

# Análisis del algoritmo de handover reactivo y proactivo en sistemas femtocelda para la tecnología 4G LTE-A

Robert Jonathan Acosta Plazas y Martha Cecilia Paredes Paredes  
Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información  
Escuela Politécnica Nacional (Ladrón de Guevara E11-253, PO-Box 17-01-2759 Quito – Ecuador)

**Resumen** – Actualmente, el uso de las comunicaciones celulares de cuarta generación LTE-A (Long Term Evolution) son muy demandadas debido a sus características. Estas redes están formadas por una celda de gran cobertura (macrocelda) y varias celdas de menor tamaño (llamadas femtoceldas), lo que se conoce como redes heterogéneas. En ese contexto, los dispositivos de usuarios necesitan llevar a cabo procesos de handover entre las diferentes celdas. En el presente artículo se analiza el número de traspasos reactivos y proactivos que se generan en redes heterogéneas. El análisis se realiza por medio de simulaciones en MATLAB, para lo cual se ha generado dos escenarios: uno con restricciones en las conexiones de los usuarios a las femtoceldas y otro sin restricciones. En ambos casos se obtuvo un mayor número de traspasos proactivos con respecto a los traspasos reactivos, dichos resultados también dependen del número de femtoceldas y usuarios que se consideren

**Índices** – LTE-A, handover, femtocelda, algoritmo reactivo, algoritmo proactivo.

## I. INTRODUCCIÓN

La tecnología celular crece exponencialmente debido a las exigencias de los usuarios ya que cada uno de ellos ha pasado de utilizar la telefonía tradicional o fija hacia la telefonía celular. Así mismo, las llamadas telefónicas y los mensajes de texto han quedado a un lado debido a que hoy por hoy los usuarios prefieren cada vez más el servicio de datos ofrecido por los operadores de telefonía celular o a través de redes WiFi (*Wireless Fidelity*). Actualmente, cada usuario se conecta simultáneamente a Internet con más de un dispositivo, con lo que puede saturar la red. Por tal motivo, los operadores buscan alternativas para mejorar el servicio, tales como instalar estaciones base de gran capacidad denominadas macroceldas. Sin embargo, esta alternativa resulta costosa para los operadores además de presentar problemas de interferencia [1].

Una solución viable consiste en la implementación de sistemas femtocelda, la cual coloca una estación base de baja potencia y con un área de cobertura más pequeña que la de una macrocelda [1]. Consecuentemente, cada usuario podría utilizar los servicios que brinda la femtocelda y así obtener mayor velocidad de conexión. De hecho, se puede colocar la femtocelda en cualquier lugar de un hogar o empresa, cubriendo así las zonas de sombra donde la gran área de cobertura de la macrocelda no pueda brindar servicio.

Las ventajas de utilizar femtoceldas son: (1) mejoramiento del tráfico de las macroceldas, (2) evitar que los operadores instalen estaciones base de gran tamaño y (3) el usuario obtenga mejoras en la conectividad. Cabe recalcar, que ésta es una buena solución debido a que el uso del servicio de datos ha aumentado en los últimos años.

Sin embargo, el uso de femtoceldas puede derivar a que los dispositivos realicen varios procesos de traspasos o handover (proceso en el cual una llamada telefónica se mantiene ininterrumpidamente mientras el teléfono se conecta a otra radio base por los bajos niveles de potencia que se detecta). Existen varios algoritmos para realizar el procedimiento de handover: los algoritmos reactivos y proactivos. En este artículo se analiza el número de traspasos (handover) que se realiza en función del número de femtoceldas y de usuarios presentes.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera, en la Sección II se revisan brevemente el marco teórico asociado a las redes heterogéneas y los conceptos de femtoceldas en LTE. En la sección III se analizan el proceso de handover. Los resultados de las simulaciones se analizan en la sección IV. Finalmente, las conclusiones se presentan en la sección V.

## II. REDES HETEROGÉNEAS

Una red heterogénea es aquella red que utiliza celdas de diferente área de cobertura, como por ejemplo: macroceldas con picoceldas o con femtoceldas [2]. Las redes heterogéneas son utilizadas en ambientes interiores. En esta sección se brinda un breve resumen de las características, ventajas y

R. Acosta, Ingeniero de la Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, (e-mail: robert.acosta@epn.edu.ec)

C. Paredes, es Profesor Agregado T/C en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de La Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, (e-mail: cecilia.paredes@epn.edu.ec)

desventajas de las femtoceldas en las redes heterogéneas [3], [4], [5] y [6].

A. Femtocelda

Una femtocelda es una celda con radio de cobertura menor a 30 m, con el objetivo de mejorar la cobertura en zonas de sombra, donde el usuario tiene baja calidad de señal. Por lo general, las femtoceldas son utilizadas en ambientes interiores con un número limitado de usuarios.

Adicionalmente, las femtoceldas pueden configurarse para trabajar con acceso hacia un grupo abierto de usuarios, un grupo cerrado de usuarios o de manera híbrida.

- Acceso hacia un grupo abierto: se refiere a que cualquier usuario de la macrocelda puede hacer un traspaso o handover hacia la femtocelda.
- Acceso hacia un grupo cerrado: solamente un grupo determinado de usuarios puede realizar el traspaso de la macrocelda hacia la femtocelda.
- Acceso híbrido: la femtocelda permite realizar el traspaso a cualquier usuario, pero se brindará prioridad a los usuarios que forman parte del grupo cerrado.

Las principales ventajas y desventajas del uso de femtoceldas son:

Ventajas:

- Las femtoceldas son instaladas por el usuario dentro de su hogar asegurando así una buena cobertura en interiores.
- Desde el punto de vista del operador son una solución barata, ya que el usuario es quien paga por la femtocelda, además que ayuda a aumentar la capacidad del sistema.
- Cuando el usuario llega a su hogar deja de usar el servicio de la macrocelda para conectarse al servicio de la femtocelda mediante un proceso de handover.

Desventajas:

- Tienen un número limitado de usuarios generalmente entre 4 y 6.
- El número de traspasos o handover puede ser muy grande e innecesarios.

La Fig. 1 muestra la relación de tamaño entre las celdas mencionadas [5].

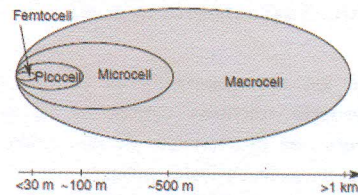


Fig. 1. Radio de cobertura de las celdas [5].

B. Soporte de femtoceldas en LTE-A

El soporte de femtoceldas necesita de ciertas mejoras en la arquitectura de red del sistema celular, en la Fig. 2 se muestra la arquitectura E-UTRAN en presencia de femtoceldas [7]. Además, se observa que dos de las entidades de la EPC (Evolved Packet Core): MME (Mobile Management Entity) y S-GW (Serving Gateway) se conectan a los FAP (Femto Access Point) o HeNB. La MME realiza tareas como señalización para la movilidad entre las redes de acceso, manejo de movilidad en estado libre, administración de la lista del área de seguimiento, roaming, seguridad y autenticación [7].

La arquitectura de la parte radio, llamada E-UTRAN, está conformada por eNBs, HeNBs y HeNB Gateways (HeNB GW), donde [7]:

- La eNB soporta las funciones de administración de los recursos de radio, control de admisión, configuración de la medida de movilidad además del enrutamiento de los datos del plano de usuario.
- La HeNB soporta las mismas funciones que las eNB, incluyendo los procedimientos que se dan entre las HeNB y la EPC.
- El HeNB GW actúa como un concentrador para el plano de control para soportar un gran número de HeNB de manera escalable. Su despliegue es opcional.

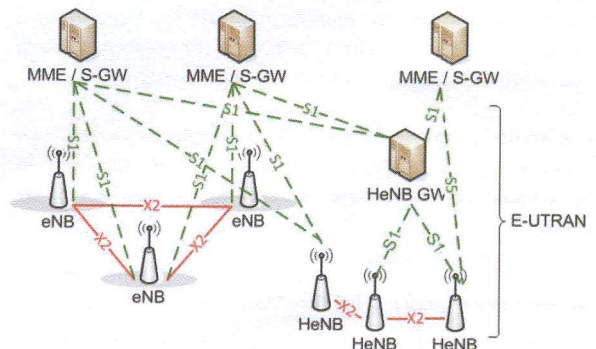


Fig.2 Soporte de femtoceldas en la arquitectura E-UTRAN [7]

### III. TRASPASO (HANDOVER)

La ventaja de los sistemas celulares es que permite la movilidad del usuario mientras camina o va por alguna carretera de manera que puede pasar de una celda hacia otra manteniendo una llamada, a éste proceso se le denomina traspaso, handover o handoff (HO) [8]. En este proceso el equipo de usuario trata de enlazarse a la estación base más cercana, de manera que cuando se realiza un traspaso entre celdas este es transparente para el usuario.

#### A. Estrategias de Traspaso

Existen dos estrategias que permiten al terminal realizar traspaso entre celdas, se denominan traspaso reactivo y traspaso proactivo.

##### 1) Traspaso Reactivo

El traspaso reactivo empieza solamente cuando el terminal casi ha perdido la señal de la estación base fuente a la que se encuentra conectado, por lo que es una estrategia que tiende a retrasar el traspaso tanto como sea posible [9]. Esta estrategia tiende a ser demorosa ya que se debe buscar nuevas celdas, elegir una de ellas y preguntar si se puede asociar a la nueva celda.

##### 2) Traspaso proactivo

El traspaso proactivo tiende a realizar el traspaso antes de que el terminal pierda la señal de la estación base fuente a la que se encuentra conectado [9], es decir, que si recibe una señal con mayor intensidad que la que se encuentra realiza el traspaso.

#### B. Secuencia de Mensajes de Señalización

En [7] se detalla el procedimiento para la realización de un traspaso que se resume en: identificación de la celda, control de acceso, búsqueda de la celda, selección o re-selección de la celda, decisión del traspaso y ejecución del traspaso.

De acuerdo a esto, se tiene traspasos entre: macroceldas, entre macroceldas y femtoceldas y entre femtoceldas. Por lo que se detalla los escenarios en los que se involucre las femtoceldas.

#### C. Traspaso entre macro y femtoceldas

En la Fig.3 se representa la estación base de una macrocelda (eNodeB) y dos femtoceldas (HeNB también llamados Femto Access Point, FAP), cabe recalcar que las femtoceldas se encuentran dentro del área de cobertura de la macrocelda.

Al principio, según la especificación 3GPP, solo se tenía el escenario en que se puede realizar un traspaso desde la femtocelda hacia la macrocelda pero en realidad se tiene 3 casos de traspaso: *hand-in*, *hand-out* e *inter FAP*.

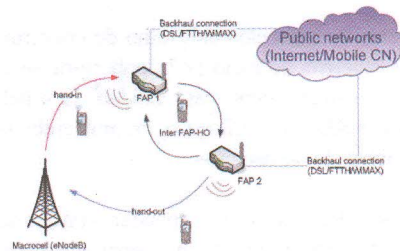


Fig.3 Escenario de handover en redes femtocelda [10]

##### 1) Traspaso *hand-in*

Es el traspaso de una macrocelda hacia una femtocelda, es el más desafiante debido a que puede haber un gran número de HeNB o FAP [10]. En este caso de traspaso, el terminal necesita seleccionar el FAP más adecuado, donde se puede considerar la estimación de proximidad para optimizar el proceso de traspaso. En la Fig.4 se presenta el flujo de mensajes de señalización del traspaso de una macrocelda hacia una femtocelda.

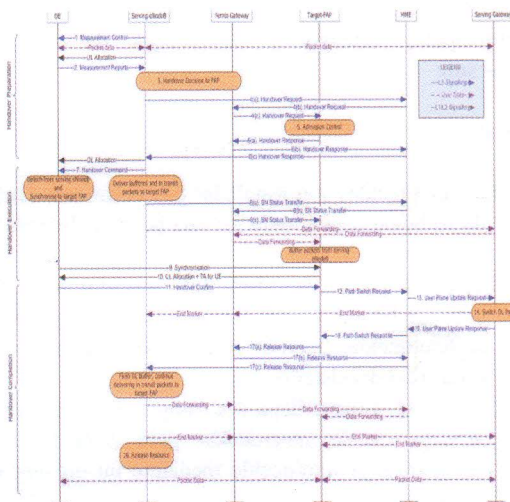


Fig.4 Flujo de mensajes de señalización del traspaso de una macrocelda hacia una femtocelda o entre femtoceldas [10]

##### 2) Traspaso *inter-FAP*

Es el traspaso que se realiza desde una femtocelda hacia otra femtocelda, el flujo de mensajes es el mismo del traspaso desde una macrocelda hacia una femtocelda (Fig.4) ya que se tiene el mismo número de posibles celdas objetivo.

##### 3) Traspaso *hand-out*

Es el traspaso de una femtocelda hacia una macrocelda y no es muy complicado ya que el terminal no debe elegir una



traspasos proactivos aumenta. Respecto a los trasposos reactivos, se consideran solo los trasposos de salida de cada femtocelda.

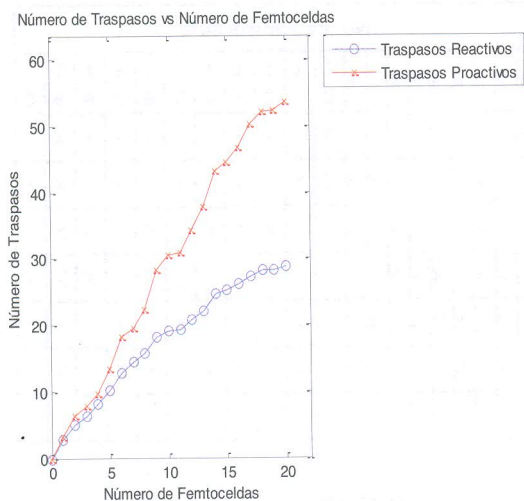


Fig.7 Número de trasposos vs número de femtoceldas (sin restricciones)

**B. Resultados con restricciones**

Considerando las restricciones mostradas en la Tabla 1, se ha contado el número de trasposos en función del número de usuarios y del número de femtoceldas.

La Fig.8 muestra el número de los trasposos realizados por cada usuario dependiendo de la trayectoria que sigue y de la restricción con la que se encuentre.

Considerando las restricciones impuestas en las femtoceldas, en la Fig.9 se observa el número de trasposos reactivos y proactivos en función del número de femtoceldas. Se ha fijado el número de usuarios a 6 que se pueden asociar a las femtoceldas.

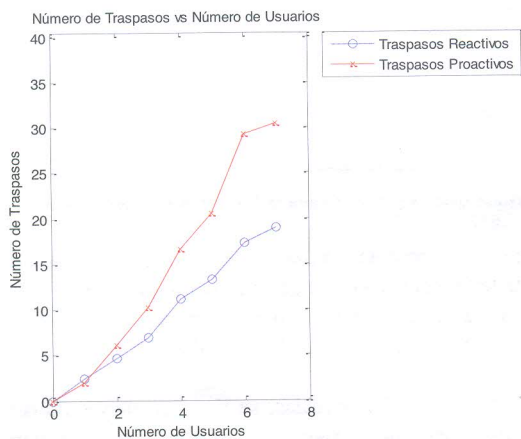


Fig.8 Número de trasposos vs número de usuarios (con restricciones)

Se observa que el número de trasposos entre los dos algoritmos se mantiene casi igual cuando se consideran solamente 5 femtoceldas. A medida que se aumenta el número de femtoceldas la diferencia entre cada tipo de trasposo aumenta.

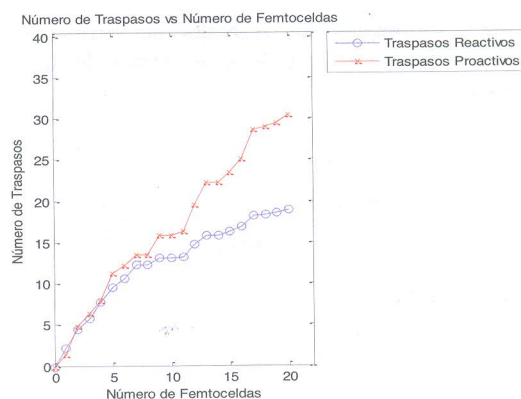


Fig.9 Número de trasposos vs número de femtoceldas (con restricciones)

**V. CONCLUSIÓN**

En el presente artículo se realizó un análisis del proceso de traspaso en redes celulares heterogéneas (macroceldas y femtoceldas), diferenciando entre las estrategias de traspaso reactivo y proactivo. Se ha determinado a través de las simulaciones que el número de trasposos proactivos es mayor que el número de trasposos reactivos debido a la presencia de femtoceldas, ya que a medida que el usuario se mueve a través de ellas se realizan trasposos que pueden ser innecesarios. Incluso con las restricciones de acceso que tiene cada femtocelda, el número de trasposos sigue siendo alto, por lo que esto demanda la utilización innecesaria de recursos de red. Los resultados varían de acuerdo a la trayectoria que sigue cada uno de los usuarios, el acceso que tienen los usuarios a las femtoceldas y también del número de femtoceldas que se implementen. Por lo tanto, los resultados obtenidos sugieren que el traspaso reactivo es mejor para aplicaciones de tiempo real, debido a que es un número más pequeño de trasposos, mientras que el traspaso proactivo es bueno para aplicaciones que no trabajen en tiempo real, ya que el usuario puede trabajar bien a pesar de que exista retardo en los trasposos.

**VI. REFERENCIAS**

- [1] M. Morales, «Gestión de Interferencias en Sistemas Femtocelda», Universidad Carlos III de Madrid, 2010.
- [2] E. Apú Picado, «Análisis de las tecnologías de Redes Heterogéneas ( HetNet ) en los sistemas móviles Estudio caso : Tecnologías lightRadio™ Análisis de las tecnologías de Redes Heterogéneas», Universidad de Costa Rica, 2012.
- [3] A. Sendín, *Fundamentos de los sistemas de*

- comunicaciones móviles, Primera Ed. España: McGrawHill, 2004.
- [4] M. Granja, «Propuesta de un software basado en CRM (Customer Relationship Management) orientado al diseño de redes celulares de tercera y cuarta generación», Escuela Politécnica Nacional, 2016.
- [5] J. Zhang y G. De la Roche, *Femtocells: technologies and deployment*, Primera. John Wiley & Sons, 2011.
- [6] S. Sesia, I. Toufik, y M. Baker, *LTE - The UMTS Long Term Evolution from Theory to Practice*, Segunda. John Wiley & Sons, 2009.
- [7] D. Xenakis, N. Passas, L. Merakos, y C. Verikoukis, «Mobility Management for Femtocells in LTE-Advanced: Key Aspects and Survey of Handover Decision Algorithms», *IEEE Commun. Surv. TUTORIALS*, vol. 16, n.º 1, pp. 64-91, 2014.
- [8] R. Veintimilla, «Estudio de los beneficios de la implementación de una segunda portadora en UMTS para una operadora móvil.», PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, 2016.
- [9] P. Bellavista, A. Corradi, y C. Giannelli, «Adaptive Buffering-based on Handoff Prediction for Wireless Internet Continuous Services», en *The 2005 International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC-05)*, 2005, pp. 1021-1032.
- [10] R. B. Ardian Ulvan y M. Ulvan, «Handover Scenario and Procedure in LTE-based Femtocells Networks», en *UBICOMM 2010: The Fourth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies.*, 2010, pp. 213-218.

Actualmente, es Profesora Agregado en el Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información (DETRI) en EPN, donde ha enseñado a varios cursos de grado y postgrado todos relacionadas con las comunicaciones inalámbricas. En cuanto a investigación, ha participado en varios proyectos de investigación nacionales e internacionales sobre comunicaciones inalámbricas. Actualmente es Directora del Proyecto de Investigación "Modeling of PER-PAPR in ad hoc networks". Además, ha sido autora y co-autora de más de diez artículos científicos en revistas internacionales y congresos. Sus principales intereses de investigación incluyen el procesamiento de señales para comunicaciones de banda ancha, transmisiones multiportadora, especialmente OFDM y mejoras en capa física en redes 5G.

## VII. BIOGRAFÍAS



**Robert Jonathan Acosta Plazas** Nació en Quito-Ecuador el 11 de abril de 1991, se graduó de Bachiller en Ciencias especialidad Físico-Matemático en el Instituto Nacional Mejía Quito-Ecuador. Actualmente Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica Nacional.



**Martha Cecilia Paredes** recibió el título de Ingeniería en Electrónica y Redes de Información en la Escuela Politécnica Nacional (EPN) en Quito - Ecuador en 2008, los títulos de Máster y Doctor en Multimedia y Comunicaciones en la Universidad Carlos III de Madrid, Madrid - España en 2010 y 2014, respectivamente.

Desde 2010 a 2011 trabajó como Profesor Ocasional en la Universidad de las Américas (UDLA), Quito - Ecuador.