

# Metodología para Evaluación de Técnicas de Data Offloading en una Red LTE

**José M. Koo**

Universidad de Panamá, Panamá, Panamá, jose.koo@ieee.org

**Juan P. Espino**

Universidad de Panamá, Panamá, Panamá, jp.espino@gmail.com

**Iván P. Armuelles**

Universidad de Panamá, Panamá, Panamá, ivan.armuelles@ieee.org

**Bladimir Pérez**

Universidad de Panamá, Panamá, Panamá, bladimir.perezq@gmail.com

## ABSTRACT

The present research aims to make a study with real parameters of a congested LTE cellular network and see how it can be offloaded through data offloading techniques such as small cells and WiFi offload using open software simulator. For this, the open source discrete event simulator ns3 will be implemented. ns3 has the necessary libraries to simulate a LTE and WiFi network. These LTE libraries were developed by the CTTC (Centre Tecnològic Telecomunicacions Catalunya) under the LENA project.

**Keywords:** LTE, WiFi, Data Offloading, Small Cells, ns3.

## RESUMEN

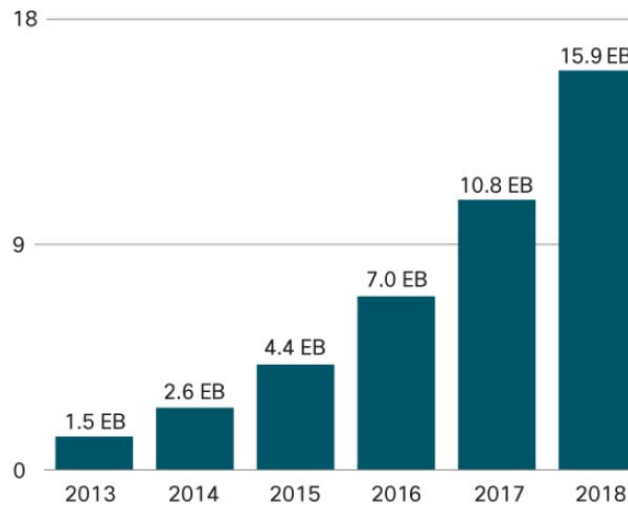
El presente trabajo de investigación, busca realizar un estudio con parámetros realistas de una red celular LTE saturada, y ver como puede descargarse mediante las técnicas de *data offloading* como lo son las *small cells* y *WiFi offload* mediante el uso de software libre. Para esto, se utilizará el simulador de eventos discretos y de código abierto ns3. ns3 es un simulador basado en el lenguaje de programación C++. ns3 cuenta con las librerías necesarias para simular una red LTE y WiFi. Estas librerías de LTE fueron desarrolladas por el CTTC (Centre Tecnològic Telecomunicacions Catalunya) bajo el proyecto LENA.

**Palabras claves:** LTE, WiFi, Data offloading, small cells, ns3.

## 1. INTRODUCTION

Estos últimos años, han sido de gran reto para las operadoras celulares debido a la creciente demanda de tráfico de datos por parte de los usuarios. Por mencionar algunas razones los *smartphones*, las redes sociales y el desarrollo de nuevas tecnologías han sido los impulsores de este rápido crecimiento que somete a las operadoras celulares a un ciclo de incremento constante en sus servicios, tanto de velocidad como ancho de banda, para satisfacer la demanda de los usuarios. Sin embargo, poco a poco están llegando al límite de su capacidad, por lo cual es necesario buscar otras formas de incrementar la capacidad de las redes celulares.

Como se puede apreciar en la Figura. 1, para el 2018 se estima un tráfico mensual generado por dispositivos móviles de 15.9EB (1EB =  $10^{18}$  bytes).



**Figura 1: Predicción de crecimiento de tráfico mensual 2013 – 2018 (Cisco VNI Mobile 2014)**

Existen varias formas de lograr esto, como por ejemplo, incrementando el ancho de banda, sin embargo no es una opción tan viable dada la escasez de frecuencias en el espectro; instalando más antenas, sin embargo los altos costos de adquisición de un sitio y también los problemas de interferencia hacen esta opción poco viable; incrementando la eficiencia espectral o incrementando la eficiencia espacial. Esta última es la de nuestro interés, ya que es la que nos permite incrementar más veces la capacidad del sistema.

A lo largo de los años, hemos visto como las celdas celulares (área de cobertura de una radio base) se han hecho más chicas conforme evoluciona la tecnología. Esto se debe a que al reducir el tamaño de las celdas, se puede reutilizar más veces las frecuencias y por lo tanto, incrementar la capacidad del sistema.

Es aquí donde entra el concepto de las *small cells*, que no son más que celdas pequeñas, generadas por radio bases de baja potencia.

De igual forma, está el concepto de *data offloading*, que implica el hecho de “descargar” o redireccionar el tráfico de una red a otra. De esto se hablará mas en las próximas secciones.

El presente artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se explica el concepto de Small Cells, los beneficios conseguidos a través de éstos y los retos que afrontan; mientras que en las secciones 3 y 4 se introducen los estándares escogidos para su implementación, WiFi y LTE. En la sección 5, nos extendemos en la explicación del Dataoffloading y en la sección 6 las redes heterogéneas. En la sección 7 se concretan los objetivos de nuestra investigación iniciada y en la sección 8 se explica la metodología que será utilizada para realizarla. Finalmente se resumen nuestras conclusiones.

## 2. HETNETS

Teniendo en cuenta lo previamente hablado, podemos ver cómo existen varios tipos de tecnologías que nos permiten estar conectados.

Cuando hablamos de redes heterogéneas, *HetNets*, no solo nos referimos a diferentes tecnologías como lo son las redes 2G, 3G, 4G, WiFi, WiMAX; o diferentes técnicas de acceso al medio como las macroceldas, *small cells*, DAS, *relays*, entre otros; sino que también nos referimos a la interoperabilidad de estas tecnologías, a la conexión ubicua del usuario mediante la inter-comunicación transparente entre las mismas.

### 3. DATA OFFLOADING

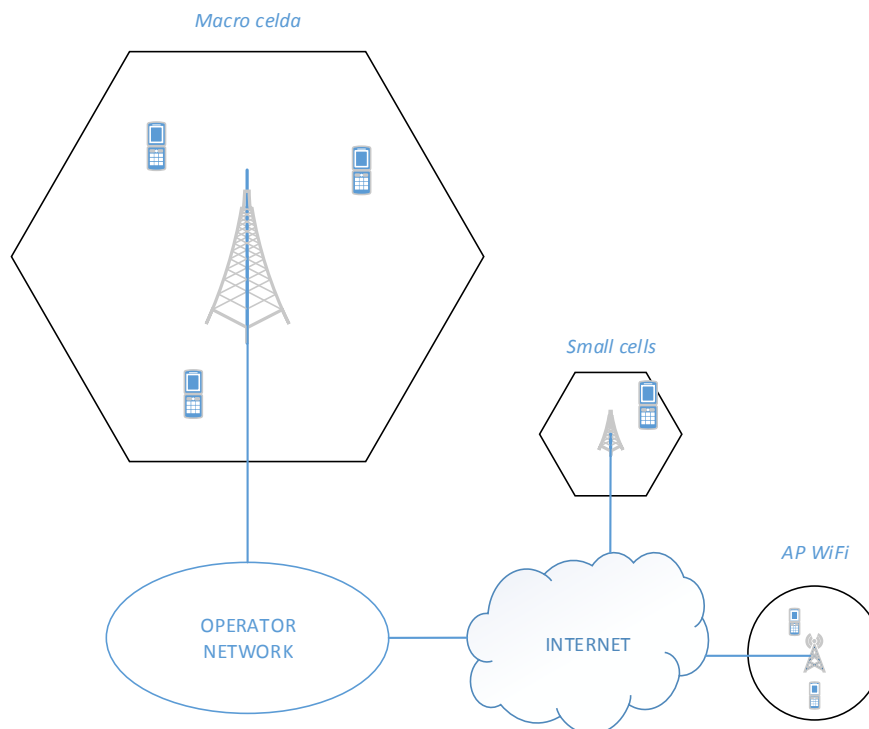
*Data offloading* es un concepto que se basa en el uso de otras tecnologías para acceder a redes que nos brinden mayor velocidad a la red móvil a la cual estamos conectados. Muchos usuarios por ejemplo, cuando ven una red WiFi disponible, se conectan manualmente a ella, porque lo más seguro es que le brinde una mayor velocidad de transferencia, sobre todo en lugares altamente congestionados.

### 4. SMALL CELLS

Las *small cells* son pequeñas radio bases de baja potencia de transmisión y de corto alcance, que operan tanto en el espectro de frecuencias licenciadas, como en el espectro de frecuencias libres. Su rango de cobertura va desde varios metros hasta un par de kilómetros. El término *small cell* acapara desde femtoceldas, picoceldas, microceldas hasta metroceldas([smallcellforum.org](http://smallcellforum.org)).

Las *small cells* son retro-compatibles, es decir, son compatibles con tecnologías actuales como las 4G y también son compatibles con tecnologías 3G y 2G. dentro del marco de la 3GPP, las *small cells* son conocidas como HNB (3G) o HeNB (4G).

Las *small cells* solventan dos grandes problemas que están teniendo las operadoras celulares hoy en día. El primero es la cobertura; debido a fenómenos como la difracción, absorción y penetración, la calidad de la señal se ve afectada en muchos lugares. Las *small cells* solventan este problema, ya que las mismas se encuentran localizadas dentro de estos espacios, por lo cual la señal no proviene de afuera, sino que es generada desde el interior, lo cual nos da la capacidad de cubrir espacios vacios o lugares en donde la recepción de la señal es pobre o completamente nula. El segundo problema es la capacidad; como ya mencionamos anteriormente, al ser las *small cells* radio bases cuya área de cobertura es de corto alcance, es posible reutilizar más veces las frecuencias, y por ende, aumentar la capacidad del sistema.



## Figura 2: Concepto de las *small cells*

En la Figura 2 se puede apreciar el concepto y una de las características principales de las *small cells*, las mismas se conectan a la red del operador celular mediante Internet. He aquí donde entra el concepto de *data offloading*, el cual implica la redirección de una red a otra, siendo esta otra el internet.

Existen tres (3) tipos de acceso a las *small cells*:

- Acceso libre: o acceso abierto, admite que cualquier usuario que se encuentre dentro de su zona de cobertura, se pueda conectar a ella y ser servido por la misma.
- Grupo cerrado o CSG (*Closed Subscriber Group*): éstas sólo admiten que aquellos usuarios que estén previamente registrados puedan conectarse a ella.
- Híbridas: estas permiten acceso completo a aquellos usuarios previamente registrados y un acceso parcial a sus servicios al resto de los usuarios.

### 4.1 BENEFICIOS DE LAS *SMALL CELLS*

Previamente discutimos ciertos beneficios que brindan las *small cells* como lo son la capacidad y la cobertura del sistema. A continuación ampliaremos un poco más sobre estos beneficios y mencionaremos un par más, desde la perspectiva de los usuarios y del operador:

- Para los usuarios:
  - Mejor cobertura en interiores: debido a que la señal es generada desde el interior, es posible llegar a tener “5 barras” de cobertura en interiores.
  - Tasa de transferencia mayor: debido a que las *small cells* están conectadas a Internet, su velocidad de transferencia será mayor.
  - Prolongación de batería: ya que el dispositivo se encuentra más cerca de la antena, el mismo no tendría que aumentar su potencia de transmisión.
  - Mejora la experiencia para los usuarios conectados a la macrocelda ya que los usuarios conectados a las *small cells*, representan recursos libres los cuales pueden ser aprovechados por aquellos usuarios que aún permanezcan en la macrocelda.
- Para los operadores:
  - Reducción en CapEX y OpEX: los gastos de instalación y mantenimiento se ven drásticamente reducidos debido al pequeño espacio que ocupan las *small cells* y su bajo consumo.
  - Mejora la capacidad del sistema: debido a su corto alcance de operación, se puede reutilizar más veces las frecuencias aumentando así la capacidad del sistema.
  - Fácil instalación: las *small cells* son sencillas de instalar, con poca o ningún tipo de configuración, pueden incluso ser *plug-and-play*.

### 4.2 RETOS TÉCNICOS DE LAS *SMALL CELLS*

Antes de hacer un despliegue masivo de *small cells*, hay que considerar ciertos retos técnicos que impiden tal despliegue:

- Alto tráfico en la red de *backhaul*: la red de *backhaul* estará más congestionada debido al alto tráfico, proveniente de las varias *small cells* y el incremento en la cantidad de usuarios.
- Gestión de movilidad.
- Interferencia: debido a que la densidad de *small cells* por área puede llegar a ser grande, se pueden dar tres tipos de interferencias:
  - *Small cells* a macro celdas.
  - *Small cell* a *small cell*.
  - Macro celdas a *small cells*.

A continuación se explican los estándares seleccionados como Small Cells: WiFi y LTE.

## 5. WiFi

WiFi es la abreviación para *Wireless Fidelity*, es el nombre otorgado por la “Alianza WiFi” o *WiFi Alliance* a la familia de protocolos IEEE 802.11, serie de estándares establecidos por la IEEE para definir redes de área local inalámbricas (Davis, 2004).

802.11 pertenece a la familia IEEE 802, la cual define una serie de especificaciones para tecnologías de redes de área local. IEEE 802 se concentra en las dos capas más inferiores del modelo OSI.

WiFi también es considerado como una *small cell*. Sin embargo, en este trabajo, las tratamos separadamente, debido a que éstas no operan dentro del espectro de frecuencias licenciadas.

WiFi es considerada una de las opciones más viables para reducir la carga de tráfico en las redes celulares, debido a su madurez, popularidad y bajo costo de implementación.

### 5.1 IEEE 802.11N

Dentro de la familia de estándares IEEE 802.11, el enfoque principal de 802.11n está en el aumento de velocidad de transmisión, el cual se logra mediante la implementación de MIMO. 802.11n trabaja en las frecuencias de 2.4GHz y 5GHz, y permite aumentar la velocidad más allá de lo admitido con MIMO aumentando el ancho de banda de 20Mhz a 40Mhz, logrando así, velocidades teóricas de hasta 300Mbps con 20MHz y 600Mbps con 40MHz.

## 6. LTE

En búsqueda de nuevas tecnologías que satisfagan la demanda creciente por parte de los usuarios, surge LTE como la evolución de UMTS bajo el *Release 8* de la 3GPP.

LTE promete una mejora en la experiencia del usuario gracias a velocidades teóricas de hasta 300Mbps en bajada y 75Mbps en subida, latencias menores de 5ms en la RAN, mejora en la cobertura y capacidad del sistema; para los operadores, ésta estándar promete una reducción en costos de despliegue de red y de mantenimiento e integración transparente con la tecnología y los sistemas existentes.

LTE se basa en una arquitectura plana, es decir, una red completamente IP. Con esto se logra simplificar más la red, teniendo menos elementos y haciéndola más eficiente. Esta es una de las razones por la cual, los tiempos de ida y vuelta se ven considerablemente reducidos.

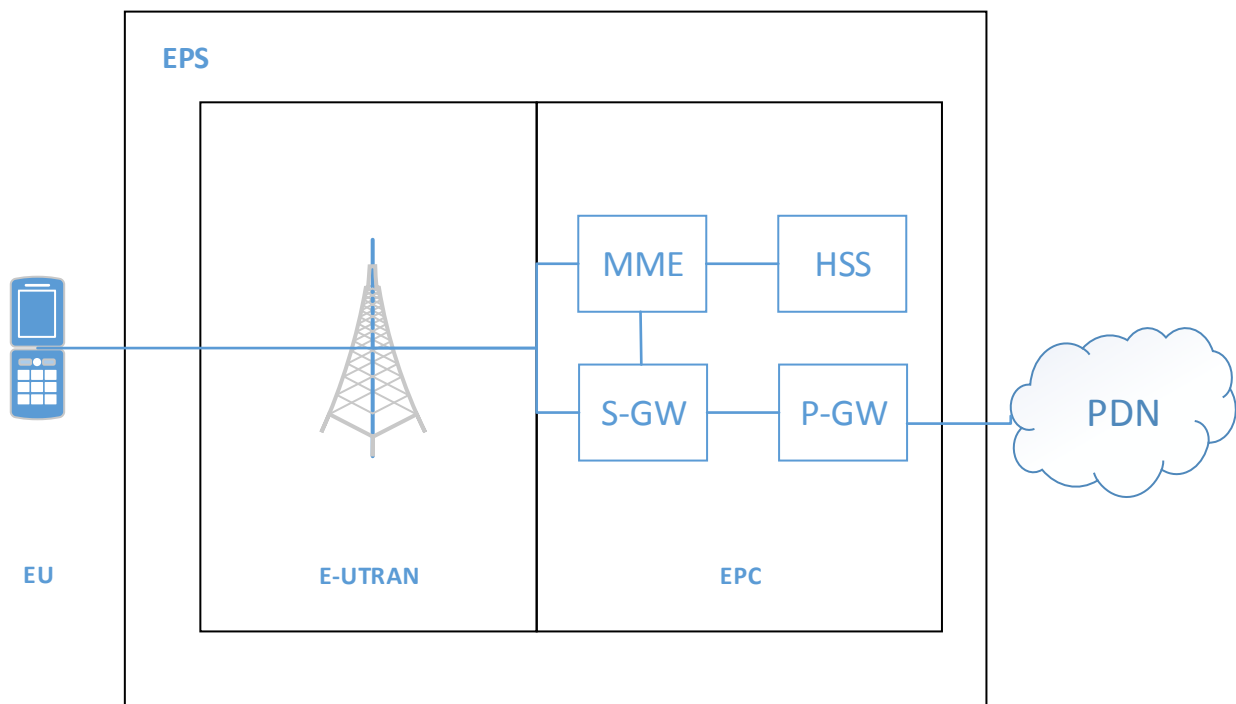
LTE implementa una nueva interfaz de radio, OFDMA en el enlace de subida y SC-FDMA en el enlace de bajada. Esto sumado a nuevos y mejores esquemas de modulación, mayores anchos de banda y multiplexión espacial, es lo que permite lograr las tasas de velocidad deseadas.

### 6.1 COMPONENTES DE UNA RED LTE

A groso modo, una red LTE esta compuesta por tres (3) partes, como se muestra en la Figura 3:

- El equipo de usuario (UE – *User Equipment*): este es el dispositivo móvil.
- La red de acceso (E-UTRAN – *Evolved UMTS Radio Access Network*): compuesta únicamente por el eNB.
- La red principal (EPC – *Evolved Packet Core*): Compuesta principalmente por cuatro (4) nodos: MME, HSS, SGW y P-GW.

Juntos el E-UTRAN y el EPC conforman lo que es el EPS. A continuación se explica con más extensión los componentes de la red de la EPS.



**Figura 3: Arquitectura LTE**

La E-UTRAN es la red de acceso de radio o interfaz de aire. A diferencia de sus predecesores, esta está compuesta únicamente por el eNB, es decir, no hay un nodo central que controle las estaciones base. De esta forma se reducen los tiempos de latencia haciendo más eficiente el sistema.

- eNB – *evolved NodeB*: Es el equipo de radio y antena que conecta al UE con el EPC. Los eNB se interconectan entre sí a través de la interfaz X2. Dentro de las funcionalidades del eNB tenemos:
  - Interfaz aire, la cual conecta al UE con el EPC. Utiliza OFDMA en el enlace de bajada y SC-FDMA en el enlace de subida.
  - Control y administración de recursos de radio.

El EPC es conocido también como SAE (*System Architecture Evolution*). Es la red principal del operador y está compuesta fundamentalmente por cuatro (4) nodos:

- MME – *Mobility Entity Management*: nodo de control que controla y procesa la señalización entre el UE y el EPC. Dentro de sus funciones esta:
  - El rastreo y la paginación (*tracking and paging*) del UE.
  - Activación y desactivación del *bearer*.
  - Intercambia información con el HSS para autenticar y autorizar el UE.
  - Escogencia de SGW para *initial attach*.
- HSS – *Home Subscriber Server*: en esencia es la base de datos que contiene información relacionada al UE.
  - Contiene información relacionada con el suscriptor.
  - Directamente relacionada con la autenticación, autorización y cifrado de seguridad.
- S-GW – *Serving Gateway*: sirve de ancla, ya sea local o de movilidad.
  - Enruta y reenvía paquetes de datos.
  - Mantiene la conexión para HO entre eNB y para HO entre sistemas (e.g. LTE y GSM/UMTS).
- P-GW – *PDN Gateway*: actúa como la puerta de salida hacia otras redes de datos.
  - Proporciona conectividad para el UE a otras redes de paquetes de datos.
  - Proporciona las direcciones IP para los UE.

- Sirve de ancla IP, en caso de que haya que cambiar de S-GW, y mantiene conectividad entre LTE y sistemas GSM/UMTS y sistemas no-3GPP como WiMAX y CDMA2000.
- Ejecuta QoS.

## 7. OBJETIVOS

Los objetivos del trabajo son:

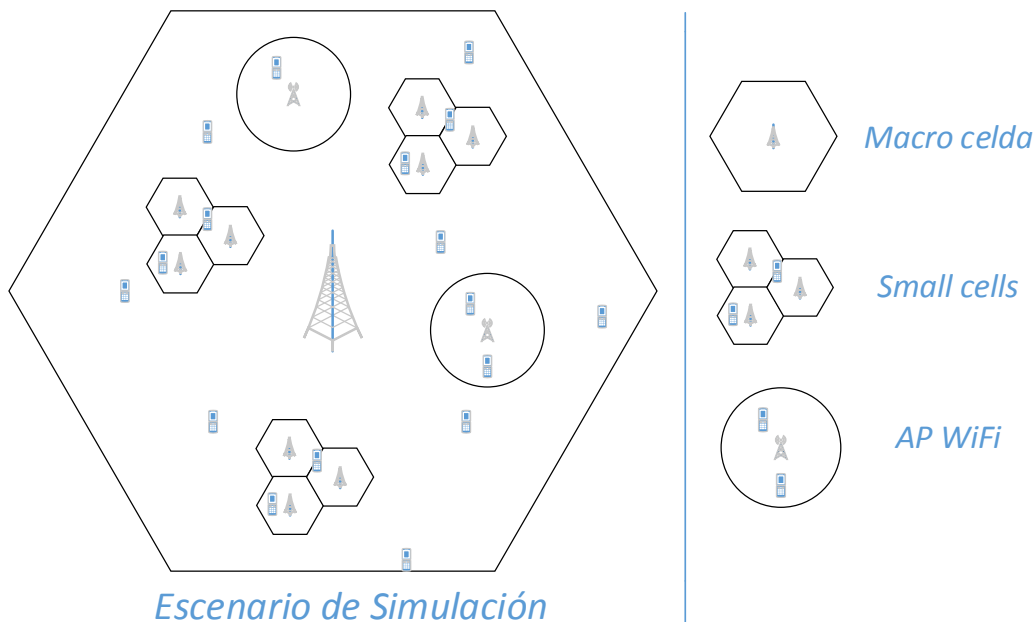
- Realizar un estudio con parámetros realistas de una red LTE.
- Demostrar que las *small cells* como técnicas de *data offloading* reducen la carga de la macrocelda.
- Demostrar que los AP *WiFi*, como técnicas de *data offloading* reducen la carga de la macrocelda.
- Comparar la eficiencia de las *small cells* vs los AP *WiFi* y analizar cómo se comportarían en conjunto.

## 8. METODOLOGÍA

Para realizar este trabajo, se utilizará el simulador de eventos discretos y de código abierto llamado ns3. El mismo corre ambiente Linux, y posee los modelos tanto de LTE como *WiFi* para llevar a cabo la simulación. El ns3 cuenta con las librerías necesarias para simular una red LTE y *WiFi*. Las librerías de LTE fueron desarrolladas por el Centro Tecnológico de Telecomunicaciones Cataluña (CTTC) bajo el proyecto LENA. En la investigación que estamos desarrollando, se contemplan 4 escenarios, los cuales se ven resumidos en la Figura 4.

Se asumirá lo siguiente:

- Una red LTE con una sola macrocelda.
- *WiFi* IEEE 802.11n, para los AP *WiFi*.
- Se tendrá un escenario de simulación plano, es decir, no habrán edificios.



**Figura 4: Escenario de Simulación**

Se simulará una red LTE que será congestionada y se espera ver una degradación de los servicios, proporcional a la cantidad de usuarios conectados a la red. Luego se instalarán varias *small cells* a las cuales los usuarios se podrán conectar, y se verá cómo responde el sistema. Posteriormente se hará lo mismo con el Access Point *WiFi* y por último se tendrán en conjunto tanto las *small cells* como los AP *WiFi* para evaluar la red.

La razón por la cual se utilizará el Rel. 8 y el 802.11n, como se puede observar en la Tabla 1, es debido a que sus parámetros son muy parecidos.

**Tabla 1: Comparación de ciertos aspectos técnicos de LTE y WiFi 802.11n**

	LTE	802.11n
BW (MHz)	20	20/40
MIMO	Si	Si
Modulación	64-QAM	64-QAM
Velocidad de descarga máxima teórica (Mbps)	300	300/600

## 9. CONCLUSIÓN

Con esta investigación, esperamos poder medir de forma cuantitativa el desempeño de una red LTE saturada y los muchos beneficios que pueden traer las *small cells* y los AP *WiFi* como técnicas de *data offloading*. Cabe mencionar que también serviría para futuros estudios y que el escenario puede evolucionar de acuerdo a las necesidades, siempre y cuando este dentro de las capacidades del simulador.

## AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue apoyado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Panamá, SENACYT, con los fondos de la partida 345.99.000.000000.005 para el programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería de Comunicaciones con énfasis en Redes Datos. Los autores desean expresar su agradecimiento al Centro de Investigación en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (CITIC) de la Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación de la Universidad de Panamá por permitir el uso de sus instalaciones para el desarrollo de esta investigación, y al Grupo de Servicios Avanzados de Internet (GISAI) del Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos (DIT) de la Universidad Politécnica de Madrid por facilitarnos sus instalaciones, orientación y apoyo en el desarrollo del proyecto.

## REFERENCIA

- Chandrasekhar, V., and Andrews, J.G. (2008). “Femtocell Networks: A Survey”. *IEEE Communications Magazine*, Vol. 46, No. 9, pp 59-67.
- Cisco, San Jose, CA. (2014). Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013-2018, [http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white\\_paper\\_c11-520862.pdf](http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-520862.pdf), 02/05/2014 (date accessed).
- Davis, H. (2004). *Absolute Beginner's Guide to Wi-Fi Wireless Networking*, 1<sup>st</sup> edition, Que Publishing, United States of America.
- Holma, H., and Toskala, A. (2010). *WCDMA for UMTS – HSPA evolution and LTE*, 4<sup>rd</sup> edition, John Wiley & Sons, England.
- Sesia, S., Toufik I., and Matthew, B. (2011). *LTE – The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice*, 2<sup>rd</sup> edition, John Wiley & Sons, England.

## **Authorization and Disclaimer**

*Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*