

# Evaluación del rendimiento en escenarios rurales de e-Salud: gestión óptima de usuarios y control de QoS

I. Martínez<sup>1</sup>, J. García<sup>1</sup>, E. Viruete<sup>1</sup>, J. Fernández<sup>1</sup>

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

## Resumen

*The development of e-Health services in rural environments, where broadband accesses are usually not available, requires a specific analysis of available resources to improve the management of Quality of Service (QoS). This work studies the sharing of resources among several users and the system efficiency in rural areas, guaranteeing QoS. The results obtained show that, with the premises considered in this study, a rural centre can establish a maximum number of simultaneous real-time services with the hospital, which varies between 2 and 3 for each 64kb/s of available link capacity.*

## 1. Introducción

Los servicios de telemedicina están normalmente basados en tecnologías multimedia, aprovechando las ventajas que se dan al soportar múltiples usuarios y muy diversas aplicaciones clínicas sobre diferentes tecnologías de comunicación. Estos entornos heterogéneos requieren aplicaciones específicas y análisis particulares para integrar los distintos Tipos de Servicio (ToS) [1]. Las diferentes características de cada tecnología de aplicación y de red implican muy diversos niveles de calidad de servicio (*Quality of Service*, QoS), que pueden tener un gran impacto en el rendimiento de dichos servicios, particularmente en los basados en aplicaciones multimedia a tiempo real. Por tanto, una estimación precisa del rendimiento obtenido es crítica para el éxito de los servicios multimedia [2], [3]. Este hecho es incluso más importante debido a la escasez de recursos disponibles que caracteriza a las áreas rurales. Los centros de atención primaria (*Primary Health*, PH) en entornos deslocalizados están normalmente ubicados en áreas geográficamente dispersas y generalmente se utilizan redes de comunicaciones basadas en la red telefónica básica (*Public Switched Telephone Network*, PSTN) o, en los mejores casos, en tecnologías *Asymmetric Digital Subscriber Line* (ADSL).

Una idea extendida en la literatura consiste en intentar estimar el rendimiento de la red y, así, adaptar los datos de aplicación [4], [5]. Para ello, se utilizan los parámetros de QoS más significativos: *Packet Loss Rate* (PLR), *End-to-End Delay* (EED) y capacidad de enlace (C) [3]. Esta idea se ha desarrollado en redes *best-effort* como Internet, pero el análisis planteado en entornos rurales de e-Salud permitiría mejorar la calidad específica de estos servicios en dichas áreas [6], [7].

En este artículo se propone una evaluación del rendimiento de un servicio de e-Salud en entornos rurales planteando variabilidad en las condiciones de la red y en el número de usuarios simultáneos. Las principales características y casos de uso para el escenario de estudio se detallan en la sección 2. Los resultados obtenidos en diferentes condiciones de red se analizan en la sección 3 para caracterizar, modelar y optimizar el servicio global.

## 2. Materiales y métodos

El análisis presentado en este trabajo ha sido posible gracias a una herramienta automatizada desarrollada previamente [8] que permite traducir los requisitos clínicos en parámetros técnicos, medir el servicio (capturando el tráfico simulado y experimental), y caracterizar, modelar y optimizar su comportamiento.

El escenario de evaluación de este trabajo se centra en los entornos rurales. Sus características genéricas se asocian a la interconexión entre un médico no especialista (en el Centro de Atención Primaria, PH) y su correspondiente hospital de referencia para intercambiar datos y pruebas médicas de un paciente. El acceso del PH suele basarse en tecnologías PTSN y xDSL. Se consideran conexiones individuales con tasa máxima de 64kb/s en el punto de acceso que se multiplexan en el concentrador remoto según los valores de capacidad (C) establecidos para la conexión con el hospital de referencia  $C=k \cdot 64\text{kb/s}$  ( $k>1$ ). Así, interesa analizar el rendimiento que puede obtenerse en diferentes servicios soportados sobre accesos fijos remotos, como combinación de N usuarios multiplexados. Además, estos usuarios van a implementar distintos tipos de aplicaciones, agrupadas en dos tipos de servicios principales: *Store-Forward* (SF) para aplicaciones que no presentan requisitos temporales *on-line* (como el envío de pruebas médicas del paciente) y *Real-Time* (RT) para servicios con requisitos críticos de PLR, EED y BW.

Este planteamiento de estudio se esquematiza en Fig. 1, que incluye los Tipos de Servicio (ToS) más significativos, y se completa con el rango de variación y los modelos asociados para cada parámetro (ver Tabla 1). Así, se diferencian los siguientes casos de uso (UCs):

- **UC1.** Lo más frecuente es transmisión SF de pruebas médicas, como ECG o ECO (SF.Test). En este caso interesa estudiar el rendimiento  $\rho$  (absoluto, respecto del caudal disponible, y efectivo, respecto de datos). Es decir, en función del ABW y eligiendo unos valores específicos de EED/PLR, evaluar el número N de conexiones simultáneas que se pueden atender.
- **UC2.** Se suele añadir envío del Historial Clínico Electrónico (EPR) y consultas WWW para completar/actualizar los datos del paciente (RT.EPR). Interesa comparar el rendimiento, las conexiones simultáneas, y el factor de retransmisiones.
- **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). De igual modo interesa comparar el rendimiento y el número de conexiones simultáneas.
- **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). Interesa obtener los mismos parámetros que B.III y comparar ambos.

UC1 requiere el estudio del rango válido de número máximo de usuarios (N), dependiendo de la capacidad de enlace C y según los niveles recomendados de EED y PLR. Para los casos UC2, UC3 y UC4, más críticos que el anterior, es necesario obtener un nuevo rango de N y estudiar la combinación de los valores de los parámetros RT que se ajustan a los umbrales de QoS y proporcionan, así, las áreas de trabajo más eficientes.

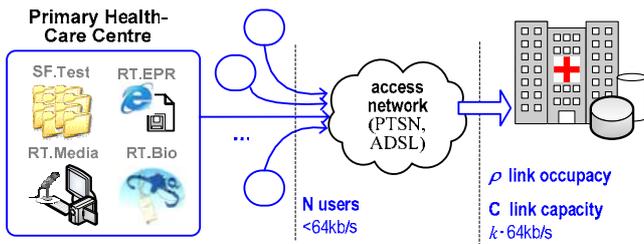


Figura 1. Escenario genérico de evaluación en entorno rural

caso de uso	servicio e-Salud	ToS	parámetros
UC1 UC2 UC3 UC4	prueba biomédica transmisión SF	SF. Test	aplicación
	gestión de EPR acceso a database	RT.EPR	tamaño paquete ( $s$ ), tamaño ráfaga (MBS), tasa transmisión ( $1/\Delta t$ )
	audioconferencia videoconferencia	RT.Media	red
	Bioseñales transmisión on-line	RT.Bio	$n^\circ$ usuarios (N) capacidad enlace (C) factor capacidad ( $k$ ) factor utilización ( $\rho$ )

Tabla 1. Parámetros de estudio y modelos de QoS

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. UC1 (servicios SF)

El estudio de los servicios SF implica la selección de los parámetros óptimos entre un amplio rango de valores específicos. En estudios previos a este trabajo [9], centrados en UC1, se obtuvieron resultados significativos para los siguientes parámetros de aplicación: tamaño de paquete ( $s$ ), tamaño de ráfaga (*Maximum Burst Size*, MBS) y tasa de transmisión ( $1/\Delta t$ ). Así, para proporcionar el mejor rendimiento del servicio en entornos rurales, se eligieron los siguientes valores  $s_i = \{512, 1500\}$  (B),  $MBS_i = \{4, 7\}$  y  $\Delta t_i = 10\text{ms}$ . Usando estos valores previos, se evaluó el caso UC1 para obtener el máximo número de usuarios que pueden simultanearse cumpliendo los umbrales recomendados de rendimiento. Estos umbrales se obtuvieron como función del factor normalizado de ocupación del enlace ( $\rho_N$ ), definido en (1).

$$\rho_N = N \cdot \rho = N \frac{C_e}{C} \quad \text{con} \quad \begin{cases} C_e = k_e \cdot 64\text{kb/s} & (k_e \leq 1) \\ C_e = k \cdot 64\text{kb/s} & (k > 1) \end{cases} \quad (1)$$

Primero se evaluó la evolución de  $\rho_N$  como función de N para ambos valores de  $s_i$  y  $MBS_i$ . Fig. 2 muestra el valor medio de  $\rho_N$  y su rango de variación según la capacidad monitorizada (entre la mayor,  $C=2\text{Mb/s}$ , y la menor,  $C=64\text{kb/s}$ ). Se observa que  $\rho_N$  disminuye de forma no lineal con N y la eficiencia es mayor con  $s_2=1500\text{B}$  (aunque las diferencias son bajas  $\rho_N(s_2) - \rho_N(s_1) < 0.1$  y se recomiendan ambos en un diseño de implementación real)

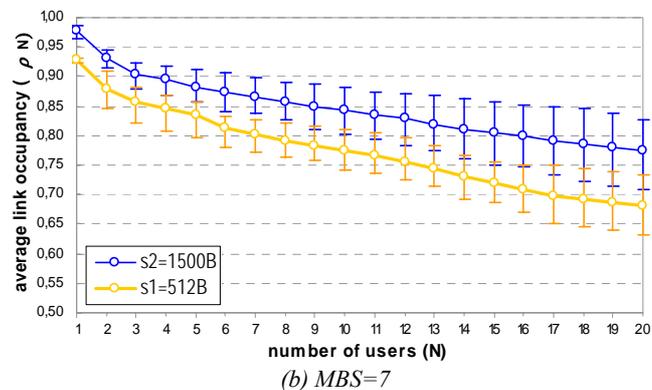
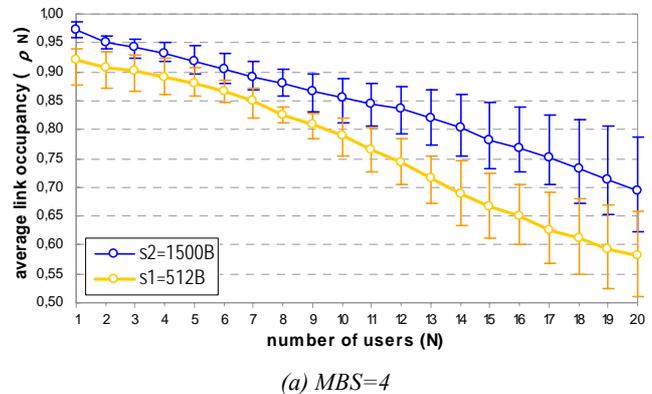


Figura 2. Evolución del factor de utilización ( $\rho_N$ ) vs. el número de usuarios N para los valores seleccionados de  $s$  y MBS

Además, el rendimiento es claramente diferente dependiendo del tamaño de ráfaga:  $MBS_1=4$  (Fig. 2(a)) muestra mejor eficiencia cuando el número de usuarios es bajo ( $N<14$ ), y  $MBS_2=7$  (Fig. 2(b)) proporciona mejor rendimiento si aumentan los usuarios ( $N>14$ ).

Fig. 3 muestra las áreas de eficiencia óptima con esta combinación planteada. Así, podría ser interesante monitorizar el número de usuarios simultáneos y enviar un mensaje *feed-back* (desde la red hacia el dispositivo de usuario) para gestionar los valores de MBS. Este control adaptativo, disponible para UC1 y recomendado para el diseño de otros casos de uso basados en servicios RT, ha de ser específico para cada aplicación. Las tendencias obtenidas en Fig. 3 permiten establecer diferentes áreas de rendimiento recomendado, según el nivel de utilización del enlace. Se presenta en Tabla 2 el máximo número de usuarios simultáneos que se ajustan a los umbrales de uso (considerando  $\rho > 0.7$ ), y en función de la capacidad disponible (indicada por el factor multiplicativo  $k$ ).

En resumen, esta evaluación también permite cuantificar la eficiencia del servicio. Por ejemplo, para un servicio SF.Test basado en transmisiones de ECG con un tamaño medio de prueba de paciente  $S=40MB$ , el máximo número de ficheros ( $n_{SF}$ ) que se pueden enviar desde el centro PH hasta el hospital depende de  $N$ ,  $\rho$  y  $k$ . Siguiendo los resultados previos y considerando  $\rho=0.8$ :  $n_{SF}=5$  ( $N=1$ ,  $k=1$ ),  $n_{SF}=17$  ( $N=1$ ,  $k=4$ ) ó  $n_{SF}=2$  ( $N=4$ ,  $k=1$ ). Se constata la tendencia no proporcional: aumentar  $C$  en un factor 1:4 implica una mejora de 5:17 en eficiencia y un aumento de  $N$  en 1:4 implica rebajar la eficiencia en un factor 5:2.

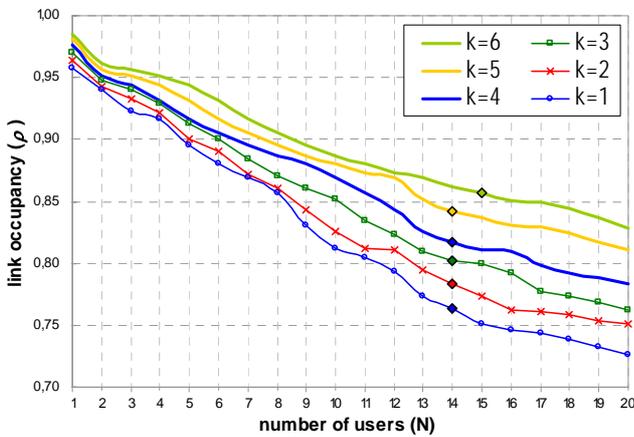


Figura 3. Áreas de trabajo recomendadas, según los umbrales de  $\rho$ , la variación de capacidad y el número de usuarios

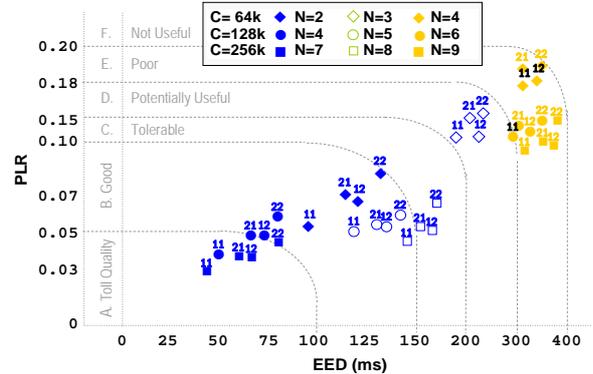
	$\rho=0.95$	$\rho=0.90$	$\rho=0.85$	$\rho=0.80$	$\rho=0.75$
$k=1$	0	1	5	8	12
$k=2$	0	2	6	10	13
$k=4$	1	4	9	14	24
$k=8$	3	7	16	26	40
$k=16$	5	14	28	41	76
$k=32$	9	29	47	77	148

Tabla 2. Número de usuarios que se ajustan al umbral de rendimiento seleccionado según la capacidad ( $k \cdot 64kb/s$ ).

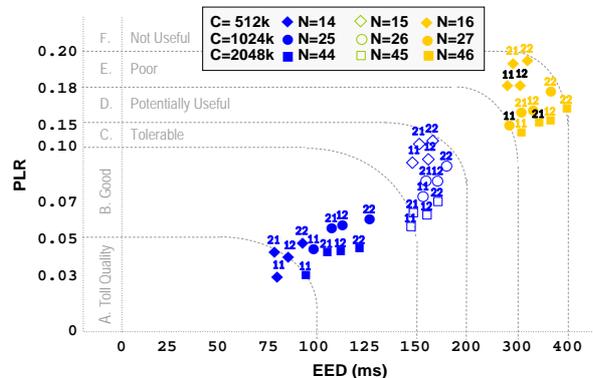
### 3.2. UC2, UC3 y UC4 (servicios RT)

UC2, UC3 y UC4 se analizaron para evaluar la evolución del rendimiento del servicio, obtenida en el caso anterior, pero añadiendo ahora la combinación de servicios SF y RT. En estudios previos a este trabajo [9], se obtuvo que las situaciones más críticas dependen de las características de las aplicaciones RT. Media combinadas con comunicaciones RT. Bio. Además, se obtuvieron los mejores valores para los servicios RT. Media:  $MBS_{Ai}=\{4, 7$  (paquetes/ráfaga)} para RT. Audio, y  $MBS_{Vj}=\{10, 15$  (frames por segundo, *fps*) para RT. Video.

Así, se evaluó en primer lugar el ratio PLR/EED para seleccionar las mejores combinaciones que se ajustan a las áreas de trabajo recomendadas (ver Fig. 4). Cada combinación ( $MBS_{Ai}$ ,  $MBS_{Vj}$ ) se indica como  $ij=\{11, 12, 21, 22\}$ . Por ejemplo, para  $C=64kb/s$  en Fig. 4(a), el número máximo de usuarios es  $N=3$  (incluso  $N=4$ , pero con altos niveles de EED y PLR). Si aumentan los recursos disponibles,  $N$  no disminuye proporcionalmente, debido al reparto no equitativo de los recursos entre servicios RT (con los mismos requisitos de QoS). Por ejemplo, para  $C=512kb/s$  en Fig. 4(b), el número máximo de usuarios es  $N=15$  (no 8 veces mayor). También destaca que los óptimos se dan con tamaños de ráfaga bajos para RT. Audio ( $MBS_{A1}=4$ ) y RT. Video ( $MBS_{V2}=10fps$ ).



(a)  $k=\{1, 2, 4\}$



(b)  $k=\{8, 16, 32\}$

Figura 4. Ratio PLR/EED para combinaciones ( $MBS_{Ai}$ ,  $MBS_{Vj}$ ) según  $N$  y  $C$ , para cumplir los umbrales recomendados de QoS

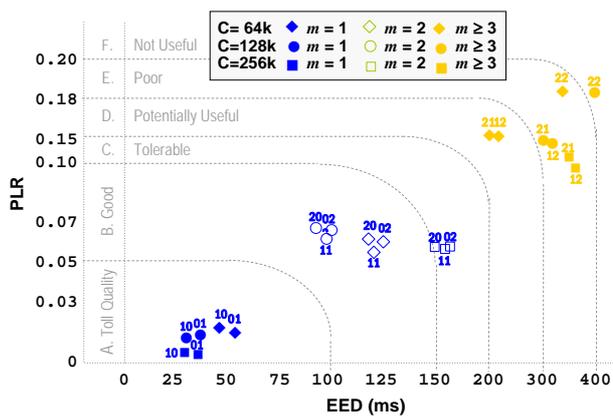


Figura 5. Ratio PLR/EED para situaciones críticas del factor  $m$  según  $C$ , que cumplen los umbrales recomendados de QoS

Finalmente, se define el factor de multiplexación ( $m$ ) como la suma de servicios RT simultáneos (incluyendo RT.EPR, RT.Media y RT.Bio) para cada conexión de acceso de usuario. Fig. 5 muestra el ratio PLR/EED para las situaciones más críticas, cercanas a los umbrales recomendados de QoS. Estos peores casos se dan cuando se combinan un número variable de servicios RT ( $n_{RT}$ ). Como cada combinación incluye tipos de servicios de diferentes clases,  $m$  se indica como  $\{n_{RT,Media} \ n_{RT,Bio}\}$  en Fig. 5 (por ejemplo,  $m=1$  corresponde a  $\{10\}$  y  $\{01\}$ ,  $m=2$  a  $\{11\}$ ,  $\{20\}$ ,  $\{02\}$ , etc.).

Los resultados obtenidos concluyen, en términos genéricos para cada  $C=k \cdot 64\text{kb/s}$ , que en todos los casos se permiten  $m=k$  servicios RT simultáneos y ningún caso permite  $m=4k$  servicios. Esto significa que el número máximo de servicios RT que el mismo centro PH puede establecer con el hospital varía entre 2 y 3 para cada 64kb/s. En esos casos, siempre se garantiza QoS con  $m=2$ , permitiendo  $m=3$  según los parámetros específicos.

En resumen, estos resultados permiten establecer diversas áreas de trabajo recomendadas y seleccionar el número máximo de usuarios simultáneos en función de los recursos disponibles para garantizar QoS.

Además, la evaluación permite seleccionar los mejores parámetros de aplicación en cada caso. Un ejemplo de selección adaptativa de dichos parámetros, dependiendo del número de usuarios conectados y la capacidad disponible del enlace, se muestra en Fig. 6. Para el caso UC1, Fig. 6(a) muestra el algoritmo de decisión *feed-back* comentado en el apartado anterior, para elegir el valor más adecuado de MBS en cada situación. Para UC3, se muestra en Fig. 6(b) un ejemplo representativo de mecanismo de selección de  $MBS_{A_i}$  (para RT. Audio) y  $MBS_{V_j}$  (para RT.Video) según el número de usuarios monitorizado, con  $C=64\text{kb/s}$ . Estos resultados son extensibles para el resto de casos de uso configurando sus respectivos árboles de decisión.

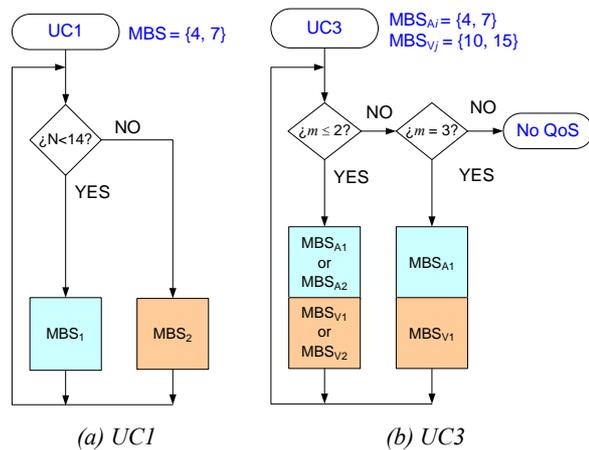


Figura 6. Árbol de decisión para seleccionar en la aplicación los mejores valores de MBS en entornos rurales

## 4. Conclusiones

Este trabajo estudia el número máximo de usuarios simultáneos y la eficiencia obtenida para cada uno en la comunicación en entornos rurales para mejorar el control de QoS. Los resultados obtenidos de la evaluación técnica permiten establecer áreas de trabajo recomendadas en función de las condiciones de la red. Además, se han seleccionado los mejores parámetros de aplicación para cada caso de uso, según los recursos disponibles para garantizar QoS global en el servicio de e-Salud.

## 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] T. Yamazaki and J. Matsuda, "Adaptive QoS management for multimedia applications in heterogeneous environments: a case study with video QoS mediation", IEICE Trans. Comm., vol. E82-B (11), pp. 1801-07, 1999.
- [2] A. Vogel, G. Bochmann, R. Disallow, J. Geckos and B. Kerherv, "Distributed Multimedia Applications and Quality of Service - A survey", IEEE Multimedia, 1994.
- [3] E. A. Viruete, J. Fernández, I. Martínez, "Evaluation of QoS in Internet accesses for Multimedia applications (EQoSIM)", Proceedings of the IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC'06), vol. 1, pp. 356-360, 2006.
- [4] M. Kosuga, T. Yamazaki, N. Ogino, J. Matsuda, "Adaptive QoS management using layered multi-agent system for distributed multimedia applications", Proc. International Conference on the Parallel Processing, pp. 388-394, 1999.
- [5] S-W. Suthon, G-M. Ong, H-K. Pung, "An adaptive end-to-end QoS management with dynamic protocol configurations", 10th IEEE International Conference on Networks, pp. 106-111, 2002.
- [6] P. Jennet et al., "A study of a rural community's readiness for telehealth", J Telemed Telecare, vol. 9, no.5, pp. 259-263, 2003.
- [7] P. Jennet, M.Yeo, R. Scott, M. Hebert and W.Teo, "Delivery of rural and remote health care via a broadband Internet Protocol network - views of potential users", Journal of Telemedicine and Telecare, vol. 11, no.8, pp. 419-424, 2005.
- [8] 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
- [9] 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.