

Evaluación de QoS en accesos a Internet para aplicaciones Multimedia (EQoSIM)

Julián Fernández Navajas, Eduardo Antonio Viruete Navarro,
José Carlos Ibar Cuerda, Ignacio Martínez Ruiz, José Carlos Bellido Bello

{navajas, evirnete, 474229, imr, jcb}@unizar.es

Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones (GTC) – Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)
Universidad de Zaragoza

Ed. Ada Byron, C\ María de Luna nº 1, 50018 Zaragoza (España)

Tlf: (+34) 976 76 1963 – Fax: (+34) 976 76 2111

RESUMEN: Esta ponencia presenta el desarrollo de un sistema de medida *on-line* de la calidad de servicio (QoS) que obtienen los usuarios en sus accesos a Internet, basado en cuatro importantes parámetros que condicionan esa QoS para aplicaciones multimedia en tiempo real: la capacidad del acceso, el ancho de banda disponible en el mismo, el retardo de la comunicación y la tasa de pérdidas.

El sistema tiene como características principales su enfoque hacia las aplicaciones multimedia en tiempo real, la utilización de métodos de estimación de la QoS poco intrusivos, la facilidad de manejo por parte del usuario y la posibilidad de acceder a él desde cualquier plataforma. Además, es capaz de realizar un seguimiento de los parámetros de QoS del acceso a lo largo del tiempo, por lo que el sistema constituye un estimador fiable de la eficiencia real y las prestaciones de los accesos a Internet.

1. INTRODUCCIÓN

Desde sus comienzos, Internet ha experimentado un gran incremento en el número de usuarios y de datos transferidos. De esta forma, se ha llegado al punto en que, hoy en día, la mayoría de los servicios que se ofrecen en nuestra sociedad consiguen valor añadido mediante el uso de Internet. Este hecho justifica el continuo desarrollo de aplicaciones software sobre redes de comunicaciones entre ordenadores que permitan la adaptación a este nuevo entorno. Las nuevas formas de usar Internet han motivado que el tipo de información transmitida también haya cambiado, haciendo que en la actualidad los nuevos servicios multimedia generen una cantidad significativa del tráfico que viaja por la red. Además, las expectativas de crecimiento futuro para aplicaciones como la voz sobre IP (*Voice over Internet Protocol*, VoIP), la videoconferencia o la telemedicina indican que esta cantidad irá en aumento.

Como consecuencia de esta evolución, y para soportar el creciente número de usuarios y sus necesidades, las tecnologías de acceso a Internet se han diversificado. Las características

heterogéneas de los diferentes accesos a Internet, junto con las exigencias de los usuarios, hacen necesaria la definición de la calidad de servicio (*Quality of Service*, QoS) [1] que ofrecen, particularmente cuando se trata de dar servicio a aplicaciones en tiempo real. En la actualidad, los accesos a Internet pueden variar desde el tradicional módem analógico hasta los más recientes accesos digitales de banda ancha, tanto cableados como inalámbricos (Fig. 1). Estos accesos presentan características muy heterogéneas: diferente ancho de banda y retardo, asimetría, tamaño de trama variable, etc., lo que se traduce en diferentes niveles de QoS.

A lo largo del tiempo se han desarrollado diversas herramientas de estimación de parámetros relacionados con la QoS, como son el ancho de banda, el retardo o la tasa de pérdida de paquetes. No obstante, el ancho de banda ha sido el parámetro tradicionalmente usado por los usuarios finales para cuantificar las prestaciones de su acceso a Internet. Los populares *test* de velocidad de la conexión a Internet [2-5] realizan una estimación del ancho de banda midiendo el tiempo de descarga de uno o varios ficheros de tamaño fijo desde diferentes servidores geográficamente dispersos. Esta forma de estimación del ancho de banda es rápida y sencilla, pero tiene varios inconvenientes, entre los que destaca el hecho de que está enfocada hacia la estimación del ancho de banda utilizado para la transferencia de ficheros, generalmente sobre el protocolo TCP (*Transmission Control Protocol*). Por el contrario, las aplicaciones multimedia en tiempo real suelen usar el protocolo RTP (*Real-time Transport Protocol*) [6], el cual, a su vez, se transporta sobre el protocolo UDP (*User Datagram Protocol*). Como consecuencia del distinto comportamiento de los protocolos TCP y UDP, los *test* de velocidad de la conexión a Internet existentes en la actualidad no son tan útiles para las aplicaciones multimedia en tiempo real. Por tanto, se hace necesaria una herramienta que sirva de estimador fiable de las prestaciones de los accesos a Internet en cuanto al uso de aplicaciones multimedia en tiempo real se refiere.

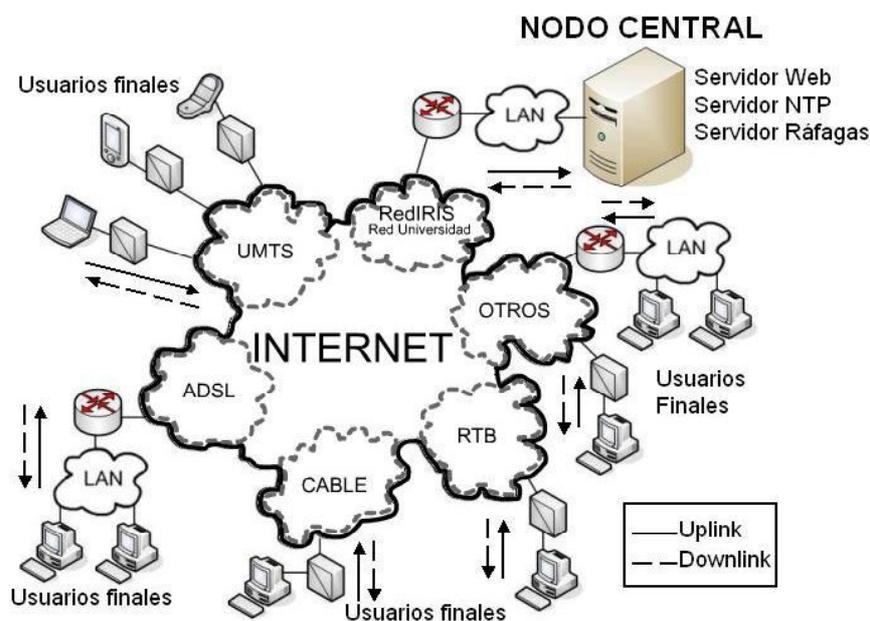


Figura 1. Escenario general de red

Esta ponencia presenta un sistema *on-line* de estimación de la QoS para accesos a Internet denominado EQoSIM (Evaluación de QoS en accesos a Internet para aplicaciones Multimedia). El sistema está especialmente enfocado hacia las aplicaciones multimedia en tiempo real y realiza la estimación de QoS desde el punto de vista del usuario final, de una forma fácil y sencilla. EQoSIM es capaz de estimar la capacidad máxima del acceso a Internet, el ancho de banda disponible en el mismo, el retardo de una comunicación y la tasa de pérdida de paquetes. Estos cuatro parámetros de QoS han sido considerados como los más influyentes en el funcionamiento de aplicaciones multimedia en tiempo real.

2. LA CALIDAD DE SERVICIO Y SU ESTIMACIÓN

2.1 El concepto de calidad de servicio

La QoS en una aplicación telemática puede definirse como [1]:

“Conjunto de las características, tanto cuantitativas como cualitativas, de un sistema distribuido necesarias para alcanzar las funcionalidades requeridas por una aplicación”.

El concepto de QoS es muy amplio, ya que no está limitado sólo al tipo de acceso a Internet y sus características. Factores tales como el tipo de servidor donde reside la información, su situación geográfica, los protocolos de comunicación usados, las tecnologías de red que atraviesa la comunicación o la capacidad de los enlaces pueden influir en la QoS. Por otro lado, la QoS

puede considerarse desde diferentes puntos de vista: seguridad, prestaciones, velocidad, fiabilidad, impresión subjetiva para el usuario, etc. Además, la QoS también depende del tipo de aplicación considerada, puesto que no todas las aplicaciones tienen los mismos requerimientos. Por ejemplo, una comunicación de audio en tiempo real puede tolerar ciertas pérdidas, pero no retardos excesivos, mientras que la transferencia de un fichero de texto, por el contrario, no es tan sensible al retardo, pero sí a las pérdidas. Como resultado, el extenso conjunto de elementos que influyen en la QoS hacen de su estimación una tarea compleja.

Dentro de este escenario, existen diferentes actores interesados en estimar la QoS. En primer lugar aparecen los operadores de Internet, interesados en realizar una correcta planificación de los recursos de la red de comunicaciones. En segundo lugar, los Proveedores de Servicio de Internet (*Internet Service Provider, ISP*) preocupados por ofrecer un grado de servicio que satisfaga las expectativas de los clientes. Y en tercer lugar los usuarios finales, interesados en comprobar la calidad obtenida y compararla con la acordada en el contrato. Además de las diferencias en cuanto a propósitos, los métodos de medida de los que dispone cada uno de estos grupos también varían sustancialmente, desde el operador que puede monitorizar de forma precisa la utilización de cualquier enlace de su red a través de la información obtenida con el software de gestión de los *router*, hasta el usuario, que no dispone de información suficiente sobre otros nodos de la red ni de la configuración de la

misma. Por ello, a pesar de que estos tres actores pueden obtener beneficios sustanciales de un sistema diseñado para estimar la QoS, nos centraremos especialmente en los usuarios finales.

2.2 Estimación de la QoS

Como ya se ha apuntado anteriormente, el amplio conjunto de elementos que influyen en la QoS hacen de su estimación una tarea compleja. Esto es aún más cierto cuando se trata de estimar la QoS desde el punto de vista del usuario final, ya que éste no dispone de la información con la que cuentan los operadores de red e ISP. Esta complejidad afecta tanto a los métodos de estimación como a los parámetros de QoS que pueden utilizarse.

Los diferentes métodos que emplean las herramientas de estimación de parámetros de QoS desde el punto de vista del usuario pueden clasificarse en pasivos [7] y activos [8]. Los primeros capturan el tráfico existente en la red y miden los tiempos de llegada de los paquetes, mientras que los segundos inyectan paquetes de prueba en la red para realizar la medición. A su vez, los métodos activos se pueden dividir en los que miden de forma conjunta los dos sentidos de la comunicación (*Round Trip*, RT) y los que miden en cada sentido de la comunicación por separado (*One-Way*). Los protocolos más empleados en estos sistemas son UDP, TCP e ICMP (*Internet Control Message Protocol*).

Respecto a los parámetros de QoS, se van a seleccionar aquellos que condicionan en mayor medida la QoS para las aplicaciones multimedia en tiempo real, pero previamente es importante definir el concepto de cuello de botella (*bottleneck*) [9]. Desde el punto de vista del usuario final, en la gran mayoría de los casos nos encontramos que la QoS se encuentra fuertemente influenciada por un único enlace a lo largo del camino seguido por la comunicación. A este enlace se le suele denominar cuello de botella, y con frecuencia se encuentra ubicado en el acceso del usuario.

Volviendo a la selección de parámetros de QoS, hay que destacar que la estimación del ancho de banda se ha estado empleando de forma generalizada como el único parámetro para caracterizar la QoS. No obstante, la mayoría de los nuevos servicios multimedia en tiempo real (por ejemplo, transmisiones de audio y vídeo en tiempo real) requieren también un retardo acotado y bajas pérdidas, por lo que estos parámetros también serán de interés a la hora de analizar un acceso a Internet. Por tanto, los parámetros de QoS escogidos para este sistema son el ancho de banda total en el cuello de botella (BBw, *Bottleneck Bandwidth*) [9], el ancho de banda

disponible en el cuello de botella (ABBw, *Available Bottleneck Bandwidth*) [9], el retardo y la tasa de pérdidas. Estos parámetros permiten caracterizar un acceso a Internet de forma adecuada cuando éste se usa para realizar comunicaciones multimedia en tiempo real.

3. EL SISTEMA EQOSIM

Tal y como se ha apuntado en la introducción, la mayoría de los *test* de velocidad de la conexión a Internet [2-5] usan transferencias de ficheros sobre TCP para estimar el ancho de banda. Sin embargo, este método tiene varios inconvenientes:

- Únicamente estima el ancho de banda de la transferencia de ficheros sobre TCP. Las aplicaciones basadas en UDP, como la mayoría de aplicaciones multimedia en tiempo real, no se consideran.
- El proceso de estimación del ancho de banda es altamente intrusivo para la red, ya que se transmiten grandes cantidades de datos.
- Con frecuencia se requiere que el usuario no envíe ningún tráfico por la red mientras el *test* de velocidad se está llevando a cabo. Esto no constituye una situación realista, ya que un usuario puede estar generando otros tráficos mientras usa una determinada aplicación. En esos casos, el valor del ancho de banda total no es tan útil como el valor del ancho de banda disponible en el acceso [10]. Este aspecto es particularmente importante para las aplicaciones en tiempo real, donde las restricciones temporales y de ancho de banda son muy importantes, por lo que la presencia de un tráfico competidor en la red puede degradar sus prestaciones de forma sustancial.
- Por lo general, el retardo y la tasa de pérdidas no se consideran. Estos parámetros son especialmente relevantes para aplicaciones en tiempo real. Existen herramientas que los tienen en cuenta [11], pero no están enfocadas hacia usuarios no expertos.

EQoSIM ha sido desarrollado tratando de solventar todos estos inconvenientes, poniendo especial énfasis en que resulte un sistema fácil de usar y accesible desde cualquier plataforma.

3.1 Objetivos de EQoSIM

Una vez definido el problema a abordar, el objetivo principal de este trabajo es desarrollar un sistema de medida *on-line* de la QoS que obtienen los usuarios en sus accesos a Internet, basado en

los cuatro parámetros seleccionados anteriormente como los más influyentes para aplicaciones multimedia en tiempo real: la capacidad del acceso (parámetro BBw), el ancho de banda disponible (parámetro ABBw), el retardo y la tasa de pérdidas. Las características que deberá tener el sistema implementado serán:

- El método de medición ha de ser poco intrusivo para la red de comunicaciones, lo que significa que ha de introducir la menor cantidad de datos posible en ella.
- Debe ser fácil de manejar para el usuario, aunque éste no tenga conocimientos avanzados sobre redes.
- Ha de ser capaz de realizar el seguimiento de los parámetros de QoS de los accesos a Internet, independientemente de la tecnología de los mismos.
- Debe servir de estimador fiable de la eficiencia real de los accesos, de forma que proporcione resultados útiles de cara al futuro uso de nuevas aplicaciones multimedia en tiempo real.
- Además deberá de ser portable en el sentido de que se ha de poder acceder a este servicio desde cualquier navegador y sistema operativo.

3.2 Aplicación desarrollada

Para cumplir con los objetivos presentados anteriormente, se ha desarrollado el sistema EQoSIM mediante dos soluciones: medidas

centralizadas y distribuidas. Las medidas centralizadas están enfocadas a la estimación de la QoS en los accesos a Internet. Las medidas distribuidas, por el contrario, permiten completar la información ofrecida por las primeras, mediante la caracterización de la QoS de una comunicación usuario a usuario (*peer-to-peer*) (ver Fig. 1).

Para la primera de las soluciones se utiliza una aplicación Web (Fig. 2) capaz de realizar un seguimiento de la capacidad, el ancho de banda disponible, el retardo de la comunicación y la tasa de pérdidas estimados en cada acceso a Internet mediante la conexión a un servidor central.

Respecto a la segunda solución, existe la posibilidad de descargar una aplicación Java independiente, de forma que los usuarios puedan ejecutarla en su sistema de forma residente. De esta manera, y a través de un programa maestro ubicado en un servidor, se puede planificar la estimación de la QoS entre dos clientes entre sí.

3.2.1 Algoritmo de estimación de la QoS

El algoritmo seleccionado para la estimación de QoS en EQoSIM es de tipo *One-Way* y se basa en la transmisión de pequeñas ráfagas de paquetes UDP de longitud conocida entre el cliente y el servidor. La medida del ensanchado entre los paquetes de las ráfagas recibidas proporciona los elementos necesarios para la estimación de los parámetros de QoS seleccionados [9]. Se ha escogido el protocolo UDP para la realización de las mediciones, ya que las transmisiones multimedia en tiempo real suelen emplear el

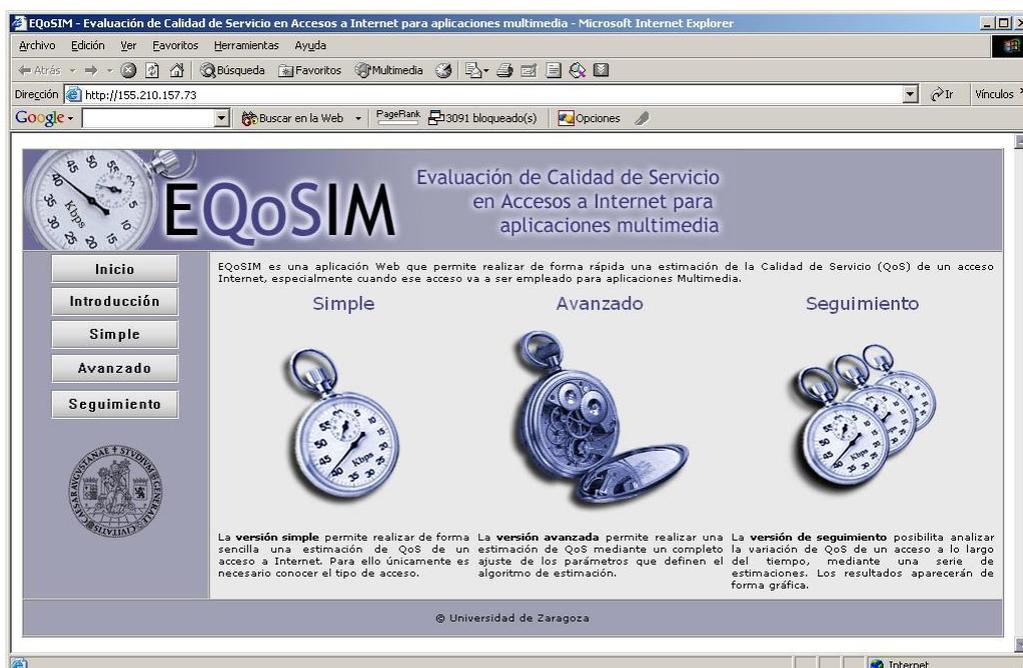


Figura 2. Página principal de EQoSIM

protocolo RTP, transportado a su vez sobre el protocolo UDP. De la misma forma, el uso de un algoritmo de tipo *One-Way* se justifica dada la asimetría de algunos de los accesos a Internet existentes. Debido a esta característica, las ráfagas de paquetes se envían primero en sentido ascendente (*uplink*) y después en descendente (*downlink*) para estimar los parámetros de QoS en ambos sentidos.

Las ventajas de este método frente a los que frecuentemente se emplean en Internet, y que consisten en medir el tiempo de descarga de un fichero, son las siguientes:

- La medida es menos intrusiva porque se introduce poca carga en la red.
- La medida se realiza de forma más rápida, por lo que el usuario tarda menos en conocer los resultados de la estimación.
- Se pueden estimar varios parámetros que determinan la QoS tales como: capacidad del acceso a Internet, ancho de banda disponible en el mismo, retardo de la comunicación, variación del retardo, porcentaje de tramas perdidas, etc.
- Este método permite conocer con mayor exactitud el ancho de banda cuando éste cambia dependiendo de la longitud de las tramas enviadas.
- El uso del protocolo UDP permite realizar una estimación de los parámetros de QoS para aplicaciones multimedia en tiempo real.

Los posibles inconvenientes son:

- Si, tras atravesar el cuello de botella, los paquetes de las ráfagas son almacenados en una cola antes de pasar a una red más rápida, saldrán de la misma más próximos temporalmente que al abandonar el cuello de botella. Por tanto, la medida no será fiable, ya que se obtendrá un ancho de banda superior al real.
- Esta técnica parte de unos supuestos implícitos, como son que los *router* que atraviesan las ráfagas usan la disciplina de colas FIFO (*First In, First Out*) y que el método de retransmisión que usan es de tipo *store-and-forward* (es decir, esperan a recibir el último bit de cada paquete antes de comenzar a reenviarlo). Estos supuestos suelen cumplirse en Internet, aunque no siempre.
- Existe un compromiso entre el volumen de datos enviado y la exactitud en la estimación: cuantas más ráfagas se envíen,

mejor será la estimación, pero más tráfico se introducirá en la red.

- Medir los tiempos de llegada de paquetes pequeños requiere buena precisión temporal. Además, para medir determinados parámetros como el retardo, se requiere sincronización de reloj extremo a extremo.
- Los valores óptimos de los parámetros del algoritmo dependen de la tecnología del acceso a Internet que se esté analizando.

3.2.2 Tecnologías empleadas

Java ha sido seleccionada como tecnología web para la solución centralizada de EQoSIM. Siguiendo el modelo cliente-servidor, se han escogido los *applet* Java para implementar la parte del cliente y una aplicación Java para el lado del servidor.

En la solución distribuida también se ha optado por Java para la programación tanto del cliente como del servidor, situados ambos en los equipos de los usuarios.

El motivo fundamental de la elección de Java para la realización de este sistema es que los programas desarrollados en Java pueden ejecutarse sobre cualquier plataforma con el único requisito de haber instalado la máquina virtual Java. Además, en el caso de la solución centralizada, el uso de *applet* Java no requiere de la instalación de ningún programa por parte del usuario, lo que simplifica su uso.

3.3 Despliegue de EQoSIM

EQoSIM se ha desplegado como se muestra en la Fig. 1. Como puede verse, para la solución centralizada hay un nodo central al cual acceden los usuarios que quieren realizar las estimaciones de QoS. Este nodo contiene un servidor web que almacena las páginas web y los *applet* Java que implementan la parte de la aplicación del lado del cliente. Además, en el mismo equipo están instalados un servidor de tiempos con el protocolo NTP (*Network Time Protocol*) [12] y el servidor de ráfagas que se ha desarrollado para tomar las medidas. NTP es un protocolo estándar de Internet que asegura la sincronización de un equipo en una red, enviando peticiones para obtener una referencia del tiempo del servidor y usarla para ajustar el reloj del cliente. De esta forma, EQoSIM puede realizar medidas de retardo.

En el caso de la aplicación distribuida, tanto el cliente como el servidor se encuentran instalados en los equipos de los usuarios, siendo un servidor maestro externo el encargado de ordenar las pruebas entre usuarios y recoger los resultados.

El funcionamiento de las pruebas entre usuarios es similar al de la solución centralizada.

4. USO DE EQoSIM

El uso de EQoSIM es diferente según la solución adoptada. En el caso de la solución centralizada existen distintas versiones del sistema que se diferencian en cómo se eligen los parámetros del algoritmo de estimación y en el tiempo de realización de las medidas: versión simple, versión de seguimiento y versión avanzada. En la solución distribuida no es necesaria ninguna configuración por parte del usuario. Es el servidor maestro externo el encargado de la configuración de las medidas, por lo que sólo se usa la versión avanzada.

4.1.1 Versión simple

Al iniciar esta versión (Fig. 3), el *applet* lee automáticamente un fichero del servidor (denominado fichero de accesos), que contiene los parámetros de las medidas que se deben realizar para cada una de las tecnologías de acceso que el usuario puede seleccionar de una lista desplegable que aparece en pantalla. Una vez seleccionada la tecnología que se está usando, la estimación de QoS puede llevarse a cabo sin necesidad de introducir ningún dato, puesto que el *applet* se encarga de realizar las medidas oportunas con los parámetros leídos del fichero de accesos. Por ese motivo, esta versión es muy sencilla de utilizar y posibilita que un usuario que

no posea conocimientos de redes pueda realizar una prueba. La complejidad que encierra la selección de los parámetros óptimos para esa prueba queda de este modo en manos del administrador del nodo central, que será el encargado de rellenar el fichero de accesos. Una vez concluido el proceso de estimación, cuyo estado se indica en una barra de progreso, los resultados se muestran en pantalla.

4.1.2 Versión de seguimiento

Esta versión es muy similar a la anterior, pero en lugar de realizarse una única estimación, lleva a cabo un seguimiento del acceso durante un tiempo determinado (Fig. 4). Una vez seleccionado el número de estimaciones de QoS a realizar y el tiempo entre estimaciones consecutivas, este *applet* las realiza de forma automática y presenta los resultados obtenidos en dos gráficas: una para el enlace ascendente y otra para el enlace descendente. Este sistema es útil, por ejemplo, para analizar la QoS en función de la hora del día.

4.1.3 Versión avanzada

A diferencia de las versiones anteriores, en las que los parámetros que emplea el algoritmo de estimación de QoS se cargan automáticamente, esta otra versión permite que un usuario (o, en su defecto, el administrador del servidor maestro para la solución distribuida) que posea ciertos conocimientos sobre el funcionamiento del algoritmo de estimación elija los valores de los

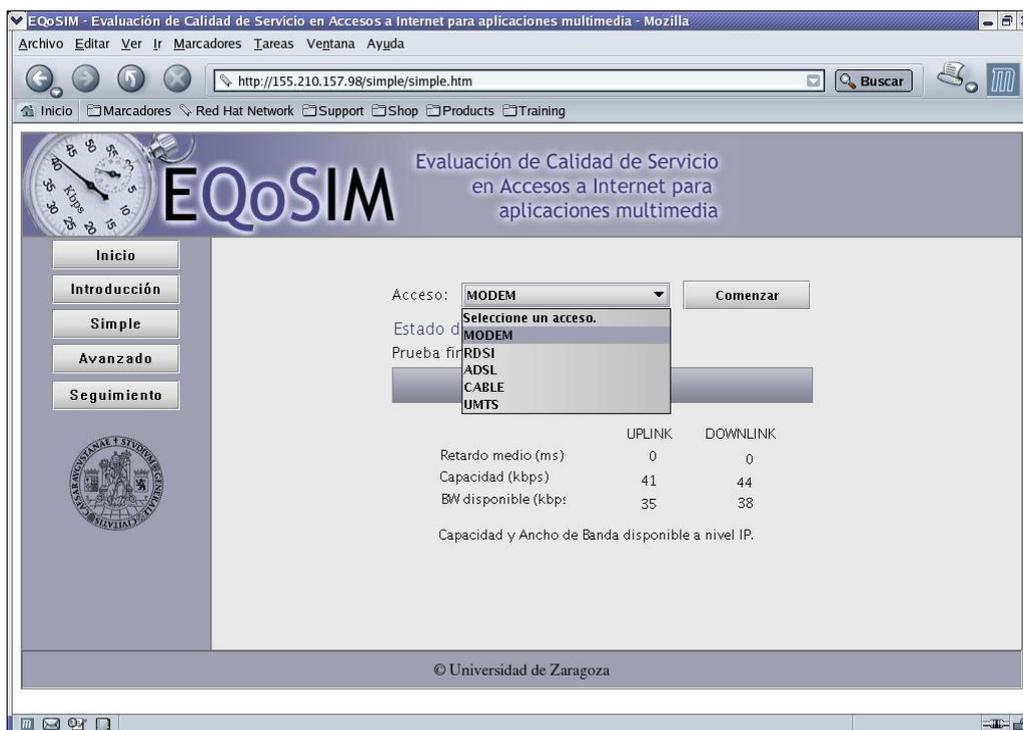


Figura 3. Versión simple

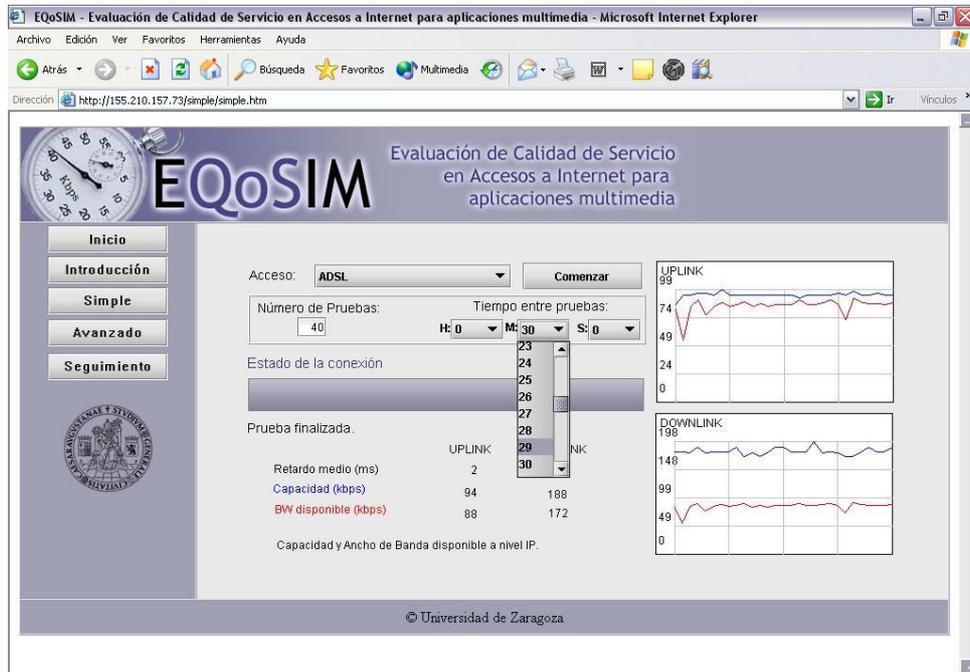


Figura 4. Versión de seguimiento

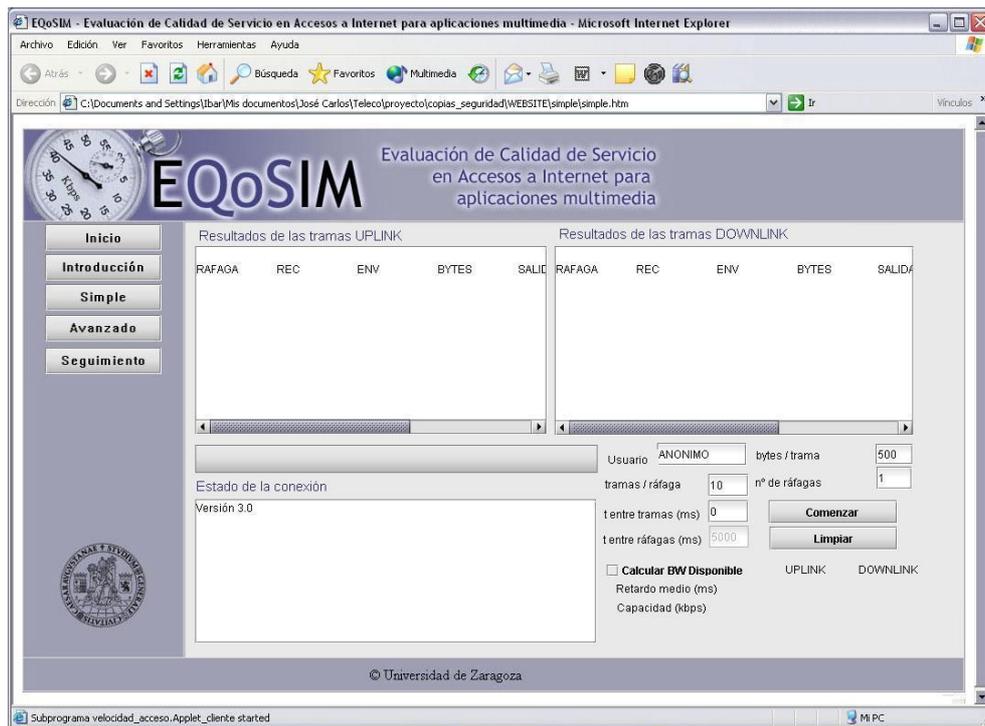


Figura 5: Versión avanzada

mismos y, además, muestre en un cuadro de texto los tiempos de llegada de cada una de las tramas. De esta forma, es posible copiar esos datos, trasladarlos a otros programas (hojas de cálculo, programas de estadística o de representación gráfica, etc.) y realizar un posterior procesado (Fig. 5). Por ese motivo, esta versión está enfocada a usuarios con conocimientos avanzados que quieran sacar el máximo partido a la aplicación realizando estimaciones a medida. Por ejemplo, esta será la opción que se debe elegir si se quieren realizar pruebas exhaustivas para caracterizar un acceso.

5. CONCLUSIONES

En esta ponencia se ha presentado un sistema *on-line* de estimación de QoS en accesos a Internet especialmente enfocado hacia aplicaciones multimedia en tiempo real. Teniendo en cuenta este tipo de aplicaciones, los parámetros de QoS más representativos son la capacidad máxima del acceso, el ancho de banda disponible en el mismo, la tasa de pérdidas y el retardo de la comunicación.

Los resultados obtenidos permiten al usuario final de Internet conocer las prestaciones ofrecidas por su acceso. De esta manera, cuenta con datos objetivos para comprobar el cumplimiento de unos niveles mínimos en el contrato de conexión a Internet por parte de su ISP.

Como característica adicional, los resultados también pueden almacenarse, permitiendo realizar un seguimiento temporal de los parámetros de QoS

Este sistema también es útil para los usuarios finales de Internet que quieran comprobar la calidad de su acceso o de las comunicaciones que pueden establecer entre dos de ellos, lo que les permite conocer qué aplicaciones pueden usar de manera satisfactoria.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los proyectos TSI2004-04940-C02-01 de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER), y FIS G03/117 del Fondo de Investigación Sanitaria (FIS).

7. REFERENCIAS

[1] A. Vogel, B. Kerhervé, G. von Bochmann y J. Gecsei, "Distributed Multimedia and QoS: A Survey", IEEE Multimedia, pp. 10 – 18, 1995.

[2] "Test de velocidad del acceso a Internet", URL: http://www.aui.es/au_i_test. Último acceso: 13-12-2004.

[3] "Velocímetro", URL: <http://www.velocimetro.org>. Último acceso: 13-12-2004.

[4] "Bandwidth Speed Test", URL: <http://www.bandwidthplace.com/speedtest>. Último acceso: 13-12-2004.

[5] "Broadband reports Speed Test", URL: <http://www.dslreports.com/stest>. Último acceso: 13-12-2004.

[6] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", Internet RFC 3550, Julio 2003.

[7] "NLANR Measurement and Network Analysis", URL: <http://moat.nlanr.net>. Último acceso: 13-12-2004.

[8] K. Lai y M. Baker, "Nettimer: A Tool for Measuring Bottleneck Link Bandwidth", Proc. USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems, Mar. 2001.

[9] J. Lafuente, I. García y J. Fernández, "QoS Estimators for Client-Side Dynamic Server selection: Limitations and Keys", Proc. IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC'04), Jun. 2004.

[10] N. Hu y P. Steenkiste, "Evaluation and Characterization of Available Bandwidth Probing Techniques", IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 21, No. 6, pp. 879-894, Ago. 2003.

[11] J. C. Bolot, "Characterizing End-to-End Packet Delay and Loss in the Internet", Journal of High Speed Networks, Sep. 1993.

[12] David L. Mills, "Network Time Protocol: Specification, Implementation and Analysis", Internet RFC 1305, Mar. 1992.

RESEÑA CURRICULAR:

Julián Fernández es profesor Titular de Universidad del área de Ingeniería Telemática en la Universidad de Zaragoza. Miembro del Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones (GTC) y del Instituto de Investigación en Ingeniería en Aragón (I3A) de la Universidad de Zaragoza. Títulos de Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Valencia en 1993 y Doctor Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad de Zaragoza en 2000.

Eduardo A. Viruete es becario de investigación del Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones (GTC) y colaborador del Instituto de Investigación en Aragón (I3A) de la Universidad de Zaragoza. Título de Ingeniero de

Telecomunicación por la Universidad de Zaragoza en 2003.

José Carlos Ibar es Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad de Zaragoza en 2004.

Ignacio Martínez es profesor Asociado del área de Ingeniería Telemática en la Universidad de Zaragoza. Miembro del Grupo de Tecnologías

de las Comunicaciones (GTC) y colaborador del Instituto de Investigación en Ingeniería en Aragón (I3A) de la Universidad de Zaragoza. Título de Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad de Zaragoza en 2000.

José Carlos Bellido es Ingeniero en Informática por la Universidad de Zaragoza en 2004.