

MITIGACIÓN DE LA INTERFERENCIA INTER-CELDA CON TÉCNICAS DE REÚSO DE FRECUENCIA EN UN SISTEMA LTE

INTER - CELL INTERFERENCE MITIGATION WITH FREQUENCY REUSE TECHNIQUES IN AN LTE SYSTEM

**AUTOR**

MARÍA MANUELA SILVA
ZAMBRANO
Pregrado
*Universidad del Cauca
Estudiante
Dependencia
mariasilva@unicauca.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

VALENTINA GISELLE MORENO
PARRA
Pregrado
*Universidad del Cauca
Cargo
Dependencia
valentinamoreno@unicauca.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

CLAUDIA MILENA
HERNANDEZ BONILLA
Maestría
*Universidad del Cauca
Docente
Departamento de
Telecomunicaciones
claudiah@unicauca.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

VÍCTOR MANUEL QUINTERO
FLOREZ
Maestría
*Universidad del Cauca
Docente
Departamento de
Telecomunicaciones
vflorez@unicauca.edu.co
COLOMBIA

***INSTITUCION**

Universidad del Cauca
UNICAUCA
Institución Pública
Calle 5 No 4 -70
digital@unicauca.edu.co
COLOMBIA

INFORMACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN O DEL PROYECTO: Artículo resultado de un trabajo de pregrado desarrollado en la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca.

RECEPCIÓN: 15 de Enero de 2016

ACEPTACIÓN: 14 de Abril de 2016

TEMÁTICA: Comunicaciones móviles

TIPO DE ARTÍCULO: Artículos de Investigación Científica e Innovación

Forma de citar: Silva Zambrano, M. M. (2016). Mitigación de la interferencia inter-celda con técnicas de reúso de frecuencia en un sistema LTE. En R, Llamosa Villalba (Ed.). Revista Gerencia Tecnológica Informática, 15(42), 31-39. ISSN 1657-8236.

RESUMEN ANALÍTICO

En este artículo, se presentan los resultados obtenidos de la implementación y evaluación de un módulo de mitigación de interferencia inter-celda sobre un simulador básico a nivel de sistema para Evolución de Largo Término (LTE, *Long Term Evolution*); Se emplearon las técnicas Reúso de Frecuencia Suave y Reúso de Frecuencia Fraccional 1.5, para evaluar el desempeño del sistema y evidenciar la variación de la interferencia inter-celda. Los resultados muestran que el uso de estas técnicas mitiga la interferencia inter-celda en diferentes condiciones.

PALABRAS CLAVES: Reúso de frecuencia, Interferencia inter-celda, Capacidad de LTE.

ANALYTICAL SUMMARY

This article presents the results obtained from the Implementation and Evaluation of a module mitigating inter-cell on a basic system level simulator for LTE interference; The Soft Frequency Reuse and 1.5 Fractional Frequency Reuse techniques were used to evaluate system performance and demonstrate the variation of the inter-cell interference. The results show that the use of these techniques mitigate intercell interference on different conditions.

KEYWORDS: Frequency reuse, Intercell Interference, LTE Capacity.

INTRODUCCIÓN

La llegada de una nueva tecnología en las comunicaciones móviles pretende satisfacer las demandas de los usuarios que cada día se tornan más exigentes en cuanto a capacidad y velocidad de transmisión de datos. La cuarta generación de la telefonía móvil celular Evolución de Largo Término (LTE, *Long Term Evolution*) busca reducir costos en la infraestructura de la red y migrar el sistema al modelo de negocio de los datos [1]. El Release 8 establecido por el Proyecto de Cooperación en Sistemas de Tercera Generación (3GPP, *Third Generation Partnership Project*), define el uso de las técnicas de acceso en redes LTE, las cuales son Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales (OFDMA, *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) para el Enlace de Bajada (DL, *DownLink*) y Acceso Múltiple por División de Frecuencia de Portadora Única (SC-FDMA, *Single Carrier - Frequency Division Multiple Access*) para el Enlace de Subida (UL, *UpLink*) [2-3]. 3GPP establece un factor de reúso de frecuencia igual a uno, esta es la característica principal de la técnica de Reúso de Frecuencia Universal (UFR, *Universal Frequency Reuse*), consiste en que cada eNodeB (estación base) utiliza todo el Ancho de Banda (BW, *BandWidth*) disponible para la transmisión, es decir que las celdas de la red utilizan todos los recursos disponibles.

UFR permite que los usuarios alcancen altas velocidades de transmisión, pero los Equipos de Usuario (UE, *User Equipment*) ubicados en el borde de la celda pueden percibir interferencia inter-celda, lo cual impide que

alcancen altas velocidades. Las técnicas de coordinación y mitigación de interferencia buscan reducir la Interferencia Inter-Celda sin sacrificar de forma significativa los recursos disponibles.

En la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, en el Grupo de Investigación de Radio e Inalámbricas (GRIAL) se realizó la I versión de un simulador básico a nivel de sistema para LTE [4], enfocado en el análisis de capacidad en el ámbito académico. Esta versión permite realizar cálculos de cobertura y capacidad, así como variar el tipo de antena, el tilt y el azimut. El simulador no cuenta con un módulo que permita analizar el Reúso de Frecuencias.

Posteriormente, en la versión II del simulador se agregaron 3 planificadores de recursos radio, Round Robin (RR), Proportional Fair (PF) y Maximun Rate (MR) [5].

En este artículo se presentan los resultados de la implementación de un módulo de técnicas de reúso de frecuencia sobre el simulador básico a nivel de sistema para LTE¹ y el análisis de la mitigación de la interferencia inter-celda.

El artículo está organizado de la siguiente forma, en la sección I se presentan los Fundamentos Teóricos, posteriormente en la sección II se encuentran las Generalidades del Simulador. En la sección III se

¹ El Simulador Básico a Nivel de Sistema para LTE fue desarrollado en la Universidad del Cauca como trabajo de grado

muestra la Metodología de Simulación, en la sección IV se encuentran los Resultados y Análisis y finalmente en la sección IV se presentan las Conclusiones.

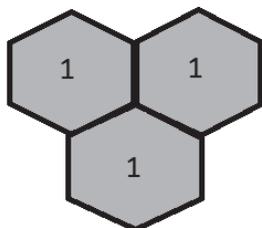
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Las Técnicas de Reúso de Frecuencia tienen como característica principal hacer una asignación de recursos dinámica y conveniente para que cada celda tenga bloques de recursos físicos disponibles, incluso cuando los UE están en el borde de la celda, reduciendo de manera significativa la interferencia inter-celda [6-7].

En la literatura existen diferentes técnicas de reúso de frecuencia para mitigar la interferencia inter-celda en redes LTE [8], en [9] proponen implementar el reúso de las anteriores tecnologías de telefonía móvil celular, en [10] se considera el reúso de frecuencia parcial y en [11] hablan sobre el reúso de frecuencia fraccional.

A continuación se presentan las características de las tres técnicas de reúso de frecuencia estudiadas. La técnica UFR es la técnica empleada por LTE, donde cada una de las celdas de la red utiliza la totalidad de los recursos disponibles como se muestra en la Figura 1, haciendo que dichos recursos sean aprovechados al máximo [5].

FIGURA 1. Técnica UFR.



La técnica Reúso de Frecuencia Suave (SFR, *Soft Frequency Reuse*) utiliza todos los recursos disponibles en las celdas de la red, pero define dos áreas al interior de la celda, borde y centro, en el centro asigna $2/3$ del ancho de banda y en el borde el tercio restante. La asignación de las porciones del ancho de banda a las áreas de la celda cambia de una celda a otra y en el borde de la celda los niveles de potencia asignados son mayores. La Figura 2 muestra la asignación de frecuencias para el borde y centro de la celda, cada color representa un rango de frecuencias [12].

La técnica Reúso de Frecuencia Fraccional 1.5 (FFR1.5, *Fractional Frequency Reuse*) define 3 áreas al interior de la celda: centro, borde interno y borde externo, en el centro asigna la mitad del ancho de banda y en los bordes $1/6$, dejando $1/6$ del ancho de banda sin

asignar. Las celdas de la red comparten las frecuencias asignadas al centro, mientras que las asignadas a los bordes difieren entre una celda y sus celdas vecinas. Los niveles de potencia para los bordes son mayores a los del centro. La Figura 3 muestra la asignación de frecuencias de FFR1.5 diferencia por un color diferente el rango de frecuencia para cada área [13].

FIGURA 2. Asignación de Frecuencias SFR.

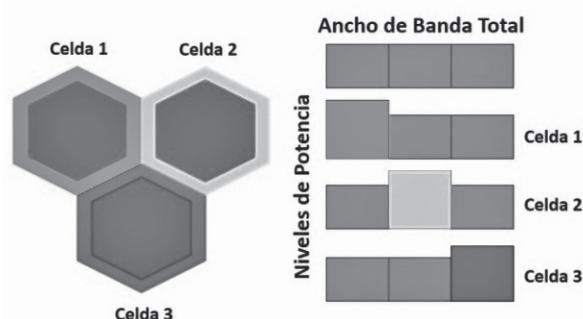
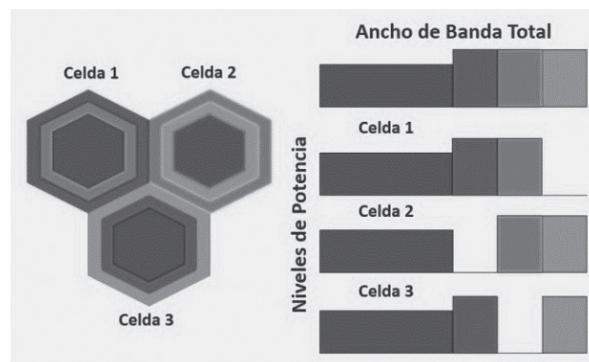


FIGURA 3. Asignación de Frecuencias FFR1.5.



2. GENERALIDADES DEL SIMULADOR

2.1 METODOLOGÍA DE DESARROLLO

La metodología seguida para el desarrollo del simulador es adaptada del Proceso Racional Unificado (RUP, *Rational Unified Process*) [14], este se realiza en cuatro etapas: Requerimientos; donde se definen los requerimientos funcionales y no funcionales del simulador. Análisis y Diseño; el cual define las características que debe tener el simulador para cumplir con las consideraciones de la fase de requerimientos. Implementación; comprende el desarrollo de código. Pruebas; se obtienen resultados que permiten analizar la capacidad para una red LTE.

2.2 PLANIFICADORES DE RECURSOS RADIO

El simulador utiliza tres tipos de planificadores de recursos radio, los cuales se presentan a continuación.

El planificador RR divide el número de recursos disponibles entre el número de usuarios para asignar a cada usuario la misma cantidad de recursos.

El planificador PF distribuye equitativamente los recursos, entre los usuarios de la red y los recursos sobrantes son asignados a los usuarios con mejores características.

El planificador MR distribuye los recursos entre los usuarios que perciben las mejores características del canal, dejando usuarios sin recursos asignados.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉCNICAS DE REÚSO DE FRECUENCIA A IMPLEMENTAR

Se escogieron las técnicas de reuso de frecuencia SFR y FFR 1.5 para ser implementadas en el simulador, por sus características de eficiencia espectral, mitigación de interferencia y desempeño.

SFR es una técnica ampliamente conocida en el ámbito académico, logra mitigar la interferencia que perciben los usuarios del borde de la celda sin sacrificar recursos. La base teórica de esta técnica indica que su implementación dentro del simulador es factible y se tienen ejemplos de simuladores que ya la han implementado.

FFR1.5 se caracteriza por definir 3 radios dentro de la celda con el fin de realizar una mejor distribución de los recursos, pero no es una técnica muy conocida en el ámbito académico, a diferencia de FFR que es la técnica a la que FFR1.5 pretende mejorar. La implementación de esta técnica comparada con la de SFR es más complicada, no obstante se espera mejorar los resultados en cuanto a velocidades de transmisión de datos y mitigación de interferencia inter-celda.

2.4 MODELO DEL SISTEMA

El Simulador Básico a Nivel de Sistema para LTE, tiene algunas características fijas, la red simulada tiene cuatro celdas, cada una con un número variable de UE distribuidos de manera aleatoria.

La Figura 4 muestra los tres bloques que componen el simulador en su versión III, y las principales entradas y salidas del bloque de capacidad del simulador, en el que se centra este artículo.

Se plantea adicionar al bloque de Capacidad, las técnicas de reuso de frecuencia seleccionadas, en la Figura 5 se observa un diagrama general del interior del bloque de capacidad.

FIGURA 4. Modelo del sistema.

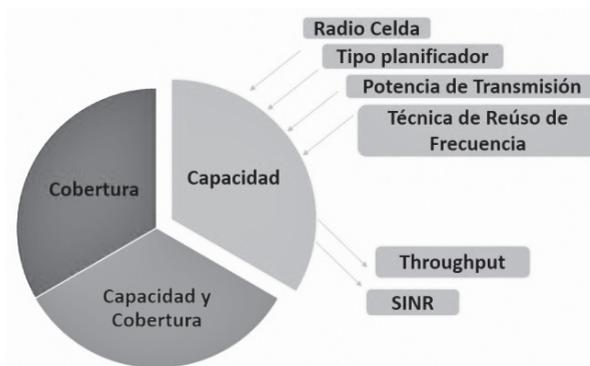
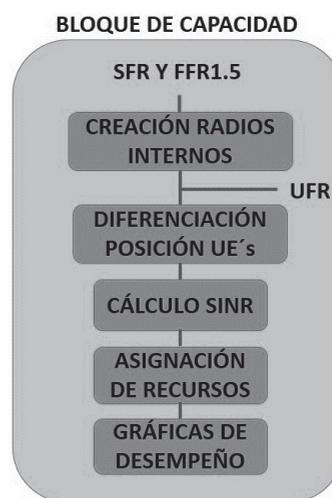


FIGURA 5. Bloque de capacidad del sistema.



El bloque de Capacidad se divide en las 3 técnicas de reuso, para cada una se calcula la posición de los usuarios, las pérdidas de propagación y la potencia recibida por usuario, para determinar el valor de la Relación Señal a Interferencia más Ruido (SINR, *Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio*), con base a este valor se realiza la planificación de recursos radio y una vez asignados los Bloques de Recursos Físicos (PRB, *Physical Resources Block*) se despliegan las gráficas de desempeño del sistema.

3. METODOLOGIA DE SIMULACIÓN

3.1 PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

El Módulo de reuso de frecuencia implementado en el Simulador Básico a Nivel de Sistema para LTE fue diseñado para analizar la capacidad de un sistema LTE al usar las técnicas SFR y FFR1.5.

Todas las versiones del simulador están implementadas sobre Matlab® en su versión R2013a. El análisis de capacidad del sistema se realiza a partir de gráficas de *throughput* y de Función de Distribución Acumulativa de la SINR. La III versión del simulador básico a nivel de sistema para LTE permite variar el número de celdas del sistema, el porcentaje de radio y potencia del borde de la celda, el número de usuarios por sector, la SINR objetivo, entre otros.

En la Tabla 1 se encuentran los parámetros de configuración del simulador.

TABLA 1. Parámetros Fijos de Simulación.

Parámetro		Valor
Tipo de Antena		Katherein 742215
Desvanecimiento		Lento
Modelo de Propagación		COST 231 Micro Urbano
Frecuencia		1710 MHz
Potencia Tx		40 W
Ancho de Banda		20 MHz
Planificador de Recursos Radio		Proportional Fair
SINR Objetivo		8,1 dB
Radio de la Celda		500 m
Usuarios por Sector		20
SFR	Porcentaje Radio Borde	50%
	Porcentaje Potencia Borde	35%
FFR1.5	Porcentaje Radio Borde Externo	20%
	Porcentaje Radio Borde Interno	50%
	Porcentaje Potencia Borde	25%

Se realiza el cálculo de la velocidad teórica que puede alcanzar la celda en un sistema LTE, con la siguiente configuración:

- Ancho de banda de 20 MHz.
- 100 Bloques de Recursos (RB).
- Sistema de Única Entrada Única Salida (SISO, *Single Input Single Output*).
- Prefijo Cíclico Normal (7 símbolos OFDM).
- 64 QAM (6 bits por símbolo)

Para el cálculo de la velocidad se debe conocer el número de Elementos de Recursos (ER) en una subtrama, este se calcula de acuerdo a la ecuación (1) [13].

$$12 (sp) * 7 (sOFDM) * 2(slots) = 168 \frac{ER}{ms} \quad (1)$$

Donde *sp* representa las subportadoras y *sOFDM* los símbolos OFDM.

En la ecuación (2) se muestra el número de ER en 20 MHz.

$$168 \frac{ER}{ms} * 100 RB = 16800 \frac{ER}{ms} \quad (2)$$

La velocidad que se puede alcanzar depende de la modulación y la diversidad en transmisión, como se muestra en la ecuación (3).

$$V = 6 (bps) * 16800 \frac{ER}{ms} * 1 (SISO) \quad (3)$$

$$V = 100.8 Mbps$$

El valor teórico de velocidad sirve como referencia, ya que los valores de *throughput* alcanzados por las celdas, deben estar por debajo de este valor.

3.2 ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

En esta sección se presentan los escenarios que se emplearon para analizar el desempeño del sistema LTE empleando las técnicas de reuso de frecuencia.

3.2.1 Escenario I

Inicialmente se comparó el desempeño a nivel de capacidad de las 3 técnicas de reuso de frecuencia (UFR, SFR y FFR1.5), para determinar el efecto de implementar técnicas reuso de frecuencia en la capacidad del enlace de bajada de LTE.

Se analizaron dos configuraciones, una estática donde los porcentajes del borde de la celda están fijos y el radio de la celda y número de usuarios por sector aumenta; y la configuración dinámica donde estos porcentajes varían conforme aumentan el radio de la celda y el número de usuarios por sector.

En las dos configuraciones el radio de la celda varió entre 100 y 5000 m y el número de usuarios por sector entre 8 y 33, ya que 33 es el número máximo de UE al que se le puede garantizar asignación de recursos con un ancho de banda de 20 MHz.

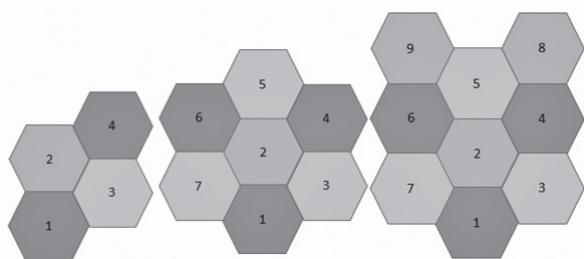
3.2.2 Escenario II

En este escenario se analizó el comportamiento de las técnicas SFR y FFR1.5 frente a la interferencia inter-celda, cuando se aumenta el número de celdas de la red.

Se consideran sistemas de 4, 7 y 9 celdas, en la Figura 6 se observan los casos, los colores: azul, verde y amarillo

de las celdas representan las celdas que tienen la misma asignación de frecuencias

FIGURA 6. Escenario II.



4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir del Simulador básico versión III, en los escenarios I y II.

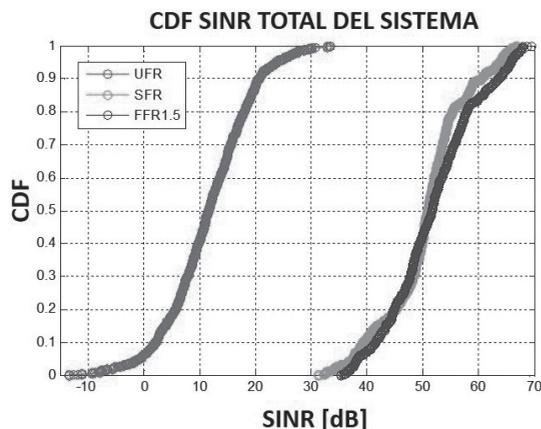
4.1 ESCENARIO I

4.1.1 Configuración estática

En la Figura 7 se observa la función de distribución acumulativa de la SINR de las 3 técnicas de reúso de frecuencia, para las celdas de radio igual a 100 m y 8 usuarios por sector, el 90% de los usuarios que emplean UFR tienen una SINR superior a 2dB; para SFR y FFR1.5 el 90% de los usuarios tienen un SINR mínima de 42dB.

Este comportamiento se mantiene al variar el radio de la celda y el número de usuarios por sector. Esto muestra que las técnicas SFR y FFR1.5 logran mitigar la interferencia inter-celda, ya que al reducir el valor de las potencias interferentes la SINR aumenta [15].

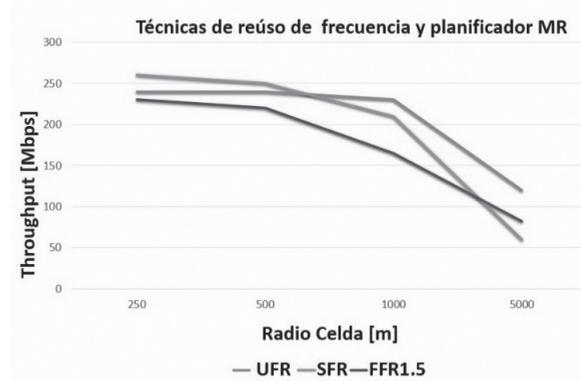
FIGURA 7. CDF de SINR total del sistema.



4.1.2 Configuración dinámica

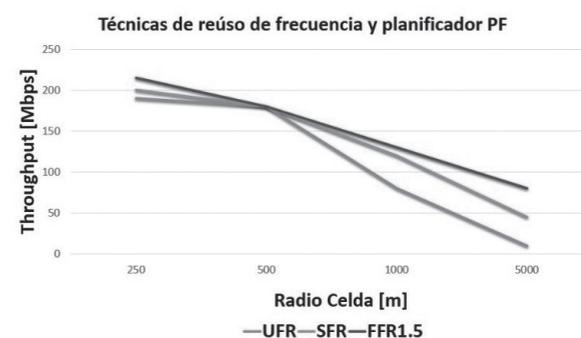
En la Figura 8 se muestran los resultados de *throughput* al emplear el planificador MR. La técnica UFR brinda el mejor comportamiento ya que no está obligada a asignar recursos a los usuarios en los bordes de la celda y supera a SFR en radios mayores a 750 m, además FFR1.5 obtiene los peores resultados, debido a que no emplea una porción del ancho de banda disponible.

FIGURA 8. *Throughput* con el planificador MR.



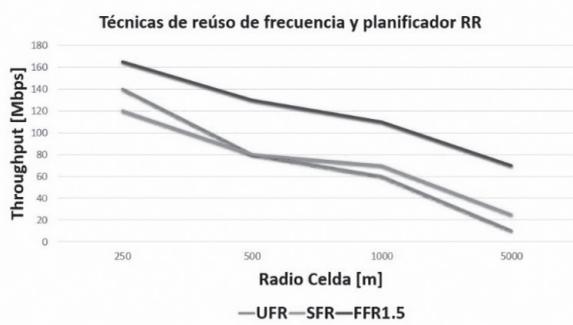
Los resultados de *throughput* obtenidos al emplear el planificador PF se muestran en la Figura 9. Debido a que este planificador debe asignar recursos a todos los usuarios, las técnicas SFR y FFR1.5, que mejoran las características del canal percibidas por los usuarios ubicados en el borde de la celda, obtienen los mejores resultados.

FIGURA 9. *Throughput* con el planificador PF.



En la Figura 10 se observan los resultados con el planificador RR, en este caso FFR1.5 tiene el mejor comportamiento, como consecuencia de definir 3 áreas al interior de la celda y realizar una repartición de los recursos más equitativa que SFR, además al mitigar la interferencia inter-celda mejora los resultados obtenidos por UFR.

FIGURA 10. *Throughput* con el planificador RR.

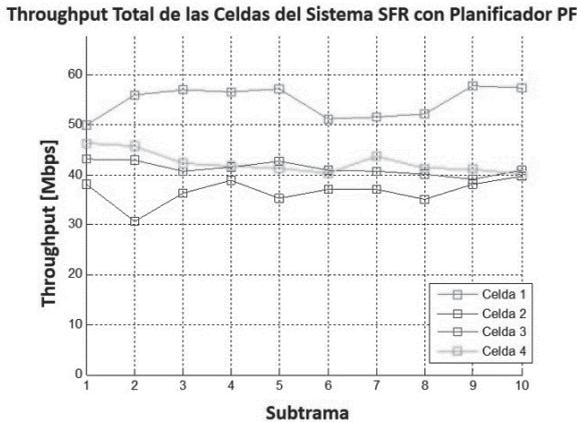


4.2 ESCENARIO II

4.2.1. Caso 1

Inicialmente se analiza el sistema LTE conformado por cuatro celdas. En las Figuras 11 y 12 se observan los resultados de *throughput* obtenidos por las técnicas SFR y FFR1.5.

FIGURA 11. *Throughput* Total de las 4 Celdas del Sistema con SFR.

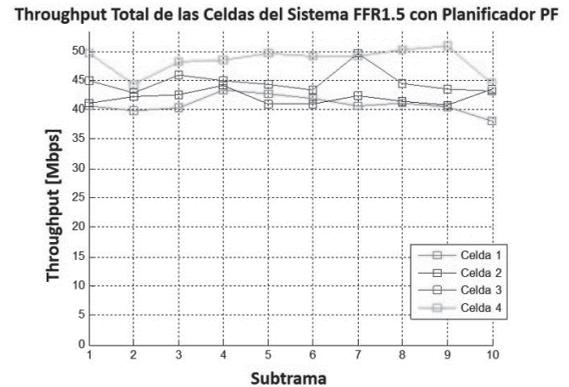


En las Figuras 11 y 12 se observa que la técnica FFR1.5 tiene la menor dispersión en los valores de *throughput* de las celdas del sistema, por otro lado, la técnica SFR logra valores de *throughput* más elevados.

En este caso, la técnica FFR1.5 es más eficiente respecto a la mitigación de la interferencia inter-celda, ya que

al obtener valores similares de *throughput*, todas las celdas del sistema experimentan condiciones similares, caso contrario del sistema que emplea SFR, donde las celdas alcanzan diferencias en los valores de *throughput* de hasta 25 Mbps.

FIGURA 12. *Throughput* Total de las 4 Celdas del Sistema con FFR1.5.



Fuente: por los autores.

4.2.2. Caso 2

Se considera el análisis del sistema LTE conformado por siete celdas con las técnicas SFR y FFR1.5. Los resultados de *throughput* del sistema para cada celda con las técnicas SFR y FFR1.5 se muestran en las Figura 13 y 14.

FIGURA 13. *Throughput* Total de las 7 Celdas del Sistema con SFR.

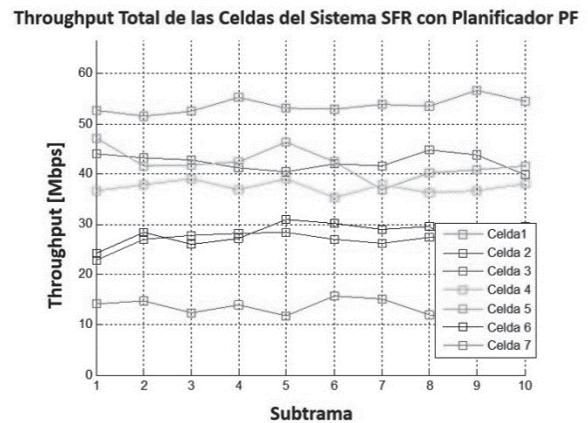
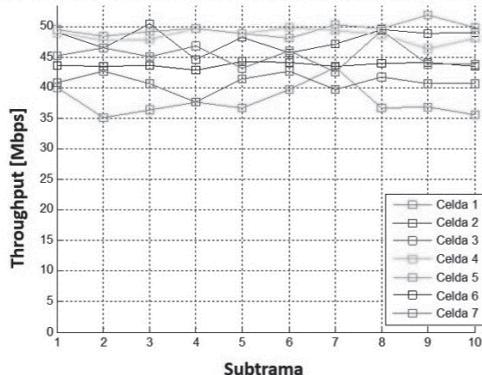


FIGURA 14. *Throughput* Total de las 7 Celdas del Sistema con FFR1.5.

Throughput Total de las Celdas del Sistema FFR1.5 con Planificador PF



En el sistema con 7 celdas la interferencia inter-celda aumenta, esto conlleva una mayor dispersión en los resultados obtenidos por las dos técnicas, especialmente con SFR. Este resultado es coherente con los resultados obtenidos en el sistema con cuatro celdas.

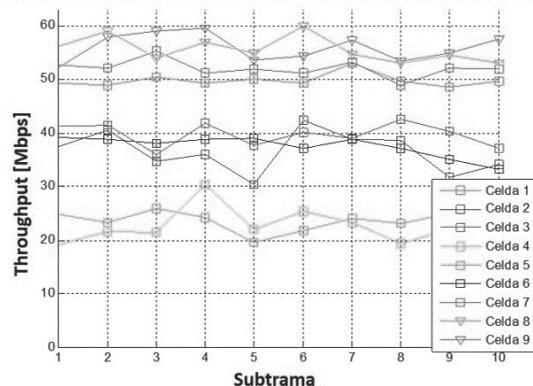
SFR alcanza los valores más altos de *throughput* de las celdas, con mayor dispersión en los mismos, debido a que asigna mayores porciones del ancho de banda a las áreas definidas al interior de la celda, lo cual genera variaciones más notables en los niveles de interferencia que percibe de las celdas vecinas.

4.2.3. Caso 3

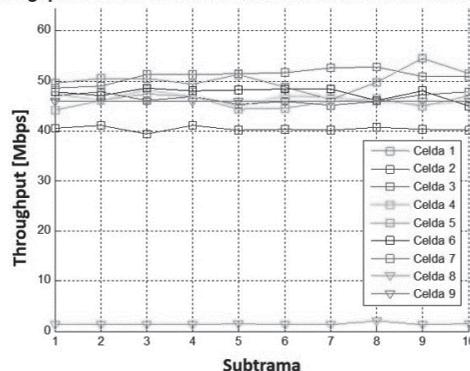
Se configura el sistema con 9 celdas para las técnicas SFR y FFR1.5. Las Figuras 15 y 16 muestran los resultados obtenidos con cada una de las técnicas.

FIGURA 15. *Throughput* Total de las 9 Celdas del Sistema con SFR.

Throughput Total de las Celdas del Sistema SFR con Planificador PF

**FIGURA 16.** *Throughput* Total de las 9 Celdas del Sistema con FFR1.5.

Throughput Total de las Celdas del Sistema FFR1.5 con Planificador PF



De las Figuras 15 y 16 se observa que aunque la técnica SFR alcanza el valor más alto de *throughput* del sistema, se mantiene la dispersión en el *throughput* alcanzado por sus celdas. Esto evidencia fallas en la sectorización y la asignación de los recursos, ya que las celdas no perciben niveles de interferencia inter-celda similares, lo cual dificulta que alcancen velocidades cercanas a la velocidad teórica calculada.

Los resultados de la técnica FFR1.5 muestran que aunque en todos los escenarios ha alcanzado los valores de *throughput* de sus celdas más cercanos entre sí, para este escenario, la celda 8 presentó un valor bajo de *throughput*, debido a que entre esta y la celda 9, no existe otra celda que permita mitigar la interferencia generada entre ellas.

5. CONCLUSIONES

La tercera versión del simulador básico a nivel de sistema para LTE con técnicas de reuso de frecuencia integradas representa una herramienta de apoyo académico, que puede emplearse para los procesos de enseñanza y aprendizaje de la tecnología LTE y en específico de las técnicas de reuso de frecuencia que son escasamente implementadas en otros simuladores, además de garantizar una interfaz gráfica amigable y la documentación pertinente para su uso.

La técnica UFR es la más eficiente cuando se emplea el planificador MR, debido a que tiene un reuso de frecuencia igual a 1 y no tiene áreas delimitadas al interior de la celda. Aunque SFR logra superar los valores de *throughput* alcanzados por UFR para radios menores a 1000 m, realiza un sacrificio en el número de usuarios atendidos.

La técnica FFR1.5 es la más eficiente cuando se emplean los planificadores PF y RR, aunque SFR también logra buenos resultados con estos planificadores, están por debajo de los obtenidos por FFR1.5, que además requiere menor potencia para el borde de la celda.

Las dos técnicas de reuso de frecuencia implementadas en este trabajo demostraron mitigar la interferencia inter-celda y alcanzar valores de SINR superiores a los alcanzados por UFR, mostrando mejores resultados al emplear los planificadores PF y RR.

Los valores de SINR obtenidos por las técnicas SFR y FFR1.5 aseguran que las comunicaciones de los usuarios, tanto en el borde como en el centro de la celda, tengan una mayor calidad, lo cual ayuda a cumplir uno de los requerimientos de LTE enfocado en prestar un servicio con mayor velocidad y cobertura.

La técnica SFR al hacer uso de todos los recursos disponibles en las celdas de la red, alcanza resultados más elevados que FFR1.5, pero al mismo tiempo más dispersos. Por lo tanto SFR no mitiga la interferencia inter-celda de manera equitativa para todas las celdas del sistema como lo hace la técnica FFR1.5.

La implementación de técnicas de mitigación de interferencia inter-celda dentro de un sistema LTE, presenta beneficios en cuanto a prestar servicio de altas velocidades a todos los usuarios de la celda sin importar si se encuentra en los bordes de la celda.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad del Cauca, por su apoyo para la realización de este trabajo, en especial a los grupos de investigación GRIAL y GNTT.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rumney, M. (2013). *LTE and the evolution to 4G wireless: Design and measurement challenges*. John Wiley & Sons.
- [2] Xiang, J. (2007). *Inter-cell Interference Mitigation through Flexible Resource Reuse in OFDMA based Communication Networks*.
- [3] Saquib N. & Otros. (2013). Fractional Frequency Reuse For Interference Management in LTE-Advance Hetnets. *IEEE Wireless Communications*, pp. 113-122.
- [4] Paz C. & otros. (2014). A LTE basic system level simulator on capacity. en *Communications and Computing (COLCOM), 2014 IEEE Colombian Conference del 4 al 6 e Junio de 2014*. (p.1-6). Colombia. 978-1-4799-4342-5.
- [5] Giraldo, D. Uribe D. (2015). *Simulador básico a nivel de sistema para LTE con planificadores de recursos radio integrados*. Tesis de trabajo de grado no publicada. Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.
- [6] Comes, A. (2010). *LTE Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*, Fundación Vodafone España.
- [7] Ghaleb A. & otros. (2015). Throughput Performance Insights of LTE Release 8: Malaysia's Perspective. en *2013 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC) del 1 al 5 de Julio de 2013*. (p. 258-263). Sardinia. 978-1-4673-2479-3.
- [8] Uygungelen S. & Otros. (2011). Graph-Based Dynamic Frequency Reuse. En *Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2011 IEEE 73rd del 15 al 18 de Mayo de 2011*.(p. 1-6). Yokohama. 978-1-4244-8332-7.
- [9] Whitacre, J. (2009). *LTE and the Evolution to 4G Wireless Design and Measurement Challenges*. Agilent Technologies.
- [10] Ghaffar, R. & Knopp, R. (2010). Fractional frequency reuse and interference suppression for OFDMA networks. en *WiOpt IEEE del 31 de Mayo al 4 de Junio de 2010*. (p. 273-277). Francia. 978-1-4244-7523-0.
- [11] Xiang, Y. & otros. (2013). *Inter-cell Interference Mitigation through Flexible Resource Reuse in OFDMA based Communication Networks*. Recuperado (2015, Marzo 5) de <http://libra.msra.cn/Publication/10486149/inter-cell-interference-mitigation-through-flexible-resource-reuse-in-ofdma-based-communication>
- [12] Díaz, P. Urbano, P. Quintero, V. (2012) Estrategias de mitigación de interferencia para una red LTE. En *C V Congreso Internacional de Computación y Telecomunicaciones del 24 al 26 de Octubre de 2012*. Perú. (p 249-253).
- [13] Krasniqi, B. & otros. (2009). Network-Load Dependent Partial Frequency Reuse for LTE. en *9th International Symposium on Communications and Information Technology, del 28 al 30 de septiembre de 2009*. (p. 672-676). 978-1-4244-4521-9.
- [14] Rational. (2011). *Rational Unified Process Best Practices for Software Development Teams*. Rational Software.
- [15] Hernández, C. (2015). Diapositivas 3G 4G. Material de clase. Universidad del Cauca. Popayán.