

Dimensionado Eficiente de la Red de Acceso UMTS en Presencia de Múltiples Clases de Tráfico

A. B. García, M. Alvarez-Campana, E. Vázquez, J. Berrocal, J. Vinyes
Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos. Universidad Politécnica de Madrid
ETSI Telecomunicación. Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid
E-mail: abgarcia@dit.upm.es

***Abstract.** This article focuses on the dimensioning of the UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) access network infrastructure. The current UMTS specifications define a protocol architecture for the access network terrestrial interfaces based on ATM (Asynchronous Transfer Mode). In this context, the main objective of our work is to determine the optimum transmission capacities necessary to satisfy the QoS (Quality of Service) requirements of each UMTS traffic class, specifically at the interface between each base station and its controller. By using a suitable simulation model, we obtain dimensioning rules for some significant UMTS applications. Also, some basic ATM traffic multiplexing strategies are examined in order to investigate their possible benefits regarding QoS parameters improvement or transmission capacity savings.*

1 Introducción

Dentro de los sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación (3G), el sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) es uno de los más destacados. Planteado como evolución de los sistemas GSM (Global System for Mobile Communications) y GPRS (General Packet Radio Service), su especificación corre a cargo del foro 3GPP (3rd Generation Partnership Project).

Uno de los principales objetivos de UMTS es facilitar el acceso a una mayor gama de servicios que sus predecesores, incluyendo el soporte de aplicaciones multimedia y, en general, de aquéllas para las que la capacidad de las actuales redes GSM/GPRS resulta insuficiente. Para la consecución de este objetivo, resulta imprescindible la adopción de tecnologías adecuadas a la naturaleza multiservicio de UMTS, capaces de satisfacer los requisitos de QoS (Quality of Service) de cada aplicación y, al mismo tiempo, garantizar el uso eficiente de los recursos de red. Estos aspectos resultan especialmente críticos en la red de acceso, por la escasez de recursos que habitualmente caracteriza a este tramo en todo sistema de comunicaciones móviles celulares.

Las especificaciones de la red de acceso radio terrestre UMTS (UTRAN) establecen el empleo de WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) en la interfaz radio y de ATM¹ (Asynchronous Transfer Mode) en la infraestructura de transmisión fija. La combinación de estas tecnologías sienta las bases para el despliegue de una red de acceso multiservicio con garantías de QoS. Sin embargo, a la

dificultad intrínseca que plantea la planificación de este tipo de redes, en el caso de la UTRAN viene a añadirse el criterio de minimización de costes.

En la composición del coste de la UTRAN no sólo interviene el del equipamiento de red (estaciones base, controladores, etc), sino también el de la infraestructura de transmisión necesaria para su interconexión. El elevado coste que puede suponer esta infraestructura, tanto si es propia como alquilada, plantea la necesidad de disponer de una metodología que permita su dimensionado óptimo, siendo éste precisamente el objetivo del presente trabajo.

De manera más concreta, este artículo se centra en el dimensionado de la interfaz Iub, que conecta cada estación base (Nodo B) con su controlador (RNC, Radio Network Controller). La elección se debe a que es ésta la interfaz más numerosa en la red de acceso y, por tanto, la que con mayor peso incide en los costes globales de transmisión. En este contexto, se plantea una metodología para la determinación de la capacidad mínima requerida en la interfaz Iub en función de la mezcla de tráfico a soportar.

En primer lugar, se selecciona un conjunto representativo de aplicaciones correspondientes a las cuatro clases de tráfico que, a efectos de QoS, se definen en las especificaciones del 3GPP. Mediante el desarrollo de modelos de tráfico adecuados y la determinación de los requisitos de QoS a satisfacer para cada aplicación en la interfaz Iub, se aborda el proceso de dimensionado. La complejidad del problema conduce a la realización de un simulador y a la ejecución de diversos experimentos. El análisis de los resultados permite extraer una serie de conclusiones y pautas básicas de dimensionado para la interfaz Iub. Dentro del estudio, se presta especial atención al ahorro de capacidad que puede obtenerse mediante el efecto de la multiplexión estadística de tráfico.

¹ En el futuro, está prevista la utilización de IP (Internet Protocol) como alternativa a ATM.

2 Escenario de estudio

2.1 Protocolos en la interfaz Iub

Como se ha indicado, las especificaciones actuales del 3GPP establecen el empleo de ATM como tecnología de transporte en la UTRAN. En la Fig. 1 se muestra la arquitectura de protocolos de la interfaz Iub para el plano de usuario.

Las tramas radio de los canales de transporte dedicados se encapsulan sobre FP (Framing Protocol) para su transporte entre Nodo B y RNC. Se asume un canal de transporte dedicado por sesión de usuario (como previsiblemente ocurrirá en las primeras implantaciones de UMTS). Por motivos de eficiencia, cada canal dedicado se soporta sobre una conexión AAL2 (ATM Adaptation Layer 2), lo que permite multiplexar hasta 248 comunicaciones sobre un mismo canal virtual ATM.

Nótese que esta arquitectura de protocolos puede soportarse sobre interfaces físicas punto a punto o sobre una red ATM. Por ello, y con objeto de que los resultados sean aplicables a distintos escenarios de red, este estudio se centra en la determinación de las capacidades requeridas a nivel ATM.

2.2 Diferenciación de tráfico AAL2/ATM

Al establecer la correspondencia entre conexiones AAL2 y canales virtuales ATM, es necesario considerar los requisitos de QoS de la interfaz Iub. La especificación TS 23.107 [1] del 3GPP define cuatro clases de tráfico según su tolerancia al retardo: conversacional (la menos tolerante a retardo), *streaming*, interactiva y *background* (la más tolerante al retardo). El hecho de que cada clase de tráfico tenga sus propios requisitos de QoS (ver apartado 2.3), conduce a la necesidad de utilizar algún mecanismo de diferenciación de tráfico en la interfaz Iub. A pesar de su importancia, este aspecto no se aborda con suficiente detalle en las especificaciones del 3GPP, dejando libertad a fabricantes y operadores. No obstante, a la vista de la arquitectura de protocolos definida para la interfaz Iub, cabe plantearse la posibilidad de efectuar la diferenciación del tráfico a nivel AAL2 o a nivel ATM.

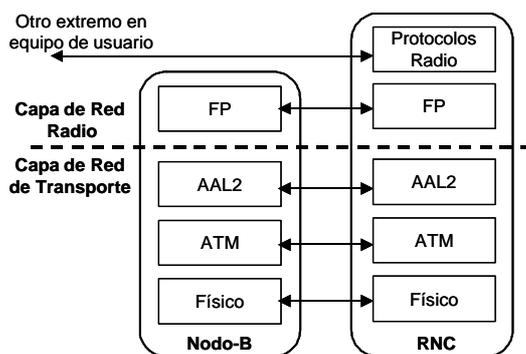


Fig. 1: Plano de usuario en la interfaz Iub

A lo largo de la literatura pueden hallarse propuestas de diferenciación tanto a nivel AAL2 [2][3], como a nivel ATM [4][5]. Al comparar ambos métodos se ha constatado [2][6] la superioridad del segundo enfoque, especialmente en presencia de altas cargas. Por este motivo, en este trabajo se ha optado por el método de diferenciación de tráfico a nivel ATM.

De manera más precisa, se ha decidido el empleo de un multiplexor AAL2 dedicado por clase tráfico. La diferenciación de tráfico se aplica a nivel de células ATM, mediante el empleo de conexiones virtuales separadas o compartidas. El primer criterio conduce a un procedimiento básico de dimensionado para la interfaz Iub que asume la segregación de capacidades ATM por clase de tráfico. El segundo enfoque permitirá investigar la posibilidad de refinar el método de dimensionado mediante la compartición estadística de una capacidad común entre flujos de tráfico de distintas clases.

2.3 Caracterización de tráfico y de QoS

Un aspecto clave de la metodología de dimensionado desarrollada es la elección de un modelo de tráfico válido para las cuatro clases definidas en UMTS y adecuado a las particularidades de la interfaz Iub. Este último aspecto se tiene en cuenta mediante la inclusión de los efectos de los protocolos radio y el protocolo FP. Siguiendo un enfoque similar al de otros estudios [7][8], se ha optado por un modelo estructurado en niveles.

Tal como se muestra en la Fig. 2, el modelo consta de dos niveles: ráfagas y paquetes. A nivel de ráfagas se distinguen dos estados, Alto y Bajo, lo que permite representar dos tasas binarias distintas. La duración de cada estado sigue una distribución exponencial. El comportamiento en cada estado a nivel de paquetes (tramas FP) se define mediante los parámetros tiempo entre paquetes y tamaño de paquete, para los que se asume una distribución constante.

El modelo asume fuentes activas (por ejemplo, una conversación telefónica o sesión de navegación web en curso), motivo por el cual no se considera un tercer nivel de sesiones por encima del nivel de ráfagas. Por otro lado, también se supone que el sentido de la comunicación que se modela es el descendente (de RNC a Nodo B), por ser el que habitualmente presenta mayor volumen de tráfico.

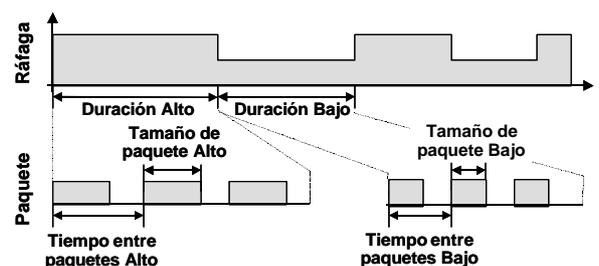


Fig. 2: Modelo de tráfico

Mediante su oportuna parametrización, el modelo es aplicable a las cuatro clases de tráfico UMTS. Así, para llevar a cabo el estudio se ha seleccionado un conjunto de aplicaciones representativo de cada clase: voz (clase conversacional), vídeo streaming (clase *streaming*), navegación web (clase interactiva) y correo electrónico (clase *background*). Los valores resultantes de la particularización del modelo para cada aplicación se muestran en la Tabla 1.

En la Tabla 1 se muestran también los requisitos de QoS a satisfacer sobre la interfaz Iub para cada aplicación. Los parámetros seleccionados son los dos que más directamente influyen en el dimensionado de la interfaz Iub: el ratio de pérdidas de trama (FLR – Frame Loss Ratio) y el máximo retardo de trama (para el 99 percentil o el 95 percentil de las tramas, según se trate de una clase de tiempo real o no).

Los valores de la Tabla 1 se han obtenido a partir de datos de diversos documentos entre los que se incluyen especificaciones del 3GPP y de otros organismos. Se remite al lector a [9][10] para más detalles.

3 Modelo de simulación

A fin de capturar con suficiente detalle las características esenciales de la interfaz Iub se ha optado por el desarrollo de un modelo de simulación. El simulador permite representar diversos escenarios de tráfico y configuraciones (físicas o lógicas) de red. Su arquitectura básica se muestra en la Fig. 3.

El modelo permite establecer uno o más canales virtuales (o trayectos virtuales) ATM de tipo CBR entre RNC y Nodo B. Un mismo trayecto virtual puede, a su vez, transportar flujos de tráfico de una o varias aplicaciones (clases de tráfico), posibilitando de este modo el análisis de diversas estrategias de diferenciación de tráfico. Si bien es cierto que el tráfico que genera cada usuario aislado puede presentar un perfil temporal a ráfagas, el tráfico agregado de un conjunto significativo de comunicaciones que comparten la misma conexión ATM tendrá un carácter menos variable, motivo por el cual se ha considerado adecuada la elección de la categoría CBR en lugar de VBR-rt.

Tabla 1: Parámetros de tráfico y QoS

	Clase / Aplicación			
	Conversacional Voz	Streaming Vídeo	Interactiva Web	Background Correo
Parámetros de tráfico				
Duración media Alto/Bajo (s)	3 / 3	5 / 5	1,65 / 60	6,25 / 120
Tamaño de paquete Alto/Bajo (bytes)	40 / 13	171 / 91	331 / 0	171 / 0
Tiempo entre paquetes (ms)	20	20	40	40
Tasa a nivel ATM Alto/Bajo (kbit/s)	19,4 / 7,2	82,5 / 45,1	80,1 / 0	41,3 / 0
Requisitos de QoS en la red de transporte de Iub				
Ratio errores tramas	9,50E-05	2,18E-04	4,00E-05	3,00E-05
Retardo de trama (ms)	10 (99-p)	10 (99-p)	15 (95-p)	15 (95-p)

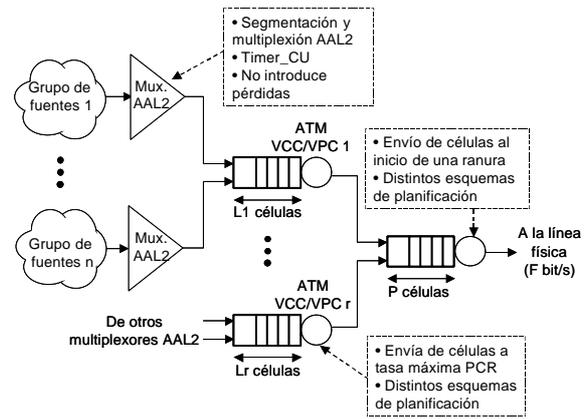


Fig. 3: Arquitectura del simulador

Más específicamente, el simulador permite definir grupos de usuarios (de fuentes de tráfico) basadas en el modelo de tráfico descrito anteriormente. A cada grupo de fuentes se le asocia un multiplexor AAL2, que modela con detalle las funciones de este protocolo [11] (segmentación, reensamblado, multiplexión y manejo del temporizador Timer_CU).

La salida de cada multiplexor AAL2 se dirige a un canal o trayecto virtual ATM, dedicado o compartido por otros multiplexores AAL2 (en cuyo caso, se pueden establecer prioridades). El flujo de células resultante se redirige a un multiplexor ATM, lo que permite modelar la multiplexión de varios canales virtuales (con posibilidad de establecer distintas prioridades entre ellos) sobre un mismo enlace físico.

El simulador permite la configuración de otros parámetros: tasa de bit de línea, tasa de pico (PCR, (Peak Cell Rate) de las conexiones ATM, tamaño de colas ATM, valor de temporizador Timer_CU de AAL2, ... En cuanto a los resultados generados por el simulador, se incluyen los parámetros de QoS más relevantes (pérdidas, retardo, jitter), así como medidas de tráfico (tasas de bit, utilización, ...). Una descripción más detallada del simulador se puede encontrar en [9][12].

4 Resultados

4.1 Dimensionado para clases aisladas

Este primer bloque de experimentos asume la existencia de un canal virtual ATM independiente para cada clase de usuarios. Bajo este supuesto, el objetivo que se plantea es la determinación de la capacidad mínima necesaria para satisfacer a un conjunto de usuarios de una misma clase de QoS. Para ello, se ha procedido a la realización de baterías de experimentos separados para cada clase de tráfico.

Así, para cada una de las cuatro aplicaciones seleccionadas se han realizado simulaciones para distintas poblaciones de usuarios (entre 25 y 150). Para cada número de usuarios, se procede a ir aumentando la capacidad del canal virtual en

incrementos iguales a la tasa de pico de una fuente (correspondiente al valor de tasa Alto en la Tabla 1).

En la Tabla 2 se resumen los parámetros de simulación utilizados en los experimentos. Cabe mencionar la moderada capacidad de las colas empleadas, así como el valor de 1 ms del temporizador Timer_CU. Ello se debe a los estrictos requisitos de retardo a satisfacer en la interfaz Iub.

En cuanto al medio físico, se considera en todos los casos el empleo de una o varias interfaces E1 (en cuyo caso se asume el empleo de multiplexado inverso ATM, IMA).

A partir de los resultados de los experimentos se han obtenido diversas familias de curvas que muestran la influencia del número de usuarios y la capacidad del canal virtual en los dos parámetros de QoS seleccionados. En la Fig. 4 se muestra un ejemplo de los resultados del ratio de pérdida de paquetes (FLR) para la aplicación de vídeo streaming. Junto a los resultados del simulador se muestran los obtenidos con una aproximación analítica basada en un modelo de fluidos [13].

En función del número máximo de usuarios a soportar, la gráfica permite determinar la capacidad mínima necesaria para satisfacer un cierto objetivo de pérdidas. La capacidad se expresa de manera normalizada, tomando como unidad la tasa de pico de un usuario.

Tabla 2: Parámetros de simulación para escenarios de clases aisladas

	Voz	Vídeo	Web	Correo
Capacidad nivel físico	E1	7xE1	10xE1	E1
Cola nivel físico (células)	10			
Cola nivel ATM (células)	nº usuarios	2 x nº usuarios	nº usuarios	nº usuarios
Timer_CU (ms)	1			

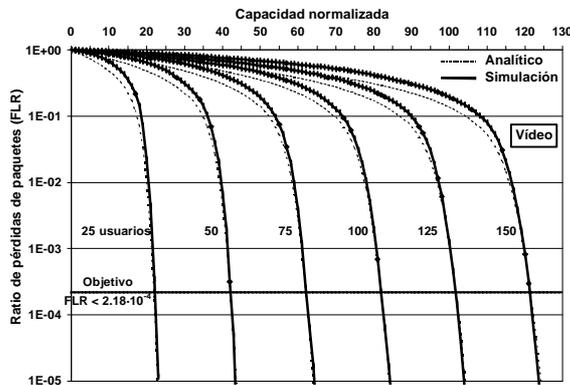


Fig. 4: Ratio de pérdidas de paquetes de vídeo en función de la capacidad disponible normalizada

El análisis de las curvas permite constatar el efecto de la ganancia por multiplexión estadística, en virtud del cual la capacidad total requerida es menor que la suma de las tasas de pico de los usuarios que comparten el canal virtual. Este efecto se analizará con más detalle posteriormente. Las curvas muestran también la existencia de un codo a partir del cual el FLR disminuye bruscamente al incrementar la capacidad. Esto permite concluir la existencia de una capacidad crítica a partir de la cual es posible reducir de manera significativa el FLR.

También es posible observar cómo, a efectos de dimensionado, la estimación analítica proporciona una buena aproximación en la zona de interés ($FLR \leq 2.18 \cdot 10^{-4}$). Esto sucede también en el caso del tráfico de voz. En el caso de web y correo electrónico, la aproximación de fluidos no es tan buena debido a que el tráfico exhibe una mayor intermitencia (comportamiento a ráfagas). En cualquier caso, habida cuenta que el error cometido es siempre menor que una unidad de capacidad normalizada, puede considerarse una aproximación razonable.

En la Fig. 5 se muestra un ejemplo de las curvas de retardo medio y 99-percentil para las tramas de voz. La gráfica permite determinar la capacidad mínima normalizada (con respecto a la tasa de pico de un usuario) necesaria para satisfacer unos ciertos objetivos de retardo.

El análisis de los resultados de retardo permite determinar la existencia de un rango de capacidades relativamente estrecho que, de ser superado, da lugar a una importante disminución en el retardo (medio y 99-percentil). A partir de esta zona, la pendiente se suaviza, indicando una menor sensibilidad del retardo frente a la capacidad. Asimismo, se puede apreciar cómo el codo en las curvas se produce precisamente en la zona donde el 99-percentil para el retardo se encuentra alrededor del requisito impuesto para la voz en Iub. A raíz de estas observaciones, se puede formular como criterio de dimensionado la elección de un punto que se encuentre en la zona de poca sensibilidad (de menor pendiente), pero no muy alejado del codo, siempre que en este punto ya se

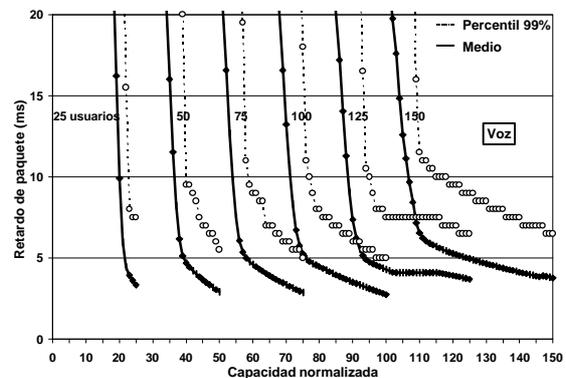


Fig. 5: Retardo de paquetes de voz en función de la capacidad disponible normalizada

cumpla el objetivo máximo para el retardo. De este modo se garantiza el cumplimiento de los objetivos de retardo, manteniéndose éste dentro de una zona estable.

Las curvas de retardo para vídeo streaming, dentro de la correspondiente zona de interés, tienen un aspecto similar a las de la voz. Por otro lado, en los casos de web y de correo electrónico se observa un cambio de pendiente menos brusco.

A partir de las curvas de pérdidas y retardos obtenidas para cada aplicación, y en base a los objetivos de QoS establecidos en la Tabla 1, se pueden derivar unas pautas de dimensionado para la interfaz Iub. El resultado se representa en la Fig. 6.

Las curvas de la Fig. 6 indican, para cada tipo de aplicación y en función del número máximo de usuarios, la capacidad mínima necesaria en kbit/s (a nivel ATM) que satisface simultáneamente los dos requisitos de QoS. En otras palabras, los valores representados corresponden a la mayor de las capacidades requeridas para cumplir el criterio de retardo o el de pérdidas. En cualquier caso, cabe señalar que ambos criterios arrojan capacidades mínimas similares debido a que los dos objetivos de QoS son bastante estrictos.

A partir de las curvas de dimensionado, resulta interesante analizar el efecto de la ganancia por multiplexión estadística. Ésta se puede expresar como el cociente entre el número de usuarios a soportar y la capacidad mínima normalizada. El resultado se muestra en la Fig. 7.

Lógicamente, cuanto mayor es el número de usuarios, mayor es la ganancia por multiplexión estadística. Al comparar las dos gráficas, se observa que la ganancia para la voz y el vídeo es menor (hasta un orden de magnitud) que para el web y el correo electrónico. La explicación está en el marcado comportamiento a ráfagas del tráfico generado por estas dos últimas aplicaciones. Los largos periodos de silencio hacen bastante improbable la coincidencia en el tiempo de una proporción elevada de fuentes en estado Alto. En consecuencia, la capacidad requerida es mucho menor que la suma de tasas de pico de cada fuente.

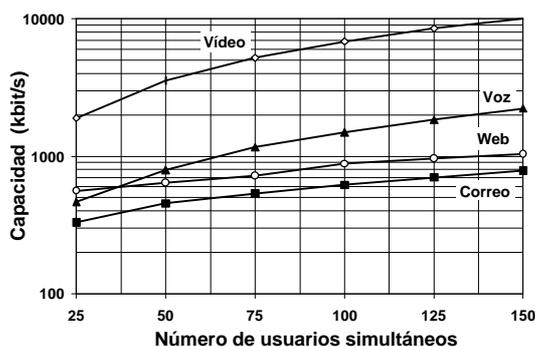


Fig. 6: Capacidad mínima para cumplir requisitos de QoS

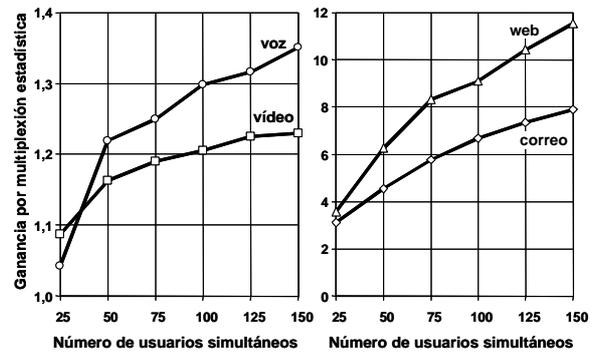


Fig. 7: Ganancia por multiplexión estadística

Nótese que una mayor ganancia por multiplexión estadística no implica un mejor aprovechamiento de capacidad, ya que el factor de utilización también es proporcional al cociente entre las tasas medias y de pico de las fuentes. En el caso de web y de correo electrónico (las aplicaciones con mayor ganancia), el cociente es bastante bajo, por lo que la utilización es más pobre que para las aplicaciones de voz y vídeo.

El diferente grado de aprovechamiento de los recursos de transmisión observado para cada tipo de aplicación conduce a plantear el segundo escenario de simulación, al que se dedica el siguiente apartado.

4.2 Dimensionado para mezcla de clases

En este escenario de simulación se considera la multiplexión de varias clases de tráfico sobre un mismo trayecto virtual. El objetivo es investigar el posible ahorro de recursos de transmisión que puede obtenerse mediante la compartición de una misma capacidad entre usuarios de varias clases. Para ello, se lleva a cabo un conjunto de experimentos contemplando el empleo de un mismo trayecto virtual ATM para usuarios de voz y de web.

En todas las simulaciones el número total de usuarios se mantiene constante (100 usuarios), realizándose experimentos para diversas proporciones de usuarios de web y de voz. Concretamente, se consideran tres casos: a) 25 usuarios de voz y 75 de web, b) 50 de voz y 50 de web y c) 75 de voz y 25 de web. En lo que sigue, utilizaremos la notación 25/75, 50/50 y 75/25, respectivamente, para referirnos a cada caso. Los parámetros de simulación utilizados en los experimentos se resumen en la Tabla 3.

A la hora de multiplexar los flujos de células ATM de cada grupo de usuarios, y teniendo en cuenta los diferentes requisitos de QoS de cada aplicación, se plantea la posibilidad de utilizar distintas estrategias de planificación. Esto nos lleva a considerar dos estrategias simples: FIFO (First In First Out, esto es, sin distinción) y PRIO (prioridad absoluta de la voz frente al web).

Tabla 3: Parámetros de simulación para escenarios de mezcla de clases

Capacidad nivel físico	2xE1
Cola nivel físico (células)	10
Cola nivel ATM (células)	100
Timer_CU (ms)	1

Como primera aproximación al problema, se decide partir de los resultados obtenidos en el escenario de clases aisladas (al que nos referiremos como estrategia SEP). Así, en los primeros experimentos se fija la capacidad del trayecto virtual a un valor igual a la suma de capacidades individuales requeridas por cada grupo de usuarios. Al analizar los resultados, se comprueba una notable disminución de las pérdidas, siendo en ocasiones nulas durante el período simulado.

La explicación de este fenómeno está en la utilización de una cola compartida (de tamaño igual a la suma de las empleadas en la estrategia SEP). Esto permite que una clase de tráfico disponga de más buffer durante los intervalos en los que la otra genera menos tráfico, de manera que se reducen las situaciones de desbordamiento.

En cuanto al retardo, el comportamiento varía según la estrategia de planificación y la proporción de usuarios de voz y de web. En la Tabla 4 se muestran los retardos máximos de trama para los distintos escenarios considerados.

En el caso de FIFO, se aprecia una reducción del retardo con respecto a la estrategia SEP salvo para la voz en la mezcla 25/75. El retardo en este caso resulta algo mayor, aunque sin rebasar el valor máximo objetivo. La estrategia PRIO logra en todos los casos reducir el retardo para la voz (99-percentil), siendo el resultado mejor cuanto menor es la proporción de usuarios de este tipo. En contrapartida, el retardo para el web (95-percentil) se ve perjudicado conforme aumenta la proporción de usuarios de voz.

Los resultados del retardo se entienden mejor al analizar las distribuciones de retardo de los paquetes. Así, en el caso de la voz se ha podido constatar con ambas estrategias una disminución significativa del "jitter" (variación de retardo), algo muy deseable cuando se trata de voz empaquetada. En el caso del tráfico web, el método PRIO provoca una mayor dispersión de retardos, mientras que FIFO la reduce.

Tabla 4: Retardo máximo de trama (ms)

	Mezcla	SEP	FIFO	PRIO
Retardo para voz 99%-percentil (ms)	25/75	7,5	10	1,5
	50/50	9,5	8,5	2
	75/25	9	6,5	3,5
Retardo para web 95%-percentil (ms)	25/75	15	10,5	13
	50/50	12,5	9,5	13
	75/25	12	8,5	14

El buen comportamiento de FIFO en la mayoría de los casos analizados se explica por la predominancia del tráfico de voz frente al de web en todos los escenarios de mezcla de usuarios considerados. Esto ocurre incluso en el caso 25/75, ya que 25 usuarios de voz generan más tráfico que 75 de web. Esta predominancia de tráfico de voz resta parte de su eficacia a la estrategia PRIO, puesto que da prioridad precisamente al grupo de usuarios que más tráfico genera.

En definitiva, puede concluirse que, en muchas situaciones prácticas, la compartición de capacidad junto con una simple estrategia FIFO constituye una política de gestión de tráfico eficaz para la interfaz Iub. Los resultados prueban que este tipo de soluciones puede redundar en una mejora de prestaciones frente al enfoque de capacidades segregadas. Esto da pie a considerar la posibilidad de, manteniendo los objetivos de pérdida y de retardo, utilizar una capacidad compartida menor que la suma de las requeridas en el escenario de clases separadas. Para acometer este nuevo estudio, se efectúa una tanda de simulaciones donde la capacidad de partida (a la que nos referiremos como 100%) se va disminuyendo de manera gradual.

Al analizar el comportamiento del FLR al disminuir la capacidad, se observan idénticos resultados para los métodos FIFO y PRIO. Al reducir la capacidad, el FLR aumenta, siendo el tráfico web el más afectado y, por tanto, el que limita el máximo ahorro. La Fig. 8 muestra la evolución del FLR para los paquetes de web en función de la capacidad. Dependiendo de la mezcla de voz y web considerada, se confirma la posibilidad de reducir la capacidad entre un 8% y un 16% sin comprometer el objetivo de FLR.

El comportamiento del retardo con la capacidad varía según la estrategia de multiplexión considerada. Así, en el caso de FIFO, es el retardo de la voz el que limita el máximo ahorro de capacidad permisible. Como se indica en la Fig. 9, éste oscila entre un 0% y un 19%, según la mezcla de tráfico considerada.

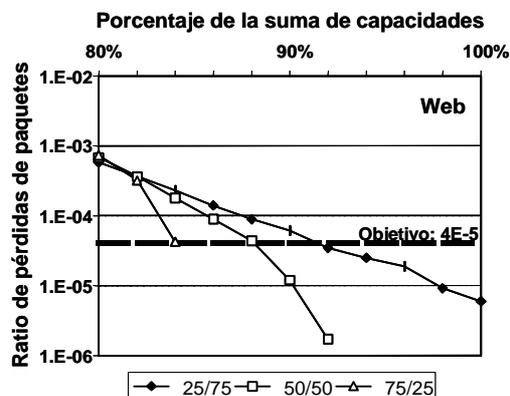


Fig. 8: Evolución del ratio de pérdidas de paquetes de web con la capacidad

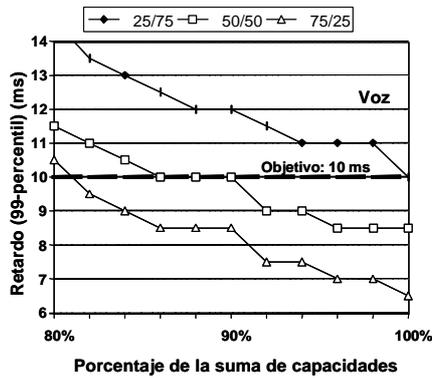


Fig. 9: Evolución del retardo de paquetes de voz con la capacidad (FIFO)

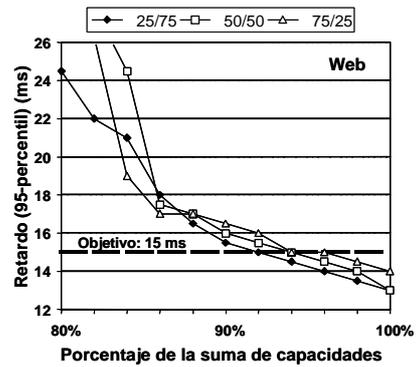


Fig. 10: Evolución del retardo de paquetes web en función de la capacidad (PRIO)

En la estrategia PRIO, por el contrario, el criterio más restrictivo lo impone el retardo máximo tolerable para los paquetes de web. En este caso, el ahorro máximo varía entre un 4% y un 8%, tal como se observa en la Fig. 10.

En la Tabla 5 se muestra un cuadro resumen con los ahorros máximos de capacidad que, para los distintos casos simulados, permiten la satisfacción simultánea de los objetivos de pérdidas y de retardos.

A la vista de los resultados, podría deducirse que la estrategia de compartición de capacidad entre clases de tráfico no permite un ahorro significativo de recursos de transmisión en la interfaz Iub. Esta afirmación puede ser válida para topologías de interconexión en estrella entre Nodos B y RNCs realizadas mediante E1s. En la práctica, sin embargo, cabe la posibilidad de considerar topologías con concentración de tráfico (por ejemplo, interconexión de Nodos B en cadena o a través de un backbone ATM), donde una ligera disminución de capacidad en cada Nodo B puede suponer un ahorro significativo de recursos de transmisión en alguno de los tramos de la red de acceso.

Por ejemplo, supóngase un conjunto de cuatro Nodos B conectados a un RNC mediante una topología en cadena, cada uno de ellos soportando una mezcla de tráfico de 75 usuarios de voz y 25 de web (esto es, el caso 75/25 en los experimentos). Bajo el escenario de clases aisladas, cada Nodo B requeriría una capacidad de transmisión de 1725 kbit/s, mientras que con una estrategia FIFO cabría considerar una capacidad compartida un 16% menor (esto es, 1449 kbit/s). En el primer caso, el tramo inicial desde el RNC al primer Nodo B requeriría un grupo IMA con cuatro E1 (para acomodar $4 \times 1725 = 6900$ kbit/s). Sin embargo, en el segundo caso bastaría con tres E1 ($4 \times 1449 = 5796$ kbit/s, que pueden transportarse sobre un grupo IMA de 3 E1).

Teniendo en cuenta que en un escenario real de despliegue de una red de acceso UMTS el número de Nodos B puede ser muy elevado, cabe esperar que puedan plantearse con frecuencia situaciones similares a la descrita.

Tabla 5: Porcentajes máximos de ahorro de capacidad para los escenarios simulados

		Mezcla		
		25/75	50/50	75/25
FIFO	Límite por pérdidas (web)	8%	12%	16%
	Límite por retardo (voz)	0%	10%	19%
	Ahorro máximo posible	0%	10%	16%
PRIO	Límite por pérdidas (web)	8%	12%	16%
	Límite por retardo (web)	8%	6%	4%
	Ahorro máximo posible	8%	6%	4%

A modo de ejemplo, en la Fig. 11 se muestra una topología física de interconexión entre Nodos B y sus controladores en la que intervienen conmutadores ATM y enlaces de larga distancia que concentran tráfico de varias células. En estas circunstancias, la estrategia de compartición de capacidad puede suponer un considerable ahorro de costes para el operador.

5 Conclusiones y trabajos futuros

En este artículo se ha abordado el problema del dimensionado de recursos de transmisión en la red de acceso terrestre de UMTS. Mediante el empleo de técnicas de simulación, se han analizado diversos escenarios de mezclas de tráfico correspondientes a las cuatro clases de QoS definidas por el 3GPP.

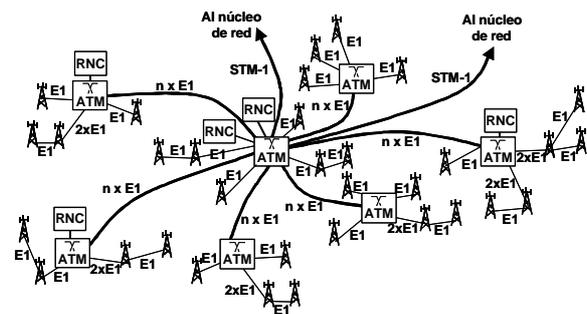


Fig. 11: Ejemplo de topología de red de acceso UMTS mediante backbone ATM

Establecidos los requisitos de QoS a satisfacer para cada clase de tráfico en la interfaz Iub, se ha estimado la capacidad mínima necesaria según el número de usuarios a soportar. En una primera aproximación, se ha considerado un escenario de segregación de capacidades por clase de tráfico. Posteriormente, se han estudiado algunas estrategias básicas de compartición de capacidad entre clases de tráfico. Los resultados han demostrado que este segundo enfoque puede contribuir a una ligera mejora de prestaciones o, alternativamente, posibilitar el ahorro de recursos de transmisión en la interfaz Iub. Si bien el ahorro no parece significativo al considerar los Nodos B de manera aislada, en topologías con concentración de tráfico puede suponer importantes ventajas económicas.

Dentro de las líneas de continuación de este trabajo se contempla la ampliación del estudio a topologías de interconexión entre Nodos B y RNC más complejas, especialmente en escenarios con concentración de tráfico. Adicionalmente, se pretende extender el análisis al resto de las interfaces de la UTRAN (Iu e Iur). Por último, y en línea con los trabajos que actualmente se desarrollan en el 3GPP, se plantea también la adaptación del simulador para su aplicación a redes de acceso UMTS basadas en tecnología IP.

Referencias

- [1] 3GPP. "Quality of Service (QoS) concept and architecture". 3GPP TS 23.107.
- [2] O. Isnard, J.M. Calmel, A.L. Beylot, G. Pujolle. "Handling Traffic Classes at AAL2 / ATM layer over the Logical Interfaces of the UMTS Terrestrial Access Network". 11th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication, PIMRC. London (Inglaterra), Septiembre 2000. ISBN: 0780364635.
- [3] M. Menth, M. Schmid, H. Heiß, R. Reim. "MEDF - A Simple Scheduling Algorithm for Two Real-Time Transport Service Classes with Application in the UTRAN". Technical Report No. 294, University of Würzburg, Febrero 2002.
- [4] J.H. Chung, Y.H. Kwon, K.H. Cho, D.K. Sung, O.H. Jang. "Performance Evaluation of an AAL2 Link Transmission Scheme for Voice and Data Packets in BS-BSC Links". IEEE 52nd Vehicular Technology Conference 2000, VTC 2000 Fall, Vol. 4, 2000. pp. 1610-1614. ISBN: 0780365070.
- [5] S. Yoo, H. Park. "Quality-of-Service Provisioning for Mobile Voice and Data Services over ATM Network using AAL2". 3rd International Conference on Advanced Communication Technology, 3rd ICACT, Muju (Corea), Febrero 2001.
- [6] G. Eneroth, G. Fodor, G. Leijonhufvud, A. Rácz, I. Szabó. "Applying ATM/AAL2 as a Switching Technology in Third-Generation Mobile Access Networks". IEEE Communications Magazine, Vol. 37, No. 6, Junio 1999. pp. 112-122. ISSN: 0163-6804.
- [7] ETSI. "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS". TR 101 112 V3.2.0, Abril 1998.
- [8] A. Klemm, C. Lindemann, M. Lohmann. "Traffic Modeling and Characterization for UMTS Networks". IEEE Global Telecommunications Conference 2001, GLOBECOM'2001, Internet Performance Symposium, San Antonio, TX, Noviembre 2001. ISBN: 0780372069.
- [9] A.B. García, E. García, M. Álvarez-Campana, J. Berrocal, E. Vázquez. "A Simulation Tool for Dimensioning and Performance Evaluation of the UMTS Terrestrial Radio Access Network". Lecture Notes in Computer Science ("Protocols and Systems for Interactive Distributed Multimedia"), Volume 2515, Noviembre 2002, pp. 49-60. Ed. Springer-Verlag. ISSN: 0302-9743, ISBN: 3-540-00169-7.
- [10] A.B. García. "Técnicas de dimensionado y soporte de calidad de servicio para redes de acceso de sistemas de comunicaciones móviles UMTS". Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S.I. Telecomunicación, 2002.
- [11] ITU-T. "B-ISDN ATM Adaptation layer specification: Type 2 AAL". ITU-T Rec. I.363.2.
- [12] A.B. García, M. Alvarez-Campana, E. Vázquez, J. Berrocal. "Simulation of Quality of Service Mechanisms in the UMTS Terrestrial Radio Access Network". Fourth IEEE Conference on Mobile and Wireless Communications Networks, MWCN 2002, Stockholm (Suecia), Septiembre 2002. ISBN: 0-7803-7606-4.
- [13] O. Hersent, D. Gurle, J.P. Petit. "IP Telephony: Packet-based multimedia communications systems", Addison-Wesley (2000). ISBN: 0-201-61910-5.