

SPHERE – PLATAFORMA AVANZADA DE SIMULACIÓN PARA SISTEMAS INALÁMBRICOS HETEROGÉNEOS

Miguel López Benítez, Javier Gozávez, M^a Carmen Lucas Estañ

miguel.lopez02@alu.umh.es, j.gozalvez@umh.es, maria.lucas@alu.umh.es

Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universidad Miguel Hernández, Avda. de la Universidad s/n, 03202 Elche.

Abstract- Beyond 3G mobile communication systems are being defined as the integration of diverse radio access technologies into what is generally known as heterogeneous wireless systems. To accurately evaluate the performance of increasingly complex mobile and wireless systems, the implementation of sophisticated simulation platforms is required. In this context, this work presents SPHERE, a Simulation Platform for Heterogeneous wireless systems developed at the University Miguel Hernández. The system level platform is currently capable of simultaneously emulating the GPRS, EDGE and HSDPA radio access technologies at the packet level. The SPHERE platform has been implemented to evaluate the design and optimisation of advanced Common Radio Resource Management (CRRM) techniques necessary to efficiently manage the available radio resources and guarantee the interoperability of the radio access technologies.

I. INTRODUCCIÓN

Mientras los operadores de telefonía móvil dirigen actualmente sus esfuerzos hacia el desarrollo y explotación de los sistemas de tercera generación (3G), las investigaciones en comunicaciones móviles están siendo dirigidas hacia la definición de los sistemas posteriores a la 3G (*Beyond 3G*, B3G) o sistemas de cuarta generación (4G) [1]. Si bien existen grupos o empresas, como la operadora nipona NTT DoCoMo, que están considerando el desarrollo de una nueva interfaz radio para los sistemas 4G, la mayoría de la comunidad investigadora parece coincidir en señalar que la futura generación de comunicaciones móviles inalámbricas no consistirá en una única nueva tecnología radio de acceso celular con prestaciones mejoradas, sino en la integración y gestión conjunta de los actuales sistemas celulares 2G/3G/3.5G con otras tecnologías radio complementarias ya existentes, como por ejemplo, WLAN (*Wireless Local Area Network*), DVB (*Digital Video Broadcasting*) y DAB (*Digital Audio Broadcasting*), o incluso posibles futuras tecnologías de acceso radio. La integración de todas estas tecnologías de acceso radio da lugar a las denominadas redes radio heterogéneas (Fig. 1). En este contexto, uno de los principales desafíos a los que se enfrentan los futuros sistemas heterogéneos de comunicaciones móviles es la habilidad de garantizar la interoperabilidad y gestión eficiente de los distintos sistemas radio con el fin de proporcionar a los usuarios adecuados niveles de calidad de servicio. Para ello, uno de los elementos clave que debe considerar el operador de red es la gestión coordinada de los recursos radio (*Common Radio Resource Management*, CRRM) de las distintas tecnologías como si de un único sistema se tratase, con el fin de lograr un aprovechamiento óptimo de los escasos recursos radioeléctricos y, en definitiva, un uso más eficiente del sistema en su conjunto. La investigación de técnicas CRRM en redes heterogéneas es un área considerada en este

momento como uno de los aspectos clave en el desarrollo hacia la 4G y figura entre las prioridades en el área de comunicaciones del VI Programa Marco de la Unión Europea.

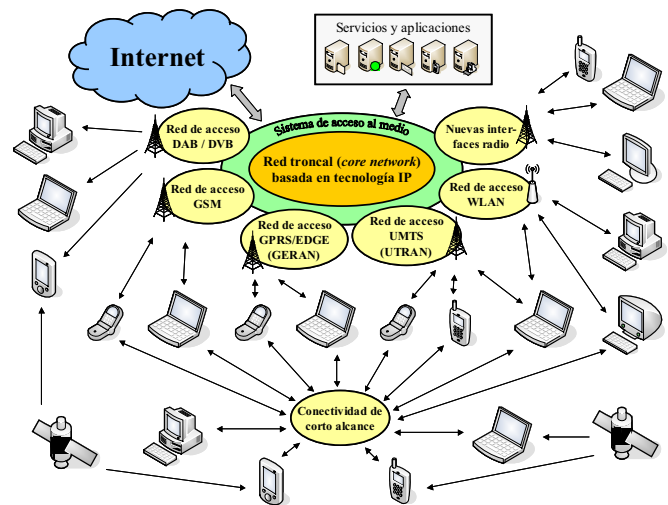


Fig. 1. Concepto de red radio heterogénea.

La correcta evaluación del rendimiento de técnicas CRRM requiere herramientas de simulación, cada vez más complejas y sofisticadas, que modelen de forma precisa y detallada la transmisión radio a través de las diversas tecnologías de acceso que constituyen la red heterogénea. Este artículo describe SPHERE (*Simulation Platform for Heterogeneous wireless systems*), una sofisticada plataforma de simulación para redes radio heterogéneas desarrollada en el Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Universidad Miguel Hernández. En su estado actual, SPHERE integra tres avanzados simuladores de sistema que modelan las transmisiones a nivel de paquete radio, consiguiendo así emular de forma precisa la calidad de servicio final que percibirán los usuarios de redes radio heterogéneas. En particular, SPHERE modela la transmisión de las tecnologías de acceso radio GPRS (*General Packet Radio Service*), EDGE (*Enhanced Data-rates for GSM/Global Evolution*) y HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), evolución del actual estándar UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) y generalmente calificada como tecnología 3.5G. Estos tres simuladores implementan fielmente las especificaciones de la interfaz radio de sus respectivas normas y trabajan con un elevado nivel de resolución temporal (algunos milisegundos), permitiendo una evaluación dinámica y precisa tanto del rendimiento de técnicas CRRM como de la calidad final que percibirán los usuarios en redes heterogéneas de comunicaciones móviles.

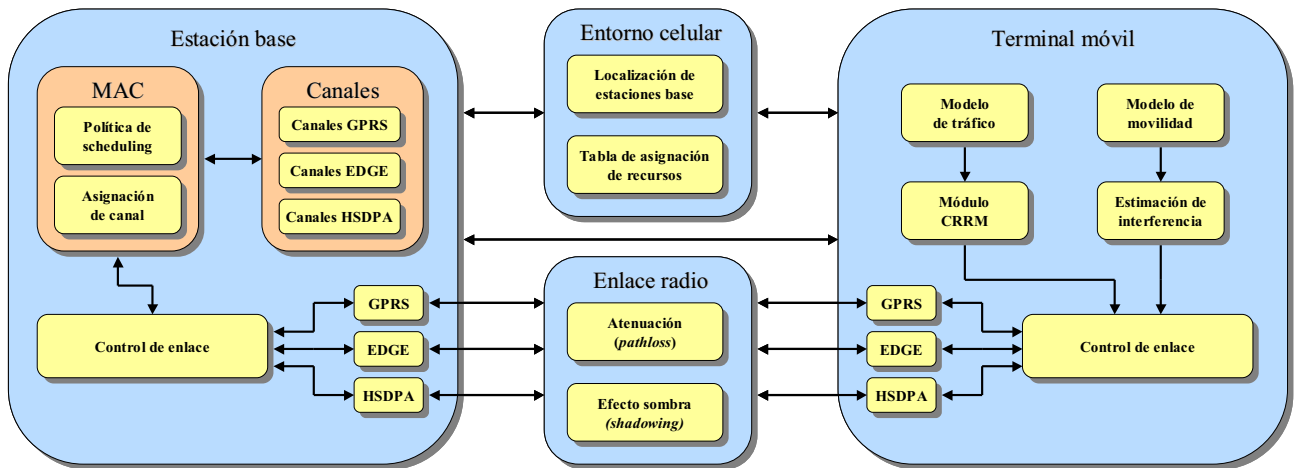


Fig. 2. Estructura lógica de la plataforma de simulación SPHERE.

La Fig. 2 muestra la estructura lógica de la plataforma de simulación SPHERE, que será descrita de forma detallada en los siguientes apartados.

II. ENTORNO CELULAR

La plataforma SPHERE es un simulador de eventos discretos a nivel de sistema basado en un entorno celular formado por 27 celdas omnidireccionales con un radio de 500 m y distribuidas según una estructura de clúster formada por 3 celdas (la plataforma puede ser rápidamente adaptada a nuevos escenarios de planificación). Se aplica la técnica *wrapp-around* para evitar efectos de borde (Fig. 3). Actualmente, en cada una de las celdas existe cobertura de todas las tecnologías de acceso radio disponibles si bien se está considerando la inclusión del caso en que ciertas zonas no dispongan de cobertura radioeléctrica de todas las tecnologías de acceso radio, como probablemente sea el caso cuando se considere la interacción entre redes celulares y redes WLAN.

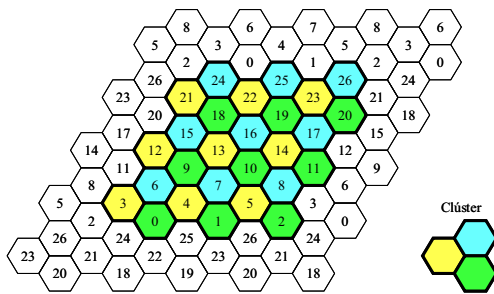


Fig. 3. Estructura celular de la plataforma de simulación.

La entidad *Entorno celular* almacena la posición de cada una de estas estaciones base y mantiene una lista actualizada de los recursos asignados en cada una de ellas. Estos datos se utilizan para estimar interferencias, lo cual requiere conocer qué canales están activos en cada estación base interferente y la distancia entre cada una de ellas y el receptor interferido.

III. ENLACE RADIO

Esta entidad modela los fenómenos de propagación radio entre los extremos transmisor y receptor, caracterizando las variaciones producidas sobre la señal en una escala de tiempo

relativamente amplia, es decir, la atenuación o *pathloss* y el denominado efecto sombra o *shadowing*.

Para el cálculo de atenuación se emplea el modelo de propagación Okumura-Hata en su extensión COST 231, aplicable al intervalo de frecuencias desde los 1.5 GHz hasta los 2 GHz. Para GPRS/EDGE se ha considerado una frecuencia portadora de 1.8 GHz y para HSDPA 2 GHz. El concepto de atenuación representa un valor medio para las pérdidas experimentadas sobre una determinada distancia. Sin embargo, para una misma distancia entre transmisor y receptor puede obtenerse diversos valores instantáneos de pérdida. Este fenómeno se incluye mediante el denominado efecto sombra o *shadowing*, el cual representa pérdidas adicionales por la presencia de obstáculos entre transmisor y receptor. Las pérdidas introducidas por el efecto sombra son modeladas mediante un proceso aleatorio con una distribución normal de valor medio 0 dB y una desviación estándar entre 4 y 12 dB dependiendo del entorno de propagación (se ha considerado un valor de 6 dB). El efecto sombra es un proceso espacialmente correlado, fenómeno que ha sido modelado según se describe en [2], empleando una distancia de decorrelación de 20 m.

IV. ESTACIÓN BASE

En la plataforma de simulación se modela el enlace descendente, motivo por el cual esta entidad es responsable del control de acceso al medio (*Medium Access Control*, MAC), concretamente de la política de *scheduling* aplicada y del mecanismo de asignación de canal. Cuando se produce una solicitud de canal de transmisión para una tecnología de acceso radio dada se examinan los canales disponibles. Si los hay, se selecciona uno de ellos y se produce la asignación. El canal seleccionado dependerá de la estrategia utilizada, que podrá consistir en una selección aleatoria o en base a, por ejemplo, los niveles de interferencia estimados. Si no hay canal disponible, el terminal móvil pasa a una cola de espera. Para los usuarios en las colas de GPRS/EDGE se aplica una política de *scheduling* de tipo FCFS (*First-Come First-Served*), atendiendo las solicitudes en el orden en que se producen, mientras que para los usuarios de la cola de HSDPA se puede aplicar una política *Round Robin* o una política *Max C/I* (selecciona el usuario con mejor calidad radio).

V. TERMINAL MÓVIL

A. Modelo de movilidad

La posición inicial de cada terminal móvil dentro de una celda se establece de forma aleatoria de acuerdo a una distribución uniforme, y en la actualidad, el desplazamiento dentro de dicha celda se realiza a velocidad constante. Para integrar la movilidad (carácter continuo) con la simulación por eventos (carácter discreto), el movimiento de un móvil se modela como una sucesión de posiciones aleatorias en instantes discretos de tiempo. La separación entre dos posiciones consecutivas es constante y las ubicaciones intermedias se obtienen por interpolación lineal. La dirección del movimiento en cada posición se establece añadiendo cierto ángulo aleatorio a la dirección previa, obtenido a partir de una distribución normal con media igual a cero y con una varianza que depende de la velocidad del terminal móvil. Este modelo de movilidad da lugar a una densidad de usuarios uniforme en la celda y ha demostrado ser bastante realista al ser contrastado con datos de un sistema real.

B. Estimación de interferencia

Cada móvil estima la interferencia recibida para obtener la calidad del canal en términos de CIR (*Carrier-to-Interference Ratio*). El nivel de portadora se obtiene a partir de la posición del móvil, la potencia de su estación base y su posición. En GPRS y EDGE (sistemas FDMA/TDMA) la potencia de interferencia se obtiene de manera similar pero considerando la potencia de las estaciones base cocanales interferentes, sus posiciones y sus canales activos. Por tanto, en GPRS y EDGE

$$CIR_{GPRS/EDGE} = \frac{P_i}{L_P^{ii} \cdot L_S^{ii}} \bigg/ \left(\sum_{j \in \Omega} \frac{P_j}{L_P^{ij} \cdot L_S^{ij}} + N_0 \cdot W \right) \quad (1)$$

donde P_i es la potencia de transmisión de la señal deseada en la celda de referencia (celda i), L_P^{ii} y L_S^{ii} son respectivamente las pérdidas por *pathloss* y *shadowing* del enlace entre transmisor y receptor en la celda de referencia, Ω es el conjunto de canales activos en las celdas cocanales interferentes, P_j es la potencia de transmisión en las celdas interferentes, L_P^{ij} y L_S^{ij} son las pérdidas por *pathloss* y *shadowing* entre los transmisores interferentes en las celdas j y el receptor interferido en la celda i , y $N_0 \cdot W$ representa el ruido térmico, siendo N_0 la densidad espectral de ruido y W el ancho de banda del canal.

En sistemas CDMA como HSDPA, los códigos de canalización de los usuarios de una misma celda son perfectamente ortogonales, pero debido al efecto multicamino esta ortogonalidad se reduce, ocasionando cierta componente adicional de interferencia *intracelda*, la cual se modela mediante un factor de ortogonalidad α [3]. En ausencia de efecto multicamino, α es igual a 1. Si se dan dos componentes multicamino de igual potencia, $\alpha = 0.5$. En el peor de los casos $\alpha = 0$ (se destruye por completo la ortogonalidad). Típicamente α toma valores dentro del intervalo [0.4, 0.9]. Así pues, para HSDPA

$$CIR_{HSDPA} = \frac{P_i}{L_P^{ii} \cdot L_S^{ii}} \bigg/ \left(\sum_{i \in \Omega'} \frac{P_i \cdot (1 - \alpha)}{L_P^{ii} \cdot L_S^{ii}} + \sum_{j \in \Omega} \frac{P_j}{L_P^{ij} \cdot L_S^{ij}} + N_0 \cdot W \right) \quad (2)$$

donde el índice i' hace referencia a los usuarios en la celda de referencia i distintos al usuario de interés. En $P_{i'}$ y P_j también se incluye la potencia de estación base destinada a otros canales distintos del canal HS-DSCH (*High Speed Downlink Shared CHannel*) de HSDPA, para la cual se ha considerado un 20% de la potencia total de transmisión de cada estación base.

C. Modelo de tráfico

En la plataforma desarrollada se han implementado modelos de tráfico web, correo electrónico y vídeo H.263 en tiempo real a diferentes velocidades desde 16 hasta 512 kbps.

Para tráfico web se ha implementado el modelo ON/OFF descrito en [4]. Este modelo se basa en el protocolo HTTP/1.0, en el que se establece una conexión TCP para cada objeto de la página web. El funcionamiento y los parámetros definidos por el modelo de tráfico web se ilustran en la Fig. 4.

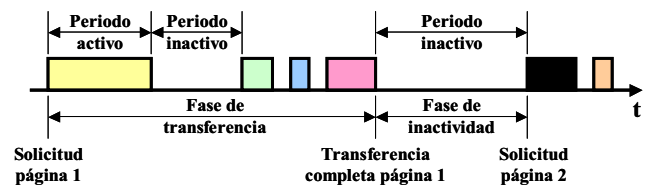


Fig. 4. Modelo de tráfico web.

Para correo electrónico se ha implementado el modelo que se describe en [5], también basado en un principio de funcionamiento ON/OFF. En la Fig. 5 se ilustra el funcionamiento y los parámetros definidos por dicho modelo.

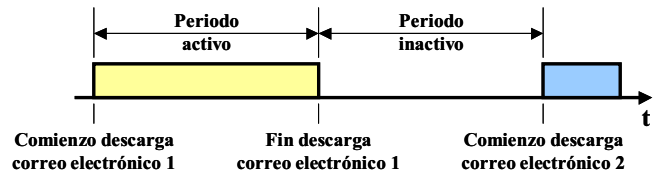


Fig. 5. Modelo de correo electrónico.

El modelo implementado para tráfico H.263 [6] captura de forma precisa las propiedades de cada uno de los tipos de trama de vídeo: I, P y PB. Los parámetros definidos por el modelo son el tamaño de las tramas de vídeo, su duración, la correlación existente entre ambos y la probabilidad de transición entre los tipos de trama. El modelado se implementa en dos niveles. El primer nivel de modelado determina el tipo de trama a generar. Las tramas I se generan a intervalos de tiempo regulares mientras que la generación de tramas P y PB se determina a partir de una cadena de Markov. Una vez establecido el tipo de trama a generar, el segundo nivel de modelado determina su tamaño y su duración. La parametrización del modelo se realiza a partir de una secuencia de vídeo real.

D. Módulo CRRM

Esta entidad es responsable de diversas funciones CRRM actualmente en desarrollo por el equipo investigador de la UMH. En particular, se están estudiando y diseñando técnicas que permitan decidir en cada momento, y en base a criterios preestablecidos (carga de las redes, calidad de servicio, etc), la tecnología de acceso radio óptima por la cual deben transmitirse los datos. La plataforma ofrece flexibilidad en este aspecto, ya que un usuario puede cambiar de tecnología de acceso en cada nuevo bloque de datos transmitido, cada cierto intervalo de tiempo o en cada inicio o fin de sesión.

Si bien el módulo CRRM aparece integrado en la entidad *Estación móvil* (por razones de optimización del código), su implementación en SPHERE puede realizarse tanto en la estación móvil como en la estación base con lo que se pueden estudiar técnicas CRRM basadas tanto en parámetros de los operadores como en parámetros de los usuarios del sistema.

VI. CONTROL DE ENLACE

Este componente, común a las entidades *Estación base* y *Terminal móvil*, implementa todos los aspectos específicos de cada tecnología radio y reproduce de manera fiel el proceso de transmisión de datos a través de la interfaz radio de cada una de ellas. En primer lugar, en *Control de enlace* se implementan las características del acceso múltiple FDMA/TDMA de GPRS y EDGE según ETSI GSM 05.01 y ETSI GSM 05.02, así como las características del acceso múltiple CDMA de HSDPA en su componente FDD según 3GPP TR 25.858.

También se han incluido las características de los diferentes modos de transmisión disponibles en cada tecnología radio y se ha modelado su funcionamiento adaptativo mediante la técnica conocida como LA (*Link Adaptation*) o AMC (*Adaptive Modulation and Coding*). En GPRS y EDGE existen, respectivamente, cuatro y nueve modos de transmisión (3GPP TS 03.64) que permiten velocidades de transmisión de hasta 21.4 kbps (GPRS) y 59.2 kbps (EDGE) por canal y ofrecen diferente grado de compromiso entre velocidad de transmisión de datos y protección ante errores. Además, la plataforma SPHERE también implementa transmisiones multislot, para lo cual el equipo investigador está actualmente estudiando distintas políticas de reparto que decidan la distribución de los diferentes canales radio entre los posibles usuarios multislot. En HSDPA, se dispone de cinco modos de transmisión que permiten velocidades entre los 120 kbps y los 720 kbps por canal. Para tráfico web y correo electrónico, el algoritmo LA implementado selecciona en todo momento aquel modo de transmisión que ofrece el *throughput* más elevado en función de la calidad del canal radio. Para H.263 se aplica el algoritmo LA descrito en [7], que mejora al anterior en algunos aspectos clave para servicios en tiempo real. Con el fin de estimar adecuadamente la calidad de servicio final que percibirán los usuarios en una red radio heterogénea, la plataforma SPHERE modela la transmisión de datos con un elevado nivel de resolución temporal e incluye los efectos de la transmisión radio a través de las denominadas *Look-Up Tables* (LUTs), gráficas que relacionan el nivel de CIR estimado con la calidad que percibirán los usuarios, estimada por ejemplo mediante la tasa de bloques recibidos con error (se necesita una gráfica por cada modo de transmisión implementado). En el caso de GPRS y EDGE, la información se transmite a través de la interfaz radio en forma de bloques radio (*radio blocks*) con una duración de 20 ms. Cada bloque radio se divide en cuatro ráfagas normales (*normal bursts*) cada una de las cuales se acomoda en un *time-slot* a lo largo de cuatro tramas TDMA consecutivas. En el caso de HSDPA, la información se transmite por la interfaz radio en forma de bloques de transporte (*transport blocks*) con una duración de 2 ms. Dicho intervalo de tiempo se divide en tres *slots* de 667 μ s. Para cada una de las cuatro ráfagas (GPRS/EDGE) o para cada uno de los tres *slots* (HSDPA) que integran un bloque, se calcula

el valor de CIR experimentado. Los valores asociados a un mismo bloque se promedian, obteniendo así un valor de CIR representativo de la calidad experimentada por dicho bloque. A partir de dicho valor, del grado de robustez del modo de transmisión empleado y de las correspondientes LUTs se determina si el bloque ha sido recibido correctamente o no, con lo que la plataforma SPHERE permite modelar con precisión la calidad de servicio que percibe el usuario.

En GPRS/EDGE, cada bloque erróneo es descartado y retransmitido mediante un protocolo ARQ de ventana deslizante (3GPP TS 04.60). En HSDPA, los bloques erróneos no son descartados, sino que son combinados con sus sucesivas retransmisiones utilizando los métodos *Chase combining* e *Incremental redundancy* (3GPP TR 25.835). Ambos han sido modelados en SPHERE según la metodología descrita en [8]. Para la retransmisión de bloques erróneos en HSDPA se emplea un protocolo ARQ de parada y espera con varios procesos que operan en paralelo (3GPP TR 25.848).

VII. CONCLUSIONES

La correcta evaluación del rendimiento de las futuras redes heterogéneas de comunicaciones móviles, y en particular de las técnicas CRRM que gobernarán su funcionamiento, requiere de herramientas de simulación que modelen de forma precisa y detallada la transmisión de datos a través de las tecnologías de acceso radio. En el presente artículo se ha presentado SPHERE, una única y avanzada plataforma de simulación de redes radio heterogéneas, desarrollada por la Universidad Miguel Hernández, y que será utilizada para evaluar técnicas CRRM actualmente en desarrollo por el equipo investigador.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia de España y fondos FEDER a través del proyecto TEC2005-08211-C02-02, y por la Generalitat Valenciana, a través del proyecto GV05/189.

REFERENCIAS

- [1] F. Sestini, J. S. da Silva, J. Fernandes, "Expanding the Wireless Universe: EU Research on the Move", IEEE Communications Magazine, Octubre 2002, pp. 132-140.
- [2] M. Gudmundson, "Correlation Model for Shadow Fading in Mobile Radio Systems", Electronics Letters, pp. 2145-2146, Noviembre 1991.
- [3] J. Laiho, A. Wacker, T. Novosad, "Radio Network Planning and Optimisation for UMTS", John Wiley & Sons.
- [4] P. Barford, M. Crovella, "Generating Representative Web Workloads for Network and Server Performance Evaluation", Joint International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems, Madison, Junio 1998, pp. 151-160.
- [5] J. Ho, Y. Zhu, S. Madhavapeddy, "Throughput and Buffer Analysis for GSM General Packet Radio Service (GPRS)", Proc. of IEEE WCNC, New Orleans, Septiembre 1999, pp. 1427-1431.
- [6] O. Lázaro, D. Girma, J. Dunlop, "H.263 Video Traffic Modelling for Low Bit Rate Wireless Communications", Proc. of IEEE PIMRC, Barcelona, Septiembre 2004, pp. 2124-2128.
- [7] J. Gozalvez, M. López-Benitez y O. Lázaro, "Link Adaptation Algorithm for Improved Wireless Transmission of Delay-Sensitive Packet Data Services", Electronic Letters, Julio 2005, pp 813-815.
- [8] F. Frederiksen, T. E. Kolding, "Performance and Modeling of WCDMA/HSDPA Transmission/H-ARQ Schemes", Proc. of IEEE VTC, Septiembre 2002, pp. 472-476.