

Evaluación de la transmisión de flujos de video codificados de acuerdo con el estándar HEVC/H.265

Sergio A. López G.
Universidad Santo Tomas
Bucaramanga, Colombia
sergio.lopez01@ustabuca.edu.co

Wilder E. Castellanos H.
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Buenaventura
Bogotá, Colombia
wilcashe@upv.es

Tito R. Vargas H.
Maestría en Redes y Sistemas de
Comunicaciones
Universidad Santo Tomas
Bucaramanga, Colombia
tito.vargas@ustabuca.edu.co

Abstract— *This article presents a literature review and a state-of-the-art regarding transmission evaluation of video content encoded with the HEVC / H.265 standard. Initially, it shows the trend in the accelerated consumption of multimedia content, and the impact that will have on the transmission of Ultra High Definition video UHD (Ultra High Definition) for economic sectors such as the television industry, videogames, platforms of audiovisual content, among others, due to the exponential increase of traffic in transport networks. Additionally, the H264 video transmission process will be reviewed experimentally, identifying the video transmission and evaluation techniques, generating a starting point to structure the research that is intended to be developed in this subject.*

Resumen— Este artículo presenta una revisión de la literatura y un análisis del estado del arte relacionado con la evaluación de la transmisión de video codificado con el estándar HEVC/H.265. Inicialmente, se muestra la tendencia en el consumo acelerado de contenido multimedia (video), y el impacto que se tendrá en la transmisión de video de Ultra Alta Definición UHD (*Ultra High Definition*) para sectores económicos como la industria de televisión, videojuegos, plataformas de contenido audiovisual, entre otros, debido al incremento exponencial de tráfico en las redes de transporte. Adicionalmente, se revisará de forma experimental, el proceso de transmisión de video H264, identificando las técnicas de transmisión y evaluación de video, generando un punto de partida para estructurar la investigación que se pretende desarrollar en este tema.

Keywords— HEVC, H265, UHD, video coding, video streaming.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el tráfico de contenidos de video tiene un crecimiento acelerado, dada la popularidad de servicios multimedia emergentes tales como *Youtube*, *Netflix*, juegos en línea, videoconferencia y las transmisiones en vivo en las redes sociales (como *Facebook Live*, *Instagram*, entre otras), los cuales han desarrollado nuevos hábitos en el consumo del contenido audiovisual por parte de la sociedad, en donde las experiencias se comunican a través de video *streaming*, y el usuario demanda cada vez mejor calidad en la imagen, con altas resoluciones en sus videos, generando un fuerte incremento de tráfico en las redes.

En los estudios [1] y [2] se muestra que el tráfico de video en Internet crecerá en 79% y 75% para los años 2020 y 2022 respectivamente, en donde el 16% corresponde al consumo de video UHD (*Ultra High Definition*). Sectores económicos como universidades, hoteles, transporte, y aquellos que ofrecen sus servicios a través de plataformas de *streaming*, se verán impactados por el crecimiento de este tipo de tráfico, razón por la cual se busca, mediante soluciones TIC, el uso eficiente de las redes de comunicaciones, ofreciendo al usuario un servicio con excelente calidad en la imagen. En este contexto cobra importancia, el desarrollo de un trabajo investigativo en el área de los sistemas de video de ultra alta definición, teniendo en cuenta las características inherentes a este tipo de tráfico y la evaluación de su impacto sobre las redes, tal como es el objetivo del presente proyecto.

En este artículo se presentan los avances de un estudio en curso acerca de la evaluación de la transmisión de flujos de video codificados de acuerdo con el estándar HEVC/H.265, donde el análisis del estado del arte ha sido abordado desde dos perspectivas. Una teórica, que ha involucrado el estudio de fundamentos de HEVC/H265, *streaming* y técnicas de evaluación de video; y por otra parte, una perspectiva experimental relacionada con la transmisión de un video H264, como punto de partida para iniciar la investigación propuesta.

A continuación, se presentan algunos conceptos generales y trabajos relacionados que soportan el estudio en curso:

A. El Estándar HEVC/H.265 (*High Efficiency Video Coding*)

Recientemente se ha definido un nuevo estándar para la codificación de video (HEVC/ *High Efficiency Video Coding*), el cual ofrece un ahorro de hasta 50% de ancho de banda y menores pérdidas en la calidad de video en comparación con el anterior estándar (H.264/AVC – *Advanced Video Coding*) [3]. El estándar HEVC (también conocido como H265) surge como respuesta al incremento en la diversidad de servicios que utilizan formatos de alta definición (*High Definition HD*), y formatos emergentes de ultra alta definición UHD (*Ultra High Definition*), con resoluciones de 4K (3840 x 2160 pixeles) y

hasta 8K (7680 x 4320 píxeles). Este nuevo estándar permite actualizar los contenidos de las aplicaciones existentes de H.264/AVC, y enfocarse en dos problemas claves: las altas resoluciones de los videos y el incremento de arquitecturas de procesamiento paralelo [4] [5].

En HEVC la primera imagen de una secuencia de video es codificada utilizando predicción *intra*, y el resto de imágenes de la secuencia son codificadas utilizando métodos de predicción *inter*. En el proceso de codificación *inter*, se obtienen datos de movimiento y los vectores de movimiento para predecir las muestras de cada bloque. El codificador y decodificador generan señales de predicción *inter* idénticas aplicando compensación de movimiento utilizando los vectores de movimiento. La señal residual de las predicciones *intra* e *inter*, es transformada utilizando transformada espacial lineal. Los coeficientes de transformada son escalados, cuantificados, codificados con entropía y transmitidos junto con la información de la predicción [5].

Algunas funcionalidades de la codificación HEVC son:

- **Unidades de codificación (CU) y bloques de codificación (CB):** La sintaxis en árbol de los CTUs (*coding Tree Unit*) especifica el tamaño y posición de sus CBs de luminancia y crominancia. La unidad de codificación CU se compone de un CB de luminancia y dos CBs de crominancia. Un CTB se compone de un CU, o puede ser dividido en varios CUs, donde cada uno contiene unidades de predicción (PU) y un árbol de unidades de transformada (TU) [5].

- **Unidades de predicción y bloques de predicción (PBs):** La decisión de codificar una imagen con predicción *inter* o *intra*, es realizada por una CU. Dependiendo de la decisión en el tipo de predicción, los CBs de luminancia y crominancia pueden ser divididos en bloques de predicción (PBs). HEVC soporta tamaños de PB desde 64 x 64 hasta 4 x 4 muestras [5].

- **TUs y bloques de transformada.** El residuo de la predicción es codificado utilizando bloque de transformadas. Una estructura de árbol TU, tiene su raíz en el nivel de CU. El residuo de CB de luminancia podría ser idéntico al bloque de transformada de luminancia, o podría ser aún más dividido en TBs de luminancia más pequeños. La transformada discreta del coseno DCT es definida para TBs cuadrados con tamaños de 4x4, 8x8, 16x16, y 32x32. En algunos casos, como por ejemplo en 4 x 4, se utiliza como alternativa la transformada discreta del seno DST [5].

B. Técnicas para la transmisión de video.

Descarga de video: Con esta técnica, el video se transmite a través de protocolos FTP y HTTP, descargando completamente el archivo de video para posteriormente visualizarlo [6].

Descarga progresiva: Utilizando FTP y HTTP, se realiza una descarga progresiva de la información, y se empieza a reproducir a medida que se dispone de esta [6].

Streaming: Se utilizan protocolos para la transmisión de multimedia en tiempo real y control dinámico de la sesión (Real Time Protocol – RTP, y Real Time Streaming Protocol – RTSP, respectivamente). Utiliza sólo el ancho de banda necesario para reproducir el video en tiempo real. El protocolo RTSP controla el stream multimedia, permitiendo al usuario tener acciones como retroceder, saltar, pausar, etc. Para mayor información, las técnicas de streaming almacenado y streaming live se describen en [7].

C. Evaluación de la transmisión de video.

La principal plataforma de simulación de este tipo de transmisiones es la conformada por EvalVid [8] y NS-2 (Network Simulator II). EvalVid es un conjunto de herramientas ampliamente utilizado para evaluar la calidad de videos transmitidos sobre redes de comunicaciones.

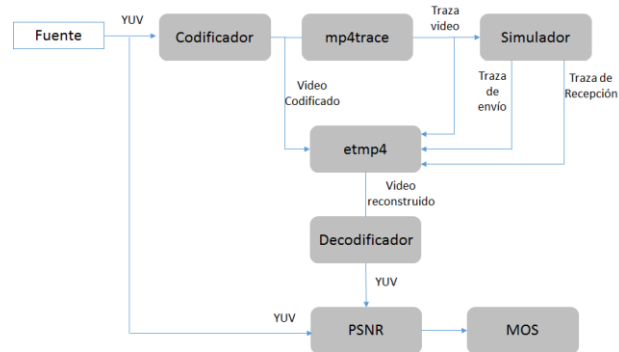


Figura 1. Esquema de funcionamiento de Evalvid. Fuente: autor.

En la Figura 1 se muestran las etapas en las que Evalvid interviene en un proceso de transmisión y evaluación de video. La definición e información de cada una de estas etapas se encuentra en [8].

Existen métodos objetivos y subjetivos para la evaluación de video.

Los métodos objetivos involucran el cálculo de métricas como el PSNR, (*Peak Signal-to-Noise Ratio*) y el SSIM (*Structural Similarity Index*) para cuantificar la calidad de un video. El PSNR define la relación entre la máxima energía posible de una señal y el ruido que afecta a su representación fidedigna. Su definición matemática se encuentra en [9]. El SSIM es una métrica basada en distorsión que considera la degradación de la calidad de la imagen como los cambios percibidos en la información estructural. Su definición matemática se encuentra en [10]. Por otra parte, la evaluación subjetiva consiste en construir un panel de observadores (personas), los cuales evaluarán las secuencias de video dependiendo de sus puntos de vista y su percepción [11].

Con el fin de proveer una valoración subjetiva de la calidad de experiencia (QoE, *Quality of Experience*) del usuario, la escala MOS (*Mean Opinion Score*) es un indicador numérico de la calidad percibida por el usuario después de la transmisión y

decodificación de un video y sus valores son descritos en la Tabla I.

TABLA I. TABLA DE CONVERSIÓN PSNR – MOS [9]

PSNR [dB]	Escala MOS	Distorsión
>37	5 (Excelente)	Imperceptible
31–37	4 (Bueno)	Perceptible, pero tolerable
25–31	3 (Regular)	Tolerable
20–25	2 (Pobre)	Molesta
<20	1 (Malo)	Muy molesta

D. Antecedentes y trabajos relacionados.

En [12] se describe un estudio sobre las barreras prácticas del estándar HEVC en ambientes reales, y se propuso un *framework* de evaluación para contenido codificado con HEVC, a este *framework* se le conoce como HEVStream. Permite la evaluación y pruebas de flujos de video codificado con HEVC bajo un rango de pérdida de paquetes, restricciones de ancho de banda y retardos de red. Los resultados mostraron una percepción de reducción en la calidad de la imagen, medida bajo PSNR, que puede ser esperado bajo un rango amplio de limitaciones de red y condiciones de pérdida de paquetes. No hay una versión pública disponible de esta herramienta.

En [13], se desarrolló un estudio enfocado en el comportamiento de HEVC sobre diversos escenarios de red. Entendiendo este comportamiento, se llevaría a mejoras futuras en resistencia a error y optimización en la calidad de servicio en un set de condiciones dadas. En este estudio, el desempeño de HEVC sobre redes *best effort* fue explorado y comparado con H264/AVC en diferentes escenarios de red.

Para el año 2013, se realizó un estudio de modelado de QoE para contenido multimedia codificado en *streaming* HEVC/H.265 bajo condiciones adversas de red. En este trabajo, los videos fueron transmitidos bajo diferentes condiciones de red y finalmente, fueron evaluados desde el punto de vista de la percepción subjetiva de la calidad en el lado receptor. Mediante métricas de calidad de video tradicionales, se identificaron los principales factores que afectan la percepción de usuario y por tanto la QoE. Con estos factores de impacto, se establecieron los niveles de tolerancia de usuario para la pérdida de paquetes en el *streaming* de video [3].

En [14] y [15], los autores propusieron un esquema para mitigar la pérdida de paquetes en HEVC priorizando y perdiendo paquetes selectivamente en respuesta a las limitaciones de red. Las secuencias de video fueron codificadas usando el modelo de pruebas *Test Model under Consideration* (TMuC HM6) para HEVC. Los resultados de este estudio mostraron que los esquemas propuestos ofrecen una mejora en PSNR, cuando se comparan los flujos de video recibidos contra el original, bajo un escenario de pérdidas descontroladas de paquetes.

En [16], los autores transmitieron empíricamente flujos de video HEVC sobre una red híbrida cableada/inalámbrica en velocidades de banda ancha móvil bajo un rango de condiciones de pérdidas de paquetes, usando resoluciones típicas de *smartphones* y *tablets*. Con este experimento se cuantificó el efecto, en calidad perceptual, de la pérdida de paquetes en flujos de video HEVC, y estableció un umbral de 3% de tasa de pérdidas de paquetes, más allá del cual los usuarios encuentran calidad pobre y un efecto de reducción en su QoE.

En [17] se evaluó el desempeño de la transmisión de contenido HEVC sobre ambientes de red simulados, para áreas afectadas por desastres y calamidades. La simulación de esta transmisión estuvo sujeta a varios modelos de error en el simulador NS3 (*Network Simulator 3*). Se evaluaron los efectos de la velocidad y número de hosts en el *jitter* y el retardo característicos de una red bajo capas, mientras se transmiten flujos de HEVC basados en contenidos. Se midieron los efectos de los errores de red en la calidad de los flujos de video HEVC en términos de PSNR. Los resultados mostraron que HEVC tiene mejor desempeño hasta con 0.001% de errores de red, y hasta 30 nodos transmitiendo simultáneamente, y con velocidades hasta de 100 m/s.

Por otra parte, en cuanto a la simulación de la transmisión de flujos de video, en [18] se propuso un *framework* altamente flexible para transmitir videos usando mecanismos de transporte poco confiables, combinando MPEG-2 TS, RTP y UDP. En este trabajo, también fueron simuladas diferentes condiciones de red tales como pérdidas de paquetes, retardo y Jitter, tanto en la transmisión como en *offline*, a través de la implementación de varios modelos ajustables de distribuciones de probabilidad de error tales como el modelo de *Gilbert-Elliott*. En [18] se menciona *Sirannon*, la cual es una herramienta software para la simulación de streaming en redes, sin embargo, no ha sido actualizada desde varios años, y por lo tanto no soporta el estándar HEVC.

En [19] fue desarrollada la herramienta HEVC-SIM para la codificación y transmisión de video, basada en implementaciones de código abierto de codificadores y decodificadores HEVC. Esta herramienta utiliza dos métodos de cubrimiento de error para ayudar al decodificador a recuperar el video luego de pérdida de paquetes, es decir, la simulación de la pérdida de paquetes se realiza mediante dos métodos: aleatoriamente usando Gilbert-Elliott (cadena de Markov de dos estados), o por sustracción manual de paquetes.

Finalmente, en [20] se propone un set de configuración de herramientas para evaluar streaming de HEVC, basados en el uso de herramientas como HM H.265 Reference Software para la codificación/decodificación del video, y herramientas de NCTuns para la generación de tráfico (EvalSVC).

II. METODOLOGÍA

La metodología propuesta para alcanzar los objetivos de la investigación, consiste en realizar una revisión bibliográfica de antecedentes y trabajos relacionados con la transmisión de flujos de video codificados con HEVC/H265, identificando métodos de transmisión, métricas de evaluación, estrategias y herramientas utilizadas para la transmisión de video. Lo anterior se refleja en la introducción y fundamentación expuesta en la primera sección de este artículo. Por otra parte, experimentalmente se propone realizar pruebas de transmisión de video codificado en H264, con el objetivo de conocer la metodología para la simulación de la transmisión de video usando las herramientas actuales, y explorar las posibilidades de estas herramientas y las oportunidades de mejora para su posible aplicación o adaptación en la transmisión de un video HEVC/H265. Conociendo este proceso y los trabajos consultados en los antecedentes, se propone realizar la transmisión de video HEVC/H265, siguiendo un proceso o cadena por etapas, como lo muestra la Figura 2

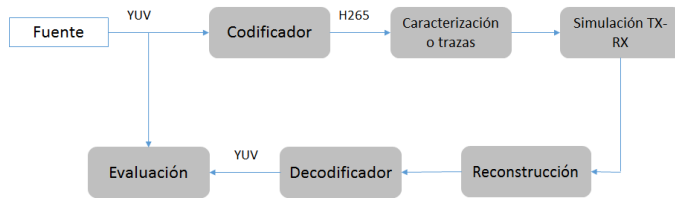


Figura 2. Metodología propuesta para la simulación de la transmisión de un video HEVC/H265. Fuente: autor.

A. Transmisión de video H264.

Como lo muestra la Figura 3, el escenario simulado consiste de 7 nodos inalámbricos estáticos, en donde el nodo 0 transmite un video codificado de acuerdo con el estándar H264 hacia el nodo 6, a través de los nodos intermedios en la cadena.



Figura 3. Escenario simulado – Topología de red. Fuente: autor.

En la TABLA II se muestran los parámetros de la simulación de la transmisión del video sobre la red descrita anteriormente. El simulador utilizado fue NS-2 (Network Simulator II) con integración de herramientas de Evalvid.

TABLA II. PARÁMETROS DE SIMULACIÓN. Fuente: autor

Parámetro	Valor
Canal	Channel/WirelessChannel
Modelo de radio propagación	Propagation/TwoRayGround
Antena	Antenna/OmniAntenna
Tipo de cola	Queue/DropTail/PriQueue
Máximo de paquetes	50

Interfaz de red	Phy/WirelessPhy
Tarjeta Física	Mac/802_11
Número de nodos móviles	7
Protocolo de enrutamiento	AODV
Dimensión de la Topología (x,y)	(2800,670)
Tipo de tráfico	Application/Traffic/myEvalvid
Agente Transmisor	Agent/myUDP
Agente en Recepción	Agent/myEvalvid_Sink

Las principales características del video transmitido se muestran en la Figura 4.



Figura 4. Características del video transmitido. Fuente: autor.

Las herramientas utilizadas para esta simulación de transmisión fueron:

- FFMPEG: El video original en formato YUV fue codificado con el estándar H264 a una tasa de 1000 kb/s y 30 fotogramas por segundo, con formato m4v.
- GPAC-MP4BOX: crea un contenedor mp4 que contiene los fotogramas del video y un *track* que describe cómo empaquetar los fotogramas para el transporte RTP.
- Evalvid-mp4trace: a partir del envío del video por RTP/UDP hacia un host específico, obtiene la traza que describe el video a transmitir, y su tiempo de transmisión, el cual se correlaciona como el tiempo de simulación.
- NS2 como simulador del escenario de red: a partir de la traza descriptora del video original y el tiempo de simulación, obtiene la traza de envío y recepción del video. El archivo tcl utilizado contempla los parámetros de simulación descritos en la TABLA II.
- Evalvid-etmp4: Reconstruye el video desde el lado del receptor, a partir de las trazas de envío y recepción, la traza descriptora del video original y el video original.
- PSNR de Evalvid como métrica de calidad del video.

Finalmente, siguiendo el esquema de la Figura 1 se logró la transmisión del video H264 en un ambiente simulado.

Este ejercicio práctico permitió establecer la interacción de las diferentes herramientas de Evalvid y el simulador de redes NS2. También permitió conocer la metodología más utilizada actualmente para desarrollar evaluaciones de transmisiones de video sobre redes. De esta manera, se puede establecer que el principal aporte de este estudio de simulación fue la

identificación de las etapas del proceso, así como también las funciones e interacciones de cada de herramienta de Evalvid y NS2.

III. RESULTADOS

En esta etapa de la investigación, se tiene un primer resultado que recopila toda la revisión bibliográfica, antecedentes y trabajos relacionados con la transmisión de video HEVC/H265, aportando una fundamentación suficiente de las características propias de este estándar. Dado que nuestro estudio simula el *streaming* como la transmisión de un flujo de video (fotogramas en paquetes), se propone utilizar la técnica de descarga o transmisión de video sobre RTP, aplicado en un *framework* propuesto en la Figura 2. Este *framework* permitirá revisar cada una de las etapas del proceso de la transmisión extremo a extremo, y al final evaluar el video recibido.

En segunda instancia, se tienen los resultados obtenidos en la transmisión del video H264, los cuales ayudan a comprender la metodología para la transmisión y evaluación de este tipo de contenido, y conocer las herramientas utilizadas para tal fin. Los resultados de la simulación son: se obtuvieron las trazas de envío y recepción, que junto con la traza del video original (traza descriptora de video), fueron utilizadas para obtener el video reconstruido, a través de la herramienta etmp4 de Evalvid. Finalmente, se procedió a calcular el PSNR y SSIM de los fotogramas, obteniendo los resultados mostrados en la Figura 5 y Figura 6, respectivamente.

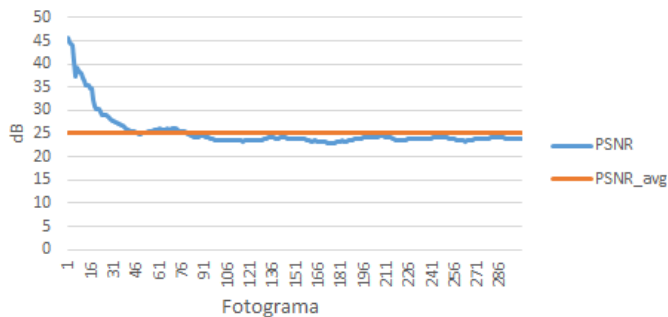


Figura 5. Resultados de PSNR para la transmisión del video en el escenario de red propuesto. Fuente: autor.

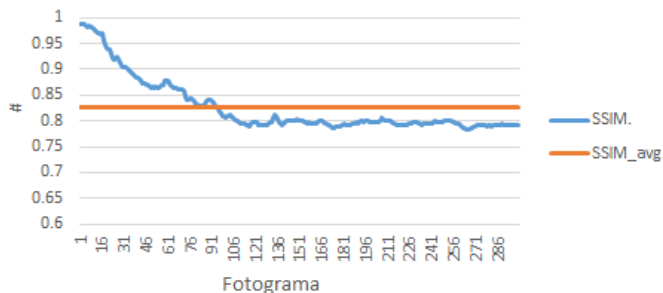


Figura 6. Resultados SSIM para la transmisión del video en el escenario de red propuesto. Fuente: autor.

Teniendo en cuenta la TABLA I, los resultados muestran que para los primeros fotogramas el PSNR presenta valores altos, lo

cual traduce un valor de MOS en 5 (excelente) y distorsión imperceptible, con valores de SSIM cercanos a 1 lo cual indica gran similitud, sin embargo, desde el fotograma 48 el PSNR registra valores por debajo de su promedio (25dB), lo cual traduce un valor de MOS en 2 (Pobre) y distorsión molesta, con valores de SSIM menores a su promedio, reflejando degradación en la imagen.

IV. CONCLUSIONES

En este artículo se expusieron los argumentos que justifican el desarrollo de la investigación orientada a evaluar “la transmisión de flujos de video de ultra alta definición codificados de acuerdo con el estándar HEVC/H.265”.

Como un análisis práctico del estado del arte de la investigación, se realizó un estudio preliminar sobre la transmisión de videos codificados en H.264. Este estudio permitió identificar las metodologías y técnicas usadas actualmente para evaluar la transmisión de video y tomarlo como punto de partida para estudios futuros con video HEVC/H265.

Como trabajo a seguir, se propone realizar una investigación similar que permita obtener una metodología para la transmisión de flujos de video HEVC/H265, así como su evaluación en cuanto a la calidad de imagen en función de las condiciones de red. De esta manera, mediante soluciones TIC, se contribuye a resolver problemas existentes en sectores económicos como el sector de las comunicaciones multimedia, equilibrando experiencia de usuario y uso eficiente de las redes de transporte.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo descrito en este artículo es el resultado de una cooperación académica en marco de la Maestría en Redes y Sistemas de Comunicaciones de la Universidad Santo Tomás Colombia, a través de convenios interinstitucionales que fortalecen el potencial académico-investigativo de los autores.

REFERENCIAS

- [1] CISCO, «Noticias de CISCO,» Lewis, [En línea]. Available: <http://cisco.mwnewsroom.com/es/es/release/El-tr%C3%A1fico-IP-global-se-multiplicar%C3%A1-casi-por-tres-entre-2015-y-2020-2367113>.
- [2] Ericsson, «Ericsson Mobility Report,» [En línea]. Available: <https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report/documents/2016/ericsson-mobility-report-november-2016-rlam.pdf>.
- [3] J. Nightingale, Q. Wang, C. Grecos y S. Goma, «Modeling QoE for streamed H.265/HEVC content under adverse network conditions,» *ICWMMN2013 Proceedings*, 2013.

- [4] V. Sze, M. Budagavi y G. J. Sullivan, High Efficiency Video Coding (HEVC) Algorithms and Architectures, Springer, 2014.
- [5] G. J. Sullivan, J.-R. Ohm, W.-J. Han y T. Wiegand, «Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard,» *IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY*, vol. 22, n° 12, December 2012.
- [6] G. UPV, «GRC - Grupo de Redes de Computadores,» [En línea]. Available: <http://www.grc.upv.es/docencia/tdm/practicass/P3.pdf>.
- [7] J. F. Kurose y K. W. Ross, Computer Networking: A top-down approach, Sixth ed., Pearson, 2013.
- [8] T. -. T. N. Group, «EvalVid - A Video Quality Evaluation Tool-set,» [En línea]. Available: <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/>.
- [9] W. Castellanos, Quality of Service Routing and Mechanisms for Improving Video Streaming over Mobile Wireless Ad hoc Networks, Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València, 2015.
- [10] P. Zhao, Y. Liu, J. Liu, A. Argyriou y S. Ci, «SSIM-based error-resilient cross-layer optimization for wireless video streaming,» *Signal Processing: Image Communication*, pp. 36-51, 2015.
- [11] P. Acelas, P. Arce, J. Guerri y W. Castellanos, «Evaluation of the MDC and FEC over the quality of service and quality of experience for video distribution in ad hoc networks,» *Springer Science+Business Media*, 2012.
- [12] J. Nightingale, Q. Wang y C. Grecos, «HEVStream: A Framework for Streaming and Evaluation of High Efficiency Video Coding (HEVC) Content in Loss-prone Networks,» *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 58, n° 2, 2012.
- [13] B. Oztas, M. T. Pourazad, P. Nasiopoulos y V. C. M. Leung, «A Study on the HEVC Performance Over Lossy,» *IEEE*, 2012.
- [14] J. Nightingale, Q. Wang y C. Grecos, «Scalable HEVC (SHVC)-Based Video Stream Adaptation in Wireless Networks,» *2013 IEEE 24th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications: Services, Applications and*, pp. 3573-3577, 2013.
- [15] J. Nightingale, Q. Wang y C. Grecos, «Priority-based methods for reducing the impact of packet loss on HEVC encoded video streams,» *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering - Real-Time Image and Video Processing*, vol. 8656, n° 86560E, 2013.
- [16] J. Nightingale, Q. Wang, C. Grecos y S. Goma, «Subjective Evaluation of the Effects of Packet Loss on HEVC Encoded Video Streams,» *2013 IEEE Third International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin)*, n° 14024837, pp. 358-359, 2013.
- [17] S. u. Rehman y G. Raja, «Performance Evaluation of HEVC over Broadband,» 2014.
- [18] A. Dethof, W. Robitza y M.-N. Garcia, «StreamSim: A Video Streaming Simulation Toolchain for Unreliable Transport Mechanisms,» de *QoMEX – Eighth International Conference on Quality of Multimedia Experience*, Lisboa, 2016.
- [19] M. M. Rashed Khan, HEVC-SIM: A simulation and analysis tool for H.265 packet transmission, Burnaby, Canada: SIMON FRASER UNIVERSITY, 2015.
- [20] T. A. Hadhrami, J. Nightingale, Q. Wang, C. Grecos y N. Kehtarnavaz, «A simulator tool set for evaluating HEVC/SHVC streaming,» *SPIE-IS&T Electronic Imaging*, vol. 9400, 2015.