

PLAN DE NEGOCIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE REDES HETEROGÉNEAS (HETNET) PARA PROVEEDORES DE EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES

Jose Vaca Parra¹, Paul Bernal², Román Lara³

1 Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador, josevacaparra1@gmail.com

2 Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador, cpbernal@espe.edu.ec

3 Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador, ralara@espe.edu.ec

RESUMEN: El presente trabajo hace un estudio del estado actual de las redes de comunicación móvil, así como del comportamiento de los usuarios y del tráfico generado por los mismos. Se repasan estadísticas del comportamiento del mercado mundial y ecuatoriano en el uso de redes de comunicación móvil, así como las tecnologías utilizadas por los operadores a nivel de radio acceso. Se analiza la importancia del crecimiento de las redes de comunicación móvil para satisfacer la demanda de los servicios y se define las limitaciones en la aplicación de tecnologías tradicionales de radio acceso para el crecimiento de las redes. Se establece el concepto de redes heterogéneas y se estudia las diferencias con redes tradicionales, se definen ventajas y limitaciones en el uso de las diferentes tecnologías y se repasa los diferentes tipos de soluciones y técnicas conocidas como redes heterogéneas. Se listan las soluciones disponibles en el mercado, se define estrategias y recomendaciones para su aplicación y se repasa los costos asociados al despliegue de las estaciones base haciendo una comparación con el uso de tecnologías tradicional, se revisa estudios de costo versus beneficio de la aplicación de tecnologías heterogéneas y finalmente se revisa casos de éxito en la implementación de este tipo soluciones con los cuales se logran resolver problemas puntuales de las operaciones móviles con bajo costo hacia los operadores.

Palabras Clave: HetNet, redes heterogéneas, sistemas celulares, comunicaciones móviles.

ABSTRACT: This paper a studies of current state of mobile communication networks, as well as user behavior and traffic generated by them. World behavioral statistics and Ecuadorian market in the use of mobile communication networks and technologies used by operators at radio access are reviewed. The growing importance of mobile communication networks to meet the demand for services is analyzed and limitations defined in the application of traditional radio access technologies for network growth. The concept of heterogeneous networks is established and differences are studied with traditional networks, advantages and limitations defined by the use of different technologies and different types of solutions and techniques known as heterogeneous networks is reviewed. Solutions available in the market are listed, strategies and recommendations for implementation defined and the costs associated with deploying base stations making a comparison with the use of traditional technologies, studies of cost

versus benefit of applying is reviewed is reviewed heterogeneous technologies and ultimately successful cases reviewed in the implementation of such solutions which fail to resolve specific problems of mobile operations with low cost to the operators.

KeyWords: HetNet, heterogeneous networks, cellular systems, mobile communications.

I. 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.

En este trabajo se analiza las limitaciones y desventajas en el crecimiento de redes con tecnologías de radio acceso tradicionales y se plantea opciones de crecimiento con tecnologías HetNet, se listan las ventajas y las estrategias que deben aplicarse para llegar a satisfacer la demanda del creciente tráfico con menores costos a través del uso de estas nuevas técnicas y tecnologías conocidas como HetNet.

II. Metodología

Para poder establecer una estrategia competitiva para la implementación de este tipo de soluciones de red conocidas como HetNet se realiza una fase exploratoria sobre conceptos, estado actual de las redes, demanda de tráfico, comportamiento de usuario, soluciones tecnológicas disponibles en el mercado, expectativas de los operadores móviles, entre otros, con el fin de conocer las necesidades y ofrecer soluciones tecnológicas competitivas. En la fase descriptiva del estudio se realiza un análisis a nivel estadístico de la demanda actual de tráfico de datos de banda ancha, se defina las limitaciones técnicas en el crecimiento de las redes con tecnologías tradicionales de radio acceso y los problemas en el despliegue de estaciones base macrocelulares. Se correlaciona la necesidad de satisfacer la demanda del creciente tráfico en las redes móviles con crecimiento de las redes, pero con nuevas soluciones y técnicas de radio acceso más económico estableciendo ventajas para la implementación de redes HetNet. En la fase explicativa se plasma las ventajas técnicas y económicas de la aplicación de HetNet y se definen estrategias para su implementación.

III. Evaluación de resultados y discusión

3.1. 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.

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). La figura 2.1 muestra que el 16,9% de las personas en Ecuador que posee un celular tiene un teléfono inteligente (*smartphone*), frente al 8,4% registrado en el 2011, es decir 8,5 puntos más y la tendencia es creciente.

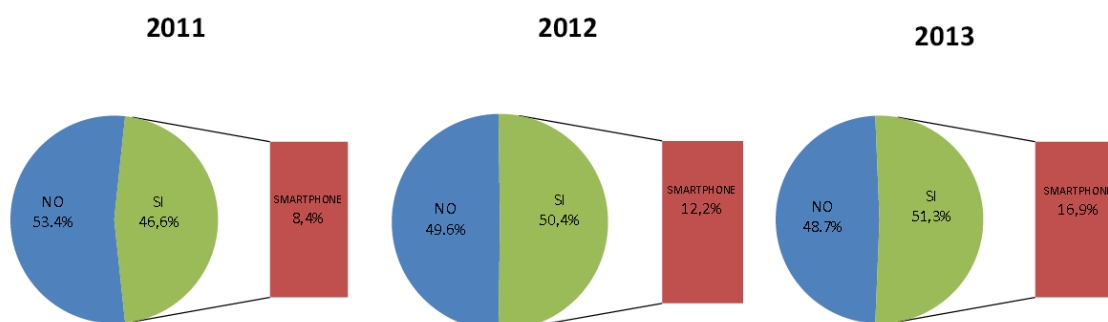


Figura 3.1. Porcentaje de personas que tienen teléfono inteligente a nivel nacional.

3.1.1 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, 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 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 3.2 se observa un sistema homogéneo.

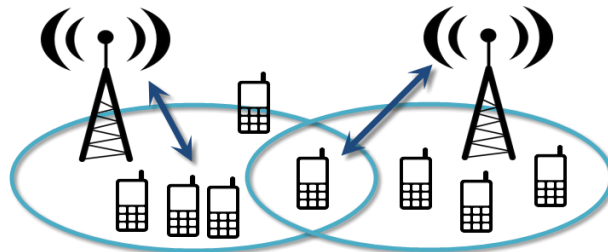


Figura 3.2. Redes Homogéneas.

3.1.2. Redes Heterogéneas

Las redes heterogéneas conocidas como 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 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 de aproximadamente 5W a 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 de aproximadamente 100mW a 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.

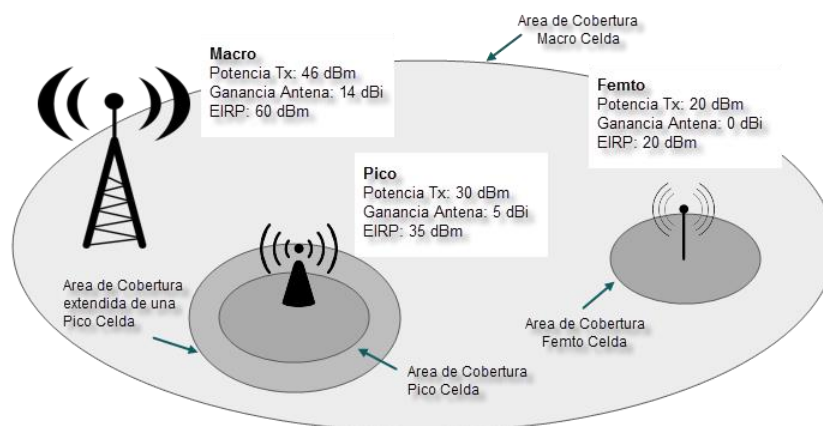


Figura 3.3. Configuración típica de una Red Heterogénea.

3.1.3. Elementos de una Red Heterogénea

Una red heterogénea puede estar compuesta de varios niveles o capas de acceso, 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.

Macro celdas y Micro celdas: En las redes celulares actuales las macro estaciones base 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 a 300 metros. Las pico estaciones 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 están desplegadas en áreas de cobertura similares a las pico. 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 repetidores se comunican de forma inalámbrica a la macro o pico estaciones, 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. En nuestro País se utilizan mucho como soluciones de cobertura de carreteras.

Femtoceldas: Los puntos de acceso femto sirven áreas pequeñas en el orden de 10 a 50 metros por ejemplo: departamentos u oficinas. A diferencia de las MBS o PBS que se conectan a la red a través *backhaul* propio del operador, las femto reducen los costos de infraestructura mediante la utilización de *backhaul* residencial existente como conexiones DSL o cable que 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.

Repetidores Corporativos: Los repetidores de clientes corporativos se pueden considerar como una capa adicional en la arquitectura de redes heterogéneas. Estas soluciones comprenden áreas de cobertura de muy corto alcance en el orden de 10 a 20 metros. 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 suscriptores, 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 %.

Sistemas Distribuidos de Antenas: Conocidos como DAS por sus siglas en inglés *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 antena 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.

3.2. Análisis estadístico de Redes Móviles

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. 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. En la figura 3.4. se muestra el resultado de geoposicionamiento de la demanda de los servicios celulares realizado por el software *NeoAnalysis* de *Ingenia Telecom* utilizando datos estadísticos del comportamiento de una red de un operador local.

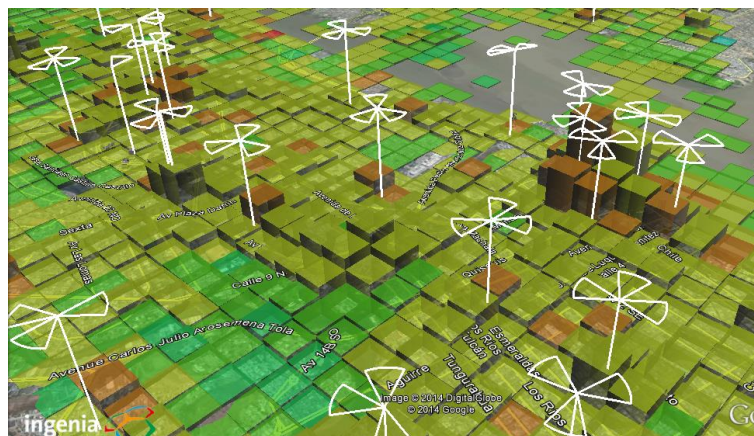


Figura 3.4. Software de geoposicionamiento de demanda de redes móviles.

3.2.1. 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* como *downlink*. A continuación en la figura 3.5. se muestra el comportamiento del tráfico cursado de datos por un año de una macro celda de la zona.

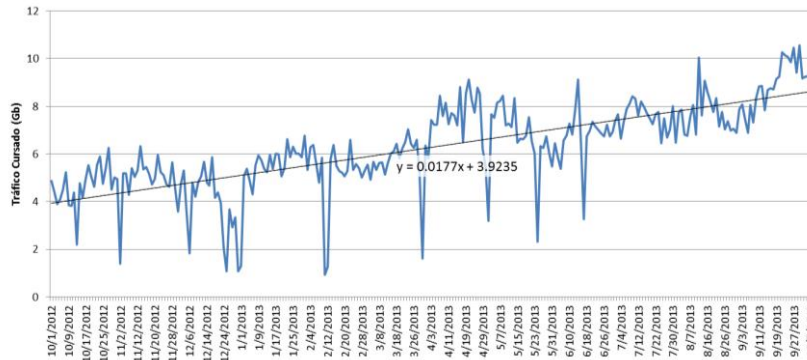


Figura 3.5. Tráfico cursado por una macrocelda 3G de la zona universitaria.

Este incremento de usuarios e intentos de conexión se traduce en un incremento del tráfico cursado en los servicios, sin embargo la capacidad instalada no abastece la creciente demanda y esto genera inconvenientes en los servicios que ofrece el operador. A nivel de usuario se percibe deficiencia en los servicios como inaccesibilidad o retardo en las conexiones. En la gráfica 3.6 observamos el número de intentos de conexión del servicio HSDPA y las estadísticas de calidad ofrecidas por la macrocelda 3G por horas en un día laboral de la semana.

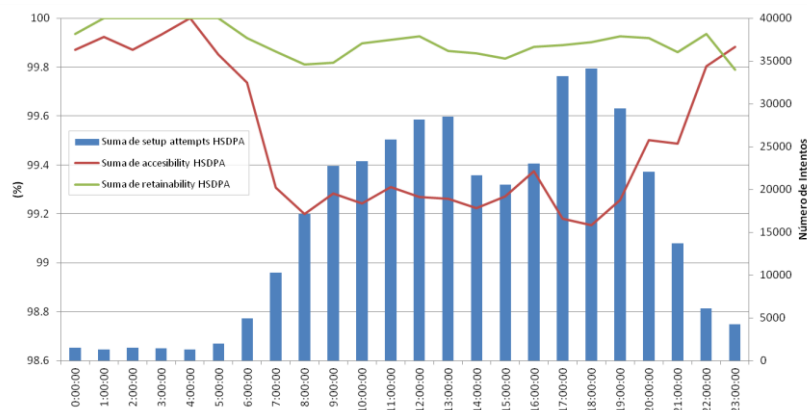


Figura 3.6. Desempeño HSDPA en macrocelda 3G de zona universitaria.

3.3. Modelamiento de costos para una red Heterogénea

El desarrollo de infraestructura Heterogénea puede ser beneficioso por varias razones, de todas maneras el incremento de tráfico requiere un incremento en infraestructura lo cual se refleja un incremento en el número de estaciones celulares, 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 de la figura 3.7. 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. Se asume que la macrocelda se desarrolla como una capa de cobertura base, 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 trafico 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.

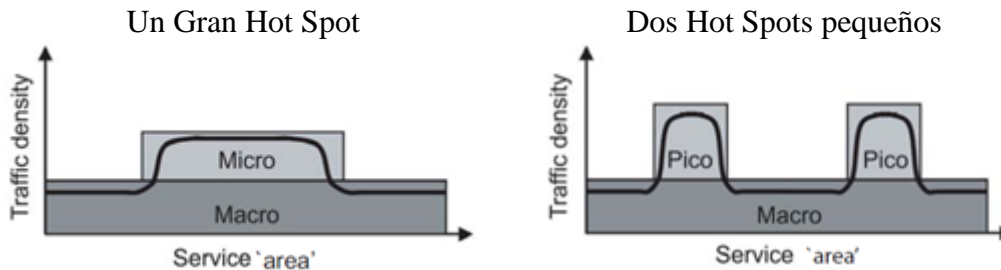


Figura 3.7. Combinación de una Macro estación con Micro (1) y Pico Estaciones (2)

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 3.8. 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%.

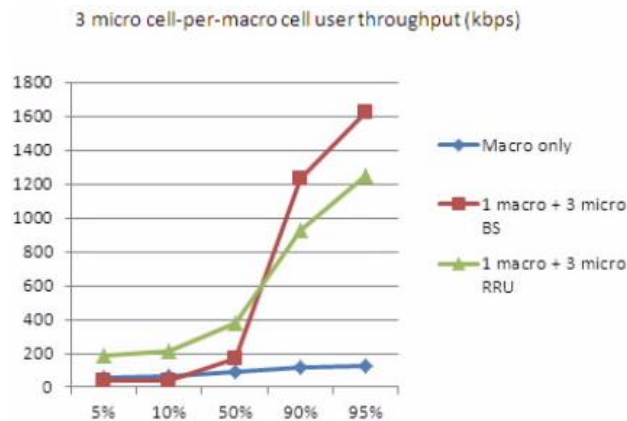


Figura 3.7. Carga de usuarios de la Celda en % vs. Trafico cursado por la celda.

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 3.8.

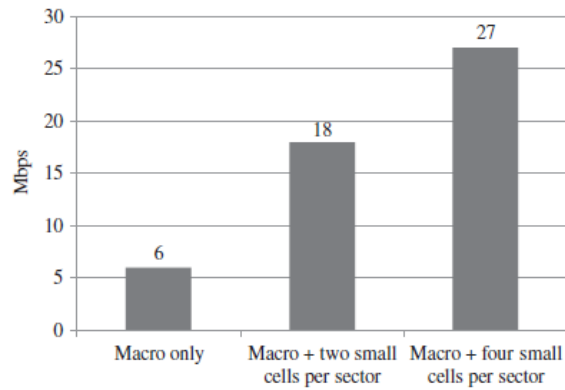


Figura 3.8. Capacidad de red con combinación de celdas pequeñas.

3.4. Casos de éxito

Dependiendo de las necesidades de la red y la estrategia de implementación se pueden aplicar soluciones heterogéneas para cubrir huecos de cobertura o incrementar la capacidad de las redes. A continuación vamos a revisar un caso de éxito de la aplicación de redes heterogéneas como incremento de capacidad.

Después de la instalación por parte de un operador móvil local de una solución DAS en un *hotspot* identificado en la zona financiera de la Av. NN. UU. en Quito, se observa un incremento en el número de usuarios en los servicio de datos que manejan las 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 3.9.

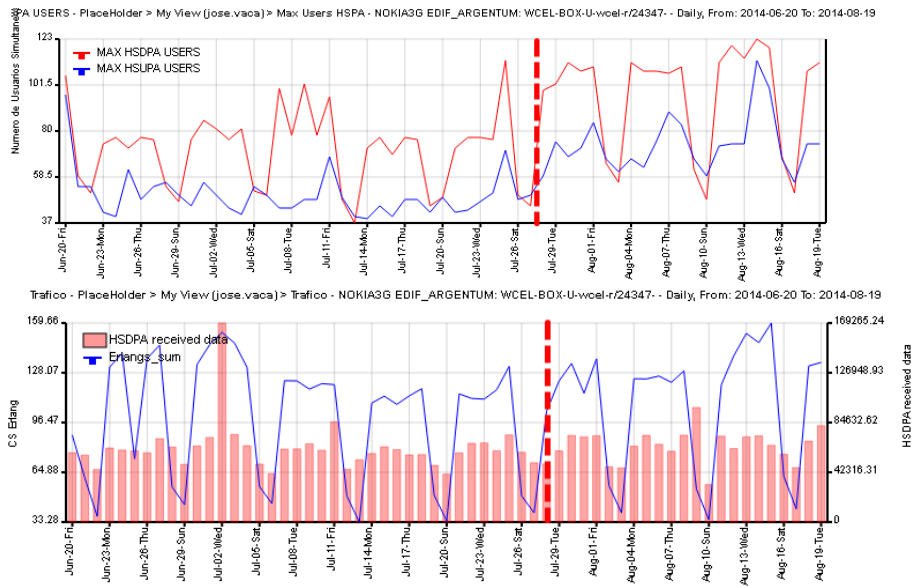


Figura 3.9. Incremento de usuarios y tráfico en zona con HetNet.

IV. Trabajos relacionados

En la documentación bibliográfica se definen los conceptos sobre funcionamiento técnico de las diferentes soluciones tecnológicas de radio acceso, sin embargo en el presente trabajo se estudia las ventajas técnicas y económicas de las aplicaciones de las soluciones denominadas redes heterogéneas analizando la problemática local considerando datos estadísticos de comportamiento de redes móviles reales del mercado ecuatoriano, así como el comportamiento de tráfico de usuarios y penetración de terminales móviles reales. Se adapta los beneficios técnicos encontrados en operaciones de telecomunicaciones internacionales enfatizando las ventajas competitivas al mercado local. Finalmente se muestra casos de éxito reales de la aplicación de este tipo de soluciones para incentivar el crecimiento de este producto en el mercado local.

V. Conclusiones y trabajo futuro

Existe una creciente demanda en el tráfico de las redes ya que cada vez existen más usuarios en las operadoras móviles y cada vez el usuario promedio utiliza mayor volumen de datos lo que provoca una saturación en la infraestructura de las operadoras de telefonía móvil. Esta demanda insatisfecha puede solventarse con 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.

Existen varios tipos de soluciones de redes heterogéneas ya que se combinan tamaños de estaciones base y tecnologías. 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. Las redes heterogéneas satisfacen la demanda de tráfico de manera efectiva y similar a las macroceldas tradicionales y al ser estaciones base de menor tamaño el costo de implantación y el tiempo de despliegue de las mismas también es menor. 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.

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.

VI. Agradecimientos

Quiero expresar un agradecimiento especial a mis compañeros colegas y amigos de Nokia Networks Ecuador, en especial a la unidad de negocio MBB NPO que de forma directa o indirectamente han contribuido al desarrollo del presente trabajo.

VII. Referencias Bibliográficas

V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, and A. Gatherer, "Femtocell networks: a survey", IEEE Commun. Mag., vol. 46, no. 9, pp. 59–67, Sep. 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, pp. 1, 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 May 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 June 2012.

White paper c11-481360, "Cisco visual networking index: Forecast and methodology" June 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 June 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. 2010. Business Model Generation.

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

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.

<http://nsn.com/portfolio/products/mobile-broadband>

http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_Sociales/TIC/Resultados_principales_140515.Tic.pdf

http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_204152