

## Evaluación de la calidad de la experiencia para servicios de datos móviles

Brenda R. Quiñónez, Luis F. Fernández, Diego P. Pinto Roa, Carlos Núñez y María E. García

Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay  
{bquinonez, luis.fernandez, dpinto, cnunez, mgarcia}@pol.una.py

**Abstract.** La calidad de la experiencia (QoE) percibida por los usuarios móviles juega un papel importante en el posicionamiento de las empresas de telecomunicaciones y en la fidelidad de los usuarios. Además, puede ser considerada como una métrica clave en la gestión de recursos de red. Por esta razón, este trabajo se enfoca en el establecimiento de un modelo estimación del QoE considerando parámetros a nivel de red, dispositivo y aplicación para el contexto de uso de video streaming. Para este fin, se implementan una plataforma de transmisión de datos móviles y una aplicación Android que son utilizadas durante el proceso de recolección de datos. Los datos obtenidos en dicho proceso se emplean como entrada de distintos algoritmos de aprendizaje automático, cuyos desempeños son comparados con el fin de identificar a los más adecuados para la creación de un modelo que permita estimar el QoE en el contexto de uso mencionado.

**Keywords:** QoS, QoE, Datos móviles, Redes móviles, Video streaming, Aprendizaje Automático.

### 1 Introducción

La gran proliferación de dispositivos móviles, la facilidad de acceso a Internet proporcionada a los usuarios y los avances tecnológicos en la infraestructura de las redes móviles han generado una gran demanda por los servicios de datos móviles. Como resultado de ello, actualmente se experimenta un importante aumento del tráfico de datos a través de las redes móviles, lo que puede ocasionar la saturación de las infraestructuras de las redes móviles y en consecuencia, la degradación de la calidad percibida por los usuarios [2].

Conocer cómo los usuarios de los servicios móviles perciben la calidad de los mismos permitirá a las empresas de telecomunicaciones mejorar de manera eficaz y rentable los servicios brindados y de esta forma mantener la fidelidad de los clientes y la competitividad en el mercado.

En base a la importancia de conocer la percepción del usuario acerca del servicio prestado, este trabajo propone el diseño de un modelo de estimación de la calidad de la experiencia para servicios de datos móviles, y en particular de video streaming, considerando parámetros a nivel de red, dispositivo y aplicación.

Lo que resta de este trabajo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se describe brevemente el concepto de la Calidad de Servicio (QoS) y Calidad de la Experiencia (QoE) y se presenta una clasificación de los métodos de evaluación del QoE. En la sección 3 se realiza una revisión literaria de los métodos utilizados en la evaluación y medición de QoE. En la sección 4 se presentan los objetivos de este trabajo, el método propuesto y los experimentos llevados a cabo. Finalmente, en la sección 5, presentamos las conclusiones y los trabajos futuros.

## 2 Calidad de la experiencia y calidad de servicio

La Calidad de la Experiencia (Quality of Experience - QoE) es el término utilizado para describir las percepciones del usuario acerca del rendimiento de un servicio en particular [9]. Está expresada en sensaciones humanas tales como: ‘bueno’, ‘excelente’, ‘pobre’, entre otros.

Por otra parte, la Calidad de Servicio (Quality of Service - QoS) es definida formalmente como la habilidad de una red o porción de una red de proporcionar un servicio a un nivel garantizado [10]. Puede ser medida, expresada y comprendida en términos de red y elementos de red, que por lo general tienen poco significado para el usuario.

Con el fin de proporcionar el mejor QoE de una forma rentable, competitiva y eficiente, los proveedores de servicios deben manejar el QoS de la red y la provisión de servicios de forma eficiente y efectiva [9].

### 2.1 Clasificación de los métodos de evaluación de QoE

De acuerdo a [10], los métodos de evaluación de QoE se pueden clasificar en: pruebas subjetivas y métodos objetivos.

**Pruebas Subjetivas:** la idea es que las personas, que utilizan el servicio en un entorno real, evalúen el servicio completando encuestas. Las preguntas y respuestas de los cuestionarios deben reflejar diversas características del servicio. Es considerado el método más fiable para la evaluación del QoE. Sin embargo, es costoso. La medida más utilizada en las pruebas subjetivas se denomina MOS (Mean Opinion Score), esta medida permite obtener la calidad percibida por el usuario en base a una escala de valores predefinidos [1].

**Métodos objetivos:** proporcionan una evaluación del QoE basada en la medición de varios parámetros relacionados con la prestación de servicios particulares o indicadores de calidad de servicio en la señal de salida del canal de transmisión, es decir, la señal que será percibida por el usuario real. La desventaja de los métodos objetivos es que pueden ser poco informativos y dar resultados inexactos. Por lo tanto, son desarrollados cuidadosamente y verificados por pruebas subjetivas.

**Pseudo-Subjective Quality Assessment - PSQA:** esta metodología propone un método híbrido entre las evaluaciones subjetivas y objetivas de la calidad de la experiencia [8]. La metodología PSQA nos permite obtener un valor acerca del QoE cercano

al valor promedio que nos daría un observador humano. PSQA está basado en el aprendizaje de cómo los observadores humanos cuantifican la calidad de un flujo de datos (audio, video, entre otros) bajo condiciones experimentales estandarizadas. El proceso de aprendizaje consiste en el entrenamiento de un algoritmo de aprendizaje automático con el fin de capturar la relación entre un conjunto de factores que tienen un fuerte impacto en la calidad percibida.

### 3 Trabajos relacionados

En esta sección haremos una breve revisión de la literatura existente con respecto a la evaluación del QoE en servicios móviles.

En [5], los autores se enfocan en la medición del QoE para video streaming sobre redes inalámbricas. Los autores hacen uso de enfoques de evaluación subjetivo, objetivo e híbrido y miden sus rendimientos. Específicamente, se centran en la metodología PSQA, y demuestran que por medio de dicho enfoque se obtienen resultados similares a los obtenidos en las pruebas subjetivas realizadas por los observadores humanos.

En [11], los autores presentan una aplicación móvil cuyo objetivo es obtener las métricas de QoS y evaluar el QoE en un entorno móvil. La aplicación móvil, desarrollada para la plataforma Android, actúa como un agente móvil que realiza las mediciones de las métricas específicas de un servicio. Para clasificar el QoE del usuario, los autores han considerado una escala MOS de cinco puntos [1]. Así, por medio de un modelo de cálculo del MOS y los parámetros recabados por el agente móvil, se obtiene un valor de MOS, el cual representa una estimación del QoE de un usuario.

Un modelo de correlación QoS-QoE para servicios de Internet móvil que utiliza el enfoque de Redes Neuronales es presentado en [7]. En la metodología propuesta, se hace uso de pruebas subjetivas para tres tipos de servicios de Internet móvil (navegación web, video streaming, descarga de archivos), además del uso de agentes móviles como medio para obtener parámetros de red. A partir de los datos recabados, la Red Neuronal (*Perceptrón Multicapa*) es entrenada con el fin obtener una correlación entre los parámetros de QoS y QoE.

En vista del estado del arte relacionado a la evaluación de QoE expuesto en este apartado, hemos identificado las siguientes limitaciones:

- Los reportes presentados no consideran todos los factores que inciden en el QoE. Por lo tanto, es necesario, diseñar un sistema de monitoreo que, además de monitorear los parámetros de QoS a nivel de red, realice el monitoreo a nivel de aplicación y también considere el monitoreo de los parámetros de estado del dispositivo móvil (memoria disponible, uso de CPU, entre otros).
- Comparar distintas técnicas de aprendizaje automático para el proceso de estimación del QoE y seleccionar la que arroja resultados más cercanos a lo que sería la percepción del usuario.

## 4 Método propuesto

En base a la problemática del monitoreo y evaluación de la calidad percibida por el usuario final, este trabajo tiene como objetivo general y aporte principal: el diseño de un modelo de estimación de la calidad de la experiencia para servicios de datos m\oviles, en particular en el streaming de video, considerando parámetros a nivel de red, dispositivo y aplicación.

### 4.1 Objetivos específicos

1. Desarrollo de una plataforma de transmisión de datos móviles que emule una red de transmisión de datos móviles real.
2. Desarrollo de una aplicación m\ovil (para la plataforma Android) que permita la recolección de parámetros a nivel de red, dispositivo y aplicación y la realización de pruebas subjetivas para la evaluación del QoE en el contexto de video streaming.
3. Recolección de datos que servirán de base para el objetivo de esta propuesta utilizando la plataforma y la aplicación m\ovil desarrollada.
4. Comparación e identificación de los algoritmos de aprendizaje automático m\as adecuados para la estimación del QoE en base a los parámetros obtenidos con la aplicación móvil.
5. Creación de un modelo de estimación del QoE para el contexto de video streaming, considerando parámetros a nivel de red, dispositivo y aplicación.

### 4.2 Metodología de solución

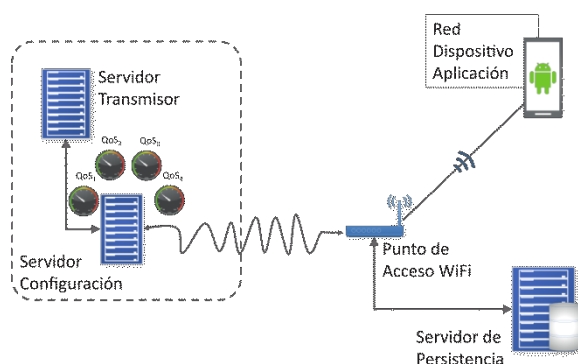
Este trabajo utiliza una adaptación de la metodología PSQA con el fin de generar un modelo de correlación entre la calidad experimentada por el usuario y los parámetros de calidad de servicio a nivel de red, dispositivo y aplicación. En la figura 1 se puede observar el *esquema propuesto en este trabajo*, que es llevado a cabo para la obtención del modelo de correlación mencionado. A continuación se describen brevemente cada uno de los componentes del esquema.



Fig. 1. Vista del proceso de obtención del modelo de correlación.

### 4.3 Sistema de recolección de datos

**1. Plataforma de transmisión de datos móviles:** el proceso de recolección de datos consiste en obtener la información necesaria acerca de cómo los usuarios evalúan la calidad de distintos servicios móviles ofrecidos bajo diversas condiciones de red y utilizando diferentes dispositivos móviles. Para este fin se optó por construir un entorno de laboratorio conformado por una plataforma de transmisión de datos móviles que nos permite emular una red de transmisión de datos móviles real. En la figura 2 se puede observar la composición general de la plataforma de transmisión.



**Fig. 2.** Plataforma de transmisión de datos móviles.

La plataforma de transmisión cuenta con cinco componentes principales, a continuación se describirá brevemente las funciones de los mismos dentro del entorno:

- *Servidor Transmisor:* este servidor es el encargado de almacenar el contenido del servicio móvil (videos) y luego transmitirlo a los diversos dispositivos conectados a la plataforma.
- *Servidor de Configuración:* es el encargado de realizar las variaciones de la condiciones de red, de forma a generar tráfico imperfecto, emulando los distintos escenarios de tráfico que reciben los usuarios. Para lograr lo anterior, el servidor modifica cuatro parámetros básicos de calidad del servicio: *ancho de banda*, *delay*, *jitter* y *paquetes perdidos*.
- *Punto de Acceso WiFi:* es el punto de acceso de los dispositivos móviles a la red conformada por el servidor de configuración y de transmisión.
- *Dispositivos Móviles:* son los encargados de conectarse al punto de acceso WiFi y ejecutar una aplicación Android de encuestas (pruebas subjetivas).
- *Servidor de Persistencia:* es el encargado de servir como repositorio de información de los datos enviados por los dispositivos móviles.

**2. Aplicación móvil Android:** para la realización de las pruebas subjetivas se utilizó la plataforma de transmisión de datos móviles descrita anteriormente y se desarrolló una aplicación Android cuyo propósito es realizar una encuesta a los usuarios

acerca de la calidad experimentada luego de la visualización del video, recolectar métricas a nivel de aplicación, recolectar los parámetros de red y obtener las características y el estado del dispositivo móvil que la está ejecutando.

- 3. Recolección de datos:** el proceso de recolección de datos consiste en la realización de pruebas subjetivas con usuarios reales utilizando la plataforma de transmisión de datos móviles expuesta en la figura 2 y la aplicación Android desarrollada. Cada prueba subjetiva se realiza bajo condiciones de red distintas. Para generar las distintas condiciones de red utilizadas en este experimento escogimos diversos valores para los parámetros de red seleccionados que pueden ser observados en el cuadro `\ref{tab:param}`.

**Table 1.** Parámetros de red emulados

Parámetros	Valores	Unidades
Ancho de Banda	350, 750, 1200, 1600	kbps.
Paquetes perdidos	0, 2.5, 5, 10	%
Delay	100, 300, 5000	ms.
Jitter	0, 25, 50	ms.

Como parte del proceso de pruebas subjetivas, fueron encuestadas un total de 70 personas, cada una de ellas realizó 5 pruebas con distintas configuraciones de red. En cuanto a los dispositivos móviles, se contabilizó un total de 34 dispositivos diferentes catalogados en tres gamas (baja, media o alta) de acuerdo a las prestaciones del procesador y el procesador gráfico, la memoria RAM y las propiedades de la pantalla (resolución y densidad de píxeles por pulgada). Posterior al proceso de recolección se realizó un proceso de análisis y limpieza de datos (*data cleaning*) sobre el total de las 350 muestras obtenidas. Como resultado del procesamiento de datos anterior, se obtuvieron 295 muestras de pruebas subjetivas.

#### 4.4 Experimentación

El proceso de experimentación consiste en el entrenamiento, comparación y selección de algoritmos de aprendizaje automático, que para el problema de la estimación del QoE, obtienen los mejores resultados de acuerdo a las métricas de evaluación, descritas posteriormente. Así, este proceso consta de lo siguiente:

- 1. Entrenamiento de algoritmos de aprendizaje automático:** a continuación se describirá el proceso de entrenamiento de los distintos algoritmos de aprendizaje ofrecidos por la herramienta de aprendizaje automático WEKA [3].

**Definición del conjunto de datos:** el conjunto de datos de entrada al proceso de entrenamiento constituye el conjunto de ejemplos utilizados para el entrenamiento y evaluación de los algoritmos de aprendizaje. En el presente caso, cada una de las pruebas subjetivas corresponde a un ejemplo o instancia del conjunto, mientras que cada uno de los datos recolectados por la misma corresponde a un atributo de la

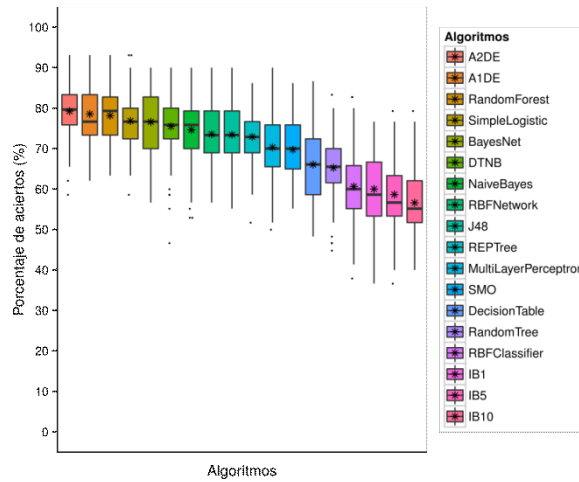
instancia. Se ha decidido analizar los atributos de las instancias en tres categorías diferentes: correspondientes al dispositivo, al estado de la red y aquellos correspondientes a métricas a nivel de aplicación. En la tabla 2 se detallan los atributos que forman parte de las instancias del conjunto de datos, separados en las categorías correspondientes.

**Table 2.** Atributos de las instancias del conjunto de datos.

Categoría	Atributo	Descripción
Dispositivo	Uso de CPU	Porcentaje de uso de la CPU del dispositivo.
	Uso de RAM	Porcentaje de uso de la memoria RAM del dispositivo.
	RAM	Cantidad total de memoria disponible.
	Nivel de batería	Porcentaje de batería disponible.
Red	Gama	Categorización del dispositivo de acuerdo a sus prestaciones
	Ancho de Banda	Ancho de banda efectivo.
	Paquetes Perdidos	Porcentaje de pérdida de paquetes de la red subyacente.
	Delay (RTT)	Tiempo de viaje de ida y vuelta de un paquete.
Aplicación	Jitter	Variación del delay.
	Tiempo de carga inicial	Cantidad de tiempo transcurrido durante el proceso de carga inicial del video.
	Tiempo de buffering	Duración promedio de los eventos de rebuffering.
	Frecuencia de buffering	Cantidad de ocurrencias de eventos de rebuffering.
	Cancelado	Atributo binario que indica la cancelación o no de la reproducción del video.

**Algoritmos de aprendizaje automático:** luego de definición de los datos, se realiza el proceso de entrenamiento y comparación de distintos algoritmos de aprendizaje automático con el objetivo de identificar aquellos que presentan mejor desempeño para el problema de la estimación del QoE. Los datos citados anteriormente se utilizaron como entrada de 18 algoritmos de aprendizaje automático. Se realizó un total de 10 ejecuciones de 10 *cross validation* para cada uno de los algoritmos configurados con los parámetros por defecto de WEKA 3.7.

**2. Comparación de algoritmos de aprendizaje:** para realizar un análisis comparativo de los distintos algoritmos de aprendizaje automático sobre el conjunto de video streaming utilizamos las métricas *porcentaje de aciertos*, *coeficiente kappa* y la *medida F* [4]. En la figura 3, se puede observar el diagrama de caja correspondiente a la métrica de porcentaje de aciertos.



**Fig. 3.** Diagrama de cajas con respecto al porcentaje de aciertos.

Para las métricas kappa y medida F se obtuvieron resultados similares, en donde los algoritmos A2DE, A1DE, RandomForest y SimpleLogistic presentaron los mejores resultados con valores promedio iguales a: (0.74 y 0.79), (0.73 y 0.78), (0.72 y 0.77) y (0.7 y 0.76), respectivamente.

Como resultado de los experimentos podemos concluir que para el conjunto de datos analizado los clasificadores A2DE y A1DE obtienen, en promedio, los mejores resultados para la mayoría de las métricas. Los algoritmos tales como: IBk, RandomTree, SMO y RBFClassifier obtuvieron valores inferiores en la mayoría de las métricas analizadas.

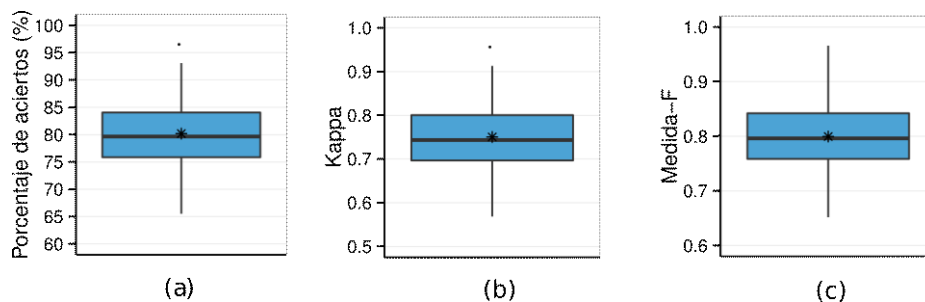
**3. Selección de algoritmos de aprendizaje:** de esta manera, obtuvimos el ranking de los algoritmos que se desempeñaron mejor para el conjunto de datos de video streaming: *A2DE*, *A1DE*, *RandomForest* y *SimpleLogistic*, en ese orden.

#### 4.5 Modelo de Correlación

**1. Diseño del sistema ensamblado:** para culminar el análisis iniciado en la sección anterior, se ha creado un sistema ensamblado [6] formado por los algoritmos con mejores desempeños: A1DE, A2DE, SimpleLogistic y RandomForest. La operación de combinación de los resultados de los algoritmos base del sistema ensamblado formado es sencilla: se toma como clase aquella votada por la mayoría de los



algoritmos base. En las figuras 4(a), 4 (b) y 4(c) se pueden observar los resultados obtenidos por el sistema ensamblado para el conjunto de datos analizado.



**Fig. 4.** Diagramas de cajas correspondientes a las métricas analizadas para el algoritmo ensamblado.

Como conclusión, observando los diagramas de cajas de las figuras 4(a), 4 (b) y 4(c), en promedio, el sistema ensamblado presenta mejores resultados en todas las métricas y una menor variabilidad en los resultados que los algoritmos base, notándose que la mayor parte de los resultados están centrados en la media.

**2. Modelo de estimación del QoE:** WEKA permite guardar los modelos obtenidos por los algoritmos entrenados como objetos Java serializados en un archivo binario. A partir de ello, se creó un archivo binario que representa al modelo (sistema ensamblado), el cual podrá ser nuevamente utilizado por medio de la librería Java del software WEKA. De esta manera, se obtiene como resultado una herramienta que permite estimar la calidad percibida por los usuarios (valor MOS) para el contexto de video streaming en base a los parámetros analizados.

## 5 Conclusión

Este trabajo presenta una herramienta que permite estimar el QoE para el contexto de video streaming en base al monitoreo de un conjunto de parámetros a nivel de red, dispositivo y aplicación. Esta herramienta puede ser de gran utilidad para las operadoras de datos móviles, debido a que otorga visibilidad acerca de las condiciones que afectan a la calidad de la experiencia. Con esta información, las operadoras pueden tomar acciones correctivas que permitan maximizar la calidad de la experiencia mediante la optimización del uso de recursos de la infraestructura de la red.

Como líneas de trabajo futuras, se propone realizar la validación del modelo de correlación obtenido con datos de un entorno operativo real. Además, este trabajo podría ser extendido incluyendo otros contextos de uso sobre transmisiones de datos móviles (live streaming, videoconferencias, entre otros). Igualmente se podrían incluir otros

factores que influyen en el QoE como parámetros de entrada del modelo de correlación, tales como: políticas de precios, el contexto, el perfil del usuario, entre otros.

**Agradecimientos:** este trabajo fue apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Agradecemos a los voluntarios de las pruebas.

## Referencias

1. ITU-T P.800. Methods for subjective determination of transmission quality. Tech. rep. (Aug 1996), [https://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp?lang=e&id=T-REC-P.800-199608-!!!PDF-E&type=items](https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-P.800-199608-!!!PDF-E&type=items)
2. Mobile crowd sensing and data offloading in collaborative networks (2013), <http://www-public.it-sudparis.eu/~maag/MOSAIC/index.html>
3. Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., Witten, I.H.: The weka data mining software: an update. ACM SIGKDD explorations newsletter 11(1), 10-18 (2009)
4. Japkowicz, N., Shah, M.: Evaluating learning algorithms: a classification perspective. Cambridge University Press (2011)
5. Piamrat, K., Viho, C., Bonnin, J., Ksentini, A.: Quality of experience measurements for video streaming over wireless networks. In: Information Technology: New Generations, 2009. ITNG'09. Sixth International Conference on. pp. 1184-1189. IEEE (2009)
6. Polikar, R.: Ensemble based systems in decision making. Circuits and Systems Magazine, IEEE 6(3), 21-45 (2006)
7. Rivera, S., Riveros, H., Ariza-Porras, C., Lozano-Garzon, C., Donoso, Y.: QoS-QoE correlation neural network modeling for mobile internet services. In: Computing, Management and Telecommunications (ComManTel), 2013 International Conference on. pp. 75-80. IEEE (2013)
8. Rubino, Gerardo: Quantifying the quality of audio and video transmissions over the internet: the psqa approach. Design and operations of communication networks: a review of wired and wireless modeling and management challenges. Imperial College Press, London (2005)
9. Soldani, D., Li, M., Cuny, R.: QoS and QoE management in UMTS cellular systems. John Wiley & Sons (2007)
10. Stankiewicz, R., Cholda, P., Jajszczyk, A.: Qox: what is it really? Communications Magazine, IEEE 49(4), 148-158 (2011)
11. Tsiaras, C., Sehgal, A., Seeber, S.: Towards evaluating type of service related quality-of-experience on mobile networks (2014)