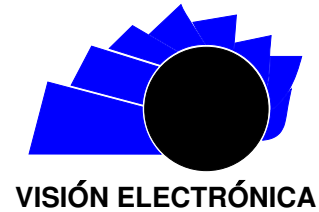




Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele>



VISIÓN INVESTIGADORA

Eficiencia de sistemas multiantena MU–MIMO por simulaciones de radiopropagación

MU–MIMO Multiantenna System Efficiency by Radiopropagation Simulations

Javier Enrique Arévalo Peña¹

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Enviado: 23/03/2017

Recibido: 26/03/2017

Aceptado: 12/04/2017

Palabras clave:

ICS Designer

Simulación de radiopropagación

Sistema multiantena MU–MIMO

Tecnología LTE.

RESUMEN

El presente artículo tiene como propósito realizar la descripción de los resultados de simulación de radiopropagación con una antena MU–MIMO (4x4) en una red LTE (del inglés Long Term Evolution), con el fin de establecer su eficiencia respecto a una antena estándar. En esta vía, se emplea la herramienta de diseño de redes inalámbricas ICS Designer en la cartografía digital de alta resolución en un escenario urbano de la ciudad de Bogotá D.C., Colombia. Se utiliza el modelo 3GPP LTE en la simulación de la red LTE y se analizan los parámetros RSRP (del inglés, *Reference Signal Received Power*), RSRQ (del inglés, *Reference Signal Received Quality*), SNIR (del inglés, *Signal to Noise and Interference Ratio*) rendimiento (*Throughput*) y QCI (del inglés, *QoS Class Identifier*). Se evidencian, como consecuencia de los resultados, ventajas de las antenas MU–MIMO.

Open access



Keywords:

ICS Designer

Radiopropagation simulation

MU–MIMO Multiantenna system

LTE technology.

ABSTRACT

This paper has as purpose the description of the results of antenna MU - MIMO (4x4) radio propagation simulation in an LTE (Long Term Evolution) network to establish its efficiency with respect to a standard antenna. In this way are used the ICS Designer design tool wireless networks and the digital high resolution cartography of urban scenes of the city of Bogotá (Colombia). The 3GPP LTE model used in the simulation of the LTE network and the parameters RSRP (Reference Signal Received Power), RSRQ (Reference Signal Quality Received) SNIR (Signal to Interference and Noise Ratio) performance (throughput) and QCI (QoS Class Identifier) are analyzed. As a consequence of the results, are evidenced the advantages of the MU-MIMO antennas.

¹Ingeniero electrónico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; especialista en Telecomunicaciones Móviles, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; magister en Ingeniería de Telecomunicaciones, Universidad Nacional de Colombia. Grupo de Investigaciones en Automática, Electrónica y Telecomunicaciones, programa de Ingeniería Electrónica, Fundación Universidad Autónoma de Colombia. Correo electrónico: javier.arevalo@fuac.edu.co y jarevalop@gmail.com.

1. Introducción

En los últimos años, la importancia de los servicios inalámbricos ha crecido en gran medida, de tal forma que la oferta de tecnologías y redes que pueden proporcionar mejores capacidades y rendimientos es cada vez mayor. Debido a esto, las investigaciones han evolucionado en busca de lograr mayores anchos de banda y mejorar la optimización de las modulaciones y sistemas de multicanalización [1].

En este sentido, los sistemas MIMO (del inglés, *Multiple Input Multiple Output*) son una de las tecnologías que surgieron para mejorar la calidad de los servicios de telecomunicaciones, ya que al utilizar técnicas de multicanalización en espacio aumenta la eficiencia del uso del ancho de banda, además de mejorar la tasa de transferencia de información, lograr mayores distancias en cobertura y capacidad de usuarios [2]. Tales desarrollos, en su implementación, han sido apropiados por la tecnología LTE [3].

Los sistemas MIMO se pueden dividir en dos tipos: el sistema SU-MIMO (del inglés, *Single User MIMO*) y el sistema MU-MIMO (del inglés, *Multi User MIMO*); aunque ambos utilizan igualmente múltiples antenas transmisoras y receptoras, la diferencia entre uno y otro radica en que el sistema MU-MIMO ya no se limita la transmisión de información a un único usuario, sino que se utiliza para enviar y recibir la información para muchos usuarios, es decir, además de aprovechar el uso de múltiples antenas explota la multiplicidad de usuarios [4].

Por otra parte, la evolución de los modelos de propagación ha venido ligada a nuevas necesidades de servicios y tecnologías. Para el caso investigado, se realizan las pruebas de simulación con el modelo 3GPP-LTE propuesto para el diseño de la tecnología LTE; este modelo de tipo empírico ha sido concebido para sistemas de macroceldas y aplicable a zona de entornos urbanos y suburbanos [5], [6].

De lo anterior, para el desarrollo de los resultados mostrados en el artículo, se emplea la herramienta de simulación de redes de telecomunicaciones ICS Designer, adquirida por la Fundación Universidad Autónoma de Colombia para labores de investigación en el área. ICS Designer es una de las plataformas de modelación de ATDI (*Advanced Topographic Development and Images*) para la planeación de redes de telecomunicaciones y para la gestión del espectro de frecuencias. El *software* está enfocado en las necesidades del diseño de redes para operadores comerciales, reguladores del espectro,

fabricantes de equipos y consultores [7].

El artículo se estructura de la siguiente manera: primero se describen los materiales y métodos de comparación enfatizando en el procedimiento de simulación de la red LTE; posteriormente, se exhiben los resultados de simulación en el escenario de estudio, y, finalmente, se presentan las conclusiones.

2. Materiales y métodos: procedimiento de simulación de la red LTE

En el proceso de simulación de la red LTE se describen las características de simulación con la herramienta ICS Designer, la ubicación de las estaciones base (eNodeB) y los parámetros LTE empleados en cada estación.

2.1. Descripción del proceso de simulación con ICS Designer

El software de simulación ICS Designer permite realizar una cantidad significativa de procesos de simulación y representación de los sistemas de radiocomunicaciones más desplegados en el medio, con la posibilidad de evaluar el desempeño de estos con gran precisión [8].

ICS Designer presenta un funcionamiento por capas, donde cada una de ellas apoya el desarrollo de las diferentes simulaciones; generalmente, hay un archivo asociado a cada capa. Los archivos de extensión *.GEO corresponden a archivos con la información DEM (modelo digital de elevación), DTM (modelo digital de terreno), DCM (modelo digital de ciudad) o DSM (modelo digital de superficie). Los archivos de extensión *.IMG son archivos de imagen exacta correspondiente al terreno descrito en el archivo DEM, es decir, son imágenes georreferenciadas que complementan la información del *.GEO. Los archivos con la paleta de colores del mapa de extensión *.PAL son esenciales para mostrar la imagen y están asociados con el archivo *.IMG (correspondencia).

Por otro lado, los archivos Clutter, de extensión *.SOL, contienen la información del tipo de zonas dentro del mapa; las zonas se clasifican en: zona urbana, boscosa, agua, entre otras. Los archivos con extensión *.BLG cuentan con la información sobre la altura de edificios, deseable para realizar análisis en interiores (Indoor). Los archivos de cobertura *.FLD contienen los resultados de la simulación de la cobertura de una o varias antenas, almacenan huellas de cobertura y de interferencia. Los

archivos de objetos *.EWF poseen la información de la ubicación de las antenas, radares y todo objeto activo y pasivo en una simulación en ICS Designer, es decir, guarda la configuración de la red y su cobertura asociada. Los archivos vectoriales con extensión *.VEC cuentan con la información de todos los objetos vectoriales generados por la simulación o por el usuario. Finalmente, los archivos de parámetros con extensión *.PRM poseen la información de los parámetros de los elementos de la red [9].

Para iniciar un proyecto con ICS Designer es necesario contar con una cartografía adecuada, es decir, con un archivo de extensión *.GEO que se pueda complementar con archivos de extensión *.IMG, *.PAL, *.SOL. Después, se procede a configurar la red a simular y se efectúan las simulaciones correspondientes. Los datos y resultados se conservan en archivos con extensiones *.EWF y *.FLD para el análisis posterior.

2.2. Ubicación y parámetros de estaciones base (e-NodoB)

Para establecer el diseño de la red de estaciones base, se parte de su ubicación real dentro de la zona de estudio; por ello, se realiza un levantamiento en campo enfocado a ubicar las estaciones base de los operadores celulares. El levantamiento efectuado fue apoyado en las indicaciones aportadas por ingenieros de soporte de empresas operadoras de telefonía móvil celular sobre las características propias de las estaciones base, lo que dio como resultado las ubicaciones mostradas en la Tabla 1 [10].

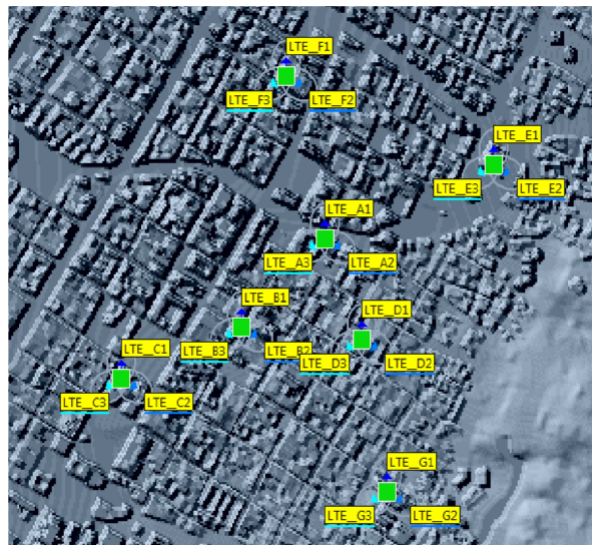
Tabla 1: Ubicación estaciones base

Estación	Dirección de ubicación
A	Carrera 8 Calle 10
B	Carrera 3 Calle 13
C	Carrera 6 Calle 12
D	Carrera 5 Calle 15
E	Carrera 3 Calle 18
F	Carrera 8 Calle 17

Fuente: elaboración propia

Para este caso específico, la zona de trabajo está ubicada en los alrededores de la sede de la Fundación Universidad Autónoma de Colombia en el centro histórico de la ciudad de Bogotá D. C., escogida por la alta densidad de usuarios móviles y, por lo tanto, de alto tráfico de red. Comprende el área delimitada por la carrera tercera hasta la carrera décima y la calle diecinueve hasta la calle octava, con una cobertura total de 1.353 Km² [10], como lo presenta la Figura 1.

Figura 1: Escenario de estudio en el centro de la ciudad de Bogotá D.C.



Fuente: elaboración propia.

Los siguientes son los principales parámetros utilizados en la simulación con la tecnología LTE [11]. Los valores escogidos son presentados en la Tabla 2.

- Potencia Tx: potencia de transmisor de la estación base eNodoB.
- Ganancia de antena estación base: ganancia proporcionada por la antena Tx/Rx.
- Pérdida de cable de la estación base: atenuación por los cables de la estación base desde las antenas al receptor, incluyendo acopladores y multiplexores.
- Potencia radiada isotrópica efectiva (EIRP): potencia de transmisión de la estación base menos cualquier pérdida de cable y ganancia de antena efectiva.
- Frecuencia portadora: frecuencia escogida como referencia de operación para LTE.
- Ancho de banda de canal: ancho de banda establecido para la tecnología LTE.
- Razón máxima de tráfico en el canal de datos: capacidad de transmisión de información del sistema, generalmente relacionada con el canal de tráfico.
- Porcentaje de la señal de referencia: porcentaje de la potencia del transmisor dedicado al canal de referencia. Es fijo e independiente de la carga de tráfico de la celda.

- Porcentaje PDSCH (canales de tráfico): porcentaje de la potencia del transmisor dedicado al canal de tráfico. Tiene relación con la cobertura e interferencia en un escenario específico.
- Porcentaje canales de control: porcentaje de la potencia del transmisor dedicados a otros canales comunes (búsqueda, sincronización, etc.). Esta potencia se toma como un total y no se enfoca a algún canal de control en particular.

Tabla 2: Parámetros simulación LTE

Parámetro	Valor
Potencia nominal eNodoB	10W
Ganancia antena Tx/Rx	15 dBi
Pérdidas en líneas y conectores	0.5 dB
Frecuencia de operación	2 GHz
Ancho de banda de canal	5 MHz
Modulación	64QAM
Ruido	- 98 dBm
Relación C/N	1 dB
Porcentaje señal de referencia	10 %
Porcentaje señal PDSCH	70 %
Porcentaje señal de control	20 %

Fuente: elaboración propia

3. Descripción de resultados en los Procesos de Simulación

A continuación, se describen los diferentes tipos de simulación dentro del programa ICS Designer que se utilizan para realizar el estudio de radio propagación del sistema de antena convencional y del sistema MU-MIMO.

3.1. Simulaciones RSRP (*Reference Signal Received Power*)

El parámetro RSRP se utiliza para medir la cobertura en el enlace de bajada de las celdas en LTE, con respecto a la referencia en dBm. Se utiliza en la red para tomar decisiones de traspaso de usuarios entre estaciones (*handovers*) de forma que los equipos móviles vecinos observan qué tan fuerte es la referencia de la señal recibida de determinada estación base, [12].

Los resultados del RSRP también pueden ser usados para monitorear y administrar el espectro y para determinar si las portadoras deben ser reconfiguradas [13]. Los resultados del RSRP pueden ser categorizados en tres rangos [11, 14]: si el RSRP es mayor a -75 dBm, se puede esperar una excelente calidad de servicio (QoS),

en tanto no hayan demasiados suscriptores consumiendo el ancho de banda disponible; en el rango entre -75 dBm y -95 dBm, se puede producir una degradación de la calidad de servicio (QoS), por lo que el rendimiento se reducirá entre 30 % y 50 %; si el RSRP es inferior a -95 dBm, la calidad de servicio (QoS) es inaceptable y el rendimiento tiende a ser cero a partir de -100 dBm, bajo estas condiciones se esperan caídas de las llamadas.

3.2. Simulaciones RSRQ (*Reference Signal Received Quality*)

El parámetro RSRQ se emplea para determinar la calidad de servicio dedicada a la señal de referencia; compara la señal recibida con respecto a la interferencia generada por las estaciones base. El RSRQ es usualmente expresado en dB, es negativo ya que la referencia de señal recibida es menor que la potencia total.

Este parámetro ayuda en decisiones de *handover*, ya que los dispositivos móviles en estaciones base vecinas observan los niveles de interferencia [12]. Al igual que para el RSRP, pueden ser definidos tres rangos de calidad [11, 14, 15]: si el valor de RSRQ es mayor que -9 dB hay una garantía de servicio para el usuario adecuada; si el valor de RSRQ está entre -9 dB y -12 dB, puede considerarse como neutral, con una pequeña degradación de la calidad de servicio para el usuario; si el valor de RSRQ está por debajo de -13 dB, la eficiencia tiende a caer y se entra en las peores condiciones de transmisión.

3.3. Simulaciones SNIR (*Signal to Noise and Interference Ratio*)

Son simulaciones de interferencia debido a que la señal recibida está variando constantemente y está expuesta a contaminaciones. El cálculo del SNIR se puede realizar mediante distribuciones de probabilidad y generalmente se expresa en dB. Al incrementar el SNIR decrece la probabilidad de que la transmisión falle. El desempeño del sistema es una combinación de dos aspectos: el BER (*Bit Error Rate*) y el SNIR, ya que al incrementar el SNIR decrece el valor del BER [16]. El análisis de interferencia SNIR se enfoca en los resultados de tres simulaciones, siendo en todos los casos se considerados adecuados valores elevados de estos parámetros como un desempeño satisfactorio del sistema [11, 17]. SNIR (PDSCH; dB), obedece a la relación C (dBm)/RSSI (dBm), en la cual C (dBm) es la potencia recibida para el canal de tráfico deseado PDSCH en el enlace de bajada y el RSSI (*Received Signal Strength Indicator*; dBm), es la potencia total recibida de todas las fuentes. SNIR (canales control; dB), usado para analizar la interferencia de todos los canales transmitidos

por el eNodeB, excepto los canales de tráfico. Y SNIR (RSRQ; dB), que básicamente representa la interferencia en la cobertura de la señal piloto.

En los resultados se pueden definir varios niveles de calidad de SNIR según el porcentaje de tiempo en el cual no se alcanza un nivel determinado de SNIR, es decir, se está por fuera de ese valor. Los tiempos de pérdida de servicio pueden ser calculados basados en distribuciones de señal e interferencia, que generalmente son constantes para una red y que pueden ser aproximados por distribuciones gaussianas [18]. En general, se pueden tomar las siguientes referencias: si el valor de SNIR es menor a 10 dB, puede haber una pérdida de servicio de más del 70 %; si el valor de SNIR está entre 10 dB y 15 dB, las pérdidas del servicio estarán entre 70 % y el 20 %; si el valor de SNIR es mayor a 15 dB, las pérdidas del servicio serán menores al 20 %.

3.4. Simulaciones de Rendimiento (Throughput) y QCI (QoS Class Identifier)

Estas simulaciones denotan el desempeño del sistema LTE, tanto en la capacidad de información que puede ofrecerse a los usuarios (Kbps) como en la calidad de servicio (QoS). Las simulaciones de rendimiento pueden ser ejecutadas de acuerdo con un escenario específico de tráfico (alto tráfico, bajo tráfico), y el comportamiento tráfico en cada estación base de la red LTE puede ser ajustada mediante los porcentajes de potencia asignados a la señal de referencia, señal de tráfico y señal de control [11].

El parámetro QCI, representa una determinada clase de servicio o comportamiento de la red LTE. Sus características se encuentran estandarizadas y los servicios portadores pueden clasificarse como recursos de tasa garantizada GRB (Guaranteed Bit Rate) o recurso de tasa no garantizada No-GRB. En los servicios con GRB, la portadora asignada al servicio dispone de unos recursos asignados de manera permanente y en los servicios sin GRB, no se reserva una cantidad de recursos fija sino que se actúa de la mejor manera posible atendiendo a las circunstancias específicas de cada transmisión [17]; asimismo, cada QCI está asociado a un nivel de prioridad, siendo el nivel uno el más alto según están definidos por el 3GPP [3, 11, 18].

4. Análisis de los resultados de las simulaciones

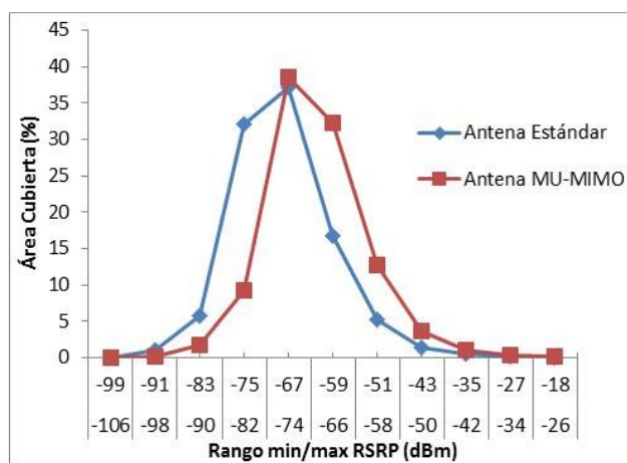
Se presentan los resultados de las simulaciones de cobertura compuesta RSRP, simulaciones RSRQ, simulaciones SNIR (PDSCH), simulaciones SNIR (canales control), SNIR (RSRQ), simulaciones de

rendimiento (Throughput) y simulaciones QCI (QoS Class Identifier), comparando el desempeño obtenido con antenas estándar y antenas MU-MIMO (4x4) [10].

4.1. Simulaciones RSRP

La Figura 2 presenta los datos obtenidos de las simulaciones, donde se observa que para la antena estándar cubrimientos del 61.12 % para RSRP mayores a -75 dBm, del 37.80 % para RSRP entre -75 dBm y -95 dBm y del 1.06 % para RSRP por debajo de -95 dBm. Mientras que para la antena MU-MIMO, las coberturas para RSRP mayores a -75 dBm son del 88.91 %, para RSRP entre -75 dBm y -95 dBm del 10.97 % y para RSRP por debajo de -95 dBm del 0.10 %. Es decir, se aguarda un aumento del 27.79 % en los mayores valores de cobertura RSRP donde se espera excelente calidad de servicio de antena MU-MIMO con respecto a la antena estándar.

Figura 2: Resultados Simulaciones RSRP: antena estándar y antena MU-MIMO

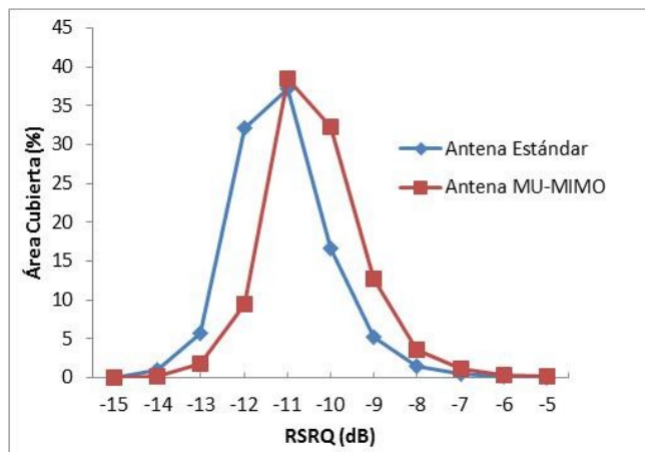


Fuente: elaboración propia.

4.2. Simulaciones RSRQ

Los valores extraídos de estas simulaciones se grafican en la Figura 3. Para la antena estándar, los valores mayores de RSRQ de -9 dB tienen una cobertura del 2.00 %, los valores entre -9 dB y -12 dB tienen cobertura del 91.18 % y los valores por debajo del -13 dB tienen una cobertura del 6.81 %. Para la antena MU-MIMO, los valores de RSRQ mayores a -9 dB tienen cobertura del 5.16 %, los valores entre -9 dB y -12 dB tienen cobertura del 93.0 % y los valores por debajo del -13 dB tienen una cobertura del 1.83 %. De tal forma que los mayores valores de cobertura RSRQ donde hay una garantía de servicio para el usuario adecuada aumentan en 3.16 % en la antena MU-MIMO con respecto a la antena estándar.

Figura 3: Resultados Simulaciones RSRQ: antena estándar y antena MU-MIMO



Fuente: elaboración propia.

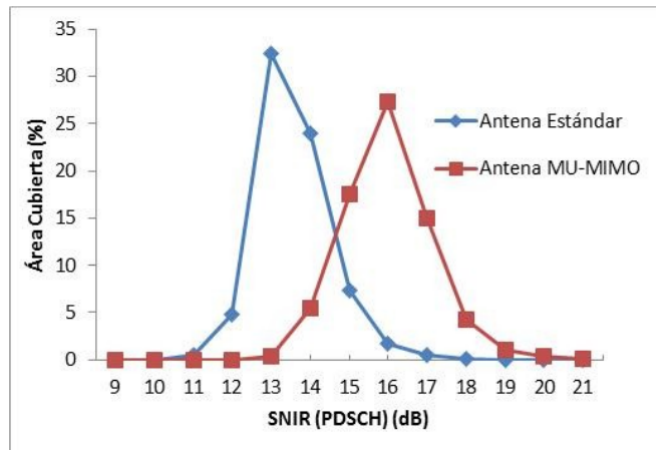
4.3. Simulaciones SNIR (PDSCH)

En la Figura 4, se muestran los datos extraídos de las simulaciones. Para la antena estándar, los valores de SNIR menores a 10 dB se presentan en 0.0% de la cobertura, los valores de SNIR entre 10 dB y 15 dB están presentes en el 61.62% de la cobertura y los valores de SNIR mayores de 15 dB se presentan en 9.62% de la cobertura. Para la antena MU-MIMO, los valores de SNIR menores a 10 dB están presentes en 0.0% de la cobertura, los valores de SNIR entre 10 dB y 15 dB se presentan en 5.86% de la cobertura y los valores de SNIR mayores de 15 dB están presentes en 65.39% de la cobertura. Por lo cual, los mayores valores de cobertura SNIR (PDSCH) donde se espera que las pérdidas de servicio de servicio sean menores al 20%, son de 55.77% mayores en la antena MU-MIMO con respecto a la antena estándar.

4.4. Simulaciones SNIR (canales control)

Los obtenidos de las simulaciones se observan en la Figura 5. En la antena estándar, los valores de SNIR menores a 10 dB cubren el 0.48% del área, los valores de SNIR entre 10 dB y 15 dB se presentan en 87.98% del área y los valores de SNIR mayores a 15 dB cubren el 11.52% del área. Para la antena MU-MIMO, los valores de SNIR menores a 10 dB se presentan en 0.0% de la cobertura, los valores de SNIR entre 10 dB y 15 dB se presentan en 44.70% de la cobertura y los valores de SNIR mayores a 15 dB están presentes en 55.29% del área cubierta. Por tanto, los mayores valores de cobertura

Figura 4: Resultados Simulaciones SNIR (PDSCH): antena estándar y antena MU-MIMO



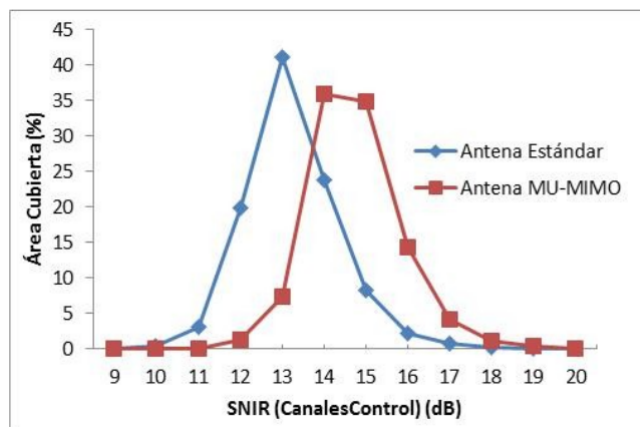
Fuente: elaboración propia.

SNIR (canales control) donde se espera que las pérdidas de servicio de servicio sean menores al 20%, son 43.77% mayores en la antena MU-MIMO comparados con la antena estándar.

4.5. Simulaciones SNIR (RSRQ)

En la Figura 6 se presentan las gráficas de los datos obtenidos de las simulaciones. Para la antena estándar, los valores SNIR menores a 10 dB tienen una cobertura de 1.08%, los valores de SNIR entre 10 dB y 15 dB cubren el 91.70% del área y los valores de SNIR mayores a 15 dB se presentan en 7.20% del área. Para la antena MU-MIMO, los valores SNIR menores a 10 dB están presentes

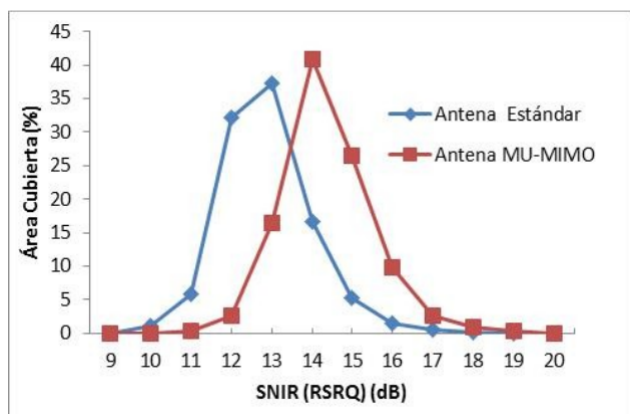
Figura 5: Resultados Simulaciones SNIR (canales control): antena estándar y antena MU-MIMO



Fuente: elaboración propia.

en 0.0% del área, los valores de SNIR entre 10 dB y 15 dB se presentan en 60.21% del área y los valores mayores a 15 dB tienen una cobertura del 39.78%. Es decir, los mayores valores de cobertura SNIR (RSRQ) donde se espera que las pérdidas de servicio de servicio sean menores al 20%, son 35.58% mayores en la antena MU-MIMO sobre la antena estándar.

Figura 6: Resultados simulaciones SNIR (RSRQ): antena estándar y antena MU-MIMO



Fuente: elaboración propia.

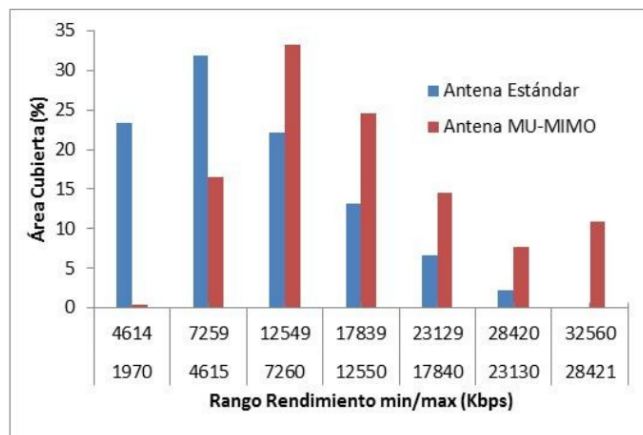
4.6. Simulaciones de Rendimiento (Throughput)

En la Figura 7 se observa la comparación entre los niveles de rendimiento obtenidos de las simulaciones. Para la antena estándar, los niveles de capacidad de información ofrecidos a los usuarios desde 1970 Kbps a 7259 Kbps tienen un cubrimiento del 55.19% y los niveles desde 7260 Kbps a 32560 Kbps presentan un cubrimiento del 44.13%. Mientras que para la antena MU-MIMO, los niveles de capacidad de información ofrecidos a los usuarios desde 1970 Kbps a 7259 Kbps tienen un cubrimiento del 16.78% y los niveles desde 7260 Kbps a 32560 Kbps presentan un cubrimiento del 90.89%. Por tanto, se puede establecer una diferencia de cubrimiento en los valores mayores de capacidad del 46.76% de la antena MU-MIMO sobre la antena estándar.

4.7. Simulaciones QCI (QoS Class Identifier)

En la Figura 8 se muestra la comparación entre los valores obtenidos de las simulaciones. Se tienen en cuenta los servicios No-GRB por ser los que no tienen reserva de recursos fijos y, por ende, necesitan disposición de la red para atender los requerimientos en circunstancias concretas. Para la antena estándar, el área cubierta para los servicios No-GRB es de 61.71% y para la antena MU-MIMO es de 100%.

Figura 7: Resultados simulaciones rendimiento (Throughput): antena estándar y antena MU-MIMO.

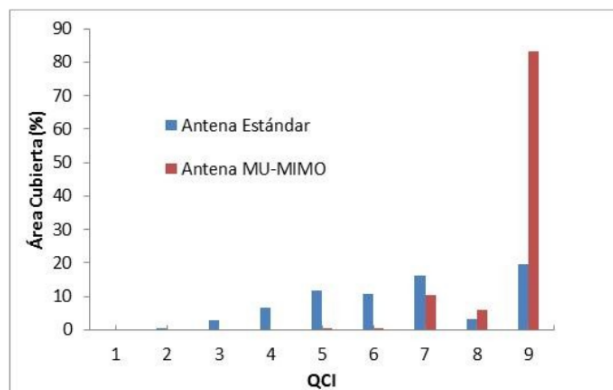


Fuente: elaboración propia.

5. Conclusiones

Por lo expuesto anteriormente, se observa mejor desempeño en el sistema multiantena MU-MIMO (4x4) en todos los parámetros simulados sobre la antena estándar. Los resultados numéricos que indican las predicciones de cobertura tomando las referencias establecidas específicas para cada uno de los parámetros simulados de cobertura e interferencia — RSRP, RSRQ, SNIR (PDSCH), SNIR (canales control), SNIR (RSRQ)— resultaron favorables al sistema MU-MIMO (4x4). Los valores de cobertura en los niveles que aseguran la calidad del servicio para los usuarios son superiores con respecto a la antena estándar y, de igual forma, los valores de cobertura donde se espera pérdidas menores de calidad de servicio son mayores en la antena MU-MIMO.

Figura 8: Resultados simulaciones QCI (QoS Class Identifier): antena estándar y antena MU-MIMO



Fuente: elaboración propia.

La mejora en la eficiencia del uso del espectro radioeléctrico es ampliamente favorecida con el empleo de sistemas multiantena MU-MIMO. Las capacidades de rendimiento (*Throughput*) aumentaron en un 50% aproximadamente con respecto a la antena estándar, este hecho se observó principalmente en la cobertura con mayor transmisión de información (Kbps). De igual manera, los indicadores de calidad de servicio (QCI) para los servicios no garantizados (No-GBR) se ven favorecidos con el empleo de antenas MU-MIMO, es así que se alcanzó una cobertura del 100%.

Como trabajo futuro se plantean realizar implementaciones prácticas que permitan verificar, a través de medidas de campo radioeléctrico, el empleo de los modelos de radio propagación y el comportamiento en situaciones reales de los sistemas multiantena. Estos resultados posibilitaran la generación de metodologías de diseño de red más acertadas para las tecnologías de nueva generación.

6. Reconocimientos

El autor expresa sus agradecimientos al Sistema Unificado de Investigaciones (SUI) de la Fundación Universidad Autónoma de Colombia por el apoyo económico en la obtención y presentación de los resultados del presente artículo. A la empresa TES América Andina Ltda., por su colaboración en la labor de investigación en el área de telecomunicaciones, y a la Dirección de Programa de Ingeniería Electrónica de la Fundación Universidad Autónoma de Colombia por su interés en el desarrollo de esta línea de investigación.

Referencias

- [1] J. Li, X. Wu y R. Laroia, OFDMA “Mobile Broadband Communications: A Systems Approach”. New York: Cambridge University Press, 2013. <https://doi.org/10.1017/CB097890511736186>
- [2] A. Sibille, C. Oestges y A. Zanella, “MIMO: From Theory to Implementation”. Oxford: Elsevier, 2011.
- [3] J. M. Huidobro, “Comunicaciones Móviles: Sistemas GSM, UMTS y LTE”. México: Alfaomega, 2013.
- [4] J. R. Hampton, “Introduction to MIMO Communications”. New York: Cambridge University Press, 2014.
- [5] 3GPP, “Technical Report 3GPP TR 36.942”. Paris: 3GPP Organizational Partners, 2010.
- [6] ITU-R, “Recommendation PN.525-2: Calculation of Free-Space Attenuation”. Zurich: ITU-R, 1994.
- [7] ATDI, “ICS Designer: The Most Complete and Cost-Effective Radio Planning Tool”. Paris: ATDI, 2014.
- [8] J. Bielak, “ICS Designer: Quick Start”. Paris: ATDI, 2012.
- [9] P. Missud, “ICS Telecom Reference Manual”. Paris: ATDI, 2013.
- [10] J. E. Arévalo, “Contribución a la caracterización de modelos de radio propagación para sistemas multiantena en redes móviles celulares de cuarta generación (4G)”. Informe de Investigación, Bogotá, D.C.: Fundación Universidad Autónoma de Colombia, 2014.
- [11] ATDI, “Tutorial LTE Network Design with ICS Telecom”. Paris: ATDI, 2012.
- [12] M. Suater, “From GSM to LTE: An Introduction for Mobile Networks and Mobile Broadband”. Chichester: John Wiley & Sons, 2011.
- [13] E. Dahlman, S. Parkvall y J. Skold, “4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband”. Oxford: Elsevier, 2014.
- [14] R. Kreher y K. Gaenger, “LTE Signaling: Troubleshooting and Optimization”. Chichester: John Wiley & Sons, 2011.
- [15] S. Sesia, I. Toufik y M. Baker, “LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice”. Chichester: John Wiley & Sons, 2011. <https://doi.org/10.1002/9780470978504>
- [16] L. Korowajczuk, “LTE, WiMAX and WLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis”. Chichester: John Wiley & Sons, 2011. <https://doi.org/10.1002/9781119970460>
- [17] N. Cardona, J. J. Olmos, M. García y J. F. Monserrat, “3GPP LTE: Hacia la 4G Móvil”. Barcelona: Marcombo, 2011.
- [18] T. Ali-Yahiya, “Understanding LTE and its Performance”. New York: Springer, 2011. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6457-1>