



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



**Máster Universitario**  
en Tecnologías, Sistemas y  
Redes de Comunicaciones

# **EVALUACIÓN SUBJETIVA DE UN SISTEMA DE STREAMING DE VÍDEO BASADO EN DASH**

*Autor:* Fernando David Valle Medina

*Director 1:* Juan Carlos Guerri Cebollada

*Director 2:* Ismael de Fez Lava

*Fecha de comienzo:* 06/05/2018

*Lugar de trabajo:* Grupo de Comunicaciones Multimedia del iTEAM



### *Objetivos*

El objetivo principal de este trabajo de fin de máster es evaluar subjetivamente un sistema de streaming mediante vídeos codificados para ser transmitidos y recibidos por el estándar de vídeo Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH). Para ello se identificará cuáles son los parámetros de mayor influencia en la Calidad de Experiencia (Quality of Experience –QoE-) que experimentan los usuarios. Se realizará un extenso estudio del estado del arte de métricas QoE, analizando los procedimientos y metodologías de soluciones estándar existentes.

Se propondrán cambios y mejoras con el propósito de optimizar la evaluación de Calidad de Experiencia en el vídeo adaptativo. Posteriormente se diseñará la evaluación subjetiva adecuada y se comparará el desempeño de diferentes algoritmos de adaptación, por último, se llevará a cabo un análisis de los resultados obtenidos.

### *Metodología*

- Análisis del estándar ITU-T P.913 para la evaluación de métodos subjetivos de calidad de vídeo en internet.
- Identificación de los principales parámetros subjetivos para la evaluación de Calidad de Experiencia en transmisión adaptativa de vídeos.
- Acotación del problema y definición de objetivos a cumplir.
- Diseño de condiciones de vídeo y ambiente propicio para el procedimiento de evaluación subjetiva.
- Ejecución de la evaluación subjetiva en los laboratorios COMM del iTEAM.
- Análisis de Resultados.
- Documentación.

### *Desarrollos teóricos realizados*

Se ha investigado sobre los parámetros subjetivos de mayor relevancia que influyen en la percepción visual del usuario. Se definió el método apropiado de evaluación mediante el estudio del estándar ITU-T P.913 para la evaluación subjetiva de Calidad de Experiencia en vídeos bajo demanda. Se instruyó en el informe e interpretación de los datos obtenidos mediante la puntuación de opinión media (MOS) basado en el estándar ITU-T P.800.2. Se concluyó realizando la documentación del test subjetivo.

### *Desarrollo de prototipos y trabajo de laboratorio*

Para la fase de trabajo de laboratorio se realizó la selección de material, empleando vídeos de duración superior a los utilizados frecuentemente en evaluaciones estandarizadas y que presentan las características adecuadas para abordar los objetivos experimentales de estudio. Se preparó un ambiente controlado propicio para la ejecución de la evaluación subjetiva y que se ajusta a las condiciones definidas por el estándar ITU-T P.913. Para la implementación del experimento se cumplieron las siguientes etapas: consentimiento informado, pre selección de sujetos, instrucciones, entrenamiento, sesión de votación mediante test y cuestionario. A continuación, se realizó el análisis estadístico de los datos y se evaluó el efecto de los factores influyentes y degradaciones en la Calidad de Experiencia, como resultado en la percepción del usuario final.

### *Resultados*

Al culminar la tesina se han alcanzado los objetivos propuestos inicialmente. Se recopilaron los resultados obtenidos a través de la evaluación subjetiva y se interpretaron los datos generados mediante la puntuación de opinión media, extrayendo como resultado final que: los usuarios prefieren una reproducción de vídeo totalmente fluida, libre de interrupciones. A pesar de que la calidad de vídeo en la reproducción sea menor.

### *Líneas futuras*

El presente trabajo muestra la creciente necesidad de entender el comportamiento subjetivo del usuario, frente a la reproducción de vídeo, además motiva al desarrollo de nuevos algoritmos que minimizan el número de interrupciones en la reproducción de contenido multimedia. En este apartado se presentan algunas líneas de investigación que resultan importantes para la realización de trabajos a futuro.

El tratar con varias degradaciones en las fuentes de vídeo y reproducirlas en entornos reales con vídeos de larga duración resulta una línea trascendental a futuro, debido al tiempo y dinero que estos estudios demandan. Esta investigación utiliza únicamente secuencias de vídeo sin audio, un desarrollo importante sería el análisis de fuentes que incluyan contenido audiovisual para lograr condiciones más realistas.

Otra posible línea de trabajo consiste en la actualización de la norma estandarizada: "Terminales y Métodos de Evaluación Subjetivos y Objetivos ITU-T P.913". Debido al constante avance en cuanto al uso de tecnología multimedia en internet este demanda un trato diferente de varios aspectos en el desarrollo vigente.

### *Publicaciones*

De momento no hay publicación alguna.

### *Abstract*

Currently, the Quality of Experience - QoE of the user in the field of multimedia technology requires a greater number of measures to achieve its optimization. The constant growth of video services on demand through adaptive transmission using HTTP (DASH) [1] requires subjective evaluation processes to improve the quality of perception that end users receive.

This thesis investigates the subjective analysis of videos encoded using the algorithms "Look Ahead" and "Müller", in addition, analyzes the impact produced in the quality of the end user experience. The interpretation of the results based on the average opinion score (MOS) shows the influence of quality changes and interruptions in reproduction in terms of QoE. The results obtained from the experiments carried out in the COMM Laboratory, show that the encoded videos generate different degrees of satisfaction in the user and analyze how the degradations influence the QoE. The use of long-term video sources is projected as an improvement of the literature proposed in the current standard and allows to confirm the influence of the objective parameters within the content and to understand more closely the behavior in real user conditions.

Autor: Valle Medina Fernando David, email: [ferval@teleco.upv.es](mailto:ferval@teleco.upv.es)

Director 1: Guerri Cebollada Juan Carlos, email: [jcguerri@com.upv.es](mailto:jcguerri@com.upv.es)

Director 2: De Fez Lava Ismael, email: [isdefez@iteam.upv.es](mailto:isdefez@iteam.upv.es)

Fecha de entrega: 22-08-2018

**ÍNDICE**

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	4
<b>II. CALIDAD DE EXPERIENCIA (QoE)</b> .....	5
II.1. FACTORES DE INFLUENCIA DE LA CALIDAD DE EXPERIENCIA QOE .....	5
II.1.1 FACTORES DE INFLUENCIA HUMANOS .....	5
II.1.2 FACTORES DE INFLUENCIA DE CONTEXTO .....	6
II.1.3 FACTORES DE INFLUENCIA DEL SISTEMA .....	6
II.2. EVALUACIÓN SUBJETIVA DE QoE .....	7
II.2.1. LISTA DE MÉTODOS DE PRUEBA .....	8
II.2.2. INTERPRETACIÓN E INFORME DE PUNTUACIÓN DE OPINIÓN PROMEDIO (MOS). .....	9
II.3. EVALUACIÓN OBJETIVA DE LA QoE .....	10
II.4. CONSIDERACIONES ACTUALES EN LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN SUBJETIVA DE LA QoE.....	11
<b>III. TRANSMISIÓN ADAPTATIVA</b> .....	12
III.1. ANTECEDENTES .....	12
III.1.1. TRANSMISIÓN TRADICIONAL.....	12
III.1.2. DESCARGA PROGRESIVA .....	13
III.2. TRANSMISIÓN ADAPTATIVA SOBRE HTTP .....	13
III.3. MPEG-DASH.....	15
III.3.1. MEDIA PRESENTATION DESCRIPTION “MPD” .....	16
III.3.2. SEGMENTOS .....	16
<b>IV. CALIDAD DE EXPERIENCIA EN DASH</b> .....	17
IV.1 RETARDO INICIAL .....	18
IV.2 INTERRUPCIONES .....	19
IV.3 ADAPTACIÓN .....	19
IV.4 CAMBIOS DE CALIDAD .....	21
IV.5 DASH QoE ESTADO ACTUAL.....	22
<b>V. EVALUACIÓN SUBJETIVA DASH</b> .....	25
V.1 CONDICIONES DE PRUEBA .....	25
V.2 METODOLOGÍA.....	26
<b>VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS.</b> .....	30
<b>VII. CONCLUSIONES</b> .....	34
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	36

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el crecimiento de la transmisión de vídeo representa uno de los hitos más importantes en el campo de la tecnología multimedia. El avance de los sistemas y redes de comunicación ha permitido que la accesibilidad del usuario sin importar su tipo de dispositivo o locación inunde el tráfico en internet. Cisco [2] prevé que más de las tres cuartas partes del tráfico mundial de datos móviles serán vídeo para 2021. El vídeo móvil se multiplicará por 9 entre 2016 y 2021, representando el 78 por ciento del tráfico total de datos móviles para el final del período de pronóstico.

Con la tendencia a contratar servicios de vídeo bajo demanda, el usuario espera experimentar la mejor Calidad de Experiencia posible, en este sentido dentro de las soluciones de transmisión adaptativa aparece DASH, basado en el protocolo de transporte HTTP (Hypertext Transfer Protocol o HTTP) y de uso actual en las principales plataformas de contenido de vídeo como: YouTube o Netflix. Gracias a las propiedades de fiabilidad y retransmisión de paquetes ofrecidas por el protocolo TCP, MPEG DASH se convierte en un estándar bajo la norma ISO/IEC 23009-1:2012 que tiene como técnica de transmisión una tasa de bits adaptable al ancho de banda disponible, permitiendo la difusión de contenido multimedia de alta calidad a través de servidores web HTTP convencionales.

La transmisión adaptativa implica la producción en varias calidades de un mismo fichero fuente, divididos en segmentos de corta duración que varían de 2 a 10 segundos generalmente y las pone a disposición de varios clientes, siendo estos quienes escogen la tasa de bits requerida ajustable a las condiciones de red en ese momento. Al monitorizar el estado del búfer, estas tecnologías adaptativas pueden cambiar las transmisiones cuando sea necesario garantizando una reproducción continua o mejorando la Calidad de Experiencia del usuario final.

La competitividad existente entre varias empresas dedicadas a la transmisión de contenido tales como: Apple, Microsoft, Adobe, etc., convergen en la importancia del protocolo de transmisión utilizado y la lógica de adaptación, estos son sustentados en algoritmos, que en su mayoría comparan la tasa de bits promedio de los vídeos codificados con el ancho de banda disponible. El análisis de los parámetros de calidad de servicio (QoS) requiere ser complementado necesariamente mediante estudios subjetivos de la percepción visual del usuario, con el fin de comprender en su totalidad la Calidad de Experiencia (QoE) ofrecida por los servicios multimedia.

Teniendo en cuenta que el objetivo fundamental de la transmisión adaptativa es asegurar la mejor Calidad de Experiencia posible, este trabajo propone la evaluación subjetiva de DASH utilizando diferentes algoritmos de adaptación (“Look Ahead”, “Müller”), además, plantea optimizar la evaluación subjetiva de calidad de vídeo y proporcionar datos que mediante un análisis estadístico permita interpretar la experiencia del espectador.

Una gran parte de los estudios experimentales encontrados en la literatura evaden el uso de fuentes de vídeo de larga duración, debido al tiempo y dinero que estos pueden llegar a alcanzar, por lo tanto, este estudio cubre varias incertidumbres que el estándar actual ITU-T P.913 presenta como recomendaciones del planteamiento de evaluaciones subjetivas, además permite acercarnos a un comportamiento más realista de los usuarios bajo condiciones naturales.

## **II. CALIDAD DE EXPERIENCIA (QoE)**

El éxito de las nuevas tecnologías multimedia radica en la correlación existente entre la Calidad de Servicio (Quality of Service, QoS) y la Calidad de Experiencia (Quality of Experience, QoE), que asegure un nivel máximo de satisfacción en el cliente. Los servicios de diseño de sistemas multimedia establecen los parámetros “objetivos” de la red en términos de QoS, definidos por el estándar ITU-T E.800 como: “La totalidad de las características de un servicio de telecomunicaciones que determinan su capacidad para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas del usuario del servicio” [3]. El análisis de los parámetros “subjetivos” del usuario resulta de mayor complejidad, sin embargo, representa mayor importancia a la hora de evaluar un servicio. El término “QoE” se ha convertido en un aspecto fundamental en la actualidad usado de manera continua y superficial, como sinónimo de garantía de calidad en servicios de comunicación multimedia.

La literatura presenta varios conceptos relevantes acerca de la QoE, sin embargo, la versión actualizada de la ITU-T P.10/G100 coincide en su última actualización con la conceptualización dada por la European Network on Quality of Experience in Multimedia Systems and Services QUALINET [4] y define la QoE como: “El grado de satisfacción o molestia del usuario de una aplicación o servicio. Es el resultado del cumplimiento de las expectativas con respecto a la utilidad y/o el disfrute de la aplicación o servicio, a la luz de la personalidad del usuario y su estado actual”.

### **II.1. FACTORES DE INFLUENCIA DE LA CALIDAD DE EXPERIENCIA QOE**

La complejidad de entendimiento de la QoE en estos días requiere del perfecto funcionamiento en varios aspectos, la tecnología como medio de interacción y comunicación, la creación del contenido multimedia, la competencia entre empresas de distribución en el mercado y la percepción del usuario final. Estos 4 elementos forman una cadena de valor de alta QoS y se ven afectados por factores de influencia que se definen como: “Cualquier característica de un usuario, sistema, servicio, aplicación o contexto cuya configuración o estado real pueda tener influencia en la Calidad de Experiencia para el usuario” [5].

#### **II.1.1 FACTORES DE INFLUENCIA HUMANOS**

La subjetividad de los factores perceptuales se centra en el usuario y su comportamiento como ser humano, de ahí el grado de dificultad a la hora de su estudio y son el resultado de las características

físicas y psicológicas fundamentadas en entornos demográficos, socio-económicos y emocionales de las personas. Los atributos perceptivos en conjunto con la sensibilidad visual son los componentes más relevantes de influencia en la percepción de la QoE en el cliente final.

La actividad cognoscitiva influye ampliamente en el plano subjetivo del usuario, afecta su comportamiento frente a la realidad que lo rodea y a su propia realidad, características como: sensación, atención, percepción, memoria, imaginación inciden en la Calidad de Experiencia del sujeto al visualizar contenidos multimedia. La amplia gama de factores de influencia humana impide el desarrollo de un esquema de clasificación, muchos de los factores cambian constantemente y su análisis es propio de cada sujeto.

### II.1.2 FACTORES DE INFLUENCIA DE CONTEXTO

Son aquellos que describen el entorno durante el uso del sistema o servicio, de igual manera presentan una amplia variedad y variabilidad, pero para nuestro estudio los hemos clasificado en función de los experimentos a evaluar.

- Contexto Físico: incluye características de ubicación, tales como: interiores, al aire libre, zonas personales, zonas sociales y se encuentra ligado a la movilidad que presenta el o los usuarios, por ejemplo: sentado, levantado, caminando, también influye la naturaleza del entorno: urbano, rural, ruidoso, silencioso, iluminado, oscuro, temperatura, etc.
- Contexto Temporal: involucra aspectos como: clima, hora del día, semana, mes, año y la frecuencia promedio del uso del servicio.
- Contexto Socio-Económico: se refiere al comportamiento de los individuos inter o intra personal, el nivel cultural y económico incide mucho en la percepción de la Calidad de Experiencia en el usuario final.

### II.1.3 FACTORES DE INFLUENCIA DEL SISTEMA

Se consideran a los elementos que influyen en la calidad técnica de una aplicación o servicio y son fundamentales para el análisis de parámetros objetivos en el estudio de la QoE, desde su inicio en la producción de contenido hasta el usuario final, a través de los procesos de: captura, codificación, almacenamiento, transmisión, procesamiento y visualización de los contenidos multimedia. Los factores de influencia del sistema pueden ser agrupados en 4 sub divisiones [6].

- Referente al contenido: el tipo de escena, la cantidad de detalles, la movilidad dentro de la escena y el nivel de calidad, representan los principales factores en este campo.
- Referente al medio: incluye parámetros de configuración de los medios, como: codificación, velocidad de fotogramas, cantidad de píxeles, tamaño del cuantificador, compresión, entre otros.

- Referente a la red: se constituyen como los principales parámetros para la medición de: QoS, ancho de banda, retardo, pérdida de paquetes y jitter, dependen mucho del tipo de protocolo y del medio de comunicación utilizados.
- Referente al dispositivo: la tecnología avanza rápidamente en el desarrollo de equipos terminales, la pantalla de los dispositivos es el principal medio de interacción para la medición de Calidad de Experiencia.

## II.2. EVALUACIÓN SUBJETIVA DE QoE

El análisis de los parámetros técnicos adquiridos a partir de la medición de QoS no es suficiente para otorgar un criterio de valor para la medición de QoE. En otras palabras, una alta QoS no siempre significa una buena QoE, es por esto que resulta imprescindible el uso de técnicas de medición subjetiva como traductores, para entender el nivel de satisfacción o molestia en la percepción visual de un usuario final al recibir un servicio.

Las metodologías de evaluación de QoE [6] existentes, utilizan parámetros objetivos y subjetivos provenientes de diferentes lógicas de adaptación que intentan optimizar la QoE del sujeto. La manera en que el usuario percibe el contenido audiovisual usando DASH implica tener en cuenta diversos criterios diferentes a los métodos estandarizados actuales. En este trabajo se exponen secuencias de vídeo de larga duración para poder estudiar de forma precisa degradaciones como: cambios de calidad e interrupciones a largo plazo, además de realizar mejoras y recomendaciones a la hora de interpretar la Calidad de Experiencia.

Los métodos de evaluación pretenden entender y analizar los resultados del uso de tecnologías de información y comunicación, los usuarios son denominados técnicamente como: “sujetos de prueba”, que mediante la visualización de “secuencias de vídeo procesada” (Processed Vídeo Sequence - PVS) o “estímulos” permiten la recopilación de datos, la valorización de estos se hace a través de la puntuación de opinión media “MOS” (Mean Opinion Score), estandarizada por la ITU-T en su serie P.800.2. [7]

Las pruebas subjetivas son desarrolladas en ambientes controlados, dedicados a la realización del experimento, por ejemplo, salas, habitaciones o laboratorios con condiciones cómodas y en silencio para evitar distracciones en el sujeto de prueba, muchos estudios realizados con anterioridad utilizan los estándares UIT-R BT.500-13[8] y el UIT-T P.910 [9] que incluyen los procedimientos y directrices que llevan a cabo las evaluaciones subjetivas. En el presente trabajo se utiliza el estándar ITU-T P.913 [6], actualizado y ampliado a medida del cambio tecnológico y adecuado para las resoluciones de pantalla modernas, sin embargo, esta recomendación no incluye los nuevos paradigmas de internet detallados posteriormente en la sección II.4.

La planificación del desarrollo experimental se encuentra precisamente detallada e incluye parámetros que podrían variar de acuerdo a la situación o propósito de estudio. Las condiciones del contenido de los estímulos fuente y varios métodos de calificación describen tiempos de duración y

procesos de monitorización durante su ejecución, el equipo terminal cuenta con su respectiva parametrización que incluye detalles como: configuración de pantalla, distancias y ángulos de visión.

Existen varios tipos de métodos de evaluación subjetiva. A continuación, se detallan los considerados mayormente apropiados y sus escalas de calificación. Vídeo Quality Expert Group (VQEG) [10] e ITU-T P.913 coinciden en que se necesitan al menos 24 sujetos de prueba para validar un estudio y recomiendan un balance equilibrado de género y edad, además permiten utilizar un muestreo a conveniencia, es decir, elegir un grupo social determinado para facilitar su accesibilidad, por ejemplo: estudiantes de universidad, empleados internos de una empresa, etc. Todos ellos deberán superar un test de agudeza visual para eliminar posibles errores de visión en el desarrollo de la evaluación.

### II.2.1. LISTA DE MÉTODOS DE PRUEBA

Existen diferentes tipos de métodos apropiados para la evaluación subjetiva, a continuación, se detallan los más importantes y sus respectivas escalas de calificación.

- Índice por categorías absolutas [9] (ACR – Absolute category rating): conocido también como método de evaluación de un solo estímulo, donde las secuencias de vídeo se presentan una por vez y se califican de manera independiente sin necesidad de un estímulo de referencia. Posee una escala de valoración absoluta de 5 niveles y de acuerdo a la literatura es el método más usado comúnmente. El sujeto evalúa la calidad de la secuencia mostrada en un cierto intervalo de tiempo. La Fig.1 muestra el procedimiento de evaluación con un tiempo de reproducción de estímulo de 10 segundos seguido de una pantalla en color gris para realizar la valoración. El método ACR produce un alto número de puntuaciones en breves períodos de tiempo.

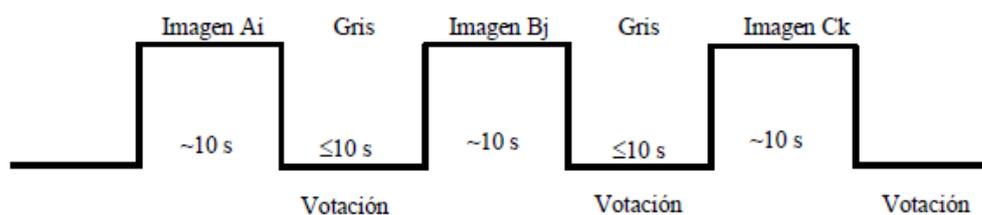


Fig1. Presentación de estímulos utilizando el método ACR

- Índice por categorías de degradación (DCR – Degradation Category Rating): también conocido como escala de degradación por doble estímulo. Los estímulos se presentan por pares, el primer vídeo siempre corresponde al estímulo de referencia, es decir el vídeo codificado a la mayor calidad y sin degradaciones, mientras que la segunda presentación es la versión procesada del mismo contenido. En este caso se invita a evaluar al sujeto de prueba las degradaciones percibidas en el segundo vídeo con respecto al primero. Utiliza la siguiente escala de valoración.

Valor	Apreciación
5	Imperceptible
4	Perceptible, pero no molesto
3	Ligeramente molesto
2	Molesto
1	Muy molesto

Tabla 1: Escala de Valoración DCR

- Índice de categoría por comparación (PC – Pair comparisson): llamado también método de comparación por pares. Se presentan las dos secuencias de prueba simultáneamente, cada una de ellas presenta diferentes degradaciones a la secuencia de referencia, de igual manera se califica el contenido del segundo estímulo en relación con el primero. Su precisión está influenciada por la presentación aleatorizada de los estímulos.
- Evaluación de calidad continua de estímulo único [8] (SSCQE – Single Stimulus Continuos Quality Evaluation): se centra en detectar degradaciones en contenidos de larga duración. Su proceso de valoración es diferente al resto de métodos, el sujeto de prueba debe ir evaluando continuamente el contenido y los resultados son representados mediante una gráfica.

Las calificaciones proporcionadas por las escalas de valoración son registradas mediante encuestas en papel o utilizando software, los datos obtenidos por los evaluadores son procesados e interpretados vía “MOS” que expresa un juicio de calidad promedio resultante tras la ejecución del test subjetivo.

### II.2.2. INTERPRETACIÓN E INFORME DE PUNTUACIÓN DE OPINIÓN PROMEDIO (MOS).

La subjetividad presente en la Calidad de Experiencia radica netamente en la opinión final del usuario. La recomendación ITU-T P.800.2 [50] trata de estructurar de manera estandarizada el proceso de interpretación de opiniones (sujetos de prueba - votos) en casos específicos, sin embargo, esta recomendación no se considera como una guía definitiva para el desarrollo de pruebas subjetivas u objetivas.

Las puntuaciones de MOS permiten la valoración de contenido audio visual, la ITU-T ha generado varios estándares que permiten la calificación de calidad de un servicio. El término MOS hace referencia a la calificación aislada de un único estímulo. Los siguientes métodos producen puntuaciones MOS.

- Absolute category rating (ACR).
- Absolute category rating with hidden reference (ACR-HR).
- Subjective Assessment of Multimedia Video Quality (SAMVIQ).
- Multi-stimuli with Hidden Reference and Anchor Points (MUSHRA).

El término DMOS es empleado para indicar que los puntajes representan un cambio de valoración al comparar dos estímulos, los siguientes métodos utilizan DMOS.

- Degradation Category Rating (DCR).
- Comparison Category Rating (CCR).

Los factores a tener en cuenta en condiciones de vídeo están regidos por la transmisión, velocidad y tasa de fotogramas, además de ciertos parámetros técnicos como los distintos tipos de codificadores. Los valores MOS obtenidos incluyen, pero no están limitados a:

- El dispositivo utilizado para representar el contenido audio visual.
- Ambiente de visualización.
- Distancia de visualización
- Contenido Multimedia.

El contenido multimedia es uno de los factores principales a tener en cuenta para la valoración del test, debido a su peso en la puntuación de la QoE.

### II.3. EVALUACIÓN OBJETIVA DE LA QoE

La QoE también puede ser medida a través de métricas objetivas [11] (algoritmos diseñados para evaluar la calidad de vídeo y predecir la opinión del usuario), el propósito de este trabajo es analizar el modelo subjetivo, sin embargo, a continuación, se resumen ciertas metodologías de evaluación objetiva.

- Métrica de datos: se encarga de evaluar la fidelidad de la señal sin tomar en cuenta su contenido. El uso de medidas como la relación señal a ruido (PSNR) o el error cuadrático medio (MSE) son parámetros imprescindibles para ejercer criterios de valor objetivos en el procesamiento de imágenes. Los parámetros utilizados como métricas en la red comúnmente son: la tasa de error de bit (BER), la tasa de error de paquete (PLR), jitter y retardos.
- Métrica de imágenes: analiza el contenido desde su desarrollo hasta su reproducción, de acuerdo a la información visual que contiene se enfoca en: degradaciones, cambios de calidad producidos por el sistema y sus componentes.
- Métricas de flujo de bits: estudia la configuración y protocolos de red seleccionados, analiza el vídeo codificado a través de cabeceras en los paquetes y el flujo de transmisión, permite evaluar la calidad del canal.

#### II.4. *CONSIDERACIONES ACTUALES EN LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN SUBJETIVA DE LA QoE*

La versión actualizada ITU-T P.913 [6] de análisis subjetivo de calidad de contenido multimedia, no incluye los nuevos paradigmas del vídeo en internet y la distribución de televisión. Un nuevo servicio que ha adquirido fuerza en la actualidad es el vídeo bajo demanda, este tipo de sistema de contenido presenta nuevas características y formas de evaluación, el usuario está condicionado a nuevos parámetros como: el entorno de visualización, la movilidad y los diferentes tipos de dispositivos terminales.

Los métodos de evaluación subjetiva deben considerar parámetros extras a los establecidos por el estándar, por ejemplo, los tiempos de duración de las secuencias de vídeo y las degradaciones producidas por los medios de comunicación y transmisión de datos. Por consiguiente, nuevas preguntas únicas surgen en el desarrollo experimental de las evaluaciones y que no se consideran en las recomendaciones existentes.

El reporte del seminario Dagstuhl de 2015 [12], se realizó con el propósito de optimizar la comprensión actual de la QoE y su subjetividad, además de comprender el desafío de pasar de la evaluación a la aplicación. A continuación, se realiza un resumen de los factores desafiantes a tomar en cuenta para el desarrollo de nuevos métodos de estimación de QoE.

- Con el propósito de emular tiempos de visualización de estímulos más cercanos al entorno real, la duración de las fuentes de vídeo debería prolongarse, así un estímulo de 30 minutos permitiría apreciar de forma más concisa los cambios de calidad e interrupciones producidas y se debe utilizar escalas de valoración adecuadas.
- Evitar la fatiga del sujeto de prueba, puesto que se han incrementado los tiempos de duración. Se debe comprometer al evaluador a mantener su interés en el propósito del experimento, la creación de preguntas que ayuden a mantener la atención a lo largo de todo el desarrollo del test, así como tiempos de descanso adecuados son recomendaciones presentadas en este seminario.
- Cambiar las condiciones de prueba, el contenido y aleatoriedad de la presentación de los vídeos juega un rol fundamental al momento de evaluar la QoE. El supervisor de la evaluación debe crear un ambiente propicio en el que el sujeto de prueba no se centre solo en las degradaciones o solo en el contenido del vídeo.

Se deben tomar consideraciones especiales al momento de reproducir errores visuales o interrupciones. Este tipo de degradaciones necesitan contextos mayormente amplios para detectarlas, de igual manera el uso de audio podría enmascarar interrupciones de corta duración, esto debe ser precisamente descrito en las instrucciones de la evaluación subjetiva.

### **III. TRANSMISIÓN ADAPTATIVA**

#### **III.1. ANTECEDENTES**

Desde 1990, el consumo de contenido en Internet se ha ido incrementando a pasos agigantados y los servicios multimedia han ido creciendo a la par para satisfacer las necesidades del usuario. El aumento del ancho de banda y el rápido avance de las topologías de red han impactado fuertemente en los servicios proporcionados por los modelos comerciales, generando nuevas alternativas como la Televisión IP (IPTV) y mejorando la experiencia del cliente. El contenido de IPTV es administrado mediante proveedores de servicios de internet (ISP). Ofrece un alto nivel de calidad de servicio debido a los protocolos de difusión multi transmisión y a su infraestructura propia [13]. Por otra parte, aparecen servicios denominados “Over the top” (OTT) este tipo de tecnología utiliza Internet para la entrega de material multimedia, a través de una única conexión mediante “redes de entrega de contenido” (CDN) que en su mayoría utilizan sus propios protocolos de transmisión y a diferencia de IPTV, no garantizan una óptima QoS.

##### **III.1.1. TRANSMISIÓN TRADICIONAL**

La transmisión por protocolo de Internet o IPTV es el servicio más común utilizado para la distribución de señales de televisión de pago. Su funcionamiento se basa en el “video streaming tradicional”, como requisitos necesita de altas velocidades de conexión y anchos de banda considerables en las redes de comunicación., se basa en servidores IP para el envío de paquetes de vídeo. El protocolo RTP [14] (Real Time Protocol) es muy utilizado en este tipo de servicios para la transmisión de vídeo interactivo de extremo a extremo, las aplicaciones RTP por lo general funcionan sobre UDP (User Datagram Protocol) haciendo uso de sus servicios de multiplexación para llegar a diferentes usuarios. Como desventaja el protocolo RTP no garantiza la QoS del servicio, pero tiene grandes atributos como el satisfacer la transmisión de vídeo, conferencia en tiempo real, simulaciones interactivas distribuidas y mediante el protocolo RTCP gestiona aplicaciones de medición y control, cuando no existe una configuración explícita previa. Sin embargo, RTP no provee una adecuada QoS.

Otro protocolo muy utilizado en la transmisión tradicional es RTSP [15] (Real Time Streaming Protocol) que actúa como “control remoto de la red” sincronizando y controlando una o varias secuencias de medios continuos en servidores multimedia. RTSP otorga mayor confianza al desarrollarse sobre TCP que evita el bloqueo de firewalls, alternativamente puede utilizarse una sesión mediante UDP si se desea, tanto el servidor como el cliente pueden emitir, abrir y cerrar conexiones de manera fiable. Como desventaja de este protocolo es el aumento de latencias e incrementos de costos para los proveedores de contenido.

### III.1.2. DESCARGA PROGRESIVA

La descarga progresiva es la transferencia de archivos de medios digitales desde un servidor “HTTP” (Hyper Text Transfer Protocol) hacia un cliente y que permite al usuario acceder al contenido antes de que se complete la descarga, la diferencia en este método de transmisión radica en la forma en que los datos multimedia digitales son recibidos y almacenados por el dispositivo del usuario final. El cliente puede esperar a que el contenido se almacene en la memoria caché y luego reproducirlo sin interrupciones.

El uso de servidores HTTP y la tecnología actual de Internet permite satisfacer las necesidades de millones de usuarios cibernéticos, evitando la necesidad de mantener una sesión de estado iniciada en el servidor. La descarga progresiva mejoró las características de transmisión, debido al ahorro de recursos que este servicio representa. La QoE mejora considerablemente en la descarga progresiva gracias al funcionamiento del protocolo TCP que evita errores de transmisión en redes poco fiables.

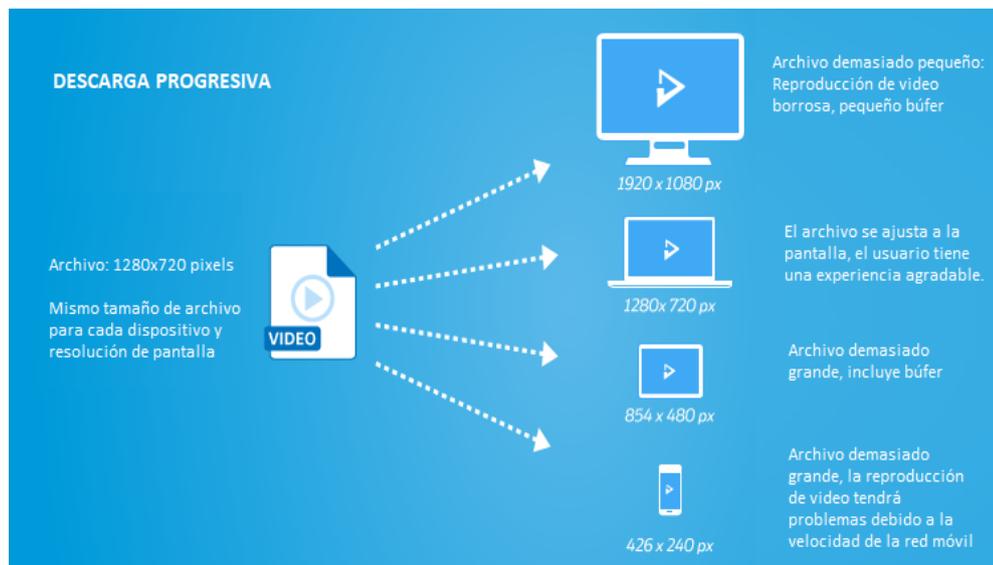


Fig. 2. Funcionamiento descarga progresiva

La Fig. 2 ilustra el funcionamiento de la descarga progresiva, se observa que independientemente del dispositivo terminal que maneje el usuario, el archivo multimedia seguirá siendo el mismo y su reproducción presentará inconvenientes. Primero la calidad se ve afectada debido a la resolución y segundo, el usuario deberá esperar los tiempos adecuados de búfer en caso de que exista una conexión inestable de Internet, provocando insatisfacción y decremento de la QoE en el cliente.

### III.2. TRANSMISIÓN ADAPTATIVA SOBRE HTTP

El mercado tecnológico actual sabe que debe tener como primera opción el método de transmisión adaptativa si quiere estar en condiciones de competir a nivel comercial. La transmisión adaptativa

permite una experiencia óptima de visualización de contenido multimedia, que se ajusta al ancho de banda disponible y que funciona sobre una amplia gama de dispositivos.

Entre los puntos clave del funcionamiento del “streaming adaptativo” tenemos la producción de distintas copias a diferentes calidades de vídeo de un mismo archivo fuente, para ser distribuidas a diferentes usuarios conectados a distintas velocidades de transmisión. La calidad del archivo transmitido va cambiando para adaptarse al rendimiento efectivo de la red y al terminal final de reproducción. El archivo fluye de manera continua, el usuario puede notar ciertos cambios de calidad, pero no requiere ajustar la velocidad de transmisión ni la calidad previamente.

La Fig. 3 muestra como el archivo multimedia adapta su calidad y evita almacenar contenido en el búfer. El usuario normalmente prefiere observar un vídeo con ligeros cambios de calidad, a que este presente interrupciones en su reproducción, este tipo de transmisión mejora notablemente la Calidad de Experiencia en el usuario.

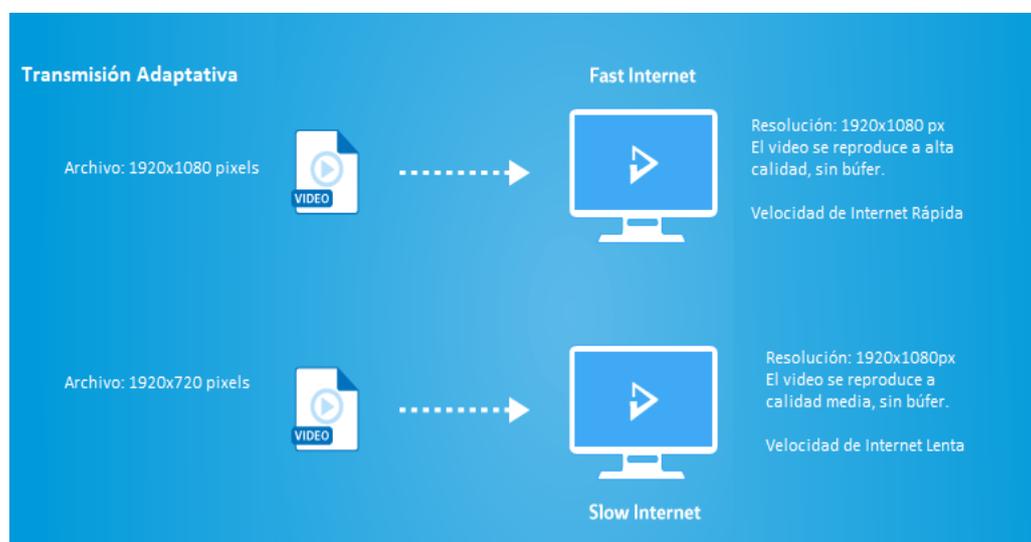


Fig. 3. Funcionamiento Transmisión Adaptativa

La clave de su funcionamiento radica en el servidor HTTP, a continuación, resumimos sus principales atributos [16].

- Existe una tendencia actual sobre la transmisión adaptativa sobre HTTP en el mercado, como servicio de entrega de contenido multimedia en internet.
- El uso de protocolos como: TCP e IP genera confianza en el usuario y este experimenta una mejor prestación de Calidad de Experiencia de manera eficaz y sencilla
- HTTP es compatible actualmente con la mayoría de firewalls, minimiza costos utilizando servidores y memorias caché estándar para la entrega de contenidos.
- El cliente automáticamente elige la tasa de transmisión de acuerdo al ancho de banda disponible y puede establecer conexiones con uno o varios servidores, sin ningún tipo de negociación previa.

Dentro de las soluciones comerciales existentes actualmente tenemos a los principales desarrolladores de tecnología como: HTTP Live Streaming (HLS) [17] perteneciente a Apple, HTTP Dynamic Streaming de Adobe [18] y Smooth Streaming de Microsoft [19].

Cada solución propietaria tiene un fondo estructural similar, sin embargo, cada una cuenta con su propia lógica de funcionamiento, por lo que el usuario requiere de información adicional para reproducir el contenido dependiendo del servicio utilizado.

### III.3. *MPEG-DASH*

“Dynamic Adaptive Streaming over HTTP” (DASH) es el resultante del trabajo continuo por parte de MPEG (Moving Picture Expert Group) y el 3GPP, que se convirtió en estándar internacional para transmisión adaptativa de HTTP en abril de 2012 bajo la norma ISO/IEC 23009-1:2012 [20].

DASH especifica los formatos para la descripción de presentación de medios “Media Presentation Description” (MPD) y para los segmentos “Segments”.

- Media Presentation Description, es un documento con formato XML que contiene la información de los metadatos, direcciones URL y diversas características.
- Segments, contiene los formatos de las solicitudes HTTP y los archivos multimedia segmentados en forma individual o múltiples.

El escenario de una transmisión dinámica sobre HTTP se divide en dos partes, la primera se desarrolla en el servidor HTTP y la segunda tiene participación en el lado del cliente DASH. Para poder reproducir el contenido multimedia, el cliente primero se debe obtener el MPD a través de cualquier medio que permita compartir archivos, la forma más común es mediante peticiones HTTP, en el lado del cliente DASH se recibe información de la configuración cronológica y todas las características de los parámetros a asimilar: anchos de banda, tipos de contenido multimedia y su disponibilidad, los requisitos de gestión de derechos digitales (DRM) y las particularidades de los elementos en el entorno de red.

Posteriormente, se escoge los atributos adecuados para la transmisión mediante segmentos y se realiza un seguimiento para medir las fluctuaciones del ancho de banda actual, el cliente es el que decide cómo adaptarse y busca un segmento adecuado codificado a una tasa de bits mayor o menor para mantener una transmisión fluida. El cliente irá obteniendo actualizaciones de MPD eventualmente durante el proceso.

Resumiendo, el archivo multimedia es dividido en varios segmentos codificados a diferentes tasas de bit que son almacenados en un servidor web HTTP. Por lo general contiene el mismo archivo en calidades: alta, media y baja, que el cliente recibe al solicitar un segmento, este se adapta al ancho de banda disponible y varía de calidades durante la reproducción.

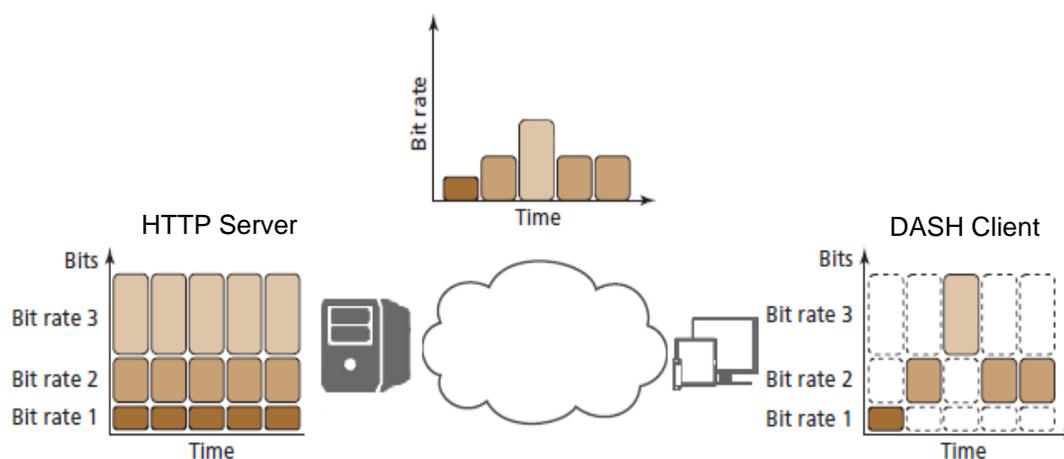


Fig. 4. Funcionamiento de adaptación DASH.

### III.3.1. MEDIA PRESENTATION DESCRIPTION “MPD”

La representación de descripción de medios es un fichero de formato XML que divide el contenido multimedia, convirtiéndolo en una estructura jerárquica que permite el fácil intercambio de datos. Cada división de la secuencia de medios en el eje temporal recibe el nombre de período, este contiene información de vídeo, audio y texto. Por ejemplo, el mismo contenido representado en varios idiomas, con sus respectivos subtítulos y los diferentes cambios de escena durante el mismo período, además, se puede utilizar los períodos para separar el contenido y cada período posee características propias, al que el cliente se adapta.

Cada período contiene múltiples conjuntos de adaptación que almacenan el contenido codificado a diferentes versiones. Además, es el encargado de reunir componentes multimedia similares como: mismo códec, misma tasa de transmisión y mismo canal de audio, para distinguirlas de otras versiones de adaptación.

Cada conjunto de adaptación contiene una o más representaciones del mismo contenido multimedia a diferentes calidades, es decir, el cliente tiene alternativas a diferentes tasas de bit y resoluciones, por lo que de acuerdo al estado actual de la red y su ancho de banda se puede adaptar a las condiciones necesarias. Cada representación consta de uno o más segmentos, además se puede dividir en sub representaciones.

### III.3.2. SEGMENTOS

Un segmento es la representación de una dirección URL, que contiene información en un servidor y se accede mediante solicitudes “HTTP GET”. Los segmentos se encuentran divididos temporalmente y se les asocia una longitud de bytes, DASH no limita el tiempo de duración de los segmentos, así, por ejemplo, una longitud extendida de segmento permite una compresión eficiente ya que se transmite un número menor de GOPs (Group of Pictures) y evita congestionar la red. En el caso contrario, una longitud reducida del segmento permite una adaptación más fluida y es ideal

para transmisiones en vivo y condiciones de red que poseen anchos de banda fluctuantes. Los segmentos se dividen en sub segmentos, que requieren de señalización mientras se organizan dentro de un índice que define los tiempos de duración y longitud de segmento. La Fig. 5 muestra la estructura jerárquica del MPD.

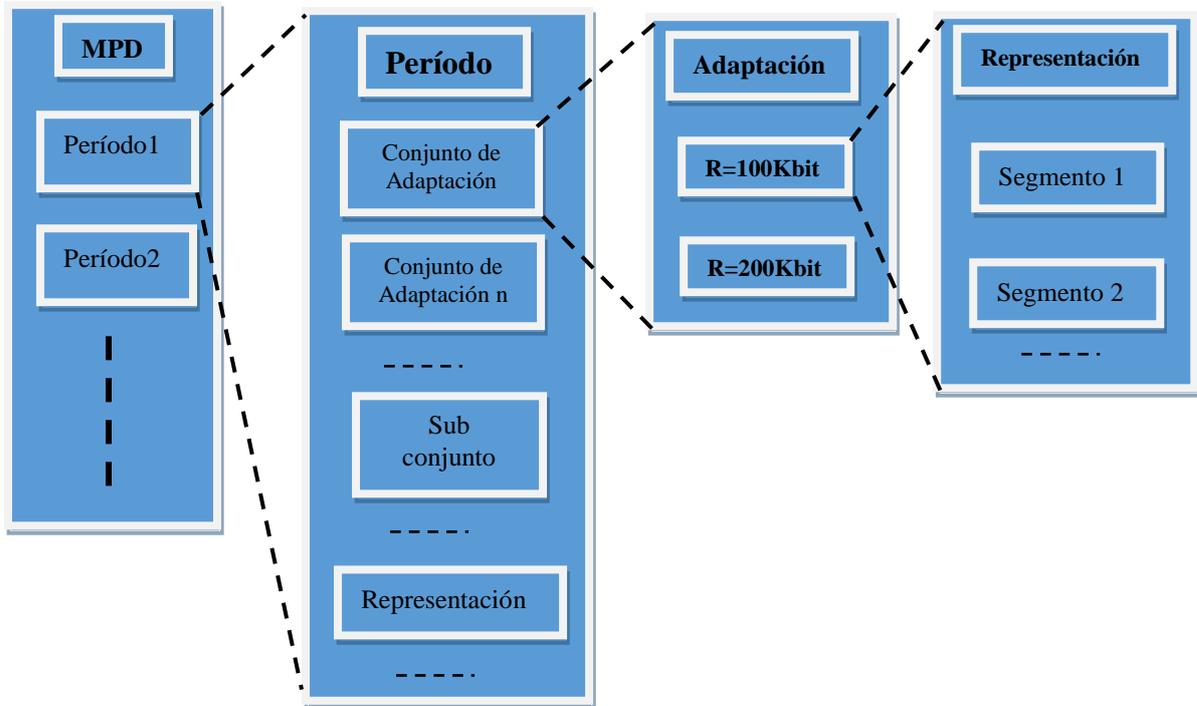


Fig. 5. Modelo jerárquico MPD

Resumiendo, el rendimiento de DASH es mejor en comparación a otras tecnologías de transmisión, una de sus mayores ventajas es la reproducción continua mediante lógicas de adaptación, de esta manera se evita retardos iniciales e interrupciones, mejorando notablemente la Calidad de Experiencia del usuario final. Otra característica adicional de DASH es su flexibilidad, los segmentos pueden tener duraciones variables permitiendo optimizar los servicios de vídeo bajo demanda. Además, presenta compatibilidad con SVC (Scalable Vídeo Coding) y MVC (Multiview Vídeo Coding). El cliente puede acceder al contenido multimedia almacenado en diferentes servidores HTTP mediante diferentes URLs maximizando el ancho de banda disponible.

#### IV. CALIDAD DE EXPERIENCIA EN DASH

El concepto Calidad de Experiencia engloba simultáneamente ámbitos de interés como: la medición de parámetros objetivos y la interpretación de parámetros subjetivos, desde la perspectiva del usuario. Los proveedores de servicios deben entender la estrecha relación existente entre QoS y QoE, lo que les permitirá crear lógicas de adaptación que mejoren la experiencia del cliente y centrarse en el estudio de las principales degradaciones como: interrupciones, retardo inicial y

adaptación de calidad. El uso de pruebas subjetivas para evaluar la Calidad de Experiencia es siempre necesario ya que las métricas objetivas no corresponden a una medida de valoración directa. La Fig. 6 muestra un resumen de todos los elementos a tomar en cuenta para la evaluación de calidad perceptual.

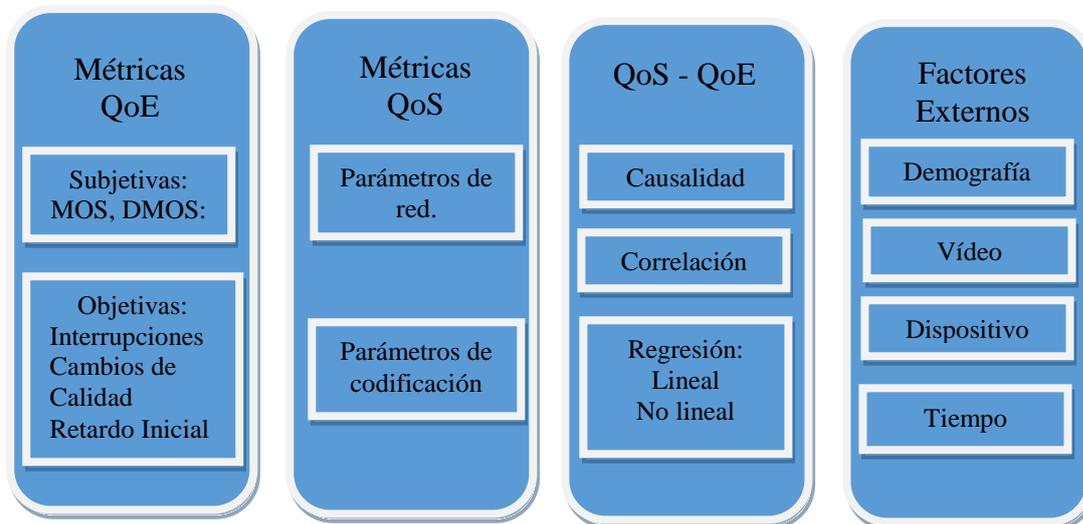


Fig. 6. Elementos influyentes en la QoE.

A continuación, se detallan las degradaciones que influyen en la QoE de DASH y que son percibidas subjetivamente por el usuario. (Las siguientes métricas de QoS están directamente relacionadas con los objetivos comerciales de QoE.)

#### IV.1 RETARDO INICIAL

El retardo inicial es el tiempo que transcurre desde que el usuario solicita el vídeo hasta cuando se muestra el primer fotograma del vídeo, dependiendo de la velocidad de transmisión y durante el cual el búfer está siendo cargado, de manera simple indica cuánto tarda el vídeo en reproducirse.

El retardo inicial está presente en todos los servicios de reproducción de vídeo y el usuario experimenta un tiempo de espera debido a que se está transmitiendo una cierta cantidad de archivos antes de ser decodificados y reproducidos. Estos archivos multimedia son almacenados en el búfer de reproducción con el fin de evitar contratiempos en la red conocidos técnicamente como “jitter”. Existe una relación proporcional entre el retardo inicial y el búfer de reproducción, en concreto a mayor cantidad de contenido audiovisual en el búfer mayor será el tiempo de retardo inicial hasta su reproducción, sin embargo, el vídeo gana robustez frente a variaciones a corto plazo del sistema [21].

El estudio presentado en [22] informa que “Los usuarios comienzan a abandonar un vídeo si este lleva más de 2 segundos sin iniciar su reproducción, con una media de espera de 200 a 400 mili segundos, por cada segundo transcurrido la tasa de abandono aumenta un 5,8%”, sin embargo, este estudio está sujeto a las condiciones subjetivas del espectador, como el interés o popularidad

del vídeo. En el trabajo presentado en [23] el retardo inicial no empeora significativamente la calidad de percepción y los espectadores están dispuestos a tolerar tiempos de espera mayores si el resultado final contiene menos interrupciones, concluye que el retardo inicial es preferido a las interrupciones por un 90% de los usuarios. Si se descargan segmentos a una velocidad de bits alta, el retardo inicial será mayor, pero la calidad de vídeo inicial será superior. La percepción visual de un contenido multimedia depende también del dispositivo que se está utilizando. La referencia [24] confirma que, de las degradaciones más significativas el retardo inicial corresponde a la de menos relevancia ya que los usuarios de servicios están acostumbrados a demoras en la reproducción de los vídeos, deduciendo que el retardo inicial tiene un impacto leve en la QoE del usuario final.

#### *IV.2 INTERRUPCIONES*

El término en inglés “stalling” se refiere a las detenciones de reproducción de vídeo a causa de problemas en el búfer de reproducción. Si la tasa promedio de la red de transmisión de vídeo es más baja que la tasa de transmisión de bits del vídeo, los recursos del búfer de reproducción se agotan, es decir, no existen archivos audiovisuales suficientes almacenados en el búfer por lo que la reproducción se interrumpirá, el reproductor hace una pausa hasta que contenga una nueva cantidad de datos de vídeo, este proceso es conocido como “rebuffering”.

En [25] los autores muestran que el usuario prefiere una sola interrupción de duración considerable a tener varias y frecuentes interrupciones de duración reducida. Existe controversia en cuanto a la posición de las interrupciones, pero se tiene claro que se tratan de evitar al principio y final de un vídeo. El estudio realizado en [26] muestra que el impacto producido por una interrupción se asimila de peor manera que una degradación de velocidad de fotogramas, también se comprueba que los espectadores poseen mayor sensibilidad a la discontinuidad que al aumento del parámetro de cuantificación en el codificador del vídeo.

Se concluye que, las interrupciones afectan directamente la Calidad de Experiencia del usuario. Todos los servicios de transmisión deben evitar esta degradación ya que tiene grandes consecuencias en la percepción visual, atenuando la QoE. Pese a que DASH reduce notoriamente las interrupciones en la transmisión de contenido multimedia en comparación a otras tecnologías. El estudio presentado en [27] propone un nuevo algoritmo de adaptación que utiliza el flujo de bits variable durante una codificación con calidad constante para calcular el nivel apropiado de calidad que minimiza el número de interrupciones durante la reproducción.

#### *IV.3 ADAPTACIÓN*

La transmisión adaptativa permite escoger un segmento con la calidad adecuada de acuerdo al ancho de banda disponible, cada segmento es conocido como representación del vídeo codificado. Este puede encontrarse a diferentes niveles de velocidad de bits. Además, se pueden escoger otras opciones para almacenar el vídeo en diferentes calidades; se permite actuar sobre la tasa de fotogramas por segundo, teniendo que, a menor número de fotogramas codificados por segundo,

menor será la calidad visual. Otro método surge manipulando el número de píxeles de cada fotograma permitiendo variar los niveles de calidad, variando el parámetro de cuantificación para degradar u optimizar la calidad visual. Se pueden realizar análisis en términos de calidad de adaptación de imagen, adaptación espacial y adaptación temporal.

La velocidad de bits promedio a la cual el vídeo es renderizado en la pantalla del usuario, depende directamente del codificador, el estado de la red y el reproductor multimedia. La referencia [28] realiza un estudio sobre la calidad del vídeo a bajas velocidades de bits y concluye que el primer factor determinante de calidad es el codificador utilizado seguido del contenido del vídeo y la velocidad de bits, además se debe tener una tasa de al menos 0,1 bits por píxel cuando se utiliza el codificador H.264 para asegurar una buena QoE. En [21] se realiza un trabajo analizando la adaptación basada en la velocidad de fotogramas y los resultados experimentales muestran que para alcanzar un 80% de la tasa de bits original (25 fps en el vídeo original), se necesita reducir la tasa de fotogramas un 60%, llegado a este porcentaje, el vídeo ya no se observa de manera fluida y el usuario nota la degradación en la calidad del contenido.

En [29] se realiza un estudio sobre dispositivos con pantallas de tamaño reducido, enfocándose en elementos móviles y se concluye que la resolución espacial es el factor primordial a tener en cuenta. Se tiene que, para la misma tasa de bits de un mismo vídeo, el contenido con mayor resolución espacial se percibe peor, esto se debe a que menores tasas de píxeles crean degradaciones intra trama para contenidos audiovisuales con bastante movilidad y cambios de cámara. La resolución del dispositivo y el contenido multimedia influye en la Calidad de Experiencia del usuario, por lo que DASH ajusta primero la resolución espacial y evita la transmisión de contenido innecesario.

Las interrupciones producidas por el retraso o pérdida de varios fotogramas se consideran parte de la adaptación temporal, sin embargo, este tipo de adaptación temporal tiene menos impacto negativo sobre la percepción de QoE, causada por interrupciones como las vistas en [25].

En [30] se analiza la influencia de la tasa de fotogramas en vídeos con diferente contenido audiovisual. Los autores muestran que reducir la tasa de fotogramas generalmente conduce a una menor satisfacción perceptual, los vídeos con baja resolución temporal, por ejemplo, escenas con poco movimiento se ven mayormente afectadas al reducir los fotogramas, en comparación con escenas con resolución temporal alta. Al analizar diferentes adaptaciones producidas en un mismo vídeo se tiene que, la calidad de imagen es la dimensión más importante para una buena QoE, el orden subsiguiente de importancia es la velocidad de fotogramas sobre la resolución temporal, teniendo en cuenta que todos estos factores dependen del tipo de contenido visualizado.

La Tabla. 2 resume los principales estudios de dimensión de adaptación que influyen sobre la QoE.

Dimensión	Análisis	QoE
Calidad de Imagen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si la calidad de imagen decrece, la QoE decrece simultáneamente. [28]</li> <li>- El codificador tiene el efecto más significativo. [28]</li> <li>- Existe una relación lógica entre la tasa de bits codificada y la QoE. [21]</li> <li>- La QoE decrece lentamente cuando el parámetro de codificación se incrementa. [31]</li> </ul>	- Métricas Objetivas: Fotogramas/Segmentos.
Espacial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resolución espacial es el factor clave en los dispositivos móviles. [29]</li> <li>- Una resolución espacial menor produce un decremento en la QoE. [31]</li> <li>- Una resolución elevada puede generar inconvenientes y distorsiones. [31]</li> </ul>	- Resolución, Información temporal y espacial.
Temporal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La peor degradación de QoE son las interrupciones. [25]</li> <li>- Menor velocidad de fotogramas, menor Calidad de Experiencia. [30]</li> <li>- La cantidad de movimiento dentro de las escenas de vídeo infiere sobre la velocidad de los fotogramas. [30]</li> </ul>	- Interrupciones, Información temporal y espacial.

Tabla 2. Principales estudios de dimensión de adaptación que influyen la QoE.

#### IV.4 CAMBIOS DE CALIDAD

La característica principal de DASH, es la capacidad de poder intercambiar calidades almacenadas a diferentes tasas de bits, cada representación puede diferir en términos de resolución espacial (Spatial Resolution Switch, SSW), resolución temporal (Frame Rate Switch, TSW) y configuraciones de codificación (Encoding Quality Switch, ESW). Sin embargo, los cambios de calidad son una nueva degradación a tener en cuenta, generalmente son de carácter inevitable, debido a las condiciones de red, por lo que resulta fundamental estudiar el impacto de este proceso sobre la percepción audiovisual del sujeto y su influencia en la QoE.



Fig. 7. Conmutación de Calidad del vídeo "Tears of Steel"

En la práctica, la conmutación de calidad es la métrica objetiva más complicada de medir por lo que necesita tomar un enfoque de varios factores combinados como: la velocidad de bits, resolución y el contenido subyacente para poder obtener una medida precisa de la calidad real.

Varias interrogantes surgen al cuestionarse cómo afecta la frecuencia con que se producen los cambios de calidad y como son percibidos por el usuario.

1) ¿Los usuarios prefieren variaciones más cortas, pero más frecuentes o variaciones más largas, pero menos frecuentes?

La referencia [32] concluye que los usuarios prefieren variaciones de calidad menos frecuentes, la frecuencia de las conmutaciones debe mantenerse lo más reducido posible para cambios de resolución espacial, el mantener bajas frecuencias puede mejorar la QoE de las adaptaciones de calidad. Para las variaciones de resolución temporal, la frecuencia de conmutación no parece tener una influencia significativa en términos de QoE [33].

2) ¿Cómo experimenta el usuario los cambios ligeros o abruptos entre calidades hasta conseguir un nivel de QoE satisfactoria?

La percepción de los cambios de calidad es asimétrica cuando se trata de adaptarla. De acuerdo al trabajo realizado en [34] se muestra que los espectadores son más críticos cuando existen degradaciones y menos gratificantes a los aumentos de calidad. No obstante, la amplitud entre conmutaciones debe permanecer lo más pequeña posible para que los usuarios se familiaricen con la calidad real del vídeo. Los resultados obtenidos en [35] utilizando pruebas subjetivas en vídeos escalables, muestra que el cambio descendente o brusco de calidad generalmente es considerado como molesto y un cambio creciente de calidad se considera como satisfactorio, el espectador eleva su QoE al notar mejoras en la calidad del vídeo.

3) ¿Qué resulta preferible, experimentar varios cambios de calidad o mantener una calidad (incluso baja) evitando degradaciones producidos por la conmutación?

Según se indica en [33] el usuario prefiere que el contenido se mantenga a una calidad constante (incluso baja) a que la calidad sufra variaciones en el tiempo, los picos a corto plazo degradan la QoE.

Una alta velocidad de bits no necesariamente significa una alta QoE. Se debe tomar en cuenta aspectos relacionados con la calidad constante, si esta es demasiado baja cualquier adaptación de calidad es preferible y el contenido juega un rol primordial en el análisis subjetivo de QoE.

#### *IV.5 ESTADO ACTUAL DE QoE EN DASH*

El estándar DASH requiere un tratamiento diferente al análisis convencional de QoE para su adecuada interpretación, las degradaciones como: interrupciones, adaptación y cambios de calidad, exigen una evaluación enfocada a varios parámetros específicos que no son tomados en cuenta en las metodologías de evaluación subjetiva estandarizadas de QoE actuales.

El estudio del comportamiento de DASH requiere sesiones de vídeo con escalas de tiempo de larga duración, para entender el impacto de eventos diferentes a los tomados normalmente en cuenta en evaluaciones tradicionales (parámetros técnicos). Varios desafíos surgen al tratar de medir la Calidad de Experiencia en condiciones donde el sujeto la experimenta de forma natural, la recomendación de tiempo de duración para las secuencias de vídeo es de 10 segundos [6], la cual difiere mucho de la realidad de tiempo medio en la que un espectador evalúa un contenido multimedia, lo que puede llevar a una valoración imprecisa de QoE. Sin embargo, el uso de secuencias largas incluye otros factores a tener en cuenta, la característica principal es la concentración del sujeto, ya que este puede sumergirse totalmente en el contenido o únicamente centrarse en las irregularidades notadas, por lo que este comportamiento sesga los resultados y desvía las condiciones reales de visualización.

La solución a esta problemática radica en el comprometimiento del sujeto de prueba a través de instrucciones que aborden una explicación condicionada y a su vez presenten exactitud en el propósito del experimento a realizar y el crear una conciencia de compromiso en el espectador combate problemas de comportamiento humano frente a la reproducción de estímulos. Los mayores inconvenientes son: fatiga, efectos de memoria y respuestas psicológicas al tipo de contenido [37], para mitigar estos problemas se recomienda evitar incluir degradaciones tanto al principio como al final de los vídeos fuente.

Otros tipos de inconvenientes surgen cada vez más al tratar de condicionar las evaluaciones a escenarios reales. El diseño de los experimentos debe tener en cuenta el ambiente espacio-temporal propicio para que el sujeto pueda valorar correctamente los vídeos; los niveles de ruido y luminosidad de la habitación son elementos importantes a tener en cuenta; el uso de audio en el contenido multimedia es un tema delicado, las normas estándares tradicionales recomiendan el presentar los estímulos sin audio, simulando una experiencia irreal en una aplicación audiovisual. En [38] se propone un nuevo enfoque de evaluación en el que se utilizan fuentes de vídeo de larga duración y el uso de audio, los resultados exponen que el número de estímulos a utilizarse debe ser reducido para evitar la fatiga del usuario y que el uso de contenido audio visual para el test mejora significativamente la evaluación de QoE.

Actualmente, nuevos métodos de evaluación están siendo desarrollados. El costo económico temporal e infraestructural que supone la evaluación tradicional de QoE ha llevado a emplear el método de “crowdsourcing” (colaboración externa de personas para realizar una tarea) como tendencia. Varios estudios utilizan esta técnica para reducir costos y aumentar el número de participantes en función de mejorar los datos estadísticamente significativos para la medición de QoE. No obstante, no se puede asegurar una alta confiabilidad en este último método, por lo que los métodos que requieren un ambiente controlado garantizan mejores resultados.

Existe una gran cantidad de estudios sobre la transmisión de contenido multimedia adaptable. La Tabla. 3 [46] muestra un resumen de los trabajos realizados en estos años y expone sus

diferentes condiciones de prueba. Varias particularidades son detalladas a continuación: los cambios de calidad por codificación (ESW) es el tipo de análisis más evaluado; los experimentos son llevados a cabo en ambientes controlados, laboratorios en su gran mayoría; los test de estímulo único predominan la metodología usada; se utilizan dispositivos que permiten calidades de resolución alta (1280p, 720p). Las características de contenido de los vídeos fuente es la principal diferencia entre los estudios. La cantidad, tiempo de duración y temática de los estímulos varía de acuerdo a los propósitos individuales de las investigaciones.

Ref.	Fuentes (tipo # d r)	Degradaciones	Método	Condiciones
[39]	V,4,10s,288p 25fps	STSKIP	SAMVIQ	lab
[40]	V,4,10s,288p 25fps	ST	SS	lab, laptop
[41]	AV, na,15s, 576i 25fps	ST	SS	lab, LCD
[42]	AV,3,30s/60s, 360p 25/30fps	ID ST	SS	lab, PC/crowdsourcing
[43]	V,10,15s 720p 30fps	ST STSKIP ESW	SSCQE Overall rate	lab, Smartphone tablet
[33]	V,4,12s, 480x320 30fps	ESW SSW TSW	SS Acceptance y/n Stability	lab, smartphone
[32]	V,3,10s,na	ESW	SC	na, PC
[44]	AV,11,90s, 720p 30fps	ESW+SSW+ASW	SS	na ,na
[45]	V,na,108s,na	ESW ESW+ST	SS, quality, Definition, Fluency, Responsiveness	lab, na
[36]	V,1,120s,1080p	ESW	na	ITU,HDTV
[36]	V,2,1220s,720p	ESW	SS	crowdsourcing
[46]	AV,7, 14S/40S, 1080P, 24/50fps	ESW	SS	ITU,HDTV
[47]	AV,3,210S,na	ESW+SSW	SS, quality, Acceptance, Delight/annoy,	lab (one user/ multiple user), tablet
[48]	V,4,5s, 1280x800 30fps	ESW	SS	lab, na

Tabla 3. Resumen estudios subjetivos recientes sobre DASH

Abreviaciones: #=Number of Source Videos, d=Duration, ST=Stalling, STSKIP=Stalling with Frame Skipping, ID=Initial Delay, ESW=Encoding Quality Switch, SSW=Spatial Resolution Switch, d=Duration, V= Video, AV=Audiovisual, ASW=Audio Switch, lab=Laboratory (No standard conditions), ITU=Standard Conditions, na=Not available, SS=Single Stimulus, SC=Stimulus Comparison, r=Resolution.

## V. EVALUACIÓN SUBJETIVA DASH

### V.1 CONDICIONES DE PRUEBA

La presente investigación parte del trabajo realizado en [27], en donde se desarrolla un estudio comparativo en términos objetivos de los algoritmos “Look Ahead” y “Müller”. Los principales parámetros analizados y que degradan la QoE son: Número y duración de Interrupciones, Representación media (Calidad) y Número de cambios de representación. Estos parámetros se encuentran detallados en la Tabla 4. Los resultados demuestran que tanto el número como la duración de las interrupciones utilizando Look Ahead son muy reducidos, en comparación con el algoritmo de adaptación utilizado por Müller. Además, refleja que la inexistencia de interrupciones utilizando el algoritmo Look Ahead no implica una degradación de la calidad promedio del vídeo.

	Canal	Número de interrupciones		Duración de interrupciones (s)		Representación media [0-11]		Número de cambios de representación	
		Look A.	Müller	Look A.	Müller	Look A.	Müller	Look A.	Müller
Elephants Dream	1 Mbps	0.00	1.00	0.00	5.81	3.27	3.64	44.80	49.00
	5 Mbps	0.00	1.00	0.00	5.48	3.30	3.64	45.20	49.20
	10 Mbps	0.00	0.00	0.00	0.00	6.56	7.25	47.40	45.20
	20 Mbps	0.00	0.00	0.00	0.00	8.17	8.66	37.20	42.40
	2-4-8-4 Mbps	0.00	0.00	0.00	0.00	6.07	6.48	46.40	44.60
	4G-bus	0.00	0.60	0.00	9.49	8.74	7.93	35.00	43.80
	4G-car	0.00	0.80	0.00	13.00	8.53	8.74	38.00	37.80
Tears of Steel	1 Mbps	0.00	0.00	0.00	0.00	2.78	3.28	52.00	54.00
	5 Mbps	0.00	0.00	0.00	0.00	2.77	3.28	52.60	54.60
	10 Mbps	0.00	0.00	0.00	0.00	6.07	6.62	43.60	50.80
	20 Mbps	0.00	0.00	0.00	0.00	7.09	7.94	48.60	46.20
	2-4-8-4 Mbps	0.00	0.00	0.00	0.00	5.52	6.06	45.60	54.20
	4G-bus	0.00	0.00	0.00	0.00	6.73	8.20	43.60	51.80
	4G-car	0.00	0.80	0.00	7.43	7.99	8.17	50.20	43.20

Tabla 4. Comparación de Métricas de los algoritmos Look Ahead y Müller para los vídeos “Elephants Dream” and “Tears of Steel”

Con el propósito de analizar subjetivamente el comportamiento de DASH en función de ESW (cambios en la calidad debido a la codificación), se desarrolló un ambiente propicio para ejecutar las pruebas de acuerdo a la norma ITU-T P.913. Los estímulos fuente incluyen varias degradaciones, con el fin de evaluar la QoE en diferentes circunstancias, por lo que el contenido de los vídeos no juega un papel primordial en este estudio. Para la evaluación se escogieron dos vídeos creados con software de código abierto y realizados por la fundación Blender [49].

- “Elephants dream” es un corto animado con cambios de escena repentinos y gran cantidad de movimiento, varias escenas poseen un fondo relativamente oscuro, no se utilizó audio.
- “Tears of Steel” vídeo de entretenimiento con actores reales, escenas con movilidad muy alta, color mejorado, contiene fuego, humo y explosiones, no se utilizó audio.

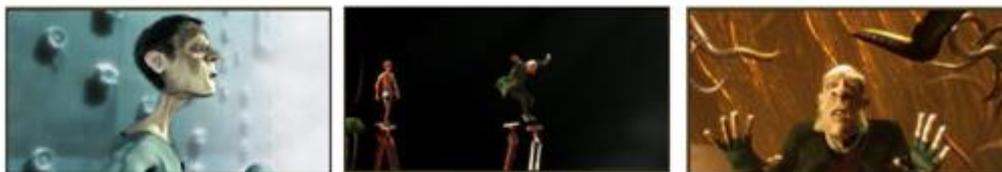


Fig. 8a. Ejemplo de fotogramas del vídeo “Elephants Dream”



Fig. 8b. Ejemplo de fotogramas del vídeo “Tears of Steel”

Los vídeos fueron codificados utilizando los algoritmos de adaptación “Look Ahead” (implementado e integrado en ExoPlayer v2 biblioteca personalizable desarrollada por Google para la transmisión de audio y vídeo) y “Müller. En [27] se hace una comparativa en términos objetivos de ambos algoritmos. Los algoritmos tienen como finalidad reducir las degradaciones en la reproducción de contenido multimedia, el estudio subjetivo de los diferentes estímulos esclarecerá el panorama de Calidad de Experiencia percibida por el usuario.

Nombre	Algoritmo	Código	Formato	Frame Rate (fps)	Duración (s)
Elephants Dream	Look Ahead	A	1920x1080	24	654
Elephants Dream	Müller	B	1920x1080	24	734
Tears of Steel	Look Ahead	C	1920x1080	24	654
Tears of Steel	Müller	D	1920x1080	24	734

Tabla 5. Parámetros secuencias de vídeo

El contenido multimedia se centró en dos indicadores: la información espacial o detalle (SI) y la información temporal o movimiento (TI), por lo que los estímulos de prueba constan de 12 calidades de vídeo, codificadas mediante factores de frecuencia constante CRFs en intervalos de cinco, (5 máxima calidad, 60 mínima calidad), permitiendo realizar un análisis más detallado sobre el rendimiento de los algoritmos a diferentes velocidades de bits.

## V.2 METODOLOGÍA

Se utilizó la evaluación subjetiva como parámetro de medición directa de QoE, ya que actualmente es la forma más precisa de obtener mediciones confiables. La estandarización de la metodología provee las pautas a seguir, sin embargo, no limita a realizar modificaciones que buscan mayor realismo en la experimentación de los usuarios.

Para analizar las degradaciones como: retardo inicial, rebuffering, interrupciones, etc. Se utilizó estímulos de larga duración; para evaluar los efectos de la transmisión adaptativa se configuró



participantes con alguna deficiencia descubierta y de ninguna manera se debe informar sobre ésta al sujeto y debe concluir normalmente el test.

- Instrucciones y entrenamiento: se explicó en detalle de forma verbal y escrita las directrices a seguir, teniendo en cuenta lo analizado en [37]. Todas las sesiones incluyeron exactamente la misma información, cualquier duda fue respondida antes o al finalizar totalmente la prueba con el fin de evitar sesgos durante la evaluación.
- Sesión de Votación: los estímulos fueron presentados en una secuencia pseudo-aleatoria. Cada sesión presentó un orden de los vídeos fuente: en la primera sesión los sujetos evaluaron cronológicamente los vídeos: A, B, C, D; para la siguiente sesión el orden de visualización designada fue: B, A, D, C; de esta manera se redujo el impacto generado por la secuencia de visualización, ya que el orden temporal de los vídeos tiende a producir un pequeño sesgo en la puntuación. La metodología de evaluación utilizada fue ACR (Absolute category rating) [9], la escala que se pidió valorar a los participantes analiza la calidad media visual de 1 a 5, con 5 representando la calidad más alta y ordenada decrecientemente de la siguiente manera: Excelente, Buena, Razonable, Pobre, Mala.

El experimento fue diseñado como indica la Fig. 9 y cada sesión se dividió en dos partes de 30 minutos aproximadamente, con un descanso intermedio de 5 minutos para evitar la fatiga de los espectadores. Primero se analizó una tanda de vídeos codificados mediante los algoritmos “Look Ahead” y “Müller” [27], luego se evaluó la calidad visual del segundo estímulo con respecto al primero utilizando la escala de valoración dada por ITU-T P.913. [6] y se procedió a responder preguntas explicadas posteriormente en “Cuestionario”. La segunda mitad del experimento procede idénticamente.

### **EVALUACIÓN SUBJETIVA (ACR) – MOS**

1. Después de visualizar el vídeo, marca con una “X” el valor que creas oportuno de acuerdo a la calidad de vídeo observado.

VALOR	CALIDAD VISUAL	VÍDEO A	VÍDEO B
5	Excelente		
4	Buena		
3	Razonable		
2	Pobre		
1	Mala		

2. Marca con una “X” la apreciación que creas oportuna, del segundo vídeo con respecto al primero.

VALOR	CALIDAD VISUAL	VÍDEOS A-B
-3	Mucho peor	
-2	Peor	
-1	Ligeramente peor	
0	Igual	
1	Ligeramente mejor	
2	Mejor	
3	Mucho mejor	

Fig. 10. Escalas de valoración Parte 1.

4. Después de visualizar los vídeos, marca con una “X” el valor que creas oportuno de acuerdo a la calidad de vídeo observado.

VALOR	CALIDAD VISUAL	VÍDEO C	VÍDEO D
5	Excelente		
4	Buena		
3	Razonable		
2	Pobre		
1	Mala		

5. Marca con una “X” la apreciación que creas oportuna, del segundo vídeo con respecto al primero.

VALOR	CALIDAD VISUAL	VÍDEOS C-D
-3	Mucho peor	
-2	Peor	
-1	Ligeramente peor	
0	Igual	
1	Ligeramente mejor	
2	Mejor	
3	Mucho mejor	

Fig. 11. Escalas de valoración Parte 2.

- Cuestionario: complementa la información obtenida experimentalmente.

3. ¿En qué te fijaste como espectador para darle esa puntuación a los vídeos? (Pregunta abierta)
6. ¿En qué te fijaste como espectador para darle esa puntuación a los vídeos? (Pregunta abierta)
7. Como usuario de un servicio de vídeo bajo demanda ¿Cuál de las siguientes métricas tendría mayor prioridad? Ordenar de mayor (1) a menor prioridad (4).

Métricas	Puntuación
Que la calidad de reproducción sea la mejor posible	
Que no existan interrupciones o que sean muy limitadas	
Que no se aprecien cambios de calidad significativos	
Que el retardo inicial sea reducido	

Fig. 12. Cuestionario.

Al finalizar la Parte 1 y Parte 2 de cada sesión el sujeto de prueba debe contestar las interrogantes formuladas en el cuestionario, estas preguntas se enfocaron en descubrir las molestias o degradaciones percibidas por el espectador, la duración total del experimento fue de 1 hora y 10 minutos aproximadamente.

## VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

El propósito del experimento fue analizar subjetivamente el nivel de calidad percibido por el usuario, las valoraciones de cada clip se promediaron para calcular la puntuación de opinión promedio (MOS) y el intervalo de confianza (CI) del 95%, permitiendo interpretar estadísticamente los datos obtenidos.

ESTÍMULOS	ed_la_4gcar01	ed_muller_4gcar01	tos_la_4gcar01	tos_muller_4gcar01
CÓDIGO	A	B	C	D
MOS	4,3	3	4,4	3,3

Tabla 6. Puntuación MOS

La finalidad de los valores obtenidos permitió interpretar los resultados en términos de QoE. La rivalidad presente en el plano comercial obliga a ofrecer una Calidad de Experiencia elevada a cada uno de los espectadores, para mostrarse competitivo frente a los continuos cambios y mejoras en el campo. En la Fig. 13 se analizó los MOS producidos por los 4 estímulos. Se observa una gran diferencia entre los vídeos “A”, “C” codificados utilizando el algoritmo Look Ahead y representados en color azul y “B”, “D” codificados mediante el algoritmo Müller” y representados en color rojo, la puntuación señala el nivel de calidad promedio percibido por los 24 sujetos evaluados, el nivel más alto alcanzado por los estímulos representados en azul se encontró en el

rango de: excelente (5) y buena (4), mientras los vídeos en rojo alcanzaron valores próximos a calidad: razonable (3).

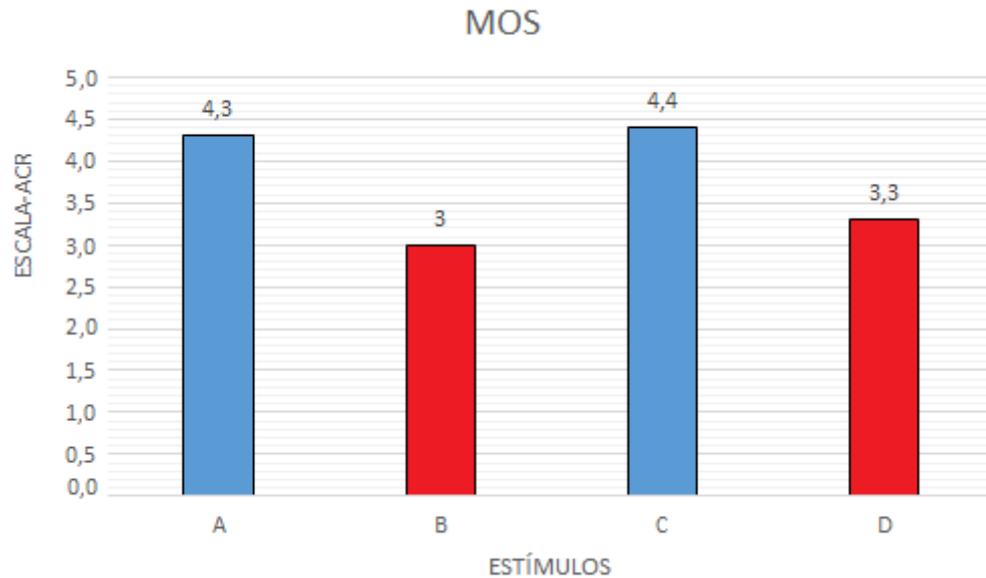
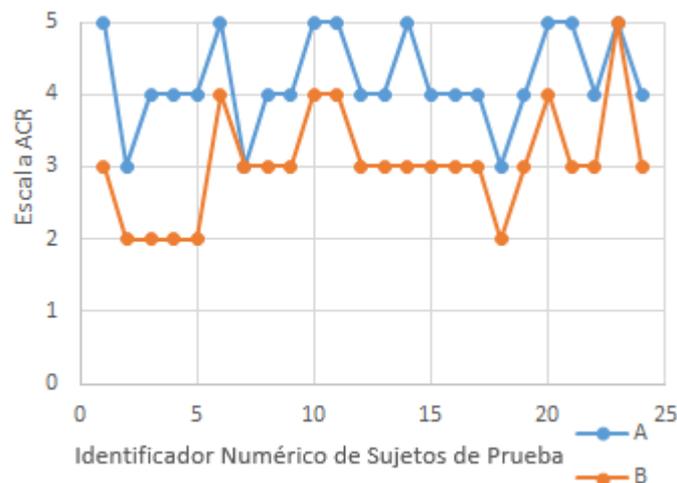


Fig. 13. Puntuación MOS de los estímulos.

De la Fig. 14 se dedujo que el decremento en la QoE muestra inconformidad por parte del usuario final, las diferencias entre los algoritmos de adaptación usados para definir los estímulos muestran claramente su aceptación mediante el análisis gráfico, ya que los vídeos codificados utilizando “Look Ahead” y representado por las barras en azul denotan una mejor Calidad de Experiencia en comparación con los vídeos “B” y “D” codificados mediante el algoritmo “Müller”.

Surge la inquietud a resolver que es lo que degrada tanto la QoE entre los estímulos percibidos. Las preguntas 3 y 6 se enfocaron en determinar cuál es la fijación del usuario promedio para dar un valor de aceptación. Esta interrogante fue de carácter abierto, las respuestas, aunque expresadas con diferentes términos (“cortes”, “parones”, “discontinuidad”) coinciden mayoritariamente en el parámetro “Interrupciones”. Se comprobó lo mencionado en la sección IV.2 y analizado en [26], el término “stalling” (interrupciones) es el parámetro que mayormente degrada la QoE del usuario.



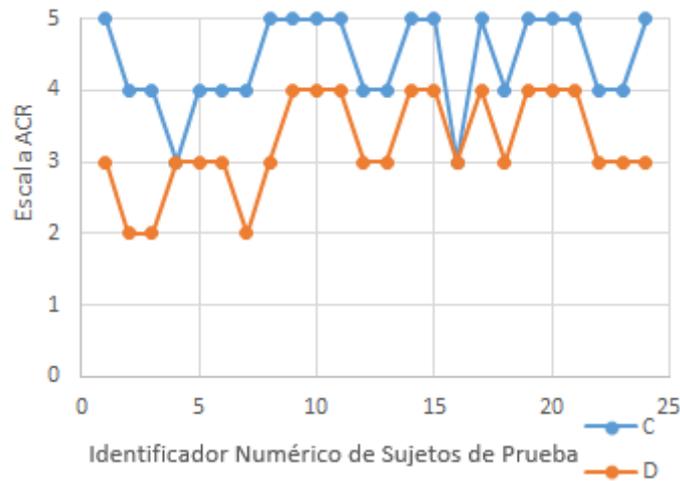


Fig. 14. Puntuación ACR Individual

La Pregunta 2 y 5 de la evaluación utilizó una escala de comparación de estímulo doble, y se evaluó el segundo vídeo con respecto al primero, con el objetivo de comparar las degradaciones percibidas por el espectador. La Fig. 15 muestra en azul las valoraciones individuales utilizando la escala: -3 (mucho peor), -2 (ligeramente peor), -1 (peor), 0 (igual), 1 (ligeramente mejor), 2 (mejor), 3 (mucho mejor), al comparar el estímulo “B” con respecto a “A”. Lo primero que podemos inferir del gráfico es la premisa de que en ninguno de los casos los espectadores percibieron igualdad entre el mismo estímulo codificado con diferentes lógicas de adaptación, incluso la percepción de que el segundo vídeo es ligeramente mejor que el primero es nula. Además, en la “Parte 1” de la evaluación los resultados muestran que un 41% experimenta como “Ligeramente peor” y un 46% como “Peor” el segundo estímulo con respecto al primero y que solo un 12% lo percibe como “Mucho peor”. La “Parte 2” indica una conducta similar, donde un 59% y un 41% opinan que el segundo vídeo es “Ligeramente peor” y “Peor” que el primero respectivamente.

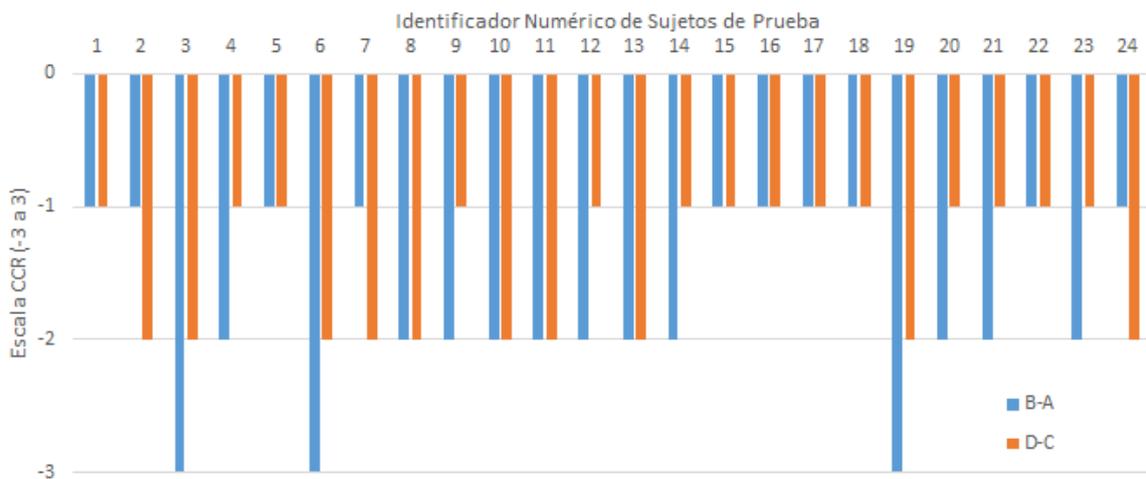


Fig. 15. Puntuación con escala de doble estímulo.

Para profundizar el enfoque del experimento y complementar la información se añadieron interrogantes a la evaluación subjetiva. La pregunta 7 del cuestionario nos ayudó a identificar cuáles son las degradaciones que mayormente impactan en la percepción del usuario. La Tabla. 5 ordena los parámetros de mayor a menor prioridad según la opinión de los sujetos. Como se observa más de la mitad de los participantes sienten molestia o insatisfacción al presenciar interrupciones en el flujo natural del vídeo, mientras que un 30% prefiere una máxima calidad de reproducción posible, sin embargo, tienen un mayor nivel de tolerancia frente a las degradaciones. El hecho de utilizar vídeos de larga duración supuso un ambiente real de visualización, donde el espectador posee una idea basada en experiencias anteriores para emitir un criterio sobre los errores percibidos en el contenido multimedia, los cambios continuos de calidad, característica inherente del estandar DASH y el retardo inicial mostraron poca influencia sobre la QoE de los espectadores.

Métricas	Porcentaje (%)
Q1. Que no existan interrupciones o que sean muy limitadas	54%
Q2. Que la calidad de reproducción sea la mejor posible	30%
Q3. Que no se aprecien cambios de calidad significativos	12%
Q4. Que el retardo inicial sea reducido	4%

Tabla 7. Porcentaje de relevancia de métricas

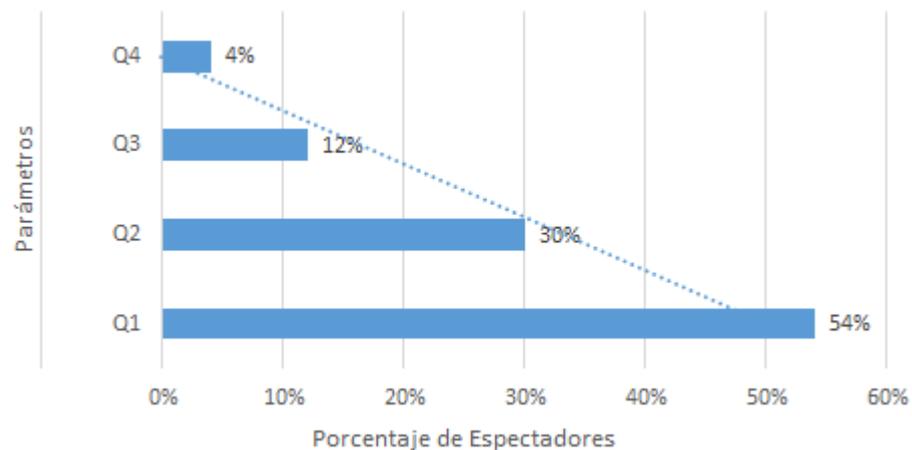


Fig. 16 Parámetros influyentes en la QoE del usuario

Se utilizó la prueba estándar “t de student” para encontrar diferencias significativas entre las puntuaciones MOS obtenidas, además de valores de diferencia entre promedios, observaciones y desviaciones estándar. El valor estadístico  $t$  fue calculado y permitió analizar el parámetro  $p$  de significancia ( $\alpha=0,05$ ). Si  $p$  se encuentra por debajo de 0,05 representa que las muestras poseen diferencias significativas.

Los resultados significativos se encuentran marcados en cursiva en la Tabla 6, se comprobó que existe una gran diferencia entre los estímulos codificados con los algoritmos de adaptación “Look Ahead” y “Müller”.

La comparación entre los estímulos A y C correspondiente a los vídeos codificados con el algoritmo Look Ahead no representan diferencias significativas, al igual que los estímulos B y D los cuales fueron codificados utilizando el algoritmo Müller.

Comparación MOS	Coficiente de significancia ( <i>p</i> )
A $\leftrightarrow$ B	<i>0,000000</i>
C $\leftrightarrow$ D	<i>0,000000</i>
A $\leftrightarrow$ C	0,170336
A $\leftrightarrow$ D	<i>1,2121e-07</i>
B $\leftrightarrow$ C	<i>2,9678e-08</i>
B $\leftrightarrow$ D	0,203089

Tabla 8. Coeficientes *p* de la prueba t de student

## VII. CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se realizó una investigación sobre el análisis subjetivo de un sistema de streaming basado en DASH, se utilizó diferentes algoritmos de adaptación con el fin de evaluar el impacto producido en la Calidad de Experiencia final del usuario. En nuestro enfoque experimental se empleó estímulos de larga duración para emular las condiciones propicias en entornos reales. De la enriquecedora experiencia podemos mencionar los conocimientos y conclusiones principales adquiridos.

A lo largo de este estudio, se realizó una investigación teórica de los métodos y procedimientos estándar para medir subjetivamente la QoE, así como los requerimientos y condiciones actuales del estándar DASH, con el propósito de mejorar ciertos aspectos estandarizados y profundizar el análisis sobre el grado de satisfacción de los usuarios al experimentar el contenido multimedia.

Se realizó una prueba subjetiva sobre 24 espectadores utilizando dos algoritmos de adaptación diferentes en los estímulos fuente, mostrando claras diferencias. El resultado más notable fue la alta calidad perceptual mostrada por los usuarios frente a los vídeos codificados con el algoritmo “Look Ahead” en comparación a los estímulos codificados mediante “Müller”. Se identificó los parámetros de mayor influencia sobre la QoE, concluyendo que, las interrupciones son el factor que mayormente degrada la Calidad de Experiencia del espectador, seguido por el nivel y cambios de calidad durante la reproducción, los espectadores mostraron poca importancia por el retardo inicial, por lo que, los usuarios prefieren visualizar un vídeo en menor calidad a que este presente interrupciones en su reproducción.

Con base en la experimentación se comprueba que, utilizando nuevas lógicas de adaptación se puede optimizar la QoE, sin embargo, el estudio subjetivo requiere un tratamiento actualizado debido a las novedades tecnológicas y las degradaciones visuales existentes en el estándar DASH, permitiendo el acercamiento a un estudio bajo condiciones cada vez más reales.

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] W.-K. Chen, *Linear Networks and Systems* (Book style). Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123–135.
- [2] Cisco, *Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021, White Paper*, March 2017, URL <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>
- [3] ITU-T, *Definiciones de términos relativos a la calidad de servicio*, ITU-T Recomendación E.800, Sep. 2008.
- [4] Qualinet, *White Paper on Definitions of Quality of Experience*, Output from the fifth Qualinet meeting, Nov. Sad, March 12.
- [5] P. Le Callet, S. Möller, A. Perkis, *Qualinet White Paper on definitions of Quality of experience*, Jun. 2012.
- [6] ITU-T, *Methods for the subjective assessment of vídeo quality, audio quality and audiovisual quality of internet vídeo and distribution quality television in any environment*, ITU-T Recommendation P.913, March 2016.
- [7] ITU-T, *Mean opinion score interpretation and reporting*, ITU-T Recommendation P.800.2, Jul. 2016.
- [8] ITU-R. *Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures*. ITU-R Recommendation BT. 500-13, Jan. 2012.
- [9] ITU-T. *Subjective Vídeo Quality Assessment Methods for Multimedia Applications*. ITU-T Recommendation P.910, Apr. 2008.
- [10] VQEG. *Report on the Validation of Vídeo Quality Models for High DenitionVídeo Content*. Vídeo Quality Expert Group, URL: <https://www.its.bldrdoc.gov/vqeg/vqeg-home.aspx> , Accessed: Aug. 2018
- [11] S. Winkler, *Vídeo Quality Measurement Standards –Current Status and Trends*. ICICS, Dec. 2009.
- [12] K. De Moor, M. Fiedler, P. Reichl, and M. Varela. *Quality of Experience:From Assessment to Application*. Dagstuhl Seminar, Jan. 2015.
- [13] G. Thompson, Y. Chen, *IPTV, Reinventing Television in the Internet Age. Internet Computing*, IEEE, May. 2009.
- [14] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, *RTP, A Transport Protocol for Real-Time Applications*, Internet Engineering Task Force (IETF), RFC: 3550, Jul. 2003.
- [15] H. Schulzrinne, A. Rao, R. Lanphier, M. Westerlund, M. Stiemerling, *Real Time Streaming Protocol (RTSP)*, Internet Engineering Task Force (IETF), RFC:7826, Dec. 2016.
- [16] T. Stockhammer, *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP – Design Principles and Standards*, Qualcomm Incorporated, Feb. 2011.
- [17] Web desarrolladores de Apple, *HTTP Live Streaming*, URL: <https://developer.apple.com/streaming/>, Accessed: Aug. 2018
- [18] Web Adobe, *HTTP DYNAMIC STREAMING*, URL: <https://www.adobe.com/es/products/hds-dynamic-streaming.html>, Accessed: Aug. 2018
- [19] Web Microsoft, *Smooth Streaming*, URL: <https://www.iis.net/downloads/microsoft/smooth-streaming>, Accessed: Aug. 2018

- [20] International Organization for Standardization, *ISO/IEC 23009-1:2012 Information technology -- Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH) -- Part 1: Media presentation description and segment formats*, Apr. 2012.
- [21] M. Seufert, S. Egger, M. Slanina, T. Zinner, T. HoBfeld y P. Tran-Gia. *A Survey on Quality of Experience of HTTP Adaptive Streaming*. IEEE Communications Surveys Tutorials, Vol 17, NO.1, Firstquarter 2015.
- [22] S. Shunmuga, K. Ramesh, *Video Stream Quality Impacts Viewer Behavior: Inferring Causality Using Quasi-Experimental Designs*, IEEE/ACM Transactions on Networking, Dec. 2013.
- [23] T. Hossfeld, S. Egger, R. Schatz, M. Fiedler, K. Masuch, C. Lorentzen, *Initial delay vs. interruptions: Between the devil and the deep blue sea*, in Proc. 4th Int. Workshop QoMEX, Yarra Valley, Vic., Australia, 2012, pp. 1–6.
- [24] T. De Pessemier, K. De Moor, W. Joseph, L. De Marez, L. Martens, *Quantifying the Influence of Rebuffering Interruptions on the User's Quality of Experience During Mobile Video Watching*, IEEE Transactions on Broadcasting, vol: 59, March. 2013.
- [25] Y. Qi, M. Dai, *The Effect of Frame Freezing and Frame Skipping on Video Quality*, International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia, Pasadena USA, Dec. 2006.
- [26] Q. Huynh-Thu and M. Ghanbari, "Temporal aspect of perceived quality in mobile video broadcasting," IEEE Trans. Broadcast., vol. 54, no. 3, Sep. 2008.
- [27] R. Belda, I. de Fez, P. Arce, and J. C. Guerri, *Look Ahead: a DASH adaptation algorithm*, in Proc. of the IEEE Int. Symp. On Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), Valencia, Spain, Jun. 2018, article no. 158.
- [28] G. Zhai, Jianfei Cai. W. Lin, X. Yang, W. Zhang, M. Etoh, *Cross-Dimensional Perceptual Quality Assessment for Low Bit-Rate Videos*, IEEE Transactions on Multimedia, Volume: 10, Nov. 2008, pp. 1316-1324.
- [29] H. Knoche, J. McCarthy, M. Sasse, *Can Small Be Beautiful? Assessing Image Resolution Requirements for Mobile TV*, EU IST-project MAESTRO, 2005.
- [30] G. Ghinea and J. P. Thomas, *QoS impact on user perception and understanding of multimedia video clips*, 6th ACM Int. Conf. Multimedia, Bristol, U.K., 1998.
- [31] K. D. Singh, Hadjadj- Aoul, G. Rubino, *Quality of experience estimation for adaptive HTTP/TCP video streaming using H.264/AVC*, IEEE Consumer Communications and Networking Conference, Jan. 2012.
- [32] M. Zink, O. Künzel, J. Schmitt, R. Steinmetz, *Subjective Impression of Variations in Layer Encoded Videos*, KOM Multimedia Communications, 2003.
- [33] P. Ni, R. Eg, A. Eichhorn, C. Gridowz, P. Halvorsen, *Flicker effects in adaptive video streaming to handheld devices*, 19th ACM International conference on Multimedia pp. 463-472, Dec. 2011.
- [34] N. Cranley, P. Perry, I. Murphy, *User perception of adapting video quality*, International Journal of Human-Computer Studies archive, volume 64, pp. 637-647, Aug. 2006.
- [35] M. Graf, C. Timmerer, *Representation Switch Smoothing for Adaptive HTTP Streaming*, 4th Conference International Workshop on Perceptual Quality of Systems, At Vienna, Austria, Sep. 2013.
- [36] D. Robinson, Y. Jutras, V. Craciun, *Subjective Video Quality Assessment of HTTP Adaptive Streaming Technologies*, Bell Labs Technical Journal, 2012.

- [37] C. Chen, L. Choi, G. de Veciana, C. Caramanis, R. Heath, C. Bovik, *Modeling the Time—Varying Subjective Quality of HTTP Video Streams with Rate Adaptations*, IEEE Transactions on Image Processing, volume: 23, May 2014.
- [38] M. H. Pinson, M. Sullivan, A. Catellier, *A New Method for Immersive Audiovisual Subjective Testing*, Jan 2014.
- [39] R.R. Pastrana-Vidal, J.C. Gicquel, C. Colomes, H. Cherifi, *Frame dropping effects on user quality perception*. In 5th international workshop on image analysis for multimedia interactive services. 2004.
- [40] S. Van Kester, T. Xiao, R.-E. Kooij, K. Brunnstrom, O.-K. Ahmed, *Estimating the impact of single and multiple freezes on video quality*. In Human Vision and Electronic Imaging XVI International Society for Optics and Photonics. volume 7865, pages 7865-1-10, Feb2011.
- [41] N. Staelens, S. Moens, W. Van den Broeck, I. Mariën, B. Vermeulen, P. Lambert, R. Van de Walle, and P. Demeester *Assessing Quality of Experience of IPTV and Video on Demand Services in Real-Life Environments*, in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 56, no. 4, pp. 458-466, Dec. 2010.
- [42] T. Hoßfeld, R. Schatz, Ernst W. Biersack, L. Plissonneau. *Internet Video Delivery in YouTube: From Traffic Measurements to Quality of Experience*. In Data Traffic Monitoring and Analysis: From Measurement, Classification, and Anomaly Detection to Quality of Experience, volume 7754. Berlin, March 2013.
- [43] A. K. Moorthy, L. K. Choi, A. C. Bovik, G. de Veciana, *Video Quality Assessment on Mobile Devices: Subjective, Behavioral and Objective Studies*, in IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol. 6, no. 6, pp. 652-671, Oct. 2012.
- [44] R. K. P. Mok, X. Luo, E. W. W. Chan, R. K. C. Chang *QDASH, A QoE-aware DASH system*. In Proceedings of the 3rd Multimedia Systems Conference. pp. 11-22. Feb. 2012.
- [45] L. Yitong, S. Yun, M. Yinian, L. Jing, L. Qi, Y. Dacheng, *A study on Quality of Experience for adaptive streaming service*, IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC), Budapest, 2013, pp. 682-686. 2013
- [46] S. Tavakoli, K. Brunnström, K. Wang, B. Andrén, M. Shahid, and N. Garcia, *Subjective quality assessment of an adaptive video streaming model*, Proc. SPIE, vol. 9016, 2014.
- [47] B. Villa, K. De Moor, P. Heegaard, and A. Instefjord, *Investigating Quality of Experience in the Context of Adaptive Video Streaming: Findings from an Experimental User Study*, in Norsk Informatikkonferanse NIK 2013, E. Tøssebro and H. Meling, Eds., pp. 122–133. Akademika forlag, 2013.
- [48] A. Rehman and Zhou Wang, *Perceptual experience of time-varying video quality*, Fifth International Workshop on Quality of Multimedia Experience, pp. 218–223, 2013.
- [49] Blender Foundation webpage, URL: <https://www.blender.org/foundation/> Accessed: Aug. 2018.
- [50] ITU-T, *Mean opinion score interpretation and reporting*, Recommendation ITU-T P.800.2, Jul. 2016.