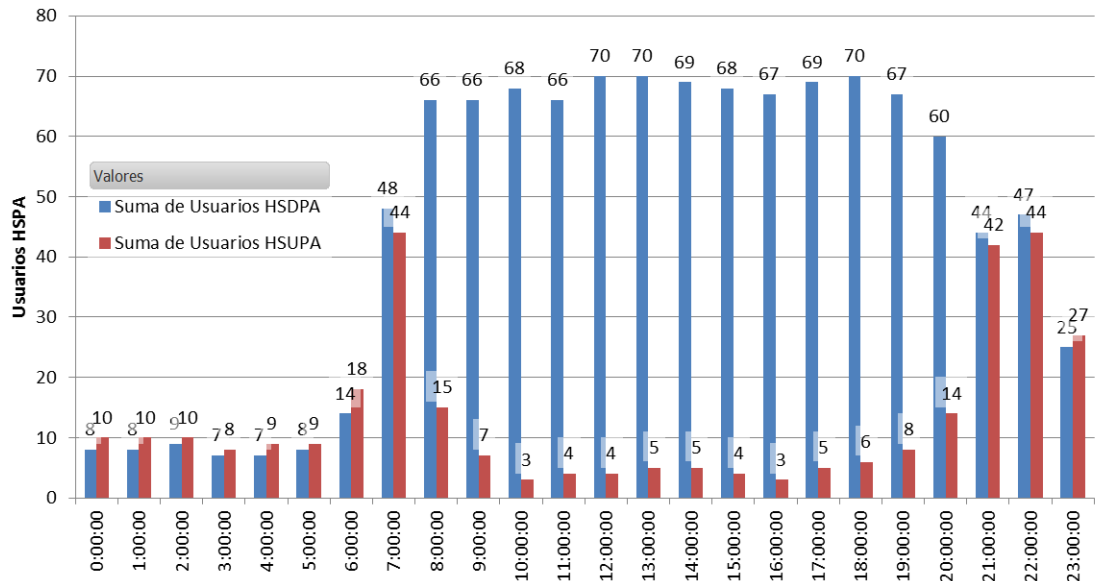


Figura 3.19. Usuarios HSPA en macrocelda 3G de la zona financiera.

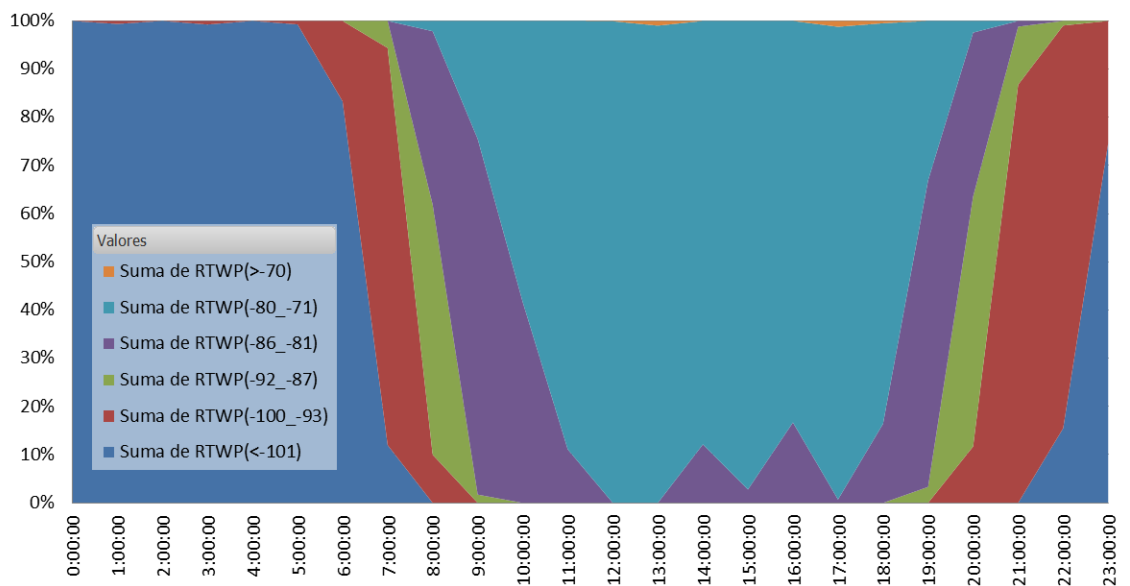


Figura 3.20. RTWP en macrocelda 3G de la zona financiera

Este comportamiento significa para el usuario una mala calidad de servicio como se refleja en las estadísticas de desempeño del servicio de voz en la figura 3.21 y del servicio de datos en la figura 3.22.

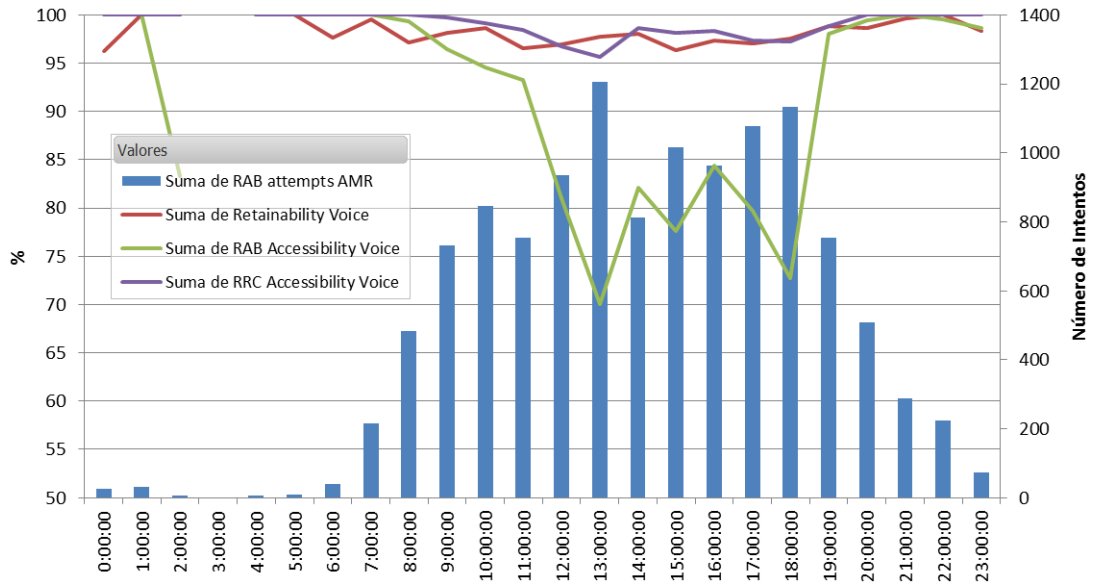


Figura 3.21. Desempeño servicio de Voz en macrocelda 3G de la zona financiera.

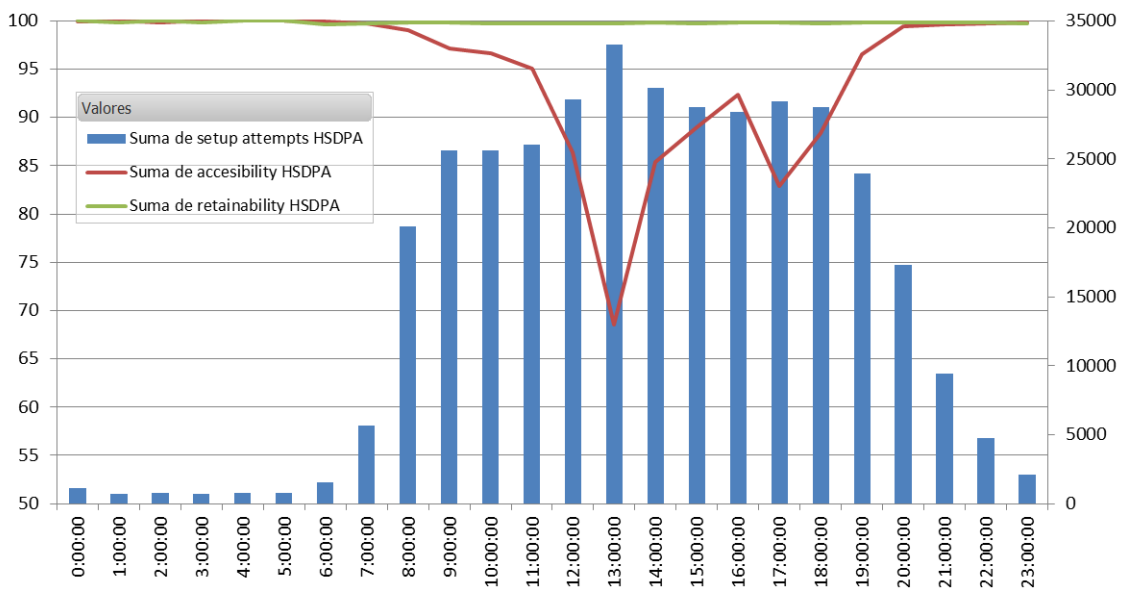


Figura 3.22. Desempeño HSDPA en macrocelda 3G de zona financiera.

Desde el punto de vista del operador los intentos de conexión que no se logran concretar significan demanda insatisfecha por falta de infraestructura. Al satisfacer esta demanda se reflejaría en más tráfico cursado por la red y por ende más facturación.

3.6. Estrategias de Implementación de redes Heterogéneas.

Para ofrecer una mejor experiencia para los usuarios de teléfonos inteligentes, las redes deben controlar un número de dispositivos por estación y tener a los usuarios lo más cerca a la estación como sea posible. Todo esto requiere la implementación de estaciones base y es ahí donde las estaciones pequeñas son atractivas para los operadores. Sin embargo, las macro estaciones seguirán siendo la mejor solución en costo beneficio para cubrir áreas rurales y dar servicio a los usuarios en movimiento.

La mejor manera de cumplir con estos requisitos es la implementación de soluciones heterogéneas, las cuales despliegan una combinación de tecnologías, frecuencias, tamaños de estaciones y arquitecturas de red para responder de manera óptima a la demanda.

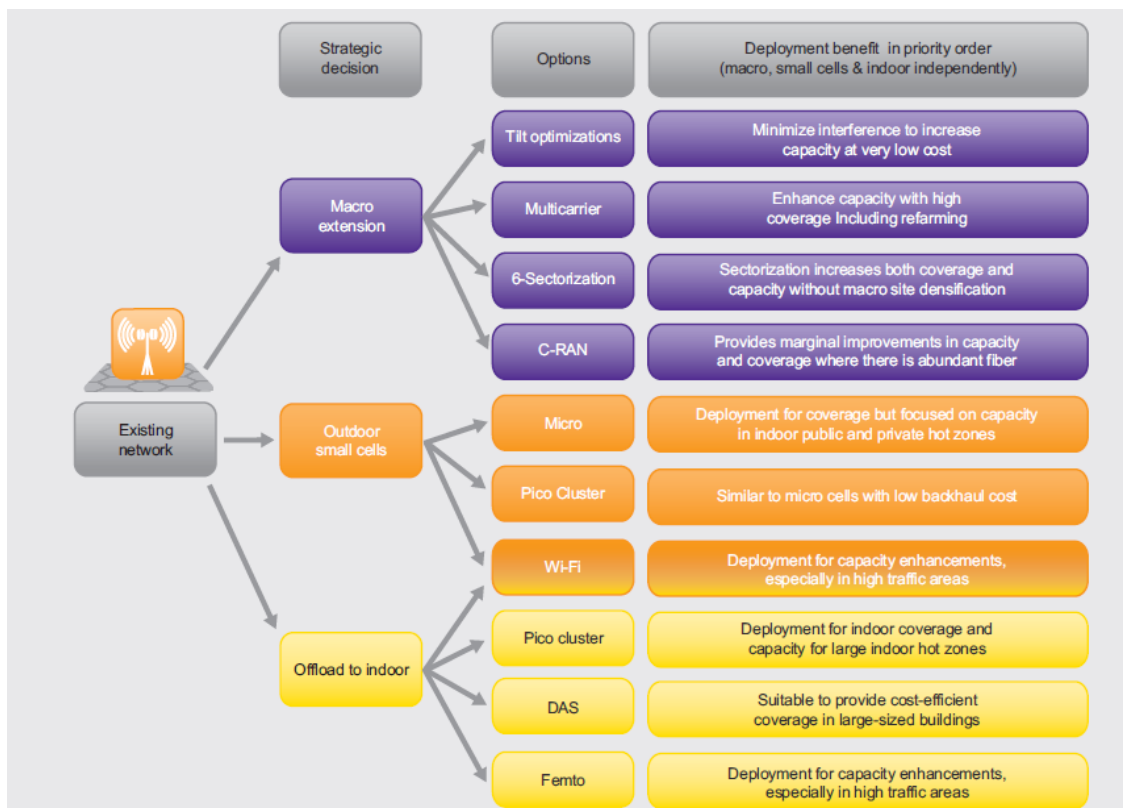


Figura 3.23. Estrategias para implementación de HetNet.

Una correcta aplicación de soluciones heterogéneas puede direccionar al usuario al mejor servidor de acuerdo a la demanda de velocidad, aplicaciones o dispositivo utilizado, además se puede ahorrar energía y reducir costos apagando capas en momentos de bajo tráfico y maximizar la eficiencia espectral con gestión de interferencias y controlando niveles de potencia automáticamente. Estos sistemas heterogéneos serán significativamente más complejos de implementar que las redes actuales y por lo tanto se requieren estrategias para su implementación como se muestra en la figura 3.22.

El primer paso es asegurarse cobertura en la banda ancha móvil, lo que implica ampliar las estaciones base macro existentes con el uso de bandas de frecuencias bajas como UMTS900 y LTE800.

El siguiente paso es aumentar la capacidad de uso del espectro, aplicando e implementando sectorizaciones y añadiendo más estaciones base macro. Se puede incrementar capacidad y cobertura en un sitio mediante la mejora de los sistemas radiantes como sistemas distribuidos o arreglo de antenas. Estas acciones minimizarán los costos en adquisición y se mejorara el entorno de radio.

Una vez que todas estas medidas se han agotado, se debe desplegar estaciones base en interiores y exteriores para crear células más pequeñas en áreas congestionadas de la red. Se debe asegurar que todas las redes estén integradas y correctamente configuradas para maximizar los recursos y no causar degradación.

3.7. Recursos de radio y gestión de interferencias en redes Heterogéneas

Tener varios niveles o capas de equipos o estaciones de base, tales como picoceldas, femtoceldas, repetidores en sistemas celulares, aumenta el impulso en el diseño de las redes inalámbricas de próxima generación. Las micro y pico células se convierten en un tema de actualidad, en parte por sus potenciales

ventajas de bajo costo en descarga del tráfico. Este nuevo escenario también supone nuevos retos para el diseño de los sistemas como el manejo de interferencias, por lo que es necesario esquemas avanzados de coordinación de interferencia que imponen requisitos más estrictos en el momento de la implementación de estos sistemas.

La interferencia entre celdas es uno de los factores limitantes en los sistemas actuales de comunicaciones móviles sobre todo en densos despliegues urbanos. Este problema es aún peor en el contexto de las redes de múltiples capas. Si tanto la célula macro y la célula micro están utilizando los mismos recursos de radio (denominado co-canal) se pueden producir los siguientes problemas de interferencia:

En el enlace descendente, un terminal alojado en una estación base macro puede ver una fuerte interferencia procedente de una micro celda, lo que puede provocar un hueco de cobertura en la macro estación. Este problema se agrava si la célula más pequeña sirve a un grupo cerrado de suscriptores (CSG), en cuyo caso un terminal puede estar muy cerca a esta micro estación base, pero no se le permite conectarse a ella (Caso A). Por otro lado, un terminal alojado en una pequeña celda puede ver una fuerte interferencia proveniente de una macro celda, en particular, si esta celda es usada como estrategia de descarga (Caso B).

En el enlace ascendente, un terminal asignado a la celda de macro, pero cerca de una micro celda normalmente crea interferencias fuertes para la micro celda (caso C). Sin embargo, esta degradación del rendimiento de la micro célula es aceptable puesto que cada terminal conectado a una pequeña celda normalmente accede a una proporción mucho mayor de los recursos de radio. Un aspecto más problemático es la interferencia de enlace ascendente que potencialmente un gran número de terminales de células pequeñas puede generar hacia una célula macro (caso D). La figura 3.23 muestra la gestión de recursos de radio en redes heterogéneas.

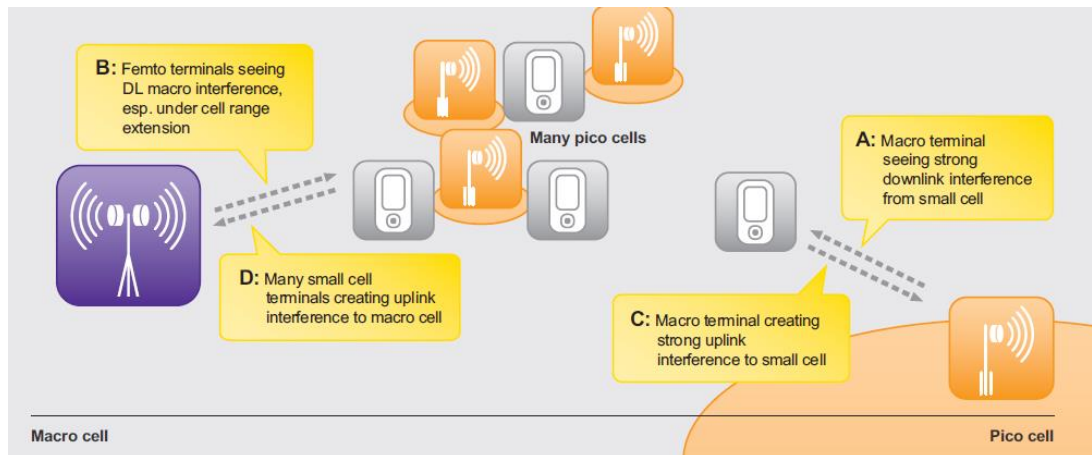


Figura 3.24. Gestión de recursos de radio.

La interferencia se incrementa o disminuye si el borde de la celda se desplaza hacia la célula más grande o más pequeña, por ejemplo, por la dirección del tráfico o manejo de movilidad.

En las redes heterogéneas, los recursos de radio pueden dividirse entre las células grandes (macroceldas) y células pequeñas (picocells, femtoceldas) en diferentes dominios de recursos tales como: el tiempo, la frecuencia y del espacio. Cuando múltiples portadoras de frecuencia están disponibles, el camino para la gestión de recursos de radio en redes heterogéneas es sencillo, se puede utilizar frecuencias diferentes en diferentes portadoras tanto para eNBs macro y HeNBs. De lo contrario, se puede utilizar diferentes intervalos de tiempo en cada macro eNBs y HeNBs que utilizan las mismas frecuencias portadoras. Se puede utilizar también avanzados sistemas de haz de antenas que permiten cancelación de interferencia. También se puede aplicar control de potencia y varias técnicas de cancelación de interferencia.

En los casos de portadora única y de múltiples portadoras, es necesario aplicar algún esquema de reducción de la interferencia para lograr la mejora del rendimiento celular. Sin esas técnicas, el rendimiento del sistema de redes heterogéneas podría incluso ser peor en comparación a la utilización de redes homogéneas

Capítulo IV

4.1. Marco conceptual Financiero

En la actualidad el mundo de los negocios cambia con mayor rapidez que nunca antes. El uso inteligente y razonado de la investigación es fundamental para mantener el ritmo del negocio. Una correcta investigación del mercado y de nuevos productos ayuda a los clientes y operadores del sector telecomunicaciones a sacar mayor provecho de nuevas tecnologías y permiten para descubrir estrategias que funcionen y beneficien al negocio.

Las redes homogéneas pueden definirse como aquella arquitectura que hace uso exclusivo de una única tecnología de radio en el acceso, independientemente de la potencia de transmisión de cada radiobase que forman la red de un operador. La mezcla de diferentes tipos de tecnología de radio con el fin de buscar una eficiencia técnica y económica para la explotación comercial de las redes móviles estimula el uso de macroceldas junto a nodos de baja potencia, trabajando en conjunto y sin problemas, se conoce como redes heterogéneas o HetNet.

Una correcta investigación de mercado y de soluciones tecnológicas resulta benéfica para establecer un modelo de negocio ya que la decisión de aplicar tecnologías no es automática, estas decisiones deben sustentarse en varias consideraciones como la comparación entre costos y beneficios, recursos necesarios, temas regulatorios y la viabilidad de llevar a la práctica estas soluciones.

4.2. Modelamiento de costos para una red Heterogenia

Las redes Heterogéneas son consideradas como una solución viable para incrementar capacidad y cobertura para el acceso inalámbrico hacia las redes

móviles. Debido a la calidad de nivel de señal que requieren los móviles y las redes para transmitir a grandes velocidades los operadores pueden reducir sus costos significativamente explotando correctamente las diferentes tecnologías de radio acceso. La manera de identificar una eficiente combinación de tecnologías de radio acceso puede ahorrar mucho dinero a las compañías de telecomunicaciones por lo que utilizar una metodología para estimar el costo total de la infraestructura para una distribución de tráfico no uniforme es importante en la planificación de redes.

El desarrollo de infraestructura Heterogénea puede ser beneficioso por varias razones ya descritas en capítulos anteriores, de todas maneras el incremento de tráfico requiere un incremento en infraestructura lo cual se refleja un incremento en el número de estaciones celulares a desplegar, sin embargo si la cobertura del tráfico es focalizado y pequeño comparado a los rangos que maneja una macro estación el desarrollo de una gran estación pudiera resultar innecesario y muy costoso. En el siguiente ejemplo se explica el desarrollo de micro y pico estaciones para cubrir la demanda de tráfico en zonas focalizadas como complemento a una macro estación base.

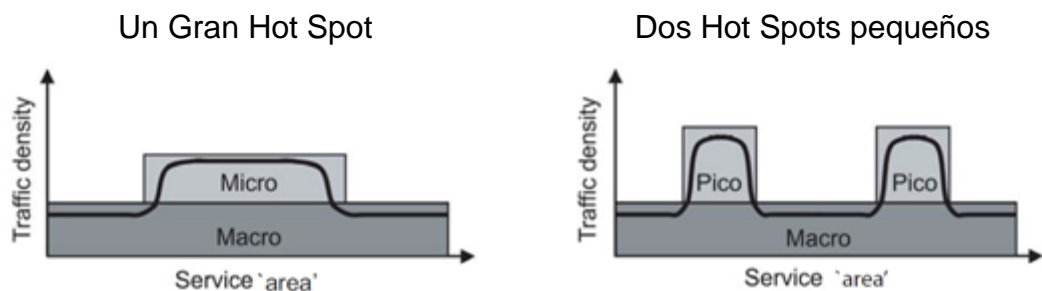


Figura 4.1. Combinación de una Macro estación con Micro (1) y Pico Estaciones (2)

Se asume que la macro celda se desarrolla como una capa de cobertura base como se muestra en la figura 4.1, sin embargo se detecta problemas en la capacidad de este nodo por lo que es necesario el desarrollo de un nuevo nodo como solución. En el primer caso en el gráfico de la izquierda se detecta un zona de demanda de tráfico la cual puede ser cubierta por una micro celda o por 3 pico celdas, asumiendo que la pico estación cuesta 50% menos que la

micro estación, la utilización de una micro estación base resulta ser 33% más barata en este caso, sin embargo en el gráfico de la derecha se detecta 2 zonas focalizadas de tráfico separadas geográficamente las cuales pueden ser cubiertas por 2 micro estaciones o 2 pico estaciones, en este paso el uso de pico estaciones resulta ser 50 % más barato.

Una correcta decisión en la implementación de la solución así como una optimización en la interacción de los nodos macro con los pico o micro nodos, no solo permiten solventar los problemas de capacidad y calidad sino también incrementar el tráfico cursado por las estaciones. En la siguiente simulación que se muestra en la figura 4.2 presentada por Huawei Technologies se observa que al combinar soluciones macro con HetNet el tráfico cursado en datos por celda se incrementa en un 80% a 130%.

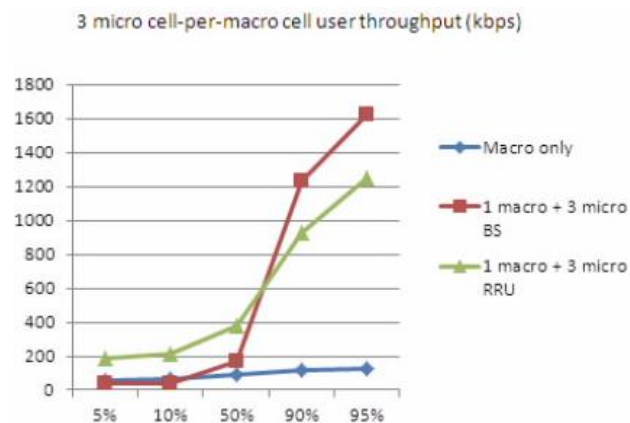


Figura 4.2. Carga de usuarios de la Celda en % vs. Trafico cursado por la celda.

En otra investigación realizada por Harri Holma y Fernando Sanchez Moya en su publicación "*HSPA+ Evolution to Release 12 Performance and Optimization*" en el capítulo referente a redes heterogéneas, se simula una combinación de macro estaciones de 3 sectores de 20W con antena externa de ganancia 14 dBi y micro celdas con potencias de 0.25 W a 5W con antenas omnidireccionales de 5 dBi repartidas aleatoriamente en un área de cobertura de 500 m, se observa un incremento en la capacidad de la red cuando se utiliza micro celdas. El rendimiento del sistema fue de 6 Mbps sin micro celdas, 18

Mbps con dos microceldas, e incluso los 27 Mbps con cuatro micro celdas. Es interesante notar que la capacidad proporcionada por las microceldas es aproximadamente la misma que la capacidad de la macrocelda, que es 6 Mbps por celda como se muestra en la figura 4.3.

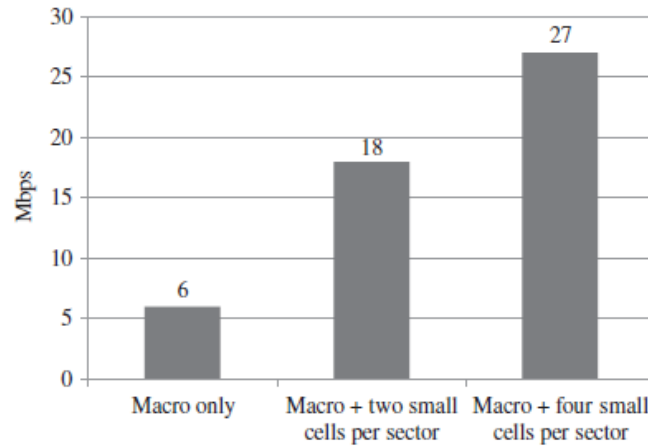


Figura 4.3. Capacidad de red con combinación de celdas pequeñas.

A continuación se intenta definir un modelo de costo de infraestructura basado en una densidad de tráfico no uniforme, un algoritmo de dimensionamiento y métricas de costo. En el cual una estación base de clase i es asociada con un costo c_i . El costo total de la red definido por c^{tot} y se calcula con una simple formula:

$$c^{tot} = \sum_i c_i * n_i \quad (4.1)$$

Este valor se lo asume por mes por suscriptor, por razones de simplicidad se asume un costo promedio por cada estación base. Las variaciones en alquiler del sitio, costo variable de transmisión, etc, no se consideran, tampoco se incluyen costos en *core network* como equipos de facturación, plataformas de servicio, etc únicamente se considera la red de radio acceso. Los derechos de licenciamiento de espectro también están excluidos en este modelo. En la figura 4.4 se muestra los elementos de red incluidos en el modelo de costo.

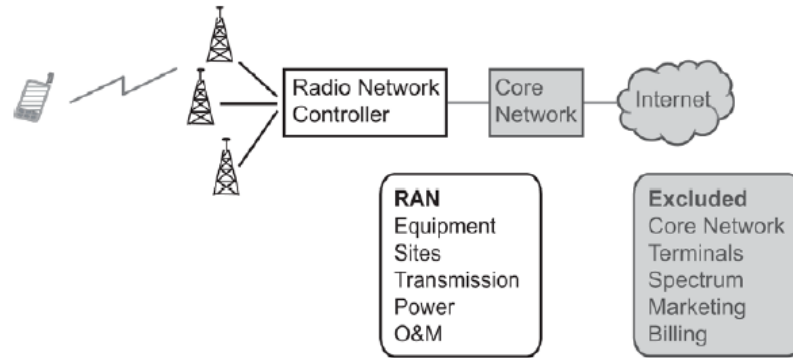


Figura 4.4. Elementos de la red de acceso considerados en el modelo de costo.

En una red de varios tipos de estaciones bases, cada una tienen diferentes características y son dimensionadas para servir una cierta demanda de tráfico en términos de tráfico promedio por unidad de área.

Una estación de clase i se caracteriza por un promedio de descarga S_i^{max} en un rango de cobertura r_i . Estos dos atributos varían de acuerdo a la calidad de servicio del diseño de la red y dependen de variables como capacidad, bloqueo, velocidad de transmisión, retardo, pérdidas de propagación e interferencia, por lo tanto son exógenos al presente modelo de costos.

Se utiliza un método heurístico simple para dimensionar la red de acuerdo con un mapa de tráfico. Si denotamos el promedio de descarga ofrecido para cada usuario durante la hora más cargada como s [kbps], podemos considerar el área de cobertura por promedio de velocidad por usuario como s_j^a [kbps] donde j es el área de muestra de tamaño a [km^2] de donde:

$$s_j^a = s\lambda_u(x, y)a \quad (4.2)$$

En la cual $\lambda_u(x, y)$ [usuarios/ km^2] es una variable randómica que describe la densidad de usuarios en una coordenada (x, y) .

El número total de estaciones base a desarrollar por cada tipo se define

como n_i Las estaciones base que se desplegarán están ordenados en orden decreciente de rango por la estación base r_i para cada tipo estación base:

Cada muestra área j está asociada con la respectiva estación de base candidata más cercano (k) (con respecto a la distancia euclidiana) de manera que las muestras de la zona en el conjunto A_k están asociados con el sitio de k

La velocidad ofrecida por cada sitio candidato k se calcula con:

$$s_k^{tot} = \sum_{j \in A_k} s_j^a \quad (4.3)$$

El número de portadoras n_k^i desarrolladas en un sitio k está dado por:

$$n_k^i = \min \left\{ \left\lceil \frac{s_k^{tot}}{s_i^{max}} \right\rceil, n_i^{max} \right\} \quad (4.4)$$

Dónde: n_i^{max} determina el número máximo de portadoras por cada tipo de estación base i .

En caso $s_k^{tot} > s_{max}^i n_i^{max}$, que corresponde a que no todo el tráfico asociado con esa estación base podría ser soportado, varios elementos de tráfico se asignan al sitio k en un orden creciente del tráfico ofrecido por área de muestra s_j^a hasta desplegar el número máximo de portadoras en ese sitio.

De esta manera, el tráfico residual puede ser soportado con las estaciones base de menor alcance y pertenecerán principalmente a las áreas de tráfico con la mayor densidad de usuarios. Si no existe tráfico residual, el área se abastece del tráfico ofrecido por la macro estación.

Para obtener el costo total de la red con capacidad para este tráfico residual, las estaciones base se despliegan en un orden ascendente de la velocidad

total ofrecida por la estación de base dividido por el coste por estación base (hasta que se alcanza el nivel deseado de cobertura de tráfico).

Los parámetros de rendimiento y costes para varios tipos de estaciones base se resumen en la Tabla 4.1. Es necesario considerar que estos parámetros dependen de un gran número de factores (geográficas, demanda de tráfico, impuestos, rentas locales, etc) y puede, en un caso real, desviarse de las cifras mostradas.

Tabla 4.1.

Parámetros generales de tipos Base y comparativa de costos.

Base station class	Bandwith [MHz]	Range [m]	Throughput [Mbps]	Cost coefficient [Rel. to macro]
HSDPA Macro (3-sector)	5 – 15	250	[1 - 3] x 7.5	1.0 + 0.15 per carrier
HSDPA Micro	5 – 10	100	[1 - 2] x 2.5	0.33 + 0.33 per carrier
HSDPA Pico	5 – 15	50	[1 - 3] x 2.5	0.20 + 0.017 per carrier
LTE	20	As HSDPA	90 (macro), 30 (micro, pico)	As HSDPA
IEE 802.11a Hotspot	20 – 60	25	22	0.10

Los valores de los costos para una estación base con 3 sectores y una portadora se muestran en la siguiente figura 4.5, estos costos son estimados en el año 2006 e incluyen los costos de CAPEX como los asociados a la compra de equipos e infraestructura y los OPEX como operación y mantenimiento, última milla, energía eléctrica y renta del sitio. El tiempo de vida de la red se supone a 10 años para todas las tecnologías. En los equipos y última milla se considera una depreciación del 10% por año, mientras que en los costos de energía eléctrica se supone un aumento del 10% por año.

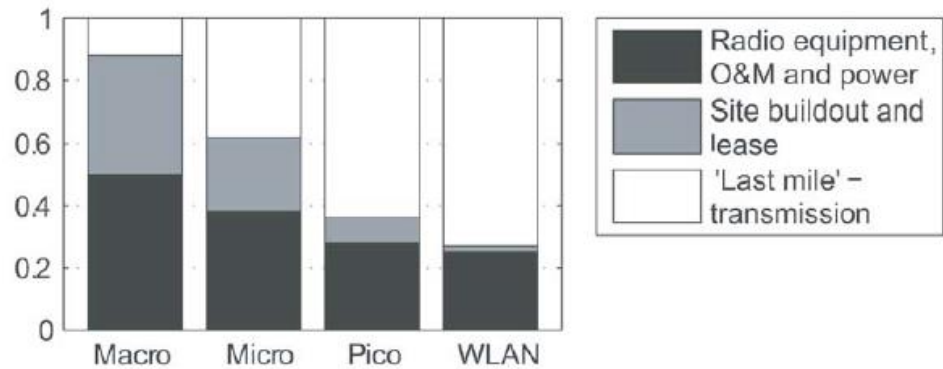


Figura 4.5. Costos por tipo de Estación Base incluidos CAPEX y OPEX.

Los datos sobre los costos por estación base fueron tomados de una investigación denominada “*Modelling the cost of heterogeneous wireless access networks*” publicada en el International Journal of Mobile Network Design and Innovation, Vol. 2, No. 1, 2007 por Klas Johansson and Jens Zander, los cuales se basan en un análisis de mercado realizado en el año 2006.

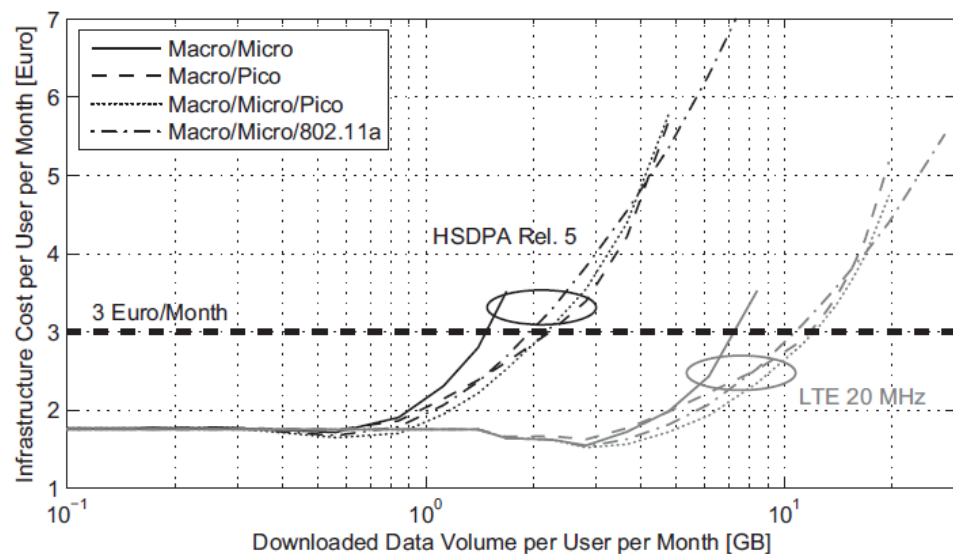


Figura 4.6. Ejemplos de costo de infraestructura por usuario por mes en función del volumen de tráfico cursado para diferentes combinaciones de estaciones base y puntos de acceso.

En la siguiente figura 4.6 se muestra el costo mensual por usuario en función del volumen descargado por mes y las diferentes combinaciones en una red heterogénea. Los parámetros que se muestran son modelados para un área

urbana con 3000 suscriptores/km², para las tecnologías HSDPA y LTE. Se observa que luego de alcanzar la capacidad de 1 Gb en HSDPA y 3 Gb en LTE el costo por usuario se incrementa y el uso de tecnologías heterogéneas incrementa el rendimiento en las respectivas redes.

4.3. Soluciones HetNet de Nokia Networks

Las diferentes tecnologías de radio acceso y redes Wi-Fi pueden coexistir y las macro estaciones se complementará con soluciones, tales como micro, pico y femto celdas. A continuación presentamos las soluciones de *Nokia Networks* ofrece en el mercado de las telecomunicaciones.

4.3.1. Zona Flexi

La solución Flexi Zone Suite es una solución celular 3G/LTE/Wi-Fi, diseñado para descargar el tráfico de la red macro a una red auxiliar a nivel de calle o ubicada en ambientes internos de edificios, tanto para los suscriptores individuales como empresariales.

La Zona Flexi crea una zona cubierta por un grupo de puntos de acceso de baja potencia conectados a un controlador local. Esta configuración permite a los operadores ofrecer una mayor experiencia de usuario ayudando que la descarga de tráfico de datos se realice por estas soluciones para no recargar sus redes macro.

Zona Flexi es un tipo de solución para acceso múltiple como se muestra en la figura 4.7, administrados localmente que se utilizan para crear una red de células pequeñas interconectadas que ayuda a los operadores para añadir cobertura y capacidad a las macro celdas existentes sobre todo en zonas *indoor*, edificios y centros de gran afluencia de personas y tráfico.



Figura 4.7. Solución Nokia Zona Flexi.

4.3.2. Smart Wi-Fi

Smart Wi-Fi es una solución punto a punto (*end to end*) para la optimización y control de redes Wi-Fi que se integran perfectamente con las macro redes celulares. La solución Smart Wi-Fi de Nokia tiene cuatro módulos para aprovechar las fortalezas de la tecnología Wi-Fi y las tecnologías celulares esto se muestra en la figura 4.8 y son: Smart Wi-Fi Connect, Smart Wi-Fi Converge, Smart Wi-Fi Optimizar y Smart Wi-Fi. El uso de cada uno de estos módulos aborda un aspecto específico de la red Wi-Fi a las redes celulares:

Smart Wi-Fi Connect, provee puntos de acceso Wi-Fi *hotspots* lo cual brinda expansión de las redes. Smart Wi-Fi Converge, comprende la administración de dispositivos Wi-Fi del abonado con la infraestructura de autenticación de las redes. Smart Wi-Fi Optimize, proporciona direccionamiento del tráfico hacia la mejor red disponible para el usuario y Smart Wi-Fi Personalize, que permite a los operadores identificar usuarios VIP para mejorar su experiencia de servicio.



Figura 4.8. Solución SMART Wi-Fi

4.3.3. Femtoceldas

Las femtoceldas son pequeñas estaciones base celulares utilizadas por el usuario final para conectarse a la red del operador de telefonía móvil a través de su conexión de banda ancha. Las soluciones Femtoceldas de Nokia ofrecen a los operadores móviles opciones de menor costo para aumentar la cobertura interior y capacidad de red.

Su uso residencial y empresarial permite a las empresas obtener una respuesta rápida y eficiente a una de las principales barreras para su productividad, la falta de ancho de banda, sobre todo en el interior de los edificios. Las femtoceldas Nokia pueden ser usadas también en espacios públicos para proporcionar cobertura y alta capacidad en áreas con muchos usuarios y un alto uso de banda ancha como centros comerciales o plazas públicas.

4.3.4. Estación Base Flexi Lite

La estación Base Nokia Siemens Networks Flexi Lite es una pequeña estación todo en uno optimizada para entornos micro celular al aire libre. La aplicación principal de esta solución es rellenar huecos de cobertura o capacidad tanto en exteriores como en interiores. La estación base es lo suficientemente pequeña como para ser utilizado como una estación base pico

en locales públicos, por ejemplo, en los aeropuertos o estaciones de ferrocarril.

Los beneficios en ahorro en CAPEX son notables por su consumo de potencia optimizado para células pequeñas y su tamaño pequeño y ligero que significa un ahorro en términos de costes de la infraestructura del sitio.

4.4. Propuestas de valor agregado para la aplicación de HetNet

Dependiendo de las necesidades de la red móvil para incrementar cobertura, capacidad o mejorar la percepción de calidad de los usuarios, se pueden aplicar las diferentes soluciones heterogéneas para satisfacer las mismas. A continuación vamos a revisar 2 casos de éxito de la aplicación de redes heterogéneas en un operador local.

4.4.1. Expansión de cobertura

Una de las más comunes aplicaciones de las soluciones heterogéneas es el incremento de cobertura del servicio. En telecomunicaciones, el término cobertura se refiere al área geográfica en la que se dispone el servicio. A diferencia de la implementación de soluciones macro en las cuales es necesario permisos ambientales, constructivos, entre otros los cuales dilatan su despliegue a varios años, la implementación de soluciones HetNet pueden llegarse a realizar en pocos días.

Según ARCOTEL la cobertura se define como el nivel mínimo de señal que permite la prestación del servicio en la zona de medición y/o carretera. Los niveles mínimos de señal según el anexo D del título habilitante para operadores de servicio móvil avanzado se definen con los parámetros RSCP para 2G y RSCP, Ec/Io para 3G. A continuación se revisa la definición de estos parámetros técnicos:

RxLevel: Nivel de recepción sobre el canal de control en modo Idle.

RSCP: Potencia recibida después del despreading en modo Idle.

Ec/Io: Relación de energía chip e Interferencia en modo Idle.

Los niveles mínimos de según cada tecnología se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 4.2.

Mínimos de cobertura por tecnología.

Servicios	2G	3G	
	RX level	RSCP	Ec/Io
Voz	≥ -80 dBm	≥ -80 dBm	≥ -12 dB
Datos	≥ -85 dBm	≥ -85 dBm	≥ -14 dB

A continuación se presenta un caso real de un operador móvil local, en el cual se registra bajos niveles de cobertura indoor en la zona de Amazonas y Colon en Quito. Los niveles registrados no permiten la realización de llamadas de voz ni datos. Las macro estaciones celulares disponibles del operador no cubrían con buenos niveles de señal los interiores de un cliente corporativo, lo cual generaba quejas por una mala recepción del servicio. El desarrollo de una macro estación en la zona está planificado, en la figura 4.9 se puede observar el despliegue de macro estaciones celulares en la zona, sin embargo los tiempos del despliegue de la estación macro son muy distantes para solucionar el problema de este cliente y sus continuas quejas.

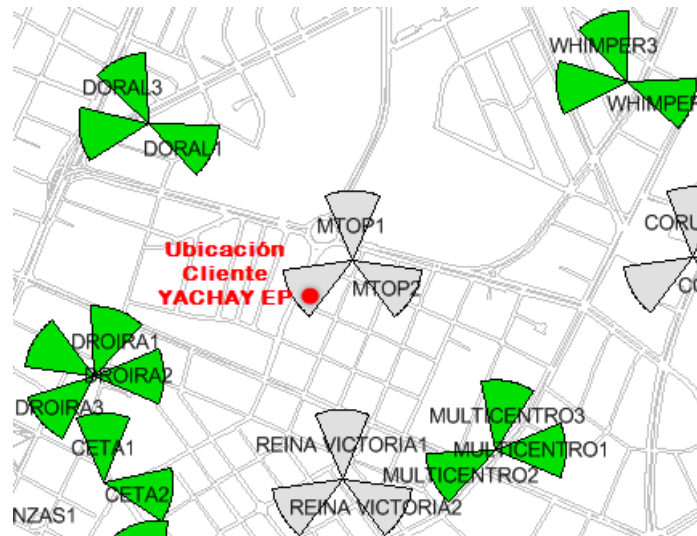


Figura 4.9. Macro estaciones disponibles + planificadas y ubicación de cliente.

Para solucionar el ticket de forma temporal hasta disponer de la macro estación celular planificada, se realiza el despliegue temporal de equipos repetidores de señal Cel-Fi de marca Nextivity que se detallan en la tabla 4.2, los cuales amplifican la señal móvil externa en el interior del edificio.

Tabla 4.3. Detalle equipos Cel-Fi.

Item	Cantidad	Descripción	Marca	Serie
1	1	Cel-Fi Windows Unit	NEXTIVITY	153235001355
2	1	Cel-Fi Coverage Unit	NEXTIVITY	153235001355

Los niveles de señal registrados luego de la instalación de los equipos de red heterogéneas, permiten solucionar los problemas de señal al interior del edificio del cliente como se puede observar en la tabla 4.3 y tabla 4.4.

Tabla 4.4. Niveles de señal RSCP con aplicación de HetNet.

RSCP (dBm)	% Área de cobertura Antes	% Área de cobertura Después	Delta (mejora)
-85 a 0	0	11.20	11.2
-95 a -85	4.51	28.57	24.06
-105 a -95	38.35	49.02	10.67
-120 a -105	57.14	11.20	-45.94

Tabla 4.5.

Niveles de señal Ec/Io con aplicación de HetNet.

Ec/Io (dB)	% Área de cobertura Antes	% Área de cobertura Después	Delta (mejora)
-10 a 0	5.26	31.37	26.11
-12 a -10	33.83	44.54	10.71
-15 a -12	48.12	22.13	-25.99
-50 a -15	12.78	1.96	-10.82

Los niveles de señales registrados previamente no permitían el establecimiento de ningún servicio que ofrece el operador móvil, sin embargo posterior a la instalación de los equipos los niveles registrados permiten el establecimiento de servicios de voz y datos como se puede observar en la figura 4.10. El despliegue de esta solución HetNet repetidor de señal permite solucionar el problema de conectividad del cliente de manera rápida y efectiva con un costo muy bajo para el operador.

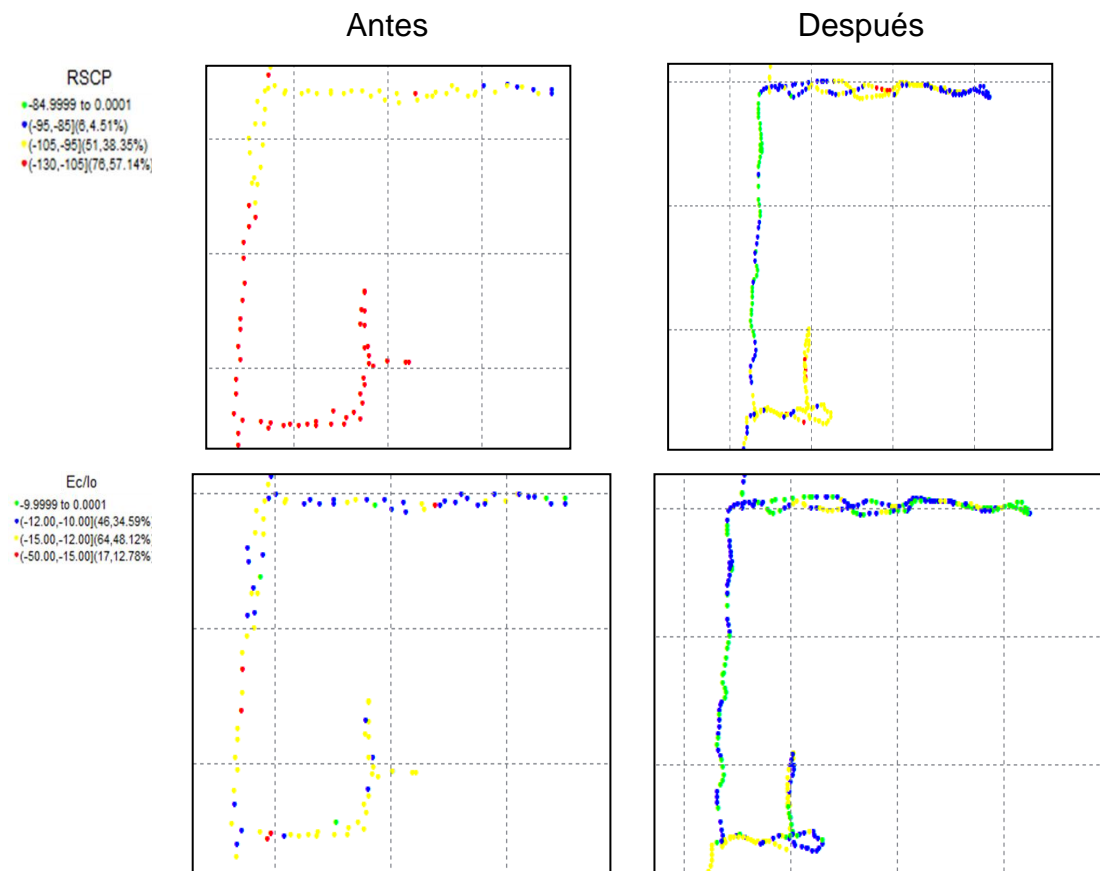


Figura 4.10. Niveles de señal RSCP y Ec/Io registrados antes y después de la implementación de HetNet en las instalaciones del cliente corporativo.

4.4.2. Incremento de capacidad

En las zonas de gran concentración de usuarios, el desempeño en capacidad de las macro celdas empeora al tener un recurso de radio acceso compartido. La identificación de *hotspot* o puntos de concentración de demanda de tráfico y la respectiva instalación de soluciones HetNet en los mismos, ayudan a mejorar el ambiente de radioacceso en la zona lo que a nivel de usuario final significa una mejora significativa en la calidad de servicio e incrementa el tráfico de los servicios que ofrecen los operadores móviles.

A continuación se muestra la instalación de una solución DAS en un *hotspot* identificado en la zona financiera de la Av. NN. UU. en Quito por parte de un operador móvil en frecuencia 850 MHz. La figura 4.11 se puede observar la distribución de antenas en los pisos 3, 4, 5 y 6 del edificio identificado como *hotspot* por su alto número de clientes corporativos.

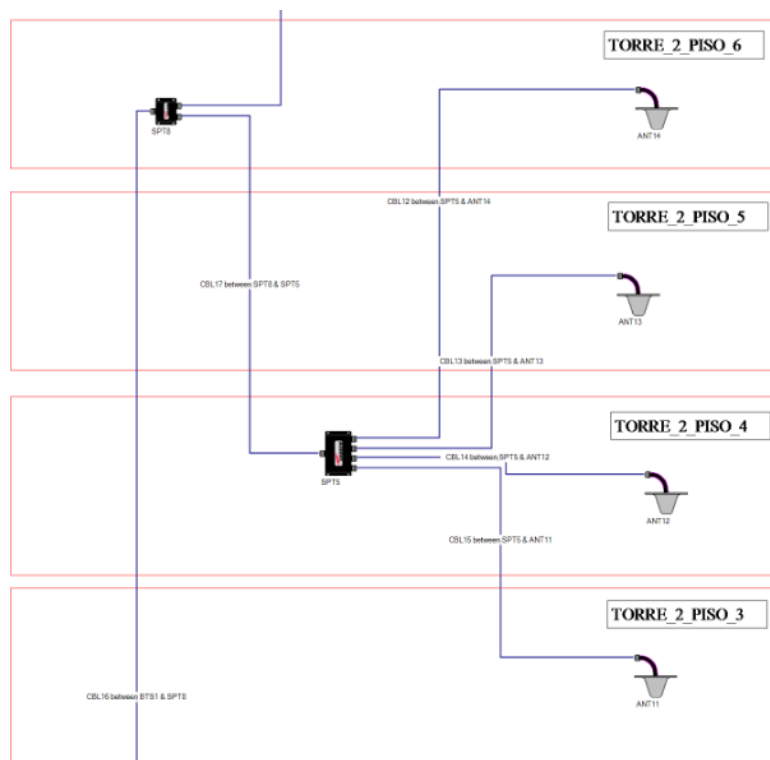


Figura 4.11. Distribución de antenas en edificio hotspot.

Después de la instalación y puesta en servicio el nuevo nodo interior para este *hotspot* se observa un incremento en el número de usuarios en los servicio de datos que manejan las macro celdas de la zona, así como un incremento en la cantidad de tráfico de voz y datos de los servicios como se puede ver en la figura 4.12.

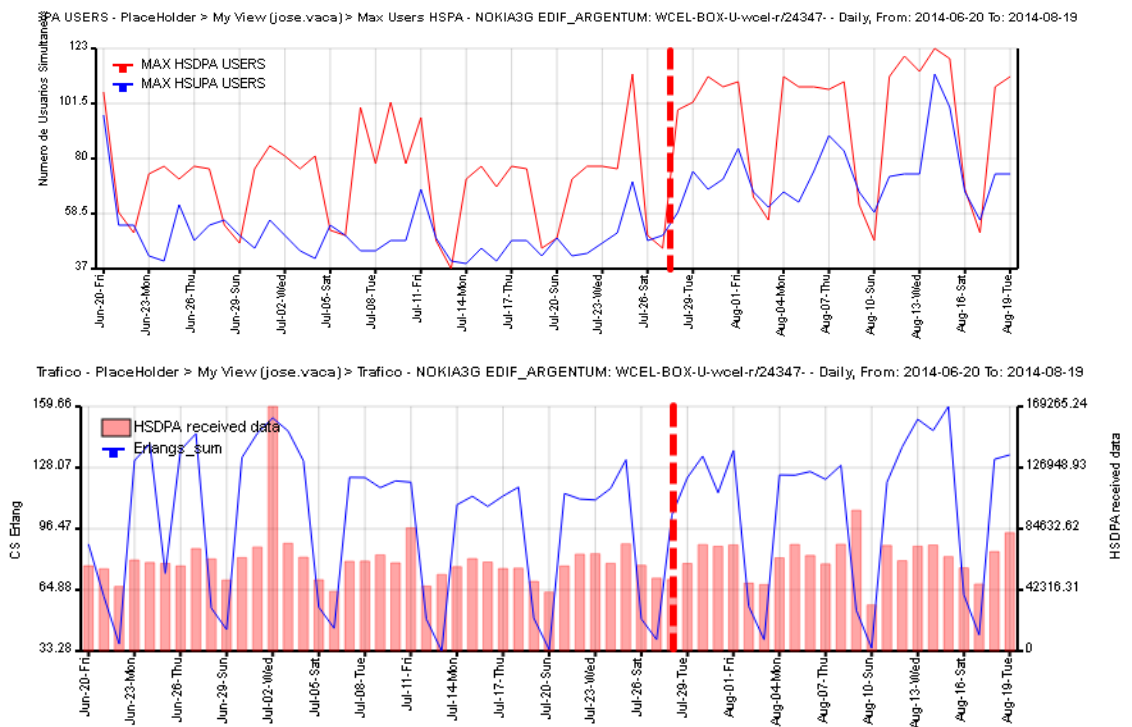


Figura 4.12. Incremento de usuarios y tráfico en zona con HetNet.

Capítulo V

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

Según los datos recolectados en un operador local en Ecuador en una zona identificada como HotSpot se tiene un crecimiento en el tráfico de datos con una línea de tendencia de R^2 de 0.504. Esta creciente en el tráfico de las redes provoca una rápida ocupación de la infraestructura de las operadoras de telefonía móvil, llegando incluso a existir demanda insatisfecha y degradación de percepción del servicio móvil en los usuarios.

Para solventar la creciente demanda de tráfico de datos móviles es necesario nuevas inversiones tecnológicas por parte de los operadores para garantizar un nivel adecuado en el servicio y a su vez mayores ganancias. En las tecnologías tradicionales de acceso móviles existen limitaciones relacionadas con la cantidad de espectro disponible para cada tecnología y cada operador de telefonía móvil, lo cual limita la capacidad ofrecida por las estaciones base a un número determinado de usuarios.

Las redes heterogéneas satisfacen la creciente demanda de tráfico de manera efectiva y similar a las macroceldas tradicionales llegando a brindar hasta 130% más capacidad y al ser estaciones base de menor tamaño el costo de implantación y el tiempo de despliegue de las mismas también es menor. En el mercado existen varios tipos de soluciones de redes heterogéneas ya que se combinan tamaños de estaciones base, potencias de radiación y tecnologías.

El uso de redes heterogéneas optimizan el uso del espectro radioeléctrico lo cual permite un mejor desempeño de las macroceldas que dicho de otra manera significa un mejor calidad de servicio hacia el usuario de los servicios de telefonía móvil.

Es indispensable un análisis de las necesidades de los operadores de telefonía móvil y/o problemas reportados por los clientes para determinar la solución más idónea. Para la implementación de las redes heterogéneas es necesario realizar una correcta elección del tipo de solución tecnológica. Esta planificación debe darse en función de las necesidades que el operador móvil tenga en una determinada zona geográfica. Los objetivos para la implementación de las redes heterogéneas pueden llegar a ser en función de satisfacer cobertura de una o varias zonas, o para satisfacer el incremento en la capacidad de las red en un determinado punto. En la planificación además se tiene que analizar la interacción con las macroceldas, ajustes en el control de potencias, validación de objetivo de coberturas, validación de la gestión de equipos, entre otros aspectos. Una correcta planificación ayudará a mejorar el desempeño a nivel de red y reducir costos en la operación.

5.2. Recomendaciones

Para la implementación de las redes heterogéneas es necesario realizar una correcta elección del tipo de solución tecnológica. Esta planificación debe darse en función de las necesidades que el operador móvil tenga en una determinada zona geográfica. Los objetivos para la implementación de las redes heterogéneas pueden llegar a ser en función de satisfacer cobertura de una o varias zonas, o para satisfacer el incremento en la capacidad de las red en un determinado punto. En la planificación además se tiene que analizar la interacción con las macroceldas, ajustes en el control de potencias, validación de objetivo de coberturas, validación de la gestión de equipos, entre otros aspectos. Una correcta planificación ayudará a mejorar el desempeño a nivel de red y reducir costos en la operación.

Bibliografía

V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, and A. Gatherer, "Femtocell networks: a survey", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46,no. 9, pp. 59–67, Septiembre 2008.

Benassini, Marcela. "Introducción a la Investigación de mercados, un enfoque para América Latina", Editorial Prentice Hall, México 2001

Judith Mariscal, "El Caso de la Banda Ancha Móvil en América Latina", DIRSI, Abril 2012

M. López, J. Gozávez, "Estrategias para la Distribución Eficiente de Tráfico en Redes Heterogéneas de Comunicaciones Móviles de Cuarta Generación" Universidad Miguel Hernández, 2006.

Rongrong Lian; Hui Tian; Wenchao Fei; Jie Miao; Canru Wang; , "QoS-Aware Load Balancing Algorithm for Joint Group Call Admission Control in Heterogeneous Networks", *Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 2012 IEEE 75th , vol., no., pp.1-5, 6-9 Mayo 2012.

Ying Li; Zhouyue Pi; Lingjia Liu; , "Distributed heterogeneous traffic delivery over heterogeneous wireless networks," *Communications (ICC)*, 2012 IEEE International Conference on , vol., no., pp.5332-5337, 10-15 Junio 2012.

White paper c11-481360, "Cisco visual networking index: Forecast and methodology" Junio 2010.

Landström S. et al., "Heterogeneous networks – increasing cellular capacity," *Ericsson Review*, No. 1, 2011.

Beibei Wang; Haitong Sun; Kapoor, R.; Sambhwani, S.; Scipione, M.; , "Performance analysis of HSPA Multi-carrier heterogeneous networks," *Communications (ICC)*, 2012 IEEE International Conference on , vol., no., pp.6035-6039, 10-15 Junio 2012

Miguel Lopez, Javier Gozávez, "Algoritmos de selección de tecnologías de acceso radio en Redes Heterogéneas de comunicaciones móviles de cuarta generación", Julio 2006.

M López-Benítez, J Gozalvez, "Common Radio Resource Management Algorithms for Multimedia Heterogeneous Wireless Networks", *Mobile Computing*, *IEEE Transactions on* 10 (9), 1201-1213, 2011

Osterwalder y Y. Pigneur, *Business Model Generation*, 2010.

Naresh K. Malhotra, "Investigación de mercados", Editorial Pearson Prentice Hall, 5ta. Edición, México 1998.

Andrews, J. et al., "Femtocells: Past, Present, and Future," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.30, No. 3, Abril 2012.

Zhang J. y de la Roche G., "Femtocells - Technologies and Deployment," Wiley, 2010.

Claussen H., Ho L.T.W. y Samuel L.G., "Financial Analysis of a Pico-Cellular Home Network Deployment," IEEE ICC '07, 2007.

Andrews, J. et al., "Femtocells: Past, Present, and Future," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.30, No. 3, Abril 2012.

Damnjanovic, J. Montojo, Y. Wei, T. Ji, T. Luo, M. Vajapeyam, T. Yoo, O. Song, and D. alladi, "A Survey on 3GPP Heterogeneous

Harri Holma, Antti Toskala, Pablo Tapia, "HSPA+ Evolution to Release 12 Performance and Optimization", Editorial Wiley, Septiembre 2014.

Anexo A
Carta Auspicio