

QoSM3. Herramienta de modelado de tráfico y tomografía de red para servicios de telemedicina

I. Martínez, A. Valero, E. Viruete, J. Fernández, J. García

Grupo de Tecnología de las Comunicaciones (GTC). Instituto de Investigación de Ingeniería en Aragón (I3A)
Centro Politécnico Superior (CPS). Universidad de Zaragoza (UZ).
Edificio Ada Byron. Campus Río Ebro. c/María de Luna 3, 50.018 – Zaragoza (Spain)
Teléfono: 976 76 19 45 Fax: 976 76 21 11 E-mail: imr@unizar.es

Abstract. *The wide development of multimedia clinical applications and the use of inter and intra-hospital communication networks require a specific analysis to increase healthcare services efficiency. In this paper we propose a processing toolbox (QoSM3) for technical evaluation of Quality of Service (QoS) traffic requirements in new healthcare services based on telemedicine. This tool consists of the multimedia service definition and the measurement and modelling processes which permit to analyse QoS requirements and to optimize application design regarding available network resources. The proposed methodology has been tested to evaluate real-time and store&forward medical services.*

1 Introducción

Las nuevas tecnologías han permitido que los servicios de telemedicina hayan experimentado un importante avance y desarrollo en los últimos años. Para extraer el máximo beneficio de estos nuevos servicios, resulta imprescindible definir una metodología precisa para caracterizar los requisitos planteados en la transmisión de la 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].

En este instante surge la necesidad de optimizar la calidad de servicio (*Quality of Service*, QoS) que se obtiene de dichos servicios de telemedicina [4]-[5]. Para ello, es crucial el estudio de dos aspectos: la naturaleza de la información biomédica a transmitir, y el comportamiento de las redes que la transportan. La información asociada a las aplicaciones médicas requiere un conocimiento detallado y una caracterización de modelos que las definan [6]. Igual que la variabilidad de las prestaciones (p.ej. las infraestructuras móviles) y la heterogeneidad de las interconexiones (p.ej. Internet) requieren medir y modelar las redes de interconexión [7]-[8].

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 que atraviesan. Esto permitiría mejorar la QoS de las comunicaciones e-sanitarias, buscando que sea óptima en cada momento [9]-[10].

Establecer modelos a partir de medidas de red significa monitorizar la red inferencialmente, con el objetivo de obtener información para la posterior actuación. Esta disciplina telemática se conoce como tomografía de red [11]. Existen diversas aplicaciones desarrolladas en esta monitorización inferencial y suelen obtener una caracterización de la topología de la red a partir de la estimación de valores de algoritmos de encaminamiento [12]. Otros trabajos se centran en obtener parámetros de QoS para modelar no solo la topología, sino los propios servicios generadores del tráfico [13].

Así, cuando se hace un estudio de modelado de tráfico para ofrecer QoS, es imprescindible contar con modelos de las fuentes y de las redes que van a componerlo: entender la dinámica del tráfico, y usar ese conocimiento en el diseño; el papel de ingeniero de teletráfico [14] sería de realimentación donde las medidas informan sobre su comportamiento y los criterios de QoS definen su funcionamiento. Este planteamiento estructuralista (a diferencia de los trabajos clásicos basados en modelos conductistas [15], que imitan las propiedades estadísticas del tráfico resultante sin tener en cuenta la generación del mismo) es más exacto [16] ya que, si el objetivo del modelado es entender la dinámica del mismo, ese conocimiento es el que debe emplearse para diseñar, gestionar, y controlar los servicios y redes existentes y futuros. Este proceso, además, intenta apoyarse en la parsimonia; es decir, que el modelo completo pueda ser definido mediante un conjunto reducido de parámetros (distribución probabilística, valores medios, desviaciones típicas, correlación, autosimilitud, etc.) que, por lo general, suelen denotar un significado físico (tiempo entre sucesos, duración de los mismos, etc.).

En este artículo, se propone una herramienta para el modelado del tráfico y la tomografía de red a partir de simulaciones y medidas experimentales, siguiendo requisitos de QoS en los nuevos servicios sanitarios. Estos modelos son específicos para telemedicina (ya que integran usuarios dispersos, con aplicaciones sanitarias de diversa naturaleza y redes hospitalarias heterogéneas), pero podrían ser válidos para cualquier escenario multimedia en que se exija QoS.

En la sección 2 se describe la topología básica del escenario de estudio, la metodología de evaluación seguida, y las variables definidas en la analítica. En la sección 3 se presenta la herramienta QoSM3 de caracterización y modelado. Esta herramienta tiene como objetivo la optimización del diseño de las aplicaciones e incluye diversas técnicas y algoritmos para calcular los diferentes parámetros de QoS. Los resultados obtenidos y su aplicación a la evaluación de los nuevos servicios de telemedicina sobre diferentes entornos de red se discuten en la sección 4.

2 Descripción de la herramienta

La implementación de nuevos servicios sanitarios basados en telemedicina requiere una evaluación técnica para estudiar su implementación bajo diferentes condiciones de red. Por ello, se ha desarrollado un proceso automatizado para la medida de los parámetros de QoS y el modelado del servicio multimedia basado en la herramienta *Service M3* (*Multimedia Measurement & Modelling*) [17]. *Service M3* incluye tres módulos: uno de definición multimedia que traduce los requerimientos clínicos en parámetros telemáticos; otro de medida que captura tanto el tráfico experimental *-RealM3-* como el simulado *-SimulatedM3-* en formato homogéneo; y un último módulo común de modelado (ver Fig. 1).

Este último módulo *-QoSM3-* recibe como entrada un fichero de trazas, obtenido a partir de las medidas o simulaciones previas, y genera un modelo completo del tráfico y de la red. Incluye una herramienta que permite representar gráficas y estadísticas en un formato portable que facilita la evaluación. De esta forma, la interpretación y comparación de resultados (no sólo entre diferentes pruebas de un mismo escenario, sino de la misma prueba en diferentes escenarios) permite caracterizar el comportamiento del servicio para evaluar el sistema completo. Todas estas utilidades conforman el paquete (*toolbox*) programado en C, que se divide en tres bloques:

2.1 QoSM3 Básico

Este bloque implementa un análisis básico, previo al diseño del servicio y con vistas a caracterizarlo, que describe sus aspectos elementales. Incluye el cálculo de las tasas medias y de pico, *SDR* y *PDR* en (1), para un intervalo de muestras n elegido, y la estimación de latencia, tiempo de transmisión, y retardos significativos incluidos en el Apéndice I (ver Fig. 2): retardo de transmisión ($t'_{c,i}$), procesado ($p'_{c,i}$), espera en cola ($q'_{c,i}$), acceso al medio ($a'_{c,i}$), propagación (d'_{prop}), etc.

2.2 QoSM3 Aplicación

Este bloque contiene métodos de análisis y ajuste probabilístico para y modelar el comportamiento del tráfico observado [18]. Permite una validación estadística para una o varias conexiones simultáneas, pudiendo realizar medidas individuales o conjuntas (*cross-traffic*). Estudia el rafagueo de las fuentes sobre el escenario propuesto (módulo de ráfagas), y analiza el nivel de ocupación de los *buffers* intermedios, así como otros parámetros de red que se ven afectados por el comportamiento del tráfico que la atraviesa (módulo de flujo). Así, la conjunción de ambos módulos persigue una caracterización completa del tráfico observado que permitiera adecuar la QoS del servicio según los requisitos establecidos para telemedicina. Se divide en:

A. Módulo de ráfagas.

A partir de los parámetros de entrada, estima el tamaño máximo de ráfaga *MBS* en (2), y la tolerancia a ráfagas *BT* en (3). Además, para la caracterización, evolución y comportamiento de las fuentes de tráfico (aisladas y/o multiplexadas) calcula variables de utilidad mediante un proceso de dos fases:

- Caracterización de primer orden [19], calculando valores estadísticos como media μ y varianza σ^2 , histogramas $h(i)$ en (4), funciones de densidad *PDF* en (5), de distribución *CDF* en (6), etc.
- Caracterización de orden superior [20], implementando herramientas de análisis y cuantificación del rango de dependencia temporal de las muestras capturadas como la autocorrelación en (7) o el grado de subexponencialidad en (8).

Peak & Sustained Data Rate (PDR & SDR)	$PDR_i = \frac{S_i}{\Delta t_i} \rightarrow SDR_i^n = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^n}{t_{i+n} - t_i}$	(1)
Maximum Burst Size (MBS)	$MBS = \left\lceil 1 + \frac{BT}{T_s - T} \right\rceil$ with $\frac{PDR}{SCR} = 1/T_s$	(2)
Burst Tolerance (BT)	$BT = (MBS - 1) \cdot \left(\frac{1}{SDR} - \frac{1}{PDR} \right)$	(3)
Histogram (for an interval $i \in [r_{i-1}, r_i]$ between L_h)	$h(i) = \sum_{n=1}^N I_{[r_{i-1}, r_i]}(\Delta t_{[n]})$ with $i = 1, \dots, L_h$ and $I_{[r_{i-1}, r_i]}(\Delta t_{[n]}) = \begin{cases} 1 & \text{if } r_{i-1} \leq \Delta t_{[n]} < r_i \\ 0 & \text{other cases} \end{cases}$	(4)
Probability Density Function (PDF)	$\hat{f}_M(\Delta t) = \sum_{i=1}^{L_h} I_{[r_{i-1}, r_i]}(\Delta t_i) \cdot \frac{h(i)}{N \cdot (r_i - r_{i-1})}$	(5)
Cumulative Distribution Function (CDF)	$\hat{F}_M(\Delta t) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{L_h} I_{[r_{i-1}, r_i]}(\Delta t_i) \cdot \left(\frac{\sum_{j=1}^i h(j)}{N} \right) & \text{si } \Delta t_i < \max(\Delta t_{[n]}) \\ 1 & \text{si } \Delta t_i > \max(\Delta t_{[n]}) \end{cases}$	(6)
Autocorrelation	$\hat{R}_{xx}(k) = \frac{1}{\sigma_{xx}^2 (N-k)} \sum_{i=1}^{N-k} (\Delta t_i - \mu)(\Delta t_{i+k} - \mu)$	(7)
Subexponenciality (Hill estimator)	$\hat{\alpha}(k) \propto \left[\frac{1}{k} \sum_{i=1}^{k-1} \text{Log} \left(\frac{\Delta t_{[N-i+1]}}{\Delta t_{[N-k+1]}} \right) \right]^{-1}$	(8)
Utilization factor (normalized)	$\rho^* = \frac{\rho}{\rho_{\max}} = \frac{C_e/C}{C_{e\max}/C} = \frac{C_e}{C_{e\max}}$	(9)
BW Estimation (BE)	$BE_i = \alpha_k \cdot BE_{i-1} + \left(\text{with } \alpha_k = \frac{2\tau - \Delta t_k}{2\tau + \Delta t_k} \right) + \frac{1}{2}(1 - \alpha_k)(BW_i + BW_{i-1})$	(10)

Tabla 1. Algunas expresiones teóricas usadas en QoSM3.

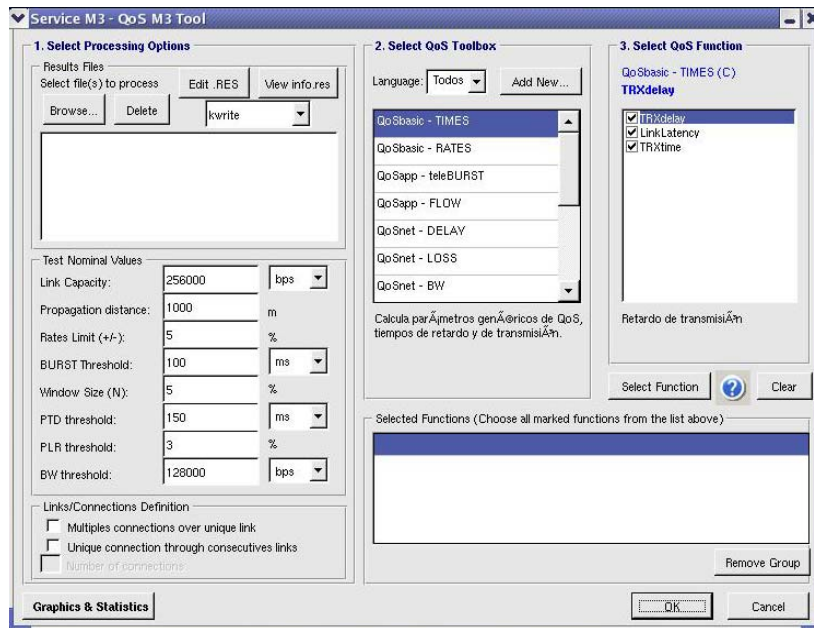


Fig. 1. Captura gráfica de la herramienta QoSM3.

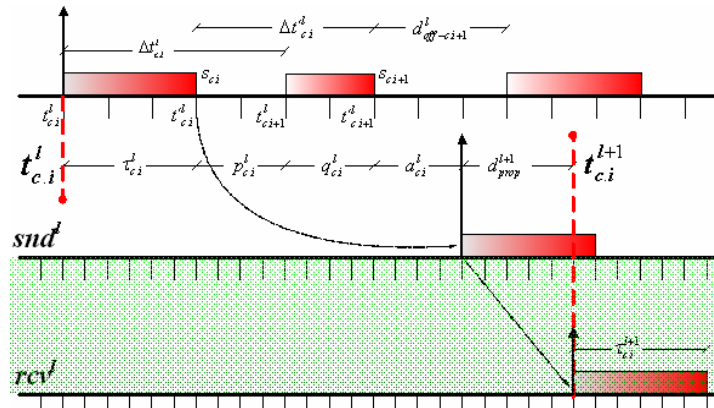


Fig. 2. Parámetros usados en el estudio (ver Apéndice I).

B. Módulo de flujo.

Este módulo aporta valor añadido al análisis estadístico realizado en el anterior. Calcula una serie de parámetros relacionados con el dimensionado de los *buffers* intermedios: tamaño total, ocupación instantánea, ocupación media, *throughput* en función de la capacidad nominal (C) del canal, factor de utilización ρ^* en (9), etc. Este factor ρ^* mide la relación entre el caudal real de datos y la carga media total ofrecida (que engloba el número de nodos, el tiempo medio entre llegadas y el tamaño de las tramas, conjuntamente), que coincidiría con el caudal eficaz (C_e) en un sistema sin pérdidas. Este valor siempre será, por tanto, menor que el máximo, $C_{e_{\max}}$, y por ello se normaliza cumpliendo que $\rho^* < 1$.

2.3 QoSM3 Red

La percepción subjetiva de la calidad de la transmisión suele ser valorada generalmente según tres parámetros: retardo, pérdidas y ancho de banda. Este bloque calcula dichos parámetros y los referencia a los umbrales de QoS asumibles en telemedicina. Está dividido en tres módulos:

A. Módulo de retardo.

Este módulo estima diferentes retardos según las condiciones de las medidas o simulaciones (entrada y salida de los *buffers* intermedios, de los enlaces, en los extremos de red, etc). Implementa los parámetros:

- *End-to-End Delay* (EED). Retardo de cada paquete, asumiendo los retardos necesarios indicados en QoSM3 Básico. Los umbrales, según la Unión Internacional Telecomunicaciones (UIT) [21] son:
 - 150ms, para vídeo con codecs H.261 y H.263.
 - 150ms, para audio con codecs G.711 (*Digital Subscriber Line*, DSL) y MRxx (*Global System Mobile*, GSM, y *Universal Mobile Transfer System*, UMTS).
 - 75ms, para *Voice over Internet Protocol* (VoIP) con codecs G.723.1, G.729, G.729A (sobre LAN).
 - 25ms, para telefonía clásica (sobre *Plain Old Telephony System*, POTS).
- *Max-EED*. Representa el $(1-\alpha)$ cuantil de la PDF del EED, donde se pierden las celdas que exceden el máximo. La red ajusta α para pérdidas asumibles.
- *Delay Variation* (DV o *jitter*). Varianza del retardo como diferencia entre retardos consecutivos. Para aplicaciones interactivas es necesario garantizar una probabilidad tal que $P[\text{jitter} > 20\text{ms}] < 10\%$.

B. Módulo de pérdidas.

Este bloque cuantifica el nivel de pérdidas del sistema y caracteriza su comportamiento. Implementa el cálculo de *Packet Loss Rate (PLR)* como tasa de paquetes perdidos y muestra su evolución temporal y asociada a cada paquete transmitido. El diseño está implementado sobre aplicaciones basadas en *User Datagram Protocol (UDP)*, mayoritarias en los servicios RT analizados en telemedicina. La inclusión de técnicas fiables de medida sobre *Transfer Control Protocol (TCP)* para el estudio de control de flujo y control de errores está en fase de desarrollo. Aun en estos casos, la tasa de pérdidas sirve de indicador de congestión, observando la influencia de las retransmisiones en la comunicación. Para el caso de escenarios simulados, sin embargo, sí se encuentra operativo el procesado. A nivel teórico, igual que en el caso anterior, los umbrales de QoS asumibles para la PLR propuestos por la UIT [21] son:

- 0.10, para tecnologías FR y ATM.
- 0.05, para tecnologías ADSL.
- 0.03, para tecnologías UMTS.
- 0.01, para tecnologías LAN.

Además, este bloque también calcula la relación PLR vs EED, que permite valorar los servicios desde una perspectiva global. Esto ayuda a evaluar las prestaciones globales de QoS ofrecidas por el sistema completo, no sólo en cuanto a pérdidas o a retardo sino a la combinación de ambos parámetros.

C. Módulo de ancho de banda.

Este bloque completa la caracterización de QoS ya que es uno de los descriptores básicos de cualquier sistema de comunicación. Calcula parámetros determinantes para identificar los enlaces más restrictivos como aquellos que presentan menores recursos y, por tanto, limitan la capacidad global de la transmisión. Este ancho de banda máximo (*BandWidth, BW*) se refiere a los recursos de capacidad utilizables en un momento dado por las distintas aplicaciones que comparten un enlace. A partir de estos indicadores, detecta los cuellos de botella (*bottleneck*) como aquellos que acotan el BW disponible (*available BandWidth, aBW*) y que van a marcar, inevitablemente, los mínimos de capacidad para cada conexión. También evalúa el reparto de BW entre cada una de las aplicaciones para identificar los tráficos de no interés (*noise-traffic*) y el tráfico cruzado (*cross-traffic*).

Finalmente, este bloque implementa técnicas de cálculo instantáneo, acumulado y promediado para observar su evolución. Además, se incluye un algoritmo de estimación adaptativo, BE en (10), utilizando como factor de ponderación el retardo medido (si es extremo a extremo, EED; en general, indicando τ_e) según una ventana temporal (Δt_k) [22]. Con esta medida se obtiene una cuantificación muy interesante dependiente del retardo que contribuye, al igual que en la comparativa del bloque anterior (PLR vs EED) a una valoración global de la QoS.

3 Ejemplo de evaluación de servicio

Para el análisis de QoS se ha seguido una metodología de evaluación técnica presentada en un trabajo anterior [17] sobre el escenario planteado en Fig. 3, que incluye las siguientes características:

- **Modelo de aplicación.** Con dos tipos de servicios:
 - *Real Time, RT*, basados en *codecs Adaptive MultiRate (AMR)* para audio a 12.2Kbps, H.263 para vídeo uniforme a 16Kbps, y *RT Transport Protocol (RTP)* para transmisiones de señales electrocardiográficas (ECG) a 5Kbps.
 - *Store&Forward, SF*, basados en sesiones Telnet y Web, y transmisión *File Transfer Protocol (FTP)*.
- **Modelo de red de acceso:** Ethernet conmutada, correspondiente a un acceso de *Local Area Network (LAN)* intra-hospitalaria que multiplexa un número variable de conexiones RT y SF.
- **Modelo de red troncal:** Basada en tecnologías *Frame Relay (FR)* y *Asynchronous Transfer Mode (ATM)*, correspondientes a conexiones *Wide Area Network (WAN)* inter-hospitalarias.

El proceso de evaluación, como se ha explicado en la sección 2, se basa en un fichero de trazas obtenidas tanto en un entorno real de pruebas de laboratorio, como en su equivalente de simulación. El planteamiento teórico, según el escenario de red propuesto, considera una serie de datos por defecto incluidos en el Apéndice I: número de enlaces (L), distancia de propagación, (D_{prop}), y tiempo de bit (d_{bit}) como inversa de la capacidad nominal de transmisión (C). A partir de ellos y de las trazas de tráfico, se genera una estructura de datos formada por cuatro parámetros (definidos para cada conexión c -ésima, medidos en cada enlace l -ésimo, e identificados para cada paquete i -ésimo como $x_{c,i}^l$): marca temporal *timestamp* ($t_{c,i}^l$), tiempo entre paquetes ($\Delta t_{c,i}^l$), tiempo de OFF ($d_{off,i}^l$) y tamaño de paquete ($s_{c,i}^l$). Esta información es la base sobre la que se calcula el resto de parámetros que permiten obtener múltiples indicadores de teletráfico, relaciones temporales, etc. El esquema completo del diagrama de tiempos se ha mostrado en Fig.2.

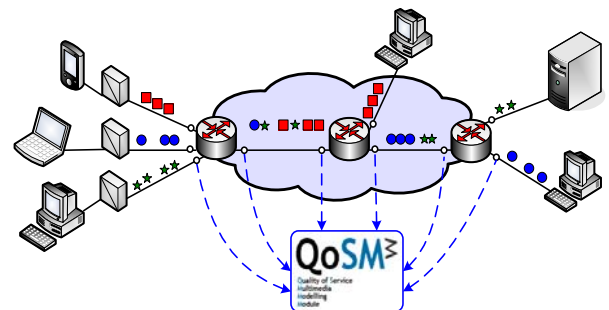


Fig. 3. Escenario genérico de evaluación.

3.1 QoS3 Básico.

Este primer bloque se ha utilizado para caracterizar los aspectos básicos del servicio RT de audio basado en el *codec* AMR en un entorno real de telemonitorización hospitalaria [23]. La naturaleza RT de esta aplicación se podría inferir a partir de la tasa instantánea, de la tasa sostenida y del retardo de transmisión, representados en Fig. 4(a), 4(b) y 4(c), respectivamente. La evaluación conjunta de todos los casos muestra valores de $\Delta t_{c,i}^l$ y $s_{c,i}$ que pueden considerarse de escasa variabilidad. Además, calculando la PDF obtenida en el módulo siguiente (QoS3 Aplicación) se puede concluir que la existencia de sólo dos ocurrencias significativas en $\Delta t_{c,i}^l$ corresponden a un proceso ON-OFF, ver Fig. 5. Todo ello permitiría caracterizar el servicio como tráfico de tasa constante (*Constant Bit Rate*, CBR) a 12.4Kbps según un modelo ON-OFF no homogéneo.

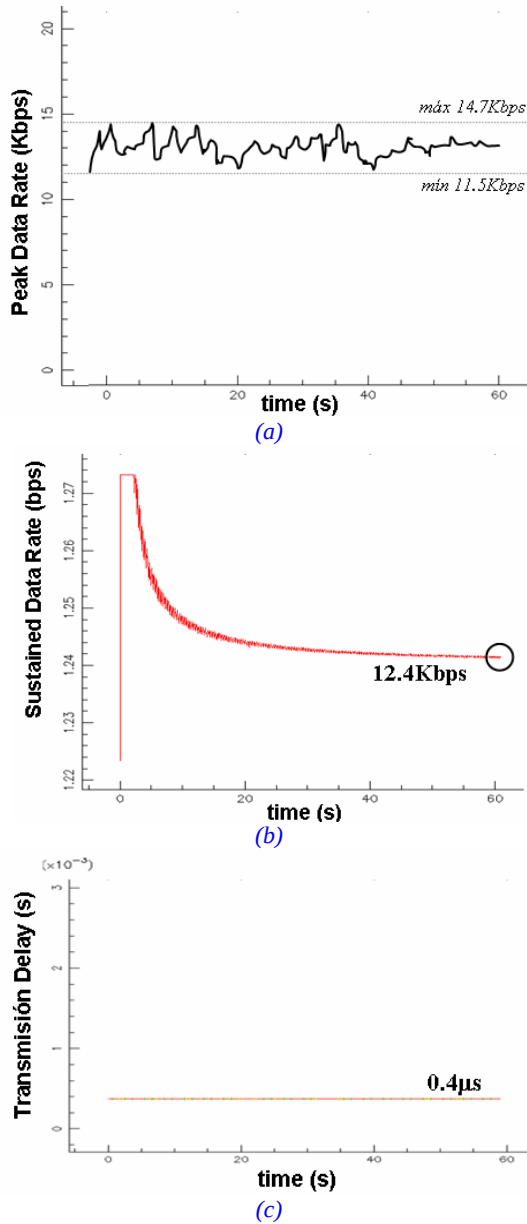


Fig. 4. QoS3 Básico aplicado a servicio RT de audio.
 (a) PDR (bps) (b) SDR (bps) (c) $\tau_{c,i}^l$ (s)

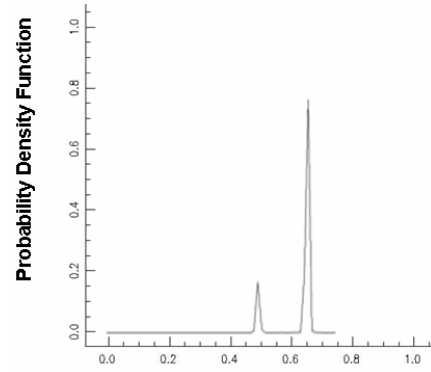


Fig. 5. PDF asociada al servicio RT de audio.

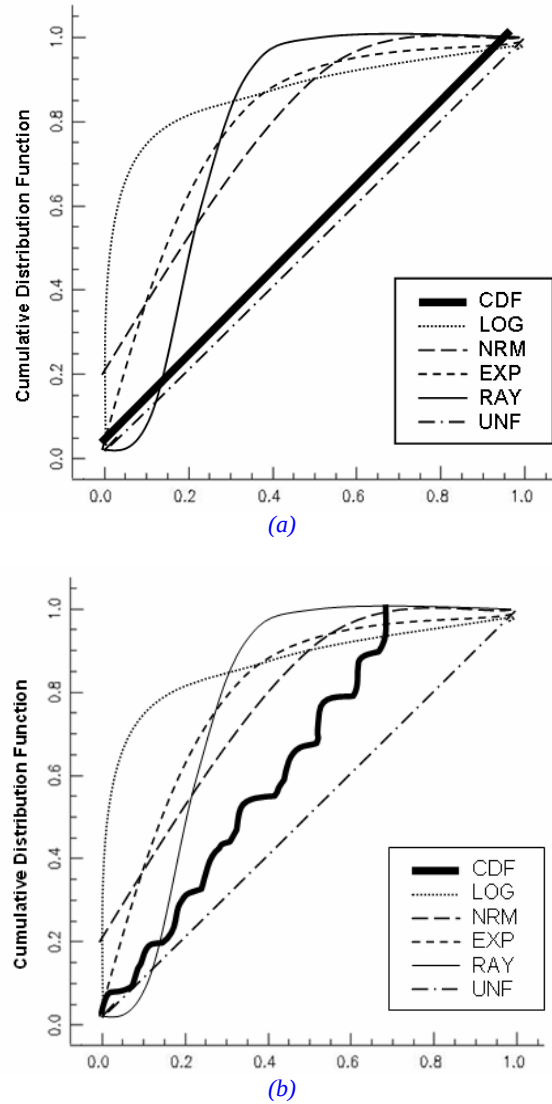


Fig. 6. Comparativa de la CDF medida respecto a las distribuciones clásicas: log-normal, normal, exponencial, Rayleigh, y uniforme para:
 (a) servicio RT de video (b) Netmeeting

3.2 QoSM3 Aplicación.

A partir del módulo de ráfagas implementado en este bloque se puede llevar a cabo el reconocimiento y validación de modelos de tráfico. Como se ha citado, del análisis estadístico de $\Delta t_{c,i}^l$ y $s_{c,i}$, pueden deducirse las características y distribución del tráfico observado, así como equipararlas tanto a las tendencias clásicas del modelado (distribuciones exponencial, Pareto, Rayleigh, normal, log-normal, uniforme, etc.) como a las trazas o réplicas del mismo tráfico en diferentes puntos de observación. Esta idea se plasma para dos servicios RT de vídeo basados en el *codec* H.263 y en el *software* comercial *NetMeeting*, como muestra Fig. 6. Para el primer caso, se aprecia cómo el comportamiento sigue una distribución uniforme, propia del *codec*. Para cuantificar estas tendencias, QoSM3 ofrece la posibilidad de realizar una comparación numérica entre distribuciones estadísticas mediante el test de Kolmogorov-Smirnov (K-S) [24]. Dicho test K-S obtiene la distancia entre distribuciones, a partir de la cual se cuantifica y valora la tendencia que siguen las medidas. En Fig. 7 se muestran los datos calculados para el servicio RT de vídeo H.263, comparando sólo entre muestras significativas del tráfico observado, donde se justifica su tendencia uniforme.

En el segundo caso, de la comparativa de CDF clásica mostrada en Fig. 6 no se concluye una característica evidente, por lo que habría que analizar los estadísticos de orden superior. Así, el rango de dependencia temporal puede evaluarse con la función de autocorrelación (ver Fig.8) y el cálculo del grado de subexponencialidad y del parámetro de Hurst (ver Fig.9). Dichos indicadores se obtienen mediante el estimador de Hill [18] y el método de la varianza de los residuales propuesto por [20], respectivamente. De ambos resultados, estimados para el servicio RT de vídeo *NetMeeting*, se justifica que la variabilidad observada podría seguir una tendencia autosimilar, que posiblemente es debida a la redundancia que genera el *codec* tanto temporal como espacialmente.

Finalmente, este módulo completa al bloque básico, como muestra Fig. 10, donde se aprecian dos valores significativos del tamaño instantáneo de ráfaga para el servicio de audio RT. Esto vuelve a justificar el comportamiento ON-OFF evaluado en Fig. 4 y 5.

Res-soloVideoFPS15_burst.log	
Test K-S (972 muestras comparadas)	

Distribucion Teorica:	expo
Error Med= 0.176813	Var Error = 0.009216
Error MAX= 0.295765	en X = 0.368000

Distribucion Teorica:	norm
Error Med= 0.133121	Var Error = 0.002470
Error MAX= 0.187890	en X = 0.001000

Distribucion Teorica:	logn
Error Med= 0.286837	Var Error = 0.031622
Error MAX= 0.532270	en X = 0.094000

Distribucion Teorica:	rayl
Error Med= 0.174757	Var Error = 0.014007
Error MAX= 0.345548	en X = 0.479000

Fig. 7. Test de Kolmogorov-Smirnov.

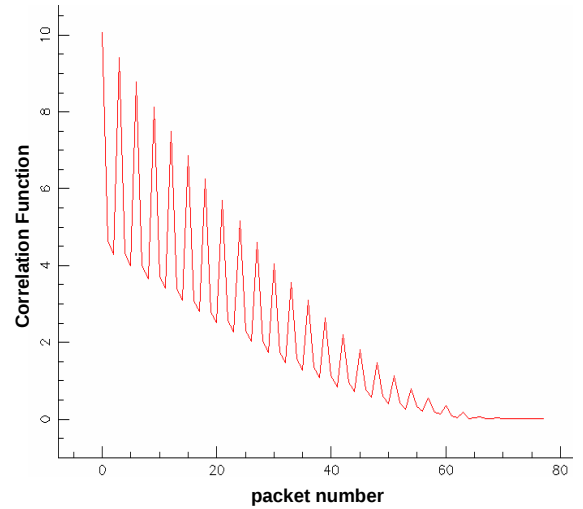


Fig. 8. Función de autocorrelación para el servicio RT de vídeo Netmeeting.

Res-influRecEnvioVideoYAudio	
Subexponencialidad y Fractalidad:	

estimador de Hill	alfa = 0.594672
Varianza de los Residuales	H = 0.820632

Fig. 9. Grado de subexponencialidad y parámetro de Hurst.

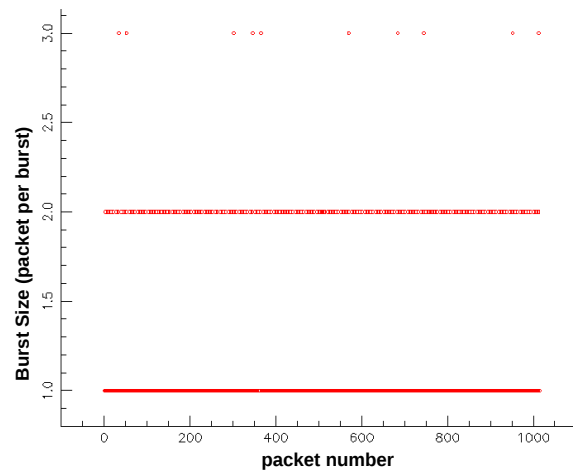
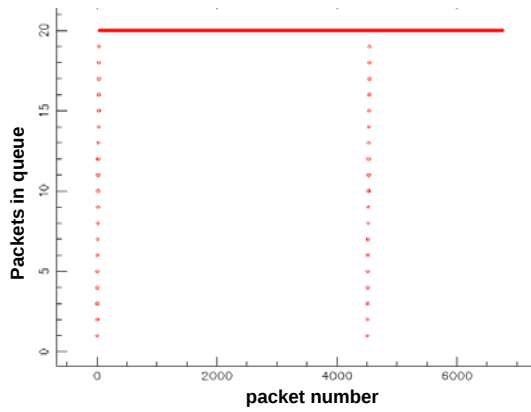
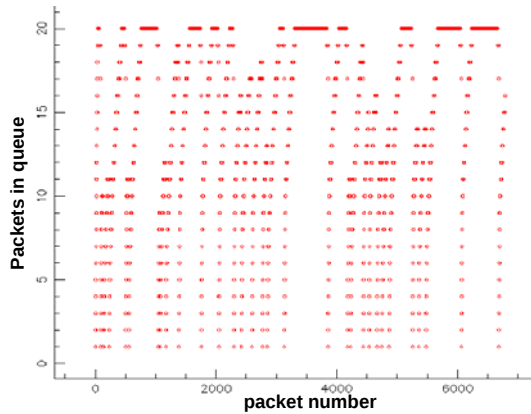


Fig. 10: Tamaño instantáneo de la ráfaga.

Como se introdujo en la sección 3, este bloque incluye un módulo de flujo que complementa el modelado anterior del servicio multimedia, con una caracterización de su comportamiento en un entorno de red, incluyendo el análisis de los *buffers* intermedios. Los resultados analizados corresponden a un servicio SF basado en transmisiones FTP y medido en los distintos puntos intermedios de un escenario simulado como el planteado en sección 2. Un caso representativo se muestra en Fig. 11 que indica el nivel medio de ocupación para capturas en estados opuestos de carga de la red. Así, Fig.11(a) corresponde a una única conexión que no congestiona el enlace y permite una ocupación prácticamente constante ($\rho^* \approx 1$) del *buffer*, de tamaño $Q=20$ paquetes. Fig. 11(b) corresponde a la multiplexación de tres conexiones, que sí congestionan el enlace, y hacen fluctuar el factor ρ^* .

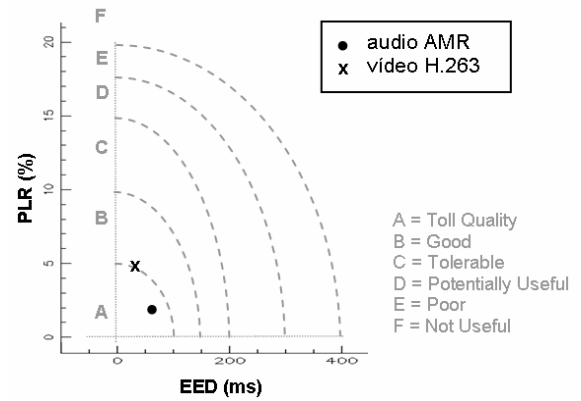


(a)

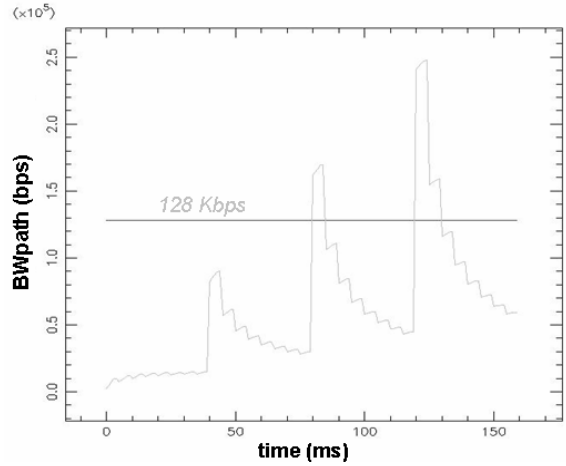


(b)

Fig. 11. Ocupación instantánea del buffer.
(a) Sin congestión. (b) Con congestión.



(a)



(b)

Fig. 12. QoSM3 Red para servicios RT. (a) PLR vs EED.
(b) Evolución de BW sobre un path de 4 enlaces.

3.3 QoSM3 Red.

Los parámetros básicos que evalúa este último bloque son las pérdidas (PLR), el retardo (EED) y el ancho de banda (BW), junto con sus cálculos asociados. Se muestran los datos obtenidos para los servicios RT tanto de audio AMR como de vídeo H.263. Además de los parámetros clásicos, explicados en la [sección 2](#), se han implementado diversas técnicas para estimar el BW a partir de sus valores instantáneos, de promediado basado en ventanas configurables, y de cálculo adaptativo con el estimador definido en (10). Este estimador aporta tendencias muy interesantes ya que utiliza factores de ponderación dependientes del retardo, calculado como estimación de BW de banda extremo a extremo. Esta doble estimación hace más fiables los valores y permite anticiparse a las posibles situaciones de congestión que se den en la red.

Siguiendo esta línea, la herramienta QoSM3 también incluye la relación entre pérdidas y retardo (PLR/EED), como muestra [Fig. 12\(a\)](#). Este ratio permite evaluar si el servicio estudiado cumple los requisitos de QoS: es decir, si se localiza dentro de las posibles áreas de utilización, marcadas en gris y tomadas de [25]. En el caso presentado, se aprecia cómo ambos servicios RT cumplen perfectamente los umbrales, si bien el de audio presenta mejores indicadores que el de vídeo.

Así, mediante esta inspección visual es directo comprobar si el tráfico observado está dentro de los márgenes permitidos o no, en cuyo caso, se podría actuar en consecuencia modificando los parámetros de generación. Este planteamiento es muy interesante ya que permitiría evitar las situaciones de congestión por anticipado y de forma adaptativa sin necesidad de modificar las configuraciones de los elementos intermedios de la topología, sino variando los parámetros de las aplicaciones generadoras de tráfico (tasas, codecs, ratios de compresión, etc.).

Por último, señalar que estas medidas se pueden realizar sobre una conexión (*none*), varias conexiones en un enlace (*link*), una conexión a lo largo de enlaces consecutivos (*path*), o varias conexiones en un *path* (*cross*). Ello permite detectar enlaces restrictivos, cuellos de botella, o instantes en los que BW rebasa el umbral de QoS y se deben corregir los parámetros de generación (tasas, codecs, prioridades, etc.) para evitar esas situaciones. Así, se muestra en [Fig. 12\(b\)](#) un ejemplo de evolución del BW conjunto generado por el servicio RT de audio y vídeo, a lo largo de cuatro enlaces. Como puede observarse, se comprueba de forma directa que el tráfico sobrepasa el BW disponible de 128Kbps en los enlaces 3 y 4.

4 Conclusiones

En este trabajo se plantea una herramienta que, siguiendo una metodología de evaluación técnica presentada en trabajos anteriores y, sin perder generalidad, permite realizar un estudio específico de la QoS que ofrece la red y del modelo de tráfico tratado. Esto permite evaluar el diseño de las fuentes generadoras de datos y, por tanto, de las aplicaciones que influyen en el sistema completo a analizar. En el estudio, concretamente, se ha utilizado la herramienta para caracterizar servicios multimedia de audio y vídeo a tiempo real, en entornos de telemedicina

El modelo de tomografía de red implementado en la herramienta QoSM3, permite realizar un análisis cuantitativo y cualitativo de las distintas partes de un escenario propuesto. A partir de la interpretación de las medidas, se puede determinar características intrínsecas al servicio y al medio sobre el que se transmite (QoS básica), modelar el tráfico generado, transmitido o de entrada y salida a un *buffer* (QoS de aplicación), y caracterizar el enlace o dispositivo de comunicación sobre el que se mide (QoS de red).

Apéndice I. Variables utilizadas

L	Número de enlaces (<i>path length</i>) que constituyen el camino extremo a extremo con diversas tecnologías.
D_{prop}^l	Distancia de propagación (m).
d_{bit}^l	Tiempo de bit (s). Duración de cada bit en el enlace l -ésimo. Su inversa es la capacidad $c^l = 1 / d_{bit}^l$ (bps)
$t_{c,i}^l$	Marca temporal - timestamp (s). Instante temporal en que el <i>primer bit</i> de cada paquete i -ésimo de la conexión c -ésima del enlace l -ésimo se transmite.
$t_{c,i}^l$	Su equivalente para el <i>último bit</i> , se marca con $\cdot$.
$\Delta t_{c,i}^l$	Tiempo entre paquetes (s). Intervalo temporal entre el primer bit de dos paquetes consecutivos ($i, i+1$).
$\Delta t_{c,i}^l$	Su equivalente para el último bit, se marca con $\cdot$.
$d_{off-c,i}^l$	Tiempo OFF (s). Intervalo temporal entre el <i>último bit</i> del paquete i -ésimo y el <i>primer bit</i> del $i+1$ -ésimo.
$s_{c,i}$	Tamaño de paquete (bytes).
$\tau_{c,i}^l$	Retardo de transmisión (s). Intervalo temporal desde el <i>primer bit</i> hasta el <i>último bit</i> que accede al medio, según $\tau_{c,i}^l = t_{c,i}^l - t_{c,i}^l = s_{c,i} \cdot d_{bit}^l$
$p_{c,i}^l$	Retardo de procesamiento (s). Incluye una parte variable (routing, colas...) y otra fija (encapsulado, fragment...)
$q_{c,i}^l$	Retardo en cola (s). Tiempo de espera en cola según la disciplina, n° paquetes/conex, n° conexiones, etc.
$a_{c,i}^l$	Retardo de acceso al medio (s). Tiempo que espera cada paquete a acceder al siguiente medio. Depende de la técnica de acceso, tecnología, n° conex., etc.
d_{prop}^l	Retardo de propagación (s). Intervalo temporal desde el <i>primer bit</i> que accede al medio hasta el <i>primer bit</i> que se recibe; es decir, la <i>latencia</i> de enlace.

Agradecimientos

Este trabajo ha recibido el apoyo de proyectos de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y de los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) TS12004-04940-C02-01, y 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", *Proc. 33rd Annual Simulation Symposium SS'00*, 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 Lusignan, S. Wells, P. Johnson, K. Meredith, E. Leatham "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] W.C. Hardey, "QoS Measurement and Evaluation of Telecommunications Quality of Service", *Eds. John Wiley*, Hardcover, 230 pages. [Book Review – R. Chodoreck, *IEEE Communications Magazine*, 40(2):30-32, 2002].
- [6] K. Zielinsky, "Krakow Centre of Telemedicine – Developing the Platform for Regional Telemedical Networks", *Proc. Conference 'E-health in Common Europe'*, 2003.
- [7] W.R. McDermott et al., "Optimization of Wide-Area ATM and Local-Area Ethernet/FDDI Network configurations for high-speed telemedicine communications employing NASA's ACTS", *IEEE Network*, 13(4):30-38, 1999.
- [8] D. Caramella and S. Giordano "An advanced IP based telemedicine trial supporting quality of service for multimedia teleconsulting", *International Conference EuroPACS*, 2000.
- [9] J.F. Huard, I. Inoue, A. A. Lazar and H. Yamanaka, "Meeting QoS guarantees by end-to-end QoS monitoring and adaptation", *V IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing*, pp. 348-355, 1996.
- [10] 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.
- [11] M. Li and R. Sampigethaya. "Network Tomography", *STAT 593E*, 2003.
- [12] T. Bu, N.G. Duffield, F. Lo Presti and D. Towsley. "Network Tomography on General Topologies". *Umass CMPSCI Technique Report*, 2002.
- [13] X. Fang and D. Ghosal, "Performance modelling and QoS evaluation of MAC/RLC layer in GSM/GPRS Networks", *IEEE International Conference on Communications ICC'03*, vol. 1, pp. 271-275, 2003.
- [14] P.E. Wirth, "The role of teletraffic modeling in the new communications paradigms," *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, pp. 86-92, 1997.
- [15] A. Vogel, G. Bochmann, R. Disallow, J. Geckos and B. Kerherv, "Distributed Multimedia Applications and Quality of Service – A survey", *IEEE Multimedia*, 1994.
- [16] W. Willinger and V. Paxson, "Discussion of 'heavy tail modelling and teletraffic data' by S.R. Resnick", *The Annals of Statistics*, 25(5):1856-1865, 1997.
- [17] I. Martínez J. García and J. Fernández. "QoS Evaluation Methodology for Multimedia Telemedicine Services". *IEEE Transactions on Multimedia*, submitted, 2005.
- [18] E. Casilari. "Caracterización y modelado de tráfico de vídeo VBR", *Tesis Doctoral*, Universidad de Málaga, 1998.
- [19] A. Coppola, "Practical Statistical Tools for Reliability Engineers", *DoD Reliability Analysis Center*, 1999.
- [20] M. Taqqu, "Theory and Applications of Long-Range Dependence", *Birkhäuser*, Boston, 2003.
- [21] D. Wright, "Informe UIT sobre telemedicina en los países en desarrollo", *Journal of Telemedicine and Telecare*, 4(1), 1998 [Versión española en *International Telemedicine*, 7-8, 1998].
- [22] M. Valla, R. Wang, M. Gerla and M.Y. Sanadidi. "TCP Westwood, Bandwidth estimation techniques for efficient and friendly congestion control", *University of California*, <http://www.cs.ucla.edu/NRL/hpi/tcpw/>, Last access 30/03/05.
- [23] E. Viruete, C. Hernández, J. Ruiz, J. Fernández, A. Alesanco, E. Lleida, A. Ortega, A. Hernández, A. Valdovinos, J. García, "Sistema de telemonitorización en vehículos de emergencias médicas sobre UMTS", *Proc. CASEIB*, pp. 111-114, 2004.
- [24] J.L. Romeu, "K-S: A goodness of fit test for small samples", *START Reliability Analysis Center*, vol. 10, number 6, 2003.
- [25] T.J. Kostas et al. "Real-Time voice over packet-switched networks", *IEEE Networks*, 12 (1): 18-27, 1998.