

# Monitorización y Análisis de Servicios de Video Streaming Peer-to-Peer sobre redes UMTS

Almudena Díaz, Pedro Merino, Laura Panizo, Álvaro M. Recio  
Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación.  
Universidad de Málaga, Málaga, España  
E-mail: {almudiaz,pedro,laurapanizo,amrecio}@cc.uma.es

**Abstract** *In this paper, we study the adequacy of applying peer-to-peer techniques to mobile networks by conducting a series of experiments using smart phones as peers. We measure important parameters, such as jitter and packet losses, in static and dynamic scenarios, focusing on a video streaming service. Finally, based on the results obtained, we discuss the feasibility of these applications.*

## 1. Introducción

El despliegue de aplicaciones de vídeo en redes celulares ha evolucionado desde la vídeo telefonía, sobre redes de conmutación de circuitos, a la distribución de vídeo, sobre redes IP de conmutación de paquetes. Actualmente los nuevos servicios multimedia se centran entorno a servicios de vídeo *streaming* y de televisión en el móvil. Por otro lado nuevos modelos de red están siendo probados y las propuestas P2P [19][8] han suscitado numerosas expectativas dado su éxito en las redes fijas.

La última tendencia en el mercado de la telefonía celular se basa en el despliegue de arquitecturas P2P centralizadas. Los sistemas P2P tienen ciertos beneficios a resaltar frente al tradicional paradigma cliente-servidor. Las principales ventajas que han motivado el despliegue de este tipo de servicios sobre redes celulares están relacionadas con la escalabilidad, obtener un mejor balanceo de la carga y la posibilidad de intercambiar contenidos de una forma más dinámica. En relación a este último punto, y en base al éxito obtenido en las redes fijas, se puede afirmar que la descentralización de los recursos allana el camino para la incorporación de terceros en el mercado de los proveedores de contenidos sobre redes celulares, además de obtenerse unos contenidos más dinámicos y atractivos gracias al control que tienen los usuarios sobre los recursos disponibles en la red.

Por otro lado el uso de técnicas P2P en redes móviles presenta varias limitaciones que no había en las redes fijas. Los mayores inconvenientes son la escasez de ancho de banda y las limitaciones presentes en los terminales móviles: memoria, capacidad de procesamiento, tiempo de vida de la batería, etc. Además, la presencia y disponibilidad de los abonados varía enormemente respecto a las redes fijas debido a la alta movilidad de los mismos

y a los fenómenos de propagación que tienen lugar en el interfaz radio.

En el artículo se presenta una metodología que permite llevar a cabo la caracterización del tráfico IP en entornos celulares así como la monitorización de parámetros de acceso a la red, como la clase de calidad de servicio asociada a la conexión de datos o la evolución del RSSI (*Radio Signal Strength Indicator*). Como caso de estudio se ha seleccionado el servicio de vídeo *streaming* P2P ya que representa a una innovadora gama de servicios multimedia cuyo despliegue sobre redes celulares puede suscitar numerosas dudas.

Este trabajo<sup>1</sup> forma parte de un proyecto más ambicioso que tiene por objetivo analizar el rendimiento de los nuevos servicios IP sobre redes heterogéneas de última generación teniendo como meta final el desarrollo de nuevos mecanismos y estrategias de gestión de red basadas en la monitorización de parámetros contextuales como el tipo de terminal, el acceso radio disponible, el tipo de servicio o la calidad de servicio requerida [12][4][5].

### 1.1. Trabajos Relacionados

El estudio del rendimiento del servicio de vídeo *streaming* sobre redes celulares ya ha sido abordado en trabajos previos. Lundan y Curcio en [16] [17] muestran resultados experimentales, en un entorno controlado en el ámbito de escenarios estáticos entre equipos fijos y terminales móviles. Lim et al. en [15] se centran en aspectos como la compresión y la optimización computacional del contenido, sin tener en cuenta los aspectos de movilidad y la variabilidad del interfaz radio.

Otros trabajos están orientados principalmente a las prestaciones de los sistemas P2P en términos de ar-

<sup>1</sup>Trabajo subvencionado por PTR 95-0961.OP, TIN 2005-09405-C02-01 y SMEPP IST-5-033563-STP.

arquitectura y resultados de simulaciones [11]. Este trabajo concluye que para traducir los beneficios espaciales de la comunicación P2P en un mejor *throughput* es necesario proponer nuevos enfoques en la arquitectura de las redes celulares. Sin embargo el servicio de vídeo *streaming* P2P móvil sobre este tipo de redes es una propuesta reciente e innovadora de la que no hay disponible ni estudios de campo sobre las prestaciones ni resultados experimentales reales.

En los últimos años se han propuesto un gran número de sistemas de *streaming* P2P para móviles, sobre todo para redes móviles *ad hoc* (MANETS) [24] [7] [13].

Nuestro trabajo se centra en considerar redes celulares y en concreto en analizar el rendimiento del servicio de vídeo *streaming* de móvil a móvil. En este entorno aparecen numerosas propuestas basadas en el protocolo SIP [19] [8] [3] para el desarrollo de servicios móviles P2P en redes celulares, siendo una de las soluciones más extendidas [10] en redes celulares. Aunque también presenta ciertos inconvenientes [9] (arquitectura con servidor central, problemas con NATs/cortafuegos, coste, etc) que necesitan ser resueltos.

Otras líneas de investigación se centran en el desarrollo de nuevos protocolos P2P para *streaming* entre móviles. Un buen ejemplo de esto es Cosmos [14], un protocolo diseñado específicamente para realizar *streaming* colaborativo entre terminales móviles.

La primera propuesta genérica que aborda el despliegue de redes P2P en entornos móviles es JXME [22]. JXME es una edición para móviles de JXTA [18]. En el momento en el que se escribe este artículo el núcleo de JXTA también está siendo portado a Symbian, el primer sistema operativo abierto para teléfonos móviles.

Hasta donde conocen los autores aún no se han desarrollado aplicaciones de *streaming* P2P para terminales móviles en redes celulares. Por tanto, en el presente trabajo se reproduce un posible escenario de ejecución de una aplicación de vídeo *streaming* P2P entre teléfonos móviles (ver figura 1). Durante los experimentos se han tenido en cuenta diferentes aspectos de movilidad del dispositivo móvil.

## 1.2. Contribuciones

Para analizar las prestaciones extremo a extremo de las aplicaciones P2P y la calidad de servicio percibida por el usuario las medidas se han obtenido desde el lado del terminal (peer).

Las soluciones tradicionales no son aplicables en este tipo de estudios pues se basan, en la mayoría de los casos, en introducir elementos intermedios que utilizan

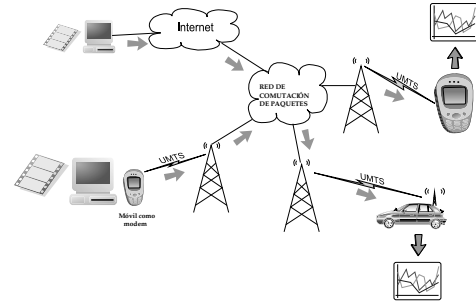


Figura 1: Escenario de medidas

herramientas, como analizadores de protocolos, para monitorizar la red. Los resultados obtenidos de esta forma no pueden ser mapeados en la calidad de servicio percibida por los usuarios.

Otras soluciones, basadas en uso de los teléfonos móviles como modem [20], han sido ampliamente usadas en trabajos previos. Esta es la configuración usada en el lado de la fuente de datos. Sin embargo esta opción no permite acceder a los parámetros de configuración de los contextos de datos que se establecen en el terminal móvil y tampoco permiten evaluar el rendimiento de la pila de protocolos presente en el terminal. Por este motivo en el lado del receptor se utiliza un analizador de protocolos para teléfonos móviles, desarrollado por los autores de este artículo (SymPA). SymPA [6] permite capturar el tráfico entrante cursado por el propio terminal (ver figura 2) a nivel IP y proporciona información de la calidad de servicio (QoS) de los contextos de datos establecidos. La versión actual de la herramienta permite llevar a cabo la monitorización de parámetros como el nivel de señal recibida (RSSI), el perfil de calidad de servicio, información de localización (basada en la identificación de la celda, en el código de área y el código de país), y estadísticas sobre el consumo de batería.

Por otro lado las medidas obtenidas directamente en el dispositivo permiten tener en cuenta las restricciones técnicas presentes en los terminales móviles, tales como la memoria disponible, la capacidad de procesamiento, la duración de la batería así como la pila de protocolos implementada en dichos dispositivos.

Todos estos parámetros monitorizados han sido correlados para analizar el impacto que factores como la movilidad y la escasez de ancho de banda tienen sobre el tráfico de vídeo *streaming* P2P sobre redes móviles. La contribución de este artículo es doble:

- Proporciona una metodología para evaluar las prestaciones del servicio de *streaming* de móvil a móvil con independencia del marco de trabajo y de la aplicación utilizada.



Figura 2: SymPA

- Presenta resultados estadísticos que pueden ser útiles para el diseño y futuro desarrollo de aplicaciones de *streaming* P2P sobre redes celulares. Los principales inconvenientes del modelo P2P en redes celulares aparecen reflejados en [11]. En particular y tras nuestro estudio práctico, se ha podido concluir que el servicio de vídeo *streaming* entre móviles no es viable sin el despliegue de tecnologías de acceso radio de alta velocidad como HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) o HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access).

Este artículo se estructura como sigue. Tras esta introducción, se presenta la metodología usada durante el estudio, en la sección 2 se describe la configuración del entorno de pruebas. En la sección 3 se presentan los diferentes escenarios de medidas usados y se discute sobre los resultados obtenidos en los experimentos. Por último, en la sección 4, se presentan las conclusiones.

## 2. Metodología y escenarios de prueba

Las pruebas se han llevado a cabo en tres redes públicas españolas de telefonía móvil. Los atributos de calidad de servicio [1] proporcionados por cada una de las redes aparecen en la tabla 1.

Los tres operadores proporcionan el mismo perfil de tráfico, el interactivo, que no es el más adecuado para una aplicación de vídeo *streaming* como la que estamos probando. El tráfico de la clase interactiva no tiene una tasa de bit garantizada; depende de la carga del sistema en cada instante y de la prioridad del tráfico. La principal característica de esta clase es que la carga se transmite de forma transparente pero no se mantiene el retardo de transferencia ni la tasa de bit ni la de paquetes perdidos. La clase más adecuada para el servicio que estamos evaluando sería la clase *streaming*. Sin embargo esta clase aún no está siendo ofertada por ninguno de los operadores con licencia en España. En las pruebas realizadas se ha medido el an-

Cuadro 1: Atributos del Servicio Portador UMTS

Parámetros	Op1	Op2	Op3
Clase de Tráfico	Interactiva	Interactiva	Interactiva
BR. máximo (Kbps)	384/384	384/384	384/384
BR. garantizada (Kbps)	0/0	16/64	64/384
Retardo de transf.(ms)	0	768	1000
Tasa de SDUs erróneas	0.001	0.001	0.001
Tamaño max. SDU	1500	1500	1500
Entrega ordenada	No	No	No
BER. residual	0.00001	0.00001	0.00001
Entrega SDUs erróneas	No	No	No
Prioridad del tráfico	nivel 2	nivel 1	nivel 1

cho de banda, el jitter y la pérdida de paquetes. Para la realización de las medidas se han tenido en cuenta algunas de las recomendaciones del 3GPP relativas al servicio de *streaming* en redes GPRS y UMTS [2]. El ancho de banda que aparece en las figuras se ha calculado como el número de bits recibidos en el lado del cliente en el último segundo. El jitter se ha calculado de acuerdo con la fórmula descrita en el RFC de RTP (IETF RFC3550). La pérdida de paquetes se ha detectado examinando los números de secuencia de los paquetes RTP. Para las pruebas se han utilizado dos vídeos<sup>2</sup> con codec MPEG 4-Visual y formato 3gp, las diferencias entre estos vídeos son las tasas de bit, el primero (3.3gp) de 76Kbps y el segundo (12.3gp) de 42Kbps.

Las aplicaciones de vídeo *streaming* utilizadas durante las pruebas hacen uso de la pila de protocolos RTP/UDP/IP para la distribución de los vídeos. El protocolo RTCP (RTP Control Protocol) (IETF RFC3550) se utiliza para el intercambio de información de control entre el servidor y el cliente. Los protocolos RTSP (Real-Time Streaming Protocol)(IETF RFC2326) y SDP (Session Description Protocol)(IETF RFC2327) se utilizan para el inicio y control de la sesión. Durante las pruebas se ha utilizado un servicio de *streaming* bajo demanda. Como servidor se ha utilizado el servidor de streaming de libre distribución Darwin.

Los flujos RTP capturados en el terminal móvil han sido procesados con el conocido analizador de protocolos WireShark (antiguo Ethereal).

## 3. Resultados Experimentales

Antes de llevar a cabo el despliegue de servicios de vídeo *streaming*, es necesario evaluar parámetros como el retardo, el jitter y la pérdida de paquetes en redes celulares para decidir si es viable el uso de este

<sup>2</sup>Los vídeos utilizados y las gráficas obtenidas están disponibles en <http://www.lcc.uma.es/~pedro/mobile>.

Cuadro 2: Round Trip Time en escenario estático de fijo a móvil

RTT(ms)	Op1	Op2	Op3
1	4286	2342	1017
2	825	372	630
3	330	370	650
4	262	369	555
5	260	367	581

tipo de aplicaciones o si es necesario realizar cambios en la configuración de las redes de acceso o en su núcleo. En este sentido es necesario llevar a cabo medidas del ancho de banda, el jitter y las pérdidas para diseñar y configurar correctamente las redes P2P en entornos móviles, así como los parámetros de procesamiento (tamaño del buffer de reproducción, tasa de codificación del vídeo, etc) en los terminales.

Con este objetivo se ha realizado un estudio en condiciones reales de carga de la red, teniendo en cuenta las principales limitaciones de los terminales móviles y las ventajas de los *smart phones*. Los actuales *smart phones* han incorporado rápidamente los últimos avances tecnológicos como Bluetooth, Wi-Fi, HSDPA etc; por lo que son los primeros terminales móviles de uso masivo [21] que pueden emplearse para el estudio de la calidad de servicio extremo a extremo percibida por los usuarios que hacen uso de las nuevas tecnologías de acceso radio existentes en el mercado e incluso en el caso de handover entre ellas.

Las medidas se han llevado a cabo usando terminales equipados con el sistema operativo Symbian, concretamente los *smart phones* utilizados durante las pruebas pertenecen a la serie 60 de Nokia. El reproductor de vídeo usado durante las pruebas ha sido la versión para Symbian del reproductor comercial Real One Player.

El escenario de referencia considerado durante las pruebas es un escenario en el cual el terminal móvil está conectado a la red de telefonía móvil y se encuentra ejecutando un reproductor de vídeo que intenta acceder a los vídeos almacenados en un PC, el cual tiene una conexión a Internet de alta velocidad. Para caracterizar la latencia de este escenario se ha medido el parámetro RTT (Round Trip Time) con paquetes ICMP de 32 bytes. Los resultados obtenidos se recogen en la tabla 2.

El segundo escenario utilizado reproduce una sesión de *streaming* de móvil a móvil reemplazando la conexión a Internet de alta velocidad del servidor por una conexión de datos UMTS. Los resultados obtenidos al medir el RTT en este escenario aparecen en la tabla 3. El RTT resultante de las pruebas con paquetes de 32 bytes se sitúa entorno a los 500 ms y presenta una gran varianza. Estos valores son mayores que los obtenidos con conexiones fijas a Internet, y mayores que en el

Cuadro 3: Round Trip Time en escenario estático de móvil a móvil

RTT (ms)	Op1-Op2		Op1-Op3		Op2-Op3	
	1-2	2-1	1-3	3-1	2-3	3-2
1	2968	2828	1150	6296	4093	3328
2	484	562	843	640	500	421
3	468	546	453	578	468	453
4	562	562	1187	625	531	500
5	562	593	1187	593	546	453

escenario fijo-móvil.

El RTT medio en las redes tradicionales de cable se sitúa entorno a los 50 ms. Las aplicaciones de audio y vídeo son particularmente sensibles a la variación del RTT, motivo por el que el desarrollo de aplicaciones de vídeo *streaming* para redes celulares necesita nuevos estudios de rendimiento. Las consecuencias directas de la varianza del RTT son fenómenos como el *rebuffering* y la llegada de paquetes desordenados.

En la figura 3 se marca con un punto aquellos paquetes que llegan fuera de orden. En el escenario de referencia la mayoría de los paquetes marcados tienen el tamaño máximo (ver figura 4), por contra, en el segundo escenario las paquetes fuera de orden no parecen estar relacionados con el tamaño del paquete debido a la alta variabilidad en los tiempos de ida y vuelta (RTT). En este caso la predicción de la llegada de paquetes fuera de orden resulta más complicada.

El objetivo de la siguiente medida es caracterizar los parámetros de rendimiento a nivel de paquetes en los diferentes escenarios presentados y con diferentes grados de movilidad del usuario.

### 3.1. Caracterización del tráfico *Peer-to-Peer* en escenarios estáticos

En el escenario estático, las medidas se llevan a cabo en el interior de un recinto con el terminal en reposo.

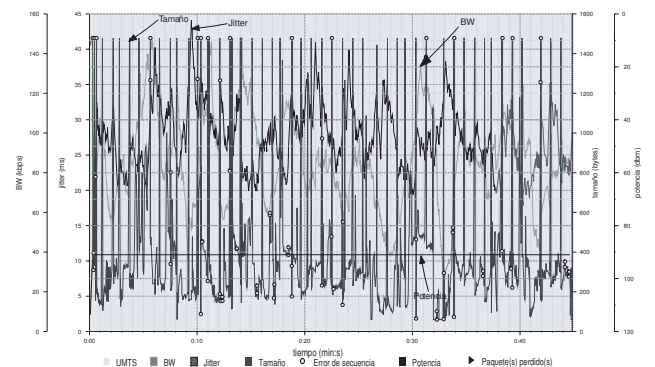


Figura 3: Errores de secuencia durante una sesión de vídeo *streaming* en un escenario estático de móvil a móvil

La figura 5 muestra la evolución del jitter y del ancho de banda durante una sesión de *streaming* en el escenario de referencia descrito en la anterior sección. En estas condiciones no se aprecian pérdidas de paquetes considerables. Normalmente en este escenario las pérdidas se producen de forma aislada y no suelen superar el 1% del total de los paquetes transmitidos. Para estas pruebas se ha utilizado el vídeo 3.3gp La figura 6 muestra la evolución del jitter y el ancho de banda durante una sesión de *streaming* en el escenario de móvil a móvil. Tal y como se esperaba, los resultados obtenidos son peores que en el caso del escenario de referencia. Con respecto al jitter existen diferencias significativas entre ambos escenarios. El jitter medio en el escenario de fijo a móvil es 47.86 ms, mientras que en el segundo escenario es de 90.58 ms. Con respecto a la pérdida de paquetes en las sesiones de *streaming* de móvil a móvil se obtuvo un 19.24%. Para hallar el origen de estas pérdidas se representó el tráfico saliente del terminal en el cual se hallaba almacenado el vídeo (ver figura 7) y se pudo observar que en dicho enlace se producía el 18.99% de las pérdidas detectadas en el lado del terminal móvil que actuaba como receptor. Estos datos indicaban que se estaba transmitiendo a una tasa de bit mayor que la disponible en el enlace ascendente, lo que provocó la congestión del enlace y el consecuente descarte de paquetes.

Esta situación empeora si hay dos terminales intentando acceder al contenido almacenado en el mismo terminal, este caso se reproduce en el siguiente experimento. En esta configuración dos terminales móviles intentan acceder al vídeo 3.3gp alojado en el mismo dispositivo móvil. En este caso se obtiene un 61.03% de paquetes perdidos en el receptor y un 50.67% de paquetes perdidos en el lado del terminal en el que se almacenan los vídeos.

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos cuando hay tres clientes accediendo al vídeo 12.3gpp almace-

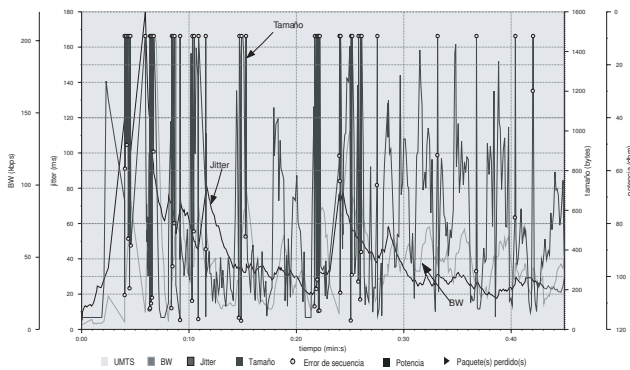


Figura 4: Errores de secuencia durante una sesión de vídeo *streaming* en un escenario estático de fijo a móvil

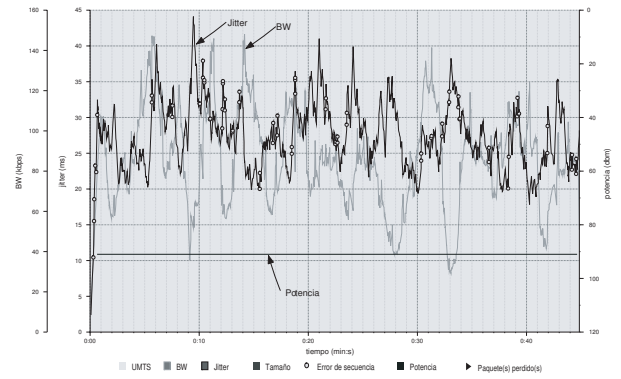


Figura 5: Pérdida de paquetes en un escenario estático de fijo a móvil

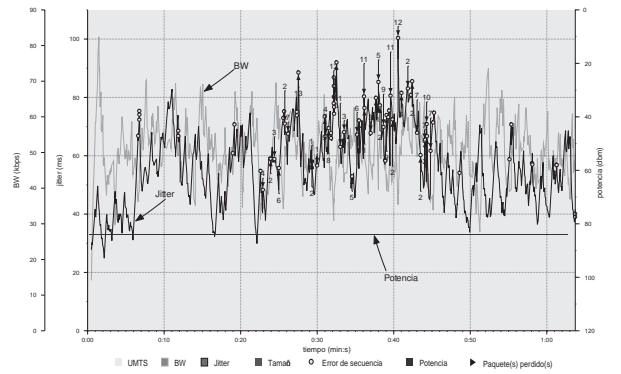


Figura 6: Pérdida de paquetes en un escenario estático de móvil a móvil

nado en el servidor. El vídeo 12.3gp tiene una tasa de bits menor que el vídeo 3.3gp. Como puede verse en las gráficas y en las tablas, el parámetro más restrictivo cuando varios terminales acceden a la misma fuente de datos es el ancho de banda disponible en el enlace ascendente, mientras que el jitter se mantiene en un rango aceptable.

Aunque teóricamente en UMTS el enlace ascendente puede alcanzar tasas de 384 Kbps, durante los experimentos se han obtenido siempre tasas por debajo de los 100 Kbps. Las tasas de bits disponibles en el enlace ascendente son muy bajas para soportar la ejecución de servicios multimedia entre móviles conectados directamente. Es necesario, por tanto, el despliegue de tecnologías de acceso radio de alta velocidad, como HSUPA, para satisfacer las necesidades de los servicios P2P.

Una posible solución para tratar de aprovechar lo máximo posible el ancho de banda disponible es adaptar la tasa de envío en función del número de terminales conectados en ese momento.

La figura 8 muestra los valores obtenidos para un vídeo con una tasa de bits de 42 Kbps. Como puede verse en la figura 8, la pérdida de paquetes disminuye

Cuadro 4: Múltiples terminales

	Pérdidas	Retardo max (ms)	Jitter max(ms)	Jiiter medio	Errores de secuencia
Peer 1(Op 1-Op 3)	168 (24,54%)	524,70	176,10	41,10	142
Peer 2 (Op2-Op3)	173(24,5%)	547,10	181,54	45,35	144
Peer 3 (Op 3-Op 3)	147(19,5%)	359,40	122,59	30,80	133

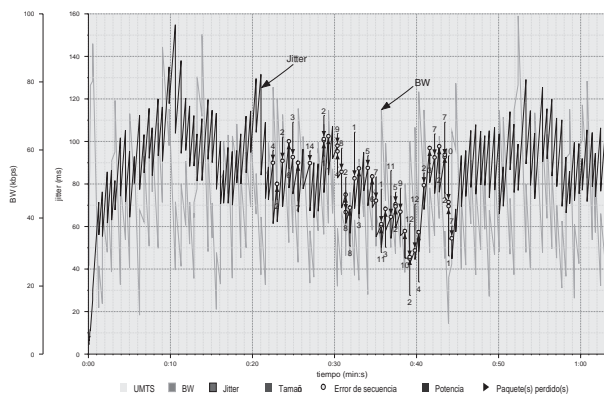


Figura 7: Paquetes perdidos en la fuente en escenario estático de móvil a móvil

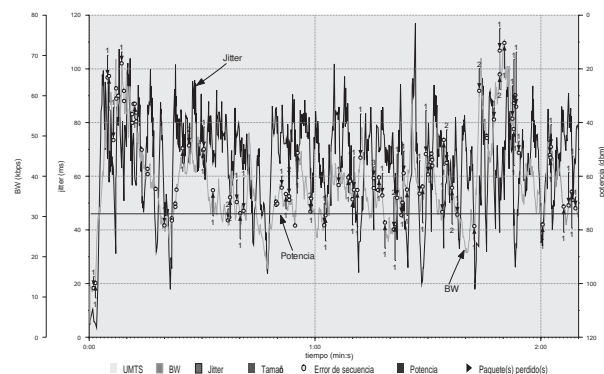


Figura 8: Paquetes perdidos en escenario estático de móvil a móvil, vídeo con tasa de bit baja

y se mantiene en el rango del 8%. No hay pérdidas en el lado de la fuente.

### 3.2. Caracterización del tráfico *Peer to Peer* en escenarios vehiculares

En este escenario ocurren algunos eventos imprevisibles, como el *handover*, la reelección de celda, o la pérdida de cobertura. Estos eventos reducen la tasa de bits disponible y pueden llegar a interrumpir la conexión. En esta sección se estudia la pérdida de paquetes en condiciones de movilidad con velocidades de 100km/h.

La figura 9 muestra los resultados obtenidos para una sesión de *streaming* entre dos terminales móviles, uno de ellos en movimiento. Durante la sesión tiene lugar una breve desconexión debido a la pérdida de cobertura dentro de un túnel. El jitter medio que se obtiene

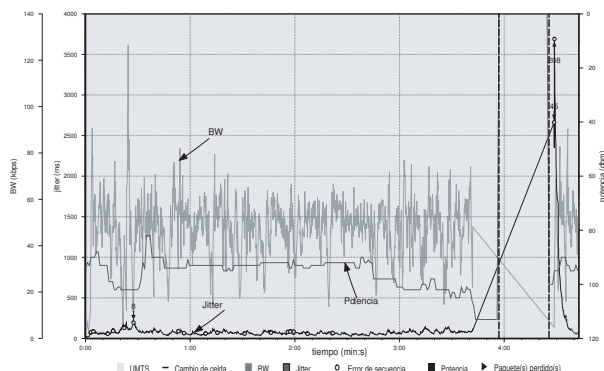


Figura 9: Paquetes perdidos en escenario móvil entre dos dispositivos conectados a la red celular, vídeo con tasa de bit baja

(ver figura 10) es del mismo orden de magnitud que en el escenario estático. El jitter medio se encuentra entorno a los 150 ms, valor que se encuentra dentro del rango de valores establecidos en las recomendaciones de la ITU. Sólo durante las desconexión el jitter experimenta un incremento debido a las ráfagas de pérdida de paquetes.

En la figura 9 se puede ver que el cliente de *streaming* no recibe datos durante 30 segundos, tras los cuales vuelve a recibir datos. Esta pausa provoca que el buffer de recepción se vacíe, y la reproducción cesa a pesar de los nuevos paquetes que llegan. La correcta configuración de los buffer de reproducción y de los tiempos de espera son muy importantes para que una sesión de vídeo *streaming* en una red de telefonía móvil se lleve a cabo con éxito.

Otro fenómeno muy común en el escenario móvil son los continuos *rebufferings* que se producen durante una sesión de vídeo *streaming*. Cuando tiene lugar un fenómeno de *rebuffering*, la imagen se congela y se produce una fuerte degradación de la calidad de servicio percibida por los usuarios [23]. Las figuras anteriores muestran la gran variación que el ancho de banda experimenta en las redes celulares. Existen varias causas por las que se producen estas variaciones del ancho de banda, por ejemplo el desbordamiento de los buffers intermedios de la red. El *rebuffering* aparece cuando el ancho de banda disponible disminuye por debajo de la tasa de bit del vídeo. Este es el motivo por el que se recomienda el uso de vídeos con una tasa de bits baja en los entornos móviles.

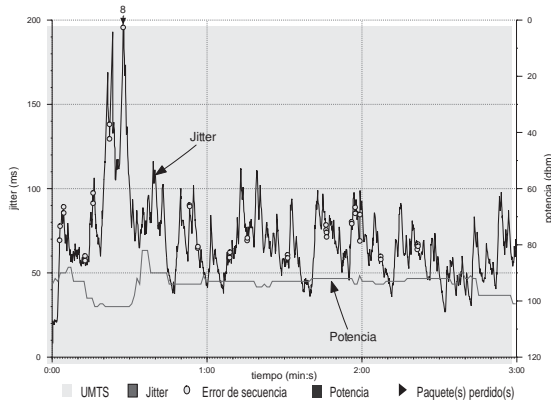


Figura 10: Jitter en escenario móvil entre dos dispositivos conectados a la red celular, vídeo con tasa de bit baja

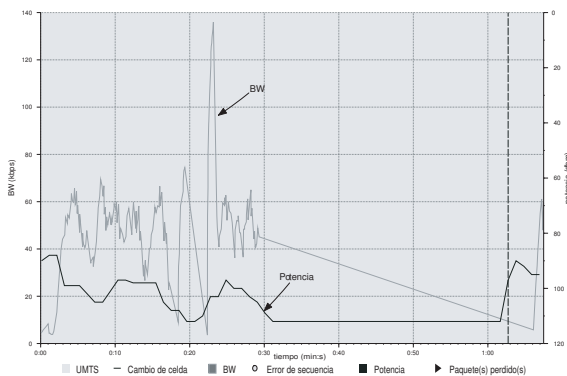


Figura 11: Handover en escenario móvil entre dos dispositivos conectados a la red celular

Otro aspecto observado durante las pruebas realizadas es que con anterioridad a que se produzca un *handover* o una desconexión, se puede observar un descenso en el nivel de señal recibida (RSSI). Este comportamiento puede usarse para la implementación de técnicas adaptativas de predicción de pérdida de paquetes que permitan evitar fenómenos como el *rebuffering* usando, por ejemplo, comandos RTSP que suspendan la sesión antes de que se produzca la pérdida de los paquetes. En el siguiente grupo de pruebas se analiza el impacto del *handover* sobre una sesión de vídeo *streaming* entre dos móviles. En la figura 11 se puede apreciar la duración de un traspaso de celda (*handover*) en un escenario de móvil a móvil. La duración del mismo es de aproximadamente 30 segundos y durante este periodo de tiempo se producen ráfagas de pérdidas de paquetes (ver figura 12). La consecuencia de este comportamiento es que se produce un descenso en la tasa de recepción de paquetes en el buffer del receptor y la reproducción cesa. El buffer del receptor se vacía cuando éste tiene un tamaño en tiempo menor que el periodo sin recepción de paquetes. La duración de los *handovers* es mayor en este escenario que en el escenario fijo a

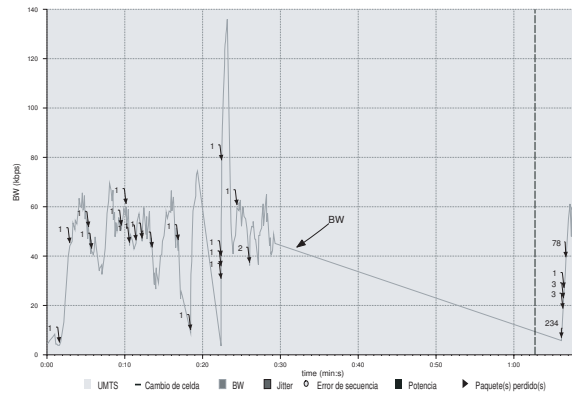


Figura 12: Paquetes perdidos debido al handover en escenario móvil entre dos dispositivos conectados a la red celular

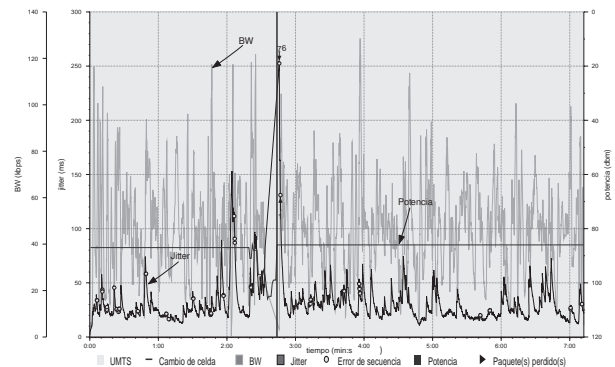


Figura 13: Paquetes perdidos debido al handover en escenario de fijo a móvil

móvil. En el escenario de referencia los *handovers* son menos prolongados y la reproducción se reanuda tras interrumpirse unos segundos (ver figura 13).

## 4. Conclusiones

En este artículo se ha evaluado el rendimiento del servicio de vídeo *streaming* en redes móviles teniendo en cuenta las restricciones que presentan los terminales móviles. Al mismo tiempo se ha propuesto una metodología que puede usarse para la evaluación del rendimiento, sobre redes de telefonía móvil, de nuevos servicios basados en IP.

Así mismo se han medido parámetros de calidad de servicio de vídeo *streaming* como la pérdida de paquetes, el jitter, el ancho de banda y el *round trip time*. Además, se ha medido el rendimiento del tráfico del servicio de vídeo *streaming* de acuerdo con diferentes configuraciones y niveles de movilidad de los terminales implicados.

El análisis llevado a cabo muestra que en un escenario de móvil a móvil el retardo de los paquetes y la variación del retardo aumenta, el ancho de banda disminuye y la tasa de bit del vídeo está limitada por la

congestión de la red.

En un escenario estático la pérdida de paquetes a ráfagas se debe a la congestión de los enlaces, mientras que en el escenario móvil se produce además por fenómenos que tienen lugar en la interfaz radio como los *handovers* y la pérdida de cobertura.

El análisis ha mostrado que las prestaciones dependen fuertemente de la movilidad de los usuarios. En concreto, las prestaciones se degradan cuando aumenta la movilidad.

Para finalizar se puede afirmar que el vídeo *streaming* entre terminales en un escenario móvil no es viable si no se utilizan técnicas adaptativas que compensen las variaciones del jitter y eviten los efectos nocivos que las desconexiones intermitentes tienen sobre el flujo de tráfico. Además, para un desarrollo satisfactorio de las aplicaciones P2P de vídeo *streaming* es necesario el despliegue de nuevas tecnologías de acceso radio que proporcionen mayores velocidades en los enlaces tanto ascendentes como descendentes.

## Referencias

- [1] *3GPP TS 23.107: QoS Concept and Architecture*, 2002.
- [2] *3GPP TS 26.233: End-to-End transparent streaming service; General description*, 2004.
- [3] D. Bryan, B. Lowekamp, and C. Jennings. Sosimple: A serverless, standards-based, p2p sip communication system. In *Proc. 1st Int. Workshop on Advanced Architectures and Algorithms for Internet Delivery and Applications*, June 2005.
- [4] A. Díaz, P. Merino, L. Panizo, and A. M. Recio. Evaluating video streaming over gprs/umts networks: A practical case. In *Proc. 65th IEEE Vehicular Technology Conference VTC2007-Spring*, April 2007.
- [5] A. Díaz, P. Merino, L. Panizo, and A. M. Recio. Experimental analysis of peer-to-peer streaming in cellular networks. In *Proc. 21st IEEE Int. Conf. on Advanced Information Networking and Applications*, May 2007.
- [6] A. Díaz, P. Merino, and F. J. Rivas. Performance monitoring and analysis of wireless communication protocols for mobile devices. In *Proc. 1st Int. Conf. on Ubiquitous Computing: Applications, Technology and Social Issues*, June 2006.
- [7] I. Gruber, R. Schollmeier, and W. Kellerer. Performance evaluation of the mobile peer-to-peer protocol. In *Proc. 4th Int. Workshop on Global and Peer-to-Peer Computing*, April 2004.
- [8] T. Hakkarainen, V. Savikko, and A. Lattunen. Generic engine for collaborative mobile applications. In *Proc. IADIS Int. Conf. WWW/Internet*, October 2005.
- [9] E. Harjula, M. Ylianttila, J. Ala-Kurikka, J. Riekkilä, and J. Sauvola. Plug-and-play application platform: towards mobile peer-to-peer. In *Proc. 3rd Int. Conf. on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM '04)*, 2004.
- [10] D. Howie, M. Ylianttila, E. Harjula, and J. Sauvola. State-of-the-art sip for mobile application supernetworking. In *Proc. Nordic Radio Symposium*, August 2004.
- [11] H.-Y. Hsieh and R. Sivakumar. On using peer-to-peer communication in cellular wireless data networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Jan-Feb 2004.
- [12] A. Joseph, A. Diaz, P. Merino, F. Rivas, U. Kulkarni, J. Vadavi, G. Thyagaraju, S. Joshi, and A. Yardi. Mobile and ubiquitous objects. *Pervasive Computing, IEEE*, July-Sept. 2006.
- [13] S.-S. Kang and M. Mutka. Efficient mobile access to Internet data via a wireless peer-to-peer network. In *Proc. 2nd IEEE Annual Conf. on Pervasive Computing and Communications*, 2004.
- [14] M. Leung, S. Chan, and O. Au. Cosmos: Peer-to-peer collaborative streaming among mobiles. In *Proc. IEEE Int. Conf. on Multimedia Expo*, July 2006.
- [15] K. Lim, D. Wu, S. Wu, R. Susanto, X. Lin, L. Jiang, R. Yu, F. Pan, Z. Li, S. Yao, G. Feng, and C. Ko. Video streaming on embedded devices through GPRS network. In *Proc. Int. Conf. on Multimedia and Expo*, July 2003.
- [16] M. Lundan and I. Curcio. 3GPP streaming over GPRS rel '97. In *Proc. 12th Int. Conf. on Computer Communications and Networks*, October 2003.
- [17] M. Lundan and I. Curcio. Mobile streaming services in WCDMA networks. In *Proc. 10th IEEE Symposium on Computers and Communications*, June 2005.
- [18] N. Maibaum and T. Mundt. JXTA: a technology facilitating mobile peer-to-peer networks. In *Proc. Int. Mobility and Wireless Access Workshop*, 12 Oct. 2002.
- [19] M. Matuszewski, N. Beijar, J. Lehtinen, and T. Hyyryläinen. Mobile peer-to-peer content sharing application. In *Proc. 3rd IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, volume 2, Jan. 2006.
- [20] K. Pentikousis, M. Palola, M. Jurvansuu, and P. Perala. Active goodput measurements from a public 3G/UMTS network. *IEEE Communications Letters*, Sep 2005.
- [21] M. Raento, A. Oulasvirta, R. Petit, and H. Toivonen. Contextphone: a prototyping platform for context-aware mobile applications. *IEEE Pervasive Computing*, 4(2), Jan.-March 2005.
- [22] R. Schollmeier, I. Gruber, and F. Niethammer. Protocol for peer-to-peer networking in mobile environments. In *Proc. 12th Int. Conf. on Computer Communications and Networks*, Oct. 2003.
- [23] Z. Wang, S. Banerjee, and S. Jamin. Studying streaming video quality: from an application point of view. In *Proc. 11th ACM Int. Conf. on Multimedia*, NY, USA, 2003. ACM Press.
- [24] M. Wiberg. Folkmusic: a mobile peer-to-peer entertainment system. In *Proc. 37th Annual Hawaii Int. Conf. on System Sciences*, Jan. 2004.