

EVALUACIÓN DE QOE DEL SERVICIO DE *VIDEO STREAMING* EN EL ESTÁNDAR MPEG-DASH SOBRE REDES WIFI Y 3G

Mario Ernesto Pereira Vázquez¹, Ignacio Trueba Gandur², Caridad Anías Calderón³, Luis Conde del Oso⁴

¹ETECSA, Cuba, mario.pereira@etecsa.cu

²MINFAR, Cuba, itruebagandur@gmail.com

³Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba, cacha@tesla.cujae.edu.cu

⁴ETECSA, Cuba, luis.conde@etecsa.cu

RESUMEN

En el presente trabajo se comparan los modelos matemáticos actuales para predecir de manera efectiva la calidad percibida por el cliente del servicio de *video streaming*, y se plantea un procedimiento para mejorar la evaluación de la calidad de experiencia. En la actualidad, los análisis objetivos de calidad de experiencia consideran diferentes parámetros que luego son llevados a modelos matemáticos. Estos modelos usualmente acarrear un costo computacional relativamente elevado por su complejidad, sin contar el hecho de que los de mayor exactitud demoran mucho tiempo, solamente en la obtención de los parámetros considerados. Luego de obtener, a partir de dichos parámetros, los valores de calidad de experiencia, se emplean mecanismos para mejorar la calidad percibida del servicio brindado. En el procedimiento propuesto, las medidas para mejorar la calidad apreciada del servicio son tomadas en cada fase, disminuyendo así el tiempo de reacción desde que se detecta un problema que afecta la calidad de experiencia hasta que se plantea su solución. Este análisis es realizado de manera objetiva, por lo que no se tienen en cuenta factores externos al sistema, como son el ambiente y el estado emocional del usuario. De esta forma se intenta garantizar que todo el proceso por el que pasa el video desde que se prepara para su transmisión hasta ser observado por el usuario sea el correcto, para que este último pueda disfrutar del *streaming* de video con la mejor calidad que su terminal permita. El mismo es validado empleándolo en la evaluación de la calidad de experiencia en un caso real de *video streaming* proveído por YouTube.

PALABRAS CLAVES: Calidad de experiencia, calidad de servicio, *streaming* de video, MPEG-DASH (del inglés *Moving Picture Experts Group – Dynamic Adaptive Streaming over HTTP*).

QOE EVALUATION OF THE VIDEO STREAMING SERVICE IN THE MPEGDASH STANDARD ON WI-FI AND 3G NETWORKS

ABSTRACT

In the present work the current mathematical models are compared to effectively predict the quality perceived by the client of the video streaming service, due to this, the need arises to

elaborate a procedure to improve the evaluation of quality of experience. Currently, objective quality of experience analyzes consider different parameters that are then taken to mathematical models. These models usually involve a relatively high computational cost due to their complexity, not counting the fact that the most exacting ones take much longer, only in obtaining the considered parameters. With these, after obtaining the values of quality of experience, mechanisms are used to improve the perceived quality of the service provided. In the proposed procedure, the measures to improve the quality of the service are taken during the analysis, in each phase, thus decreasing the reaction time since a problem that affects the quality of experience is detected until its solution is considered. This analysis is carried out in an objective mode, so factors outside the system, such as the environment and the emotional state of the user, are not taken into account. With this procedure, we try to guarantee that the entire process through which the video passes since it gets ready for their transmission until the user sees it is correct, so then this last one can enjoy the service of video streaming with the best quality that their terminal allows. The same one is validated using it in the evaluation of the quality of experience in a real case of video streaming provided by YouTube.

KEY WORDS: Quality of experience, quality of service, video streaming, MPEG-DASH.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un amplio despliegue del servicio de video streaming debido a las ventajas que el mismo ofrece para el consumo de contenidos de video por parte de diferentes usuarios conectados a Internet. El streaming de video requiere que las redes sobre las cuales se transportan los segmentos de video tengan un buen desempeño, es decir que sean rápidas, soporten grandes flujos de paquetes y prevengan las congestiones.

En situaciones donde no se garantiza una correcta QoS (del inglés Quality of Service) al tráfico de video streaming, pueden ocurrir degradaciones de la imagen, eventos de congelamientos y desincronización del audio y el video del contenido recibido; resultando en una mala calidad de la experiencia del usuario que consume el servicio. En tales circunstancias, muchos proveedores de contenido como NetFlix, YouTube, Wowza, Nimble Streamer, HBO, y otros, han asumido la tarea de caracterizar sus servicios de video streaming en cuanto a la QoE (del inglés Quality of Experience) para, en función de ello, mejorar las condiciones en que se brinda dicho servicio sobre las redes de telecomunicaciones. Para una correcta valoración objetiva de la Calidad de Experiencia del video streaming, dichos proveedores emplean modelos objetivos que predicen la percepción del usuario.

Los modelos existentes para realizar un análisis de la calidad de experiencia del servicio de video streaming no establecen la forma de valorar esta de manera rápida y precisa, o difieren en la selección de los parámetros que la afectan. Por otra parte, no se ha reportado un método efectivo para valorar la QoE percibida por los usuarios de dicho servicio sobre redes WIFI y 3G.

En este trabajo se realiza la comparación de modelos matemáticos empleados para la evaluación de la QoE en el servicio de video streaming y se propone un procedimiento general que permite evaluar la calidad de la experiencia de dicho servicio, en el estándar MPEG-DASH sobre redes Wifi y 3G. El procedimiento propuesto se valida empleando el

mismo en la evaluación de la QoE en un caso real de streaming de video proveído por YouTube.

COMPARACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS DE EVALUACIÓN DE QOE EN VIDEO STREAMING

Los principales criterios a tener en cuenta para la selección del modelo objetivo más adecuado son: métrica o métricas que evalúa, clasificación, complejidad y limitaciones. En función de estos criterios, la Tabla 1 recoge la comparación de los modelos matemáticos que se consideraron más relevantes. La selección del modelo a utilizar dependerá de las necesidades y posibilidades de quien realice el análisis, pues estos brindan diferentes enfoques en cuanto a la obtención de la QoE, que bajo ciertas condiciones ideales proporcionan una determinada exactitud en los resultados. Los modelos que realmente brindan mayor fidelidad, debido a que realizan estudios más completos, son los que necesitan una mayor cantidad de recursos para su empleo, esto se ve reflejado en la complejidad del modelo y el tipo de referencia que utiliza.

Tabla 1. Comparación de modelos matemáticos de evaluación de QoE en video streaming (Desarrollo propio).

Modelo matemático	Métrica(s) que evalúa	Clasificación	Complejidad	Limitaciones
Evaluación de QoE basado en la distribución de la tasa de bit. [1]	Distribución de la tasa de bit, tasa de bit en tiempo real, tipo de contenido de video.	Referencia reducida	Normal	Solamente considera la afectación en la QoE de la tasa de bit y el tipo de contenido. Maneja los cambios de subida y bajada de la tasa de bit por igual.
Modelo de evaluación de QoE de <i>video streaming</i> adaptativo sobre redes inalámbricas. [2]	Calidad promedio del segmento de video, continuidad de la reproducción y fluctuaciones del cambio de la tasa de bit y el vaciado del búfer.	Sin referencia	Baja	Imprecisión en las deducciones. No considera las características del dispositivo terminal y otros

EVALUACIÓN DE QOE DEL SERVICIO DE VIDEO STREAMING EN EL ESTÁNDAR MPEG-DASH SOBRE REDES WIFI Y 3G

				parámetros relacionados con la red.
Algoritmo de control de calidad para servicios de <i>streaming</i> adaptativo sobre canales inalámbricos. [3]	Calidad promedio del segmento de video, congelamiento del video y cambios de calidad.	Sin referencia	Alta	No valora la influencia de la demora inicial de reproducción en la QoE.
Modelo paramétrico para la evaluación de la calidad de video. [4]	Calidad de video en función de la resolución de la pantalla utilizada, la tasa de bit, la tasa de cuadros, el códec, el porcentaje de pérdida de paquetes y el contenido del video.	Referencia reducida	Normal	No tiene en cuenta algunos parámetros de la red como la latencia, el <i>jitter</i> y el ancho de banda.
Medición de la QoE del servicio de <i>video streaming</i> sobre HTTP (VQM_VFD ¹). [5]	Demora inicial de reproducción, duración promedio del vaciado del búfer y frecuencia del vaciado del búfer.	Sin referencia	Normal	Solo se basa en el estado del búfer para evaluar la degradación del video.
Modelos de evaluación de calidad del video de referencia completa. [6]	Calidad de secuencias de vídeo.	Referencia completa	Depende del modelo	Solo evalúan la degradación de la calidad del video, sin tener en cuenta otros factores.
Método para la estimación de la QoE en servicios OTT de <i>video streaming</i> . [7]	Parámetros de codificación, complejidad espacio temporal del contenido, terminal de usuario, parámetros de la red, cambios de calidad.	Híbrido	Alta	No evalúa completamente la calidad del contenido de video.

¹ VQM_VFD (del inglés *Video Quality Metric_Variable Frame Delays*)

Modelo para la estimación de la QoE en servicios de <i>video streaming</i> usando MPEGDASH.[8]	Parámetros de codificación, VQM, terminal de usuario, parámetros de la red, cambios de calidad.	Híbrido	Alta	Solo ha sido probado en videos pequeños de baja complejidad espacio temporal
--	---	---------	------	--

PLANTEAMIENTO DEL PROCEDIMIENTO PROPUESTO PARA LA EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE VIDEO STREAMING EN EL ESTÁNDAR MPEG-DASH SOBRE REDES WIFI Y 3G.

Para una correcta evaluación de la calidad de experiencia del servicio de video streaming en el estándar MPEG-DASH sobre redes Wifi y 3G, se debe tener en cuenta el tipo de servicio de video streaming, las características del servidor, la codificación utilizada, la red de acceso, el terminal de usuario, la calidad de servicio y las características del modelo matemático a emplear. Todos estos elementos han sido considerados, de forma organizada, en el procedimiento que se muestra en la figura 1.



Figura 1. Fases del procedimiento para la evaluación de QoE del servicio de video streaming en MPEGDASH sobre redes Wifi y 3G (Desarrollo propio)

Como se observa en la figura 1, el procedimiento propuesto cuenta de siete fases. Las seis primeras están dedicadas al análisis de los parámetros que afectan directamente la QoE, pues consideran todo el proceso por el que pasa el video desde que es transmitido por la fuente, en caso de streaming en vivo, y es almacenado en el servidor, hasta que el mismo es recibido por el usuario. Si las condiciones en que se procesa el streaming de video cumplen con las recomendadas en estas fases, la experiencia percibida por el cliente será la mejor. La séptima fase está dirigida a la evaluación cuantitativa de la QoE, lo que permite comprobar que el análisis realizado en las fases anteriores fue correcto. A continuación, se explican cada una de las fases del procedimiento.

FASE 1: TIPO DE SERVICIO DE VIDEO STREAMING

En la figura 2 se muestra la primera fase del procedimiento, la cual hace referencia a la selección del servicio que se va a evaluar. En la misma, se parte de decidir qué tipo de servicio de video streaming es objeto de evaluación. Si se trata de video en demanda se pasa directamente a la segunda fase. En el caso de que se seleccione streaming en vivo, juega un papel importante la terminal fuente, que es quien genera el contenido multimedia. Por ello, en este caso, y en virtud de una evaluación correcta de la QoE, es necesario precisar la velocidad de subida óptima del video para que el servicio tenga la calidad requerida. Teniendo en cuenta lo que se plantea en [9], 512 kbps es la velocidad mínima de subida necesaria para que la terminal fuente pueda transmitir contenido multimedia de mediana resolución hacia el servidor. En caso de que el enlace contratado no permita esta velocidad mínima, será necesario analizar la posibilidad de contratar un mayor ancho de banda, pues de lo contrario la calidad del streaming de video no será la demandada.

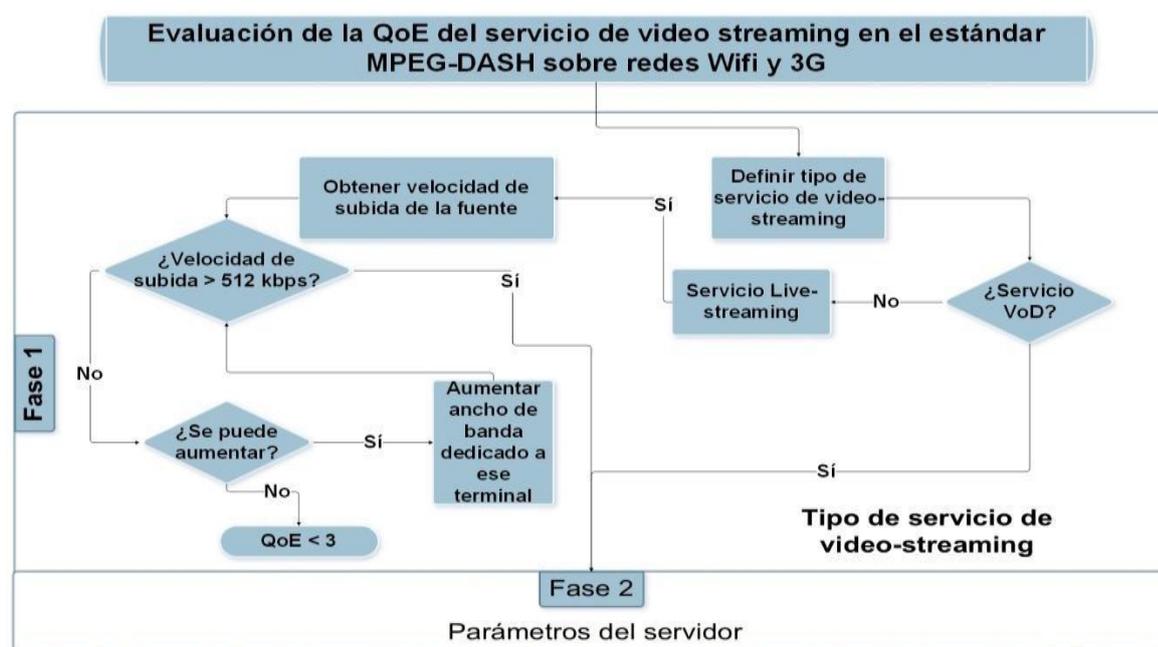


Figura 2. Fase 1: Tipo de servicio de video streaming (Desarrollo propio)

3.2. FASE 2: PARÁMETROS DEL SERVIDOR

La segunda fase del procedimiento que se propone es mostrada en la figura 3. La misma considera el desempeño del servidor y su capacidad como proveedor de contenido multimedia a los usuarios. El servidor juega un papel importantísimo, dado que es el equipo que almacena y transfiere los contenidos de video hacia los clientes. En esta fase se analiza si las características del servidor cumplen con los parámetros requeridos para poder brindar el servicio de video streaming. Estos parámetros están regulados por las características del hardware del servidor, las cuales son: el tiempo de respuesta del servidor, el IOPS del disco duro, la memoria RAM y el microprocesador.

A continuación se muestran los requisitos mínimos del equipo servidor [10]:

- CPU: Simple quad core, 3 GHz
- RAM: 4 GB
- Disco duro: 2 o más de 500 GB en RAID 0 (*striping*)
- Red: Gigabit Ethernet

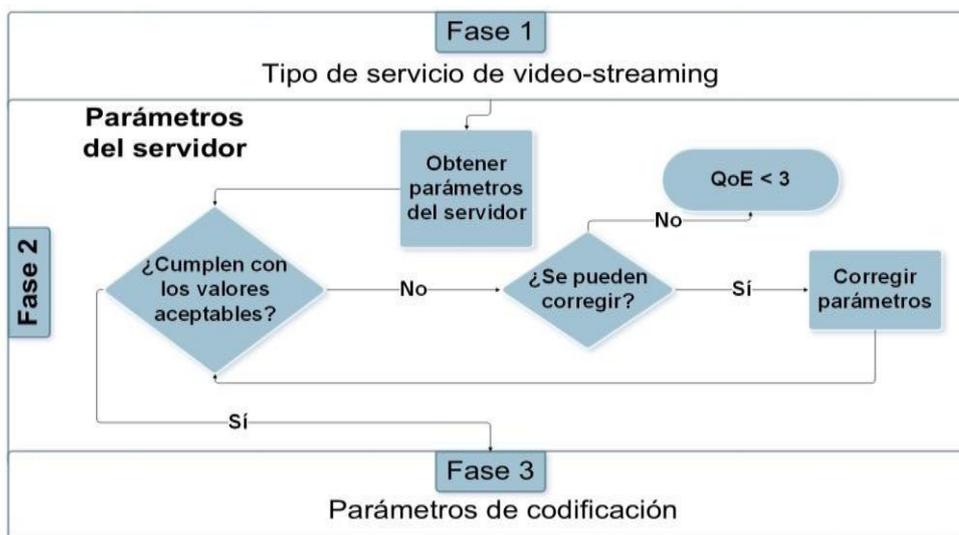


Figura 3. Fase 2: Parámetros del servidor (Desarrollo propio)

FASE 3: PARÁMETROS DE LA CODIFICACIÓN

En la figura 4 se muestra la tercera fase del procedimiento, que hace referencia a la calidad de la codificación del video a transmitir, un factor de gran importancia por el impacto que tiene en las características de la imagen y la secuencia de las mismas. Los parámetros de codificación que se analizarán en esta fase son: la relación resolución-tasa de bit de los segmentos de video, la tasa de cuadros por segundos y el tamaño de los segmentos.

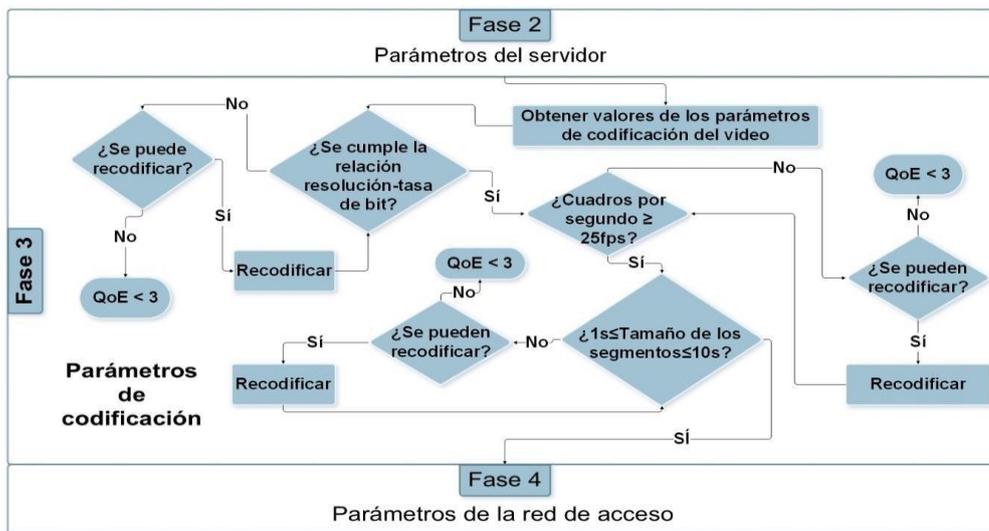


Figura 4. Fase 3: Parámetros de la codificación (Desarrollo propio).

Cada resolución posee una tasa de bit óptima que garantiza una buena calidad de la reproducción. En la tabla 2 se muestra una relación entre resoluciones y tasas de bits, para diferentes escenarios, recomendada en [11].

Tabla 2. Tasa de bit, resolución del video y escenario correspondiente [11].

Tasa de bit (kbps)	Resolución del video (píxeles)	Escenario
1,500	1280x720	Pantalla laptop, video HD
1,200	1024x768	Pantalla de tabletas, VCD
1,000	850x480, 640x480	Pantalla de Smartphone, TV por red
800	640x360	Pantalla de Smartphone
600	640x360	Tamaño común en plataformas de video como YouTube
500	640x360	YouTube
300	400x226, 320x240	Teléfono móvil ordinario
200	400x226, 320x240	Tamaño pobre en plataformas de video
100	320x240	Tamaño pobre en plataformas de video
50	176x144, 160x120, 160x90	Teléfono móvil de pobre desempeño

De acuerdo a los datos de la tabla 2, se puede plantear que en dispositivos móviles se debe apuntar a una tasa de bit de al menos 200 Kbps. Para computadoras de escritorio se necesita un vídeo de mayor calidad, por lo que es aconsejable una tasa de bit alrededor de los 500 Kbps. Un vídeo de alta calidad requiere una tasa de bit de por lo menos 800 Kbps, mientras que, para vídeos en alta definición, se necesitaría una tasa de bit de 1500 Kbps o superior. Aunque estos valores no están estandarizados, sirven de referencia al analizar la calidad de la compresión del video.

Al considerar en esta fase los parámetros de codificación: tasa de cuadros por segundo y tamaño de los segmentos, [4] y [12], se debe tener en cuenta que el primero debe ser mayor o igual que 25 fps y el segundo debe estar en el rango de uno a diez segundos. Si dichos parámetros no se encuentran en el rango mencionado pueden aparecer píxeles o niveles de color no deseados en la imagen, así como eventos de congelamiento y parpadeo durante la reproducción del video. La plataforma “FFmpeg” [13] y el framework “Gpack” [14] permiten recodificar los archivos de video para que su reproducción en el terminal de usuario ocurra de manera correcta.

FASE 4: PARÁMETROS DE LA RED DE ACCESO

Esta fase, detallada en la figura 5, hace referencia al análisis de la red de acceso. En la misma se examinan los parámetros de la tecnología de red inalámbrica a emplear, lo que permite comprobar si esta soporta el servicio de video streaming.

El análisis del despliegue de la red se basa en comprobar la configuración de los equipos transmisores y la distribución de estos. Es necesario verificar si existe solapamiento de las áreas de cobertura, si los equipos están instalados apropiadamente para hacer itinerancia y, además, determinar si ofrecen cobertura en las zonas con mayor densidad de personas. Es importante precisar si el punto de acceso cumple con las características declaradas por el fabricante, en función de la tecnología utilizada. En caso de que no exista un correcto diseño del ambiente inalámbrico analizado, se propone, si es posible, rediseñar la misma a partir de conocer las necesidades del cliente, las zonas claves para montar el servicio y los posibles obstáculos del terreno. De acuerdo a lo que declara en [15], se propone que la potencia de la señal recibida sea mayor o igual que -70 dBm en el caso de la Wifi y mayor o igual que -95 dBm en el caso de la 3G.

Entre los parámetros a analizar en esta fase, relacionados con el transmisor para cada entorno inalámbrico, se encuentran: la potencia de la señal del transmisor, el rango de transmisión, y la tasa de bit con que se envía y recibe la señal. Estos parámetros están dados por la configuración del transmisor y las condiciones en la que se encuentra el hardware del mismo. De existir problemas con dichos parámetros es necesario determinar donde se encuentra el inconveniente, ya sea software o hardware. Si el mismo se encuentra en el software, se necesitará reconfigurar el equipo. En caso de que el problema se encuentre en el hardware se propone analizar la posibilidad de cambiar el equipo.

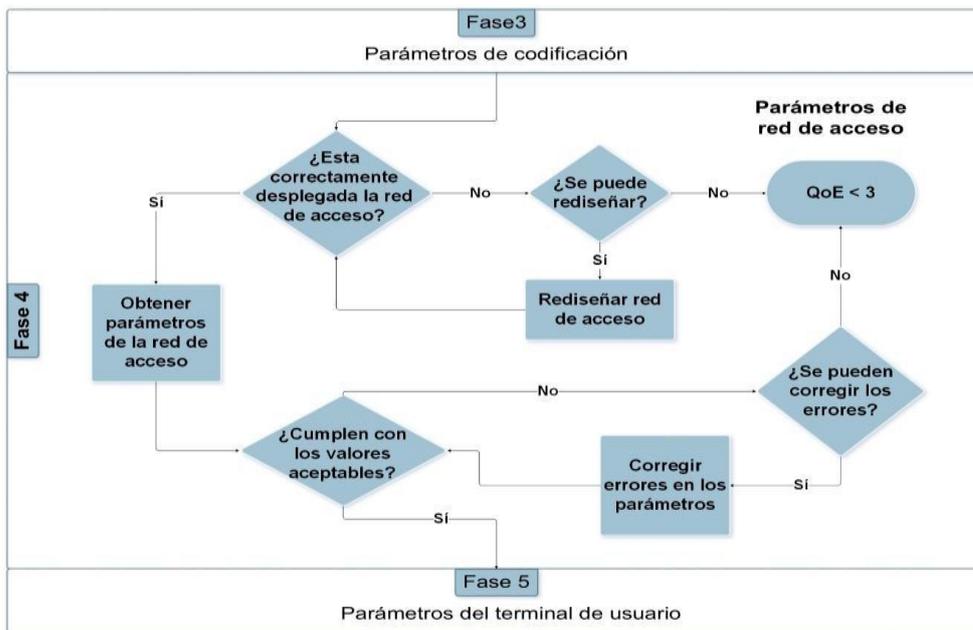


Figura 5. Fase 4: Parámetros de la red de acceso (Desarrollo propio).

FASE 5: PARÁMETROS DEL TERMINAL DE USUARIO

La figura 6 recoge las características de la fase 5 del procedimiento propuesto, la cual se encuentra dedicada al análisis de las características del terminal de usuario que afectan la QoE.

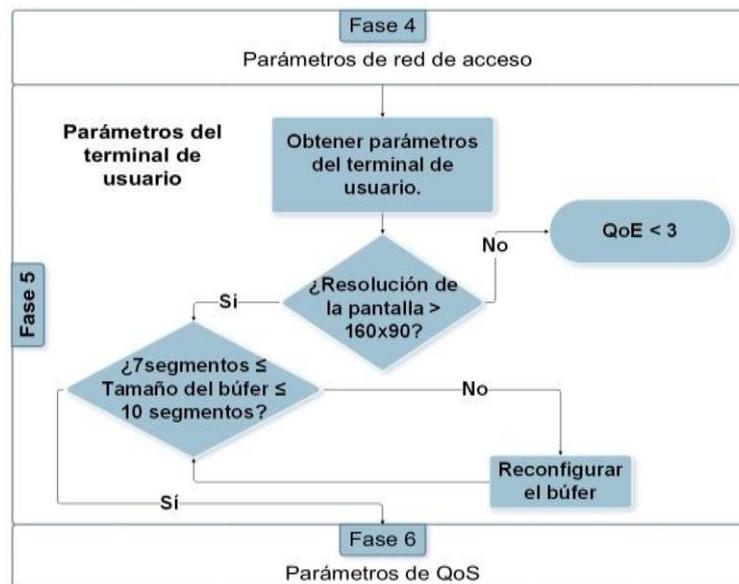


Figura 6. Fase 5: Parámetros del terminal de usuario (Desarrollo propio).

Entre los parámetros a tener en cuenta en el terminal del cliente se encuentran la resolución del terminal y la configuración del búfer. Es necesario analizar la resolución del terminal

debido a que en caso de no cumplir con la resolución mínima se obtendrá una mala calidad de experiencia del servicio de video streaming. En el caso de que el búfer este mal configurado y no cumpla con lo recomendado por [3], para evitar el incremento de la demora inicial de reproducción del video y eventos de vaciado del búfer, será necesario reconfigurarlo, para lo cual se cuenta con el código “-bufsize” de la plataforma “FFmpeg” [13], que permite establecer el tamaño requerido del búfer del cliente.

FASE 6: PARÁMETROS DE QoS

Para la evaluación de la QoE también es necesario analizar los parámetros de QoS de la red, dado su influencia en el correcto funcionamiento del servicio de video streaming. Estos parámetros son la base de la mayoría de los modelos matemáticos usados para calcular calidad de experiencia. A esto se dedica la fase seis del procedimiento propuesto, descrita en la figura 7.

De esta fase dependerá que el resto del procedimiento fluya correctamente y que se obtengan resultados que reflejen el verdadero comportamiento de la red. Como se ve en la figura 7, la caracterización de la red es el primer bloque de esta fase. Para esto se requiere conocer la cantidad de switches, routers, hosts, servidores y la forma de interconexión de cada uno de ellos, o sea su topología. Además se deben analizar los servicios que se están brindando, comprobar si se le está dando prioridad al streaming de video y que los puertos que se están utilizando, para cada servicio, estén correctamente configurados y no exista reutilización de los mismos.

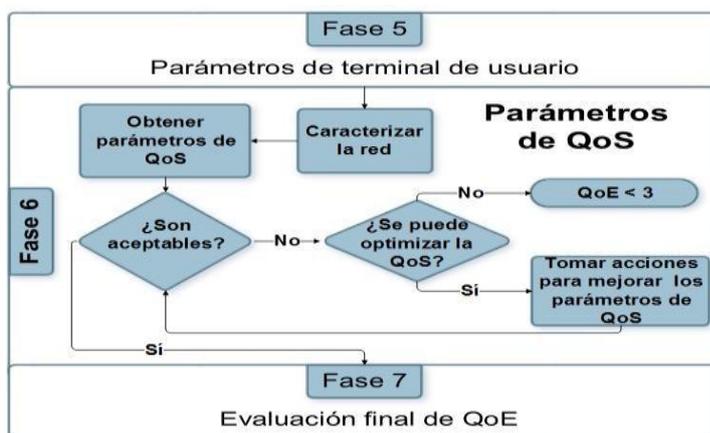


Figura 7. Fase 6: Parámetros de QoS (Desarrollo propio).

A continuación, se deben analizar parámetros de QoS, estos son: la pérdida de paquetes, la demora y el ancho de banda. La presencia de valores inadecuados de estos parámetros puede provocar que ocurran eventos de congelamiento y cambio en los niveles de calidad del video. Los valores recomendados para estos parámetros, extraídos de [16] y [17]), se aprecian en la siguiente tabla:

Tabla 3. Parámetros de QoS recomendados según la calidad esperada del video
(Desarrollo propio).

Calidad esperada del servicio	Demora	Razón de Perdidas	Distancia entre errores	Ancho de banda
Video de baja calidad	$\leq 1s$	$\leq 10^{-3}$	1 cada 30 min	$>200Kb/s$
Video de calidad media	≤ 400 ms	$\leq 10^{-5}$	1 cada 1h	$>600Kb/s$
Video HD	≤ 100 ms	$\leq 10^{-6}$	1 cada 4 h	$>1.5Mb/s$

Las posibles acciones a tomar en caso de que los parámetros de QoS no sean aceptables para el streaming de video son: señalización y clasificación de los paquetes, aplicación de políticas de tráfico, gestión activa de colas, manejo de colas, conformación del tráfico de salida; e, incluso, analizar la posible implementación de una CDN (del inglés Content Delivery Network) en caso de que la latencia sea muy grande.

La herramienta que se seleccione para realizar la gestión en este caso deberá abarcar las áreas de la gestión de desempeño, fallos y configuración. Esta deberá garantizar el monitoreo de los parámetros a analizar en esta fase, una gestión proactiva y la posibilidad de actuar de manera eficiente ante los fallos inevitables que puedan afectar la disponibilidad del servicio y, por consiguiente, su calidad. A su vez, esta deberá ser capaz de monitorizar los recursos críticos de TI (Tecnologías de la Información) tales como routers, enlaces WAN, switches, firewalls, servidores físicos, servidores virtuales, controladores de dominio y otros dispositivos de infraestructura de TI. Por lo cual deberá permitir desde la gestión integrada y centralizada de dispositivos de red hasta el monitoreo específico de aplicaciones, tráfico y ancho de banda.

EVALUACIÓN FINAL DE QOE

La fase 7 es la fase final del procedimiento propuesto, en la cual se selecciona el modelo matemático a utilizar para la evaluación de la QoE y se calcula esta. En la figura 8 se muestran los pasos de esta fase.

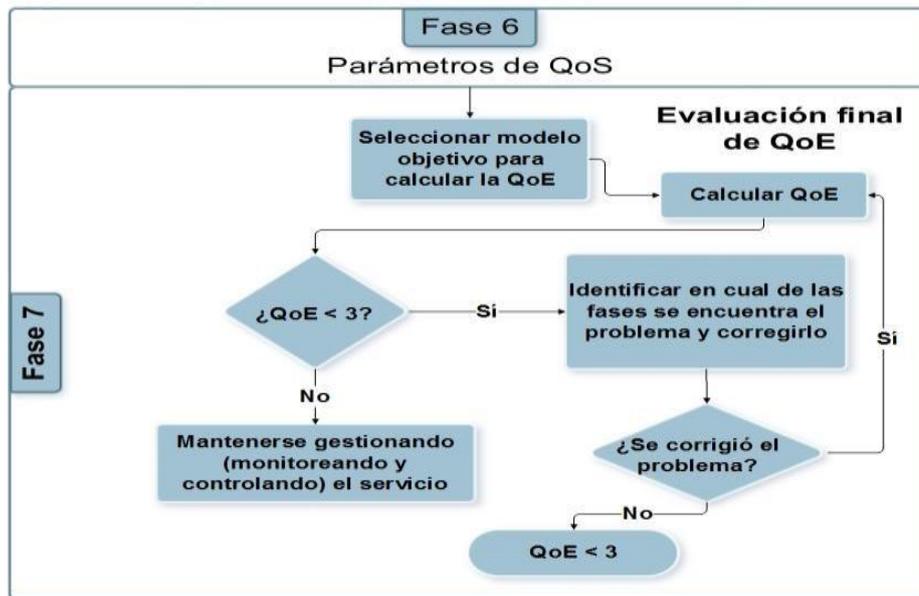


Figura 8. Fase 7: Evaluación final de QoE (Desarrollo propio).

Se recomienda realizar la selección del modelo matemático objetivo a emplear para evaluar la QoE a partir de los que se encuentran en la tabla 1. Los parámetros más utilizados para evaluar la QoE se aprecian en la tabla siguiente, en conjunto con sus valores recomendados:

Tabla 4. Parámetros de QoE más utilizados, valores recomendados (valores extraídos de [17]).

Calidad	Demora inicial	Frecuencia de los eventos de rebuffering	Duración de los eventos de rebuffering
Buena	0-1 s	0-0.02	0-5 s
Regular	1-5 s	0.02-0.15	5-10 s
Mala	>5 s	>0.15	>10 s

Si el análisis realizado durante las fases anteriores del procedimiento propuesto fue llevado a cabo de manera correcta, la QoE obtenida mediante el modelo matemático seleccionado deberá ser al menos de valor tres. Esto según la escala MOS, el cual, es el menor valor permitido en este trabajo para que la calidad de experiencia sea aceptable; pues significa que los parámetros analizados durante alguna de las fases anteriores del procedimiento están en los puntos críticos dentro de los valores admisibles. En caso de obtener un menor valor de QoE, se puede decir que se cometió un error durante la realización del procedimiento o se omitió uno de los pasos, por lo cual se deberá repetir el procedimiento de manera minuciosa y corregir el problema lo más pronto posible.

La herramienta a utilizar para realizar la gestión constante de la QoE depende de las variables analizadas por el modelo matemático seleccionado, debido a la heterogeneidad de factores que estos consideran. Estos factores van desde análisis en

los que solamente influye el contenido de video hasta los más completos que incluyen otros factores, como las condiciones de la red y características del terminal del cliente.

4. VALIDACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PROPUESTO

Para la validación del procedimiento propuesto se aplicó el mismo en un caso real de video streaming proveído por YouTube. Este fue seleccionado debido a que, según lo analizado en [18], [19] y [20], cumple con los parámetros recomendados para el servidor y la codificación del video.

El objetivo es evaluar cómo se encuentra este servicio y si es necesario garantizar otras condiciones auxiliares para mejorar su comportamiento. El servicio de video streaming ofrecido por YouTube que se va a analizar es el video bajo demanda.

RED WIFI

Parámetros de la red de acceso

Para realizar las pruebas en un escenario real, se utilizó la red de acceso Wifi_ETECSA del Centro de Negocios de Miramar. Las características del punto de acceso Wifi son las siguientes [21]:

- AP para exteriores
- Tecnología 802.11 a/b/g/n
- Doble banda (2.4 GHz y 5 GHz)
- 3*3 MIMO (del inglés *Multiple-input Multiple-output*)
- Modelo: WA251DK-NE
- Velocidad de bit: por encima de 450 Mbps
- Soporta configuración estática y por DHCP

Los canales utilizados por este punto de acceso fueron el uno, el seis y el once de la banda de 2.4 GHz, lo que evita la interferencia co-canal. La potencia de la señal recibida fue de -40 dBm, la que se encuentra dentro del rango recomendado en el procedimiento. Estos datos fueron obtenidos mediante la herramienta Acrylic Wi-Fi Home.

Parámetros del terminal de usuario

Los terminales utilizados durante las pruebas para la validación cumplieron con lo recomendado en el procedimiento propuesto, ya que garantizan una resolución mayor que 160x90 y tuvieron asignado por la plataforma de YouTube un búfer en óptimas condiciones. Para acceder al servicio de YouTube se utilizó el navegador Mozilla Firefox v60.01 con soporte de HTML v5.

Parámetros de QoS

La red de núcleo a la cual están conectados los múltiples AP de la WLAN de ETECSA está basada en la tecnología IP/MPLS. En la figura 9 se muestra un caso típico de conexión a Internet desde la red Wifi_ETECSA.

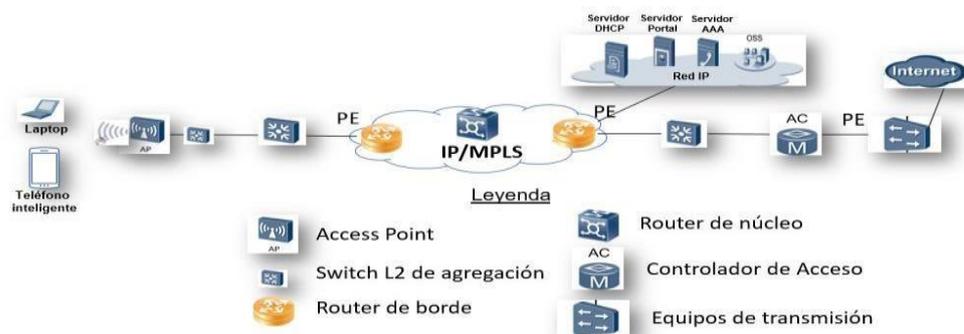


Figura 9. Red Wifi_ETECSA conectándose a Internet [21]

El equipamiento de la red de núcleo de ETECSA está en óptimas condiciones, actualizado y posee alta escalabilidad. La salida a Internet emplea un enlace de fibra óptica con ancho de banda $N \cdot 10$ Gbps. Para la gestión de la red Wifi, el fabricante Huawei (al menos en las soluciones WLAN 6.0 y 7.0) no utiliza el concepto de elemento de red para la gestión de los dispositivos AP [21]. El AC (del inglés Access Controller) es el elemento gestionado que utiliza el protocolo SNMP (del inglés Simple Network Management Protocol) y es quien controla al AP empleando el protocolo CAPWAP (del inglés Control And Provisioning of Wireless Access Points), al tratarse de una arquitectura modo AP ligero. El tráfico de control y datos se encapsula en un paquete CAPWAP, dentro del AC y se transmite hacia el AP. Los AC están centralizados y todo el tráfico de la red Wifi_ETECSA nacional tiene que pasar por ellos, lo cual provoca demoras. El transporte de la información de la red Wifi se realiza través de una VPN empleando el protocolo UDP.

La red Wifi fue diseñada con el objetivo de ofrecerle a cada usuario 1 Mbps de ancho de banda, por lo que, para brindarle servicio a 60 clientes, cada AP dispone de un ancho de banda de 60 Mbit/s, 30 de la banda de 5 GHz y 30 de la 2.4 GHz.

La herramienta que se utilizó para monitorear los parámetros de QoS de la red Wifi es Ntopng. Los valores obtenidos fueron:

- Ancho de banda promedio: 800 Kbps
- Demora: 190 ms
- Perdida de paquetes: 3%

Estos valores expresan las malas condiciones de la red Wifi en relación a los requerimientos del *video streaming*.

La QoS de la red no es la óptima, por ello en ocasiones, durante múltiples reproducciones del video, ocurrieron varios eventos de vaciado del búfer y por consiguiente congelamientos de la imagen. Estos eventos tienen lugar cuando el número de usuarios conectados al AP sobrepasa lo considerado en su diseño. En cambio, cuando el número de usuarios es pequeño la calidad de la conexión es aceptable. De acuerdo con esto se puede decir que el enlace no posee el ancho de banda necesario para recibir la mejor calidad de video ofrecida por el servicio de video streaming de YouTube. Además, estos problemas ocurren debido a que en la red Wifi no se aplica

ninguna política de QoS y no fue diseñada para transmitir *streaming* de video, por lo que no se le da prioridad a un servicio con respecto a otro.

Estas dificultades se pueden mitigar empleando tecnología inalámbrica que utilice el estándar 802.11e, el cual está diseñado para brindar QoS en entornos Wifi, permitiendo establecer diferentes niveles de prioridad al tráfico. También se puede mejorar la QoS aumentando el ancho de banda dedicado a cada usuario, al menos a 3 Mbps, debido a que 1 Mbps no es suficiente para una correcta reproducción del *streaming* de video.

Evaluación final de QoE

La evaluación final de la QoE del servicio de video streaming en la red Wifi_ETECSA se realizó utilizando el video “Échame la Culpa” de Demi Lovato ft. Luis Fonsis de YouTube. El modelo seleccionado para esto fue “Modelo para la estimación de la QoE en servicios de video streaming usando MPEG-DASH” [8] de la Tabla 1. Este modelo se basa en el estado y tamaño del búfer, ancho de banda, tasa de bit, el tamaño y calidad de los segmentos de video, así como la duración total del video; para predecir los efectos en la calidad percibida por los clientes del servicio analizado, derivados de la degradación de la calidad de la imagen, la duración la demora inicial y la degradación producida por eventos de congelamiento.

A partir del análisis realizado se obtuvo, que el valor de QoE adquirido fue aproximadamente dos, lo que según la escala MOS se traduce como una calidad de experiencia mala. Los resultados obtenidos corroboran los problemas de QoS presentes durante la evaluación del servicio de video streaming, ya que los demás parámetros que se valoraron durante el desarrollo del procedimiento son correctos. El principal problema en el servicio está en el limitado ancho de banda dedicado a cada usuario de la red Wifi y en el hecho de no aplicarse QoS en el tráfico de video streaming. Por lo tanto, se demuestra que de existir afectaciones en los parámetros mencionados en el procedimiento la QoE no será aceptable.

RED 3G

Evaluación final de QoE

El servicio de video en demanda de YouTube también se probó con la red móvil 3G de ETECSA, utilizando nuevamente el video “Échame la Culpa” de Demi Lovato ft. Luis Fonsis y el modelo que se utilizó para analizar la QoE en la Wifi. El resultado obtenido para la QoE en este caso fue cinco aproximadamente, lo que significa que la calidad del servicio fue la mejor. Estos excelentes resultados son consecuencia de que el servicio 3G (UMTS) está aún en modo de prueba con un pequeño número de usuarios utilizándolo, puesto que a partir de los resultados obtenidos en el análisis de la Wifi se prevé que estos resultados se degraden con el tiempo de persistir los problemas de QoS presentes en la red de ETECSA.

CONCLUSIONES

El procedimiento propuesto en este trabajo para evaluar la QoE en el servicio de video streaming en redes Wifi y 3G, empleando el estándar MPEG-DASH, es útil para conocer cómo llega este servicio a los usuarios. El mismo está compuesto por siete fases, donde las primeras seis fases se dedican a obtener y evaluar los parámetros que afectan la QoE del servicio de extremo a extremo y la séptima permite la evaluación final de la QoE a partir del modelo matemático que se seleccione.

El empleo del procedimiento propuesto en un caso real de video streaming proveído por YouTube, y utilizando las redes Wifi y 3G de ETECSA, permitió su validación. La aplicación del mismo permitirá a los proveedores de video streaming poder conocer de forma ágil cómo sus usuarios perciben la calidad de este servicio, y determinar si es necesario mejorarla para garantizar la fidelidad de estos y la competitividad en el mercado.

REFERENCIAS

- [1] Y. Shen, Y. Liu, Q. Liu, y D. Yang, «A method of QoE evaluation for adaptive streaming based on bitrate distribution», en 2014 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC), 2014, pp. 551-556.
- [2] T. Li, H. Zhang, J. Tian, y S. Guo, «QoE-driven centralized scheduling for HTTP adaptive video streaming transmission over wireless networks», en 2017 9th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), 2017, pp. 1-6.
- [3] S. García, J. Cabrera, y N. García, «Quality-Control Algorithm for Adaptive Streaming Services Over Wireless Channels», IEEE J. Sel. Top. Signal Process., vol. 9, n.o 1, pp. 50-59, feb. 2015.
- [4] J. Joskowicz, «Hacia un modelo perceptual de vídeo: desarrollo de un modelo paramétrico general de estimación de la calidad percibida de vídeo», oct. 2012.
- [5] R. K. P. Mok, E. W. W. Chan, y R. K. C. Chang, «Measuring the quality of experience of HTTP video streaming», en 12th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2011) and Workshops, 2011, pp. 485-492.
- [6] F. García Izquierdo, «Desarrollo de una herramienta para la medida de calidad de vídeo», 2017.
- [7] A. H. González, L. E. C. del Oso, Y. S. Gari, y C. A. Calderón, «Propuesta de evaluación de la Calidad de Experiencia (QoE) en servicios Over The Top (OTT)», Universidad Tecnológica de La Habana, La Habana, Cuba, 2016.
- [8] M. Pereira Vázquez e I. Trueba Gandur, «Evaluación de QoE del servicio de video *streaming* en el estándar MPEG-DASH sobre redes WiFi y 3G», Universidad Tecnológica de La Habana, La Habana, Cuba, 2016.
- [9] «STREAMING HD | Servidores & Eventos», Streaming, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://streaminghd.cl/>. [Accedido: 14-may-2018].

- [10] Wowza, «Media Server Requirements & Specs | Wowza Media Systems», 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.wowza.com/products/streaming-engine/specifications>. [Accedido: 21may-2018].
- [11] B. Han, X. Zhang, Y. Qi, Y. Gao, y D. Yang, «QoE Model Based Optimization for Streaming Media Service Considering Equipment and Environment Factors», *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 66, n.o 3, pp. 595-612, oct. 2012.
- [12] C. Núñez y C. Beatriz, «DASH: un estándar MPEG para streaming sobre HTTP», ene. 2013.
- [13] «FFmpeg», 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.ffmpeg.org/>. [Accedido: 14-may-2018].
- [14] «Downloads | GPAC», 2018. [En línea]. Disponible en: <https://gpac.wp.imt.fr/downloads/>. [Accedido: 14-may-2018].
- [15] Y. Wang, W. Zhou, y P. Zhang, *QoE Management in Wireless Networks*. Cham: Springer International Publishing, 2017.
- [16] «ntopng», ntop, 04-ago-2011.
- [17] «Características | ManageEngine OpManager», 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.manageengine.com.mx/monitoreo-redes/opmanager-caracteristicas.html>. [Accedido: 22-may-2018].
- [18] M. L. Michelone, «Google usa unos 900,000 servidores», unocero, 03-ago-2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.unocero.com/noticias/apps/google-usa-unos-900000-servidores/>. [Accedido: 31-may-2018].
- [19] R. Álvarez, «Las máquinas virtuales de Google Compute Engine son ahora unas bestias de hasta 96 núcleos y 624 GB de memoria», Xataka, 06-oct-2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/servicios/las-maquinas-virtuales-de-google-compute-engine-son-ahoraunas-bestias-de-hasta-96-nucleos-y-624-gb-de-memoria>. [Accedido: 31-may-2018].
- [20] D. K. Krishnappa, D. Bhat, y M. Zink, «DASHing YouTube: An analysis of using DASH in YouTube video service», en *38th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks*, 2013, pp. 407-415.
- [21] L. M. Lazo, «WIFI ETECSA “Evolución Tecnológica”», presentado en *Informática 2016, XVI Convención y Feria Internacional*, La Habana, Cuba, 2016.

SOBRE LOS AUTORES

Mario Ernesto Pereira Vázquez: Graduado de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría en Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica en julio de 2018. Actualmente realiza su adiestramiento laboral en el departamento de Análisis y evolución de la red, de la Dirección de Planeamiento Estratégico, que pertenece a la Vicepresidencia de Planificación Estratégica de Negocio de ETECSA, en el Centro de Negocios Miramar.

Ignacio Trueba Gandur: Graduado de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría en Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica en julio de 2018. Actualmente realiza su adiestramiento laboral en el MINFAR.

Caridad Anías Calderón: Ingeniera, Master y Doctora en Ciencias Técnicas. Actualmente es Profesora Titular del Dpto. de Telecomunicaciones y Telemática de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, presidenta de la Comisión Nacional de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, jefa de grupo de investigación y editora jefa de la revista Telemática.

Luis Conde del Oso: Ingeniero y Master en Ciencias Técnicas. Actualmente es el jefe de departamento de Análisis y evolución de la red, de la Dirección de Planeamiento Estratégico, que pertenece a la Vicepresidencia de Planificación Estratégica de Negocio de ETECSA, en el Centro de Negocios Miramar.