



Revista INGENIERÍA UC  
ISSN: 1316-6832  
revistaing@uc.edu.ve  
Universidad de Carabobo  
Venezuela

Valor, Romer; Torres, Yofrank; Osman, Ahmad  
Identificador físico de celda para redes LTE: recomendaciones para la planificación y asignación  
Revista INGENIERÍA UC, vol. 25, núm. 2, 2018, Mayo-Agosto  
Universidad de Carabobo  
Venezuela

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70757669012>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org



Sistema de Información Científica Redalyc  
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Physical Cell ID for LTE Network: recommendations for planification

Romer Valor <sup>a</sup>, Yofrank Torres <sup>a</sup> y Ahmad Osman <sup>\*,b</sup>

<sup>a</sup>Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

<sup>b</sup>Centro de Análisis y Tratamiento de Señales (CATS), Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

**Abstract.-** Planning the Physical Cell ID (PCI) parameter is one of the most important steps in the deployment of the entire LTE network. However, for national companies providing service related to mobile communications, it is difficult to access said detailed information due to certain incompleteness in the technology transfer at the time of the network deployment. In this article, we describe a PCI allocation methodology based on assisted computing and the construction of a new concept materialized through a risk factor matrix, which seeks to avoid the erroneous detection of said parameter by the user's terminal device, which causes problems in the identification of the cell; and thus be able to provide a better quality of service. This concept of risk factor determines the relationship between each pair of PCI for different propagation conditions, encompassing the information obtained about them, and representing it in three states of possible erroneous detection, low, medium and high risk; thus simplifying decision making.

**Keywords:** long term evolution (LTE); physical cell ID (PCI); user equipment (UE), risk factor.

## Identificador físico de celda para redes LTE: recomendaciones para la planificación y asignación

**Resumen.-** La planificación del parámetro Physical Cell ID (PCI) es uno de los pasos más importantes en el despliegue de toda la red LTE. Sin embargo, para las empresas nacionales proveedoras de servicio relacionado a las comunicaciones móviles es difícil acceder a dicha información detallada a raíz de ciertas incompletitudes en la transferencia tecnológica al momento del despliegue de la red. En este artículo, se describe una metodología de asignación de PCI basada en cómputo asistido y en la construcción de un nuevo concepto materializado a través de una matriz factor de riesgo, que busca evitar la detección errónea de dicho parámetro por parte del dispositivo terminal del usuario, lo cual ocasiona problemas en la identificación de la celda; y así poder brindar una mejor calidad de servicio. Este concepto de factor de riesgo determina la relación entre cada par de PCI para distintas condiciones de propagación, englobando la información obtenida acerca de ellos, y representándola en tres estados de posible detección errónea, bajo, medio y alto riesgo; simplificando así la toma de decisiones.

**Palabras claves:** evolución a largo plazo; identificador físico de celda; terminal de usuario; factor de riesgo.

Recibido: septiembre 2017

Aceptado: junio 2018

### 1. Introducción.

Las demandas generadas en el mercado de telefonías móviles y redes de comunicación, han impulsado el desarrollo masivo de una tecnología móvil de alta capacidad conocida como LTE, exigiendo la actualización y desarrollo constante en la red telefónica para mejorar la calidad de servicio prestada. Entre las principales causas que impactan

este factor, está el aspecto de la movilidad, proceso presente cuando el usuario inicia cambios en su localización física y lógica, implicando no perder la conexión constante con la red. Cuando dicho proceso no es soportado adecuadamente, genera insatisfacción en los usuarios, trayendo como consecuencias quejas por la calidad de servicio en las llamadas realizadas debido a que se manifiestan fenómenos como ecos, interferencias, o simplemente porque en algunos lugares se interrumpe la cobertura en su móvil [1].

Es por ello que la planificación de celdas es de vital importancia para el óptimo comportamiento de la red LTE, tomando en cuenta, entre otras cosas, las señales que serán usadas en la capa

\*Autor para correspondencia:

Correo-e: ahmadosmanc@gmail.com (Ahmad Osman)

física del sistema asociadas al proceso de movilidad e identificación de las celdas que se encuentran dentro del área de localización del usuario, así como también, las necesarias para obtener la estimación del canal de comunicaciones [2].

### 1.1. Sincronización en LTE

A la hora de tratar de sincronizarse a una celda LTE, el dispositivo móvil busca las bandas de frecuencia soportadas para tratar de recoger una señal de sincronización primaria (P-SCH) que se emite cada 5 ms, y con la cual se determina el parámetro  $N_{ID}^{(2)}$ . Una vez determinado este parámetro, el dispositivo se encuentra sincronizado a nivel de símbolo y permanece en el canal hasta localizar la señal de sincronización secundaria (S-SCH), que también se emite una vez cada 5 ms, con la que se hallará el parámetro  $N_{ID}^{(1)}$ . Es decir, con la P-SCH, se sincroniza a nivel de símbolo y después, una vez conocida la P-SCH, puede detectar la S-SCH y así determinar el PCI de la celda descrito por la expresión 1

$$N_{CELL}^{ID} = 3N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)} \quad (1)$$

Donde  $N_{ID}^{(2)}$  será un entero entre 0-2 representando alguna de las 3 P-SCH y  $N_{ID}^{(1)}$  será un entero entre 0-167 representando alguna de las 168 S-SCH. Esto crea un conjunto de 504 PCIs únicos. Luego de esto, el UE tendrá la información suficiente sobre la localización de las señales de referencia (RS) y el resto de los parámetros de la red [2, 3].

Cada celda del sistema de comunicaciones está identificada por un valor de PCI (Physical Cell ID), el cual, es generado por las señales de sincronización. El valor de PCI que va de 0 a 503 es utilizado por el móvil para identificar la celda y discriminar, a la larga, unas celdas de otras.

Con una cantidad limitada de valores de PCI distintos, se deben evitar fenómenos de colisión y confusión; esto es, cuando dos celdas vecinas tienen el mismo PCI, y cuando una celda tiene dos celdas vecinas con el PCI igual, respectivamente. Véase Figura 1 [4, 5].

Siendo la sincronización y cálculo del PCI los procesos primordiales que el UE realiza para conectarse a la red, es de vital importancia la

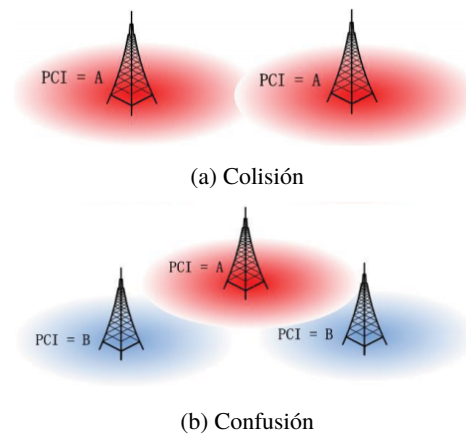


Figura 1: Problemas generadores de interferencia.

planificación de la asignación del parámetro PCI. Diversos estudios, con diversos enfoques han encarado el desafío de seleccionar de manera óptima el parámetro PCI de un conjunto de celdas, enfatizando que la asignación razonable de PCI es capaz de reducir de forma considerable la interferencia en el sistema LTE, para mejorar la cobertura de cada celda y los valores de calidad de servicio de la red [5, 6, 7, 8].

En este contexto se plantea el objetivo de analizar el comportamiento de dichas señales y en última instancia del mismo PCI en la interfaz aire, y así obtener resultados que puedan ser usados para generar recomendaciones concretas en función de minimizar problemas en esta etapa de identificación de celda.

## 2. Metodología.

Para cumplir con el objetivo propuesto, se planteó un procedimiento que fue dividido en tres niveles jerárquicos o fases. Dicho procedimiento se muestra en la Figura 2 y se detalla a continuación.

### 2.1. Fase 1: Generación de secuencias

Primeramente, se recopiló todo el material referente a las especificaciones de la red LTE y a las secuencias de interés para tener una idea exacta de sus formas, dependencias, recorridos y funciones dentro del sistema y de esta manera poder caracterizarlas.

Fueron simuladas, según el estándar [2], las P-SCH, S-SCH y RS para todos los posibles valores

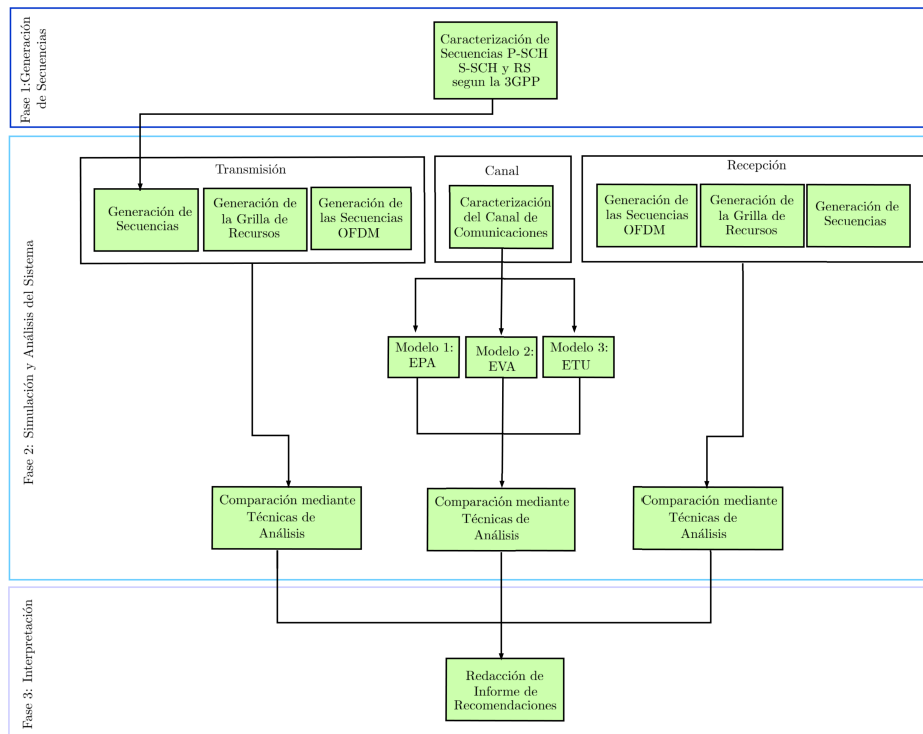


Figura 2: Metodología técnica de análisis de PCI.

de PCI asignables. Estos valores son conocidos como *identificador físico de celda* de un eNB o estación base.

### 2.2. Fase 2: Simulación y análisis del sistema

Una vez generadas las las secuencias P-SCH, S-SCH y RS, fueron mapeadas, según el estandar LTE, sobre los elementos de recursos (ER) dispuestos en forma de grillas. Las casillas vacías se rellenaron con símbolos que simulan la data con modulación QPSK.

La configuración básica para el sistema LTE estudiado fue: canal en descenso, sistema FDD, ancho de banda igual a 1,4 MHz, cantidad de antenas transmisoras igual a 1, prefijo cíclico normal y 14 símbolos por subtrama.

Posteriormente, se obtuvieron grillas de ER para todos los PCIs evaluados, las cuales fueron convertidas en señales OFDM mediante la IFFT para ser transmitidas por el canal de comunicaciones.

En la etapa de canal, se realizó la simulación de los efectos del canal radio cuando la señal OFDM se propaga a través de él. Los modelos de canal utilizados para LTE están definidos en el 3GPP TS

36.104, donde se describen las distintas variaciones del canal de comunicaciones LTE típico, que incluyen, multipath, fading, rango de frecuencias doppler y velocidad de movimiento del terminal. Además se añadió el ruido gaussiano modelado como un canal AWGN [9].

Una vez que la señal fue pasada por los canales de comunicaciones establecidos, véase Tabla 1, la información llega al receptor donde la señal fue finalmente demodulada.

Canal	Freq Doppler (Hz)	SNR (dB)
EPA	5	1, 5, 10 y 15
EVA	5 y 70	1, 5, 10 y 15
ETU	70 y 300	1, 5, 10 y 15

Tabla 1: Condiciones de propagación simuladas.

Los elementos fueron colocados y ordenados dentro de la grilla de recursos. Luego, a partir de la P-SCH, se pudo detectar la posición temporal de la señal, y por consiguiente, el valor  $N_{ID}^{(2)}$  e inmediatamente después  $N_{ID}^{(1)}$  mediante la S-SCH; luego, fue calculado el PCI. Este proceso se ilustra la Figura 3.



de las P-SCH, véase Figura 4, donde se puede apreciar que la correlación cruzada tiene valores máximos cercanos a 0,2; esto es, que solo bajo condiciones muy críticas o desfavorables podrían llegar a confundirse.

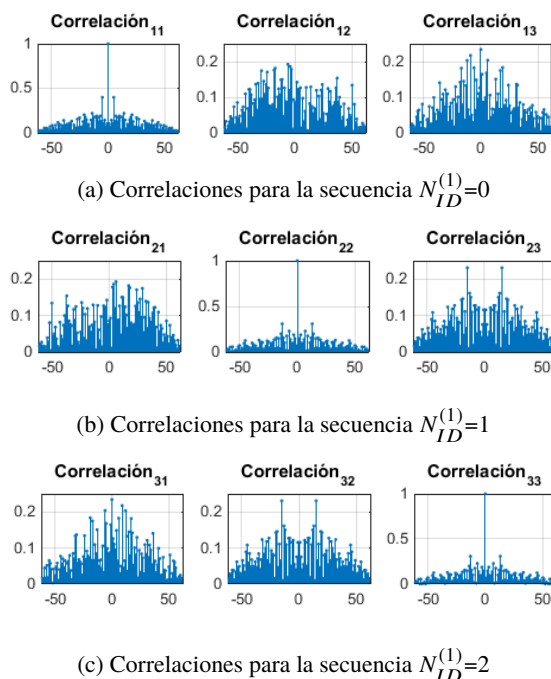


Figura 4: Problemas generadores de interferencia

Por otro lado fueron estudiados los valores correlativos que existían entre unos PCI y otros, realizando un barrido de 504 por 504 PCI, en función de las S-SCH. Esto se observa mediante gráficas como la descrita en la Figura 5. Aquí se observa como el PCI=6 presenta altos valores correlativos (mayores a 0.5) con el PCI=10 y PCI=15 tanto en la subtrama 0 como en la subtrama 5 de las señales de sincronización secundarias.

En cuanto a las señales de referencia RS, véase Figura 6, se pudo observar el impacto que el PCI tiene en la ubicación frecuencial de las mismas en diferentes elementos de recurso, las cuales se repiten cada 6 PCI. De esto se infiere que para evitar interferencia de las señales RS entre dos celdas, estas no deben estar ubicadas en los mismos elementos de recurso, luego, se debe evitar que celdas vecinas tengan valores de PCI cuyo calculo de  $PCI \bmod 6$  sea igual, como por ejemplo: 0,6,12,...,498.

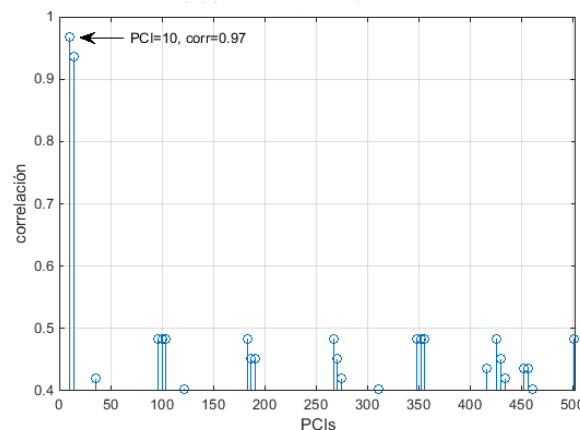
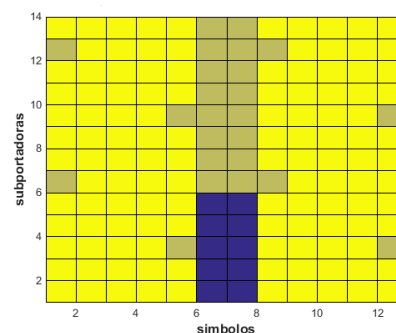
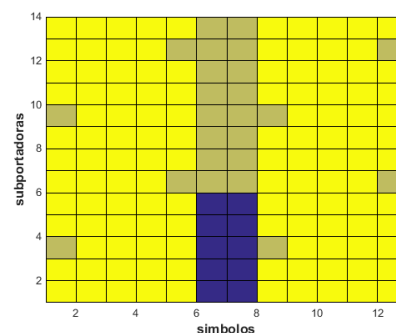


Figura 5: Correlación cruzada de la secuencia S-SCH del PCI=6 en la subtrama 0 Vs. el resto de los PCI.



(a) extracto de grilla de elementos de recursos para PCI=0



(b) extracto de grilla de elementos de recursos para PCI=3

Figura 6: Corrimientos en la grilla de recursos debido al cambio de PCI

### 3.2. Análisis del comportamiento de las señales de sincronización y referencias a través de modelos de canales típicos en LTE

Se comparó la efectividad de diversos métodos de detección de PCI para varios tipos de canales de

comunicaciones LTE típicos, donde:

- B = Detección coherente de S-SCH en frecuencia.
- C = Detección no coherente de S-SCH en frecuencia.
- Detección coherente de S-SCH utilizando Secuencias M.
- D1 = Estimado por medio de las secuencias Zo y Z1.
- D2 = Estimado por medio de las secuencias So y S1.
- Detección no coherente de S-SCH Utilizando Secuencias M
- E1 = Estimado por medio de las secuencias Zo y Z1.
- E2 = Estimado por medio de las secuencias So y S1.
- Global = promedio de todos los métodos.

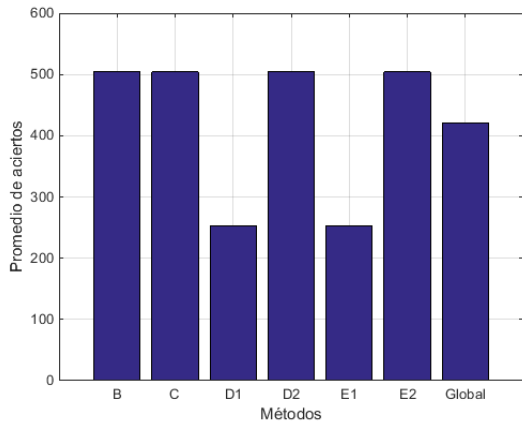


Figura 7: Promedio de eficiencia de aciertos para el caso sin perturbaciones.

Se pudo notar buen desempeño, en cuanto a la detección por parte del receptor, para todos los casos exceptuando D1 y E1, véase Figura 7. Sin embargo, esto cambia cuando el canal estudiado es uno con perturbaciones, como los de la Tabla 1. Observando la Figura 8 se nota el descenso en

el caso de los métodos C y E2 los cuales son detecciones no coherentes, la eficiencia de los métodos D1 y E1 se mantienen mientras que los métodos B y D2, los cuales son casos coherentes, serian las mejores opciones de detección.

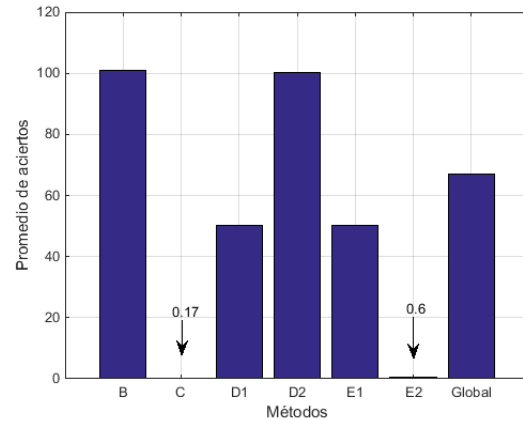


Figura 8: Promedio de eficiencia de aciertos para el caso con perturbaciones.

### 3.3. Generación del concepto de Factor de Riesgo (FR)

Se propone un nuevo termino global, denotado como Factor de Riesgo (FR), este factor dependerá tanto de la probabilidad de detección del PCI correcto o erróneo en función del método de detección de PCI, como también de las de correlaciones cruzadas de las señales llegadas a la etapa receptora.

El FR propone tres niveles de riesgo en la asignación del parámetro PCI, siendo esto una ventaja debido a la simplificación o compactación de toda la información analizada previamente acerca del vinculo entre los PCI (véase Figura 9). Esto ofrece una representación efectiva y clara del riesgo de detección de PCI erróneo entre celdas aledañas.

Se define, el *factor de riesgo* (FR), a través de la expresión 2:

$$FR(PCI_a, PCI_b) \tag{2}$$

El primer término, representa una celda ya establecida anteriormente con un PCI asignado, y el segundo, una celda nueva esperando a la asignación

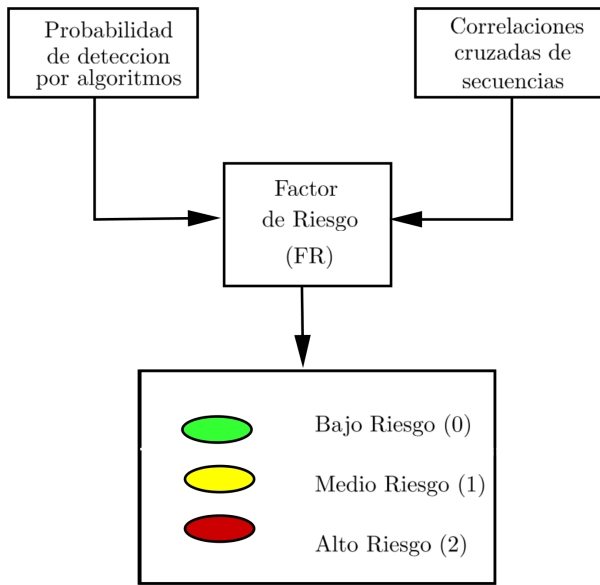


Figura 9: Relaciones del Factor de Riesgo (FR).

de PCI. Los valores posibles de la expresión 2 son: bajo riesgo (representado por 0 o verde), riesgo medio (representado por 1 o amarillo) o alto riesgo (representado por 2 o rojo). Es decir, si se tiene que  $FR(PCI_a, PCI_b) = 0$ , por ejemplo, implica que existe un bajo riesgo para el UE de detectar un  $PCI_b$  erróneamente cuando se recibe un  $PCI_a$ .

Para lograr definir el *factor de riesgo*, fue necesario hacer referencia a dos conceptos:

1. Luego de haber estudiado de métodos de detección de PCI, fue estimada la probabilidad de que cuando la celda irradie su señal conteniendo un  $PCI_a$ , el UE efectivamente detecte el  $PCI_a$ , a esto le llamaremos de ahora en adelante autoprobabilidad, denotado como  $prob(PCI_a, PCI_a)$  o  $autoprob(PCI_a)$  o simplemente  $ap(PCI_a)$ , como se observa en la expresión 3. También se calculó la probabilidad para cuando un  $PCI_a$  transmitido por una celda, el UE ubicado en el área de cobertura de dicha celda no detecte el  $PCI_a$ , sino que detecte un  $PCI_b$  transmitido por otra celda cercana, siendo  $PCI_b$  cualquier PCI distinto de  $PCI_a$ ; a esto se le denotará como  $prob(PCI_a, PCI_b)$  o simplemente  $p(PCI_a, PCI_b)$ . Se obtuvo una función  $p$  para cada variación de las condiciones de propagación consideradas.

2. Fueron generadas también funciones *corr* o simplemente  $c$  y *autocorr* o simplemente  $ac$ , donde estas son producto del análisis puramente correlativo sobre las señales de sincronización secundaria para las correlaciones de PCI en función de los modelos de canal y del SNR estudiados; esto es, a la medición de la correlación percibida entre un  $PCI_a$  distorsionado recibido y un  $PCI_b$  sin perturbaciones, siendo  $PCI_b$  cualquier PCI distinto de  $PCI_a$ , se denotará como  $corr(PCI_a, PCI_b)$  o simplemente  $c(PCI_a, PCI_b)$ .

Se disponen de las funciones  $p$  y  $c$  para ser transformadas en  $P$  y  $C$ , respectivamente, mediante los criterios mostrados en las ecuaciones 3 y 4.

$$P(PCI_a, PCI_b) = \begin{cases} 0 & \text{Caso A} \\ 1 & \text{Caso B} \\ 2 & \text{Caso C} \end{cases} \quad (3)$$

$$C(PCI_a, PCI_b) = \begin{cases} 0 & \text{Caso D} \\ 1 & \text{Caso E} \\ 2 & \text{Caso F} \end{cases} \quad (4)$$

$$FR(PCI_a, PCI_b) = \begin{cases} 0 & \text{Caso G} \\ 1 & \text{Caso H} \\ 1 & \text{Caso I} \\ 2 & \text{Caso J} \\ 2 & \text{Caso K} \end{cases} \quad (5)$$

Los casos del A al K se describen a mediante las expresiones:

**Caso A :**

$$p(PCI_a, PCI_b) < 0,9ap(PCI_a)$$

**Caso B :**

$$ap(PCI_a) > p(PCI_a, PCI_b) \geq 0,9ap(PCI_a)$$

**Caso C :**

$$p(PCI_a, PCI_b) \geq 0,9ap(PCI_a)$$

**Caso D :**

$$c(PCI_a, PCI_b) < 0,9ac(PCI_a)$$

**Caso E :**

$$ac(PCI_a) > c(PCI_a, PCI_b) \geq 0,9ac(PCI_a)$$

**Caso F :**

$$p(PCI_a, PCI_b) \geq 0,9ac(PCI_a)$$

**Caso G :**

$$P(PCI_a, PCI_b) = 0 \wedge C(PCI_a, PCI_b) = 0 \text{ o } 1$$

**Caso H :**

$$P(PCI_a, PCI_b) = 1 \wedge C(PCI_a, PCI_b) = 1 \text{ o } 2$$

**Caso I :**

$$P(PCI_a, PCI_b) = 1 \wedge C(PCI_a, PCI_b) = 1 \text{ o } 2$$

**Caso J :**

$$P(PCI_a, PCI_b) = 0 \wedge C(PCI_a, PCI_b) = 2$$

**Caso K :**

$$P(PCI_a, PCI_b) = 2$$

**Caso L :**

$$P(PCI_a, PCI_b) = 1 \wedge C(PCI_a, PCI_b) = 2$$

Finalmente con las dos funciones parametrizadas de probabilidades y correlaciones se elaboró la función de FR, como muestra al ecuación 5, en la cual, se asignó un mayor peso o influencia a la función *prob* debido a que ésta representa un indicador más riguroso acerca de la dinámica existente entre dos PCI.

### 3.4. Generación de base de datos del Factor de Riesgo

La base de datos generada, consiste en 20 matrices de FR de 504x504 que contienen todas relaciones posibles entre los PCI (véase Figura 10), clasificados en tres niveles, esto es, una matriz de FR por cada una de las condiciones de propagación simuladas, ver Tabla 1. Además se generaron 10 matrices de FR promedio entre las 20 anteriores.

Estas matrices de FR están diseñadas para ser usadas conjuntamente con su propia metodología, que a grandes rasgos se muestra en la véase Figura 11. Consiste básicamente en:

1. Se elige una de la matriz de FR según la información sobre las condiciones de propagación de la celda a la que se desea asignar el PCI, para esta versión se tienen 20 matrices de FR, esto es lo que llamamos el *enfoque detallado*. Si no se tiene información suficiente sobre las características del canal, se optara por el *enfoque general* y se puede escoger algunas de las 10 matrices de FR promedio.

2. Se busca un PCI que tenga bajo o a lo sumo medio riesgo con los PCI ya asignados previamente, es decir un factor de riesgo igual a 1 o 2 con los PCI que han sido establecidos anteriormente, véase Figura 12.

Para un conjunto de celdas, esta comprobación debe realizarse de manera que, para la primera celda, no necesita comprobaciones de FR. Para dos celdas se hacen 2 comprobaciones,  $FR(PCI_a, PCI_b) < 2$  y  $FR(PCI_b, PCI_a) < 2$ , de cumplir con la condición, el PCI = B se considera válido para la asignación a la celda 2. Lo Expuesto se muestra en la Figura 13. Si se agrega una nueva celda al conjunto, se debe realizar 2 comprobaciones nuevas, que sumadas a las 2 anteriores resultan 4 comprobaciones para un conjunto de 3 celdas. Ver Figura 14. Por lo tanto, para la asignación de N se requieren tantas comprobaciones como indica la ecuación 6.

$$CFR = \sum_{i=1}^n 2(i - 1) \quad (6)$$

3. El nuevo PCI escogido se guarda en un lista de PCIs asignados.
4. Por último, se repite, para todas las celdas, el proceso de comprobación de FR.

## 4. Conclusiones.

La alta demanda de los usuarios y sus expectativas de no tener interferencia en las comunicaciones, hacen que la etapa inicial de sincronización y cálculo de la identidad de celda mediante el parámetro PCI, sea el procedimiento

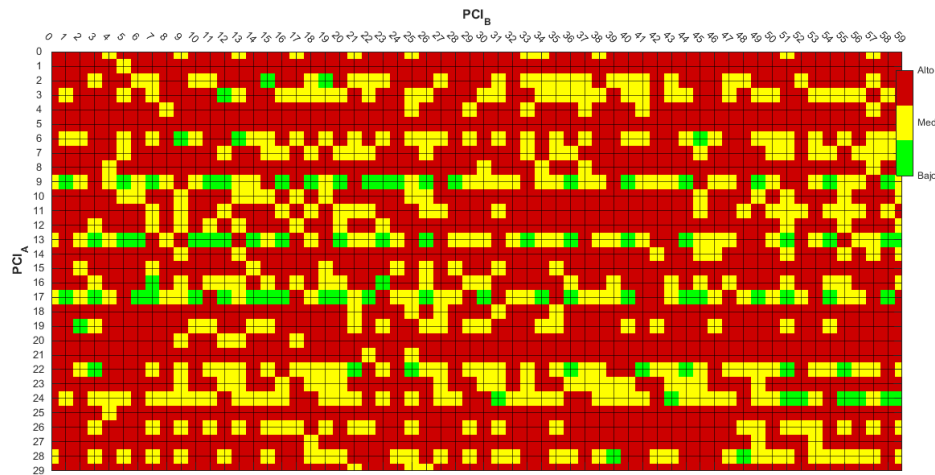


Figura 10: Extracto de 30x60 de la matriz de FR para un modelo de canal EPA de 5Hz y un SNR=1.

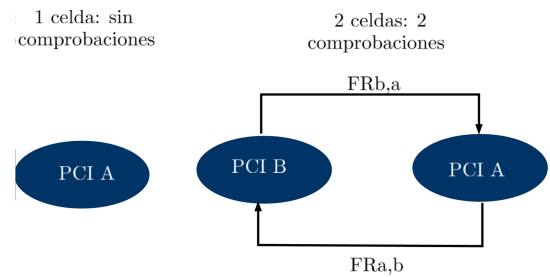
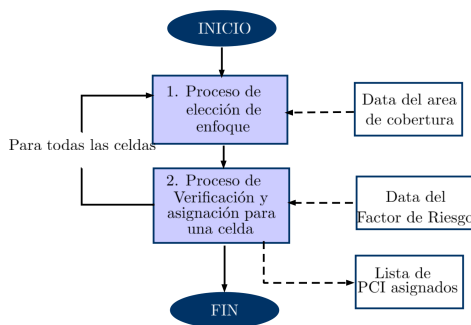


Figura 13: Comprobaciones FR para 1 y 2 celdas.

Figura 11: Diagrama de flujo para escoger un PCI con el FR.



Figura 12: Criterio de asignación de nuevo PCI.

pilar para el acceso a la red LTE, por ende, es necesario la implementación de recomendaciones,

basadas en los posibles escenarios de conflicto de asignación, que complementen la planificación de las redes LTE y eleven la calidad de estas.

Con esta investigación se generó un documento de recomendaciones técnicas que consiste en una metodología de selección del parámetro PCI de múltiples celdas basada en un nuevo término *factor de riesgo*, el cual es producto de los análisis probabilísticos y correlativos sobre las señales generadoras del PCI. La asignación de PCIs, por este método, se realizara una celda a la vez, verificando en todo momento que el PCI de esta nueva celda cumpla con un FR bajo o medio con las celdas aledañas previamente asignadas.

El Factor de Riesgo (FR) que da noción de la relación entre cada par de PCI para distintas condiciones de propagación, englobando la información obtenida acerca de los dos y representándola en tres estados de posible detección errónea entre pares de PCI, bajo, medio y alto riesgo, simplificando así la toma de decisiones.

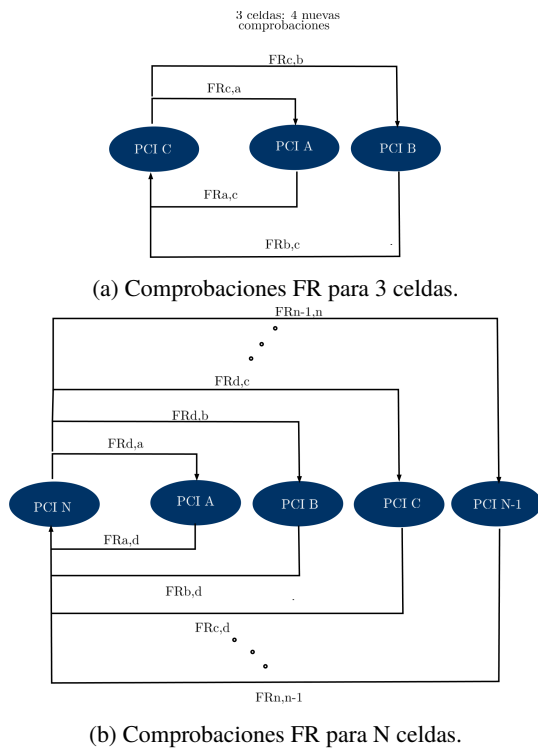


Figura 14: Asignaciones de PCI según número de celdas

El FR también es acompañado por una metodología de uso, lo cual, en conjunto abordan casos de posible conflicto entre PCIs que la estandarización no abarca.

El concepto de Factor de Riesgo no estará supeditado a las simulaciones realizadas en este trabajo, el mismo puede ser nutrido por data proveniente de análisis más sofisticados, complejos o reales de empresas de telecomunicaciones, con el objetivo de mejorar su precisión y refinarlo. Se estima, que implementando simulaciones con métodos de detección de PCI más detallados, semejantes a los que establecen los fabricantes de celulares, la calidad, en las lecturas del parámetro FR se elevaría en mayor medida.

Las estrategias provistas para la asignación del parámetro PCI, además de servir para la planificación inicial de un conjunto de radio bases, también pueden ser útiles en la solución de problemas con el parámetro PCI en tiempo real de una red ya preestablecida, esto se lograría codificando las recomendaciones presentes para luego agregarlas como parte del sistema SON (Self

Organising Network), incluido en todas las redes LTE.

### 5. Recomendaciones de la investigación.

Debido a que el FR depende de los métodos de detección de PCI simulados, se propone realizar un estudio con métodos de detección más robustos o avanzados que sirvan de comparación para mejoras de lo establecido. Por otro lado, una de las virtudes de este proyecto es la data final generada, puede ser usada como base de datos para el desarrollo de algún software de planificación en diversas plataformas privadas o de código libre.

### 6. Referencias

- [1] Mehdi Alasti, Behnam Neekzad, Jie Hui, and Rath Vannithamby. Quality of service in wimax and lte networks [topics in wireless communications]. *IEEE Communications Magazine*, 48(5), 2010.
- [2] ETSI. LTE; Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); physical channels and modulation (3GPP TS 36.211 version 10.0.0 release 10), 2011. European Telecommunications Standards Institute.
- [3] R. Agusti, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrus, J.Perez-Romero, and O. Sallent. *LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles*. Fundación Vodafone España, 2nd edition, 2010.
- [4] R Acedo-Hernández, Matias Toril, Salvador Luna-Ramírez, and Carlos Ubeda. A pci planning algorithm for jointly reducing reference signal collisions in lte uplink and downlink. *Computer Networks*, 119:112–123, 06 2017.
- [5] Ali MurtadhaPahwa KuldipSinha H. P. Mobile cell selection in 4g long term evolution-advanced (lte-a) networks. *American Journal of Engineering Research (AJER) e-ISSN*, 3:139–150, 2014.
- [6] R Acedo-Hernández, Matias Toril, Salvador Luna-Ramírez, Isabel de la Bandera Cascales, and Faour. Analysis of the impact of pci planning on downlink throughput performance in lte. *Computer Networks*, 76, 01 2015.
- [7] K Manolakis, D.M.G. Estevez, and Volker Jungnickel. A closed concept for synchronization and cell search in 3gpp lte systems. *2009 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pages 1–6, April 2009.
- [8] Muhammad Basi Shahab. Neural networks based physical cell identity assignment for self organized 3gpp long term evolution. *2012 35th International Conference on Telecommunications and Signal Processing, TSP 2012 - Proceedings*, pages 173–177, 07 2012.
- [9] ETSI. LTE; Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); base station (BS) radio transmission and

reception (3GPP TS 36.104 version 9.4.0 release 9), 2010. European Telecommunications Standards Institute.

- [10] S. Sesia, I. Toufik, and M. Baker. *LTE The UMTS Long Term Evolution From Theory to Practice*. John Wiley and Sons, Ltd. UK, 2nd edition, 2011.
- [11] G.David Forney Jr. Maximum-likelihood sequence estimation of digital sequences in the presence of intersymbol interference. *Information Theory, IEEE Transactions on Information Theory*, 18:363 – 378, 06 1972.
- [12] Shun-Fang LiuPei-Yun Tsai. A non-coherent neighbor cell search scheme for lte/lte-a systems. *2013 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pages 3300–3305, April 2013.