

Comparative Study of Adaptive Streaming Techniques in LTE Networks Using QoE Metrics

H.-F. Bermudez, *Member, IEEE*
PhD Student in Telematics Engineering
University of Cauca, University of Quindío
Armenia, Colombia
hfbermudez@uniquindio.edu.co

W.Y. Campo
Electronic Engineering Program
University of Quindío, Colombia
Armenia, Colombia
wycampo@uniquindio.edu.co

R. Sanchez-Iborra
Dept. of Information and Communication Engineering,
University of Murcia
Murcia, Spain
ramonsanchez@um.es

J.L. Arciniegas
Dept. of Telematics,
University of Cauca
Popayán, Colombia
jlarci@unicauca.edu.co

M.-D. Cano, *Member, IEEE*
Dept. of Information Technologies and Communications,
Universidad Politécnica de Cartagena
Cartagena, Spain
mdolores.cano@upct.es

Abstract—The use of adaptive transmission techniques through HTTP for the reproduction of video services is becoming more and more popular. Currently, there are problems of interoperability due to the large number of devices with different characteristics, which also used different techniques of adaptive transmission. Therefore, telecommunications service providers are looking for alternatives that allow them to support all this diversity of devices and technologies, in order to offer their users higher quality services. In this paper, we present a comparative performance evaluation of the main adaptive streaming techniques for Live Video Streaming services using QoE (Quality of Experience) as the key performance indicator. The study is carried out in an emulated LTE (Long Term Evolution) network composed by real devices (video server and client) interacting with an NS-3 simulated LTE network. We show for the constructed emulation scenario, the technology that presents the best performance in terms of delays and user mobility.

Keywords— Adaptive Streaming, DASH, HTTP, HLS, HDS, HSS, LTE, QoE.

I. INTRODUCCION

La cantidad de usuarios que utilizan servicios de *streaming* de video para reproducir contenidos en vivo (LVS-*Live Video Streaming*) o bajo demanda (VoD – *Video on Demand*) es cada vez mayor. Además, el número de usuarios y dispositivos móviles (*laptop*, *smartphones*, tabletas, etc.) que acceden a este tipo de servicios a través de las redes móviles inalámbricas está también en aumento [1]. Por otro lado, la gran variedad de dispositivos que ofrece el mercado no hace sino aumentar la variabilidad de características entre los dispositivos: tamaño o resolución de la pantalla, tipo de conexión a internet, ancho de banda contratado, estado de la red en el momento de la reproducción del video, etc. Un aspecto de gran relevancia en la

reproducción del servicio es el tipo de tecnología que se utiliza en cada dispositivo de usuario (Apple, Android, Microsoft, etc.). Esta situación ha generado que los proveedores de servicios de telecomunicaciones (*telcos*) busquen alternativas que permitan soportar esta diversidad de dispositivos y tecnologías para ofrecer a sus usuarios servicios de LVS o VoD de mayor calidad.

Las técnicas de *streaming* de video han evolucionado en el tiempo, pasando del uso del protocolo UDP (*User Datagram Protocol*) al manejo de protocolos de transporte fiable como TCP (*Transmission Control Protocol*). Hoy en día, es muy común usar los servicios de VoD y LVS a través de HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), protocolo que en la capa de transporte emplea TCP. La gran mayoría de *firewalls* admiten este tipo de tráfico, lo mismo que las CDNs (*Content Delivery Network*) que permiten reducir el tráfico de larga distancia; adicionalmente, el cliente es quien dirige el flujo HTTP y soporta toda la lógica de adaptación, lo cual reduce significativamente las insistentes conexiones servidor-aplicación [2]. El HTTP *streaming* es mejorado utilizando la técnica de *streaming* adaptativo, la cual consiste en escoger la calidad del contenido a reproducir en función del ancho de banda disponible y de la capacidad de computación y de red del cliente. Para lo anterior, es necesario que se deba codificar el fichero de vídeo con diferentes *bitrates* y segmentarlo en trozos de unos pocos segundos. Cuando el cliente inicia la reproducción, se escoge una calidad y durante la reproducción, el cliente envía información de su estado al servidor, lo que permite de acuerdo a las condiciones, aumentar o disminuir la calidad de la reproducción [3]. Entre las técnicas más populares para la reproducción de *streaming* adaptativo se encuentran: el protocolo de Microsoft denominado HSS (HTTP *Smooth Streaming*) [4], la solución presentada por Apple y conocida como HLS (HTTP2 *Live Streaming*) [5] y por último, la

propuesta de Adobe conocida como HDS (HTTP *Dynamic Streaming*) [6]. Cada una de las técnicas anteriores utiliza formatos diferentes, específicamente en sus segmentos y sus ficheros “*manifest*”. Esto implica que el dispositivo que desee reproducir alguna de ellas debe soportar la técnica cliente propietaria, lo cual se ha convertido en un inconveniente. El protocolo *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP* (DASH), es un esquema desarrollado por MPEG (*Moving Picture Expert Group*), convertido en estándar internacional y publicado en abril de 2012 como ISO/IEC 23009-1:2012 [7]. Se espera que esta técnica sea la solución al inconveniente de interoperabilidad presentado por las anteriores, aunque existe la preocupación de que su aceptación inicial sea más lenta de lo esperado, lo que a su vez podría disminuir su adopción general [8].

Por otra parte, para las mediciones de calidad de vídeo se pueden diferenciar dos contextos, el primero llamado Medidas de Calidad Objetivas y el segundo Medidas de Calidad Subjetivas [9]. Con respecto a las medidas de calidad subjetivas, la Union Internacional de las Telecomunicaciones (UIT-T) ha formalizado algunas metodologías para su evaluación en varias recomendaciones [10], [11], donde se busca obtener la calificación de calidad promedio de todos los usuarios para una determinada transmisión de vídeo. Esta calificación se conoce como *Mean Opinion Score* (MOS). Las métricas de calidad objetiva son algoritmos diseñados para caracterizar la calidad del vídeo y predecir la MOS de los usuarios. Dichas métricas no están basadas en encuestas de los usuarios del servicio sino en parámetros medidos en la red o en el propio flujo de vídeo. Así, las recomendaciones UIT-T P.1201 [12], UIT-T P.1202 [13] y UIT-T P.1203 [14] proporcionan una visión general de los modelos para la supervisión no intrusiva de la calidad basados en IP mediante el análisis de la información del encabezamiento de paquete y el flujo de señal de vídeo. En el presente trabajo, se utilizará la recomendación UIT-T P.1203 ya que esta recomendación se centra en la evaluación de la calidad paramétrica basada en flujos de vídeo de descargas progresivas y servicios de transmisión audiovisual adaptativa a través de un protocolo de transporte confiable, como por ejemplo TCP. Adicionalmente, el estándar UIT-T P.1203, es una de las primeras metodologías de estimación de la QoE estandarizadas que incorporan técnicas de aprendizaje máquina (*machine learning*) para la predicción de la QoE. Por tanto, el objetivo de este trabajo es presentar un estudio comparativo bajo parámetros de QoE de las cuatro técnicas más importantes de *streaming* adaptativo para el servicio de LVS sobre una red LTE emulada con el simulador de redes *Network Simulator-NS3*. Los principales aportes de este trabajo son los siguientes: (i) comparar el comportamiento de las técnicas de *streaming* adaptativo más destacadas en la actualidad mediante el uso del estándar UIT-T P.2103 y (ii) analizar cuál es la técnica de *streaming* adaptativo que mejor comportamiento presenta para el servicio de LVS implementado sobre la red LTE emulada.

El artículo está organizado de la siguiente forma. En la Sección II se presentan los trabajos relacionados con técnicas de envío de vídeo mediante *streaming* adaptativo. La metodología utilizada en este trabajo se presenta en la Sección III. En la Sección IV se muestran los resultados y su discusión.

Finalmente, en la sección V se presentan las conclusiones y se identifican algunos trabajos futuros.

II. ESTADO DE LA TÉCNICA

A continuación, se presenta un análisis de los trabajos publicados hasta la fecha en esta temática. En [15], los autores analizan el comportamiento de diferentes técnicas de *streaming* adaptativo, en concreto, DASH, HLS, HSS y HDS. Se simula en diferentes escenarios de prueba situaciones reales de cortes de la señal de vídeo utilizando el generador de imperfecciones Net.Storm [16]. El análisis comparativo se enfoca en estudiar el comportamiento de distintos reproductores, tanto de proveedores de TV como *players* estándar, obteniendo conclusiones acerca de la robustez de cada uno de las técnicas de *streaming* adaptativo analizada. En [17], se realiza una evaluación de las arquitecturas de redes utilizadas por empresas comerciales, se estudian las técnicas de *streaming* adaptativo (DASH, HLS, HSS y HDS) y se diseña un caso de estudio para una red de *streaming* de vídeo para aplicaciones de telemedicina entre los hospitales de tres pequeñas ciudades costeras y el Hospital de la Seguridad Social de la ciudad de Guayaquil en el Ecuador. En [18], los autores ofrecen una visión general del estado del arte de las técnicas de *streaming* adaptativo sobre HTTP a través de dominios multimedia y distintas redes. Se muestran resultados obtenidos para analizar los desafíos y soluciones en algoritmos de transmisión adaptativa, mejora de QoE, protocolos de red, almacenamiento en búfer, etc. También los autores se centran en varios desafíos sobre los factores de influencia de QoE en una condición variable de red, que a menudo se ignoran en las metodologías de *streaming* adaptativo actuales. Los autores de [19] presentan un banco de pruebas de CDN donde se utiliza la tecnología de transmisión adaptativa HTTP. Los resultados de la evaluación se calculan en función de parámetros de QoS (*bandwidth, delay and packet loss*), obteniendo el desempeño del uso de técnicas de *streaming* adaptativo con CDN. Como principal conclusión, los autores demuestran que el uso de este tipo de tecnologías adaptativas mejora el rendimiento de la carga del servidor y la congestión de la red; lo cual proporciona una mejor experiencia para los usuarios finales. Sin embargo, los autores no especifican el tipo de tecnología de *streaming* utilizada. En [20] se presenta el desarrollo de una banco de pruebas virtual que soporta varias máquinas para la implementación de experimentos de transmisión de vídeo adaptativa. Los autores investigan las métricas que afectan el rendimiento de QoE, entre las cuales identifican el retraso inicial (retraso de inicio al comienzo de la reproducción de un vídeo), los *frequency switches* (el número de veces que se cambia la calidad), el tiempo de vídeo acumulado (el número y la duración de los eventos de paradas de vídeo - *stallings*), el uso de la CPU y el consumo de energía de la batería. Además, se investiga la relación entre los parámetros efectivos de QoS en las métricas antes mencionadas para diferentes segmentos de vídeo de longitud variable. Como aporte a los trabajos revisados en esta sección, nuestra propuesta presenta la comparación de las diferentes técnicas de *streaming* adaptativo más empleadas entre los usuarios finales mediante estimaciones de QoE usando por primera vez la metodología propuesta por estándar UIT-T P.2103 en un entorno LTE.

III. METODOLOGIA

Para realizar el estudio comparativo de las técnicas de *streaming* adaptativo DASH, HDS, HLS y HSS en condiciones reales de funcionamiento, se construye un escenario de emulación. Este escenario se propuso previamente en [21]. Está formado por un servidor real de video, una red LTE (simulada con NS3) y un cliente (User Equipment, UE). Se definen para este estudio tres escenarios de prueba: (1) un usuario ubicado a 30m de la eNB (*evolved NodeB*) al cual se le varía de una manera controlada los diferentes tiempos de retardo de la red (*delay*) {0, 25, 50, 75, 100, 125 y 150 ms}, (2) un UE que se aleja del eNB con velocidad y dirección uniforme, se analizan diferentes velocidades {1, 5, 10, 15 y 20 m/s}, la dirección sigue una línea recta $y=x$, y por último, (3) un UE que se aleja del eNB con velocidades y dirección aleatorias, las velocidades varían entre 0 y 5m/s, y la dirección aleatoria se sitúa sobre el plano xy formando un cuadrado de dimensiones 80 m x 80 m. Para cada uno de los escenarios de prueba, se transmiten en vivo 10 *test* de 180 s cada uno del *videoclip* “Big Buck Bunny”, el cual es consumido por el cliente a través de la red simulada de LTE. Al reproducir el video, en el receptor (cliente) se extraen los parámetros necesarios para estimar la QoE mediante la metodología propuesta por el estándar UIT-T P.1203. Los parámetros son: ajustes de codificación, los cuales se muestran en la Tabla II, *buffering* inicial y eventos de *stalling* (cantidad, tiempo de inicio, duración). Para la estimación de la QoE se utiliza un *script* desarrollado en Matlab®.

A. Escenario de Emulación

En la Fig. 1 se presenta un esquema del escenario de emulación implementado. El PC1 se usa para simular la red LTE con NS3.26 sobre Linux Ubuntu 12.04 LTS. El PC1 es una máquina Intel Core 2 a 2.13 GHz, con 4 GB de RAM. Los otros dos PC actúan como Cliente-Servidor y se conectan al PC1 a través del puerto Ethernet. El PC2 es una máquina Intel Core i7-3612QM CPU 2.1GHz, 8 GB de RAM, Windows 7 Professional, con el software *Wowza Streaming Engine* [22] como servidor de video. El servidor Wowza es compatible con las tecnologías de *streaming* adaptativo HTTP MPEG-DASH, Apple HLS, Adobe HDS y Microsoft HSS. Para ello, utiliza archivos del Lenguaje de Integración Multimedia Sincronizado (SMIL) que permiten utilizar flujos de varias velocidades de bits en grupos para la transmisión de *bitrate* adaptable HTTP. En todos los escenarios y *test* de pruebas se usarán diferentes resoluciones y *bitrates* (ver Tabla II). El PC3 es una máquina Intel Core 2 Duo CPU 2.1GHzx2, 4 GB de RAM, Windows 7 Professional, para la cual se implementó una aplicación de reproducción de video basada en web desarrollada con HTTP Apache [23]. Tanto en PC2 como en PC3 se instaló el *software* de uso libre de análisis de tráfico y protocolos *Wireshark*[24]. En el PC1 se aloja la red LTE simulada con la herramienta LENA sobre NS3. La red LTE se compone de varios nodos: un nodo *host* remoto, un nodo SGW/PGW (*Serving Gateway/ Packet Data Network Gateway*), un nodo eNB (*evolved NodeB*) y un nodo de usuario final (*user equipment*, UE) que adquiere

el rol de dispositivo móvil. Así, al nodo UE llega tráfico real de video que es inyectado al sistema mediante el servidor real de LVS (*Live Video Streaming*), a través de la red LTE simulada. Para permitir la comunicación entre PC2-Host-Remoto y UE-PC3, se utiliza la plataforma HIL (*Hardware in the Loop*) que permite tomar al PC1 como una caja negra con componentes virtualizados que recibe y entrega datos a los sistemas reales extremos, PC2 y PC3 [21]. Las Tablas I y II muestran los parámetros de configuración y ajustes iniciales para el sistema de emulación construido y los diferentes escenarios de prueba.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presenta una comparación de las diferentes técnicas de *streaming* adaptativo HTTP para los diferentes escenarios de prueba. Las comparaciones se realizan en función de los resultados obtenidos para la estimación de QoE a partir de la MOS cuya escala de evaluación es la siguiente: 1-1.9 = malo (*bad*), 2-2.9 = pobre (*poor*), 3-3.9 = justa (*fair*), 4-4.9 = buena (*good*), 5 = excelente (*excellent*) [10]. Los resultados presentados corresponden al valor promedio de los diez *test* realizados para cada uno de los escenarios de prueba. Adicionalmente, se muestra el intervalo de confianza calculado para la media del total de *test* realizados. La QoE es calculada

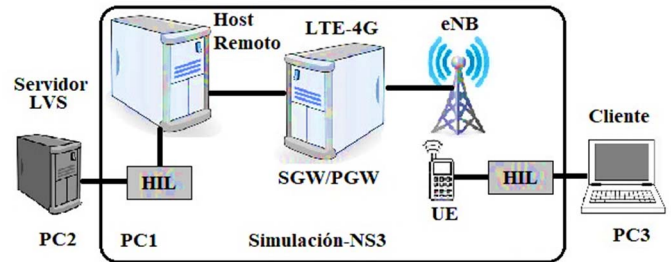


Figura 1. Escenario de emulación.

TABLA I. CONFIGURACIÓN ESCENARIOS DE PRUEBA

Parámetro	Descripción
Potencia operación eNB	50dBm
Configuración Capa Física	OFDMA, FDD, Banda 7, Frec. DL= 2644 MHz, Frec. UL=2535, BW cell UL=DL=10 MHz, Nro RB: DL=UL=50. Mod. QPSK
Tipo de Antena	Coseno, Altura 1.5 m
Modelo de Propagación	Nakagami ($m=5$)
Configuración UE	26 dBm, Altura 1.5m, Diferentes distancia
Figura de ruido eNB	2 Db
Figura de ruido UE	7 Db
Modo de Transmisión	SISO

TABLA II. AJUSTES DE CODIFICACIÓN

Parámetro	Descripción
Codificación de Video	
Codificador	H.264
Resolución (px)	240p (426x240); 360p (640x360); 480p (854x480); 720p (1280x720); 1080p (1920x1080).
Tasa de codificación de bits (Kbps)	528 para 240p; 878 para 360p; 1128 para 480p; 2628 para 720p; 4628 para 1080p
Frames por segundo	30
Codificación de Audio	
Canales	Estéreo

Tasa de bits (Kbps)	96 para 240p; 128 para 360p, 480p; 192 para 720p, 1080p
Frecuencia de muestreo	44.100 kHz

mediante la aplicación de la metodología propuesta por el estándar de la UIT-T P.1203. Todas las mediciones se realizan para la prestación del servicio de LVS en la red LTE emulada descrita anteriormente.

Las Fig. 2, 3 y 4 presentan la estimación de la QoE a partir de los cálculos de MOS para los diferentes escenarios de prueba. La Fig. 2 muestra para el escenario de prueba 1 cómo las técnicas de *streaming* adaptativo DASH y HLS presentan el peor desempeño cuando se introducen al sistema emulado retardos controlados, a diferencia de HSS y HDS. Se puede observar que, a partir de 75 ms de retardo, la estimación de la QoE para las diferentes técnicas estudiadas es considerada como pobre (a excepción de la técnica HSS), ya que la QoE se ubica en el rango de calificación entre 2 - 2.9. Valores de retardo menores a 50 ms pueden ser considerados como asumibles para obtener como mínimo una QoE justa (MOS = 3) para el servicio de LVS en el sistema LTE estudiado.

La Fig. 3 presenta los resultados obtenidos para el escenario de prueba 2. Se puede apreciar que la tecnología que mejor desempeño presenta frente a la movilidad del usuario es DASH. Con esta técnica la estimación de la QoE es buena, ya que se encuentra en el rango de calificación de 4 - 4.9 para velocidades comprendidas entre 1 - 15 m/s; sólo para la velocidad de 20 m/s la evaluación de la estimación de la QoE es justa (rango de evaluación: 3 - 3.9). Para las otras tecnologías, HLS, HDS y HSS, se puede apreciar que el desempeño medido mediante la estimación de la QoE es justa (rango de evaluación: 3-3.9) para velocidades de 1 a 15 m/s. Solo la tecnología HSS para la velocidad de 20 m/seg presenta una estimación de QoE pobre (rango de evaluación: 2 - 2.9). En la Fig. 4 se presentan los resultados obtenidos para el escenario de prueba 3. Se observa como la técnica DASH presenta nuevamente el mejor desempeño (MOS en la escala 4 - 4.9) en términos de QoE cuando el usuario se mueve a una velocidad aleatoria entre 1 - 5 m/s y en una dirección aleatoria dentro de un rectángulo de 80 m x 80 m. El resto de las tecnologías obtienen una estimación de QoE justa, rango de evaluación: 3 - 3.9.

Las Fig. 5-7 muestran los resultados obtenidos para los eventos de *stalling* e *Initial Buffer*, los cuales son definidos en el estándar UIT-T P.1203 como de alto impacto en la estimación de la QoE empleando esta metodología [20]. En la parte superior de la Fig. 5 se muestran las características de los eventos de *stalling* (duración y cantidad) y en la parte inferior los tiempos de *buffer* inicial medidos para el escenario de prueba 1. Se puede observar cómo a medida que se introducen retardos controlados en el sistema de emulación, se evidencia una mayor duración de los eventos de *stalling* en las técnicas DASH y HLS, sobre todo a partir de 100 ms. Por otro lado, la cantidad de eventos de *stalling* aumenta de una forma menos abrupta conforme aumentan el tiempo de retardo para las técnicas HLS y DASH. Para el caso de DASH, el número de eventos de *stalling* llega a su valor máximo (aprox. 4) cuando el retardo es del orden de los 100 ms, para luego disminuir levemente. No obstante, esto no significa que el

comportamiento DASH mejore al pasar de 100 ms a 125 o 150 ms. Si observamos la duración de los eventos de *stalling* para DASH, vemos que aunque hay menos eventos de *stalling* su duración es mucho mayor, superando incluso los 30 s. Esto se traduce en que de los 180 s de la reproducción del video, 99 s se encuentra parada. Como resultado la estimación de QoE es muy baja para DASH en retardos por encima de los 100 ms como se evidencia en la Fig. 2, donde se observa una estimación de QoE mala (rango de evaluación: 1 - 2). De forma resumida podemos deducir que para DASH y HLS, a más retardo menos eventos de *stalling* pero de mayor duración. Mientras que para HDS y HSS, a más retardo más eventos de *stalling* pero más cortos. Respecto a la medida del *buffer* inicial, éste es mucho mayor para las tecnologías de DASH y HLS que para HDS y

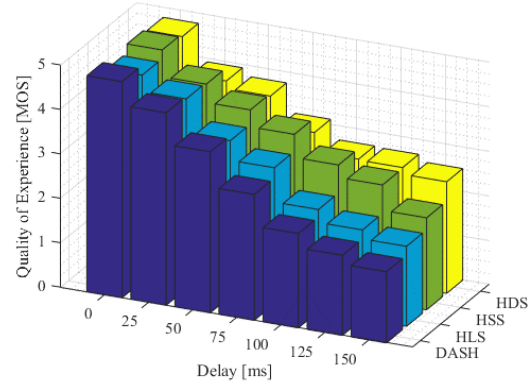


Figura 2. QoE estimada en el escenario 1 (usuario ubicado a 30m de la eNB al que se le varían controladamente los diferentes tiempos de retardo de la red).

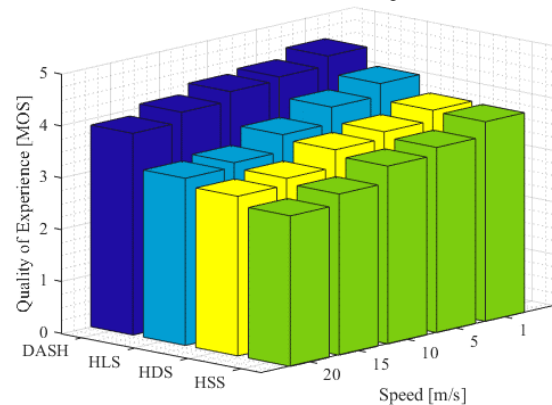


Figura 3. QoE estimada en el escenario 2 (UE alejándose del eNB con velocidad y dirección uniforme).

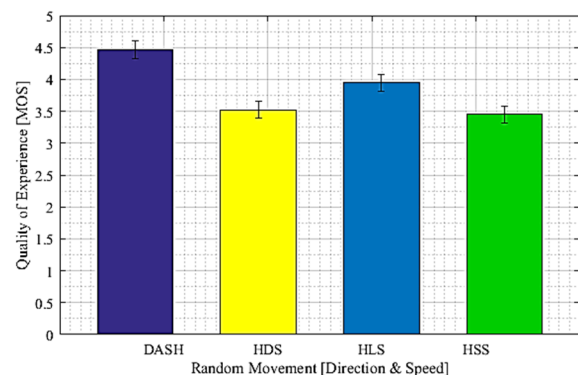


Figura 4. Calidad de Experiencia estimada en el escenario 3 (UE que se aleja del eNB con velocidades y direcciones aleatorias).

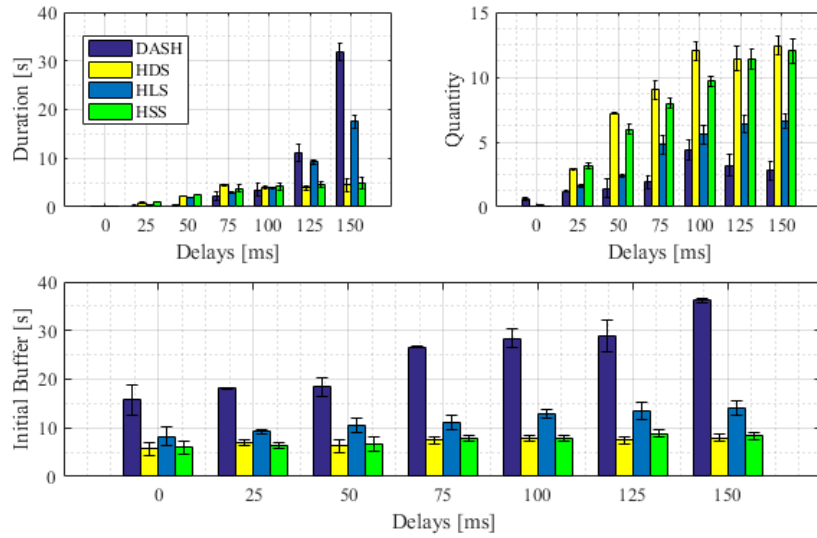


Figura 5. Eventos de *stalling* e *initial buffer* para el escenario de emulación 1

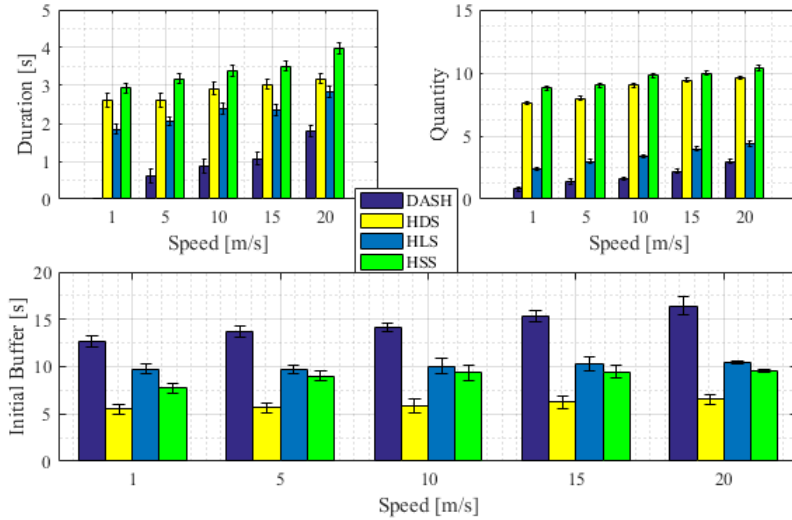


Figura 6. Eventos de *stalling* e *initial buffer* para el escenario de emulación 2

HSS. Si asociamos estos resultados con las estimaciones de QoE se podría asumir que para el escenario 1, el uso de un buffer inicial menor es más favorable en términos de QoE.

Se observa en la Fig. 6 que en el escenario 2, donde el UE se aleja del eNB con velocidad y dirección uniforme, la duración y cantidad de eventos de *stalling* afectan mucho más a las tecnologías HDS y HSS que a DASH y HLS. Además, DASH presenta menor cantidad de eventos de *stalling* que HLS y de menor duración promedio. Por otro lado, las tecnologías HDS y HSS presentan una menor duración del *buffer* inicial. Comparando con las mediciones de QoE, DASH y HLS obtienen mejores resultados con un MOS por encima de 3.25 para todas las velocidades. Por lo tanto, podemos deducir que mientras que en el escenario 1 tener un buffer inicial mayor no tenía un claro impacto en la QoE, en el escenario 2 con movilidad el factor buffer inicial favorece un mejor servicio en términos de QoE. Por último, la Fig. 7 muestra los resultados obtenidos para el escenario de prueba 3. Se observa un comportamiento muy similar al escenario de prueba 2, donde la

técnica DASH presenta un mejor desempeño en cuanto a cantidad y duración de eventos de *stalling*. De manera similar al escenario 2, en cuanto a la duración del *buffer* inicial, las tecnologías HDS y HSS presentan menores valores para estos parámetros, llegando por tanto a las mismas conclusiones.

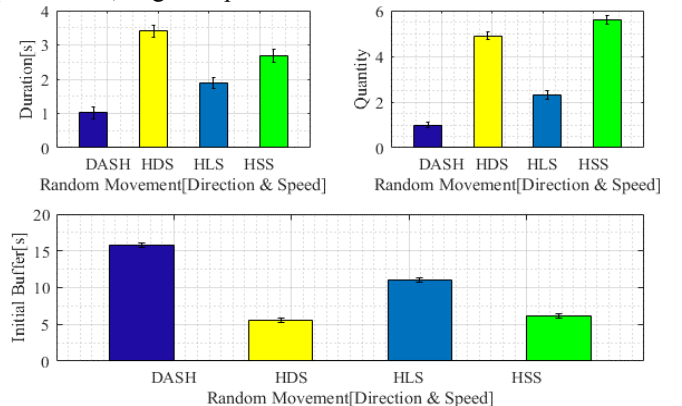


Figura 7. Eventos de *stalling* e *initial buffer* para el escenario de emulación 3

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una comparación del desempeño de las técnicas de *streaming* adaptativo DASH, HDS, HLS y HSS en diferentes escenarios de prueba. En concreto, se ha evaluado el funcionamiento de un servicio de LVS sobre una red LTE emulada, obteniendo las siguientes apreciaciones: (1) Para el servicio de LVS sobre una red LTE emulada con retardos de hasta 50 ms se puede obtener un grado de satisfacción de usuario de QoE igual o superior a justo (*fair*) para todas las tecnologías de *streaming* adaptativo estudiadas. Para valores de retardo mayores a 50 ms, las tecnologías que mejor desempeño presentan son HDS y HSS. Los resultados sugieren que el uso de un tiempo de buffer inicial menor es más favorable en términos de QoE para este escenario; (2) Para los escenarios de prueba con movilidad del UE (tanto uniforme como aleatoria), el mayor grado de satisfacción de usuario se obtiene empleando DASH, como se aprecia en la Fig. 4, con una QoE igual o superior a buena (*good*). En este caso, se aprecia una relación directa entre el tiempo de buffer inicial y las prestaciones del protocolo; (3) En general, para el escenario de emulación y configuraciones particulares consideradas, se podría afirmar que el nivel de desempeño de las tecnologías de *streaming* adaptativo que mejor QoE presentan son en su orden DASH, HLS, HDS y HSS (con retardos hasta 50 ms y movilidad del UE hasta de 20 m/s); (4) Por último, es importante recalcar que existe una marcada relación entre los eventos de *stalling* (duración y cantidad) y el *buffer* inicial con la estimación de QoE, dicha relación se tiene en cuenta en el estándar UIT-T P.1203. Como trabajos futuros, se pretende utilizar el sistema de emulación diseñado para determinar la relación mencionada entre los eventos de *stalling* y la QoE calculada por el modelo UIT-T P.1203, así como caracterizar dichos eventos para prever su aparición.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo cuenta con el apoyo del Grupo de Ingeniería Telemática de la UPCT, del Grupo de Ingeniería Telemática de la Universidad del Cauca y del Grupo de Investigación en Telecomunicaciones de la Universidad del Quindío - GITUQ. Además, cuenta con el apoyo económico de COLCIENCIAS a través de la convocatoria de doctorado-Nacional-647, Universidad del Quindío y la financiación del proyecto AEI / FEDER UE TEC2016-76465-C2-1-R (AIM).

REFERENCIAS

- [1] "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021 White Paper," Cisco, 2018. [Online]. Available: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>. [Accessed: 05-Jan-2018].
- [2] J. Heidemann, K. Obraczka, and J. Touch, "Modeling the performance of HTTP over several transport protocols," *IEEE/ACM Trans. Netw. TON*, vol. 5, no. 5, pp. 616–630, Jan. 1997.
- [3] "ISO/IEC 23009-1:2014(E). Information technology — Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH)." 2014.
- [4] jbocharov, "Smooth Streaming Transport Protocol." [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/iis/media/smooth-streaming/smooth-streaming-transport-protocol>. [Accessed: 03-Jun-2018].
- [5] "HTTP Live Streaming (HLS) - Apple Developer." [Online]. Available: <https://developer.apple.com/streaming/>. [Accessed: 03-Jun-2018].
- [6] "Adobe HTTP Dynamic Streaming (HDS) Technology Center | Adobe Developer Connection." [Online]. Available: <https://www.adobe.com/devnet/hds.html?origref=https%3A%2F%2Fwww.google.es%2F>. [Accessed: 03-Jun-2018].
- [7] "MPEG Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (MPEG-DASH)." [Online]. Available: <https://mpeg.chiariglione.org/standards/mpeg-dash>. [Accessed: 03-Jun-2018].
- [8] "MPEG-DASH vs. Apple HLS vs. Microsoft Smooth Streaming vs. Adobe HDS," *Bitmovin*, 29-Mar-2015. [Online]. Available: <https://bitmovin.com/mpeg-dash-vs-apple-hls-vs-microsoft-smooth-streaming-vs-adobe-hds/>. [Accessed: 03-Jun-2018].
- [9] H. F. Bermúdez, J. L. Arciniegas, and E. Astaiza, "Estado del arte de los métodos de evaluación de QoE y entornos de emulación para el servicio de video en redes LTE," *Entre Cienc. E Ing.*, vol. 10, no. 20, pp. 66–75, Dec. 2016.
- [10] ITU-T Recommendation P.910, "Subjective Video Quality Assessment Methods for Multimedia Applications," International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland, 1999.
- [11] ITU-T Recommendation P.911, "Subjective Audiovisual Quality Assessment Methods for Multimedia Applications," International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland, 1998.
- [12] ITU-T Recommendation, "Parametric non-intrusive assessment of audiovisual media streaming quality - lower resolution application area. ITU-T Recomm. P.1201.1, 2012," 2012.
- [13] ITU-T Recommendation, "Parametric non-intrusive bitstream assessment of video media streaming quality. ITU-T Recomm. P.1202, 2012," 2012.
- [14] "P.1203: Parametric bitstream-based quality assessment of progressive download and adaptive audiovisual streaming services over reliable transport." [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.1203-201710-I/en>. [Accessed: 02-Feb-2018].
- [15] V. Mata G., "Análisis y Comparativa de los Protocolos de Transmisión de video Adaptativo por Internet," Tesis de pregrado, Calors III de Madrid, Leganés España, 2014.
- [16] "ALBEDO Telecom." [Online]. Available: <http://www.albedotelecom.com/>. [Accessed: 05-Jun-2018].
- [17] E. Intriago A., "Análisis de Tecnologías de Streaming: Evaluación de Protocolos y Diseño de un Caso de Estudio," Trabajo fin de Máster, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2016.
- [18] M. Taha, J. Lloret, A. Canovas, and L. Garcia, "Survey of Transportation of Adaptive Multimedia Streaming service in Internet," *Netw. Protoc. Algorithms*, vol. 9, no. 1–2, pp. 85–125, Jun. 2017.
- [19] M. Taha, "A Novel CDN Testbed for Fast Deploying HTTP Adaptive Video Streaming," presented at the Proceedings of the 9th EAI International Conference on Mobile Multimedia Communications, 2016, pp. 65–71.
- [20] M. Taha, J. Lloret, A. Ali, and L. Garcia, "Adaptive video streaming testbed design for performance study and assessment of QoE," *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 31, no. 9, Mar. 2018.
- [21] F. Abdurrahman *et al.*, "Real Time Video Streaming over NS3 based Emulated LTE Networks," presented at the International Journal of Electronics Communication and Computer Technology (IECCT), 2014, vol. 4, pp. 659–663.
- [22] "Wowza," 2018. [Online]. Available: <https://www.wowza.com/products/streaming-engine>. [Accessed: 08-Feb-2018].
- [23] "The Apache HTTP Server Project." [Online]. Available: http://httpd.apache.org/ABOUT_APACHE.html. [Accessed: 04-Apr-2018].
- [24] "Wireshark," 2018. [Online]. Available: <https://www.wireshark.org/>. [Accessed: 05-Mar-2018].