

Optimización de parámetros de aplicación para garantizar QoS en servicios de e-Salud

I. Martínez¹, J. García¹, E. Viruete¹, J. Fernández¹

¹ Grupo de Tecnología de las Comunicaciones (GTC), Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A),
imr@unizar.es - Universidad de Zaragoza, España

Resumen

El desarrollo de aplicaciones clínicas multimedia y el uso de redes de comunicación inter e intra-hospitalarias requiere un análisis específico para mejorar la eficiencia de los servicios e-Salud. En este artículo estudiamos las combinaciones óptimas de parámetros de aplicación necesarias para cumplir con los umbrales de calidad de servicio (Quality of Service, QoS), a partir de medidas de red. En particular, se ha evaluado un servicio de diagnóstico remoto, obteniendo las áreas de funcionamiento óptimo dependiendo de los recursos disponibles.

1. Introducción

En el transcurso de los últimos años, las nuevas redes de telecomunicaciones han permitido que los servicios de e-Salud hayan experimentado un importante avance y desarrollo, en términos tanto cuantitativos como cualitativos. Las posibilidades que ofrecen las nuevas Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) han derivado en sistemas en los servicios de salud, aplicables a la transmisión y gestión de datos en instalaciones hospitalarias y ensayos clínicos, a la teleasistencia, y a la autogestión y autoevaluación por parte del paciente de su propia enfermedad, etc. [1]-[2]. La evaluación técnica de estos servicios requiere una metodología específica para analizar los requerimientos de aplicación y de red y, por consiguiente, optimizar el diseño del servicio según los recursos disponibles [3]-[4].

El diseño del servicio se considera definitivo para su correcta implementación, desarrollo y mantenimiento [5]. Este diseño permite determinar los recursos disponibles para caracterizar el volumen de información a transmitir, el Tipo de Servicio (ToS) asociado a las aplicaciones y los requerimientos de calidad de servicio (*Quality of Service*, QoS), para ajustar y modelar la aplicación con el objetivo de obtener el máximo rendimiento [6].

La implementación de un nuevo servicio de e-Salud requiere una evaluación técnica para estudiar su comportamiento bajo diferentes condiciones de red. Para medir los parámetros de QoS y modelar el servicio multimedia, una herramienta automatizada ha sido diseñada y desarrollada en trabajos previamente publicados [7]. Incluye tres componentes principales: definición y configuración (para traducir los requisitos clínicos en parámetros técnicos), medida (para capturar tráfico simulado y experimental), y evaluación (incluyendo caracterización, modelado y optimización).

Esta herramienta sigue una idea extendida [8]: adaptar los parámetros de la aplicación para ajustar el rendimiento de la red en términos de pérdidas (*Packet Loss Rate*, PLR), retardo (*End-to-End Delay*, EED) y ancho de banda (*BandWidth*, BW). Este procedimiento se ha desarrollado ampliamente en escenarios multimedia sobre redes *best-effort*, como Internet, pero un análisis específico en entornos de telemedicina como el presentado en este estudio, permitiría mejorar la calidad de las comunicaciones en escenarios de e-Salud [9].

En este artículo se propone una evaluación técnica de parámetros de tráfico para garantizar los requerimientos de QoS en un servicio de telediagnóstico. Las características principales del escenario de estudio, incluyendo las aplicaciones y tecnologías de red más adecuadas, se muestran en la sección 2. Los resultados obtenidos bajo diferentes condiciones de red se discuten en la sección 3 para caracterizar, modelar y optimizar el servicio de telemedicina.

2. Materiales y métodos

El escenario de evaluación de este trabajo se centra en los entornos hospitalarios. Sus características genéricas se asocian a la comunicación hospitalaria entre médicos de distintas plantas y/o especialidades (incluso de hospitales distintos) que comparten aplicaciones (teleconferencia, diagnóstico remoto, etc.). Las conexiones suelen basarse en una red de banda ancha de tecnologías conmutadas (FR, ATM o LAN conmutada). Los recursos se comparten entre muchas aplicaciones y distintos ToS, agrupados en dos categorías principales: servicios basados en *Transmisión Control Protocol* (TCP) para un gran volumen de transferencia de datos, y servicios basados en *User Datagram Protocol* (UDP) para aplicaciones interactivas. Así, interesa analizar este tráfico cruzado (*cross-traffic*) asociado a los servicios TCP/UDP, para poder gestionar las configuraciones de los buffers intermedios (política de colas, control de flujo, protocolos de transporte, etc.) y elegir las mejores combinaciones de parámetros que optimicen el servicio. Este planteamiento de estudio se recoge en el esquema presentado en Fig.1, que se completa con el rango de variación y los modelos asociados para cada parámetro (ver Tabla 1). Todo ello se integra en la definición completa del escenario representada en Fig.2 que incluye los ToS más significativos y los siguientes casos de uso (UCs):

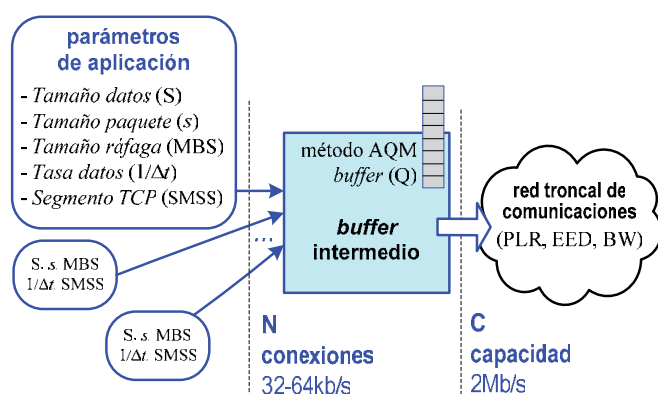


Figura 1. Esquema genérico de evaluación

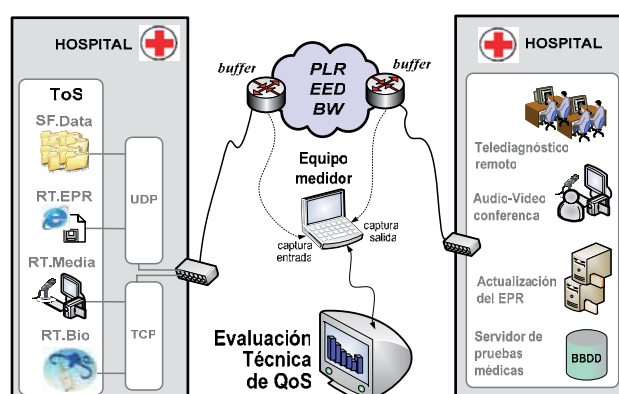


Figura 2. Escenario de evaluación. Servicio de telediagnóstico

- **UC1.** Transmisión de datos SF (SF.Data), que incluye pruebas médicas (SF.Test) e información relativa al paciente (SF.Info). Interesa estudiar cuáles son las mejores combinaciones de los parámetros TCP (versiones del protocolo, algoritmos AQM, utilización del enlace) en función de los diferentes valores de BW, tamaño máximo de segmento TCP (SMSS) y tamaño de *buffer* intermedio (Q).
- **UC2.** Se suele añadir envío del EPR y consultas WWW para completar/actualizar datos del EPR (RT.EPR). Interesa añadir al estudio anterior otro tipo de tráfico (basados en HTTP, Telnet) que completen el análisis y permitan hacer una evaluación conjunta de BW, RTT y utilización del enlace.
- **UC3.** El caso anterior más una teleconferencia RT con el especialista para apoyo en el diagnóstico (RT.Media), que incluye servicios de Audio (RT.Audio) y vídeo (RT.Video). Interesa evaluar el compromiso EED/PLR en función de SMSS y estudiar qué rendimiento máximo se puede obtener. Se busca obtener en qué rango de variación se garanticen los umbrales de QoS.
- **UC4.** En algunas ocasiones, se puede añadir al caso anterior la posibilidad de adquisición/envío de una prueba médica específica para completar el diagnóstico (RT.Bio).

Para los servicios TCP (UC1 y UC2) se evalúan sus versiones particulares y las distintas políticas AQM obteniendo los valores óptimos para sus parámetros característicos (tamaño de bloque de datos, ventana de congestión, etc.). Para los servicios UDP (UC3 y UC4) también se evalúan los parámetros óptimos (tamaño de paquete, de ráfaga, de buffer intermedio, etc.) que garanticen los umbrales exigidos de EED y PLR en función del ABW. Como aportación final se aplica a un servicio de telediagnóstico en el que se analiza el factor de utilización y el reparto de recursos entre ambos tipos de protocolos para caracterizar y modelar el servicio completo ajustando su QoS.

caso de uso	servicio e-Salud	ToS	tasas	parámetros
UC4	UC1	informe paciente	SF. Data	parámetros TCP versión protocolo, <i>cwnd</i> - <i>ssthresh</i> algoritmo SS, datos TCP (SMSS) tiempo trx. (T)
		datos médicos		
	UC2	gestión EPR	RT. EPR	parámetros UDP datos UDP (S), paquete datos (s), tamaño tasa (MBS), tasa trx. ($1/\Delta t$) nº usuarios (N)
		acceso database		
UC3	audioconferencia	RT. Media	16kb/s	
		videoconferencia	40kb/s	
UC4	biosenales	RT. Bio	4kb/s	
		transmisión RT	24kb/s	

Tabla 1. Parámetros de estudio y modelos de ToS

3. Resultados y discusión

3.1. Evaluación de servicios TCP (UC1 y UC2)

Esta evaluación implica la selección del óptimo entre un amplio rango de valores específicos para los parámetros de estudio. Varios trabajos publicados [10] han concluido que la combinación de Vegas como versión de TCP y *Class Based Queuing* (CBQ) como algoritmo AQM, contribuye a mejorar el comportamiento del servicio. En estudios previos a este trabajo [11], sólo centrados en UC1, se han obtenido resultados significativos para seleccionar los mejores valores de los parámetros *cwnd* y *ssthresh*: valores altos y distantes implican rendimientos bajos, mientras que valores cercanos y bajos activan el algoritmo SS e inducen a continuas oscilaciones en la utilización del enlace. Por todo ello, se constata que depende directamente del SMSS seleccionado y del escenario específico bajo estudio.

Usando estos resultados previos, se evaluaron UC1 y UC2 analizando los parámetros de estudios presentados en Tabla 1 con las condiciones de QoS para la red de comunicaciones (PLR<0.20, EED<180s) recomendadas por la *International Telecommunications Union* (ITU) [12]. Además, esta evaluación incluye tamaños (S) específicos para las principales aplicaciones médicas: radiografía computerizada, electrocardiografía, ecografía, etc.

Primero, los resultados obtenidos muestran que T disminuye cuando aumenta SMSS de manera no lineal con la variabilidad de las pérdidas: T se mantiene prácticamente constante con bajas pérdidas ($PLR < 0.05$), pero aumenta notablemente (3:1) al crecer PLR (ver Fig. 3 con $S=384MB$ para un estudio básico de ECO). Dado que los paquetes grandes se ajustan mejor a la capacidad de enlace, T disminuye con los valores altos de SMSS. Sin embargo, en estos casos, aumenta el porcentaje de retransmisiones ya que el algoritmo SS depende del número de paquetes recibidos (independientemente de su tamaño) y llena el *buffer*. Así, el análisis de EED (Fig. 4) mantiene este compromiso: es prácticamente constante sin PLR (independientemente de SMSS) pero aumenta con SMSS (aumentan las reactivaciones de SS con SMSS bajos que permite vaciar el *buffer* y reducir el EED). Por último, Fig. 5 muestra el BW disponible (ABW) según el nivel de PLR. Con SMSS bajos, BW disminuye hasta $ABW=1.4Mb/s$ en el peor caso ($SMSS=512B$, $PLR=0.20$)

En resumen, todas estas tendencias recomiendan el uso de SMSS bajos para evitar usar mecanismos específicos de prioridades y permitir compartir recursos con los servicios UDP, como se evalúa en el siguiente apartado.

3.2. Evaluación de servicios UDP (UC3 y UC4)

Los casos UC3 y UC4 se evaluaron con los parámetros específicos presentados en Tabla 1 y los umbrales de red recomendados por ITU para servicios RT ($EED < 200ms$, $PLR < 0.15$) [12]. La evaluación incluye tamaños de datos RT específicos $S_i = \{4k, 2k, 1k, 500 (B)\}$, un número variable (N) de conexiones simultáneas de usuarios (con tasa de usuario $r_i = \{64, 32 (kb/s)\}$), un rango de tamaño de *buffer* $Q \in [5, 15]$, y dos grupos de tamaño de paquete: altos $s_{Hi} = \{1472, 1380 (B)\}$, y bajos $s_{Li} = \{512, 240 (B)\}$.

Primero, considerando una tasa de usuario $r_1 = 64kb/s$, el análisis de PLR mostrado en Tabla 2 indica, para $s_{Hi} = 1472B$ (arriba) y $s_{Li} = 240B$ (abajo), las situaciones que se ajustan a los umbrales de PLR (celdas blancas en Tabla 2). Estas combinaciones son:

- Para s_{Hi} altos: $Q \geq 10$ (con $N=4$) y $Q \geq 6$ (con $N=2$).
- Para s_{Li} bajos: $Q \geq 15$ (con $N=4$) y $Q \geq 15$ (con $N=2$).

Si se aplican mecanismos de asignación de prioridades (basada en algoritmos CBQ) se observa una disminución en el nivel de PLR. Así, el rango de Q que garantiza QoS varía cuantitativamente en los siguientes valores:

- Para s_{Hi} altos: $Q \geq 8$ (con $N=4$) y $Q \geq 5$ (con $N=2$).
- Para s_{Li} bajos: $Q \geq 12$ (con $N=4$) y $Q \geq 12$ (con $N=2$).

Finalmente, se incluye el análisis de EED según la variación de la capacidad de enlace para evaluar cuándo se garantizan los umbrales de QoS (Fig. 6 muestra un caso representativo para $S_i = 4kB$ y $N=4$):

- Para s_{Hi} altos: si $C \geq 128kb/s$, $Q \leq 5$; si $C \geq 192kb/s$, $Q \leq 7$; si $C \geq 256kb/s$, $Q \leq 9$; si $C \geq 384kb/s$, $Q \leq 12$.
- Para s_{Li} altos: si $C \geq 128kb/s$, $Q \leq 8$; si $C \geq 192kb/s$, $Q \leq 10$; si $C \geq 256kb/s$, $Q \leq 11$; si $C \geq 384kb/s$, $Q \leq 15$.

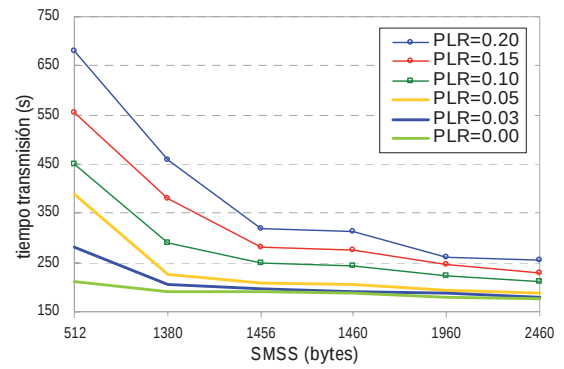


Figura 3. Evolución de T según SMSS con PLR variable

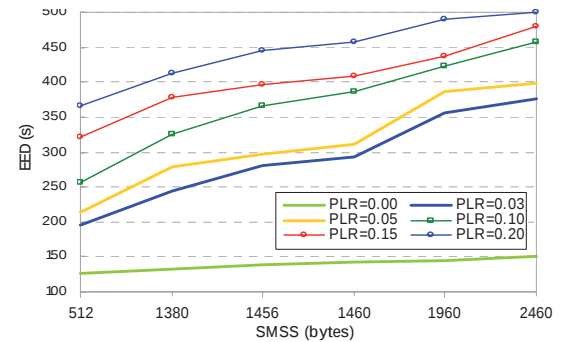


Figura 4. Evolución de EED según SMSS con PLR variable

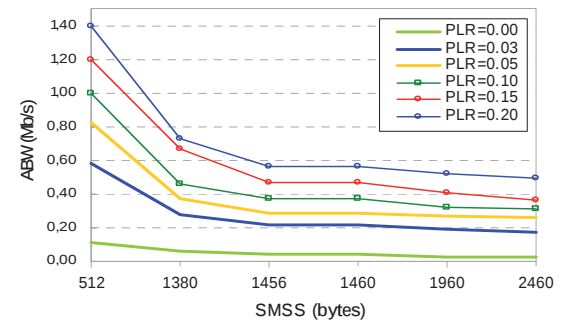


Figura 5. Evolución de ABW según SMSS con PLR variable

s_{Hi}	$S_1=4kB$			$S_2=2kB$		
	$N=1$	$N=2$	$N=4$	$N=1$	$N=2$	$N=4$
	$Q=15$	$Q=12$	$Q=10$	$Q=8$	$Q=7$	$Q=6$
$Q=15$	0.023	0.028	0.096	0.009	0.027	0.037
$Q=12$	0.032	0.043	0.126	0.012	0.034	0.044
$Q=10$	0.044	0.051	0.144	0.023	0.046	0.049
$Q=8$	0.055	0.072	0.197	0.027	0.052	0.056
$Q=7$	0.066	0.108	0.214	0.031	0.057	0.221
$Q=6$	0.073	0.144	0.241	0.039	0.064	0.243
$Q=5$	0.081	0.222	0.274	0.042	0.223	0.263

s_{Li}	$S_2=2kB$			$S_3=1kB$			$S_4=500B$		
	$N=1$	$N=2$	$N=4$	$N=1$	$N=2$	$N=4$	$N=1$	$N=2$	$N=4$
	$Q=15$	$Q=12$	$Q=10$	$Q=8$	$Q=7$	$Q=6$	$Q=15$	$Q=12$	$Q=10$
$Q=15$	0.120	0.150	0.15	0.06	0.12	0.14	0.02	0.08	0.13
$Q=12$	0.140	0.190	0.22	0.09	0.15	0.15	0.02	0.12	0.15
$Q=10$	0.150	0.230	0.25	0.13	0.21	0.22	0.03	0.15	0.19
$Q=8$	0.170	0.240	0.29	0.15	0.22	0.25	0.04	0.17	0.22
$Q=7$	0.210	0.260	0.31	0.18	0.22	0.26	0.04	0.18	0.24
$Q=6$	0.230	0.280	0.35	0.21	0.24	0.29	0.05	0.21	0.26
$Q=5$	0.260	0.300	0.37	0.24	0.26	0.32	0.18	0.24	0.28

Tabla 2. Evolución de PLR según Q para combinaciones $\{S, N\}$ y dos grupos de tamaños de paquete

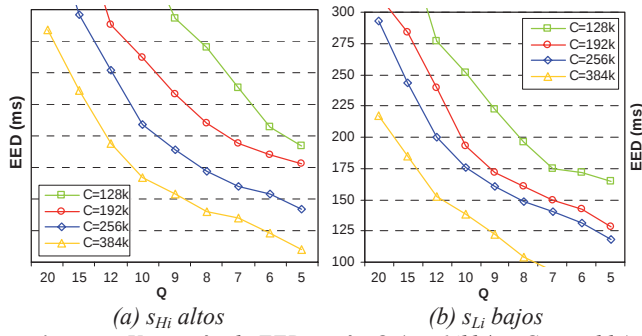


Figura 6. Variación de EED según Q ($r_1=64\text{kb/s}$ y C variable)

Este análisis EED se completa con $r_2=32\text{kb/s}$, para el mismo rango de variación de S_i (modificando, así, el ratio $S_i/\Delta t_i/\text{MBS}_i=\{4\text{kb}/1\text{s}/16, 2\text{kb}/500\text{ms}/8, 1\text{kb}/250\text{ms}/4, \dots\}$). Fig. 7 muestra un ejemplo representativo con $S_i=4\text{kb}$ y $s_{Hi}=1472\text{B}$ (el resto de las pruebas mostraron tendencias similares). El nuevo EED obtenido ($r_2=32\text{kb/s}$, $N=8$) es inferior que el anterior ($r_1=64\text{kb/s}$, $N=4$), incluso con la misma cantidad de información. Además, varían los umbrales de QoS: con $C=192\text{kb/s}$ se permite utilizar $Q \leq 9$ (previamente $Q \leq 7$), y con $C=384\text{kb/s}$, hasta $12 \leq Q \leq 15$ (previamente $Q \leq 12$). Así, se constata que los tamaños de ráfaga menores se ajustan mejor a los requisitos de QoS. En resumen, esta evaluación permite establecer diversas áreas de trabajo recomendadas, dependiendo de los recursos disponibles, y ajustando estos parámetros en función de las medidas de red monitorizadas (EED, PLR, BW), para garantizar QoS.

Finalmente, Fig. 8 muestra un ejemplo de cómo debería ser la selección adaptativa del tamaño de *buffer*, según los mecanismos de asignación de prioridades, tamaño de paquete, número de usuarios conectados, y capacidad de enlace. El tamaño de *buffer* se inicializa con $Q=15$, 10, ó 6 dependiendo de $N=4/N=2$ para paquetes pequeños (paso {1a}), $N=4$ (paso {1b}) ó $N=2$ (paso {1c}) para paquetes grandes, respectivamente, considerando $C=256\text{kb/s}$. Si la capacidad del enlace disminuye a $C=192\text{kb/s}$, el tamaño de *buffer* debe reconfigurarse a $Q=12$, 8, ó 5, (pasos {2a}, {2b} ó {2c}, respectivamente).

4. Conclusiones

En este trabajo se han evaluado los parámetros de aplicación, específicos de los servicios de e-Salud considerados en el estudio, para adaptarlos a los recursos disponibles. La evaluación propuesta se ha centrado en un servicio de telediagnóstico sobre un escenario hospitalario que combina servicios basados en TCP y UDP. Los resultados obtenidos muestran que el mejor rendimiento se da con paquetes TCP pequeños y tamaños de *buffer* menores de 15 paquetes para servicios UDP. Además, estos valores se han seleccionado en función de las medidas de red monitorizadas y se recomiendan en futuros diseños de servicios de e-Salud para garantizar los requerimientos específicos de QoS.

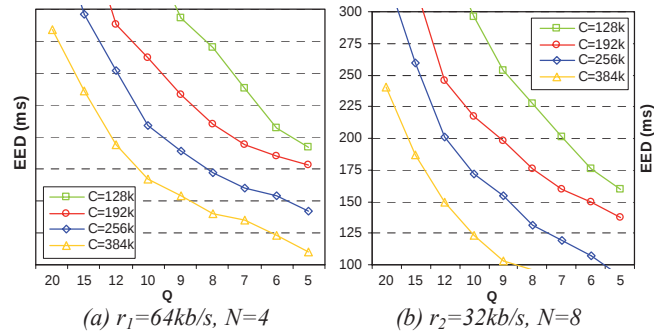


Figura 7. Valores de EED según r_1 (s_{Hi} altos y C variable)

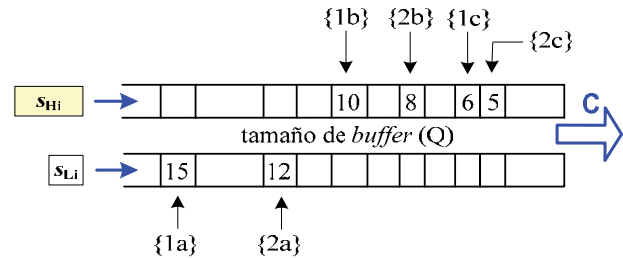


Figura 8. Selección de Q según los recursos disponibles

Agradecimientos

Este trabajo ha recibido el apoyo de proyectos de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) TSI2004-04940-C02-01, de los Fondos de Investigación Sanitaria (FIS) PI051416 y de la Secretaría de Estado de Universidades e Investigación (beca FPU AP-2004-3568).

Referencias

- [1] M.F.M.T. Du Molin et al., "The reliability of diagnosis using store-and-forward teledermatology", Journal of Telemedicine and Telecare, vol. 9, no.5, pp. 249-252, 2003.
- [2] C. Sicotte et al., "Feasibility and outcome evaluation of a telemedicine application in speech-language pathology", Journal of Telemedicine and Telecare, vol. 9, no.5, pp. 253-258, 2003.
- [3] A. Schneider, D. Wilhelm, U. Bohn, A. Wichert and H. Feussner, "An evaluation of a surgical telepresence system for an intrahospital local area network", Journal of Telemedicine and Telecare, vol. 11, no.8, pp. 408-413, 2005.
- [4] P. Taylor, "Evaluating telemedicine systems and services", Journal of Telemedicine and Telecare, vol. 11, no.4, pp. 167-177, 2005.
- [5] J. Major, "Telemedicine room design", Journal of Telemedicine and Telecare, vol. 11, no.1, pp. 10-14, 2005.
- [6] G. Fortino and L. Nigro, "A methodology centered on modularization of QoS constraints for the development and performance evaluation of multimedia systems", Proceedings 33rd Annual Simulation Symposium SS'00, pp.177-184, 2000.
- [7] I. Martínez and J. García, "SM3-Quality of Service evaluation tool for Telemedicine-Based New Healthcare Services", International Congress on Computational Bioengineering, pp.1163-73, 2005.
- [8] W.C. Hardey, "QoS Measurement and Evaluation of Telecommunications Quality of Service", Eds. John Wiley, Hardcover, 230 pages. [Book Review – R. Chodreck, IEEE Communications Magazine, 40(2):30-32, 2002].
- [9] E. A. Viruete, J. Ruiz, J. Fernández, C. Peña. "Performance of a 3G-Based Mobile Telemedicine System", Proceedings of the IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC'06), vol. 2, pp. 1023-1027, 2006.
- [10] Stephen H. Low, "A duality model of TCP and queue management Algorithms", IEEE/ACM Trans. Net., vol. 11, no. 4, Aug. 2003.
- [11] I. Martínez, J. Salvador, J. Fernández, J. García, "Traffic requirements evaluation for a Telemedicine network", I International Congress on Computational Bioengineering ICCB'03, pp. 389-394, 2003.
- [12] D. Wright, "The ITU's Report on Telemedicine and Developing Countries", Journal of Telemed and Telecare, 4(1):75-79, 1998 [Spanish version. International Telemedicine, 7-8, 1998].