

Modelado de parámetros de tráfico y análisis cuantitativo de QoS para servicios de e-Salud en entornos rurales

I. Martínez, J. García, E. Viruete

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 development of e-Health services in rural environments, where broadband accesses are usually not available, requires a specific analysis of the limited resources to improve the management of Quality of Service (QoS). This work quantifies the maximum number of simultaneous users that fulfil the specific QoS levels in e-Health services and proposes variations in traffic modelling regarding the users number. The results obtained allow an accurate users dimensioning focusing in further designs of rural e-Health services where the network resources are limited.*

1 Introducción

En los últimos años el gran avance de las nuevas tecnologías ha permitido ampliar la cantidad y mejorar la calidad los servicios de e-Salud en muy diversos escenarios asistenciales (entornos rurales, teleasistencia, asistencia domiciliaria, etc.) [1]-[3]. Cada uno de estos entornos heterogéneos incluye distintos tipos de servicios (*Type of Service*, ToS) que requieren análisis específicos y estimaciones precisas del nivel de calidad de servicio (*Quality of Service*, QoS) que puede ofrecerse [4]-[5].

Los escenarios rurales son uno de los entornos más representativos en los que las nuevas tecnologías permiten mejorar el servicio sanitario acercando el hospital al paciente y beneficiando a los usuarios, con independencia de su ubicación. Este beneficio es innegable en poblaciones geográficamente dispersas (como es Aragón, donde el 3% del total de población constituye el 10% de la superficie española).

En este contexto, las redes sanitarias rurales permiten la interconexión entre centros y acceso centralizado a la información. Sin embargo, para un buen diseño y planificación de estas redes de e-Salud se requieren estudios analíticos que determinen dos aspectos: la naturaleza y volumen de la información a transmitir, y el comportamiento exacto de las redes que la transportan, en función de los recursos disponibles. Este tipo de estudios han sido abordados en la literatura, tradicionalmente, para redes y fuentes genéricas desde la teoría clásica de dimensionamiento y agregación de fuentes de tráfico. Sin embargo, en la última década, abundan los análisis particularizados para escenarios rurales [2], [3], [6]-[8] en los que se hace necesaria una caracterización particular de los modelos y parámetros de tráfico asociados al servicio, a partir de la cual estudiar los parámetros de red que permiten estimar los niveles de QoS que garanticen la viabilidad, eficiencia y rango de funcionamiento de dichos servicios de e-Salud rural.

En esta línea, una idea cada vez más extendida consiste en que es posible gestionar y adecuar de forma adaptativa la transmisión de la información generada por las aplicaciones (mediante sus *codecs*, tasas de transmisión y compresión, etc.) a los recursos de las redes que atraviesan (capacidad disponible, rendimiento, etc.). Esto permitiría mejorar la QoS de las comunicaciones buscando que sea óptima en cada momento [9]. Esta idea ha sido desarrollada en los últimos años enfocada a escenarios multimedia sobre redes de propósito general (*best-effort*) como Internet. Sin embargo, se hace necesaria una evaluación detallada centrada en entornos de telemedicina rural [10].

Con esa intención se presenta este artículo en el que, a partir de modelos específicos para servicios rurales de e-Salud, se evalúan resultados cuantitativos para dimensionar el número de usuarios simultáneos a los que puede ofrecerse el servicio garantizando QoS, incluso en las situaciones más adversas por falta de recursos en el entorno rural. Esta evaluación se ha desarrollado mediante una herramienta [11], [12], diseñada *ad-hoc*, que permite integrar los resultados obtenidos de medidas experimentales (realizadas en el Laboratorio de Telemática) y de medidas de simulación (realizadas a partir del *software Network Simulator* (NS-2) usando modelos de tráfico y red).

En la [Sección 2](#) se describen las características del escenario rural, sus casos de uso y los parámetros de tráfico (desde el punto de vista de aplicación y de red). La [Sección 3](#) analiza los parámetros óptimos de aplicación que cumplen QoS según las condiciones de red. A partir de estos valores óptimos, en la [Sección 4](#) se dimensiona el número máximo de usuarios del sistema y, en la [Sección 5](#), se proponen modelos de tráfico para este entorno. Los resultados obtenidos y su aplicación a mecanismos adaptativos para garantizar QoS se discuten en la [Sección 6](#).

2 Metodología de evaluación

Las características del escenario rural se asocian a la interconexión entre un médico no especialista (en el centro de atención primaria) y su hospital de referencia para servicios de teleconsulta con el especialista o teleasistencia, como muestra Fig.1. El centro de salud suele situarse en un entorno remoto, asociado a tecnologías de red fija (*Public Switched Telephone Network*, PSTN, o *Digital Subscriber Line*, DSL), sobre las que se supone que, para estos entornos rurales, no se dispone de accesos de banda ancha de forma generalizada [13], [14].

Así, para evaluar las situaciones más restrictivas del entorno rural, se ha considerado en este estudio que cada conexión de usuario presenta una tasa de transmisión máxima hacia el hospital (*upstream*) $r \leq 64\text{kb/s}$ en el punto de acceso. Dichas conexiones se multiplexan en el concentrador remoto del hospital que ofrece una capacidad global mayor ($C = k \cdot 64\text{kb/s}$, con $k \geq 1$).

Además, cada una de estas conexiones suele incluir distintos ToS agrupados en dos categorías principales: servicios *Store-and-Forward* (SF) para caracterizar aplicaciones que no presentan requisitos temporales (como las transferencias de pruebas médicas para su almacenamiento en bases de datos), y servicios *Real Time* (RT) para casos en los que se debe garantizar un nivel mínimo de retardo y pérdidas (como videoconferencias médicas, telediagnóstico remoto, etc.). Con esta idea, y para contemplar la casuística que se da en el entorno rural, se plantean los siguientes casos de uso (*Use Case*, UC) incluidos en Fig. 1.

En cada UC interesa estudiar el rendimiento del servicio (en función del factor de ocupación, ρ , de los recursos de la red) para evaluar el número de usuarios simultáneos (N) que pueden llegar a multiplexarse, garantizando QoS para cada uno.

2.1 Casos de uso

A partir de la descripción técnica del escenario rural, se proponen diversas combinaciones de evaluación (véase Fig. 1) que recogen la casuística significativa de ToS para permitir la estimación y evaluación de QoS. La descripción de estos UCs es la siguiente:

- **UC1.** El caso de uso más frecuente es transmisión remota al hospital de referencia de pruebas médicas (ECGs, ECOs, imágenes digitalizadas) adquiridas desde el centro de atención primaria. (SF.Data).
- **UC2.** Incluyendo UC1, se suele añadir el envío de datos clínicos/administrativos y consultas remotas a las bases de datos del hospital para actualizar el Historial Clínico Electrónico en tiempo real desde el centro de atención primaria (RT.HCE).
- **UC3.** Incluyendo UC2, se añade teleconferencia con el especialista para apoyo al diagnóstico (RT.Media), que incluye servicios de audio (RT.Audio) y vídeo (RT.Video).
- **UC4.** Incluyendo UC3, en algunas ocasiones se puede añadir la posibilidad de adquisición y envío en tiempo real de una prueba médica específica para completar el diagnóstico (RT.Bio).

Esta variedad de UCs, que combinan servicios SF y RT, permite analizar el reparto de recursos entre ToS, para evaluar y cuantificar las áreas óptimas de trabajo según N y ρ para los niveles recomendados de QoS.

Como resultado de las evaluaciones previas, se ha obtenido un modelo completo [15] en el que se incluyen los parámetros característicos de tráfico para cada ToS y los parámetros específicos de red para entornos rurales. Así, para llevar a cabo este estudio, primero hay que definir los principales parámetros de tráfico que intervienen en este escenario, sus valores específicos para el contexto rural, y las variables de QoS a optimizar en función de los recursos de la red.

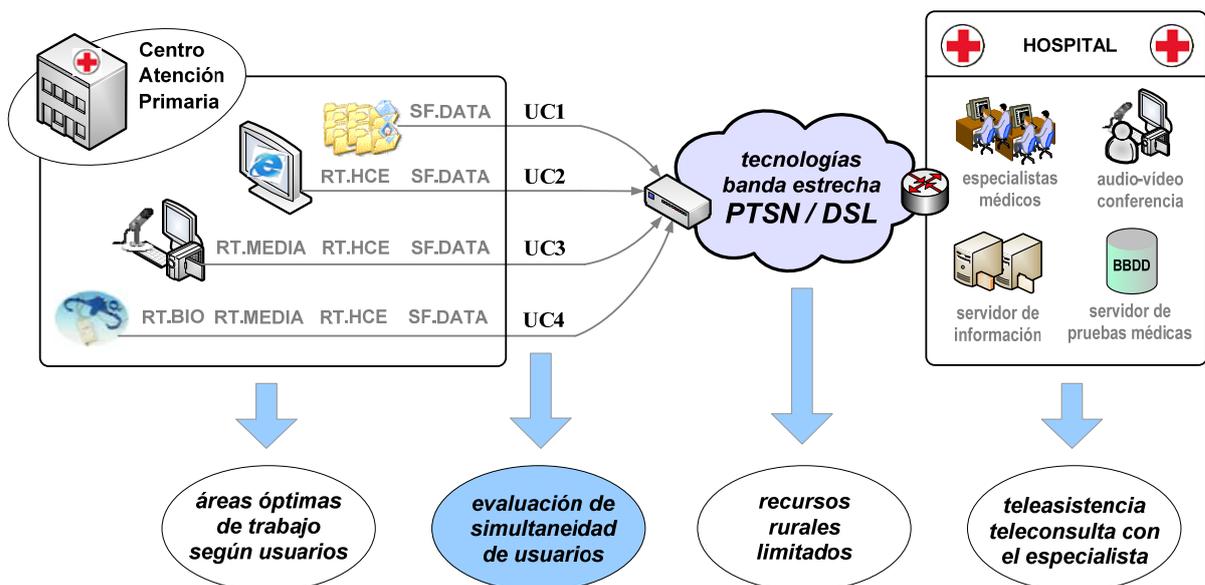


Fig. 1. Escenario de evaluación para un servicio de e-Salud en entorno rural entre un Centro de Atención Primaria y el hospital, incluyendo envío de pruebas médicas e información del paciente, actualización del HCE, audio/vídeo-conferencia, y transmisión de señales biomédicas.

2.2 Modelo de servicio

El modelo de servicio empleado en este artículo se basa en las contribuciones detalladas en [15], y se ha diseñado a partir de resultados obtenidos previamente [11], [12] y de las principales aportaciones sobre QoS en la literatura [16]-[19]. Además, en Apéndice I se muestra una tabla resumida que incluye, para cada ToS, sus parámetros característicos, sus modelos analíticos asociados, y el rango de valores evaluados. Estos modelos propuestos responden al concepto de QoS desde el punto de vista tanto de las aplicaciones como de las tecnologías de red y, desde ambos puntos de vista, se propone un esquema genérico de evaluación para escenarios rurales, véase Fig.2.

Se detallan a continuación los parámetros de tráfico y de red empleados en el modelo de servicio.

A. Parámetros de tráfico.

- *Tamaño de datos* (S), correspondiente al formato original en el que el servicio es generado por la aplicación emisora de tráfico.
- *Tamaño de paquete*, asociado al valor del segmento TCP (SMSS) o UDP (s), respectivamente, utilizados para la transmisión de la información a nivel de transporte (los tamaños de trama en las capas de red e inferiores vienen dados incluyendo las correspondientes cabeceras en función del caso).
- *Tasa de datos*, distinguiendo entre tasa de pico (*Peak Data Rate*, PDR, o velocidad máxima de generación de datos obtenida como inversa del mínimo tiempo entre paquetes consecutivos, Δt) y tasa media (*Sustained Data Rate*, SDR, o velocidad de transmisión de datos medida en un intervalo de tiempo prolongado, $T = t_{i+n} - t_i$), ver (1).

$$PDR_i = \frac{S_i}{\Delta t_i} \text{ (b/s)} \leftrightarrow SDR_i^n = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^n}{t_{i+n} - t_i} \text{ (b/s)} \quad (1)$$

- *Tamaño máximo de ráfaga* (*Maximum Burst Size*, MBS), como el número máximo de bloques de datos (paquetes, celdas o tramas, según la red) que se pueden transmitir a PDR, respetando el máximo valor permitido de SDR. También se define el tamaño de ráfaga (bs), el tiempo entre ráfagas (bt), y su tolerancia (*Burst Tolerance*, BT), ver (2).

$$MBS = \left\lceil 1 + \frac{BT}{T_s - T} \right\rceil \text{ suponiendo } \frac{\overline{PDR}}{SDR} = 1/T_s, \quad (2)$$

$$\text{y siendo } BT = (MBS - 1) \cdot \left(\frac{1}{SDR} - \frac{1}{PDR} \right)$$

B. Parámetros de red.

- *Retardo* (*End-to-End Delay*, EED). Se define como el retraso temporal acumulado que sufren los datos por diversos efectos intermedios: acceso, *buffering*, propagación [20]. Algunos umbrales recomendados por los estándares ITU [19] son:

- EED < 50ms, para servicios de audio y telefonía
- EED < 100ms, para aplicaciones interactivas.
- EED < 150ms, para conferencia multimedia.
- EED < 400ms, en general, para servicios RT.

El retardo se completa con otros parámetros como el *jitter* (varianza del EED como diferencia entre retardos consecutivos: para servicios RT hay que garantizar una probabilidad $P[\text{jitter} > 20\text{ms}] < 10\%$).

- *Tasa de pérdidas* (*Packet Loss Rate*, PLR), como número de paquetes de datos perdidos relativos al total transmitidos, que implican retransmisión [21]. Así, la combinación EED-PLR es crucial al estudiar QoS. Los umbrales ITU recomendados [19] son:

- PLR < 3%, para imágenes y señales biomédicas.
- PLR < 10%, para TACs, radiografías, etc.
- PLR < 15%, para audio y vídeo interactivo, etc.
- PLR < 20%, para servicios RT multimedia.

- *Ancho de banda* máximo (*BandWidth*, BW) y disponible (*Available BW*, ABW) referidos a los recursos utilizables por los ToS que compartan un enlace de una capacidad nominal (C) dada [22]. Algunos valores recomendados por ITU [19] son:

- BW > 15kb/s, para servicios RT de audio.
- BW > 60kb/s, para servicios RT de vídeo.
- BW > 80kb/s, para servicios RT de audio/vídeo.
- BW > 200kb/s, para aplicaciones interactivas de telemedicina de alta calidad.

- *Factor de ocupación* (ρ), empleado usualmente en comparaciones equitativas de ocupación relativa a los recursos disponibles, por ser buen indicador de la eficiencia y rendimiento de servicio [23], [24]. Relaciona la capacidad eficaz (C_e , o número medio de bits de datos transmitidos por unidad de tiempo) con la nominal (C), por lo que se acota a su valor máximo, $\rho_{\text{máx}}$, y suele normalizarse a ρ^* , ver (3). A menudo, para medidas cuantitativas, los valores nominales se referencian a k múltiplos de la tasa de datos genérica r , asociada a cada tecnología de red. Así, se definen las constantes k , k_e y $k_{e \text{ máx}}$, ver (4).

$$\rho^* = \frac{\rho}{\rho_{\text{máx}}} = \frac{C_e}{C_{e \text{ máx}}} < 1, \text{ donde } \rho = C_e/C, \rho_{\text{máx}} = C_{e \text{ máx}}/C \quad (3)$$

$$C = r \cdot k \rightarrow C_e = r \cdot k_e \rightarrow C_{e \text{ máx}} = r \cdot k_{e \text{ máx}} \quad (4)$$

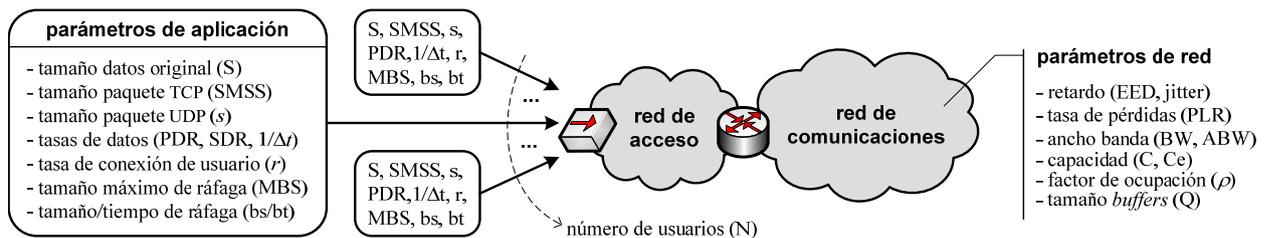


Fig. 2. Esquema genérico de parámetros de tráfico (de aplicación y de red) asociados a la evaluación de escenarios rurales de e-Salud

3 Optimización de parámetros

Una vez detalladas las características específicas del escenario rural, descritas en la sección anterior, y a partir de ciertas premisas iniciales para los protocolos de transporte sobre los que se basan los servicios SF y RT, establecidas como conclusiones de trabajos anteriores [25], en este estudio se aportan nuevas consideraciones para los principales parámetros de tráfico de aplicación de los servicios RT y SF: tamaño de datos (S), tamaño de paquete (SMSS para TCP y s para UDP), tasa de datos ($1/\Delta t$), y tamaños de ráfaga (bs , bt , y MBS). Los rangos de variación considerados en el estudio se detallan en Apéndice I.

3.1 Servicios SF.

Para estudiar los parámetros asociados a servicios SF, se analiza el caso UC1 que sólo incluye SF.Data. Así, se valoran las influencias de SMSS, Δt y MBS en el nivel EED y ρ^* para diversos niveles de congestión: baja-leve (PLR<0.03) o moderada-alta (PLR<0.10).

En primer lugar, se evalúa ρ^* para: $MBS_i = \{4, 7, 11$ (paq.) $\}$, $\Delta t_j = \{10, 20, 30$ (ms) $\}$, y $SMSS_k = \{53, 512, 1024, 1500, 2000, 2500$ (B) $\}$, y sin añadir todavía simultaneidad de usuarios ($N=1$, $r \leq 64$ kb/s). Se muestran los resultados obtenidos para cada dupla (MBS_i , Δt_j), indicada en la leyenda como $MBS_i t_j$. En Fig. 3 (para la situación más crítica, PLR<0.10) se aprecia un mejor comportamiento (mayor ocupación) conforme disminuye MBS y Δt (en todos los casos los mejores resultados se dan para $\Delta t_1=10$ ms). Indica que, a mayores tasas, hay un mejor aprovechamiento del caudal, lo que mejora el rendimiento. Esta conclusión parece lógica en el acceso individual ya que el usuario final sólo se ve afectado por su propia conexión. La interpretación de la influencia de SMSS es menos evidente ya que se obtienen rendimientos similares y altos para $SMSS_2$, $SMSS_3$ y $SMSS_4$ siendo mejores. Esta circunstancia hace no descartar ninguno de dichos SMSS en las evaluaciones posteriores. Se observa, por último, que ρ^* disminuye notablemente para $SMSS_k > 1500$ B, debido al efecto de fragmentación que sufren los paquetes IP.

En segundo lugar, se completa la evaluación con el análisis del retardo EED. En este caso, influye más el valor elegido de MBS y no tanto el de Δt . En Fig. 4 se aprecia de nuevo que los valores de ráfagas menores dan los mejores resultados (menor retardo), lo que permite descartar MBS_3 . También se aprecia que, para retardos razonables, asumibles en servicios SF (EED<180s), los mejores resultados los aportan los tamaños de paquetes bajos $SMSS \leq 1500$ B. En este caso, se aprecian diferencias más significadas según el valor de SMSS por lo que resulta de interés mantener los dos casos extremos $SMSS_2=512$ B y $SMSS_4=1500$ B (también son los tecnológicamente más representativos) y seleccionar como óptimos: $MBS_1=4$ y $MBS_2=7$, y $\Delta t_1=10$ ms.

Finalmente, como primeras conclusiones, se resume en Fig. 5 los valores de EED para cada combinación $MBS_i t_j$ y para cada nivel de pérdidas planteado representando, en forma de histograma e indicado en el eje derecho, su correspondiente porcentaje de retransmisiones. En todos los casos, se comprueba que este porcentaje es bajo y asumible (<2%) y que, si se considera el umbral EED<180s, los mejores resultados se dan para valores de SMSS en torno a 1500B. Todo ello concluye a elegir estos valores como parámetros por defecto para una única conexión $N=1$, e introducirlos en el siguiente análisis de multiplexación. Además, asumiendo $N=1$, se corrobora que es adecuada la caracterización de MBS y Δt como parámetros constantes: quedaría evaluar si este modelo de tráfico se mantiene con N usuarios multiplexados y/o al añadir servicios RT.

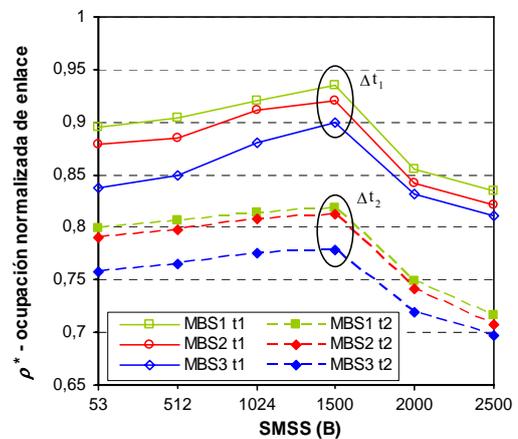


Fig.3 Ocupación normalizada (ρ^*) según SMSS, para MBS y Δt .

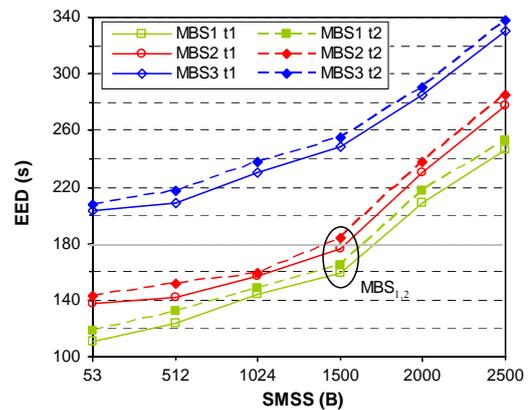


Fig.4 EED según SMSS, para MBS y Δt .

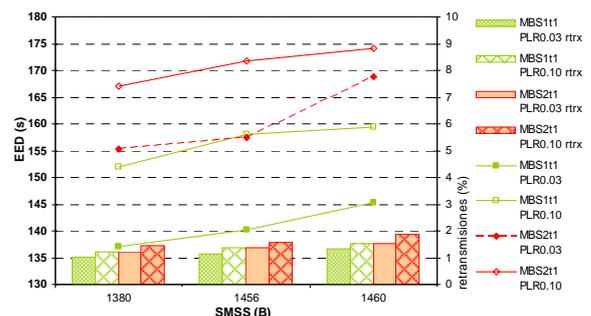


Fig.5 Detalle de EED según SMSS, para MBS y Δt óptimos.

3.2 Servicios RT.

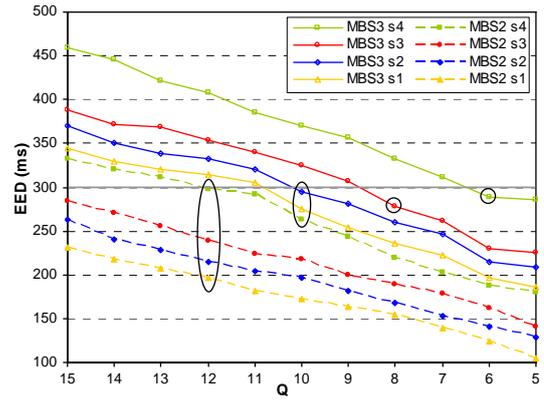
Siguiendo el escenario rural y las premisas anteriores obtenidas para servicios SF, se incorporan al estudio los servicios RT (UC2, UC3 y UC4) para valorar su influencia global. Así, se evalúa la influencia de los parámetros RT (s , Δt y MBS) para cumplir los umbrales recomendados de EED y PLR.

En primer lugar, resulta interesante evaluar el tamaño del *buffer* (Q) que garantiza los requisitos de PLR y EED. De las pruebas realizadas, son relevantes los resultados asociados a los servicios RT.Medía (distinguiendo entre RT.Audio y RT.Video) que establece las mayores restricciones. Así, se evaluó el escenario con $MBS_{A_i}=\{4, 7 \text{ (pps)}\}$ y $s_{A_j}=\{100, 240, 300, 400 \text{ (B)}\}$ para RT.Audio, $MBS_{V_i}=\{5, 10, 15, 30 \text{ (fps)}\}$ y $s_{V_j}=\{1024, 1280, 1500, 4000 \text{ (B)}\}$ para RT.Video; y tiempo entre paquetes uniforme de $\Delta t_3=15\text{ms}$, en ambos casos. Los resultados obtenidos para cada dupla (MBS_i, s_j) se indican en la leyenda como $MBS_i s_j$.

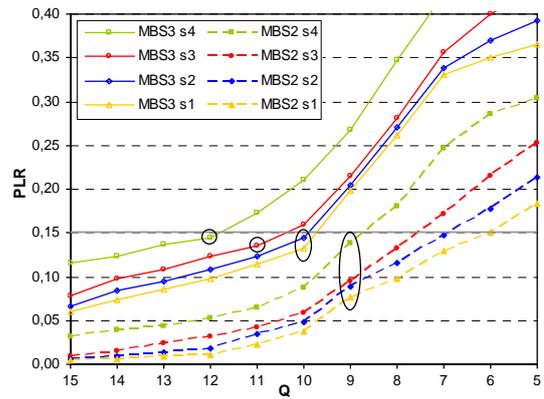
En segundo lugar, y para analizar los límites de rendimiento, se incluyeron los casos para $N=1, 2$, y 3 conexiones a $r \leq 64\text{kb/s}$, pero sólo esta última situación ($N=3$) resultó crítica en QoS. Así se muestra, para este caso, la evolución de Q respecto a los umbrales de EED (en Fig. 6(a) para RT.Audio y en Fig. 7(a) para RT.Video) y respecto a los niveles permitidos de PLR (en Fig. 6(b) para RT.Audio y en Fig. 7(b) para RT.Video). Se observa en ambos casos que, conforme aumenta el tamaño de *buffer*, aumenta linealmente el EED monitorizado y disminuye bruscamente la tasa PLR. Este compromiso EED/PLR lleva a elegir aquellos parámetros que garanticen QoS dentro de la amplia casuística, como se detalla a continuación:

- *Servicio RT.Audio.* Para $MBS_{A1}=4$ y con $Q \geq 8$, se garantiza QoS para todos los tamaños s_{A_i} . Sin embargo, para $MBS_{A2}=7$, sólo es válido usar $Q=12$ (para s_{A1} y s_{A2}) ó $Q=10$ (para s_{A3}) ya que, para s_{A4} , ninguna combinación garantiza QoS.
- *Servicio RT.Video.* Para $MBS_{V2}=10$ (o inferiores) y con $12 \geq Q \geq 9$, se garantiza QoS para todos los tamaños s_{V_i} . Sin embargo, para $MBS_{V3}=15$, sólo es valido usar $Q=10$ (para s_{V1} y s_{V2}) ya que, para s_{V3} y s_{V4} , ninguna combinación garantiza QoS.

Estos resultados reflejan la estrecha relación entre ambos parámetros EED/PLR y condicionan el valor óptimo del número de usuarios simultáneos según las situaciones de funcionamiento, como se aborda en la siguiente Sección 4.

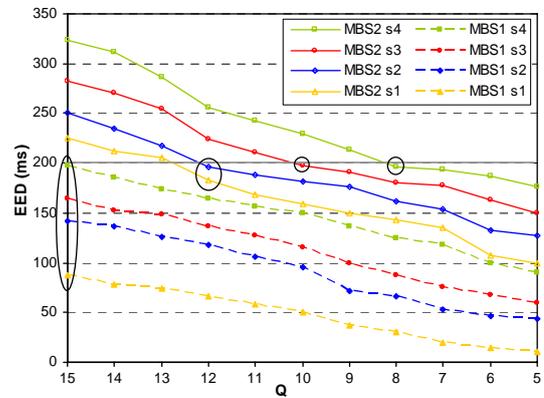


(a) EED

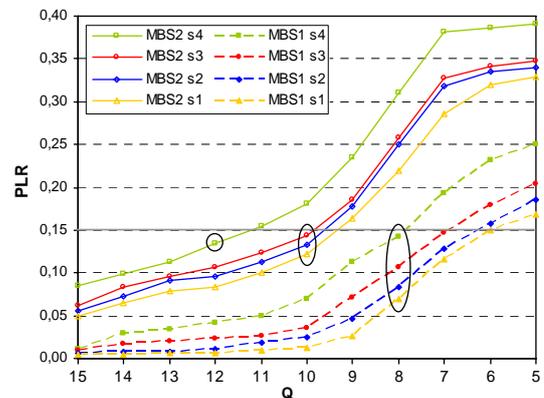


(b) PLR

Fig.6 EED y PLR de RT.Audio para MBS y s según Q



(a) EED



(b) PLR

Fig.7 EED y PLR de RT.Video para MBS y s según Q

5 Modelado de tráfico

A lo largo de este estudio se han conjugado medidas experimentales y simulaciones, todas ellas basadas en las contribuciones detalladas en [15] y recogidas resumidamente en Apéndice I. En esta última sección, se pretende comprobar la vigencia de estos modelos para valores elevados de N (como marcan sus condiciones de contexto) y evaluar su validez para un número más limitado de usuarios (como es el caso específico de los entornos rurales de e-Salud). Así, se consideran los principales parámetros de interés caracterizados previamente: MBS y Δt (en servicios SF) y s , MBS y Δt (en servicios RT).

En primer lugar, los servicios SF suelen modelarse como de tasa constante (*Constant Bit Rate*, CBR) caracterizados por MBS exponencial (ON-OFF); y s y Δt uniformes de media exponencial. Como muestra el test K-S [26] (indicando los valores de desviación media y máxima respecto de la distribución teórica), para s y Δt la media exponencial de la distribución se mantiene con la variación de N , véase Tabla I(b). Sin embargo, no ocurre lo mismo con MBS que, para un número bajo de usuarios ($N < 15$), se ajusta más a una distribución log-normal, véase Tabla I(a).

En segundo lugar y para servicios RT, RT.Bio sigue un modelo CBR uniforme de tasa constante, RT.HCE sigue un modelo múltiple en tres niveles (sesión, página y paquete), RT.Audio sigue un modelo CBR uniforme y RT.Video se caracteriza por tasa variable (*Variable Bit Rate*, VBR) de media exponencial. En teoría, la agregación de estos servicios RT responde a un modelo complejo caracterizado por tamaño s de valor estadístico marcado por una distribución de Pareto, MBS exponencial de media constante, y Δt de media exponencial. El test K-S para s constata esta distribución de Pareto, pero no ocurre lo mismo con MBS y Δt que, de nuevo para valores bajos de N ($N < 13$ y $N < 14$, respectivamente), responden mejor a una distribución geométrica que a una exponencial, como se muestra en Tabla II(a) y Tabla II(b), respect.

Como resumen, destaca que los servicios SF podrían modelarse por CBR (caracterizados por Δt uniforme de media exponencial y MBS exponencial, para valores altos de N , y log-normal para valores bajos). Mientras que la agregación de servicios RT seguiría un modelo múltiple caracterizado por s según Pareto, MBS exponencial de media constante, y Δt uniforme de media exponencial (estas dos últimas tendencias siguen mejor una distribución geométrica con $N < 13$). Si bien las diferencias con los modelos originales no son significativas como para replantear el estudio, es interesante apuntar estos resultados para especificar modelos más precisos, según el número de usuarios. Además, esto permitiría optimizar el diseño de nuevos servicios permitiendo la selección dinámica de los *codecs* que se mejor ajusten a dichos modelos.

TABLA I. TEST K-S APLICADO A SERVICIOS SF
(a) MBS

| N | LOG | | GEO | | EXP | |
|----|-------|------|-------|------|-------|------|
| | media | máx | media | máx | media | máx |
| 4 | 0.13 | 0.02 | 0.32 | 0.42 | 0.17 | 0.16 |
| 6 | 0.13 | 0.10 | 0.30 | 0.38 | 0.18 | 0.13 |
| 8 | 0.14 | 0.07 | 0.29 | 0.36 | 0.18 | 0.19 |
| 10 | 0.14 | 0.11 | 0.28 | 0.34 | 0.16 | 0.13 |
| 12 | 0.16 | 0.09 | 0.29 | 0.27 | 0.17 | 0.16 |
| 13 | 0.17 | 0.06 | 0.30 | 0.26 | 0.17 | 0.12 |
| 14 | 0.17 | 0.09 | 0.30 | 0.24 | 0.17 | 0.14 |
| 15 | 0.17 | 0.06 | 0.27 | 0.18 | 0.17 | 0.10 |
| 16 | 0.18 | 0.01 | 0.28 | 0.19 | 0.16 | 0.01 |
| 18 | 0.18 | 0.07 | 0.30 | 0.21 | 0.16 | 0.11 |
| 20 | 0.19 | 0.03 | 0.26 | 0.21 | 0.15 | 0.04 |

(b) Δt

| N | LOG | | GEO | | EXP | |
|----|-------|------|-------|------|-------|------|
| | media | máx | media | máx | media | máx |
| 4 | 0.14 | 0.21 | 0.23 | 0.13 | 0.05 | 0.07 |
| 6 | 0.19 | 0.21 | 0.23 | 0.19 | 0.07 | 0.05 |
| 8 | 0.18 | 0.14 | 0.24 | 0.13 | 0.11 | 0.07 |
| 10 | 0.19 | 0.13 | 0.22 | 0.16 | 0.13 | 0.08 |
| 12 | 0.15 | 0.17 | 0.24 | 0.14 | 0.11 | 0.08 |
| 13 | 0.14 | 0.15 | 0.21 | 0.15 | 0.10 | 0.10 |
| 14 | 0.17 | 0.16 | 0.22 | 0.14 | 0.11 | 0.09 |
| 15 | 0.14 | 0.18 | 0.24 | 0.11 | 0.10 | 0.07 |
| 16 | 0.18 | 0.20 | 0.23 | 0.12 | 0.09 | 0.07 |
| 18 | 0.17 | 0.21 | 0.21 | 0.13 | 0.08 | 0.09 |
| 20 | 0.17 | 0.19 | 0.23 | 0.14 | 0.07 | 0.08 |

TABLA II. TEST K-S APLICADO A SERVICIOS RT
(a) MBS

| N | LOG | | GEO | | EXP | |
|----|-------|------|-------|------|-------|------|
| | media | máx | media | máx | media | máx |
| 4 | 0.24 | 0.14 | 0.03 | 0.09 | 0.18 | 0.20 |
| 6 | 0.25 | 0.18 | 0.07 | 0.06 | 0.19 | 0.17 |
| 8 | 0.28 | 0.15 | 0.05 | 0.07 | 0.17 | 0.16 |
| 10 | 0.26 | 0.18 | 0.11 | 0.09 | 0.16 | 0.14 |
| 12 | 0.24 | 0.19 | 0.13 | 0.11 | 0.15 | 0.11 |
| 13 | 0.27 | 0.21 | 0.16 | 0.18 | 0.14 | 0.08 |
| 14 | 0.28 | 0.19 | 0.18 | 0.22 | 0.14 | 0.07 |
| 15 | 0.26 | 0.17 | 0.19 | 0.18 | 0.13 | 0.09 |
| 16 | 0.25 | 0.18 | 0.18 | 0.20 | 0.14 | 0.10 |
| 18 | 0.27 | 0.22 | 0.20 | 0.21 | 0.13 | 0.12 |
| 20 | 0.24 | 0.21 | 0.22 | 0.19 | 0.15 | 0.11 |

(b) Δt

| N | LOG | | GEO | | EXP | |
|----|-------|------|-------|------|-------|------|
| | media | máx | media | máx | media | máx |
| 4 | 0.23 | 0.16 | 0.04 | 0.08 | 0.20 | 0.20 |
| 6 | 0.21 | 0.18 | 0.07 | 0.08 | 0.18 | 0.17 |
| 8 | 0.24 | 0.15 | 0.06 | 0.07 | 0.16 | 0.15 |
| 10 | 0.22 | 0.17 | 0.08 | 0.11 | 0.17 | 0.17 |
| 12 | 0.23 | 0.17 | 0.10 | 0.13 | 0.17 | 0.16 |
| 13 | 0.26 | 0.15 | 0.12 | 0.14 | 0.16 | 0.18 |
| 14 | 0.27 | 0.16 | 0.15 | 0.21 | 0.13 | 0.11 |
| 15 | 0.27 | 0.18 | 0.16 | 0.20 | 0.13 | 0.09 |
| 16 | 0.28 | 0.19 | 0.18 | 0.19 | 0.14 | 0.08 |
| 18 | 0.31 | 0.20 | 0.20 | 0.18 | 0.15 | 0.10 |
| 20 | 0.34 | 0.22 | 0.24 | 0.19 | 0.16 | 0.11 |

6 Discusión. Conclusiones

Este trabajo presenta un análisis cuantitativo del número máximo de usuarios simultáneos de servicios de e-Salud a los que se puede garantizar QoS en entornos rurales. Los resultados obtenidos permiten proponer diversas áreas de funcionamiento óptimo en función de los recursos de red disponibles y según los umbrales exigidos de eficiencia y rendimiento. Por ejemplo, dado un enlace con el hospital de 512kb/s en el que se exige un 80% de utilización óptima, podrían darse 13 conexiones simultáneas de videoconferencia con actualización del HCE (UC3), pero sólo 6 si se añade la adquisición y envío en tiempo real de una prueba médica para completar el diagnóstico (UC4).

Además, se han evaluado los modelos probabilísticos asociados a los parámetros de tráfico, constatando su vigencia para valores elevados de N y proponiendo ciertas modificaciones cuando el número de usuarios es limitado, como sucede en los escenarios rurales.

En definitiva, la metodología empleada (específica para servicios rurales de e-Salud pero extensible a entornos multimedia genéricos) se puede aplicar al diseño óptimo de nuevos servicios, ajustando el grado de multiplexación de usuarios a los recursos de red disponibles en cada momento, y proponiendo nuevos mecanismos adaptativos de QoS.

Apéndice I. Modelos usados para cada ToS

| ToS | parámetros | modelo | valores del estudio |
|---------------------|------------|-----------------------------|--------------------------------|
| SF tipoI | S (MB) | CBR | SMSS={53,512,1500} |
| | r (b/s) | [bs - exponencial] | $\Delta t = \{10,20,30\}$ |
| SF tipoII | S (MB) | On-Off | SMSS={1024,2k,2k5} |
| | r (b/s) | [bs - exponencial] | $\Delta t = \{5,10,15,30\}$ |
| audio tipoI | r (b/s) | On-Off | $s_A = \{100,240,300,400\}$ |
| | bs (paq) | [bs - expo/pareto] | $\Delta t = \{10,15,30\}$ |
| | s (b) | [s - expo/lognrm] | $MBS_A = \{3,4,5,7\}$ |
| audio tipoII | r (b/s) | CBR/On-Off | $s_A = \{100,240,480\}$ |
| | bs (paq) | [bs - expo/ray] | $\Delta t = \{5,10,15,30\}$ |
| | s (b) | [s - expo/unif] | $MBS_A = \{3,4,7\}$ |
| vídeo tipoI | r (b/s) | VBR | $s_V = \{800,1024,1500\}$ |
| | PDR, BT | [bt - unif/nrm] | $\Delta t = \{5,10,15,30\}$ |
| vídeo tipoII | r (b/s) | VBR | $s_V = \{1024,1280,4000\}$ |
| | PDR, BT | [bt - expo/gama] | $\Delta t = \{5,10,15,30\}$ |
| | | [s - pareto] | $MBS_V = \{1,15,30,60\}$ |
| web | Sesión | [Δt expo / s logn] | $s = \{40,53,512,1500\}$ |
| | Página | [Δt gam / s paret] | $\Delta t = \{50,75,100,150\}$ |
| | Paquete | [Δt expo / s unif] | $MBS = \{20,25,30\}$ |
| imagen | r (b/s) | CBR/VBR | $s = \{200,512,1024\}$ |
| | h (b/pix) | [bs/s - unif/nrm] | $bs = \{1,3,5,10,15\}$ |
| bio tipoI | r (b/s) | CBR/VBR | $s = \{512,800,1500\}$ |
| | s (b) | [bs/s - unif/unif] | $bt = \{1,6,12,15,30,60\}$ |
| bio tipoII | r (b/s) | CBR | $s = \{40,80,100,200,400\}$ |
| | s (b) | [bs/s - unif/unif] | $bt = \{10,20,30\}$ |

El modelo de servicio usado se basa en las contribuciones de [15], y se ha diseñado a partir de las aportaciones técnicas en [11]-[19].

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) TSI2004-04940-C02-01, del VI Programa Marco (Pulsers II IP) IST-27142, y del Ministerio de Educación y Ciencia (beca FPU AP-2004-3568).

Referencias

- [1] T.Yamazaki, J.Matsuda, "Adaptive QoS management for multimedia applications in heterogeneous environments: a case study with video QoS mediation", *IEICE Trans. Comm.*, E82-B (11), pp. 1801-07, 1999.
- [2] P. Jenet *et al.*, "A study of a rural community's readiness for telehealth", *J Telemed Telecare*, v.9, no.5, pp.259-263, 2003.
- [3] P. Jenet *et al.*, "Delivery of rural and remote health care via a broadband Internet Protocol network - views of potential users", *J Telemed Telecare*, vol. 11, no.8, pp. 419-424, 2005.
- [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] E.A. Viruete, J. Fernández, I. Martínez, "Evaluation of QoS in Internet accesses for Multimedia applications EQoSIM", *Proc. IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, vol.1, pp.356-360, 2006.
- [6] M. Maheu, P. Whitten and A. Allen, "E-health, telehealth, and telemedicine: a guide to start-up and success," *Jossey-Bass Eds.* 362.102821-E103, San Francisco, USA, 2001.
- [7] D.Wright, "The ITU's report on telemedicine and developing countries," *J Telemed Telecare*, 4(1):75-79, 1998 [Spanish version in *International Telemedicine*, pp. 7-8, 1998].
- [8] S.M. Slipy, "Telemedicine and interconnection services reduce costs at several facilities," *Health Management Technology*, 16(8):52-55, 1995.
- [9] S-W. Suthon, G-M. Ong, H-K. Pung, "Adaptive end-to-end QoS management with dynamic protocol configurations", *10th IEEE Int Conf on Networks ICON*, pp. 106-111, 2002.
- [10] P. Taylor, "Evaluating telemedicine systems and services," *J Telemed Telecare*, 11(4):167-177, 2005.
- [11] I. Martínez and J. García, "SM3-Quality of Service evaluation tool for Telemedicine-Based New Healthcare Services", *International Congress on Computational Bioengineering ICCB*, pp.1163-73, 2005.
- [12] I. Martínez, A. Valero, E. Viruete, J. Fernández, J. García, "QoS M3. Herramienta de modelado de tráfico y tomografía de red para servicios de telemedicina", *Jornadas de Ingeniería Telemática JITEL*, pp. 423-430, 2005.
- [13] J. Bai, "PSTN technologies: Health evolution," *IEEE Trans Inf Technol Biomed*, 2(4):250-9, 1999.
- [14] D. Swartz, "Digital Subscriber Lines: DSL in telemedicine," *Telemedicine Today*, 6(2): 28-30, 1998.
- [15] I. Martínez, "Contribuciones a modelos de tráfico y control de QoS en los nuevos servicios sanitarios basados en telemedicina," *Tesis Doctoral*, Univ. Zaragoza, 2006.
- [16] A. Vogel, G. Bochmann, R. Disallow, J. Geckos and B. Kerherv, "Distributed Multimedia Applications and Quality of Service - A survey," *IEEE Multimedia*, 2(2):10-19, 1995.
- [17] C. Aurrecoechea, A.T. Campbell and Linda Hauw, "A survey of QoS architectures," *IEEE Trans Inf Techn Biomed*, 2002.
- [18] X.Xiao and L.M. Ni, "Internet QoS: a big picture," *IEEE Network*, 13(2):8-18, 1999.
- [19] N. Seitz, "ITU-T QoS standards for IP-based networks," *IEEE Communications Magazine*, 41(6):82-89, 2003.
- [20] T. Ikenaga *et al.*, "Performance evaluation of delayed reservation schemes in server-based QoS management," *IEEE GLOBECOM*, vol. 2, pp. 1460-1464, 2002.
- [21] R.A. Guérin, "QoS Routing in Networks with Inaccurate Information: Theory and Algorithms," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 7(3):605617, 1999.
- [22] RLK. Mandisodza and MJ. Reed, "Evaluation of buffer management for RT audio transmission over IP Networks," *Communication Networks and Services*, 2001. <http://www.iee.org/oncomms/pn/communications>. Last access 30/06/06.
- [23] H.J. Chao and X.Guo, "Quality of Service Control in High-Speed Networks," *John Wiley Eds.*, 2002.
- [24] K.Kalapriya *et al.*, "Dynamic Traffic Profiling for Efficient Link Bandwidth Utilization in QoS Routing," *Asia-Pacific Conference on Communication (APCC)*, pp. 17-38, 2003.
- [25] I. Martínez, J. García *et al.*, "Application Parameters Optimization to Guarantee QoS in e-Health Services", *Int Conf IEEE Engineering in Medicine and Biology Society EMBS*, pp. 5222-5225, 2006.
- [26] J. L. Romeu, "K-S: A goodness of fit test for small samples," *START Reliability Analysis Center*, 10(6):123-126, 2003.