

# Arquitectura de red para el estudio de la transmisión de paquetes IP en entornos móviles<sup>1</sup>

Anna Umbert, Pilar Díaz  
Universitat Politècnica de Catalunya  
*annau@tsc.upc.es, pilar@tsc.upc.es*

## 1. Introducción

En los últimos años han aparecido un conjunto de flamantes servicios relacionados con Internet que han atraído una buena cantidad de clientes. En paralelo el mercado de las comunicaciones móviles también ha crecido de manera espectacular, y hoy en día, en los países desarrollados, cualquier persona puede disponer de un teléfono móvil.

Por su fuerte penetración en el mercado y sus características resulta inevitable la convergencia de estos dos sectores. Es más, la incorporación de los servicios ofrecidos en Internet en los sistemas de comunicaciones móviles promete un éxito seguro para los futuros sistemas de comunicaciones móviles.

En efecto, el estándar de comunicaciones móviles que se está definiendo en Europa, el Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), no soportará solamente voz, sino que también soportará tráfico de imágenes de alta calidad y vídeo conjuntamente, entre otros. Estos tráficos requieren servicios y calidades diferentes, y además generan tasas de transmisión de bit variables.

La mayoría de estos nuevos servicios son servicios orientados a transmisión de paquetes, por lo que es importante estudiar protocolos para estos servicios. En particular para la red Internet el protocolo que se usa para transportar paquetes es el Internet Protocol (IP), bien en su versión actual la 4 (IPv4) o bien en su versión avanzada la 6 (IPv6).

Una de las principales tareas que se están realizando actualmente en el campo de las comunicaciones móviles es el estudio de técnicas basadas en IP que sean capaces de soportar movilidad y calidad de servicio semi-garantizada.

Para realizar este estudio se requiere disponer de una red con arquitectura IP, un acceso radio y por lo menos un usuario móvil. Lógicamente antes de montar una red real, es aconsejable montar una red de prueba para poder analizar el comportamiento de los diferentes componentes, de los diferentes protocolos, y de los diferentes procedimientos.

Existen diferentes criterios para montar una red de prueba: se puede construir un simulador software que reproduzca cada una de las partes de la red, se puede construir una red real a pequeña escala, o se puede hacer una mezcla de elementos reales con partes simuladas o emuladas por medio de software.

En el artículo se presenta un sistema construido para estudiar la transmisión de paquetes IP, que contiene tanto elementos reales (p.e routers) como partes emuladas con software. En las primeras secciones se describe brevemente este sistema y las opciones que se pueden analizar con el mismo, y posteriormente se presenta un ejemplo de los resultados obtenidos.

Este trabajo forma parte del proyecto europeo WINEGLASS en el que hemos participado intensamente realizando parte del emulador en tiempo real que se menciona más adelante.

---

<sup>1</sup> Este trabajo ha sido financiado por el *Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació* de la Generalitat de Catalunya, y por el proyecto del la CICYT TIC98 – 0684.

## 2. Arquitectura del sistema UMTS

La arquitectura general del sistema UMTS incluye el equipo del usuario (UE), la red terrestre de acceso radio de UMTS (UTRAN), y la red troncal (CN: Core network). Además incluye dos interfaces generales: el interfaz Iu entre la red UTRAN y la red troncal, y el interfaz Uu (o interfaz radio) entre la red UTRAN y el UE.

El SMG3 (Special Mobile Group) de ETSI acordó una división funcional de la arquitectura del sistema que introduce los conceptos de *access stratum* y de *nonaccess stratum*. Esta división implica que la UTRAN se encarga de todos los procedimientos que son específicamente de radio, mientras que la red troncal se encarga de los procedimientos específicamente de servicios, incluyendo la gestión de la movilidad (MM: Mobility Management) y el control de las llamadas (*Call control*) [1].

La CN debe incluir los MSC (Mobile Services Switching Center) de GSM, y los nodos GSN (GPRS Support Node) de GPRS [2].

La UTRAN está formada por los RNS (Radio Network Subsystem). Cada RNS está formado por un RNC (Radio Network Control), y varios nodos B. Cada nodo B consiste de un SC (Site Controller) y varias estaciones base (BTS) [3].

La Figura 1 se muestra una posible arquitectura simplificada de UMTS.

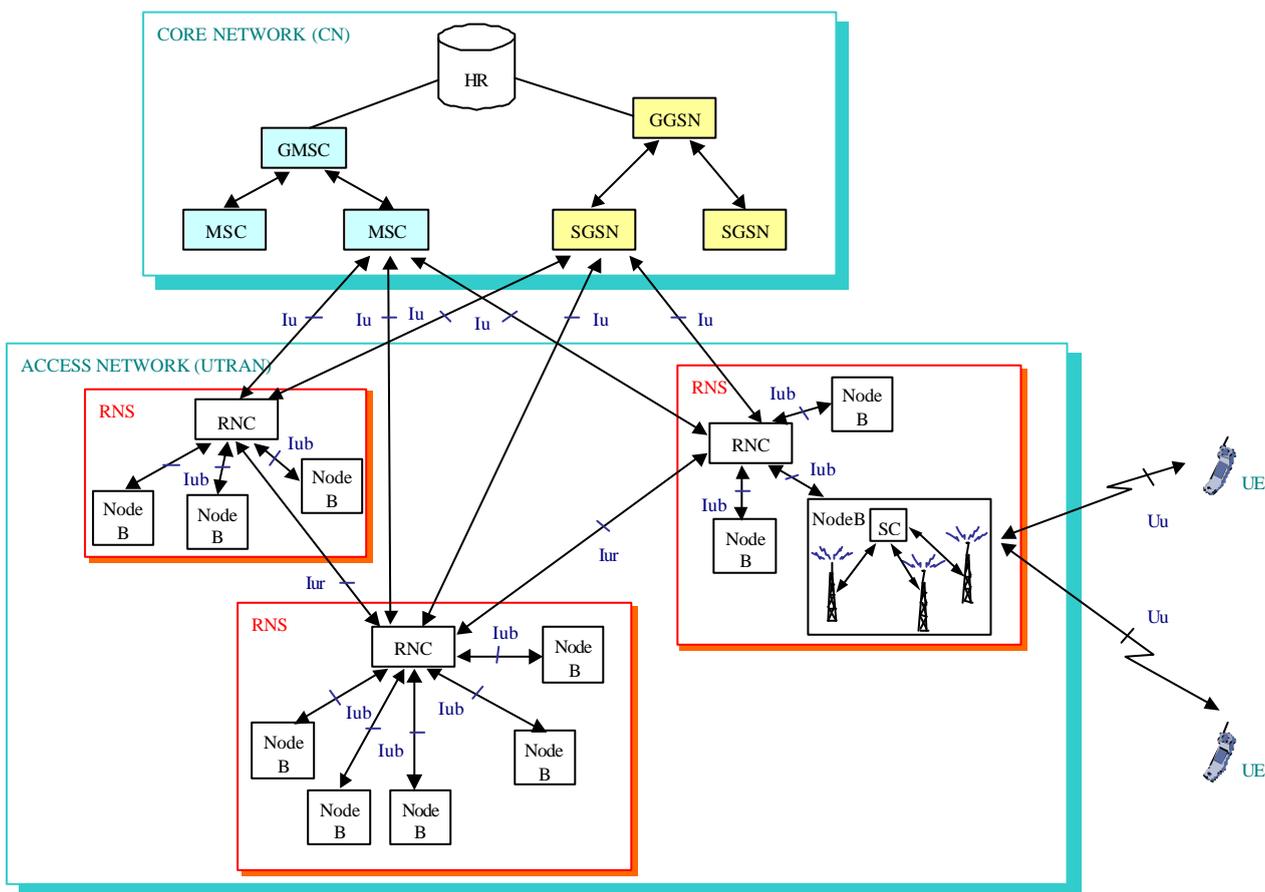
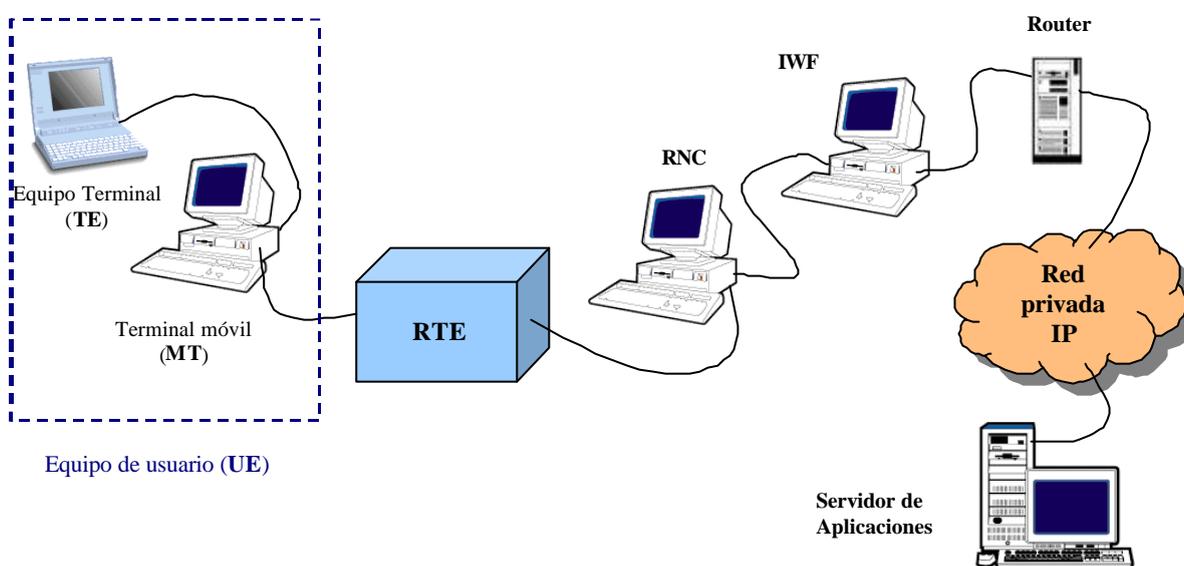


Figura 1. Arquitectura general del sistema UMTS

### 3. Descripción de la red

La red que se describe a continuación ha sido diseñada para actuar como plataforma flexible tanto desde el punto de vista hardware como software. La flexibilidad permite diferentes configuraciones de la red de manera que se puedan probar técnicas, protocolos y algoritmos de gestión de recursos en diferentes situaciones. En concreto se planteó investigar las posibilidades de una red multimedia de acceso radio basada en IP, en dos contextos el público y el de los negocios. Para ello se creó una red con un único terminal móvil, un Nodo B, un controlador radio (RNC), un router para conectarse a una red IP privada (Intranet), y un servidor de aplicaciones de Internet. Para conectar el RNC con el router hace falta un elemento intermedio: Inter Working Unit (IWU).

En la Figura 2 se puede ver que el terminal móvil, el canal radio, el Nodo B, el RNC y el IWF se han emulado con estaciones de trabajo y un emulador en tiempo real (RTE), mientras que para el equipo terminal, el servidor de aplicaciones, la red privada IP y el router se han usado dispositivos reales.



**Figura 2.** Arquitectura de la red de prueba.

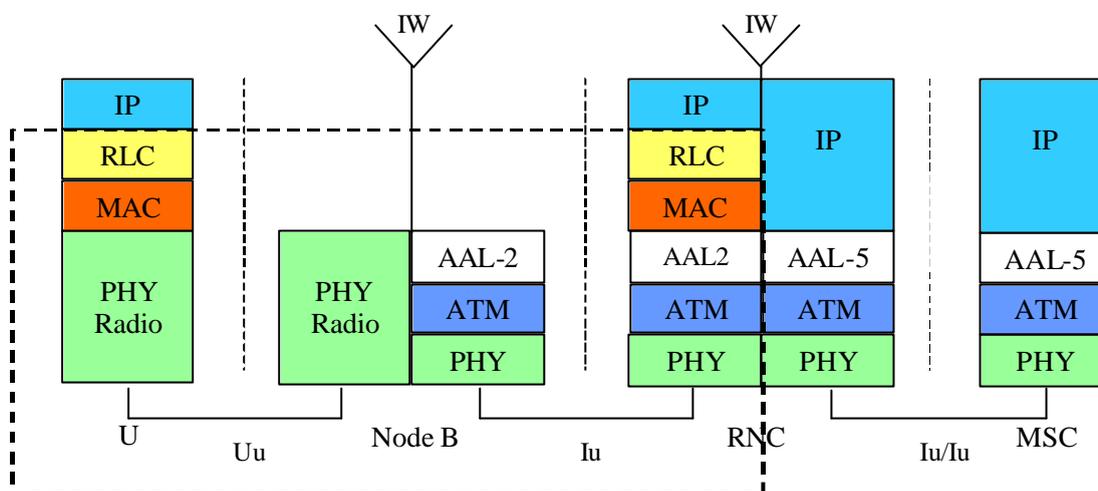
El elemento más diferenciado de esta red es el RTE (Real Time Emulator). Este emulador reproduce el comportamiento del canal radio digital, y de las capas física y de enlace (MAC y RLC) del equipo de usuario, del Nodo B y del RNC, dicho de otra forma actúa como las capas bajas del interfaz radio de UMTS.

Una característica muy importante de este emulador, tal como su nombre indica, es su funcionamiento en tiempo real. Esta característica permite realizar diferentes análisis considerando la red de prueba una parte de un sistema real de comunicaciones móviles de tercera generación. Efectivamente, el RTE permite ser configurado para trabajar con los mismos mecanismos que se usaran en las capas bajas del interfaz radio de UMTS tal como se explica en el siguiente apartado.

Las estaciones de trabajo que emulan el terminal móvil, el nodo RNC y la IWU están dotadas de un software que reproduce las funciones asignadas a cada una de estas entidades de la red, de tal forma que la información pasa por ellas como si se tratara del elemento real.

El equipo terminal es un portátil que tiene instaladas las aplicaciones que se quieren analizar y que son servidas por un servidor "clásico" de Internet al que se accede a través de un router y una red privada IP que trabajan con la versión 4 del protocolo de Internet (IPv4).

Considerando la pila de protocolos en el plano de transporte de paquetes existen dos posibles soluciones en función de hasta dónde se utiliza el protocolo IP. En el presente estudio se ha seleccionado la solución mostrada en la Figura 3, que es una evolución de la arquitectura clásica en el mundo de las telecomunicaciones, en ella el protocolo IP llega a nivel de RNC [4].



**Figura 3.** Arquitectura de protocolos de la red de Acceso Radio en el plano de usuario.

Teniendo en cuenta que el RTE reproduce la parte incluida en el rectángulo discontinuo de la figura anterior, se observa que, en principio, el RTE debe recibir paquetes IP procesarlos y entregar otra vez paquetes IP al otro extremo. La capa de control del enlace radio (RLC) debe segmentar estos paquetes para ser transmitidos por el interfaz radio y aplicar retransmisiones en caso de trabajar en modo reconocimiento.

Uno de los parámetros básicos para evaluar la calidad de una transmisión es la tasa de error de paquete o trama. La tasa de error de trama (FER Frame Error Rate) se analiza a nivel de paquetes que pasan por el RTE, de forma que si se precisa una segmentación de los paquetes IP porque por ejemplo su tamaño es grande y el canal radio por el que se transmite no es muy bueno y esto nos da una FER demasiado alta, ésta debe realizarse antes de entrar la información al RTE.

La capa de control de acceso al medio (MAC) es la que se ocupa de los mecanismos o protocolos que garantizan que un número de usuarios puedan acceder a un recurso compartido de forma ordenada y equitativa o según ciertas prioridades negociadas. Su función es muy importante en un sistema de comunicaciones móviles ya que las tareas que realiza son críticas. Para el RTE la gestión del acceso al medio se ha reproducido con unas tablas estadísticas que se han obtenido en otros estudios paralelos a este trabajo. La consulta a estas tablas para saber en cada instante los recursos asignados es muy rápida, y por tanto adecuada para trabajar en tiempo real.

Y por ultimo la capa física se encarga de adaptar la información para ser transmitida por el canal radio, eso incluye la inclusión de códigos, los entrelazados, etc... Para reproducir esta parte se ha hecho uso de un emulador basado en cadenas de Markov que reproduce la capa física y el canal radio conjuntamente [5].

En la Figura 4 se muestra el diagrama de bloques del RTE, en el se refleja la esencia del módulo. Básicamente cabe destacar que puede trabajar en modo bidireccional, enviando paquetes en el enlace ascendente y en el descendente simultáneamente. El paquete 1 enviado por la parte de red fija se transmite al usuario móvil, al igual que el paquete 2 enviado por este se transmite hacia la red. Los paquetes entregados a la salida del RTE pueden tener errores debido al canal radio por el que se han transmitido. También se debe resaltar que aunque parezca que la parte del usuario móvil y la parte de la red de acceso UMTS son idénticas, en realidad no lo son. La diferencia se encuentra en dos puntos: la capa MAC que actúa de manera diferente en el enlace ascendente y en el descendente; y la capa física que tiene parámetros diferentes para las dos direcciones (p. e. Modulación BPSK y QPSK).

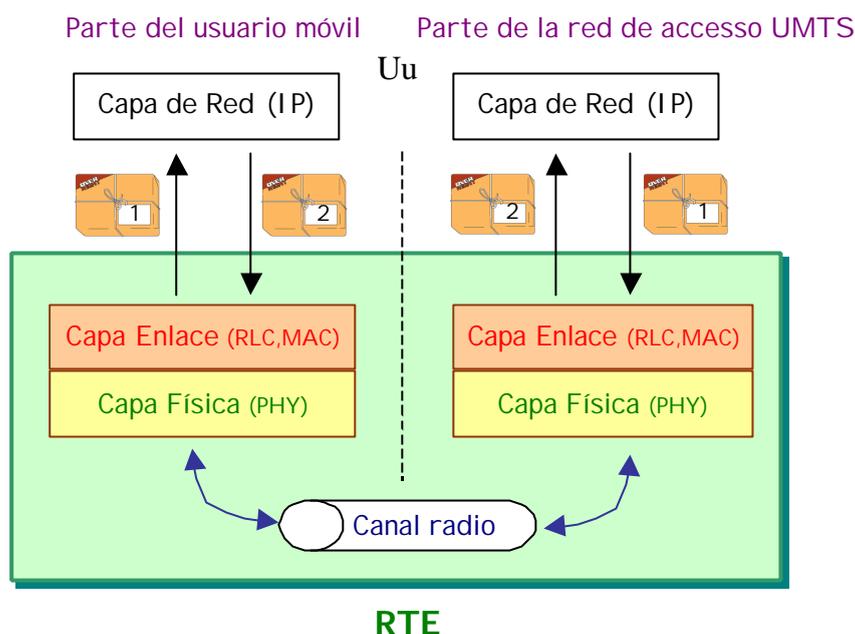


Figura 4. Esquema del RTE

#### 4. Opciones del sistema

El sistema diseñado dispone de un conjunto de parámetros que deben ser seleccionados. La combinación de estos parámetros permite analizar diferentes servicios o bien el mismo servicio en diferentes condiciones.

Se deben escoger parámetros correspondientes a diferentes niveles, así se clasifican en:

- 1).- Parámetros relacionados con los diferentes escenarios en los que se puede trabajar. Estos son, por ejemplo:
  - la velocidad del terminal móvil que puede ser 120 km/h, 50 km/h o 3 km/h;
  - la carga de tráfico del sistema: alta (hay muchos usuarios), media, baja (hay pocos usuarios)
- 2).- Parámetros relacionados con el funcionamiento interno del sistema, como puede ser el modo de funcionamiento de la subcapa RLC (Radio Link Control) del interfaz Uu. Existen tres opciones:
  - a. Modo transparente: la información se segmenta y se pasa sin añadir ninguna cabecera, de manera que en el destino no se garantiza que la información se entregue en orden.
  - b. Modo No reconocimiento: la información se segmenta se le añade una cabecera y se pasa por el canal, de forma que en el destino se garantiza que la información que se entrega está ordenada.
  - c. Modo reconocimiento: la información se segmenta se le añade una cabecera y se pasa por el canal aplicando retransmisiones en caso de pérdida o errores en el paquete, de forma que en el destino se garantiza que la información que se entrega esta ordenada y no tiene errores.
- 3).- Parámetros relacionados con el servicio que se estudia. Por ejemplo el tipo de tráfico se puede escoger entre cuatro valores: conversacional (el servicio de voz,...), streaming (el video o transferencia de información continuada), interactivo (la consulta de páginas WEB,...), y background (el servicio de email,...). Para cada uno de estos tipos de tráfico se han definido unos parámetros de calidad deseados que se consultan para asignar los recursos del sistema. Por ejemplo para el streaming en el enlace descendente se ha fijado un retardo de 60 ms, y una tasa de transmisión de 200 kbps.

## 5. Validación

Para verificar el correcto funcionamiento de la plataforma creada se han realizado un conjunto de pruebas para verificar cada una de sus partes y la comunicación entre ellas. En concreto, el emulador creado se ha sometido a un extenso proceso de validación realizado en diferentes fases.

En una primera fase se comprobó la correcta transmisión de la información. Esto se hizo considerando un canal radio ideal (sin errores) y comprobando que el emulador realizaba correctamente las funciones asignadas: segmentaba, añadía la cabecera, enviaba, volvía a construir el paquete y lo entregaba.

Una vez superada esta fase de comunicación, se integró la parte que reproduce los canales radio reales y se procedió a comprobar a partir de sus estadísticas que el RTE funcionaba correctamente. Para verificar éstas se realizaron un conjunto de pruebas con el RTE y con un simulador software en paralelo. Este simulador trabaja con los mismos mecanismos de asignación de recursos usados para generar las tablas del MAC y simula las funciones de las otras partes del sistema sin entrar en el detalle de su ejecución. Las pruebas en el simulador son mucho más rápidas de lo que sería la transmisión del mismo volumen de información en el sistema real. Esto se debe a que el simulador no segmenta ni añade errores, simplemente cuenta estadísticas.

En la Figura 5 se muestra un ejemplo de esta validación, en concreto la gráfica muestra el valor de FER obtenido con las tres cargas del sistema consideradas, para el enlace ascendente de un móvil desplazándose a 120 km/h y usando una aplicación de transferencia de información continuada. Se ha considerado que el RLC trabaja en modo transparente para un servicio de tipo *streaming*. El flujo de información aplicado en esta prueba consiste en enviar un paquete de 1500 bytes cada 60 ms.

Para cada uno de los puntos de la grafica se han enviado 50.000 paquetes en el RTE y  $10^7$  paquetes en el simulador. La duración de cada una de estas tres pruebas en el RTE es de unos 100 minutos, ya que el retardo medio de un paquete en los tres casos es del orden de 120 ms, mientras que en el simulador las pruebas duran unos pocos minutos.

Los parámetros que se han validado son: la tasa de error de paquete (FER), el retardo medio de un paquete, la distribución de los spreading factors (SF) usados, y la distribución de las  $E_b/N_0$  obtenidas. Los resultados obtenidos son muy precisos. Una muestra de esta precisión puede observarse en la validación de la FER presentada en la figura 4. En efecto, la máxima variación entre el valor simulado y el valor emulado es de 0,03 para un valor de FER del 0,36.

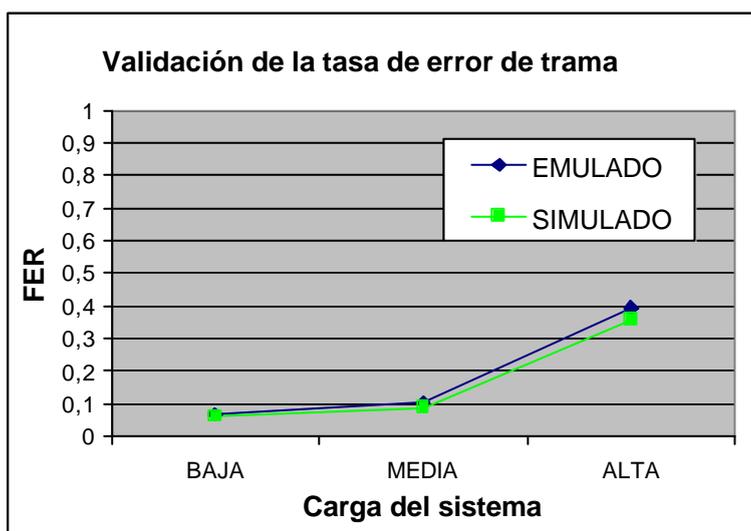


Figura 5. Validación de la tasa de error de trama.

## 6. Resultados

A continuación vamos a presentar cuatro resultados analizados con la plataforma creada bajo diferentes situaciones: la  $E_b/N_0$  media, la FER, la tasa de transmisión de información y el retardo de servicio de un paquete. Estos resultados corresponden al enlace descendente de dos usuarios desplazándose a velocidad de 120 km/h y 50 km/h respectivamente y en las tres situaciones de carga del sistema. Se considera que estos usuarios están usando una aplicación de tipo *streaming* con un flujo de un paquete de 1500 bytes cada 60 ms.

El primer resultado que se muestra (Figura 6) corresponde a la  $E_b/N_0$  media, expresada en dB. Notar que para el usuario que se desplaza a 50 km/h este valor es aproximadamente 3 dB inferior al del usuario que se desplaza a 120 km/h. Ciertamente el canal radio del usuario con velocidad 50 km/h genera menos errores ya que los desvanecimientos del canal se pueden compensar con el uso de mecanismos de control de potencia y en consecuencia se puede permitir una  $E_b/N_0$  menor.

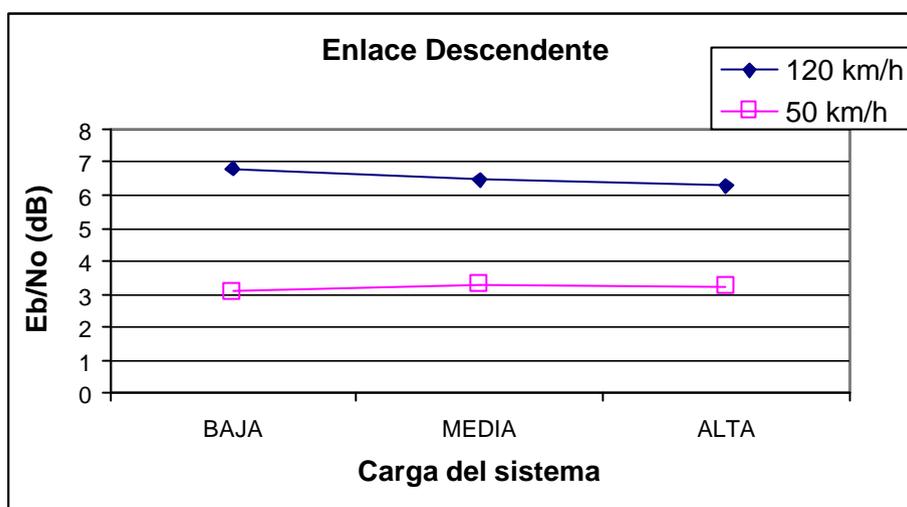


Figura 6. Comparación  $E_b/N_0$  media a 120 km/h y a 50 km/h.

El segundo resultado (Figura 7) refleja la tasa de error de paquete (FER), que puede observarse que empeora con el aumento de la carga del sistema. Sin embargo, incluso en el peor caso, la FER no supera el 20 %, que es un valor aceptable para bastantes aplicaciones.

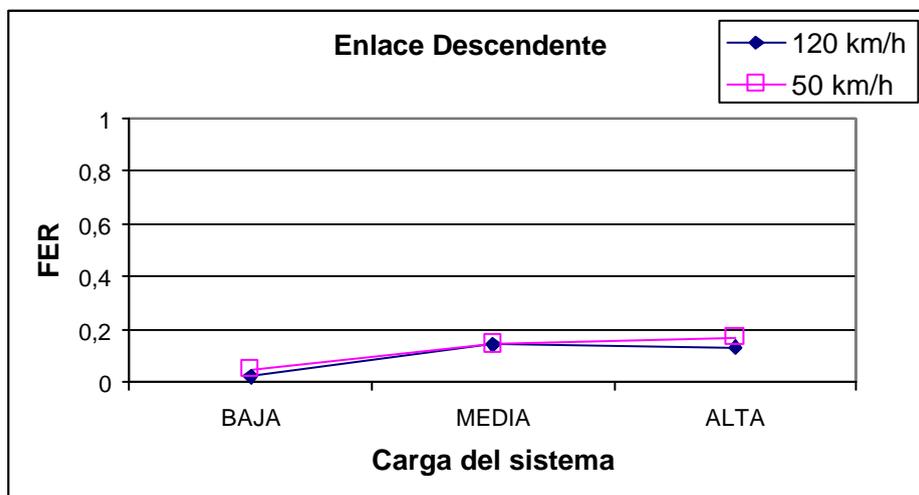


Figura 7. Comparación FER a 120 km/h y a 50 km/h.

En tercer lugar, en la Figura 8, se presenta la tasa de transmisión de información en kbps.

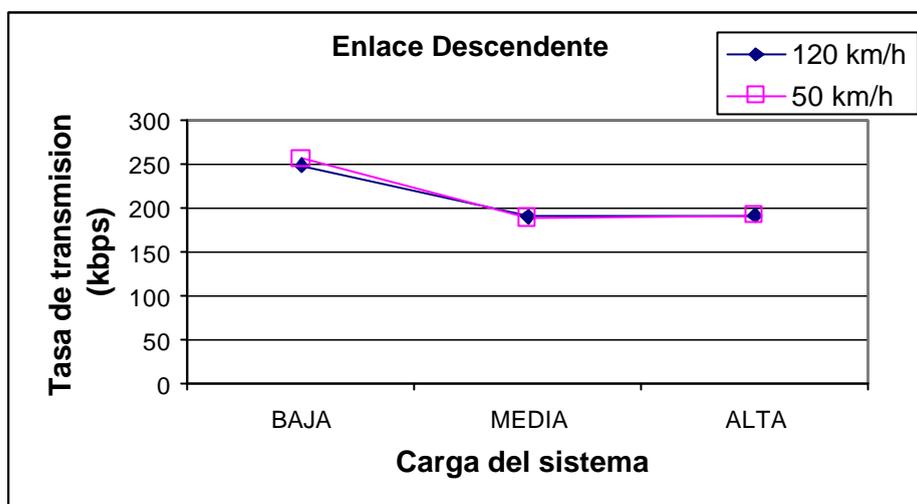


Figura 8. Comparación de la tasa de transmisión de la información a 120 km/h y a 50 km/h.

Recordando que el valor deseado es de 200 kbps y observando la gráfica puede comprobarse que en situación de carga baja el sistema dispone de suficientes recursos par ofrecer una tasa superior a la deseada, mientras que en situación de carga media y alta el sistema debe administrar los recursos más estrictamente y a penas se llega al valor deseado.

Finalmente en la Figura 9 se presenta el retardo medio.

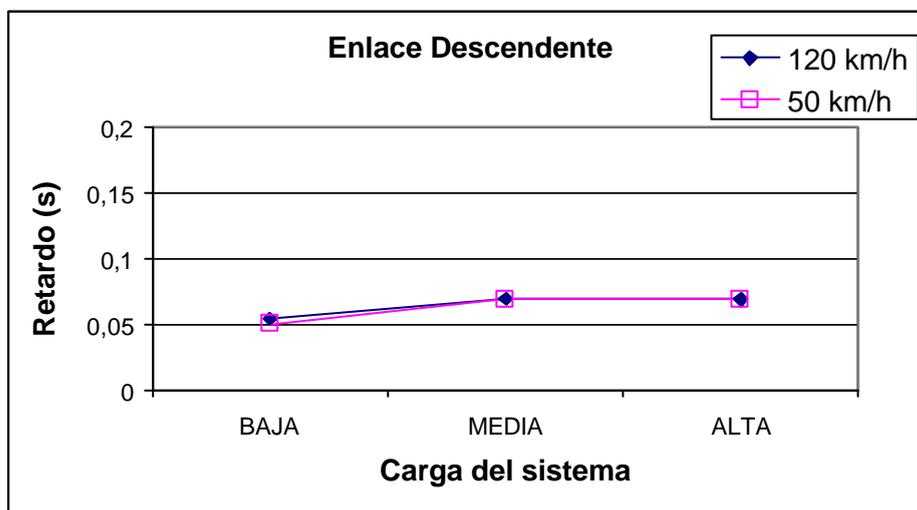


Figura 9. Comparación del retardo de los paquetes a 120 km/h y a 50 km/h.

Para este parámetro el valor deseado es de 60 ms, valor que se reduce cuando la carga del sistema es baja y este dispone de recursos suficientes, y que se supera ligeramente cuando la carga del sistema es media o alta.

En este ejemplo se han comparado dos usuarios a diferente velocidad usando un servicio igual. De la misma forma se han realizado comparaciones de diferentes servicios, y de un mismo servicio usando retransmisiones y sin ellas.

## 7. Conclusiones

El presente trabajo muestra una red de pruebas construida para analizar el comportamiento de las técnicas basadas en IP y para determinar sus posibilidades de soportar movilidad.

Este artículo describe a nivel conceptual la plataforma creada, también presenta las opciones relacionadas con el interfaz radio de las que se puede hacer uso para configurar diferentes situaciones de la red de manera que se puedan probar técnicas, protocolos y algoritmos de gestión de recursos en distintos casos.

El proceso de validación se ha centrado, en una primera fase, en comprobar la comunicación de la red, y en una segunda fase, se han analizado las estadísticas generadas. Tras un extenso proceso y la obtención de unos resultados muy preciso, se ha dado por superada la validación. En este documento se presenta un ejemplo de este proceso.

Y finalmente se muestran algunos resultados analizados a través de un ejemplo de dos usuarios que están usando una aplicación de tipo *streaming* con un flujo de un paquete de 1500 bytes cada 60 ms, y que se desplazan a velocidad de 120 km/h y 50 km/h respectivamente. Estos resultados corresponden al enlace descendente y en las tres situaciones de carga del sistema. Se comprueba que para un usuario con menor velocidad el canal radio se comporta mejor, y también se comprueba que los resultados de retardo y tasa de transmisión de la información están cerca de los valores de calidad fijados como objetivo.

En resumen, se ha construido una plataforma que permite analizar en tiempo real los servicios de paquetes de datos en el sistema UMTS. Este análisis es muy importante para integrar los servicios ofrecidos en Internet, en los futuros sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación.

## 8. Referencias

- [1] Erik Dahlman, Per Beming, Jens Knutsson, Frederik Ovesjö, Magnus Persson, Christiaan Roobol, "WCDMA-The Radio Interface for Future Mobile Multimedia Communications", IEEE Transactions on vehicular technology, vol. 47, No. 4, November 1998, pp 1105-1118.
- [2] Götz Brasch and Bernhard Walke, "Concepts, Services, and Protocols of the New GSM Phase 2+ General Packet Radio Service", IEEE Communications Magazine, August 1997, pp 94-104.
- [3] 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP), "UTRAN Overall Description", 3G Technical Specification 25.401 v1.1.1, July 1999.
- [4] L.Aerts, R. Agustí, F. Casadevall, Pilar Díaz et al., "Study on the provision of Internet services and handover control protocols for target UMTS", AC015/LUCENT/CIT/DS/I/012/b1, November 1998.
- [5] Anna Umbert, Pilar Díaz, "A Radio Channel Emulator for WCDMA, Based on the Hidden Markov Model (HMM)", Proceedings of VTC'2000 Fall, Boston, USA, 24th-28th September 2000, pp 2173-2179.