

Evaluación de QoS en escenarios de telemedicina basados en servicios multimedia y nuevas tecnologías

I. Martínez y J. García

Grupo de Tecnología de las Comunicaciones (GTC), Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)

imr.jogarmo@unizar.es - Universidad de Zaragoza, España

Resumen

El amplio desarrollo de las aplicaciones multimedia en medicina y la utilización de redes de comunicación inter e intra-hospitalarias requiere un análisis específico para aumentar la eficiencia de los servicios sanitarios. En este artículo se presenta una evaluación técnica de los requerimientos de calidad de servicio (Quality of Service, QoS) en los nuevos servicios sanitarios basados en telemedicina. Se incluye una revisión de los tipos de servicios multimedia y de telemedicina, considerando tanto los requisitos de aplicación como las tecnologías de red. Los resultados experimentales y de simulación se han evaluado sobre cinco escenarios significativos que permiten analizar la QoS y optimizar el diseño de las aplicaciones en función de los recursos de red disponibles.

1. Introducción

Las nuevas tecnologías han permitido que la telemedicina haya experimentado un notable avance en los últimos años. Para extraer el máximo beneficio de estos nuevos servicios, resulta imprescindible definir una metodología precisa para caracterizar los requisitos en el intercambio de información y en la gestión de los recursos de red disponibles [1]. Además, es indispensable llevar a cabo su correcta evaluación incluyendo aspectos de eficiencia, aceptabilidad y usabilidad para que puedan incorporarse a los sistemas de salud en los diferentes escenarios asistenciales (entornos rurales, teleasistencia, asistencia domiciliaria, etc.) [2]-[3]. Así surge la necesidad de optimizar la calidad de servicio (Quality of Service, QoS) que se obtiene de dichos servicios de telemedicina [4]. Para ello, es crucial el estudio de dos aspectos: la naturaleza de la información a transmitir y el comportamiento de las redes que la transportan. El tipo de información asociada a las aplicaciones médicas requiere el análisis y caracterización de modelos que las definan [5]. Y la variabilidad de prestaciones (por ej. en infraestructuras móviles) o la heterogeneidad de las interconexiones (por ej. Internet) requieren medir y modelar dichas redes [6].

En esta línea, una idea extendida consiste en que es posible gestionar y adecuar de forma adaptativa la transmisión de la información generada por las aplicaciones (codecs, tasa de transmisión y compresión, etc.) a los recursos de las redes. Esto permitiría optimizar la QoS de las comunicaciones e-sanitarias, buscando que sea óptima en cada momento [7]. Así, este estudio busca evaluar los recursos disponibles (según el tipo y volumen de información) y la utilización de la red (según los protocolos utilizados y la asignación de prioridades) que garantizan los requisitos mínimos de QoS.

Este estudio propone una evaluación técnica según una metodología soportada sobre una herramienta previamente desarrollada [8] que permite obtener medidas de QoS, tanto experimentales como de simulación, en diferentes puntos de un escenario dado (ver Figura 1). En la sección 2 se describen los servicios de telemedicina más significativos presentes en la práctica médica. La sección 3 repasa los servicios multimedia y las tecnologías de comunicación más apropiados para su uso en telemedicina. En la sección 4 se presentan varios escenarios planteados para este estudio así como su modelo de simulación. Los resultados de la evaluación, y la potencialidad de la herramienta en el diseño y optimización de un servicio sanitario específico basado en telemedicina se discuten en la sección 5.

2. Servicios de telemedicina

La evaluación de los nuevos servicios sanitarios basados en telemedicina requiere un estudio previo de cada tipo de actividades presente en la rutina clínica. Una clasificación extendida distingue dos categorías (ver Tabla I):

I. Real Time (RT). Este modo de operación se basa en la adquisición y transmisión en tiempo real de señales biomédicas, parámetros vitales, información multimedia (audio, vídeo, imágenes de alta resolución), etc. Es decir, se registra la información y simultáneamente se envía. Esta práctica es absolutamente necesaria en pacientes de riesgo, asistencia domiciliaria, acceso tiempo-real a servicios de alta calidad desde centros médicos rurales que no tienen por qué disponer de equipos o personal especializado, etc. Este tráfico RT es muy crítico ya que requiere garantizar retardo y ancho de banda, aún a costa de asumir ciertas pérdidas.

II. Store&Forward (SF). Esta categoría se asocia con aquellas prácticas clínicas o médicas que no exigen ser llevadas a cabo a tiempo real sino que siguen estos pasos:

1. Se adquiere/pre-registra la señal completa.
2. Se almacena (*store*) en el extremo remoto.
3. Se transmite posteriormente (*forward*) al otro extremo mediante la conexión apropiada (y/o se almacena).
4. Se visualiza por el experto, que puede completar con informe, acceso a base de datos, rellenar el HCE, etc.

Esta práctica es muy habitual en telemedicina dado que la realización de una prueba médica implica desplazamientos largos para muchos pacientes hasta el centro hospitalario en el que son revisados por especialistas. Así, la utilización de las redes para transmitir información médica desde el centro más cercano al paciente o incluso su domicilio, supone un ahorro en tiempo y dinero para el paciente y el servicio. Este tráfico SF no tiene por qué implicar requisitos de retardo o ancho de banda y, sin embargo, sí de pérdidas.

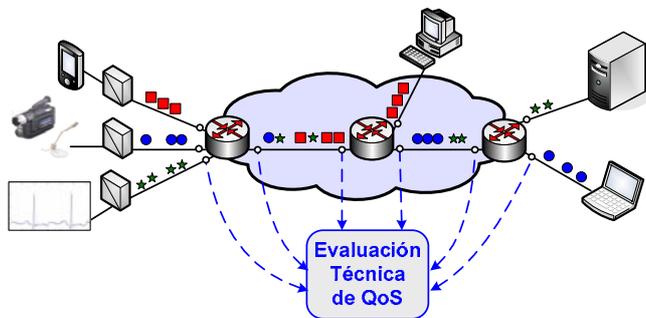


Fig. 1. Esquema genérico del escenario de evaluación técnica.

TABLA I. PRINCIPALES SERVICIOS DE TELEMEDICINA.

Servicio de telemedicina	Tipo de información	Tamaño (bytes)	BW (kb/s)
RT			
Audio-conferencia	Audio		N°64
- Seguimiento de pacientes	analógico	8kB	64
- Líneas fijas de emergencias	digital	2ch- 8kB	128
- Consulta remota, telediagnóstico	dig.compr.	4kB	32
- Urgencias, UVI móvil, alarmas	dig.compr.	2kB	16
Monitorización de pacientes	Bio-Datos		N°64
- Presión sanguínea/Pulsi-oxímetro	BP/PSO2	400B	3.2
- Electrocardiografía (EKG)	EKG	12ch-250B	24
- Test Holter (ambulatorio)	holter	3ch-8B	8.7
- Electroencefalografía (EEG)	EEG	32ch-2B	80
- Electroecografía (ECO)	ECO	2ch-8B	384
Sesiones remotas telediagnóstico	Media-Datos		N°128
(atención domiciliaria, asistencia rural, audio-video-conferencia, anotaciones en pizarra interactiva)	video	200kB	64
	audio	8kB	15
	web	80kB	10
Acceso a bases de datos médicas	Web-Datos		N°128
- Gestión/actualización de HCE	HTTP	10kB	13
- Información médica on-line	FTP	800kB	80
Transmisión de imágenes médicas	Imagen		N°256
- teleradiología	B/N	1MB	46
- telepatología	color	9MB	285
Video-conferencia	Vídeo		N°512
- Telepsiquiatría	analógico	800kB	534
- Teledermatología	dig-H.263	140kB	15
- Teleneurología	dig-30fps	2MB	1250
- Emergencias, urgencias	dig-compr	253kB	87
SF			
Sonidos corporales	Audio	7MB	128(*)
Vídeo de ultrasonidos	Vídeo	24MB	384(*)
Información relative al paciente	Texto-Datos		64(*)
Historial Clínico Electrónico(HCE)	PDF	80kB	
Señales biomédicas pre-adquiridas	Bio-Datos		256(*)
- Electrocardiografía (EKG)	EKG	40MB	
- Test Holter (EKG continuo)	Holter	692MB	
- Electroencefalograma (EEG)	EEG	2MB	
- Estudio del sueño	EEG	664MB	
- Electroecografía (ECO)	ECO	384MB	
Imágenes fijas pre-adquiridas	Imagen		512(*)
- Radiografía conmutada (CR)	RADIO	96MB	
- Mamografía (rayos X)	MAMO	267MB	
- Tomografía Axial Computerizada	TAC	14MB	
- Resonancia Magnética Nuclear	RNM	28MB	
- Ganmagráfía y cartografía	GANMA	28MB	
- Angiografía digital por sustracción	DIVAS	3.5MB	
- Imagen digitalizada	Digital	67MB	

(*) Ancho de banda recomendado para uso en telemedicina

3. Servicios multimedia

Un servicio de telemedicina suele consistir en la interacción sobre una red de comunicaciones entre médico-paciente (e.g. atención domiciliaria), médico-médico (e.g. telediagnóstico), o médico-especialista (e.g. emergencias). Todo servicio debe definir, como requisitos tecnológicos, el tipo y volumen de información a transmitir, y los recursos necesarios para garantizar su QoS.

I. Tipo de información a transmitir. Los tipos de datos asociados a servicios de telemedicina suelen ser multimedia. Para su correcta evaluación es necesario conocer su naturaleza, su generación, las técnicas de compresión que emplean y las restricciones que presentan (retardos, sincronismo, etc.). Así, se distingue entre los formatos:

- **Audio.** Es una señal eléctrica en un rango de frecuencias de 20Hz-20kHz, que puede ser de calidad telefónica (64kb/s) o de alta fidelidad (1.4Mb/s) y que requiere mínimo retardo. Usa multitud de *codecs* (*Adaptive Multi-Rate* (AMR), G.7xx, etc.). Lo habitual es asociar su flujo con tráfico a ráfagas (*talk spurts*) según un modelo *on-off*.
- **Datos (texto y gráficos).** Son una representación binaria (8bits/carácter) de puntos, líneas, curvas, trazos, etc. En media, genera archivos de decenas de kB. En general, no hay un patrón de comportamiento uniforme sino que suelen tener comportamientos muy diferentes según el protocolo usado (FTP, HTTP, etc.). Así, se modelan con distintas distribuciones probabilísticas como exponencial, pareto, gamma o weibull.
- **Imágenes fijas.** Se forman como la captura digitalizada a partir de una imagen real. Este conjunto de *pixels* (usualmente 640 x 480, ó 1024 x 768) se representa con 2^m bits ($m=1$ en grises, y $m=5, 6$ en color). Aunque se usa una amplia variedad de codificadores y métodos de compresión (en media, se obtienen tamaños de cientos de kB), suele asociarse a tráfico *Constant Bit Rate* (CBR).
- **Imágenes en movimiento (Vídeo).** Se compone de una secuencia temporal de imágenes (*frames*). Este flujo (habitualmente, 15-30 *frames* por segundo, *fps*) genera una sensación de movimiento que se asocia, en general, a tráfico *Variable Bit Rate* (VBR) y *codecs* H.263 y H.261. Este modelo recoge muy bien las tendencias predictivas autoregresivas, dada la alta redundancia espacial (cambios de píxeles) y temporal (cambios de secuencias).

II. Volumen de información a transmitir. Este aspecto es fundamental en el estudio pero es específico de cada escenario de evaluación elegido ya que está en función del número de usuarios, la utilización del servicio, las situaciones de simultaneidad, el nivel de restricciones, etc. Así, su análisis se muestra en la siguiente sección.

III. Recursos para garantizar QoS. La red de interconexión es un aspecto clave en el éxito de un servicio de telemedicina. Existen diversos tipos de redes con diferentes requisitos tecnológicos a cumplir para garantizar la QoS del servicio de telemedicina (ver *Tabla II*). Para una correcta evaluación es necesario conocer sus parámetros básicos a monitorizar: *BandWidth* (BW), *End-to-End Delay* (EED) y *Packet Loss Rate* (PLR); así como sus valores típicos para cada tecnología. Las principales son:

TABLA II. TECNOLOGÍAS DE RED PARA TELEMEDICINA.

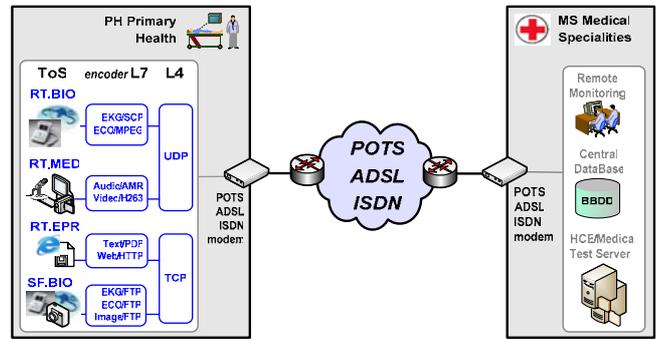
Tecn	recursos usuales			usabilidad en telemedicina				
	BW (b/s)	PLR (%)	EED (ms)	BW	PLR	EED	coste	global
POTS	< 56k	< 10	$\sim 10^{-3}$	normal	mala	buena	alta	normal
xDSL	< 256k	< 5	$\sim 10^{-3}$	buena	normal	buena	alta	buena
ISDN	< 128k	< 1	$\sim 10^{-6}$	alta	alta	alta	normal	alta
ETH	< 100M	< 3	$\sim 10^{-7}$	alta	buena	alta	alta	buena
FR	< 2M	< 1	$\sim 10^{-4}$	buena	alta	buena	buena	buena
ATM	< 155M	< 1	$\sim 10^{-5}$	alta	alta	alta	no	no
GPRS	< 64k	< 5	$\sim 10^{-3}$	normal	normal	buena	buena	normal
UMTS	< 384k	< 3	$\sim 10^{-4}$	buena	buena	buena	normal	buena

- *Plain Old Telephone System (POTS)*. Permite transmisión de voz y, con bajas prestaciones, de datos sobre línea analógica (56kb/s). Tiene alta disponibilidad pero no alta calidad. Puede ser adecuada en servicios de telemedicina (no RT), como tele-dermatología SF o tele-diagnóstico.
- *Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)*. Proporciona una modulación de señal (24-1104kHz) que permite transmisión simultánea de voz y datos sobre dos módems *Asymmetric Terminal Units (ATU)*. La tasa en el enlace central-usuario (*downstream*) es de 256kb/s-1.5Mb/s, y en el enlace usuario-central (*upstream*) es 64-256kb/s. ADSL puede ser adecuada para atención domiciliaria y asistencia en entorno rural, pero no es aconsejable en comunicaciones *duplex*, en las que se suele usar xDSL que aporta enlaces simétricos (e.g. videoconferencia).
- *Integrated Services Digital Network (ISDN)*. Proporciona conexiones digitales de tasa garantizada y alta calidad. Es una tecnología síncrona que permite servicios multimedia de voz y datos sobre Interfaces Básicos y Primarios (BRI y PRI) con canales B (64kb/s, usualmente agrupados en N·64kb/s). Es adecuado para aplicaciones interactivas: monitorización de pacientes (1B), videoconferencia o telepatología RT (2B), dermatología o radiología (4B ó 6B).
- *Ethernet*. No garantiza BW ya que su caudal depende de la congestión. En media, proporciona 100Mb/s (Fast-Eth), 1Gb/s (GEth) y 10Gb/s (10GEth) en redes LAN.
- *Frame Relay (FR)*. Proporciona, para entornos WAN, tasas de 2Mb/s mediante el parámetro de caudal contratado *Committed Information Rate (CIR)*. Puede ser adecuado para conexiones inter/intra-hospitalarias y transmisión masiva de archivos médicos.
- *Asynchronous Transfer Mode (ATM)*. Garantiza BW y QoS para sus distintas categorías (34Mb/s-2Gb/s). La tasa media es de 155Mb/s pero la disponibilidad de esta tecnología (debido a su alto coste) está limitada, y su implantación real no siempre es posible en telemedicina.
- *General Packet Radio Service (GPRS)*. Esta tecnología aún se limita a tasa de transmisión bajas (similares a POTS) pero con alta flexibilidad. Puede ser útil en asistencia domiciliaria (por ej. monitorización de eventos)
- *Universal Mobile Telephone Service (UMTS)*. Incrementa las tasas (2Mb/s) de GPRS y puede ser útil en situaciones de emergencia que requieran conexiones RT.

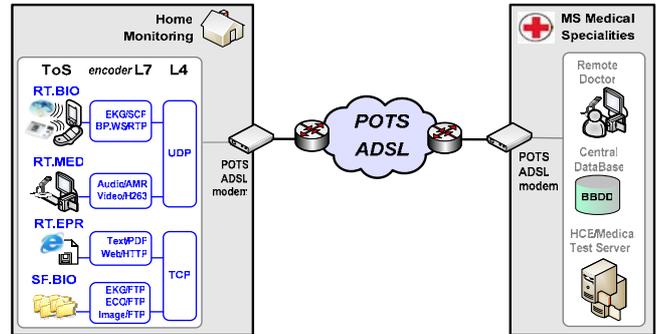
4. Escenarios de evaluación

A partir de estas consideraciones previas, se presentan los escenarios de evaluación más representativos (ver Fig. 2). Incluyen los principales servicios (ToS) enunciados en la Tabla I, sus *encoders* y protocolos de transporte asociados, así como las tecnologías más adecuadas para telemedicina evaluadas en la Sección 3 (ver Tabla II). La evaluación de QoS difiere en cada escenario específico:

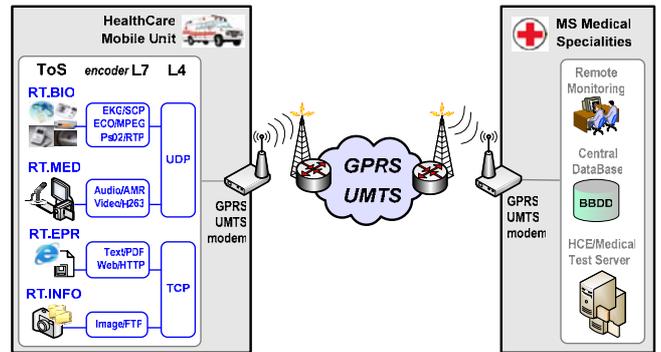
- En entornos rurales o domiciliarios, interesa caracterizar el servicio para analizar cuántas aplicaciones simultáneas pueden satisfacer los requisitos mínimos de rendimiento y de calidad subjetiva percibida por médico y paciente.
- En entornos móviles, interesa adecuar el tráfico generado a las condiciones variables de la red de forma adaptativa.
- En entornos intra/inter-hospitalarios, en los que la red es conocida, interesa poder modificar las configuraciones de los *buffers* intermedios (política de colas, control de flujo, protocolos de transporte, etc.) para optimizar el servicio.



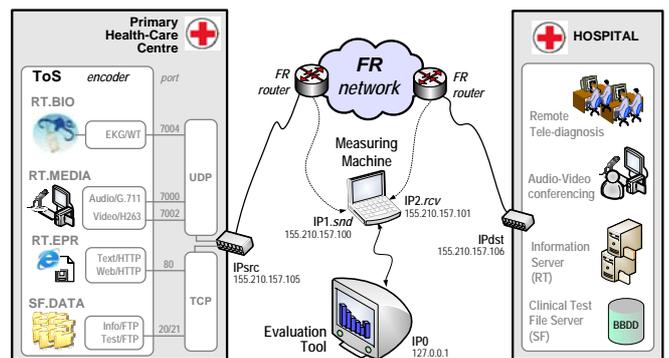
(a) Entorno rural: centros de atención primaria.



(b) Entorno domiciliario: teleasistencia y telemonitorización.



(c) Entorno móvil: urgencias y emergencias.



(d) Entorno hospitalario: tediagnóstico.

Fig. 2. Escenarios de evaluación en telemedicina.

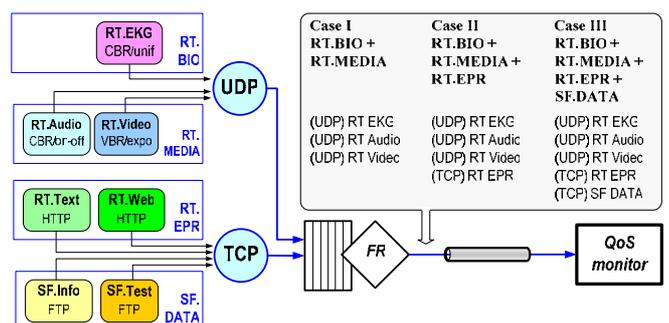
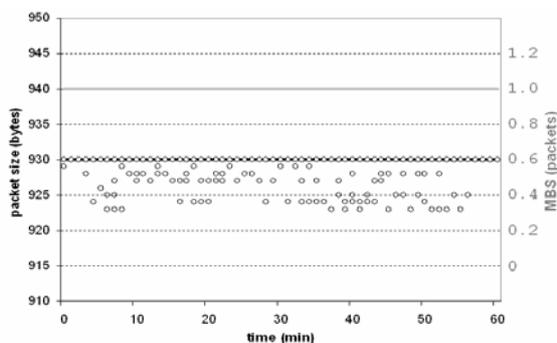


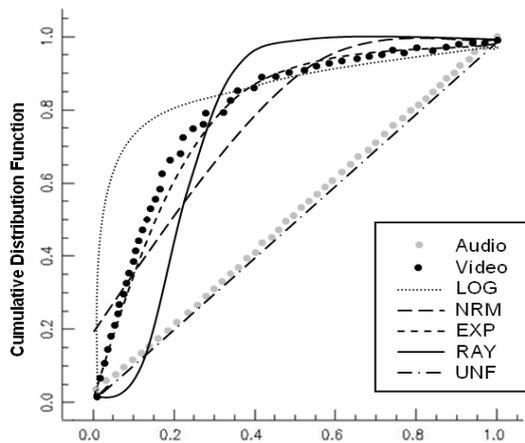
Fig. 3. Modelo de simulación asociado al escenario de Fig. 2(d).

5. Evaluación técnica de QoS.

Se presenta un ejemplo de evaluación con la herramienta presentada sobre el último de los escenarios planteados: telediagnóstico sobre entorno hospitalario. Fig. 3 presenta el modelo de simulación asociado al escenario de Fig. 2(d) que, en paralelo, se instaló en un laboratorio de pruebas. Para el servicio de RT.EKG, Fig.5(a) muestra que los tamaños de muestras son prácticamente constantes en todos los casos con un tamaño máximo de ráfagas (*Maximum Burst Size*) de $MBS=1$. Esto indica una tasa de emisión uniforme, acorde con un modelo CBR. Para los servicios RT.Audio y RT.Vídeo, como se aprecia en Fig. 5(b), la comparativa de las funciones de distribución (CDF) con los modelos clásicos (log-normal (LOG), normal (NRM), exponencial (EXP), Rayleigh (RAY), y uniforme (UNF)) muestra comportamientos uniforme y exponencial, que implicarían que dichos servicios pueden caracterizarse como CBR y VBR, respectivamente. Esta caracterización se completa con el modelado y optimización del servicio según los recursos disponibles analizando tres casos: *caso I* (transmisión RT de EKGs con soporte de audio y vídeo-conferencia), *caso II* (añadiendo actualizaciones periódicas del historial clínico, EPR), y *caso III* (añadiendo el intercambio masivo de pruebas de pacientes). En Fig. 6, el ratio pérdidas/retardo PLR/EED muestra que el servicio RT.EKG siempre cumpliría los requisitos exigibles de QoS, mientras que el de RT.Audio sólo sería aceptable con $CIR > 128 \text{ kb/s}$, y RT.Vídeo (la situación más restrictiva) requeriría, al menos, $CIR > 192 \text{ kb/s}$. El estudio de capacidad en Fig. 7, muestra el reparto de BW para cada caso estudiado. Los casos I y II cumplen los umbrales de QoS mientras que en el caso III, el envío masivo de datos (sobre TCP) hace que se sobrepase el BW disponible (salvo para $CIR=256 \text{ kb/s}$). En resumen, los resultados muestran cómo pueden elegirse las situaciones adecuadas para optimizar las características del servicio a los recursos de red disponibles.



(a) Servicio RT.EKG



(b) Servicios RT.Audio y RT.Vídeo

Fig.5. Caracterización de los servicios de telemedicina.

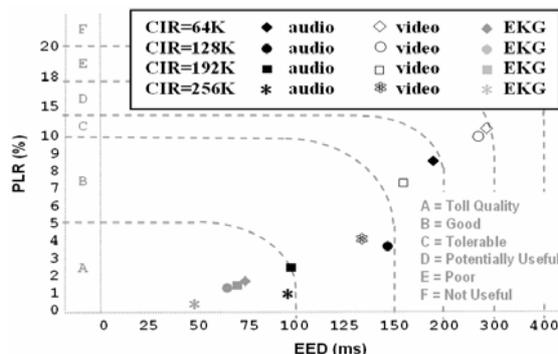


Fig.6. Ratio PLR/EED para servicios RT (audio, video y EKG) en caso I según BW disponible ($CIR=64, 128, 192, 256 \text{ kb/s}$).

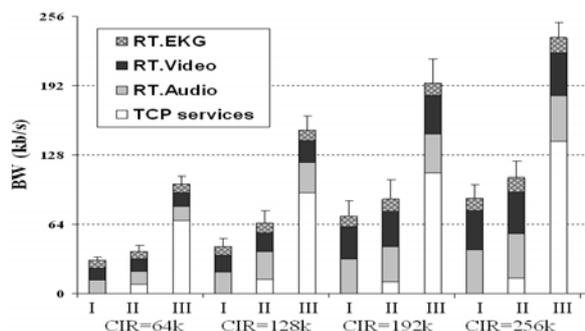


Fig.7. Distribución de BW para servicios UDP y TCP según los codecs utilizados y los recursos disponibles.

6. Conclusiones

Se ha presentado una evaluación técnica de QoS para los servicios sanitarios basados en telemedicina, estudiando el tipo de información multimedia asociada, y las tecnologías de red más adecuadas para su implantación. Según una metodología basada en una herramienta automatizada, se ha analizado el reparto de recursos en un entorno hospitalario y se ha estudiado cómo puede optimizarse la QoS según la capacidad disponible. El trabajo propuesto constituye una metodología útil de evaluación que permite medir la QoS, caracterizar los servicios de telemedicina, modelarlos y optimizar su diseño e implementación según los recursos.

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) TS12004-04940-C02-01, de Telefónica Móviles, y de los Fondos de Investigación Sanitaria (FIS) FISG03/117.

Referencias

- [1] G. Fortino and L. Nigro, "A methodology centered on modularization of QoS constraints for the development and performance evaluation of multimedia systems", *Annual Simulation Symp.*, pp. 177-184, 2000.
- [2] R. Holle and G. Zahlmann, "Evaluation of telemedical services", *IEEE Trans Inf Technol Biomed.*, 3(2):84-91, 1999.
- [3] S. de Lusignea et al, "Compliance and effectiveness of 1 year's home telemonitoring. The report of a pilot study of patients with chronic heart failure". *Eur J Heart Fail.*, 3(6):723-30, 2001.
- [4] M. Maheu, P. Whitten, A. Allen, "E-health, telehealth and telemedicine: guide to start-up & success", *Jossey-Bass*, 2001.
- [5] K. Zielinsky, "Krakow Centre of Telemedicine – Developing the Platform for Regional Telemedical Networks", *Proc. Conference 'E-health in Common Europe'*, 2003.
- [6] D. Caramella and S. Giordano "An advanced IP based telemedicine trial supporting quality of service for multimedia teleconsulting", *International Conference EuroPACS*, 2000.
- [7] I. Martínez, J.Salvador, J. Fernández, J. García, "Traffic requirements evaluation for a Telemedicine network", *International Congress on Computational Bioengineering ICCB'03*, pp. 389-394, 2003.
- [8] I. Martínez and J. García, "SM3-Quality of Service (QoS) evaluation tool for Telemedicine-Based New Healthcare Services", *International Congress on Computational Bioengineering ICCB'05*, accepted, 2005.