

# Method to estimate the user's average throughput for an operating base station using Monte Carlo simulation

**Juan C. Vélez Díaz\*, Jesús A. Viñas, Javier A. García**

Grupo de Telecomunicaciones y Señales, Universidad del Norte. Km 5 vía Puerto Colombia.  
Tel. (5) 3509509. Fax. (5) 3598852. \* [jcvelez@uninorte.edu.co](mailto:jcvelez@uninorte.edu.co)

## Abstract

The following work shows a procedure for determining the behavior of the data throughput for an operating cellular base station as a function of signal to noise plus interference ratio using the Monte Carlo method. First, a flow chart is presented illustrating the main tasks to be carried out. Then, each task is described including an example applied to the case study. Next, the results obtained by applying the method are presented. The method shows how to combine actual field measurements with simulation to understand the possibilities of HSDPA services for a particular base station and its behavior under different situations, saving time to the design engineer and allowing the completion of tests that are difficult to carry out in the field.

**Keywords:** HSDPA, Throughput, method, Monte Carlo.

## Método para estimar el *throughput* promedio de los usuarios de una estación base en servicio utilizando simulación Monte Carlo

### Resumen

En este trabajo se presenta un procedimiento que permite establecer el comportamiento del *throughput* de los usuarios de datos de una estación base celular en operación, como una función de la relación señal a ruido más interferencia utilizando el método Monte Carlo. Se inicia indicando un diagrama de flujo con las tareas principales, posteriormente se describe cada tarea y se complementa con un ejemplo aplicado al caso de estudio. Finalmente, los resultados obtenidos con la aplicación del método son presentados. El método muestra cómo se pueden combinar las mediciones reales de campo con la simulación para conocer las posibilidades de servicio HSDPA de la estación base y su comportamiento bajo diferentes situaciones, economizando tiempo del ingeniero de diseño y facilitando la realización de diferentes pruebas difíciles de probar experimentalmente en campo.

**Palabras clave:** HSDPA, Throughput, método, Monte Carlo.

### Introducción

Actualmente en Sur América los operadores de telefonía celular están implementando redes con HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*). Estas redes, diseñadas para comunicación multimedia con altas tasas de datos [1] y na-

vegación en la red, se encuentran en pleno crecimiento [2]. Su diseño y caracterización en cuanto a la tasa de transmisión posible para los diferentes usuarios que acceden aleatoriamente la red aún no está totalmente establecido. Los ingenieros de diseño de la región planifican los sistemas HSDPA basados en recomendaciones de fabri-

cantes o en simulaciones generales de la red. Ya instalada la estación base se hacen mediciones de campo en situaciones específicas, que resultan costosas en tiempo y dinero, sin considerar todas las posibles variantes de acceso y configuración.

Uno de los objetivos de diseño importante en el dimensionamiento *HSDPA* y métrica de desempeño clave es el *throughput* promedio del usuario final [3], entendiéndose éste como la tasa de transmisión de datos [4], debido a que es altamente dependiente de las condiciones del canal, del número y de la interferencia de los otros usuarios, entre otros factores [3].

Existen actualmente varios trabajos que relacionan de manera teórica [5-7] y experimental [4], en condiciones de laboratorio, algunos parámetros de red *HSDPA* con el *throughput* de la estación base y de usuarios, pero no se han encontrado procedimientos que ayuden a los ingenieros de diseño al dimensionamiento experimental de dichas redes. Este trabajo tiene como objeto presentar un método que permite establecer el comportamiento del *throughput* de los usuarios *HSDPA*, de una estación base en funcionamiento, como una función de la relación señal a ruido más interferencia utilizando el método Monte Carlo (MC) [8].

El artículo está conformado de la siguiente manera: Se inicia planteando el método para la estimación MC del *throughput HSDPA* a través de un diagrama de flujo indicando las tareas principales. Posteriormente se describe cada tarea y se complementa con un ejemplo aplicado al caso de estudio. Finalmente, los resultados obtenidos con aplicación del método y las conclusiones son presentados.

## Método para la estimación MC del throughput HSDPA

En la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo del método propuesto para la simulación y estimación MC del *throughput* promedio para los usuarios servidos por la estación base.

En el diagrama se pueden diferenciar dos etapas principales. La primera de ellas, es la carga de bases de datos con la cartografía de la región de estudio y la preparación de todos los in-

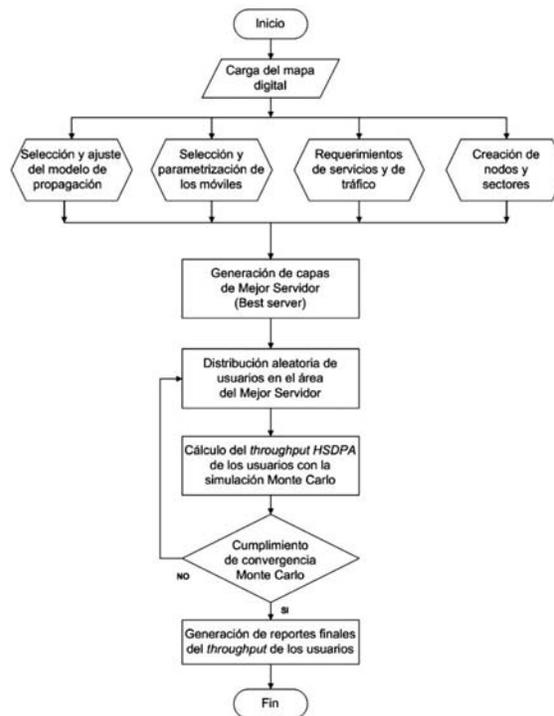


Figura 1. Diagrama de flujo para la simulación Monte Carlo.

sumos necesarios para generar las capas de cobertura del Mejor Servidor (*Best Server*).

Dichos insumos están conformados por los modelos de propagación, tipos de móviles, requerimientos de tráfico y servicios y los parámetros de los nodos. Las capas de Mejor Servidor son la base de la herramienta *Mentum Planet (MP)* [9, 10], escogida como software de simulación por ser ampliamente utilizada en empresas celulares a nivel mundial para la planeación y diseño de redes. En la segunda etapa, por su parte, se realiza la simulación aleatoria propiamente dicha. Para ello se recrea la distribución de usuarios, se realiza los experimentos estadísticos y se analizan automáticamente los resultados de manera iterativa hasta alcanzar cierto grado de convergencia previamente establecido. A continuación se describe en detalle las tareas del método.

### Carga del mapa digital

Con el objeto de establecer las predicciones de cobertura es necesario cargar un mapa geográfico del área para la cual se va a realizar la estimación. Este mapa debe incluir, al menos, la al-

tura y forma del terreno, la ubicación de edificaciones y el tipo de *clutter*. La palabra *clutter* es utilizada en el software de simulación para designar la descripción del terreno, edificios, bosques, vegetación, zonas abiertas y cuerpos de agua. Los niveles de atenuación para cada uno de los *clutters* se encuentran con la ayuda del modelo de propagación como se verá a continuación.

### Selección y ajuste del modelo de propagación

El software de simulación *MP* permite realizar la estimación de las pérdidas de propagación dentro de una región a partir de parámetros como altura, ubicación y tipo de la antena transmisora, potencias de transmisión, frecuencia de funcionamiento, información del terreno y características del entorno.

La revisión de diferentes modelos de propagación permite escoger aquel que se acople más al sector de estudio y encontrar la forma del área de cobertura para la simulación de la distribución de usuarios en la celda. Asimismo, es necesario realizar la sintonización de los modelos con el objeto de encontrar las pérdidas empíricas y la constante de atenuación, parámetros necesarios para calcular las pérdidas para los diferentes tipos de *clutter*.

Para comprender la importancia de escoger el modelo de propagación adecuado y su influencia en la simulación consideraremos dos modelos de propagación, el *Okumura-Hata* [11, 12] y el *CRC Predict 4.0* [9]. El primero es un modelo empírico [13] basado en una extensa campaña de medidas en la ciudad de Japón y el segundo es un

modelo determinístico que realiza una simulación detallada de la difracción del terreno, basado en la física óptica.

Estos modelos se sintonizan con datos reales, medidos en campo. Para ello, se toman mediciones de la intensidad de código recibida (conocida como *RSCP* por su sigla en inglés) en la zona de cobertura de la estación siguiendo un procedimiento establecido en [14]. En la Figura 2 se muestra los niveles de intensidad de señal *RSCP* obtenidos contra la distancia ( $d$ ). Se presentan los niveles *RSCP* medidos, el promedio ajustado en una regresión lineal y el nivel obtenido a través de la ecuación de espacio libre.

A partir de esta gráfica se encuentran los valores de los parámetros de pérdida a un metro ( $L_0$ ) y la constante de atenuación ( $n$ ) en el área del sector escogido. La regresión lineal obtenida en la gráfica, se ajusta a la ecuación (1).

$$RSCP_{Promedio} = -31,455 * \log(d) - 90,913 \text{ [dBm]} \quad (1)$$

La ecuación básica para un modelo de pérdidas empírico se establece en [11] y tiene la forma descrita en la ecuación (2)

$$L = L_0 + 10n \log(d) \text{ [dB]} \quad (2)$$

Teniendo en cuenta que para el sector seleccionado la potencia de transmisión es de 33 dBm y la ganancia de la antena es de 16,91 dB, encontramos que la Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (*PIRE*) es de 49,91 dBm. Las pérdidas, entonces, se pueden encontrar como (3):

$$L = PIRE - RSCP_{Promedio} = 141 + 32 * \log(d) \text{ [dB]} \quad (3)$$

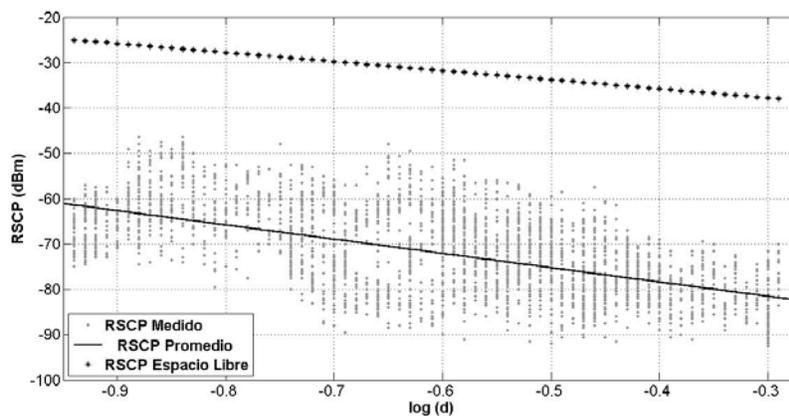


Figura 2. Relación entre intensidad de señal *RSCP* y distancia.

Comparando las ecuaciones (2) y (3) se obtienen los valores buscados  $L_o=142$  dB y  $n=3,2$ . Nótese que la constante de propagación en el área del sector a estudiar es mayor a la constante de pérdidas de espacio libre que tiene un valor de 2. Estos valores alimentan los modelos de propagación en el MP para encontrar los factores de atenuación de cada tipo de *clutter*, que en la zona de cobertura escogida para el estudio arrojaron los valores de pérdidas mostrados en la Tabla 1.

Para modelar el desvanecimiento lento (*Shadowing*) en las simulaciones de propagación, es necesario conocer la desviación estándar de las variaciones lentas alrededor del promedio del RSCP [15]. Esto se hace restando las mediciones de nivel de señal del promedio calculado a través de la regresión lineal. La función de densidad de probabilidad para los datos obtenidos con este procedimiento se ajusta a una distribución normal de media de cero y una desviación estándar de 7,4 dB.

Con los parámetros obtenidos y las características de las estaciones base y de los equipos de usuario se pueden realizar las simulaciones de intensidad RSCP, de relación energía de chip a interferencia ( $E_c/I_o$ ) y de área de cobertura. En la

Figura 3a se muestra la predicción del RSCP del canal CPICH para el sector seleccionado con el modelo de propagación de *Okumura Hata*. En ésta se observa que la huella de cobertura es circular con un radio de cobertura aproximado de 1,3 Km. En la mayor parte del área de cobertura los niveles de señal oscilan entre  $-69,5$  dBm y  $-74,3$  dBm. Por otra parte, en la figura 3b se encuentra la predicción con el modelo de propagación *CRC Predict 4.0*. Como era de esperarse, esta predicción se ajusta mejor al entorno de estudio ya que tiene en cuenta la geometría de la zona. Se visualiza una huella de cobertura amorfa, cuyos niveles predominantes varían entre  $-69,5$  dBm y  $-90,8$  dBm. El radio aproximado de cobertura total es de 0,6 Km.

Escogiendo entonces el modelo de propagación *CRC Predict 4.0*, se obtiene finalmente, a través de simulación, el área de cobertura y los valores RSCP y  $E_c/I_o$ .

En la Figura 4 se muestra el área de cobertura de cada sector de las estaciones base, el sector bajo estudio es el etiquetado como Sector\_1. En algunos casos, se observan pequeñas zonas lejanas de la estación base, que deberían ser cubiertas por otras celdas, con altas intensidades

Tabla 1  
Pérdidas de absorción por tipo de *clutter*

Tipo de clutter	Calles	Edificios altos	Urbano denso	Urbano	Residencial	Bosque	Vegetación escasa	Agua	Abierto
Pérdidas (dB)	5	40	35	30	25	30	20	3	15

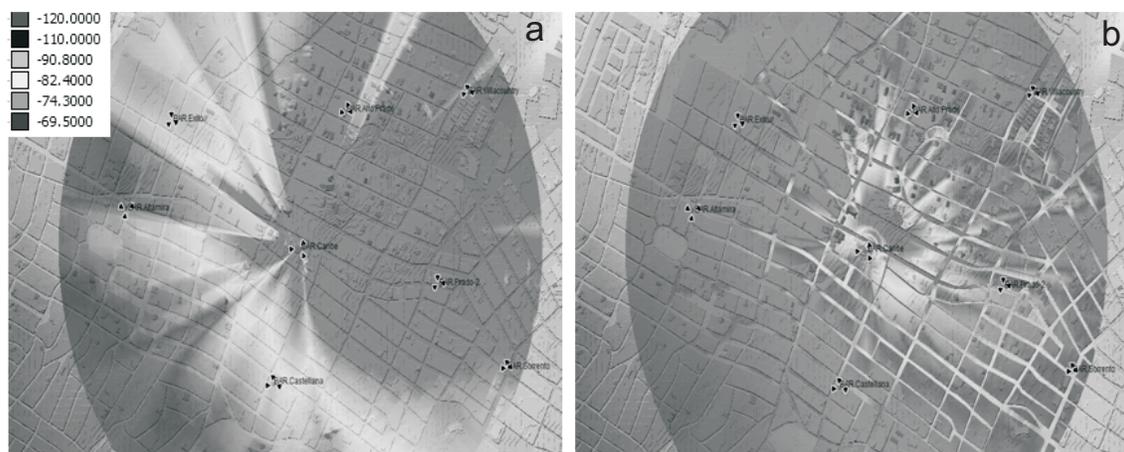


Figura 3. Predicción RSCP del canal CPICH para los modelos a) *Okumura Hata*, b) *Predict 4.0*.

causadas por las particularidades de la propagación en la zona de cobertura. Se recomienda no tener en cuenta estas zonas lejanas en la simulación *MC*.

El  $E_c/I_o$  es mostrado en la Figura 5, en donde se destaca la intensidad de interferencia de los nodos adyacentes sobre el sector bajo estudio. Adicionalmente, se visualiza que en los bordes de los sectores la interferencia es más acentuada (-12 dB) que en la parte interna (-8 dB). También existen pequeñas regiones con altos niveles de interferencias, que oscilan entre -16 y -20 dBm, que pueden prestar restricciones en el servicio.

Estas simulaciones de propagación e interferencia permiten establecer las capas de Mejor Servidor y establecer una zona de cobertura virtual semejante a la real, donde los usuarios móviles serán distribuidos aleatoriamente en los experimentos computacionales.

### Selección y parametrización de los terminales móvil

Para la simulación *MC* se recomienda utilizar varios terminales móviles de diferentes categorías, especialmente de características similares a los utilizados por los usuarios en la red. También es aconsejable personalizar algunos de los terminales escogidos. Esto se hace encontrando el *throughput* de la estación en función del *SINR*. Para ello se realizan pruebas de campo con el fin de obtener los valores de *RSCP* y  $E_c/I_o$  del canal piloto común *CPICH*. Estos niveles, combinados con estimaciones de potencia esperadas de *HSDPA* para diferentes puntos de ubicación dentro de la zona de cobertura permiten predecir el *throughput* [16], como se muestra a continuación.

Inicialmente se encuentra el valor  $SINR_{HS-DSCH}$ , que indica la relación señal a ruido más interferencia del canal compartido descendiente de alta velocidad (*HS-DSCH*), según la ecuación (4).

$$SINR_{HS-DSCH} = 10 \log_{10} \left( 16 \frac{E_C}{(1-\alpha)I_{or} + I_{oc} + N_0} \right) \quad (4)$$

En esta expresión,  $E_C$  es la energía por chip recibida del canal *HS-DSCH*,  $I_{or}$  es la interferencia

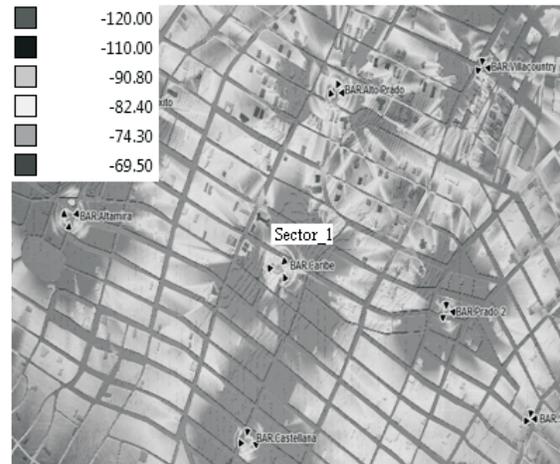


Figura 4. Niveles de recepción de RSCP.

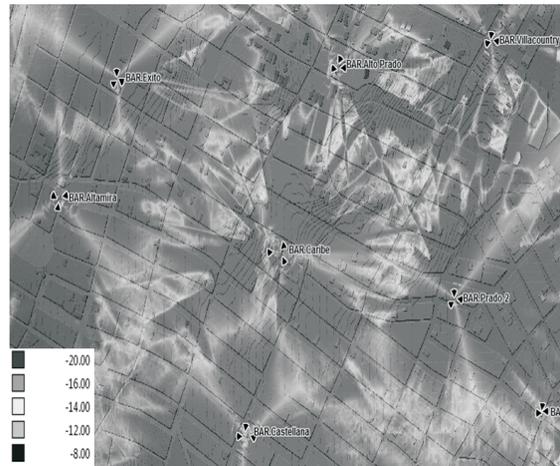


Figura 5. Nivel de interferencia entre celdas.

de la propia celda,  $I_{oc}$  es la interferencia de otras celdas,  $\alpha$  es el coeficiente de ortogonalidad [17] y  $N_0$  es la potencia el ruido térmico (para una red *UMTS*, con un ancho de banda de 3,84 MHz,  $N_0$  es igual -138 dB). Los parámetros de Energía e interferencia se pueden encontrar como se muestra en las relaciones (5-7)

$$E_C = RSCP + 10 \log_{10} \left( \frac{P_{HS-DSCH}}{P_{CPICH}} \right) \quad (5)$$

$$I_{or} = RSCP + 10 \log_{10} \left( \frac{P_{tot, HSDPA}}{P_{CPICH}} \right) \quad (6)$$

$$I_{oc} = I_o - I_{or} - N_0 \quad (7)$$

donde  $P_{HS-DSCH}$  y  $P_{CPICH}$  son la potencia del canal *HS-DSCH* y *CPICH* respectivamente,  $P_{tot,HSDPA}$  es la potencia total de la celda utilizando *HSDPA*,  $I_o$  es la interferencia total que actúa sobre el usuario y es posible encontrarla como se indica en (8)

$$I_o = RSCP - \frac{E_C}{I_o} + 10 \log_{10} \left( \frac{P_{tot,HSDPA}}{P_{tot,beforeHSDPA}} \right) \quad (8)$$

En esta expresión el valor  $P_{tot,beforeHSDPA}$  es la potencia de la celda descontando la potencia de *HSDPA*.

Finalmente, según [16], si el valor de *SINR* en dB está entre -5 dB y 20 dB se puede aplicar la ecuación (9) para hallar el *throughput* en *Mbps* en función del *SINR*, en dB, para un sistema que trabaja con 5 códigos.

$$Thr \text{ (Mbps)} = 0,0039 * SINR^2 + 0,0476 * SINR + 0,1421 \text{ para } -5 \text{ dB} \leq SINR \leq 20 \text{ dB} \quad (9)$$

Con las ecuaciones anteriores realizamos el ajuste de los móviles. En el presente trabajo se escogieron dos tipos de terminales, uno de bajas prestaciones (categoría 12) que solamente soporta modulación *QPSK* con 5 códigos y otro de altas prestaciones (categoría 5) que soporta *QPSK* y *16QAM* con hasta 15 códigos lo que permite aumentar el *throughput* [18]. El terminal de categoría 12 fue parametrizado con base a las ecuacio-

nes (4) y (9), mientras que el de categoría 5 se parametrizó con los valores que trae por defecto el *MP*.

Las características del terminal de categoría 12 ajustado se muestran en la Tabla 2 en donde se presenta la tasa de datos y la relación  $E_c/N_t$  que indica la energía de símbolo en el canal *HS-DSCH* con respecto al total de interferencia (el denominador de la expresión (4)). La distribución de los valores *RSCP* y  $E_c/I_o$  del drive test mostraron que los niveles de *RSCP* están en un rango entre -92,5 a -46,5 dBm y los de  $E_c/I_o$  entre -20,5 a -2 dB, que convertidos a *SINR* entran en el rango definido de la fórmula (9). El comportamiento probabilístico de los valores de *RSCP* obtenidos es semejante al mostrado en la referencia [16], tienen una distribución Normal con una media de -71,5 dB y desviación estándar de 8,6 dB. Esto afirma, entonces, la posibilidad de utilizar la fórmula (9).

### Requerimientos de servicios y de tráfico

Es necesario especificar las características que modelan el comportamiento del tráfico para el tipo de servicio de cada usuario que será simulado en el método *MC*. Entre dichas características cabe destacar la calidad de servicio, los portadores (*bearers*) y la sesión de paquetes.

Los tipos de servicio son aplicaciones que utilizan los usuarios. Por ejemplo, para la verificación de este método se consideró solo la con-

Tabla 2  
Características para el terminal de categoría 12 HSDPA personalizada

Tasa de Datos (Kbps)	$E_c/N_t$ (dB)	Tasa de Datos (Kbps)	$E_c/N_t$ (dB)	Tasa de Datos (Kbps)	$E_c/N_t$ (dB)
4,6	-17	397,9	-8	1423	1
17,1	-16	480,6	-7	1575,9	2
37,4	-15	571,1	-6	1736,6	3
65,5	-14	669,4	-5	1905,1	4
101,4	-13	775,5	-4	2081,4	5
145,1	-12	889,4	-3	2265,5	6
196,6	-11	1011,1	-2	2457,4	7
255,9	-10	1140,6	-1	2657,1	8
323	-9	1277,9	0		

mutación de paquetes. Este tipo de servicios toleran ciertos niveles de retardo y por ello pueden utilizar *bearers* compartidos si la tecnología lo permite. Los servicios que no toleran retardos necesitan de *bearers* dedicados. Para cada uno de los servicios se debe especificar una calidad de servicio, encargada de definir el retardo permitido en la transferencia y la tasa de datos garantizada y máxima. Los *bearers* determinados para *HSDPA* se aplican para el camino ascendente, ya que la tecnología establece que en el camino descendente los *bearers* sean compartidos. Para el ejemplo de aplicación del método se definen *bearers* con valores de 64, 128 y 385 Kbps.

Las sesiones de paquetes son utilizadas para caracterizar el tamaño y la distribución de los paquetes en la red. Una sesión define las características de uso de un usuario de un servicio de conmutación de paquetes (correo electrónico, web, ftp, etc.) y consiste de uno o varios paquetes transmitidos y recibidos. Se define también la distribución de paquetes debido a que ésta impacta la manera como el tráfico en cola es modelado durante la simulación. Por lo general, en las simulaciones las sesiones de conmutación de paquetes utilizan el modelo de tráfico de paquetes en redes inalámbricas recomendado por el Instituto de Estándares de Telecomunicaciones de Europa [19]. Los parámetros para las sesiones de *HSDPA* se definieron teniendo en cuenta la recomendación de [10].

### Creación de nodos y sectores

La definición de las características de los nodos B debe relacionar todos los parámetros que intervienen en la interacción con el móvil, entre los principales se encuentran la potencia máxima de transmisión de los canales *CPICH*, *HSDPA* y control, la ganancia, el ancho de banda y el ancho del haz de la antena, entre otros.

La potencia asignada según [20] juega un papel especial ya que determina en gran medida el desempeño de todo el servicio de la red *HSDPA*. Por ejemplo, para la celda de estudio, la potencia total es de 43 dBm, al *CPICH* se le asignan 33 dBm, la potencia de otros canales es de -7 dBm.

También es importante definir los mínimos niveles de calidad. Para el caso presente, el míni-

mo valor  $E_c/I_0$  del *CPICH* se estableció en -12 dB, esto quiere decir que si algún usuario se encuentra por debajo de este valor no será servido.

### Generación de capas de mejor servidor

A partir de los parámetros de propagación obtenidos, conociendo la configuración de los Nodos y las características de servicio y de tráfico se generan las capas de intensidad de señal *RSCP* y *CPICH*, de energía de chip sobre interferencia  $E_c/I_0$  y de celda Mejor Servidora para conformar la base del sistema que alimentará la simulación *MC*.

### Distribución aleatoria de usuarios en el área de mejor servidor

El área de cobertura es la base para la distribución aleatoria de usuarios en el *MC*. Se pueden escoger el número de usuarios en cada experimento y el tipo de distribución de los mismos. En el ejemplo que se está desarrollando el número de usuarios sigue una distribución de *Poisson*. El sector estudiado para la simulación se escogió con un área de 0.2 Km<sup>2</sup>.

### Cálculos del throughput HSDPA de los usuarios

Teniendo en cuenta los requerimientos de calidad de servicio se procede con el cálculo y análisis del *throughput* de *HSDPA* alcanzado para cada usuario a través de experimentos estadísticos. El software *MP* realiza la simulación *MC* de todos los usuarios de la red y su interacción con el sistema, con el objeto de establecer si cada usuario puede ser servido, teniendo en cuenta el impacto de todos los otros usuarios y la configuración de red. En la simulación *MC* es necesario establecer el número de experimentos a realizar ya que de este valor depende la eficiencia de la estimación de los parámetros a encontrar. La herramienta *MP* permite establecer este valor de dos formas, en la primera de ellas el usuario define manualmente el número de experimentos, esto se hace dependiendo del grado de eficiencia del estimador que se desee [21] y en la segunda se utiliza el método de convergencia. Esto se hace ejecutando cada experimento y evaluando el cumplimiento de los requerimientos de calidad hasta que se alcance una convergencia objetivo

dada. Esta última es posible calcularla con una fórmula definida en [10].

Las simulaciones se detienen una vez que el factor de convergencia sea igual o menor a un valor dado. Esto permite un control más refinado del proceso de simulación. Prácticamente, el factor de convergencia se alcanza cuando el número de usuarios rechazados se mantiene estable y el promedio de usuarios rechazados por experimentos se incrementa, conllevando a que el rechazo de usuarios no se dé por la distribución aleatoria que se define en la simulación MC, sino por causa del sistema. Por ejemplo, por el no cumplimiento de los parámetros de calidad de servicio.

### Generación de reportes finales

El procedimiento termina extrayendo la información de los puntos de operación del sector, es decir, los valores promedios de los diferentes experimentos que se realizaron con el método de Montecarlo.

## Resultados

En el caso presentado, se generan reportes del promedio de usuarios servidos y su *throughput* con coeficientes de ortogonalidad que varían desde 0,7 a 1 para los terminales de categoría 12

y 5. El factor de convergencia objetivo se estableció menor o igual al 5%.

Los resultados de las simulaciones se muestran en la Tabla 3, para densidades de usuario de 25/Km<sup>2</sup> hasta 225/Km<sup>2</sup> y coeficientes de ortogonalidad  $\alpha$  con valores de 0,7; 0,8; 0,9 y 1.

Tal y como era de esperarse a partir de lo presentado en la literatura, para un usuario servido dado, su *throughput* disminuye a medida aumentan los usuarios servidos y que se pierde la ortogonalidad entre los códigos. Los valores de velocidad promedio para el terminal tipo 12 con  $\alpha=1$  se encuentran entre 0,266 y 2,4 Mbps, mientras que para el terminal tipo 15 está en el rango entre 0,432 y 3,9 Mbps.

Para un  $\alpha=0,7$  y valores de densidad de usuario superiores o igual a 125/ Km<sup>2</sup>, el terminal tipo 15 presenta un límite de 7,27 usuarios con una tasa promedio de 230 Kbps. Esto podría deberse a que para terminales con capacidades superiores, a medida que disminuye el coeficiente de ortogonalidad aumenta la interferencia y las exigencias de SINR no alcanzan a ser cumplidas.

Se generó un experimento para comparar los resultados obtenidos a través de simulación MC con el terminal sintonizado y el terminal estándar del MP teniendo como base una medición

Tabla 3  
*Throughput* promedio por usuario (Kbps) para las dos terminales

Usuarios /Km <sup>2</sup>	Usuarios Promedio Servidos	$\alpha=0,7$		$\alpha=0,8$		$\alpha=0,9$		$\alpha=1$	
		Terminal 12	Terminal 5	Terminal 12	Terminal 5	Terminal 12	Terminal 5	Terminal 12	Terminal 5
25	1,8	818,1	1133,67	1052,57	1460,27	1,440,60	2053,36	2410,46	3887,59
50	3,2	318,49	441,91	409,08	569,38	559,24	793,46	831,42	1337,76
75	4,8	269,9	375,17	348,22	486,54	479,61	681,65	648,32	1051,34
100	6,26	187,9	260,01	239,52	335,27	329,27	466,39	434,26	702,84
125	7,27	166,88	230,46	214,17	296,30	291,37	411,54	379,59	617,14
150	7,79	170,26	230,46	216,93	301,79	297,49	419,14	379,59	617,12
175	8,67	148,55	230,46	189,01	263,97	259,41	365,71	330,35	535,09
200	9,2	133,91	230,46	169,66	235,37	230,07	324,83	295,23	480,00
225	10	120,9	230,46	153,25	212,09	208,24	293,90	265,71	432,00

puntual, que se denominó real, dada por la herramienta *Mentor*, cuyas funcionalidades permiten georreferenciar información de *RSCP*,  $E_c/I_o$  y Mejor Servidor obtenida mediante registros de llamadas. En la simulación realizada con el modem ajustado se verificó que el error relativo en los resultados de la estimación del *throughput* promedio disminuía de un 13% para el terminal estándar a un 2% con el terminal sintonizado.

### Conclusiones

En el presente artículo se estableció un método que puede ser usado en la planificación de redes de datos *HSDPA* en las que se desee conocer el promedio de usuarios servidos y su *throughput* alcanzado. El método muestra cómo se pueden combinar las mediciones reales de campo con la simulación para conocer las posibilidades de servicio *HSDPA* de la estación base y su comportamiento bajo diferentes situaciones, economizando tiempo del ingeniero de diseño y facilitando la realización de diferentes pruebas difíciles de probar experimentalmente en campo.

La aplicación del método en el caso particular de una estación base en la ciudad de Barranquilla permitió concluir que para altas densidades de usuarios, los terminales de mejores prestaciones pueden alcanzar velocidades promedio cercanas a 500 Kbps, valor que se encuentra por encima en un 30% de la velocidad máxima que brinda el Release 99 para UMTS, mientras que los terminales de bajas prestaciones están cercanas o incluso por debajo de las velocidades del Release 99. Es decir que en condiciones de alto tráfico las velocidades siguen siendo bajas con respecto a lo que se le ofrece a los nuevos usuarios de datos *HSDPA*.

### Referencias bibliográficas

1. Goransson B., Cairns D., Wang Y.-P.E., Cozzo C., Fulghum, T., Grant S.: "Evolution of WCDMA high speed packet access and broadcast services". Signal Processing Advances in Wireless Communications, SPAWC 2007 (2007) 1-5.
2. Comisión de Regulación de Comunicaciones Colombia.: "Informe Trimestral de Conectividad Diciembre de 2009". No 17 (2009). <http://www.crcm.gov.co>.
3. João L., Correia L. M., Santo, L.: "Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009 (2009) 1-5.
4. Tanaka S., Ishii H., Sao T., Lizuka Y., Nakamori T.: "HSDPA Throughput Performances Using an Experimental HSDPA Transmission System". NTT DoCoMo Technical Journal Vol. 6, No. 4 (2005) 19-28.
5. Mader A., Staehle D., Pries, R., Spahn M.: "Impact of HSDPA Transmit Power Allocation Schemes on the Performance of UMTS Networks". Telecommunication Networks and Applications Conference, 2007. ATNAC 2007 (2007) 414-419.
6. Augustí R., Campana M., Sallent O.: "Elementos de Arquitectura y Gestión de Recursos radio en UMTS", Fundación Vodafone, España, 2004.
7. Zanier P., Soldani D.: "A Simple Approach to HSDPA Dimensioning". Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. PIMRC 2005. Vol. 2 (2005) 883-887.
8. Rubinstein R.Y, Kroese D.P.: "Simulation and the Monte Carlo method", 2nd ed. Wiley Interscience, USA, 2008.
9. Mentum Planet: "TDMA/FDMA User Guide v5.5", Mentum S.A, 2008.
10. Mentum Planet: "CDMA User Guide v4.5", Mentum S.A, 2008.
11. Rappaport T.: "Wireless Communication Principles and Practice". Prentice Hall, USA, 2002.
12. Tranter W. H., Shanmugan K.S., Rappaport T.S., Kosbar K.L.: "Principles of Communication Systems Simulation with Wireless Application", Prentice Hall, USA, 2004.
13. Coinchon M., Salovaara A-P, Wagen J-F.: "The impact of radio propagation predictions on urban UMTS planning". IEEE Conference Broadband Communications (2002). 1-6.
14. Nawrocki M.J., Dohler M., Aghvami A.H.: "Understanding UMTS Radio Network, Modelling, Planning and Automated Optimization", John Wiley&Sons, USA, 2006.
15. Yuehong G., Xin Z., Dacheng Y., Yuming J.: "Unified Simulation Evaluation for Mobile

- Broadband Technologies". *Communication Magazine IEEE* (2009) 142-149.
16. Holma H., Toskala A.: "HSDPA/HSUPA for UMTS", John Wiley & Sons, USA, 2006.
  17. Zigangirov K. S.: "Theory of Code Division Multiple Access Communications", Wiley IEEE Press, USA, 2004.
  18. Tapia P., Liu J., Karimli Y., Feuerstein M.J.: "HSPA Performance and Evolution – A Practical Perspective", John Wiley & Sons, UK, 2009.
  19. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), "Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS". TR 101 112 V3.1.0 ETSI, 1997.
  20. Kolding T.E., Pedersen K.I., Wigard J., Frederiksen F., Mogensen P.E.: "High Speed Downlink Packet Access: WCDMA evolution", *IEEE Vehicular Technology Society* (2003) 4-10.
  21. Van Trees H.L.: "Detection, Estimation, and Modulation Theory", Part I. John Wiley & Sons, USA, 2001.

Recibido el 11 de Enero de 2011

En forma revisada el 30 de Abril de 2012