

4. Simulación.

4.1. Introducción.

La evaluación de las prestaciones de los sistemas de comunicaciones y la optimización de los mismos, se basa fundamentalmente en su modelado, bien en términos de formulaciones analíticas, cuya evaluación se apoya en el uso de programas de CAD matemático, o bien apoyados en simulaciones que reproducen mediante programas de ordenador, con el grado de detalle deseado, y hasta donde sea posible, el comportamiento de los sistemas.

En general el modelado analítico resulta complejo a poco que se usen modelos realistas. El uso de simuladores está limitado por la carga computacional que presentan, por lo que es fundamental elegir cuidadosamente las técnicas de simulación y la complejidad del modelo a implementar, en función de los resultados que se busquen.

En este capítulo se pretende analizar cuáles son los procedimientos que hay que seguir a la hora de realizar simulaciones para UMTS. Se definen los tipos de simulaciones que existen para evaluar el comportamiento de la red de acceso radio y qué parámetros es necesario modelar para llevarlas a cabo. Posteriormente se centrará en la descripción de la simulación a nivel de sistema, que se implementa en la herramienta objeto del presente proyecto.

4.2. Simulación de enlace y de sistema.

Para evaluar las prestaciones de los sistemas de comunicaciones radio normalmente se realizan simulaciones sobre modelos de los mismos. Para reducir la complejidad de la simulación de los sistemas reales se necesita realizar simulaciones separadas a nivel de enlace y a nivel de sistema.

En las simulaciones de enlace se obtienen las prestaciones de un solo enlace radio. Los principales resultados son las funciones que relacionan la

tasa de error de bit, BER (Bit Error Rate), o de trama FER (Frame Error Rate), a nivel de usuario con la relación potencia de señal a potencia de ruido e interferencia, SIR (Signal Interference Ratio), a la salida del receptor y esta con la relación de portadora a potencia de ruido e interferencia CIR (Carrier Interference Ratio), a la entrada del receptor.

Las simulaciones de sistema miden las prestaciones de la red de acceso radio. Se modelan las señales deseadas recibidas y las interferencias de otros usuarios y el ruido teniendo en cuenta la movilidad de los usuarios y las pérdidas de propagación. Se obtiene así la relación entre la potencia de portadora y la potencia interferente y ruido, CIR, para cada usuario activo, teniendo en cuenta la configuración de la red y los algoritmos de gestión de recursos radio que se usen, por ejemplo los algoritmos de control de potencia o los de traspaso. Estos valores de CIR pueden traducirse a valores de BER o FER usando las relaciones obtenidas de la simulación de enlace.

Para el presente proyecto se tendrá en cuenta únicamente la simulación a nivel de sistema, que se verá con más detalle más adelante.

4.2.1. Modelado de las pérdidas de propagación.

Se implementa en cada entorno de simulación de acuerdo con los modelos clásicos como Okumura –Hata, COST 231, etc.

4.2.2. Control de potencia.

El algoritmo tiene como objetivo el mantener la SIR de todos los usuarios a un nivel adecuado, ajustando la potencia de transmisión hacia arriba o hacia abajo. El nivel de SIR recibido se compara con un umbral. Se aplica control de potencia en la simulación tanto a nivel de enlace como a nivel de sistema. El efecto es un incremento de nivel medio de potencia necesario para compensar el “fading”. Debe tenerse en cuenta en la simulación de sistema por su impacto en la interferencia y la capacidad resultante.

4.2.3. Modelo de traspaso.

El uso de traspaso blando proporciona ganancia por diversidad, y su impacto en las prestaciones del sistema puede obtenerse mediante simulaciones a nivel de enlace.

4.2.4. Modelado de piloto y receptor RAKE.

En el enlace descendente la señal piloto es esencial para el buen funcionamiento del receptor y se transmite con un nivel de potencia mayor que el de los canales de tráfico. Sin embargo no se simula su efecto en a nivel de enlace salvo, en todo caso como integrante de la interferencia que produce el canal piloto.

En la simulación se supone normalmente el uso de receptores RAKE de combinación con relación máxima. A nivel de sistema se modela se modela cada rama del receptor y se toman la suma de los valores de la relación señal a ruido, SNR, de todos los trayectos.

4.3. Simulación a nivel de sistema.

Un algoritmo de simulación a nivel de sistema más o menos simple sigue los pasos que se muestran en el siguiente diagrama de bloques [2].

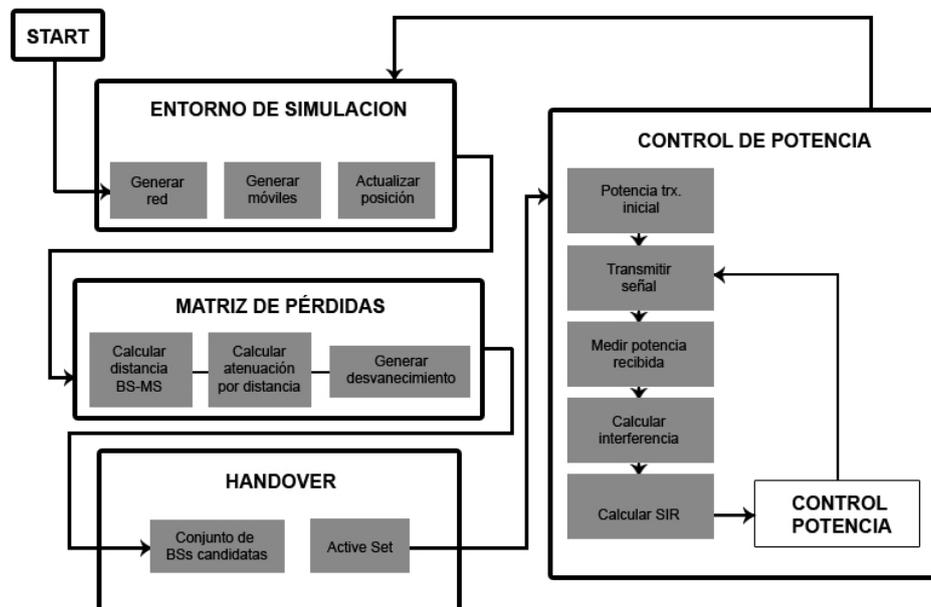


Figura 4.1 Algoritmo simple de simulación a nivel de sistema.

A grandes rasgos, los pasos que se dan son los siguientes: al principio de la simulación se genera el entorno donde se va a desplegar la red y se sitúan los usuarios de manera aleatoria. A partir de este momento comienza el bucle de la simulación. Lo primero que se hace es actualizar la posición de los móviles según el modelo de movilidad del entorno indicado. Con esta nueva posición, se calcula la matriz de pérdidas de los móviles con respecto a todas las estaciones base, teniendo en cuenta también el desvanecimiento lento. Con ello, se realiza el traspaso blando, previa selección de las estaciones base del “active set” (conjunto de Nodos B a los que el usuario está conectado). Por último, se realiza el control de potencia, para lo que hace falta calcular la relación señal a interferencia. Después, con la nueva asignación de estaciones base y la potencia transmitida por los móviles, se repiten de nuevo todos los pasos de la simulación, tantas veces como se haya programado el simulador.

El objetivo es estudiar las prestaciones de un sistema UMTS en un determinado entorno. Para ello es necesario implementar un modelo de

movilidad de los usuarios y un modelo de propagación, así como esquemas de soft handover y control de potencia.

4.3.1. Entornos de Prueba. Modelos de Movilidad para UMTS.

En este apartado se presentan distintos tipos de entornos de prueba definidos en la Recomendaciones UMTS, se han elegido para simular las condiciones más estrictas de radiopropagación, de forma que sirvan de guía para la evaluación de ésta tecnología de multiacceso radio. Así mismo se describe el modelo de movilidad para cada entorno, es decir, la forma en que se van a mover, cambiar de posición dentro del entorno de prueba, los terminales durante la simulación.

4.3.1.1. Entorno de Interiores.

Para este escenario, el modelo de entorno consiste en un gran edificio de oficinas de tres pisos iguales, con plantas abiertas compuestas por despachos y pasillos. Los despachos se separan mediante particiones metálicas desplazables. Los usuarios se mueven entre los despachos y el pasillo. No se consideran usuarios en los ascensores o escaleras.

Las suposiciones específicas del entorno se resumen en la Tabla 4.2 [2]:

Área por planta (m ²)	Número de plantas	Dimensión de despachos	Desviación típica Log-Normal (dB)	Velocidad (km/h)
500	3	10x10x3 m (despacho) 100x5x3 m (pasillo)	12	3

Tabla 4.2 Especificaciones para entorno de interiores.

Este entorno se caracteriza por células pequeñas y potencias de transmisión bajas. Tanto las estaciones base como los usuarios peatonales están en el interior. Las pérdidas de propagación varían debido a la dispersión y atenuación de las paredes, suelos y estructuras metálicas tales como biombos y archivadores. Estos objetos producen también desvanecimiento lento, caracterizado por una distribución lognormal con la desviación típica de 12 dB.

El desvanecimiento rápido puede ser tipo Rice o tipo Rayleigh con desplazamiento Doppler correspondiente a velocidad peatonal. En la Figura 4.2 se muestra el modelo de planta de edificio para el entorno de interiores.

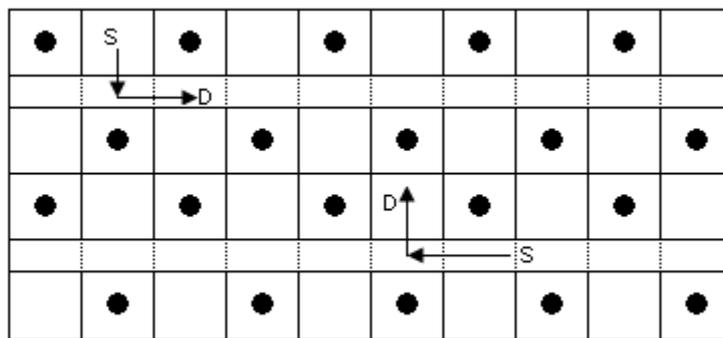


Figura 4.2 Modelo de planta de edificio para el entorno de interiores.

El modelo de pérdidas de propagación de interior en dB es una fórmula simplificada del modelo de interiores del COST 231.

$$L = 37 + 30\log(R) + 18.3n \left[\frac{n+2}{n+1} - 0.46 \right] \quad (4.1)$$

donde:

R es la separación en metros entre el transmisor y el receptor.

n es el número de pisos atravesados en el trayecto.

El modelo de pérdidas no tiene en cuenta de forma explícita las paredes. El valor pequeño de las pérdidas que considera el modelo (al no tener en cuenta las paredes) representa una situación de caso peor desde el punto de vista de las interferencias.

La movilidad de los usuarios se caracteriza de la siguiente forma:

- No hay movilidad entre plantas.
- Los usuarios pueden, o bien estar quietos, o desplazarse a velocidad constante desde el despacho al pasillo o viceversa.

Cada usuario está en uno de dos estados: quieto o moviéndose. La transición del estado estacionario al de movimiento es un proceso aleatorio. Si un usuario está en su despacho tiene una probabilidad mayor de estar quieto que si está en el pasillo.

El tiempo que cada usuario está quieto se obtiene de una de una distribución geométrica (exponencial discreta) con media diferente dependiendo de que el usuario esté en un despacho o en el pasillo. La transición del estado de movimiento al de parado se produce cuando el usuario llega a su destino.

Cuando un usuario está en un despacho y pasa al estado movimiento, se desplaza hacia el pasillo según el siguiente procedimiento:

- Se seleccionan las coordenadas de destino en el pasillo con una distribución uniforme (todos los puntos del pasillo son equiprobables como punto de destino).
- El usuario se desplaza de su ubicación inicial al punto de destino moviéndose primero en vertical y después en horizontal. La velocidad de desplazamiento es constante.

- Cuando el usuario alcanza el punto de destino se le transfiere el estado de parado.

Al permitir que los móviles se desplacen directamente de los despachos al pasillo, se supone que las puertas de los despachos son tan amplias como estos.

Cuando un usuario está en el pasillo y cambia al estado de movimiento, se desplaza a cualquiera de los despachos con igual probabilidad. El siguiente procedimiento define el movimiento a lo largo del pasillo y desde el pasillo a un despacho:

- Seleccionar las coordenadas de destino con una distribución uniforme (cada punto en el pasillo o en un despacho tiene la misma probabilidad de ser un punto de destino).
- El usuario se desplaza primero en horizontal y después en vertical hasta su punto de destino. La velocidad es constante durante el desplazamiento.
- Cuando el usuario alcanza el punto de destino se transfiere a un estado estacionario.

En la Figura 4.3 se presenta el diagrama de estados del modelo.

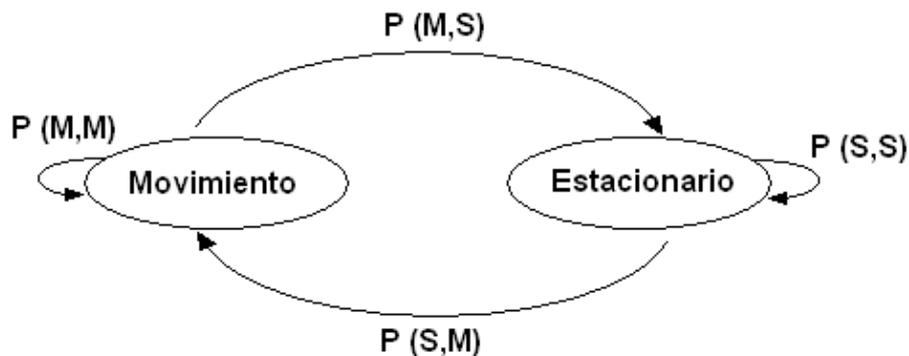


Figura 4.3 Diagrama de estados del modelo de movilidad para entorno de interiores.

Las probabilidades de transición entre estados se obtienen a partir de los siguientes parámetros: porcentaje de móviles en los despachos (r), tiempo medio de estado estacionario en los despachos (m_r) e intervalo temporal de iteración (Dt).

Con estos parámetros se pueden obtener las probabilidades de transición para cada nueva iteración temporal ($1-Dt/m_r, 1-Dt/m_c$) y el tiempo medio de estacionamiento en el pasillo (m_c) de forma que el flujo hacia las oficinas sea igual que el flujo desde las oficinas.

En la Tabla 4.3 se presentan los parámetros por defecto a usar en el modelo de movilidad de interior de oficinas.

Tasa de móviles en los despachos	85%
Tiempo medio estacionario en despacho	30s
Intervalo temporal de simulación	0.005s
Número de despachos	40
Velocidad del móvil	3 km/h

Tabla 4.3 Parámetro del modelo de movilidad para el entorno de interiores.

Con los parámetros por defecto dados en la Tabla 4.3, se obtienen los siguientes valores:

$$P(S,S) \text{ en la oficina} = 1 - 0.005/30 = 0.999833$$

$$P(S,M) \text{ en la oficina} = 0.005/30 = 0.0001667$$

$$P(S,S) \text{ en el pasillo} = 1 - 0.0009444 = 0.9990556$$

$$P(S,M) \text{ en el pasillo} = 0.005 \cdot 85 / (30 \cdot 15) = 0.0009444$$

Y el tiempo medio estacionario en el pasillo es de $Dt/P(S,M)$ en el pasillo =5,294 segundos.

4.3.1.2. Entorno peatonal.

Este entorno se caracteriza por microcélulas y baja potencia transmitida. Las estaciones base se ubican en el exterior con alturas de antena bajas, supuestamente situadas en fachadas, farolas o semáforos. Los usuarios peatonales se ubican en las calles y en el interior de los edificios.

La estructura de las calles es del tipo denominado Manhattan, formada por una red regular de calles y avenidas perpendiculares. Las dimensiones son las expresadas en la Tabla 4.4 [2].

Área	Manzana	Ancho de calle	Diferencia de altura base-estación móvil
6.5 km ²	200m x 200m	30m	10m

Tabla 4.4 Dimensiones del modelo Manhattan.

Se compone un esquema de despliegue con estaciones base que usan antenas omnidireccionales (marcadas con una T o un punto grueso en la figura). La cobertura que producen se orienta a lo largo de las calles y en las calles laterales.

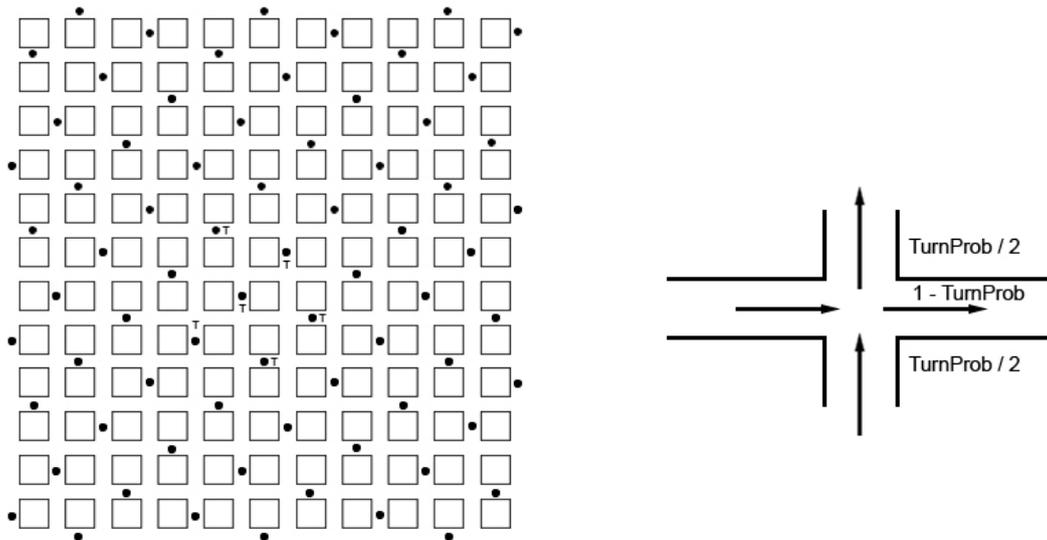


Figura 4.4 Modelo de movilidad para entorno peatonal.

El modelo de movilidad urbana se relaciona con la estructura de tipo Manhattan en la que los móviles se mueven a lo largo de las calles y pueden girar en los cruces con una cierta probabilidad. Los móviles se distribuyen uniformemente en la calle y su dirección de movimiento a lo largo de la misma se elige aleatoriamente en la inicialización. La posición de los móviles se actualiza cada 5 metros y su velocidad puede cambiar en cada actualización de la posición según una cierta probabilidad. El modelo de movilidad está descrito por los parámetros de la Tabla 4.5.

Velocidad media	3 km/h
Velocidad mínima	0 km/h
Desviación típica de la velocidad (distribución normal)	0.3 km/h
Probabilidad de cambios de velocidad	0.2
Probabilidad de girar en un cruce	0.5

Tabla 4.5 Parámetro del modelo de movilidad para entorno peatonal.

El desvanecimiento rápido es de tipo Rayleigh o Rice con una rapidez que depende de la velocidad peatonal de los usuarios, aunque a veces se observan variaciones más rápidas debidas a reflexiones producidas en vehículos en marcha.

4.3.1.3. Entorno vehicular.

Se caracteriza por grades macrocélulas formadas por estaciones base con antenas por encima de los edificios y potencias transmitidas altas. Típicamente no hay visión directa entre transmisor y receptor y la velocidad de los vehículos de los usuarios es alta.

La potencia media de la señal recibida varía con la distancia elevada a un exponente, denominado exponente de pérdidas, que varía entre 3 y 5 dependiendo de los entornos.

La variación lenta de la señal se puede modelar con una distribución log-normal. La desviación típica puede ser de 10dB en áreas urbanas y suburbanas siendo menor en zonas rurales y montañosas. La variación rápida del desvanecimiento (“fading”) es de tipo Rayleigh. Las dispersiones del retardo son del orden de 0.8 μ s y el valor máximo del retardo puede ser de decenas de microsegundos.

El despliegue sugerido para este entorno es a base de macrocélulas con emplazamientos de tres sectores [2]. Cada sector proporciona una cobertura hexagonal como se indica en la Figura 4.5.

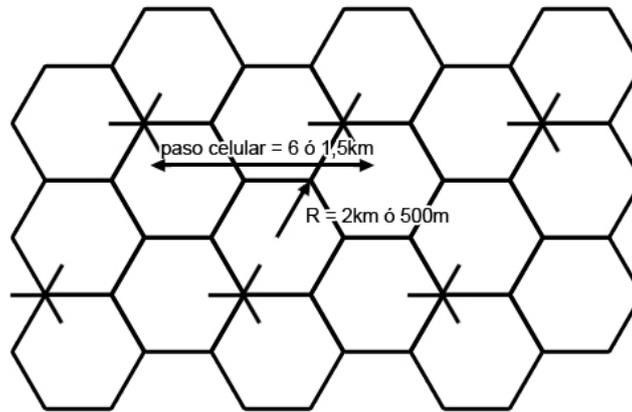


Figura 4.5 Despliegue sugerido para el entorno vehicular.

La altura de la antena de la estación base está a 15m por encima de la altura de los edificios.

La pérdida básica de propagación se calcula con el método 1 de Xia, descrito en [2].

El modelo de movilidad para el entorno de prueba vehicular es de tipo pseudoaleatorio con trayectorias semirectas. Los móviles se distribuyen uniformemente en el mapa y sus direcciones se eligen de forma aleatoria en la inicialización. La posición del móvil se actualiza de acuerdo con la longitud de correlación y la dirección puede cambiar en cada actualización de la posición según una cierta probabilidad. La dirección puede cambiar dentro de un sector para simular trayectorias semirectas.

La velocidad del móvil es constante y el modelo de movilidad se define mediante los parámetros de la Tabla 4.6.

Velocidad	120 Km/h
Probabilidad de cambiar de dirección en la actualización	0.2
Ángulo máximo de cambio de dirección	45°
Longitud de correlación	20 metros

Tabla 4.6 Parámetros del modelo de movilidad para el entorno vehicular.

4.3.2. Modelo de control de potencia.

El control de potencia se realiza para mantener una cierta calidad en los enlaces ascendente y descendente. Los requisitos de calidad se traducen en valores de E_b/N_0 , generalmente distintos en los dos enlaces. El valor de E_b/N_0 se calcula a partir de la relación entre la potencia de señal deseada y la potencia de las interferencias y del ruido térmico del receptor. A partir del parámetro de calidad visto en las ecuaciones (3.1) y (3.2), se modifica para tener en cuenta explícitamente los valores de la densidad de potencia de interferencia, intracélula e intercélula. Para ambos enlaces, la expresión a utilizar para el cálculo de E_b/N_0 es [2]:

$$\left(\frac{e_b}{n_0} \right)_{DL,UL} = \frac{\frac{p_r}{R}}{\frac{n}{W} + (\gamma_{DL}, \rho_{UL})(K^* - 1)\frac{p_r}{W} + \sum_{ext} \frac{p_{r,ext}}{W}} = \frac{W}{R} \frac{p_r}{n + I_{int} + I_{ext}} \quad (4.2)$$

Los términos de la ecuación (4.2) tienen distinto sentido, dependiendo del enlace bajo estudio.

En el enlace descendente, $e_b/(n_0+i_0)$ se calcula en el móvil. p_r es la potencia recibida en el móvil de la estación base a la que está conectado, $p_{r,ext}$ es la potencia recibida del resto de estaciones base y K^* es el número de usuarios conectados a esa estación base. En este enlace, la interferencia intracélula se debe a la falta de ortogonalidad entre códigos. Para poder tenerla en cuenta, se multiplica la interferencia por el factor e ortogonalidad entre

códigos γ . En el caso óptimo es 0 (no hay interferencia intracélula) y en el caso peor valdría 1.

En el enlace ascendente, la medida se hace en la estación base. p_r representa la potencia recibida en la estación base de la estación móvil. El valor de p_r es el mismo para todas las estaciones móviles conectadas a esa base, debido al control de potencia. $P_{r,ext}$ es la potencia interferente recibida de usuarios conectados a otras células y K^* es el número de usuarios conectados a esa estación base. La interferencia intracélula viene dada por la capacidad que tiene la estación base para distinguir las señales de todos los usuarios a los que da servicio. Es decir, depende de la eficiencia de detección multiusuario o de cancelación de interferencia ρ , que, al igual que con γ , en el caso óptimo es 0 (no hay interferencia intracélula) y en el caso peor valdría 1 (la interferencia interna es máxima, en la estación base es difícil separar la señales recibidas).

Para el control de potencia, los valores por defecto para los factores de ortogonalidad y detección multiusuario son 0 y 1 respectivamente [2]; es decir, se supone que la ortogonalidad se mantiene a pesar del multitrayecto y que en la estación base es difícil realizar la detección multiusuario.

Con el control de potencia se pretende hallar el valor de potencia p_r necesaria para mantener la calidad del enlace. A partir de la ecuación (4.2), la potencia p_r se puede calcular como:

$$p_r = \frac{\left(\frac{e_b}{n_0}\right)_{DL,UL} \cdot R \cdot \left(\frac{n}{W} + \sum_{ext} \frac{P_{ext}}{W}\right)}{1 - \left(\left(\frac{e_b}{n_0}\right)_{DL,UL} \cdot \frac{R}{W} \cdot (K^* - 1) \cdot (\gamma_{DL} \cdot \rho_{UL})\right)} \quad (4.3)$$

Cuando la interferencia intracélula se hace nula, todos los términos de la ecuación son conocidos y puede obtenerse p_r de manera sencilla. Sin

embargo, en la mayoría de los casos, p_{ext} no puede despreciarse y el cálculo de la potencia transmitida no es sencillo. En este caso, para realizar un control de potencia ideal y exacto, hay dos opciones [2]:

- Tomar un valor estadístico de la interferencia intracélula, y ajustar la potencia como si las celdas fuesen independientes y estuviesen aisladas.
- Realizar un bucle de ajuste de potencias. Se hará suponiendo que todos los transmisores son capaces de modificar su potencia de forma instantánea, lo que no es cierto en la práctica. Al principio del bucle, la primera estación ajusta su potencia considerando que el resto transmiten una potencia muy baja. La segunda estación ya tiene en cuenta la potencia real transmitida por la primera estación. Del mismo modo, el resto de estaciones considera los valores de potencia anteriores como interferencia. La primera iteración acaba cuando todas las estaciones base han ajustado su potencia. Éste mismo proceso se repite hasta que la potencia transmitida se mantiene estable en sucesivas iteraciones del bucle. El número de iteraciones depende de los requisitos de calidad requeridos y del número de usuarios en el sistema.