

EVALUACION DE LA CALIDAD DE EXPERIENCIA (QoE) COMO CRITERIO
PARA HANDOVER VERTICAL

John Jairo Vélez Díaz

UNIVERSIDAD EAFIT
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA Y SISTEMAS
ESCUELA DE INGENIERÍA
MEDELLÍN
2015

EVALUACION DE LA CALIDAD DE EXPERIENCIA (QoE) COMO CRITERIO
PARA HANDOVER VERTICAL

JOHN JAIRO VÉLEZ DÍAZ
Código 200920009114

Entregado a la universidad EAFIT, como requisito para obtener el grado de
Maestría en Ingeniería

ASESOR:
JUAN CARLOS MONTOYA MENDOZA
MAGISTER EN INGENIERÍA INFORMÁTICA
jcmontoy@eafit.edu.co

Universidad EAFIT
Departamento De Informática y Sistemas
Escuela De Ingeniería
Medellín
2015

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi Padres Gilberto Vélez y Marina Díaz por su amor, enseñanzas y valores que me transmitieron.

A mi esposa Ángela Mayeli Gutiérrez por su apoyo incondicional durante estos años en cada una de los proyectos que he realizado y por su voz de aliento en los momentos difíciles.

A mis hijas Sara Isabel Vélez y Ester Lis Vélez por ser mi fuente de motivación e inspiración. Por sus cuestionamientos que cada vez me hacen pensar y crecer más.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por permitirme esta experiencia.

Gracias a mi esposa Ángela Mayeli por su tiempo, sus consejos y por el respaldo, incondicional, durante este proyecto.

Gracias a mis hijas Sara Isabel y Ester Lis por el tiempo que me regalaron cada fin de semana.

Gracias al profesor Juan Carlos Montoya por su asesoría en el desarrollo de la Maestría.

Gracias a Ana Vélez por realizar las encuestas con tanta dedicación y cariño.

1 Tabla de contenido

2	Introducción	16
2.1	Motivación	17
2.2	Formulación del Problema.....	18
2.3	Objetivos	18
2.3.1	Objetivo General	18
2.3.2	Objetivos Específicos.....	19
2.4	Justificación.....	19
2.5	Metodología.....	20
2.6	Estructura del Documento.....	21
3	Marco Teórico	23
3.1	QoE.....	23
3.1.1	QoE versus Experiencia de Usuario y QoS.	24
3.1.2	Factores de Influencia en la QoE.....	25
3.1.3	Métricas	27
3.1.4	Modelos para evaluar la QoE.....	29
3.1.5	Factores que aplican para iniciar un HOV por QoE.....	30
3.1.6	Mapeo de los parámetros objetivos a calificación subjetiva.....	31
3.2	Handover.....	33
3.3	Estado del arte	33
3.4	Trabajos Relacionados	41
4	Modelo Propuesto de QoE (MOS)	46
4.1	Modelo Para Evaluar la QoE.....	46
4.2	Validaciones Experimentales	50
4.3	Método Montecarlo para evaluación del modelo de cálculo de MOS y determinación de los parámetros del algoritmo de handover vertical.	54
4.4	Método Montecarlo para para evaluar el Modelo de MOS	58
4.5	Datos del Modelo para Cálculo de MOS Vs. Encuesta	61
5	Algoritmo para iniciar el handover	65
5.1	Pasos para realizar el handover	65
5.2	Algoritmo	67

6	Resultados.....	69
7	Conclusiones	71
8	Recomendaciones y trabajos futuros	72
	Bibliografía	73
	ANEXOS	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: QoE vs XU	25
Tabla 2: Funciones de correlación para tráfico Web,	42
Tabla 3: Comparación de valores experimentales Jitter y Latencia.....	48
Tabla 4: Resumen estadístico pruebas de Jitter.	53
Tabla 5: Resumen estadístico pruebas de Latencia.	53
Tabla 6: Ficha técnica encuesta.	54
Tabla 7: Función de distribución del MOS para diferentes de pérdidas de paquetes.....	60
Tabla 8: MOS para diferentes impactos de Latencia y Jitter	61
Tabla 9: MOS Modelo vs MOS Encuesta.....	62
Tabla 10: Valores estadísticos de MOS para los diferentes puntos de prueba.	63
Tabla 11: Cálculo de MOS en los límites sugeridos por CISCO.	63

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1: Factores que impactan QoE.	30
Gráfica 2: Mapeo QoS en términos de QoE.....	32
Gráfica 3: Estimación Exponencial de QoE en función de la pérdida de paquetes.	42
Gráfica 4: QoE en función del Jitter, Latencia y Pérdida de Paquetes.....	44
Gráfica 5: Esquema general del modelo de MOS.	46
Gráfica 6: Esquema de la construcción y validación del Modelo de MOS.	50
Gráfica 7: Esquema experimental para la toma de datos.....	51
Gráfica 8: Histograma del Jitter y Latencia.	52
Gráfica 9: Esquema General Método Montecarlo.....	55
Gráfica 10: Función de distribución de probabilidad Exponencial.	56
Gráfica 11: Función de distribución de probabilidad para el MOS.....	59
Gráfica 12: Función de distribución del MOS para diferentes de pérdidas de paquetes.....	60
Gráfica 13: Pasos para realizar el handover vertical.....	66
Gráfica 14: Márgenes para le handover vertical por MOS.....	67
Gráfica 15: Diagrama de flujo del algoritmo propuesto.	68

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Algoritmo usado para las medidas de Jitter y Latencia.	75
Anexo 2: Imágenes y resultados de la encuesta para evaluar el MOS de forma subjetiva.	77
Anexo 3: Formato usado para la evaluación del MOS en las imágenes de cada prueba.	78
Anexo 4: Algoritmo para evaluar el Modelo de MOS con el Método Montecarlo.....	79
Anexo 5: Resultados de la encuesta, calificación dada a la calidad de cada imagen del anexo 2.	80

RESUMEN

Actualmente existen diferentes tecnologías de acceso de banda ancha entre las que se pueden nombrar: 3G, LTE, WI-FI, las cuales son usadas por Prestadores de Servicios de Internet (ISP) y proveedores de servicios OTT (Over The Top) para transmitir audio, video y otros tipos de servicios multimedia. Dentro de los servicios distribuidos están los de tiempo real como: Voz IP (VoIP), video conferencia, streaming de video; para los cuales el usuario final es más exigente. Lo que un usuario desea es que el servicio esté disponible cuando él lo requiera y que una vez establecido lo pueda disfrutar hasta el final.

Siendo consecuentes con la realidad anterior, éste trabajo se centró en buscar un modelo que permita evaluar la Calidad de Experiencia (QoE) usando, como variables de entrada, uno o múltiples parámetros de Calidad de Red (QoS). Partiendo de las medidas del Jitter, Latencia y Pérdida de paquetes se construye un modelo que evalúa la satisfacción de usuario final en términos de MOS (Mean Opinion Score).

El modelo se evaluó a nivel teórico usando el Método Montecarlo. Esta técnica se lleva a cabo para evaluar la ecuación de cálculo de MOS propuesta, teniendo en cuenta que las entradas a la expresión son totalmente estocásticas y dependen significativamente de las condiciones de red bajo la cual se hace la trasmisión o de las condiciones de tráfico.

A nivel experimental se realizó una maqueta para medir variables tales como: Jitter, Latencia, Pérdida de paquetes en una video llamada por Skype. Se tomaron muestras de imágenes en diferentes escenarios y para cada una de ellas se hizo una evaluación subjetiva de la Calidad de Experiencia. La asignación de la calificación se hizo por encuestas, donde los valores asignados estaban en el rango de 1 a 5.

Con el fin de validar el modelo propuesto, para cada conjunto de pruebas experimentales se evalúa el MOS usando el modelo y se compara con las calificaciones de QoE obtenidas mediante encuestas, encontrando una buena correlación en cada escenario.

Finalmente, se propone un algoritmo para seleccionar la mejor red usando como criterio, para iniciar el handover vertical, la Calidad de Experiencia. A través del

modelo se encuentran los valores de MOS umbrales que se proponen para iniciar el handover vertical.

La tesis realiza una contribución a la problemática de QoE, usada como criterio para iniciar un handover vertical, proponiendo un Modelo para el cálculo de MOS.

Palabras Claves: QoE, MOS, Handover Vertical, Modelo MOS, Algoritmo.

ABREVIATURAS

AMC	Adaptative modulation and coding
ANN	Artificial Neural Networks
BER	Bit Error ratio
CQI	Channel Quality Indicator
EFL	Ernst Heinrich Weber
eNB	Nodo de acceso o estación base para LTE
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FR	Frame Rate o Full Reference (depende del contexto)
HARQ	(Hybrid Automatic Repeat ReQuest)
HSPA	High-Speed Packet Access
ISO	International Organization for Standardization
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones
Ji	Impacto para el Jitter
JND	Just Noticeable Difference
KQIs	Key Quality Indicators
Li	Impacto para la Latencia
LTE	Long Term Evolution
MDM	Movement Detection Module
MIH	Media Independent Handover
MM	Mobility Manager
MOS	Mean Opinion Score

mSCTP	Mobile Stream Control Transmission Protocol
MSE	Error cuadrático medio
NFC	Near Field Communication, NFC
NR	No-reference
PESQ	Perceptual Evaluation of Speech Quality
PLR	Packet Loss Rate
Plri	Impacto para la Pérdida de paquetes.
PSNR	Peak Signal to Noise Ratio
PSO	Particle Swarm Optimization
PSQA	Pseudo Subjective Quality Assessment
QoE	Calidad de Experiencia
QoS	Calidad de Servicio
RR	Reduced Reference
RSSI	Received Signal Strength Indicator
SNR	Signal to Noise Ratio
SSIM	Structural Similarity
TBS	(Transport Block Size)
UX	Experiencia del Usuario
VQM	Video Quality Metric

GLOSARIO

2G: red inalámbrica que ofrece servicio de voz por medio de la tecnología GSM y datos mediante GPRS.

3G: red inalámbrica que ofrece servicio de voz por medio de la tecnología R99 y datos mediante HSDPA y HSPA.

CALIDAD DE EXPERIENCIA (QoE): es una medida de la satisfacción de un cliente.

CORE: centro o núcleo de una red.

ESPECTRO: distribución de frecuencias.

HANDOVER INTER-RAT: es un handover vertical, frecuente entre LTE y 3G.

HANDOVER VERTICAL: proceso de transferir una comunicación de datos o voz de una red a otra de diferente naturaleza tecnológica.

HANDOVER: proceso de transferir una comunicación de datos o voz de una celda a otra.

HETNET: usado para nombrar redes heterogéneas, es decir el uso de múltiples de acceso con tecnologías diferentes.

IEEE 802.11: especifica normas para una red de área local inalámbrica.

METODO MONTECARLO: método estadístico numérico para evaluar modelos matemáticos.

MIH: estándar desarrollado por la IEEE 802.21 para habilitar el handover vertical.

MODELO: representación matemática de un proceso con el fin de describir o explicar una salidas partiendo de unos datos de entrada.

MOS: medida subjetiva de la Calidad de Experiencia, calificada de 1 a 5.

2 Introducción

Las tecnologías inalámbricas, que ofrecen movilidad, están hoy en día presente en la mayoría de las ciudades principales, el acceso es provisto por redes 2G/3G/4G. Cada tecnología ofrece diferentes niveles de servicio, en aras de garantizar una buena calidad es necesario estar con la red que ofrezca la mejor experiencia.

Por otro lado están las redes WI-FI, las cuales se han convertido en un factor importante dentro del concepto HetNet. Las redes IEEE 802.11 son una opción que toma cada vez más fuerza para convertirse en una extensión de las redes celulares dando un valor agregado en capacidad. El enorme crecimiento de datos móviles y las limitaciones en el espectro electromagnético exigen alternativas para hacerle frente al crecimiento exponencial¹ del tráfico móvil.

Los clientes son más exigentes y quieren que los servicios por lo que están pagando se presten en todo momento con buena calidad. Este requerimiento exige un cambio en la visión de los entes reguladores y de los operadores, invitándolos a pasar de un modelo enfocado en la red a un modelo enfocado en el cliente. Los modelos basados en la red se preocupan por optimizar parámetros del sistema. Un modelo basado en el cliente debe hacer seguimiento a la calidad de la voz, el video, los datos y a la accesibilidad y retenibilidad del servicio.

Aplicaciones en tiempo real como voz IP (VoIP), video conferencia, video streaming en vivo, son muy estrictas en los requerimientos de tiempo y en los parámetros de red que se requieren cuando se trata de hacer handover entre redes, conservando la QoE. Aplicaciones de éste tipo son cada vez más comunes en los teléfonos inteligentes y tablets. Los servicios de comunicación vía IP se harán más populares en la medida que se masifique los terminales inteligentes, los precios de los teléfonos y de los planes sean más competitivos, lo cual es un camino inevitable jalado por la competencia y la popularización de los servicios.

Todos estos factores hacen que la QoE juegue un papel muy importante en el mundo de hoy y que se convierta en herramienta clave hacer mejor uso de las redes. En este sentido es conveniente estudiar los diferentes modelos y métricas

¹ Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2014–2019 White Paper

que permitan garantizar la satisfacción del usuario. En particular es necesario encontrar un modelo que evalúe la QoE y que sirva como criterio de decisión para cambiar de red, si en un determinado momento el servicio que se entrega no ofrece satisfacción al usuario final.

2.1 Motivación

Cada vez es más común tener servicios en tiempo real, a los cuales el usuario puede acceder como una aplicación o son ofrecidos por sus proveedores. En el caso de Skype los usuarios hacen llamadas y video llamadas. Con Whatsapp los usuarios realizan llamadas gratis. Por el mismo estilo están aplicaciones como Viber y FaceTime. De acuerdo informe de tendencias que realiza Cisco², el crecimiento de tráfico de llamadas digitales al 2019 será del 53% usando VoWiFi (voz sobre WiFi), un 41% se prestara sobre VoLTE (voz sobre LTE), y un 6% será VoIP.

Por otro lado esta los dispositivos que el usuario utiliza para acceder a la red digital móvil, sea esta 3G, LTE o WiFi, los cuales se pueden dividir en 2 grupos; teléfonos inteligentes y equipos portátiles, dentro de los cuales se encuentran los laptop, tableta, etc. La evolución de estos dispositivos es cada vez mejor, los venden con buena capacidad de conectividad, más memoria y mejor procesador. Es de suponer que con todas estas mejoras, desde el punto de vista terminal, se den las garantías para, que a partir de esa evolución, el usuario pueda gozar una buena experiencia.

Tanto los terminales como las aplicaciones corren sobre múltiples tecnologías. Las redes 3G se han consolidado y mejorado evolucionando a redes HSPA+ garantizando mejores anchos de banda. Por su parte las redes LTE están en expansión ofreciendo velocidades superiores y más baja latencia que las redes legacy. Se cuenta a su vez con las redes WiFi implementadas por operadores, entes gubernamentales, sector privado o comercial.

El panorama descrito muestra un portafolio de tecnologías de acceso amplio, las cuales se pueden complementar, con el fin de que el usuario pueda sacar provecho a su equipo y de las diferentes aplicaciones que tiene a su disposición. Esta

² Ibid., p. 24

situación trae nuevos retos y oportunidades, como es contar un modelo que permita evaluar la QoE y que esta sirva, dentro de un escenario multitecnología, hacer un handover vertical con el fin de satisfacer las expectativas del usuario en relación con la prestación del servicio en todo momento. Hoy en día la ejecución de este tipo de handover es materia de investigación y presenta un campo interesante para ser explorado.

2.2 Formulación del Problema

Considerando un ambiente de múltiples tecnologías inalámbricas, se desea determinar una expresión así como definir los parámetros que permitan evaluar la QoE y que partiendo de esta se pueda iniciar un cambio de red (vertical handover). Alineados con la reflexión anterior, la presente monografía pretende responder la pregunta:

¿Cómo usar la QoE como criterio para iniciar un handover vertical?

En la búsqueda de la respuesta al problema planteado se deben orientar los esfuerzos en encontrar una expresión adecuada para evaluar la QoE. Es importante, además, identificar las variables a usar y encontrar para cada una su naturaleza y comportamiento en las tecnologías inalámbricas LTE y WiFi. Por otro lado el modelo se debe evaluar usando un método que permita ver que es consecuente con la realidad.

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo General

Desarrollar un modelo que permita evaluar la calidad de experiencia (QoE) que percibe un usuario y aplicarlo en el contexto de handover vertical.

2.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar los diferentes modelos y métricas empleadas para medir la QoE así como identificar el más apropiado para aplicarlo en el contexto handover inter-RAT o handover vertical.
- Determinar la naturaleza así como los parámetros de las variables de entrada al modelo de QoE.
- Realizar un análisis del modelo de QoE usando Simulación Montecarlo y un estudio con usuarios finales.
- Diseñar un algoritmo que permita iniciar un handover vertical partiendo de eventos que afecten la QoE.
- Determinar los valores umbrales para los cuales se debe iniciar el handover vertical en el algoritmo determinado.

2.4 Justificación

En la última década las redes móviles, con diferentes tipos de acceso, han crecido notablemente, en particular en los últimos años los operadores están implementando las redes LTE las cuales entran a interactuar con las redes existentes de datos 3G, WiMax o WiFi. El aumento del tráfico de datos, las limitaciones de espectro, lo altos costos para garantizar cobertura celular a nivel indoor, hacen que se deba trabajar con las redes WIFI como complemento de las redes LTE/3G.

Los entes estatales exigen a los operadores mantener una disponibilidad de la red y garantizar servicios de calidad³. Incumplimientos en disponibilidad o calidad llevan a que los operadores a pagar onerosas sumas de dinero al Estado. Facilitar el handover vertical entre redes LTE/EG y WIFI mitiga este aspecto.

Si se logra generar métricas que permitan evaluar la QoE en las redes disponibles, mediante el handover vertical se hará la selección de la red que

³ COLOMBIA. CRC. Resolución 4734 del 2015 de la CRC. – Condiciones de QoS de telecomunicaciones móviles.

garantice una mejor satisfacción para el usuario. Garantizar la experiencia del servicio lleva a las empresas a tener clientes satisfechos, a mejorar sus ventas y por ende a mejorar sus ingresos.

La presente investigación pretende ampliar el conocimiento en relación a la QoE, aplicados en el handover vertical para garantizar que el usuario siempre disponga de una red que le brinde mejor satisfacción. Gracias a este estudio se podrá conocer los modelos para representar la QoE, a partir de esa información construir un modelo propio el cual se debe validar y parametrizar.

La presente investigación propone un modelo para calificar la QoE, identifica y analiza las variables que más aportan a la evaluación de la calidad partiendo de los factores de influencia del sistema, evalúa el modelo propuesto usando el Método Montecarlo e identifica cuales son los valores umbrales a partir de los cuales se debe iniciar el handover vertical por QoE.

Se benefician con este trabajo: La universidad dado que sirve de punto de partida para continuar con la investigación y la implementación en escenarios de simulación. El Estado dado que los aportes se alinean con los decretos que velan por mejorar cada día la QoE. Los operadores los cuales le están apostando a migrar paulatinamente servicios de voz a tráfico digital en esquemas que puede ser VoLTE o VoWiFi. El usuario quien puede gozar de una mejor experiencia, haciendo uso de las redes que tiene disponible de forma transparente.

2.5 Metodología

En una primera fase se analizaron algunos modelos y métricas para la QoE. Se definieron los aspectos que aplican para iniciar un handover vertical en términos de las variables de red.

Se realizó una fase experimental para servicios de video llamada en los cuales se tomaron medidas de Jitter, Latencia y Pérdidas de paquetes en diferentes puntos, lo que permitía obtener una variedad de grados de calidad. Durante las pruebas se seleccionaron imágenes con calidad diferente para cada escenario de pruebas. En total se evaluaron 5 escenarios, en cada uno se caracterizaron las variables de entrada y se encontró la función de distribución de probabilidad que las caracteriza.

Mediante encuesta se realizó una calificación subjetiva en términos de MOS (Mean Opinion Score), para imágenes capturadas en los diferentes puntos de prueba. Mediante esta evaluación se obtiene la QoE, la cual nos sirve como base para evaluar el modelo.

Con las medidas obtenidas en la parte experimental y los diferentes modelos analizados se ajustó un nuevo modelo para medir el MOS y un algoritmo para iniciar el handover vertical. Para extraer los parámetros y el prosoproceso de la información se usaron herramientas de simulación como Matlab® y Python. Se utilizó el método Montecarlo para evaluar el Modelo.

2.6 Estructura del Documento

A continuación se describe como se organizó la monografía para cumplir con los objetivos planteados.

- **Capítulo 1:** se encuentra la tabla de contenido, el índice de: tablas, gráficos, anexos. Además se describen las abreviaturas y se expone el glosario del documento.
- **Capítulo 2:** Hace referencia a la introducción, motivación. formulación del problema, objetivos, justificación, metodología planteados y que dan sustento a la Monografía.
- El **Capítulo 3** empieza describiendo los conceptos de QoE y hace una diferenciación con el concepto de Experiencia de Usuario. En este apartado se resumen y clasifica los factores de influencia que afectan la percepción de un servicio. El capítulo aborda las métricas y los modelos usados para evaluar la QoE, haciendo énfasis en la importancia que tienen las funciones de utilidad para mapear parámetros de la red (plano objetivo) a calificaciones del servicio (plano subjetivo). El capítulo concluye con la definición de handover y una revisión del estado del arte.
- El núcleo de esta Monografía está en el **Capítulo 4**, el cual describe los antecedentes del modelo y el procedimiento usado para su formulación. En la construcción del modelo la validación experimental jugó un papel importante tal como se describe, a partir de ella se conoce la naturaleza de las variables en cuanto a su métrica y los impactos en la QoE. El capítulo

describe la validación del Modelo de MOS a través del Método Montecarlo. El capítulo termina haciendo una comparación entre los valores de MOS obtenidos experimentalmente vía encuesta y los valores de MOS obtenidos usando el modelo, tomando como parámetros de entrada los valores los promedios del Jitter, Latencia, y Pérdida de paquetes de cada escenario.

- El **Capítulo 5** describe los pasos que se deber tener en cuenta para realizar un handover vertical partiendo de la QoE. Dentro de este proceso se hace referencia al reporte y evaluación de las medidas, partiendo de ese dato se hará la selección del mejor candidato y se tomará la decisión de hacer el handover. El capítulo describe la preparación del enlace y la ejecución del mismo. El capítulo finaliza con la presentación del algoritmo y la parametrización que se debe tener en cuenta para preparar y realizar el handover. Es de notar que los valores umbrales fueron encontrados usando el Modelo de MOS propuesto en la monografía.
- En el **Capítulo 6** se describen los resultados obtenidos al desarrollar este trabajo. Se comenta los resultados obtenidos con el Modelo de MOS propuesto, la evaluación de la QoE para los límites que permiten tener un servicio aceptable de acuerdo a los parámetros definidos por Cisco. Se destaca como el modelo propuesto se puede ajustar y calibrar usando los coeficientes de impacto definidos para el Modelo de MOS. Como resultados también se destaca la utilidad que presento el Método Montecarlo a la hora de evaluar el Modelo de MOS.
- En **Capítulo 7** se expone las principales conclusiones a las que se ha llegado durante el desarrollo de esta monografía.
- Finalmente, en el **Capítulo 8** se describe las recomendaciones y trabajos futuros que se pueden abrir como consecuencia de éste trabajo.

3 Marco Teórico

3.1 QoE

A continuación se presentan varias definiciones de QoE de acuerdo a diferentes fuentes.

QoE es una medida del nivel general de satisfacción del cliente con un proveedor⁴.

Según la ITU⁵ la QoE es la aceptabilidad global de una aplicación o servicio, tal y como se percibe subjetivamente por el usuario final. Incluye la totalidad de efectos del sistema extremo a extremo.

Para la ETSI⁶ la QoE es una medida del desempeño que un usuario ve de un servicio basado en medidas subjetivas u objetivas. Tiene en cuenta los parámetros técnicos como el QoS, variables del contexto como la comunicación y además las medidas tanto del proceso y los resultados de comunicación (eficacia, eficiencia y satisfacción del usuario). Las medidas objetivas se basan en hechos concretos como pueden ser: tiempos, errores. Las medidas subjetivas se basan en la opinión de los usuarios algunas de estas son la calidad percibida, satisfacción de un servicio.

En el estudio realizado por Moller⁷ se definen la QoE como el grado de placer o de disgusto de una persona que experimenta cuando está usando un servicio, la aplicación o el sistema. Es el resultado de la evaluación de la persona del cumplimiento de sus expectativas y necesidades con respecto a la utilidad o el disfrute. Los autores diferencian entre persona y usuario, en esta definición, esto es porque amplían la definición de QoE también para sistemas (teatro en casa, cine, concierto).

⁴ <http://searchcrm.techtarget.com/definition/Quality-of-Experience>

⁵ <http://www.itu.int/md/T05-FG.IPTV-IL-0050/es>

⁶ ETSI, Human Factors (HF); Quality of Experience (QoE) requirements for real-time communication services, ETSI TR 102 643 V1.0.1 (2009-12)

⁷ Moller. Op. Cit., p. 25

Dentro de este contexto la experiencia es la percepción individual que ocurre en una situación particular. Por otro lado la calidad hace parte de un conjunto de características inherentes de un producto o sistema o proceso para cumplir con los requisitos del cliente y los demás interesados.

3.1.1 QoE versus Experiencia de Usuario y QoS.

De acuerdo con la ETSI el QoS (Quality of Service) se basa en el rendimiento técnico mientras que QoE está orientado en la satisfacción del usuario final. El termino QoS es ampliamente usado por los proveedores de equipos y operadores de redes y está basado en el desempeño tecnológico, está centrado en la tecnología. Por su parte la QoE se basa en el usuario final y por ende está centrado en el usuario.

La ETSI enfatiza que QoS es fundamental para evaluar la red pero no es suficiente para medir la calidad de la experiencia. Ambos criterios se consideran distintos, ambos son importantes y deben estar relacionados.

Para el caso de la QoE y Experiencia de Usuario (UX), ambos términos suelen tratarse por igual. De acuerdo a International Organization for Standardization (ISO) la Experiencia de usuario se define como: Las percepciones y las respuestas de un usuario que se derivan de la utilización de un producto, sistema o servicio. La experiencia del usuario depende de una variedad de elementos entre los cuales se puede comentar los relacionados al diseño y los que tienen que ver con sus emociones y sentimientos. Ese conjunto de factores y la interacción con ellos generan una percepción positiva o negativa del servicio desde el punto de vista del usuario.

Moller y otros⁸, comentan varios aspectos que tienen que ver con la experiencia de usuario: El primero es el temporal lo que implica que el UX está cambiando en el tiempo, naturaleza dinámica. Lo segundo tiene que ver con el contexto, lo que implica que la experiencia del usuario depende de características situacionales particulares. En tercera instancia UX está relacionado directamente con el Individuo, ante una realidad dos usuarios pueden tener una experiencia diferente. La Tabla 1, hace una diferenciación entre QoE y UX partiendo de diferentes enfoques.

⁸ Moller. Op. Cit., p. 25

Tabla 1: QoE vs XU

ASPECTO	QoE	UX
Origen	Las Telecomunicaciones	HCI (Human-computer interaction)
Motivo principal	Está centrado en la tecnología	Está centrado en la persona
Base teórica	Se basa en la práctica y la aplicación, usando los métodos tradicionales. Carece de una fundamentación teórica fuerte.	Se influye por la Psicología, su naturaleza es dinámica, independiente del contexto, subjetiva, individual.
Medidas y evaluación	Su métrica se basa en métodos numéricos y estadísticos, enmarcados en un estándar. Algunos modelos usan el Mean Opinion Score (MOS) para su evaluación. Otros estudios pasan de la medida cuantitativa (caso del MOS) a evaluaciones que permitan tener un conocimiento más amplio de la experiencia del usuario.	Se tiene un rango amplio de medidas y disciplinas las cuales no se enmarcan en un estándar.
Experiencia versus Percepción	Se base en la calidad, mucho menos que en la experiencia.	Su foco es la experiencia y la Percepción.
Producto, servicio	Se orienta a que el producto, servicio llegue de manera óptima al usuario.	Se preocupa por el diseño del producto o servicio.

Fuente: Moller y otros.

3.1.2 Factores de Influencia en la QoE

Un factor de influencia es una característica de un usuario, servicio, aplicación, sistema o contexto que puede tener una afectación en la QoE por el usuario⁹. Los factores de influencia son variables independientes que se deben evaluar para tener una mejor aproximación a la QoE. Los factores de influencia se pueden clasificar en 3 grupos¹⁰.

- Factores de influencia humanos: Son características propias del usuario como individuo, en marcado por sus formación física y mental, socio cultural, por su educación, por las experiencias previas, por su edad, por su disposición.

⁹ Moller. Op. Cit., p. 25

¹⁰ Moller. Op. Cit., p. 25

- Factores de influencia del sistema: Hace referencia a las características o configuraciones del sistema que determinan la calidad técnica de un producto, aplicación o servicio. Varios elementos se deben considerar en relación al sistema: Uno de ellos es el contenido, dependiendo de lo que se quiere transmitir serán las exigencias para el sistema, si se quiere transmitir en alta definición se requiere más ancho de banda que para una definición estándar. Otro elemento es la configuración del flujo multimedia en lo que tiene que ver con tipo de codificación, porcentaje de muestreo, porcentaje de frame, sincronización del flujo. Un tercer elemento relacionado con el sistema es la red en sí, de la cual depende el ancho de banda, retardo, Jitter, la tasa de errores y la velocidad de transmisión de los datos. En particular en las redes móviles estos parámetros pueden cambiar conforme se mueva el usuario. Un cuarto elemento son los dispositivos: equipos o sistemas que el usuario manipula, usa o disfruta. La configuración y el diseño en cuanto a una interfaz visual, la memoria RAM, la velocidad de la CPU, la red móvil que pueda seleccionar (3G/LTE), el tamaño de su pantalla son factores que influyen en la calidad de la experiencia para los usuarios.
- Factores de influencia del contexto: Son condiciones o situaciones que enmarcan el entorno del usuario, los factores de contexto pueden ser: 1. Físicos, describe la ubicación (indoor, outdoor, casa, en el trabajo, cafetería), el ambiente (ruidoso, tranquilo, temperatura), Movimiento (dentro de la ciudad, en una vía rápida, caminando, en el metro, en una moto, bus, vehículo particular). 2. Temporales: hace referencia al momento del día, de la semana, del mes, del año, de la estación. Dentro de esta categoría también se debe tener en cuenta la duración del contenido y la frecuencia de uso. 3. Social: Hace referencia a la interacción que se tiene con otras personas durante la experiencia o la que el individuo tiene por sí mismo, se deben considerar elementos culturales, la educación, el nivel profesional. El contexto social proporciona datos sobre los intereses, hábitos, comportamientos, tendencias de los usuarios. 4. Económico: Tipo de plan de datos, costo de la aplicación, gama del celular, alto o bajo despliegue de las redes móviles según sean zonas urbanas o rurales respectivamente, son factores que influyen en el tipo de experiencia. 5. Tareas: Ambientes multitareas, tareas corriendo en paralelo pueden influir en la experiencia dependiendo de cómo se estén administrando y distribuyendo los recursos para cada una de las actividades. Si las multitareas se están usando al mismo tiempo por el usuario (Ej. Viendo un

partido y leyendo el periódico) se puede ver comprometida la experiencia por la capacidad de atención humana. 6. Técnico y de información: Hace referencia a la interacción del sistema con otros sistemas o dispositivos incluye interconectados vía Bluetooth or Near Field Communication, NFC), a las aplicaciones, redes, interoperabilidad.

Como se comenta en los párrafos anteriores la QoE está influenciada por una variedad de factores, complejos e interrelacionados. Para la Maestría el enfoque se basó en los factores de influencia del sistema, como son el Jitter, Latencia y Pérdida de paquetes.

3.1.3 Métricas

La métrica es definida como un sistema que facilita la cuantificación de alguna característica en particular. Sin embargo cuando se habla de experiencia del servicio se involucran componentes subjetivos que aumentan la complejidad de las medidas¹¹.

El MOS es una métrica ampliamente usada para evaluar la QoE. Sin embargo tienen limitaciones, solo se enfoca en la calidad del audio y el video dejando por fuera aspectos importantes como el tiempo de respuesta de las aplicaciones o el grado de interactividad¹².

Métricas Subjetivas: se evalúa la QoE mediante encuestas controladas y preparadas cuidadosamente en los que se reproduce la muestra de video a los usuarios, quienes hacen una calificación del servicio. Se hace un promedio de las calificaciones generada por todos los espectadores para obtener una puntuación de opinión media, comúnmente conocida como MOS. Dentro de las metodologías de las técnicas para medidas subjetivas esta la PSQA (Pseudo Subjective Quality Assessment), la cual permite cuantificar la calidad del video, desde el punto de vista del receptor, después de que ha pasado por una red de datos (Internet). El cálculo se hace automáticamente y en tiempo real. La evaluación obtenida es muy parecida a la que se refleja de la percepción humana. Los algoritmos usan modelos de redes neuronales las cuales aprender de las reacciones que tienen

¹¹ Osipov, Evgeny (Editor); Kessler, Andreas (Editor); Bohnert, Thomas Michael (Editor); Masip-Bruin, Xavier (Editor) / Wired/Wireless Internet Communications 8th International Conference, WWIC 2010 : Luleå, Sweden, June 1-3, 2010. Proceedings. Berlin : Springer Science+Business Media, 2010. 397 p. (Lecture Notes in Computer Science; No. 6074).

¹² Ibid., p. 256

las personas respecto a su experiencia cuando observan el video. Otras técnicas estadísticas para manipular las tabulaciones subjetivas son: Correlación de Person, Regresiones Múltiples Lineales, o las técnicas de Rough Set Theory).

Métricas Objetivas: estas medidas combinan parámetros de QoS relacionados con parámetros de red y reacciones humanas como emoción, la motivación, satisfacción, actitud. Ambos componentes determinan la experiencia del servicio. Las técnicas usadas para realizar las medidas se basan en sistemas de información que mediante algoritmos y formulas miden la QoE.

Las métricas objetivas:

Peak Signal to Noise Ratio (PSNR): es un indicador importante que evalúa la similitud entre dos imágenes diferentes PSNR calcula el error cuadrático medio (MSE) de cada píxel entre las imágenes originales y recibidas, representados en dB. Las imágenes con más similitud darán lugar a valores de PSNR más altas [14]. La desventaja del método PSNR es que no tiene en cuenta y no involucra la percepción humana.

- Structural Similarity (SSIM): Este método es similar al PSNR pero tiene en cuenta variables relacionadas con la percepción humana, como son: luminosidad, contraste.
- Video Quality Metric (VQM): Propone mejoras respecto al método PSNR y SSIM. VQM detecta más variables perceptibles por los humanos en las imágenes y considera el desenfoque, ruido del medio y la distorsión del color. Esta medida también se utiliza el video original, por lo tanto, utilizando el método de medición de referencia completo la QoE.
- Mean Opinion Score (MOS): Inicialmente se usó para medir calidad de la voz (audio) partiendo de medir los retrasos, los cambios de fase, los códec utilizados y las pérdidas de paquetes. Cuando se usa el MOS para evaluar la experiencia del servicio en aplicaciones como el video, puede ser considerado como una meta-métrica¹³ dado que se consideran los valores de otros parámetros o medidas indirectas para generar la percepción final del usuario.

¹³ Ibid., p. 257

En esta tesis se hizo una combinación de los enfoques subjetivos y objetivos, es así como a través de un modelo se mapean parámetros del sistema en términos de MOS, con la cual se hizo una estimación de la QoE.

3.1.4 Modelos para evaluar la QoE

Poder medir es la esencia de saber cómo se está y que se puede mejorar. Cuantificar la experiencia del servicio es importante para los operadores, el estado y los usuarios con el fin de que se pueda monitorear el desempeño del servicio y generar políticas orientadas en su mejora continua, como un factor diferenciador en el mercado.

Partiendo de la clasificación que hace la ITU los métodos de evaluación objetivos se pueden clasificar en 5 grupos, dependiendo del tipo de dato que es usado para evaluar la calidad¹⁴.

- Parametric packet-layer model: La predicción del QoE se hace con la información contenida únicamente en la cabecera del paquete de datos, puede ser implementada aun si el payload es encriptado. Con éste modelo no se tiene acceso a la información multimedia; por tanto no se procesa dichos datos (multimedia), lo que lo hace un modelo simple para implementar.
- Parametric planning model: Las entradas para evaluar el modelo las toma de la red y los terminales. La evaluación se hace tomando datos de la red. Puede usar parámetros como: Esquema de codificación, tasa de bits, pérdida de paquetes, retrasos. En el caso del video tomar la resolución de la imagen y el tamaño de la pantalla. Para el audio usar eco y el volumen. Con los parámetros evaluados de la red y el terminal hace una estimación del MOS. El modelo para estimar la calidad es definido en ITU-T recomendación G.1070.
- Media layer model: La evaluación de la calidad de la experiencia se hace de la señal multimedia (voz y video); no hace uso de la información del sistema, como puede ser pérdida de paquetes, tasa de bits, tipo de códec.

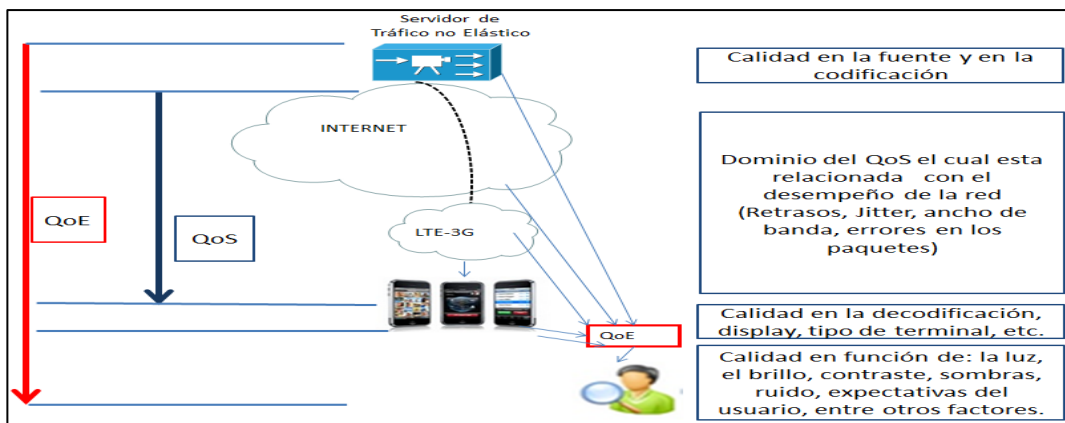
¹⁴ S. Chikkerur, V. Sundaram, M. Reisslein, and L. J. Karam, "Objective video quality assessment methods: a classification, review, and performance comparison," IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 57, no. 2, pp. 165–182, 2011.

- **Bit-stream model:** La calidad es evaluada mediante la extracción y el análisis de la información de los codec que conforman el flujo multimedia (bit-stream). Se puede considerar un punto intermedio del modelo “parametric packet layer” y el modelo “media layer”. Este modelo considera la degradación a nivel de codificación, no tiene en cuenta los efectos por errores en la transmisión como pueden ser Jitter y Pérdida de paquetes.
- **Hybrid Model:** Es un modelo muy efectivo en la media que toma muchos elementos de todos los modelos comentados anteriormente. En éste modelo se combinan los parámetros de QoS con información del que se obtiene por descomponer el video en “frames”. Al igual que en le Media layer también se pueden tener modelos FR, RR, NR.

3.1.5 Factores que aplican para iniciar un HOV por QoE

La QoE es un concepto amplio y depende de diversos factores involucrados extremo a extremo en la comunicación. Influye la forma como se codifica la información, como se transmite y las perturbaciones que puede tener el canal de comunicación. Del lado del receptor se impacta por la calidad de la decodificación, tipo de pantalla, estado del terminal, la luz, las sombras, expectativas del usuario, entro otros factores. La Gráfica 1 hace una clasificación de los factores comentados.

Gráfica 1: Factores que impactan QoE.



Fuente: Propia.

¿Cuáles son los factores que se deben tener en cuenta para iniciar un handover vertical por calidad en la transmisión de servicios en tiempo real (tráfico No Elástico)? Factores como calidad en la fuente, calidad en los códec, calidad del lado del usuario (ruido, la luz, el brillo), son condiciones que no se pueden cambiar con el handover vertical.

Los componentes de la QoE formados por el QoS (ver Gráfica No. 1) son objeto de mejorar con el handover vertical. De acuerdo a la clasificación que hace la ITU-T en su recomendación G.1080, la QoS es un componente fundamental del QoE.

Los parámetros de QoS se pueden identificar en diferentes capas, a nivel de red esos parámetros son: Pérdida de paquetes, retrasos y variación de los retrasos. Las métricas para correlacionar la QoE y el QoS son empíricas, teniendo la relación definida entre ambas expresiones se puede proceder en dos sentidos:

- Dado un QoS se puede en principio predecir la QoE, con algunas suposiciones.
- Para un valor objetivo de QoE, se puede hacer una aproximación a los requerimientos de red en cuanto a desempeño y recursos de red

3.1.6 Mapeo de los parámetros objetivos a calificación subjetiva

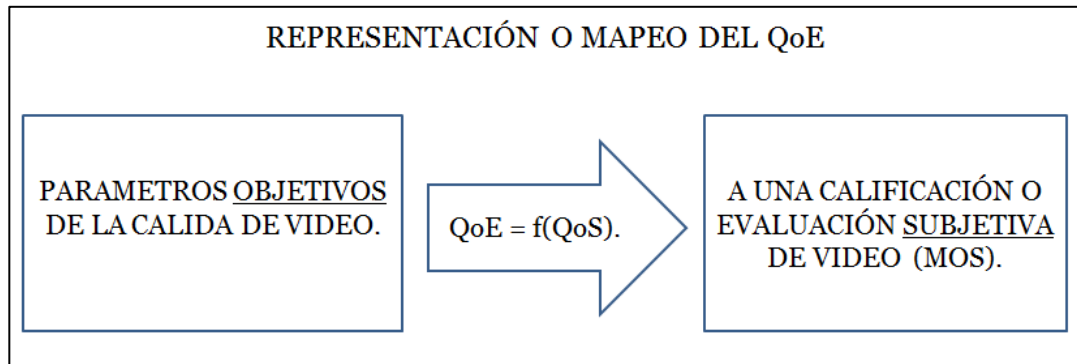
Los métodos subjetivos se hacen mediante encuestas. Tiene como ventaja que la calificación la hace directamente el usuario, involucrando diferentes aspectos de tipo sociológico, psicológico y ambiental. La desventaja radica en que no puede usarse en procesos en línea, como lo requiere un handover vertical.

Los métodos objetivos por su parte son diversos: Se pueden basar en medidas de referencia de la fuente y compararla con la información del destino y así determinar la QoE. Esto exige una sincronización entre emisor y receptor, además algoritmos complejos y alto nivel de procesamiento. El método objetivo con referencia parcial toma muestras de la señal de origen y se comparan con la información que llega el destino. El método es más rápido que el de referencia completa a costa de ser más impreciso.

Con el fin de tener un modelo más ligero y practico que permita, con bajo nivel de procesamiento, iniciar un handover vertical se plantea hacer una combinación de los métodos subjetivos y objetivos, a través de un mapeo de parámetros de QoS

(Jitter, Latencia, Pérdida de paquetes), esto es partiendo de parámetros objetivos de QoS hacer la evaluación de la QoE tal como se haría con un método subjetivo, es decir en términos de MOS. La Gráfica 2 esquematiza este planteamiento.

Gráfica 2: Mapeo QoS en términos de QoE.



Fuente: Propia.

$f(QoS)$ Es una función de utilidad que entrega una calificación para una combinación de parámetros de entrada relacionados con la calidad de la red, como son: Jitter, Latencia, Pérdida de paquetes. La función de utilidad tiene la particularidad de asignar un valor a todas las combinaciones de forma que las que se prefieran, QoE alta, tengan un valor más alto que las combinaciones que no se prefieran, QoE baja.

Las funciones $f(QoS)$ comunes¹⁵ se resumen en las siguientes expresiones:

Logística o Curva S:
$$MOS = \frac{a1}{1+e^{-a2*(VQ-a3)}} \quad (5.1)$$

Cúbica:
$$MOS = a1 + a2 * VQ + a3 * VQ^2 + a3 * VQ^3 \quad (5.2)$$

Exponencial:
$$MOS = a1 * e^{(a2*VQ)} + a3 * e^{(a4*VQ)} \quad (5.3)$$

Logarítmica:
$$MOS = a1 - a2 | \log(VQ) | \quad (5.4)$$

Potencia:
$$MOS = a1 * VQ^{a2} + a3 \quad (5.6)$$

¹⁵ M. Alreshoodi, J. Woods, "Survey on QoE\QoS Correlation Models for Multimedia Services", International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPSS) Vol.4, No.3, May 2013

En el capítulo 4 se indica cual fue el modelo seleccionado para hacer el mapeo de los parámetros lógicos a una medida subjetiva. También se aborda la validación del modelo propuesto usando el Método Montecarlo.

3.2 Handover

Se denomina handover al proceso de transferir una comunicación de datos o voz de una celda a otra. Este mecanismo garantiza la continuidad del servicio cuando los usuarios se están moviendo entre celdas. Los handover, desde el punto de vista de la tecnología, se pueden clasificar en¹⁶:

- Handover Horizontales: Cuando la transferencia del servicio se da entre celdas de la misma tecnología.
- Vertical Handover: Se da cuando el servicio se transfiere entre tecnologías de acceso diferentes. El reto importante en este tipo de handover es mantener la experiencia del usuario aceptable a pesar de presentarse alteraciones de IP, cambio de interfaces y las características de QoS de las diferentes redes. Dentro de este tipo de handover están la transferencia de datos de la red LTE a la red HSPA y viceversa. El handover vertical también se denomina Inter-RAT.
- Handover Diagonal: Este tipo de handover es una combinación del horizontal y vertical handover. Se dice que el handover es horizontal cuando se da en capas bajas como layer 2 de una red WIFI - XX y permite que el usuario continúe con su QoS pasando luego a otra red WIFI – YY (handover vertical).

3.3 Estado del arte

Inicialmente, la investigación se centró en determinar un modelo que permita realizar un handover vertical, tomando como base la QoE. Se planteó una expresión que asigna calificaciones a cada combinación de parámetros del sistema previamente definidos.

¹⁶ AHMED. Op. Cit., p. 21.

A continuación se presenta una síntesis conceptual de los documentos más relevantes dentro de la revisión de la literatura donde se destaca el objetivo de cada uno, los alcances y los planteamientos realizados en los mismos.

Logarithmic laws in service quality perception: where microeconomics meets psychophysics and quality of experience¹⁷: En el documento los autores usan las formulaciones logarítmicas para caracterizar la calidad de experiencia en los servicios de telecomunicaciones. En particular trabajan con voz sobre IP y servicios de móviles de banda ancha, evidenciando que la QoE sigue leyes logarítmicas.

El análisis que se describe, vincula la QoS (retardos, anchos de banda, pérdidas, tiempo de establecimiento) con la percepción de usuario final. En artículo se abre la discusión de cómo definir correctamente la QoE con métricas cuantitativas confiables y reproducibles que reflejen la satisfacción del usuario.

Los autores hablan de dos métricas para evaluar la calidad del usuario. La primera de ella es basada en las funciones de utilidad y la segunda tiene en cuenta la teoría de Ernst Heinrich Weber (EFL). Los métodos trabajados son básicamente dos el PESQ y el PSQA en ambos se usa parámetros de red como pérdida de paquetes y tasa de errores mapeados para reflejar una QoS. Se precisa en el artículo que solo se usan estos valores para trabajar en un escenario sencillo. Se puede tener un modelo más complejo involucrando otras variables como los codecs.

La QoE con el método de PSQA se hace de forma algorítmica en función de bit rate v and loss rate r .

$$QoE(v; r) = \log(arv + br). \quad (5.7)$$

Se analiza además la QoE mediante la función:

$$QoE = \alpha \cdot \exp(-\beta \cdot QoS) + 1. \quad (5.8)$$

Donde QoE es una función exponencial y el estímulo es la QoS.

De acuerdo las ecuaciones 5.7 y 5.8 los autores concluyen que la relación entre la QoS y la experiencia del usuario tienen una naturaleza mucho más indirecta.

¹⁷ Peter Reichl, Bruno Tuffin, Raimund Schatz. Logarithmic laws in service quality perception - where microeconomics meets psychophysics and quality of experience, Telecommunication Systems, 2011

El modelamiento que hacen los autores de la QoE se hace planteado tres capas: red, aplicación y usuario.

La capa de red está conformada por el acceso (HSPA, GSM, LTE, WI-FI), los elementos de CORE y los servicios. La parametrización a este nivel se hace mediante los KPIs de QoS, los cuales tienen que ver con medidas de tráfico y desempeño de red.

En la capa de aplicación están las diferentes utilidades que requiere el usuario como son VoIP, Web Browsing, E-mail. Cada aplicación tiene su propia forma de caracterizar para evaluar la QoE. El modelado y los criterios a usar en cada caso son diferentes.

Usuario: Hace uso de las diferentes aplicaciones y le interesa la confiabilidad y el desempeño de las mismas. Los autores usan los KQIs (Key Quality Indicators) como métricas sobre las diferentes aplicaciones. De acuerdo al modelo la QoS para una aplicación determinada es función de los KQIs y de unos factores que pueden influir sobre las mismas, como se muestra a continuación:

$$QoE = f(App; w_1KQI_1, \dots, w_nKQI_n). \quad (5.9)$$

Los autores explican varios casos como son el de la voz IP (VoIP), descarga de archivos bajo la óptica de una QoE logarítmica, usando pruebas directas con los usuarios, modelamientos, así como de un método más refinado como es el de PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality). Con los resultados de la evaluación de la QoE revisados en éste trabajo se hace una aproximación a lo que debe ser la percepción del usuario como un logaritmo de parámetro de QoS y una sumatoria de los KQI definidas en cada una de las capas de comunicación.

QoE-based Resource Reservation for Unperceivable Video Quality Fluctuation during Handover in LTE¹⁸: En el documento se propone un modelo de QoE que dinámicamente o estáticamente reserve recursos con el fin de mantener la calidad durante el handover en LTE. A pesar de que el handover al que hacen referencia acá no es vertical, lo incluimos dentro del análisis de la literatura por la forma como abordan la QoE, la cual sirve y da pautas en el enfoque esta tesis.

Los autores hablan de las diferentes variables que afectan la experiencia de un usuario al estar haciendo uso de un servicio en tiempo real. Los aspectos que

¹⁸ M. Shehada, B. Fu, S. Thakolsri and W. Kellerer, "QoE-based Resource Reservation for Unperceivable Video Quality Fluctuation during Handover in LTE", IEEE GLOBECOM, Apr. 2012.

más influyen son el ancho de banda, la pérdida de paquetes y la frecuencia con la que se hacen los handover en zonas donde hay alta concentración de estaciones y de usuarios.

El artículo hace referencia a como la percepción humana o la QoE están relacionada con umbrales, por tanto los autores trataron de identificar esos límites haciendo encuestas a diferentes personas usando el concepto de JND (Just Noticeable Difference). Los valores en la encuesta fueron tabulados en términos de MOS.

Los autores proponen una optimización por capas (Cross layer optimization). Se trabaja sobre 3 capas: física, datos y de aplicación. La capa de datos y física la analizan en conjunto desde el punto de vista de radio (Radio Link Layer). De acuerdo al modelo la velocidad LTE para un usuario k está dada por:

$$R_k = \alpha_k R_{max,k}, \quad 0 \leq \alpha_k \leq 1, k \in K \quad (5.10)$$

Donde $K = \{1, 2, \dots, k\}$ es el conjunto de usuarios en cada eNodeB. α_k es una fracción de recursos que le corresponde a usuario k . $R_{max,k}$ es la máxima velocidad para un usuario cuando reserva los recursos k . En LTE, el radio link layer está asociado al AMC (Adaptive modulation and coding) el cual se usa para seleccionar los esquemas de modulación de acuerdo a las condiciones de radio y al HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) que tienen su papel en las retransmisiones y la programación (scheduling) de los paquetes en el eNB. Ambas funcionalidades dependen de la calidad del canal (Channel Quality). La velocidad máxima para un usuario puede ser estimada partiendo del "Channel Quality Indicator" (CQI) sobre un periodo de tiempo. El CQI es mapeado con un esquema de modulación y un TBS (Transport Block Size) índice.

La segunda capa que se analiza es la de Aplicación, en la cual usan una función de utilidad U .

$$U = f(R), \quad f: R \rightarrow MOS \quad (5.11)$$

R es un conjunto de posibles velocidades. El MOS refleja la satisfacción del usuario el cual va de 1 a 4.5, donde 1 es inaceptable y 4.5 es una excelente percepción desde el punto de vista del usuario.

El artículo concluye explicando la QoE basada en un algoritmo para redistribuir recursos y otro para reservar recursos de manera dinámica o estática.

Enabling Vertical Handover Decisions in Heterogeneous Wireless Networks: A State-of-the-Art and A Classification¹⁹ : EL artículo describe los tipos de handover, los cuales son clasificados como: Handover horizontal, handover diagonal y handover Vertical. Respecto a este último lo definen como un handover entre dos tecnologías con accesos diferentes también se le conoce como Inter-dominio e Inter-RAT. El punto clave en el handover vertical es continuar prestando los servicios con calidad y buena experiencia a pesar de cambiar la dirección IP y trasladar todas las conexiones del móvil de una celda a otra.

En la primera parte el artículo habla sobre las consideraciones y puntos importantes que se deben tener en el handover vertical. Para el análisis dividen los aspectos a tener en cuenta en dos grupos: en el primero e tiene que ver con el handover en sí, en el cual se involucran los algoritmos, las estrategias usadas, los procedimientos, las técnicas de control y los criterios de desempeño. En un segundo grupo están los criterios de movilidad en los cuales se hace referencia a los escenarios usados, protocolos, parámetros utilizados. Es de resaltar que entre los aspectos del primer grupo y los del segundo existen relaciones, por ejemplo: Los parámetros de handover están relacionados con los criterios de desempeño o los escenarios con las estrategias. El artículo comenta como la calidad del servicio y la experiencia depende del diseño y las estrategias seleccionadas tanto en los puntos que tienen que ver con el handover como en los de movilidad.

El documento hacer referencia a los siguientes parámetros para tomar la decisión de hacer un handover vertical: RSSI es la intensidad de la señal recibida, carga de la red, costos del servicio, retardos en el handover, preferencias de los usuarios, número de handover innecesarios, probabilidad de falla del handover, control de seguridad, velocidad, rata de errores (BER), relación señal a ruido (SNR). Dichos parámetros se combinan para mejorar la QoE durante el handover.

¹⁹ Ahmed, A.; Boulahia, L.; Gaiti, D., "Enabling Vertical Handover Decisions in Heterogeneous Wireless Networks: A State-of-the-Art and A Classification," Communications Surveys & Tutorials, IEEE , vol.PP, no.99, pp.1,36, 2013.

El artículo propone cinco esquemas para tomar la decisión de hacer el handover vertical. El primer esquema se basa en RSS: La intensidad de la señal recibida es comparada con las de las celdas vecinas objetivos y un umbral definido. Este esquema se subdivide a su vez en 4 criterios de decisión por tiempo, umbral, intensidad, predicción. El segundo esquema es basado en QoS: Tiene por objetivo maximizar la QoS usando los parámetros correctos de la red como son el ancho de banda, la relación señal a ruido y también tiene en cuenta las preferencias de los usuarios. El Tercero en una función de decisión: En esta se introduce una función de costo con el fin de seleccionar la mejor red disponible. El cuarto es un esquema inteligente: usado en aplicaciones de tiempo real. Requiere herramientas que permitan correlacionar, analizar y reportar los recursos y el uso de la red, como pueden ser las redes neuronales (ANN). De acuerdo a los autores esta propuesta pretende concebir las redes en términos de QoE y no de QoS. El quinto es un esquema basado en contexto: Este esquema se da a través de diferentes pasos, en los cuales se detecta la información de las diferentes capas, se almacenan, se da una actualización y una distribución. En este tipo de esquema el handover se da por el conocimiento del contexto de los móviles y las redes con el fin de que se puedan tomar las mejores decisiones.

El artículo finaliza con una comparación entre los esquemas basada en: Aplicabilidad, parámetros utilizados, complejidad, método de selección de la red y la solidez del enfoque. Los parámetros de evaluación usados son: Latencia del handover, Pérdida de paquetes, costos en señalización, handover innecesarios, ping-pong, velocidad percibida, fallas en handover, seguridad, adaptabilidad, confiabilidad. Los esquemas que mejor prestaciones ofrecen en términos de QoE son los Inteligentes y los basados en contexto, ofreciendo una Latencia en el handover bajada, poca pérdida de paquetes, se disminuye los handover innecesarios, el ping-pong es bajo, la velocidad es alta, las tasa de falla de handover son bajas, ofrecen alta seguridad y por último su confiabilidad y adaptabilidad es alta.

A Quality of Experience Handover Architecture for Heterogeneous Mobile Wireless Multimedia Networks²⁰: El artículo propone una arquitectura para garantizar QoE en el handover de redes heterogéneas. Dicha arquitectura ofrece la mejor conexión o servicio en función de una superior satisfacción del usuario. El estándar seleccionado para garantizar la interoperabilidad en sistemas heterogéneos es denominado IEEE 802.21 o también denominado MIH (Media

²⁰ Jailton, J.; Carvalho, T.; Valente, W.; Natalino, C.; Frances, R.; Dias, K., "A quality of experience handover architecture for heterogeneous mobile wireless multimedia networks," Communications Magazine, IEEE , vol.51, no.6, pp.152,159, June 2013.

Independent Handover). El estándar aplica tanto para redes IEEE como no IEEE, como es el caso de la UMTS.

La arquitectura propuesta por los autores evalúa la QoE sobre el video. Según el artículo, se diferencia de otras propuestas dado que esta identifica la conexión más adecuada con un diseño especial, dado por un conjunto de módulos los cuales toman en cuenta la QoE necesario del usuario y los recursos disponibles. A través de simulaciones se demuestra que en momentos de congestión la calidad en el video se garantiza realizando un handover a una red inalámbrica con suficientes recursos disponibles.

Los módulos principales de la aplicación son: el primero es la QoE "Video quality estimator" recibe el video en una transmisión en tiempo real. El segundo es la QoE "mapping" garantiza la calidad del video después del handover en la nueva tecnología. El tercero QoE "Adaptation" este mantiene la calidad del video en momentos de congestión. En el artículo las valoraciones de la QoS se hacen en términos del MOS.

Handover in the Wild: The Feasibility of Vertical Handover in Commodity Smartphones²¹: El documento demuestra a través de varios experimentos la viabilidad de hacer handover verticales en terminal móviles inteligentes para video streaming en vivo, aplicación en tiempo real. El criterio usado para realizar el handover es la intensidad de señal. La arquitectura propuesta por los autores se basa en dos módulos principales, residentes en el teléfono: El primer módulo es Movement Detection Module (MDM), es el responsable por monitorear el estado de la red WiFi y le notifica al MM respecto de cambios en la IP. El segundo módulo es el Mobility Manager (MM), es la parte principal, monitorea el RSSI de la red WiFi activa además recibe información del MDM respecto al estado de las interfaces y decide si realiza o no el handover. Si el RSSI baja de un umbral definido la conexión es enviada a la red celular. El proceso continuamente monitorea el enlace WiFi a través del socket RTNETLINK.

La métrica usada para la QoE es una correlación con la variación en el retraso de los paquetes. Las medidas se califican en términos de MOS. Se seleccionaron dos escenarios para el experimento: El primer escenario utilizó mSCTP (Mobile Stream Control Transmission Protocol) el cual fue configurado de acuerdo al RFC

²¹ Soderman, P.; Eklund, J.; Grinnemo, K.-J.; Hidell, M.; Brunstrom, A., "Handover in the Wild: The feasibility of vertical handover in commodity smartphones," Communications (ICC), 2013 IEEE International Conference on , vol., no., pp.6401,6406, 9-13 June 2013

4960. En este caso se usó una política estática. En el segundo escenario se usó un algoritmo descrito en el documento basado en los umbrales y que difiere del primer escenario en que el handover se inicia de forma más temprana. Los resultados muestran que el comportamiento del QoE es mejor en el segundo escenario (dinámico). Los valores de QoE en términos de calificación del MOS mostraron calidades muy bajas por un periodo mayor en el escenario estático.

Quality of Experience: Advanced Concepts, Applications and Methods²²: El libro constituye un manual que recopila trabajos de diferentes investigadores sobre la Calidad de la Experiencia. Los autores abordan temas para entender y diferenciar la QoE con la Experiencia del Usuario (UX). Así como entender los alcances de la QoS y la QoE. También se abordan los factores de influencia que afectan la experiencia agrupándolos en factores humanos, del sistema, del contexto, sociales, económicos, técnicos. Los autores presentan diferentes escenarios de comunicación y servicios para los cuales muestran métodos para calcular la QoE, entre los servicios se encuentran: Sistemas de comunicación de voz, sistemas de comunicación de texto, Teleconferencia, transmisión de audio, video streaming, Video en 3D, Web Browsing, entre otros.

En el libro los autores dedican un capítulo al estudio de la QoE cuando se presentan cambios de redes inalámbricas (handover heterogéneos). Presentan estudios comparativos en términos de MOS para una red WiFi y una red HSPA luego de hacer el handover, en el análisis involucran la codificación y la decodificación tanto para la voz como para el video. Los autores concluyen en la importancia de hacer una adecuada selección de la red inalámbrica y de los códecs para proveer una alta experiencia. En particular para el caso del Handover se puede prevenir una reducción en la calidad utilizando una configuración más robusta, usar técnicas de adaptación de la calidad de forma temprana, o minimizar la pérdida de paquetes.

Mean Opinion Score Based Handover Protocol with Particle Swarm Optimization for Multi Objective Constraints²³ : Los autores proponen un

²² Moller, Sebastian and Raake, Alexander, Quality of Experience: Advanced Concepts, Applications and Methods, Springer, 2014. Advanced Concepts, Applications and Methods. T-Labs Series in Telecommunication Services

²³ Pritha R, Thamil: Menakadevi, T. Mean Opinion Score Based Handover Protocol with Particle Swarm Optimization for Multi Objective Constraints, IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)

e-ISSN: 2278-2834,p- ISSN: 2278-8735.Volume 9, Issue 2, Ver. II (Mar - Apr. 2014), PP 31-40
www.iosrjournals.org.

esquema de handover entre redes UMTS y WiMAX basado en las medidas de MOS. Para seleccionar un valor óptimo de MOS los autores proponen un algoritmo de nominado "Particle Swarm Optimization" (PSO) con el fin de escoger la mejor celda. Para realizara un handover basado en MOS el algoritmo PSO requiere de las siguientes entradas: Los sectores o celdas vecinas, el ancho de banda disponible en cada estación base, la pérdida de paquetes en cada interfaz inalámbrica entre el móvil y la estación base y por supuesto el MOS de la conexión en curso. Esa información se obtiene por medio de la función MIH (media-independent handover) la cual está incluida en el estándar IEEE 802.21, de acuerdo a los investigadores.

Con el algoritmo propuesto por los autores (PSO) se logró una mejora en el desempeño del handover, con el cual se logra: una reducción del 20% en el retardo, una disminución en la pérdida de paquetes del 50%, una disminución en la caída de llamada del 20%, el ancho de banda se incrementa en un 5%. Esos valores, según los autores, demuestran que el esquema propuesto mantiene una alta calidad y reduce la probabilidad para la caída de la llamada y la falla del handover.

La propuesta que se hace en el anterior artículo, es una buena aproximación a un handover iniciado por QoE.

3.4 Trabajos Relacionados

En la literatura existen diversos autores que han usado funciones exponenciales para ajustar los modelos de MOS. A continuación se hará referencia de algunos de ellos.

Para tráfico Web²⁴, hacen la comparación de tres relaciones para un modelo de QoE: Logarítmica, Lineal y Exponencial; de acuerdo a los coeficientes de correlación mostrados, ver Tabla 2, las mejores son la Exponencial y Logarítmica. La variable de entrada a cada función es el tiempo de respuesta para cada página.

²⁴ A. Könsgen, A. Singh, A. Mahmoud, X. Li, C. Görg, M. Kus, M. Kayralci and J. Grigutsch, "Enhancing Quality of Experience (QoE) Assessment Models for Web Traffic" in 5th International Conference on Mobile Networks and Management (MONAMI), Cork, Ireland, Sept. 2013, p. 204.

Tabla 2: Funciones de correlación para tráfico Web,.

Relation	QoE Model	Coefficient of correlation
Logarithmic	$MOS = -1.426 \cdot \ln(T) + 4.469$	0.994
Linear	$MOS = -0.318 \cdot T + 4.158$	0.983
Exponential	$MOS = 4.836 \cdot \exp(-0.15 \cdot T)$	0.995

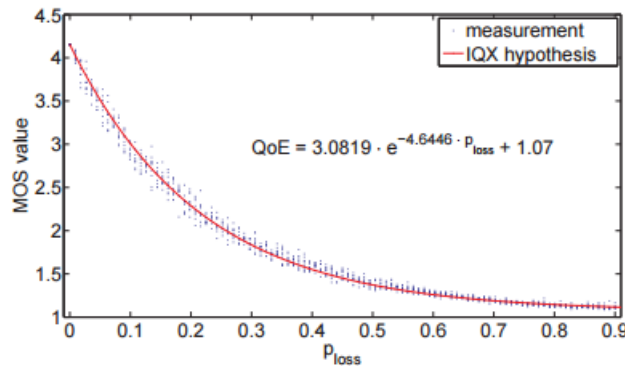
Fuente: M. Alreshoodi y otros²⁵.

Tobias Hossfeld habla de la relación Exponencial entre el QoS y el QoE, la cual llama IQX²⁶; la QoE es cuantificada en términos de MOS. La variables de entrada usada en el modelo es la pérdida de paquetes extremo a extremo de la red. La ecuación que plantea es (5.12):

$$QoE = \alpha \cdot e^{-\beta \cdot P_{loss}} + \gamma \quad (5.12)$$

La curva de salida se representa en la Gráfica 3.

Gráfica 3: Estimación Exponencial de QoE en función de la pérdida de paquetes.



Fuente: Hoßfeld²⁷.

Es de notar que Tobias Hossfeld, junto con otros autores ha escrito otros artículos en los que se comenta la relación exponencial entre el QoS y QoE. Uno de ellos es “Testing the IQX Hypothesis for Exponential Interdependency between

²⁵ Ibid., p. 204

²⁶ Hoßfeld, T., Tran-Gia, P., & Fiedler, M. (2007). Quantification of quality of experience for edge-based applications. Report No. 423 (pp. 1-13).

²⁷ Ibid., p. 7

*QoS and QoE of Voice Codecs iLBC and G.711*²⁸. En este artículo involucra como factores de influencia el Jitter, el Delay y la Pérdida de paquetes en un escenario para voz IP usando los códec iLBC y G.711.

En el artículo “*A network algorithm for 3D/2D IPTV distribution using WiMAX and WLAN technologies*²⁹” se propone una ecuación para evaluar QoE, usando como factores de influencia Jitter, Latencia y Pérdida de paquetes. Los autores proponen un algoritmo para seleccionar la mejor red de acceso que brinde una buena experiencia para el usuario, analizando en particular las redes WiMax y WLAN. La expresión usada es de carácter exponencial, como se muestra a continuación:

$$QoE = \frac{1}{(Delay + K1 \cdot Jitter) \cdot e^{Packetloss}} \quad (5.13)$$

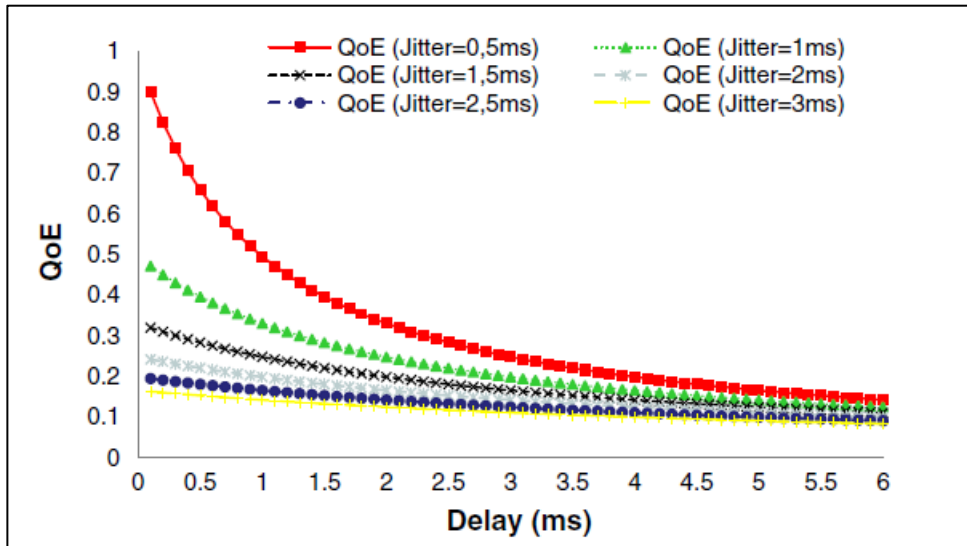
La calificación que hace con esta expresión es de 0 a 1, no está en términos de MOS, como se muestra en la Gráfica 4. Los valores para el Jitter y Delay usados son valores típicos en una red WLAN, en el caso de una red LTE o 3G los valores cambian significativamente. Si usamos los valores límites que recomienda Cisco³⁰, el valor de QoE toma valores cercanos a cero, lo cual no refleja la realidad.

²⁸ T. Hoßfeld et al., “Testing the IQX Hypothesis for Exponential Interdependency between QoS and QoE for Voice Codecs iLBC and G.711,” 18th ITC Specialist Seminar Quality of Experience, Karlskrona, Sweden, May 2008

²⁹ Lloret, J.; Canovas, A.; Rodrigues Joel, J.P.C.; Lin, K. A network algorithm for 3D/2D IPTV distribution using WiMAX and WLAN technologies. J. Multim. Tools Appl 2011. [Google Scholar] [CrossRef] - See more at: <http://www.mdpi.com/1424-8220/12/2/2062/htm#sthash.OzIV8J8E.dpuf> p. 11.

³⁰ http://www.cisco.com/en/US/technologies/tk869/tk769/technologies_white_paper0900aecd806bfb52.html

Gráfica 4: QoE en función del Jitter, Latencia y Pérdida de Paquetes.



Fuente: Lloret, J³¹

Alreshoodi³², en su artículo “Survey on QoE/QoS Correlations Models For Multimedia Services” Hacen una clasificación de las diferentes técnicas para evaluar los modelos de calidad. En particular dedican una sección para hablar de las funciones de mapeo; comentando cuales son las más usadas: Logística, Exponencial, Logarítmica y de Potencia. En otro apartado habla de los parámetros de mapeo, indicando como la mayoría de las estimaciones de QoE usan coeficientes y variables heredados de QoS.

KHAN³³, El artículo propone la ecuación (5.14) que calcula el MOS en términos de: FR (Frame Rate), tasa de codificación (SBR), y el tipo de contenido, el cual está caracterizado por los coeficientes a1, a2, a3, a4, a5. Desde el punto de vista de RED se basa en la pérdida de paquetes (PER). El coeficiente de correlación para este caso es de 80%. Para velocidades más altas el modelo proporciona un mejor coeficiente de correlación del orden de 91%.

$$MOS = \frac{a1+a2.FR+a3.ln(SBR)}{1+a4.PER+a5.(PER)^2}, FR (Frame Rate), SBR (Tasa de codificación). \quad (5.14)$$

³¹ LLORET. Op. cit., p 11

³² ALRESHOODI, Op. Cit., p. 57.

³³ A. Khan, L. Sun, and E. Ifeachor, “Content-Based Video Quality Prediction for MPEG-4 Video Streaming over Wireless Networks,” Journal of Multimedia, vol. 4, no. 4, pp. 228-239, August 2009.

Para el iniciar el handover no se consideró conveniente este modelo por no involucrar variables como Jitter y Latencia los cuales impactan considerablemente la transmisión de los servicios multimedia en línea.

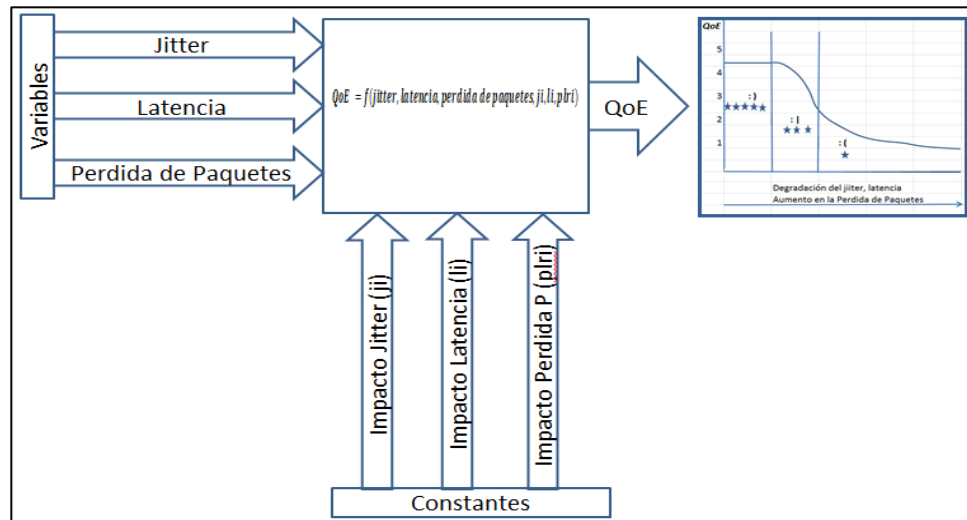
El modelo expresado en (5.13) no hace una evaluación de la QoE en términos de MOS y se debe hacer un ajuste del modelo para que sea consecuente con la naturaleza de las variables de acuerdo a las tecnologías LTE y WiFi.

4 Modelo Propuesto de QoE (MOS)

4.1 Modelo Para Evaluar la QoE

El objetivo de crear un modelo que evalúe la QoE, para iniciar un handover vertical, implica definir unas entradas con las que pueda predecir cómo se impacta el servicio en función de su cambio. Por tal razón, se hace necesario encontrar una expresión que establezca la correlación entre los parámetros objetivos y la variable de salida, en este caso el MOS. La Gráfica 5, muestra el esquema con las entradas y salidas que enmarcan el modelo objeto.

Gráfica 5: Esquema general del modelo de MOS.



Fuente: Propia

Las entradas del modelo son parámetros de QoS, a nivel de red esos parámetros son: Jitter, Latencia, Pérdida de paquetes. La correlación entre la QoE y la QoS, en el presente estudio, se hace de manera empíricas o indirectas.

Jitter: El Jitter por definición es la variación del retardo entre un paquete y otro. Para el modelo propuesto las unidades de entrada del Jitter son segundos (s), se debe hacer la respectiva conversión, teniendo en cuenta que típicamente se mide en milisegundos para ambientes inalámbricos.

Latencia: Es el tiempo que tarda un paquete de llegar de la fuente a su destino. La unidad usada en el modelo es el segundo (s), se debe hacer la respectiva conversión teniendo en cuenta que Latencia típicamente se mide en milisegundos.

PLR (Packet Loss Rate): mide, en porcentaje, la cantidad de paquetes que no llegan a su destino.

li: Impacto de la Latencia.

ji: Impacto del Jitter.

plri: Impacto de la pérdida de paquetes.

La salida del modelo es la calificación o evaluación de la QoE, la cual se hace en términos de MOS. Dependiendo de los valores de entrada para el Jitter y Latencia así como de la probabilidad de pérdida de paquetes se tendrá una salida de 1 a 5, donde: 1 es muy mala, 2 es mala, 3 es regular, 4 es buena y 5 es muy buena.

Ahora bien, se definieron las entradas al modelo que básicamente son variables aleatorias obtenidas de la QoS. Se tiene una salida que evalúa que la QoE en términos de MOS. Se debe definir la expresión del modelo, representado en el esquema de la Gráfica 5, por la ecuación (5.15).

$$QoE = f(\text{Jitter}, \text{latencia}, \text{pérdida de paquetes}, ji, li, plri) \quad (5.15)$$

El modelo expresado en (5.15) tiene la ventaja de involucrar varios factores de entrada (Jitter, Perdía de Paquetes, Latencia), como lo requeridos en la expresión (5.13). Si se evalúa como criterio para iniciar un handover vertical en términos de MOS se le deben hacer las siguientes modificaciones: La primera, adaptar la escala de salida de 1 a 5 para una combinación aleatoria de parámetros de entrada. La segunda tiene que ver con ajustar los coeficientes para que el modelo sea consecuente con la naturaleza de las variables de acuerdo a las tecnologías LTE y WiFi.

Para adaptar la escala, se usa la expresión dada por la ecuación³⁴ (5.16). Nótese que la función de mapeo es similar a una de tipo “logistic”, ver ecuación (5.1)

$$MOS = 0,999 + 4/((1 + f(e))), \text{ donde } f(e) \text{ es una función Exponencial (5.16)}$$

Se tienen dos ecuaciones alineadas con el modelo: está la expresión (5.13), la cual usa los parámetros de entrada que se requieren a nivel de QoS, con la novedad de que no tiene salida en términos de MOS y además se debe ajustar para que sea consecuente con la naturaleza del Jitter y la Latencia en redes LTE y WiFi. Por otro lado se presentó la ecuación 5.16 que aplica para adaptar la escala. Se usan las ecuaciones 5.13 y 5.16 para encontrar el modelo que pueda evaluar la QoE y que a su vez permita servir de criterio para iniciar un handover vertical.

Los valores experimentalmente de LLORET³⁵ en la ecuación 5.13 para el Jitter y la Latencia varían significativamente con los realizados en este estudio, la Tabla 3 muestra la diferencia. Esto puede deberse principalmente a que las pruebas se hacen entre dos tecnologías inalámbricas WiFi y LTE, donde las medidas se hacen de ida y vuelta, además los escenarios usados en cada caso son diferentes. La validación experimental realizada se detalla en la sección 5.4.3. Esta variación hace que se deba ajustar la ecuación 5.13 para que entre en sintonía con los valores naturales de las variables de entrada al modelo propuesto y con la tecnología LTE.

Tabla 3: Comparación de valores experimentales Jitter y Latencia.

	Experimentos Realizados (escenario optimista)			Experimentos LLORET J.		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
Jitter (ms)	673,7	30,9	0,3	4,42	3,61	0,27
Latencia (ms)	674	54,1	24,7	3,98	1,94	0,26

Fuente: Propia.

Luego de la validación experimental y partiendo de las ecuaciones 5.13 y 5.16 se propone el siguiente modelo:

³⁴ [https://www.bth.se/com/ccs.nsf/attachments/QoE_Course_L1_Concepts_pdf/\\$file/QoE_Course_L1_Concepts.pdf](https://www.bth.se/com/ccs.nsf/attachments/QoE_Course_L1_Concepts_pdf/$file/QoE_Course_L1_Concepts.pdf), p. 9

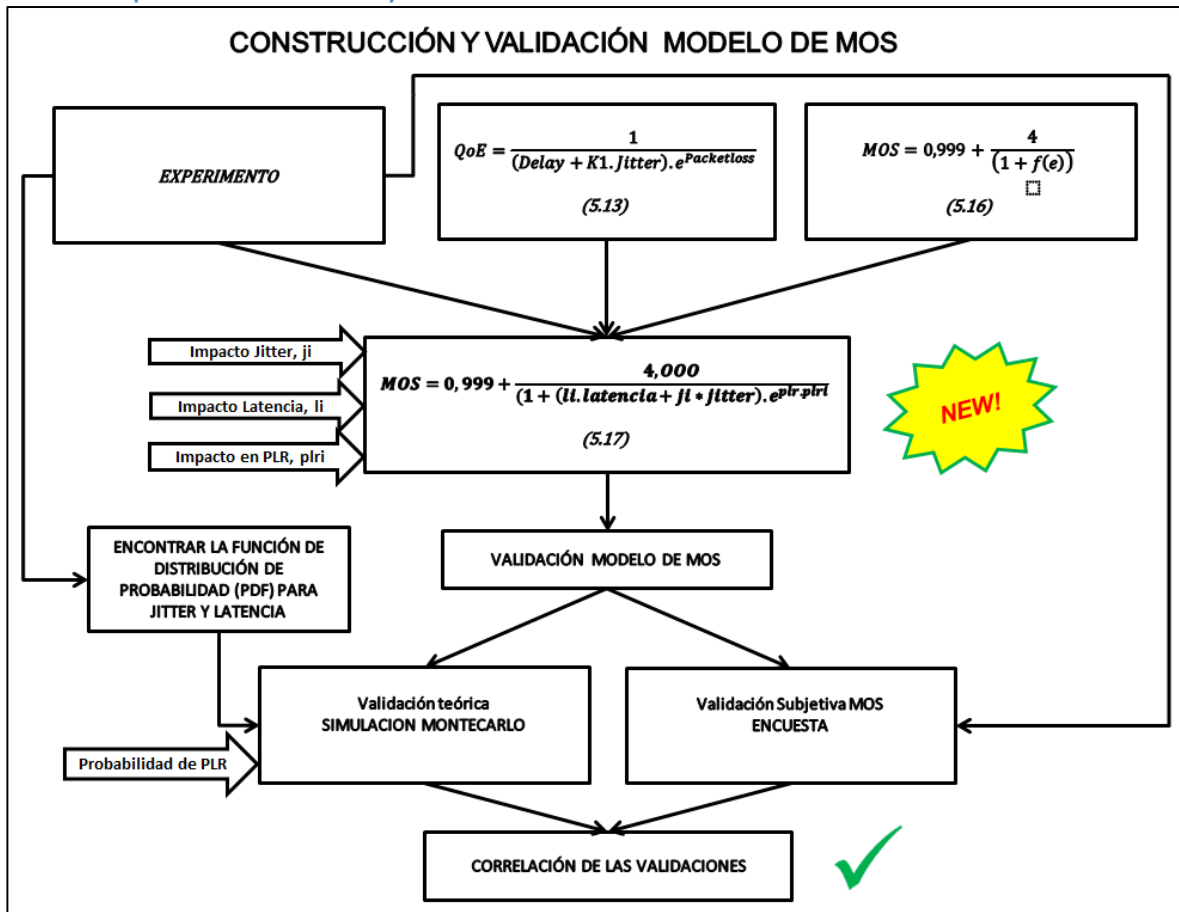
³⁵ LLORET, Op. Cit., p. 11.

$$MOS = 0,999 + \frac{4,000}{(1+(li.latencia+ji*jitter).e^{plr.plri})} \quad \text{Ecuación (5.17)}$$

Este modelo ajusta los valores de entrada, pondera impactos para la Latencia, el Jitter y la Pérdida de Paquetes. Con esto entrega valores de MOS que dependiendo de la calidad del video y del audio oscilan entre 1 y 5.

La Gráfica 6 hace un resumen de cómo se construye el modelo: En primera instancia se tiene una fase experimental con la cual se caracterizan las variables de entrada y se definen las funciones de distribución de probabilidad para el Jitter y Latencia. Como segunda entrada se tiene la ecuación 5.13, la cual involucra las variables de interés para monitorear tráfico no elástico, como son Jitter, Latencia y Pérdida de paquetes. Por último se tiene la ecuación 5.16 para normalizar el modelo en términos de MOS. Los impactos definidos como entradas ayudan hacer una optimización y ajuste del modelo.

Gráfica 6: Esquema de la construcción y validación del Modelo de MOS.



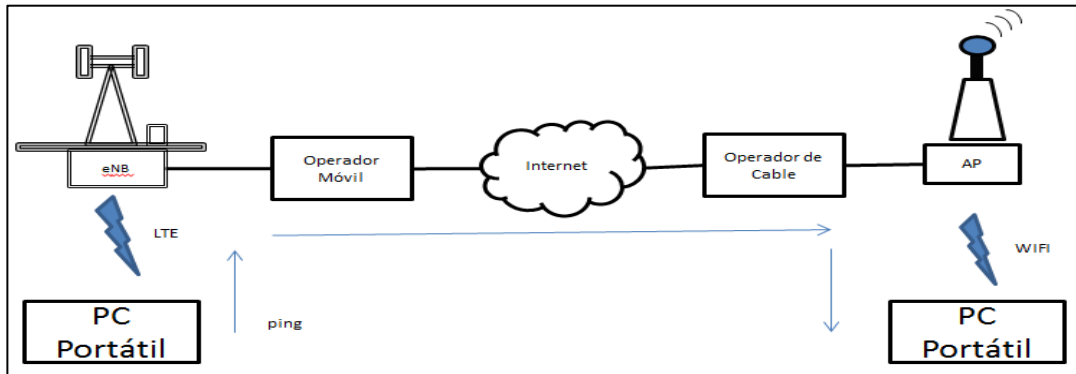
Fuente: Propia

Las siguientes secciones detallan la validación experimental del modelo. Se utilizará para ello el Método Montecarlo.

4.2 Validaciones Experimentales

El objetivo de la fase experimental es evaluar, para diferentes puntos de cobertura, el valor de la Latencia, el Jitter y la Pérdida de paquetes y su impacto en la QoE en video llamada por Skype. La Gráfica 7 muestra el esquema usado para la prueba.

Gráfica 7: Esquema experimental para la toma de datos.



Fuente: Propia.

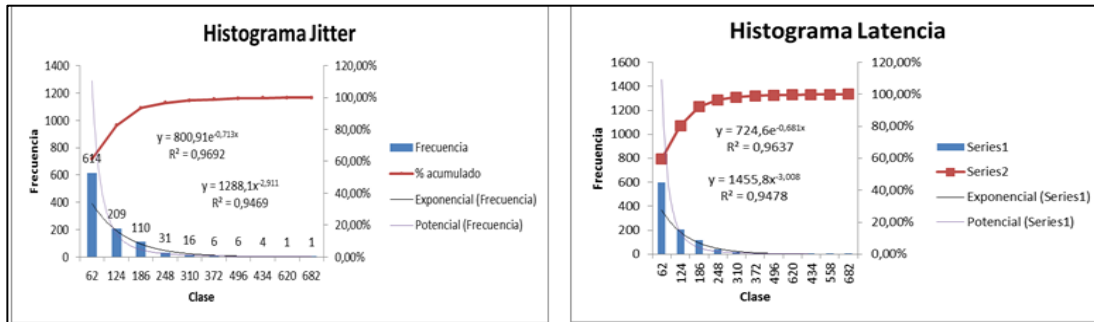
La captura de la Latencia y el Jitter se hizo enviando ping entre los dos equipos, a lo largo de la conversación, un computador conectado a una red LTE y el otro a una red WiFi. Se evaluaron 5 puntos, para cada uno se midieron los parámetros del sistema comentados y se generó su respectiva estadística descriptiva. Para cada prueba se almacenó un banco de imágenes con diferente calidad, una muestra de dichas imágenes se puede ver en el Anexo 2.

Para las medidas se adaptó un algoritmo en Python publicado por Juan Carlos Espinosa Ceniceros³⁶, con el cual analiza la QoS para una aplicación en Internet. En nuestro caso las medidas no se hacen sobre un servicio en particular sino entre las dos IP sobre las que prestan el servicio, en este caso Skype. El algoritmo se puede ver en detalle en el Anexo 1.

La Gráfica 8, muestra el histograma y la tendencia para el Jitter y la Latencia de acuerdo a las pruebas realizadas (punto A). Tanto el Jitter como la Latencia siguen una función de densidad Exponencial, con un coeficiente de determinación (R^2) mayor que una tendencia Potencial.

³⁶ <http://juankenny.blogspot.com/2013/02/rt-experimentos-de-calidad-de-servicio.html>

Gráfica 8: Histograma del Jitter y Latencia.



Fuente: Propia.

Las medidas del Jitter, la Latencia y la Pérdida de paquetes de ida y vuelta hacen el papel de sonda, monitoreando la QoS extremo a extremo.

Jitter: La evaluación que se hace del Jitter, experimentalmente, es de ida y vuelta, es una operación ICMP. Con esta se avalúa el camino incluyendo la red de acceso en bajada (nodo a la estación móvil) como en subida (estación móvil al nodo), siendo este último camino el más crítico en condiciones de interferencia, capacidad y ancho de banda. Existen diferentes métodos para medir el Jitter³⁷, en el presente estudio se usó la diferencia en la Latencia entre un paquete actual y el anterior:

$Jitter(n) = |latencia(n) - latencia(n-1)|$, donde n es el paquete actual.

Latencia: Al igual que en el Jitter; en la prueba realizada, la Latencia se deduce de una operación ICMP, de acuerdo a la respuesta del ping. Con la consideración anterior la Latencia se mide en el recorrido de ida y vuelta.

Las Tablas 4 y 5 muestran los valores estadísticos para los diferentes puntos, caracterizados por valores de Jitter, Latencia y Pérdida de paquetes diferentes. En el escenario el valor de Jitter promedio es de 72ms contra los 321ms del escenario D. Para los mismos escenarios la Latencia promedio es 83ms y 321ms respectivamente. La variación que se puede observar, desde el punto de vista estadístico, permite tener rangos amplios de análisis y del impacto de los parámetros de entrada al modelo propuesto.

³⁷ CHADA, Ankur. Quality of Service Testing Methodology. Master of Science Thesis. University of New Hampshire. 2004. P 30.

Tabla 4: Resumen estadístico pruebas de Jitter.

	A	B	C	D	E
Media	72,32	63,72	47,07	371,01	769,32
Error típico	2,40	3,32	3,36	31,38	47,36
Mediana	49,50	30,90	18,00	42,20	337,00
Moda	48,40	3,00	5,30	2,20	9,30
Desviación estándar	75,95	74,22	74,97	991,42	1058,00
Varianza de la muestra	5767,92	5508,14	5621,24	982907,09	1119354,34
Curtosis	11,52	4,80	11,96	22,36	4,76
Coefficiente de asimetría	2,74	1,98	3,07	4,44	2,16
Rango	673,70	434,80	605,30	8425,00	5684,50
Mínimo	0,30	0,00	0,00	0,00	0,50
Máximo	674,00	434,80	605,30	8425,00	5685,00
Suma	72178,50	31795,20	23487,50	370265,30	383888,50
Cuenta	998	499	499	998	499
Packet loss rate	0%	0%	0%	6%	12%
$K = 1 + 3.322(\log 10 n)$					
Intervalo de Clase k	10,96	9,96	9,96	10,96	9,96
Amplitud Intervalo (R/K)	61,25	48,31	67,26	765,91	631,61

Fuente: Propia.

Tabla 5: Resumen estadístico pruebas de Latencia.

	A	B	C	D	E
Media	83,87	84,02	72,91	321,76	1272,89
Error típico	2,33	3,06	3,22	27,43	67,33
Mediana	54,10	55,30	46,90	57,65	699,00
Moda	45,10	35,70	37,70	38,40	42,60
Desviación estándar	73,83	68,37	72,08	867,36	1505,53
Varianza de la muestra	5450,87	4675,11	5196,23	752318,94	2266617,45
Curtosis	13,85	7,12	16,38	38,03	3,48
Coefficiente de asimetría	3,08	2,36	3,59	5,60	1,70
Rango	649,30	456,20	611,10	9107,50	9674,90
Mínimo	24,70	23,80	25,90	28,50	27,10
Máximo	674,00	480,00	637,00	9136,00	9702,00
Suma	83873,60	42008,00	36455,00	321764,60	636446,00
Cuenta	1000	500	500	1000	500
Packet loss rate	0%	0%	0	6%	12%
$K = 1 + 3.322(\log 10 n)$					
Intervalo de Clase k	10,97	9,97	9,97	10,97	9,97
Amplitud Intervalo (R/K)	59,03	50,69	67,90	827,95	1074,99

Fuente: Propia.

Con el objeto de constatar los resultados obtenidos en el cálculo del MOS con el modelo propuesto se llevó a cabo una encuesta a un grupo de personas para verificar la calidad de las imágenes, según la percepción de dichos individuos. Esto obedece a la forma clásica de medición del MOS, como un promedio

estadístico de muchas calificaciones, que varían entre 1 y 5, acerca de una misma imagen.

Para cada una de las pruebas se hizo una selección de imágenes (ver Anexo 2) y se realizó una encuesta a 86 estudiantes universitarios (ver Anexo 5) con el fin de evaluar la calidad de cada una de las imágenes como se muestra en el formato del Anexo 3. La ficha técnica de la encuesta se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Ficha técnica encuesta.

Ficha Técnica	
Nombre de la encuesta:	Evaluación de Calidad.
Objetivo de la Encuesta:	Evaluar la calidad de un grupo de imágenes.
Fecha de levantamiento:	24 de Julio al 4 de agosto del 2015.
Población objetivo:	Estudiantes universitarios.
Tamaño de la muestra:	86 estudiantes.
Técnica de recolección:	Cuestionario personalizado.
Variables de análisis:	Evaluación subjetiva de un grupo de imagen calificada de 1 a 5.

Fuente: Propia.

4.3 Método Montecarlo para evaluación del modelo de cálculo de MOS y determinación de los parámetros del algoritmo de handover vertical.

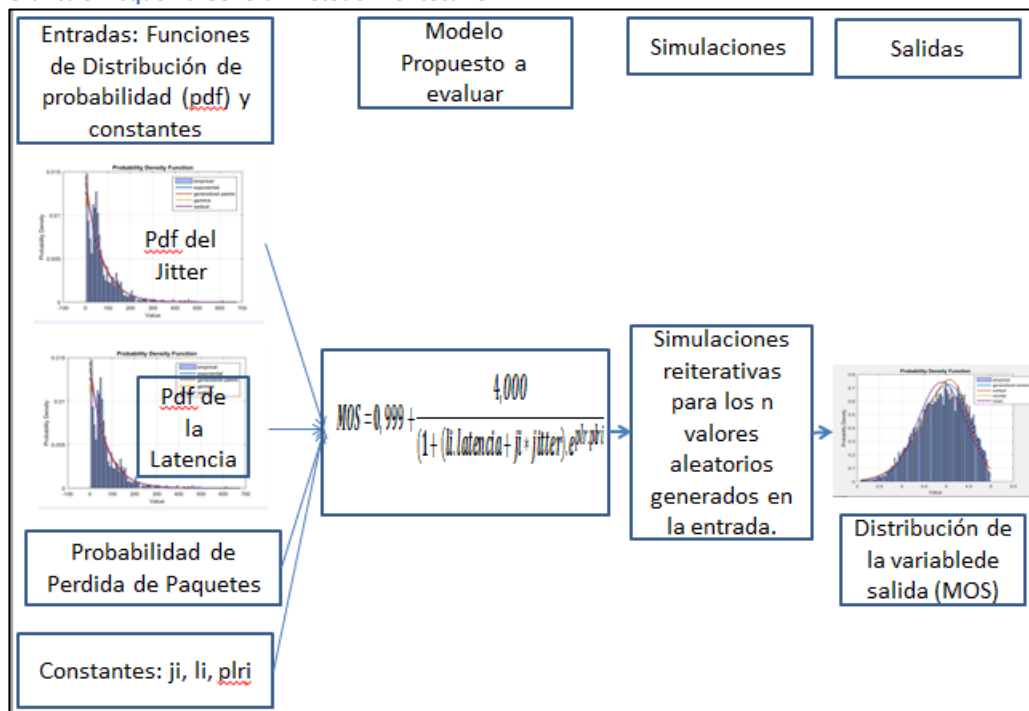
El Método Montecarlo por definición³⁸ es una técnica numérica, utilizando variables o procesos aleatorios, que describen la naturaleza un problema, puede aproximar o evaluar expresiones matemáticas o modelos de sistemas. En este caso, esta técnica se lleva a cabo para evaluar el modelo de cálculo de MOS propuesto, teniendo en cuenta que las entradas a ese modelo son totalmente estocásticas y dependen significativamente de la calidad de las condiciones de red bajo la cual se hace la trasmisión o de las condiciones de tráfico. Por ende, la salida del MOS se vuelve estocástica. A partir de los datos obtenidos, se determinan las propiedades del MOS para diferentes grados de calidad de Video.

³⁸ <http://www.cs.fsu.edu/~mascagni/Advanced Monte Carlo Methods.html>

Todo esto conlleva a seleccionar determinados parámetros bajo los cuales se ejecutará el algoritmo propuesto de handover vertical.

El esquema general usado para aplicar el Método Montecarlo se muestra en la Gráfica 9. Como variables de entrada se tienen números aleatorios que son usados para definir el Jitter y la Latencia en cada iteración. Todos están descritos mediante la función de distribución de probabilidad (pdf) que los caracteriza y que fue encontrada experimentalmente. El modelo para encontrar el MOS, dado por la ecuación (5.17), se corre para cada combinación de valores en la entrada. A mayor número de iteraciones mejor será la función de probabilidad de la salida, que en este caso es la evaluación de la QoE en términos de MOS.

Gráfica 9: Esquema General Método Montecarlo

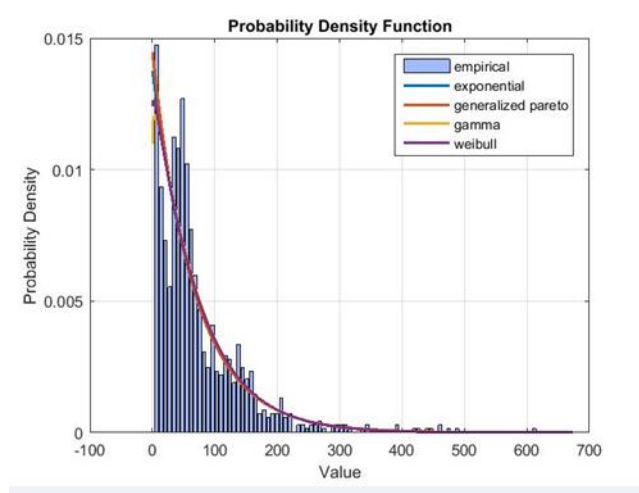


Fuente: Propia.

Para la utilización de la simulación Montecarlo, es necesario conocer la función de distribución de probabilidad (pdf) que rigen las variables de entrada. La Gráfica 10, muestra la función de distribución del Jitter para las muestras del experimento realizado en el punto A. Haciendo un ajuste de los datos con la ayuda de herramientas de MATLAB, se obtiene que la pdf que caracteriza la

distribución del Jitter en este punto la cual es, principalmente, Exponencial. Para la Latencia también se encontró una pdf Exponencial.

Gráfica 10: Función de distribución de probabilidad Exponencial.



Fuente: Propia.

Una función de densidad probabilidad (pdf) Exponencial está representada por la siguiente expresión³⁹:

$$f(x) = \lambda * e^{-\lambda * x} \quad (5.18)$$

El parámetro que describe la distribución es λ .

La variable aleatoria X tendrá una distribución Exponencial desde 0 hasta infinito. La media será $1/\lambda$ y la varianza $1/\lambda^2$.

Para la distribución Exponencial en el punto A, calculada con Matlab®, estos son los parámetros que la caracterizan:

³⁹ <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3667.htm>

DistName: 'exponential'
NLogL: 5.2706e+03
BIC: 1.0548e+04
AIC: 1.0543e+04
AICc: 1.0543e+04
ParamNames: {'mu'}
ParamDescription: {'mean'}
Params: 72.3231
Paramci: [2x1 double]
ParamCov: 5.2411
Support: [1x1 struct]

Como se puede ver la media es 72.32, la cual es $1/\lambda$. Por lo tanto $\lambda = 0,014$, parámetro que se usa en el momento de generar la distribución exponencial que caracteriza el Jitter como entrada para el Método Montecarlo.

De manera similar se encontraron las distribuciones para el Jitter en otros puntos de prueba. También fue necesario hacer este tipo de análisis para identificar la pdf que caracteriza la Latencia en los 5 puntos de prueba.

Con estos datos se procedió a simular las diferentes distribuciones que caracterizan el Jitter y la Latencia la entrada el método para determinar el MOS.

4.4 Método Montecarlo para para evaluar el Modelo de MOS

Experimentalmente se tienen un conjunto de valores para el Jitter y la Latencia, es conveniente explorar el modelo para un número de entradas aleatorias significativas de esas variables, para una probabilidad de Pérdida de paquetes dada. Con el Método Montecarlo se puede hacer ese proceso matemático para un número alto de entradas: En este caso se realizó para 10.000 valores aleatorios para el Jitter y la Latencia respectivamente.

A Continuación se explica cómo se implementa el algoritmo de simulación usando el Método Montecarlo, mostrado en el Anexo 4.

Con la función rand se generan 10.000 números aleatorios, distribuidos uniformemente 0 y 1, los cuales son la entrada para la función de distribución exponencial que representa el Jitter y la Latencia.

```
uJitter = rand(10000,1);  
ulatencia = rand(10000,1);
```

El modelo a evaluar es el propuesto en el presente trabajo, el cual está dado por la expresión 5.16.

l_i, j_i, pl_i : son coeficientes de impacto.

Delay, Jitter son los valores de Latencia generados aleatoriamente mediante la función de distribución probabilidad Exponencial.

```
xJitter = -log (uJitter)/lj;
```

```
xlatencia = -log (ulatencia)/ll
```

lj y ll son $\lambda = 0,014$.

Para ilustrar la metodología se usara un ejemplo con el Jitter:

Se corre la función aleatoria y usando valores entre 0 y 1, en este caso:

```
UJitter = 0.1559
```

Usando la pdf Exponencial:

```
xJitter = -log(0.1559)/ 0,013826841
```

$x_{\text{Jitter}} = 134,68$ (la unidades serian ms).

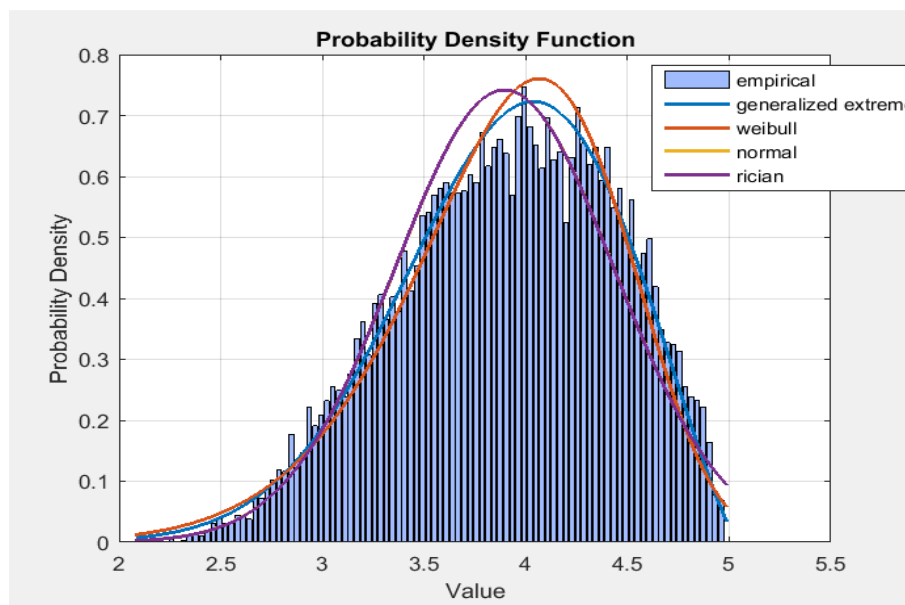
Las entradas al modelo deben ser en segundos, para eso dentro del algoritmo se convierte los Jitter a segundos:

$$x_{\text{Jitters}} = 1e-03 * x_{\text{Jitter}};$$

De igual forma se procede con la Latencia.

Para una pérdida de paquetes del 0% la salida del Método Montecarlo se representa en la Gráfica 11.

Gráfica 11: Función de distribución de probabilidad para el MOS



Fuente: Propia.

La media para el MOS es de 3.89, su varianza de 0.28 y la desviación estándar de 0,5305.

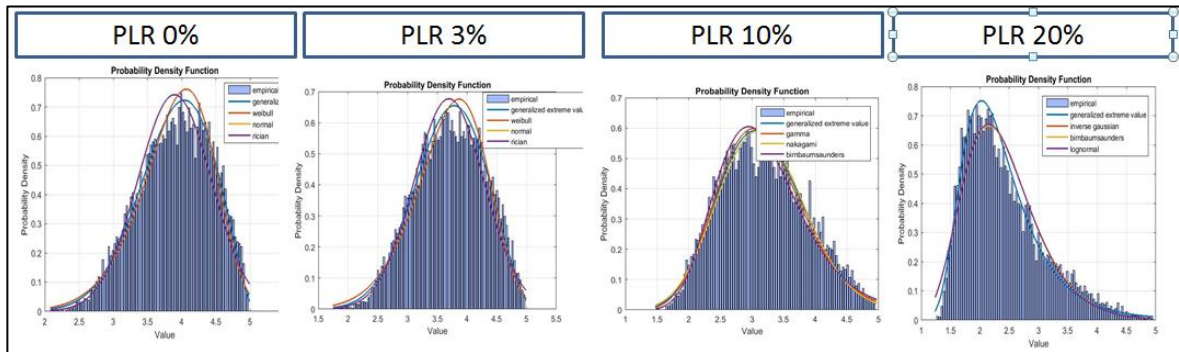
La Tabla 7 y Gráfica 12 muestra la media y la varianza para la función de probabilidad del MOS con diferentes pérdidas de paquetes.

Tabla 7: Función de distribución del MOS para diferentes de pérdidas de paquetes

Perdida de Paquetes (%)	0	3	10	20
Media	3,903	3,6856	3,1609	2,3936
Varianza	0,2814	0,3476	0,4586	0,4544
Desviación Estándar	0,5305	0,5896	0,6772	0,6741

Fuente: Propia.

Gráfica 12: Función de distribución del MOS para diferentes de pérdidas de paquetes.



Fuente: Propia.

A través de la simulación Montecarlo se graficaron una gran variedad de resultados de MOS para entradas aleatorias de Jitter, Latencia y una probabilidad de pérdida de paquetes. Cuando no se tienen pérdidas de paquetes en el sistema la media del MOS es de 3.9, con una desviación estándar de 0,53. Para una pérdida de paquetes del 3% la media del MOS cae al 3,7 con una desviación estándar de 0,59. En el caso de pérdidas del 10% el MOS cae 3,2 con una desviación estándar de 0,68. La simulación anterior se hizo con un impacto para el Jitter y la Latencia de 3 y de 9 para la pérdida de paquetes.

Los impactos definidos para el Jitter, Latencia y pérdida de paquetes sirven para ajustar el modelo. En la Tabla 8 se muestra la media del MOS para diferentes combinaciones de impactos en la Latencia y en el Jitter, bajo el Método Montecarlo.

Tabla 8: MOS para diferentes impactos de Latencia y Jitter

IMPACTO JITTER	IMPACTO LATENCIA	PERDIDA PAQUETES	MEDIA MOS	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
4	3	0	3,79	0,32	0,57
3	4	0	3,78	0,33	0,57
2	3	0	4,03	0,24	0,49
3	2	0	4,03	0,24	0,49
2	2	0	4,17	0,19	0,44
3	3	0	3,90	0,28	0,53
2	1	0	4,33	0,15	0,39

Fuente: Propia.

En la siguiente sección se compara el modelo simulado respecto a los datos obtenidos en la encuesta y los valores limites sugeridos por Cisco.

4.5 Datos del Modelo para Cálculo de MOS Vs. Encuesta

Para cada conjunto de pruebas experimentales se tiene una media en las variables de entrada las cuales caracterizaron un MOS en la salida del modelo. Es interesante ver como se relacionan esas medidas con las calificaciones que se obtuvieron mediante las encuestas para las imágenes seleccionadas en los diferentes puntos de medida. La Tabla 9, muestra la relación entre el valor del MOS según el Modelo y el MOS según la encuesta. Para los puntos A, B se tiene una coincidencia entre el modelo y la evaluación del MOS realizada mediante encuesta. Igual ocurre para los puntos D y E. Para el punto C la diferencia entre lo medido y la calificación mediante encuesta varia alrededor de un punto. Esto se puede explicar el aumento de incertidumbre a la hora de tener que calificar una imagen que tiene una calidad regular, donde el encuestado puede sentir duda cuando la calidad no está totalmente definida.

Tabla 9: MOS Modelo vs MOS Encuesta.

Punto	Jitter(s)	Latencia(s)	Perdida de Paquetes	MOS (según Modelo)	MOS (según encuesta)	Diferencia (ABS)	Desviación Est.
A	0,072	0,083	0	3,73	3,85	0,12	0,09
B	0,063	0,084	0	3,77	3,68	0,09	0,07
C	0,06	0,078	0,02	3,67	2,8	0,87	0,62
D	0,371	0,321	0,06	1,88	1,77	0,11	0,07
E	0,769	1,272	0,12	1,21	1,33	0,12	0,09

Fuente: Propia.

En el Anexo 2 se detalla los valores estadísticos para el MOS según la encuesta. La Tabla 10 resume los valores para los diferentes conjuntos de pruebas experimentales. Los puntos con desviación estándar menor son los D y E que corresponde a las medidas de MOS más baja, en este sentido las personas que hacen la evaluación no dudan en dar una puntuación baja cuando la QoE no es buena. El punto C que el cual tienen una media de MOS DE 2,8 y que presento diferencia respecto al modelo en un punto tiene una desviación estándar de 0,87 y una Moda de 3, corresponde a un punto con un valor de MOS regular, en el cual la diferencia debe ser revisada en lo particular a lo que tienen que ver con el experimento y la selección de las imágenes que representan este grupo, además se presenta incertidumbre a la hora de calificar la imagen. Los puntos A y B se caracterizan por buen MOS tanto en el modelo como en la encuesta con desviaciones estándar de 0,81 y 1,0 respectivamente, una Moda de 4. Las desviaciones estándar mayor para estos puntos puede reflejar una cierta dualidad a la hora de diferenciar una imagen entre buena y muy buena.

Tabla 10: Valores estadísticos de MOS para los diferentes puntos de prueba.

PUNTO	A	B	C	D	E
Media	3,86	3,68	2,83	1,77	1,34
Mediana	4	4	3	2	1
Moda	4	4	3	2	1
Varianza	0,66	1,07	0,76	0,54	0,42
Desviación Estándar	0,81	1,04	0,87	0,74	0,65
Número de muestras	258	258	258	258	258

Fuente: Propia.

Partiendo de los límites sugeridos por CISCO⁴⁰ y la ITU se puede hacer una evaluación puntual del Modelo; la Tabla 11 muestra el cálculo, usando la expresión propuesta, para 3 servicios diferentes.

Tabla 11: Cálculo de MOS en los límites sugeridos por CISCO.

Jitter(s)	Latencia(s)	Pérdida de Paquetes	MOS (según Modelo)	Límite
0,03	0,15	0,01	3,51	ITU standard G.114 (Voz IP)
0,03	0,12	0,01	3,68	Voz IP Cisco
0,05	0,15	0,01	3,41	Video Conferencia Cisco

Fuente: Propia.

Para Voz IP (Estándar ITU) el límite para un óptimo desempeño es un Jitter de 30ms, Latencia de 150ms y una pérdida de paquetes inferior al 1%, el modelo propuesto arroja un MOS de 3.5, este es el punto medio entre un valor bueno (MOS = 4) y un valor regular (MOS = 3). Este valor intermedio de MOS, dado por el Modelo, muestra el valor a partir del cual el usuario comienza a experimentar una QoE comprometida.

Para Voz IP (según CISCO) el límite para un óptimo desempeño es un Jitter de 30ms, Latencia de 120ms y una pérdida de paquetes inferior al 1%, el modelo propuesto arroja un MOS de 3.6, este valor esta próximo al punto medio entre un valor bueno (MOS = 4) y un valor regular (MOS = 3). Este valor intermedio de

⁴⁰ CISCO. Op. Cit., p. 10.

MOS, dado por el modelo, muestra un límite en la cual el usuario puede comenzar a sentirse incómodo con el servicio.

Para la Video Conferencia (según CISCO) el límite para un óptimo desempeño es un Jitter de 50ms, Latencia de 150ms y una pérdida de paquetes inferior al 1%, el modelo propuesto arroja un MOS de 3.4, este valor está próximo al punto medio entre un valor bueno (MOS = 4) y un valor regular (MOS = 3). Este valor intermedio de MOS, dado por el Modelo, muestra un límite en la cual el usuario puede comenzar a experimentar problemas en la Video Conferencia.

En los tres casos, tomando como valores de entrada al modelo los valores límites recomendados, se tiene un MOS próximo a 3.5, punto a partir del cual se pueden comenzar a experimentar problemas de QoE. Aplicando este análisis al algoritmo para disparar un handover vertical el valor de MOS (3.5) nos puede indicar el momento en el que debemos iniciar la preparación del handover.

Es de anotar que en los cálculos anteriores los valores de impacto del Jitter y la Latencia son 3 y un impacto en la pérdida de paquetes de 9. Estos valores se usaron durante la evaluación del modelo y son susceptibles de optimizar, lo cual se puede realizar en futuros trabajos.

5 Algoritmo para iniciar el handover

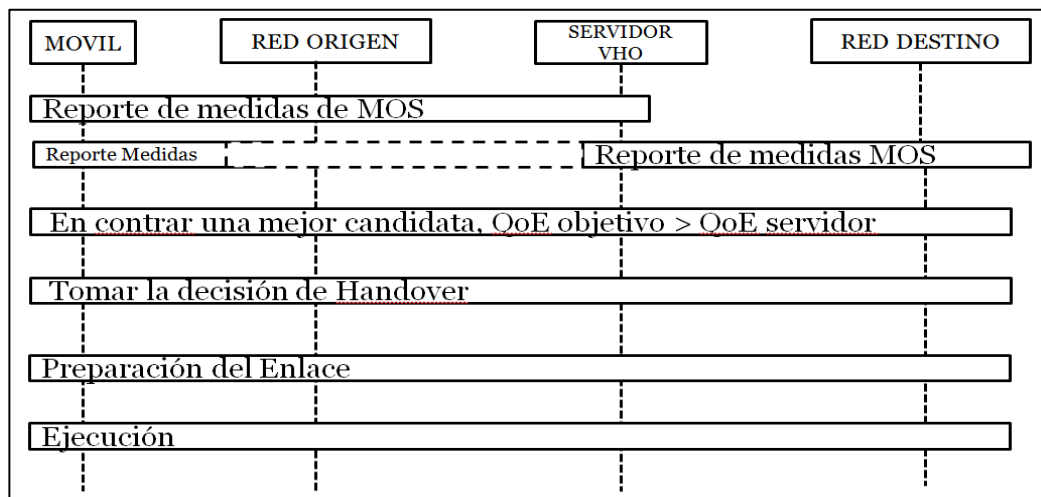
5.1 Pasos para realizar el handover

En las secciones anteriores se definió el Modelo que permite calcular la QoE en términos de MOS, partiendo de variables objetivas del dominio de QoS. Se usa El Jitter, la Latencia y la Pérdida de Paquetes para evaluar el sistema, en el mejor de los casos incluyendo tanto el enlace descendente (del nodo al móvil) como el ascendente (del móvil a nodo). En este sentido se tiene un monitoreo permanente de las redes de acceso que puede ser LTE, 3G, WiFi o WiMax. Por las condiciones de tráfico o de calidad es deseable que el usuario pueda seleccionar la mejor red, en pro de tener una mejor QoE. A continuación se analiza los pasos que se deben tener en cuenta para garantizar la escogencia de la mejor red, los cuales se resumen en la Gráfica 13.

- **Medidas:** Se realiza medidas sobre la celda servidora y se reportan al Servidor VHO. Se evalúa si la servidora está por encima de un nivel aceptable de MOS, si está por debajo debe buscar nuevas candidatas o vecinas. Se reportan los valores de Jitter, Latencia y Pérdida de Paquetes sobre el enlace. Con esta información se calcula el MOS, usando el Modelo de la ecuación (5.17).
- **Encontrar la red mejor candidata:** En este paso se determina si hay o no una mejor candidata que la actual. Encontrar la mejor red se puede hacer mediante: Un Servidor Información, donde el móvil consulta los mejores candidatos o los criterios que aplican para hacer el handover. Como segunda instancia el móvil puede consultar a la red candidata si cuenta con recursos disponibles para hacer el Handover. En tercer lugar, para descubrir la red candidata, el móvil puede escanear la red objetivo cuando el radio del servidor no está en uso. Para el caso de encontrar la mejor red partiendo del MOS, se recomienda usar un servidor de información en el cual se refleje la QoE para las redes disponibles en todo momento.

- Decisión de hacer el Handover: En este paso se pueden involucrar diferentes elementos o criterios para disparar el handover. En el presente trabajo propone hacerlo mediante la evaluación parámetros mapeados en términos de QoE. La evaluación la puede hacer el móvil o el Servidor de VHO. De acuerdo a lo visto en la sección 4.5 un valor para iniciar la preparación de un handover es cuando el MOS esta alrededor de 3.5, que coincide, para el modelo propuesto, con los valores límites de Jitter, Latencia y Pérdida de paquetes recomendados por CISCO para tener un servicio con un buen desempeño.
- Preparación del Enlace: En este paso el móvil y la red objetivo preparan el establecimiento del nuevo enlace. El procedimiento determina si la red objetivo tiene recursos suficientes para el nuevo enlace y puede llevar a una reserva de recursos o el control de admisión. Además e debe confirmar en el servidor las condiciones QoE del enlace son buenas para establecer el cambio tecnología.
- Ejecución: A esta altura de handover se desconecta el enlace con la red origen y se activa el enlace con la celda destino u objetivo. En este paso se hace la actualización de las IP.

Gráfica 13: Pasos para realizar el handover vertical

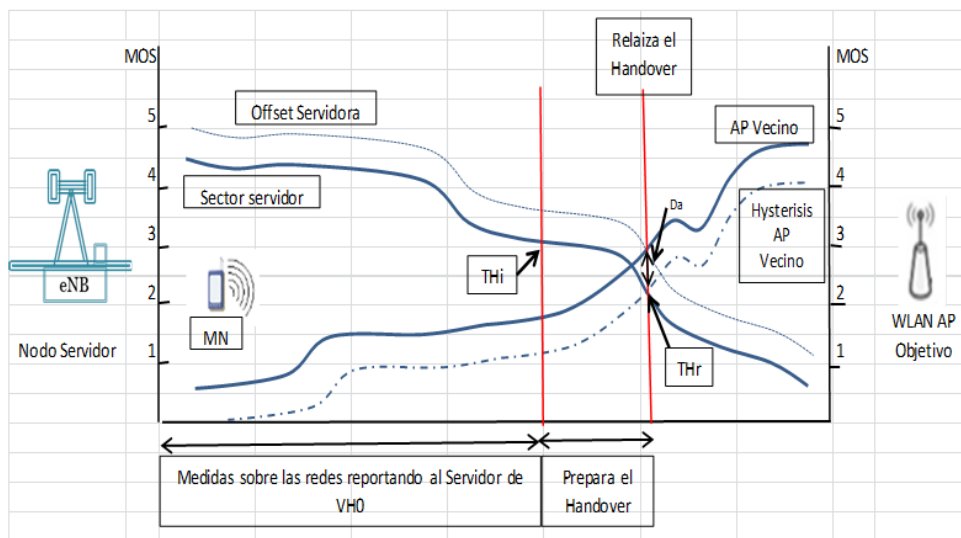


Fuente: Propia.

5.2 Algoritmo

La Gráfica 14, muestra las variaciones de MOS para el sector servidor Vs. Las medidas de MOS en AP objetivo, la cual en este caso pertenece a una red WLAN. En la primera parte se realizan las medidas de MOS para la celda servidora. Si el valor del MOS en la servidora está por debajo de un nivel definido, en este caso TH_i , se da inicio a una fase de preparación del handover en la cual se comienzan a tomar medidas de MOS del AP objetivo. Cuando el valor del MOS en la servidora está por debajo de la celda objetivo un valor $TH_r - Da$, se realiza el HO. El móvil (MN) se le asigna un nuevo enlace y se le actualiza la IP. Las medidas de MOS deben continuar reportándose al Servidor para realizar un nuevo HO de ser necesario. Un valor sugerido para iniciar la preparación del handover es para un MOS de 3.5, este corresponde al valor de TH_i . El handover se realizaría cuando el MOS este en un valor de TH_r de 3.0. Se puede usar un valor de Hysteresis para evitar el ping-pong entre la servidora y la objetivo, evitando así que se incremente la señalización y pérdida de paquetes.

Gráfica 14: Márgenes para le handover vertical por MOS

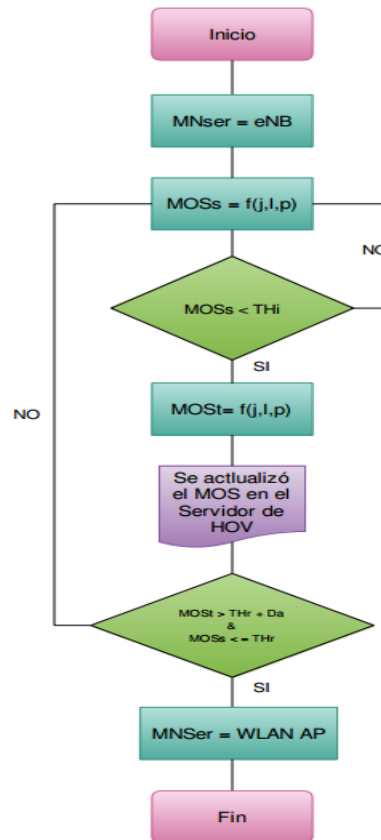


Fuente: Propia.

El diagrama de flujo se inicia partiendo de que el móvil tiene por mejor servidora la red LTE, lo que se define en el algoritmo como $MN_{ser} = eNB$. El server está monitoreando el MOS de la servidora en función del Jitter, Latencia y pérdida de

paquetes, almacenando dichos variables en MOSs (MOS del servidor). Se evalúa periódicamente si el $MOSs < TH_i$, esto es si el MOS del servidor es menor que el nivel requerido para iniciar el handover, si es así se inicia la medida de la red destino u objetivo mediante la variable $MOS_t = f(j,r,p)$. Posteriormente se actualiza el MOS de la red objetivo en el servidor. Mientras se está en la ventana de medida del handover para ambas redes se monitorea, si el MOS de la red destino supera el umbral $HT_r + a$ y el MOS de la celda servidora es menor de TH_r , si esta condición se da se asigna un nuevo servidor al móvil $MN_{ser} = WLAN\ AP$, pasando así de la red LTE a la red WiFi. El esquema para este algoritmo se muestra en la Gráfica 15.

Gráfica 15: Diagrama de flujo del algoritmo propuesto.



Fuente: Propia.

6 Resultados

- Partiendo de la literatura existente y mediante el método experimental se encuentra un modelo para evaluar la QoE en términos de MOS. Se hace una correlación de los valores objetivos del Jitter, Latencia y Pérdida de paquetes con una calificación subjetiva de 1 a 5. El modelo mostró ser consecuente con la QoE evaluada subjetivamente mediante encuesta. Para las imágenes con buena QoE la calificación promedio del MOS, de acuerdo al modelo, fue de 3.73 y según encuesta fue de 3,85. Para imágenes con mala QoE la calificación de acuerdo a la encuesta fue de 1,33 y según el modelo de 1,21.
- Se calculó la QoE para los límites que permiten tener un servicio aceptable, de acuerdo a Cisco. El resultado muestra un MOS entre una calidad buena (MOS 4) y una calidad regular (MOS 3). Para Voz IP el MOS, de acuerdo al Modelo, es de 3.68 y para Video Conferencia de 3.41. Estos valores sirven de punto de partida para iniciar un handover vertical por QoE.
- Se muestra que el modelo de MOS se puede ajustar usando los coeficientes de impacto definidos para el Jitter, Latencia y Pérdida de Paquetes. Valores de impacto para Jitter y la Latencia del orden de 4, 3 respectivamente hacen que el modelo refleje una QoE pesimista, con valores promedios de MOS del orden de 3,79. Si se usa un valor de impacto para el Jitter de 2 y para la Latencia de 1 se obtiene un valor promedio del MOS del 4.33, lo cual asigna a la QoE una calificación Optimista. Lo anteriores fue evaluado con la Simulación Montecarlo, sin pérdida de paquetes.
- Se usa el Método Montecarlo para evaluar el modelo MOS. A partir de los datos obtenidos, se determinan las propiedades del MOS para diferentes entradas de Jitter, Latencia y Pérdida de paquetes: Simulando el modelo de MOS para entradas aleatorias de Jitter y Latencia y de pérdida de paquetes de 0% la QoE es de 3,90. Si se aumenta la probabilidad de Pérdida de paquetes a 3% la QoE baja a un MOS de 3,68. En el caso de pérdidas de paquetes altas, del orden de 20%, el MOS baja a 2,39. Como

era de esperarse las pérdidas de paquetes afectan, de manera importante, la QoE.

- Experimentalmente se encontró un conjunto de valores para el Jitter y la Latencia. Para dar más certeza al modelo fue necesario usar un número de entradas aleatorias significativas de esas variables. Usando Método Montecarlo se hizo la simulación para un número alto de entradas: En este caso se realizó para 10.000 valores aleatorios para el Jitter y la latencia respectivamente.
- Se encontró la función de distribución de probabilidad (pdf) para el Jitter y la Latencia. La pdf para estas variables es la función Exponencial, La media es $\lambda = 0,014$, valor que sirvió para simular Jitter y la Latencia usando el Método Montecarlo.
- Usar la encuesta para evaluar la QoE es un método efectivo que requiere preparación y recursos. Las evaluaciones realizadas subjetivamente sirvieron para contrarrestar los valores de MOS obtenidos a partir de parámetros lógicos.
- Con la evaluación realizada desde el punto de vista subjetivo y la evaluación en los límites del Jitter, la Latencia y Pérdida de paquetes, recomendada por Cisco, se encuentra un valor a partir de cual se sugiere iniciar la preparación del handover vertical. Este valor en el algoritmo se conoce como THi y puede ser un MOS de 3.5.
- Con el modelo se pueden calcular los valores óptimos para evaluar el parámetro THr en el cual es el punto donde se debe hacer el handover vertical, teniendo en cuenta las evaluaciones de la encuesta y la evaluación del modelo de MOS dicho valor puede estar alrededor de 3.0.

7 Conclusiones

- Es posible representar la QoE en términos subjetivos, evaluados mediante MOS, partiendo de medidas objetivas indirectas. El modelo de MOS presentado hace un mapeo de parámetros como: Jitter, Latencia y Pérdida de Paquetes a calificaciones de la QoE enmarcadas entre 1 y 5.
- Con el modelo de MOS presentado fue posible representar la QoE para diferentes combinaciones de entrada de Jitter, Latencia y una Pérdida de paquetes específica.
- El modelo propuesto permite definir el valor límite para iniciar la preparación del handover vertical y el valor del MOS en el cual se debe ejecutar el handover vertical.
- Usando los valores de Jitter, Latencia y Pérdida de paquetes para calcular el MOS se tiene una supervisión constante de la QoE de una red y esto puede servir a los operadores para priorizar la atención de las fallas y la asignación de recursos para la expansión de sus redes.
- El Método Montecarlo mostró ser muy útil para evaluar el modelo de MOS propuesto, teniendo en cuenta que las entradas a ese modelo son totalmente aleatorias y dependen significativamente de la calidad de la red bajo la cual se hace la transmisión o de las condiciones de tráfico.
- Se logró determinar la naturaleza de Jitter y la Latencia encontrando la función de probabilidad que caracteriza cada una de estas variables, la cual está dada por una función Exponencial.
- Con la ayuda del Modelo de MOS propuesto se calcularon los valores umbrales para iniciar y ejecutar el handover vertical, los cuales son 3.5 y 3.0 respectivamente. D

8 Recomendaciones y trabajos futuros

Implementar el modelo propuesto así como el algoritmo desarrollado usando el estándar IEEE 802.21, el cual permite realizar el handover entre diferentes tecnologías de radio, con el fin de facilitar la movilidad entre los usuarios. La implementación se puede hacer usando simuladores como NS2 o NS3.

Introducir en el modelo nuevas métricas para la toma de decisiones como puede ser el costo.

Bibliografía

A. Könsgen, A. Singh, A. Mahmoud, X. Li, C. Görg, M. Kus, M. Kayralci and J. Grigutsch, "Enhancing Quality of Experience (QoE) Assessment Models for Web Traffic" in 5th International Conference on Mobile Networks and Management (MONAMI), Cork, Ireland, Sept. 2013. - <https://books.google.com.co/>.

Ahmed, A.; Boulahia, L.; Gaiti, D., "Enabling Vertical Handover Decisions in Heterogeneous Wireless Networks: A State-of-the-Art and A Classification," Communications Surveys & Tutorials, IEEE , vol.PP, no.99, pp.1,36, 2013.

CHADA, Ankur. Quality of Service Testing Methodology. Master of Science Thesis. University of New Hampshire. 2004. 81 p.

CISCO VISUAL NETWORKING INDEX: GLOBAL MOBILE DATA TRAFFIC FORECAST UPDATE 2014–2019, App. A, Tbl. 6 (Feb. 3, 2015) ("CISCO 2015 FORECAST"), http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visualnetworking-index-vni/white_paper_c11-520862.pdf.

Fiedler Markus, QoE Concepts -and Standards, Euro-NF Ph.D. Course on QoE [https://www.bth.se/com/ccs.nsf/attachments/QoE_Course_L1_Concepts_pdf/\\$file/QoE_Course_L1_Concepts.pdf](https://www.bth.se/com/ccs.nsf/attachments/QoE_Course_L1_Concepts_pdf/$file/QoE_Course_L1_Concepts.pdf) (p 1 - 25)

Hoßfeld, T., Tran-Gia, P., & Fiedler, M. (2007). Quantification of quality of experience for edge-based applications. Report No. 423 (pp. 1-13).

Hoßfeld, T, "Testing the IQX Hypothesis for Exponential Interdependency between QoS and QoE for Voice Codecs iLBC and G.711," 18th ITC Specialist Seminar Quality of Experience, Karlskrona, Sweden, (pp.1-10), May 2008.

<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3667.htm>

<http://searchcrm.techtarget.com/definition/Quality-of-Experience>

<http://www.itu.int/md/T05-FG.IPTV-IL-0050/es>

<http://juankenny.blogspot.com/2013/02/rt-experimentos-de-calidad-de-servicio.html>

http://www.cs.fsu.edu/~mascagni/Advanced_Monte_Carlo_Methods.html

Jailton, J.; Carvalho, T.; Valente, W.; Natalino, C.; Frances, R.; Dias, K., "A quality of experience handover architecture for heterogeneous mobile wireless multimedia networks," Communications Magazine, IEEE , vol.51, no.6, pp.152,159, June 2013.

M. Alreshoodi, J. Woods, "Survey on QoE\QoS Correlation Models for Multimedia Services", International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS) Vol.4, No.3, May 2013.

M. Shehada, B. Fu, S. Thakolsri and W. Kellerer, "QoE-based Resource Reservation for Unperceivable Video Quality Fluctuation during Handover in LTE", IEEE GLOBECOM, Apr. 2012.

Moller, Sebastian and Raake, Alexander, Quality of Experience: Advanced Concepts, Applications and Methods, Springer, 2014. Advanced Concepts, Applications and Methods. T-Labs Series in Telecommunication Services.

Osipov, Evgeny (Editor); Kassler, Andreas (Editor); Bohnert, Thomas Michael (Editor); Masip-Bruin, Xavier (Editor) / Wired/Wireless Internet Communications 8th International Conference, WWIC 2010 : Luleå, Sweden, June 1-3, 2010. Proceedings. Berlin : Springer Science+Business Media, 2010. 397 p. (Lecture Notes in Computer Science; No. 6074).

Peter Reichl, Bruno Tuffin, Raimund Schatz. Logarithmic laws in service quality perception - where microeconomics meets psychophysics and quality of experience, Telecommunication Systems, 2011.

RESOLUCION 4737 2015 CRC 2015 - <https://www.crcom.gov.co/es/pagina/modificaci-n-de-condiciones-de-calidad-en-servicios-de-telecomunicaciones-m-viles>

Soderman, P.; Eklund, J.; Grinnemo, K.-J.; Hidell, M.; Brunstrom, A., "Handover in the Wild: The feasibility of vertical handover in commodity smartphones," Communications (ICC), 2013 IEEE International Conference on , vol., no., pp.6401,6406, 9-13 June 2013.

ANEXOS

Anexo 1: Algoritmo usado para las medidas de Jitter y Latencia.

Algoritmo usado para las medidas de Jitter y Latencia⁴¹. Para esta investigación el ping se realiza entre los equipos que tienen la video llamada establecida. El número de ping se incrementa con el fin de tener una función de distribución más precisa.

```
1  #!/usr/bin/python
2
3  import subprocess
4  from time import sleep
5  from math import sqrt
6
7  tLatencias = list()
8  tJitters = list()
9  latencia_promedio = 0
10 jitter_promedio = 0
11 conteo = 0
12
13 def desviacionEstandar(valores):
14     n = len(valores)
15     suma = sum(valores)
16     media = suma/n
17     suma_dif = sum([(valor-media)**2 for valor in valores])
18     varianza = suma_dif/n
19     desviacion = sqrt(varianza)
20     return desviacion
21
22 def parsearElementos(p):
23     global conteo
24     for e in p:
25         if("time" in e):
26             e = e.split("=")
27             if(len(e) > 1):
28                 conteo += 1
29                 tLatencias.append(float(e[1]))
30     return
31
32 while True:
33     if(conteo < 500):
34         try:
35             p = subprocess.check_output("ping -c 1 179.15.27.92", shell=True)
36             p = p.split(" ")
37             parsearElementos(p)
38             print conteo
39             sleep(1)
```

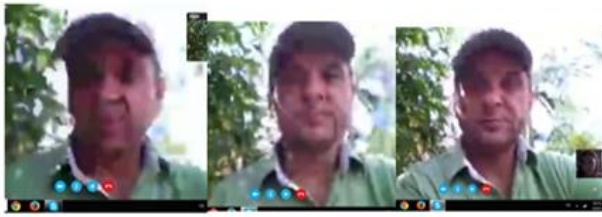
⁴¹ Bis (<http://juankenny.blogspot.com/2013/02/rt-experimentos-de-calidad-de-servicio.html>)

```

40 |         except:
41 |             print "[>] Buscando, espere..."
42 |             sleep(2)
43 |         else:
44 |             break
45 |
46 |     print "\nCalcular latencia promedio"
47 |     print tLatencias
48 |     latencia_promedio = sum(tLatencias)/len(tLatencias)
49 |     print "Latencia promedio > %f"%(latencia_promedio)
50 |
51 |     print "\nCalcular Jitter promedio"
52 |
53 |     for a, v in enumerate(tLatencias):
54 |         try:
55 |             tJitters.append(abs(tLatencias[a]-tLatencias[a+1]))
56 |         except IndexError:
57 |             pass
58 |     print tJitters
59 |     jitter_promedio = sum(tJitters)/len(tJitters)
60 |     print "Jitter promedio > %f"%(jitter_promedio)
61 |
62 |     print "\nCalcular desviacion estandar latencia"
63 |     desviacion_latencia = desviacionEstandar(tLatencias)
64 |     print "Desviacion estandar latencia > %f"%(desviacion_latencia)
65 |
66 |     print "\nCalcular desviacion estandar jitter"
67 |     desviacion_jitter = desviacionEstandar(tJitters)
68 |     print "Desviacion estandar jitter > %f"%(desviacion_jitter)
69 |
70 |     with open("latencia.dat", "w") as oF:
71 |         for a, lat in enumerate(tLatencias):
72 |             oF.write("%d %f %f %f\n"%(a+1, lat, latencia_promedio, desviacion_latencia))
73 |
74 |     with open("jitter.dat", "w") as oF:
75 |         for a, jit in enumerate(tJitters):
76 |             oF.write("%d %f %f %f\n"%(a+1, jit, jitter_promedio, desviacion_jitter))
77 |
78 |     exit()

```

Anexo 2: Imágenes y resultados de la encuesta para evaluar el MOS de forma subjetiva.



ENCUESTA MOS PUNTO E	
Media	1,337209302
Mediana	1
Moda	1
Varianza	0,418921365
Desviación Estándar	0,64724135
Número de muestras	258



ENCUESTA MOS PUNTO A	
Media	3,856589147
Mediana	4
Moda	4
Varianza	0,660287154
Desviación Estándar	0,812580552
Número de muestras	258



ENCUESTA MOS PUNTO D	
Media	1,76744186
Mediana	2
Moda	2
Varianza	0,544928061
Desviación Estándar	0,738192428
Número de muestras	258



ENCUESTA MOS PUNTO B	
Media	3,682170543
Mediana	4
Moda	4
Varianza	1,073688656
Desviación Estándar	1,036189488
Número de muestras	258



ENCUESTA MOS PUNTO C	
Media	2,829457364
Mediana	3
Moda	3
Varianza	0,764576358
Desviación Estándar	0,874400571

Anexo 3: Formato usado para la evaluación del MOS en las imágenes de cada prueba.

Favor calificar la calidad de la imagen de 1 a 5, donde:

1 es muy mala calidad.

2 es mala calidad.

3 es regular calidad.

4 es buena calidad.

5 es muy buena calidad.

Encerrar en un círculo la calificación que considere:

1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5

GRACIAS!

Anexo 4: Algoritmo para evaluar el Modelo de MOS con el Método Montecarlo.

Algoritmo ejecutado en MATLAB®, para evaluar el modelo de MOS.

```
1 % Simulación Montecarlo para evaluar el modelo de MOS.
2 % Modelo MOS = 0,999+(4,000)/(1+(li*latencia + ji*jitter)*exp^(PLR*plri))
3 % Elaborado por John Jairo Vélez Díaz.
4 % Agosto 08 del 2015.
5 clear all
6 ujitter = rand(10000,1); %Generación aleatoria de variables para el Jitter.
7 ulatencia = rand(10000,1); %Generación aleatoria de variables para la Latencia.
8 plr = 0.00; %Perdida de paquetes, se hace la simulación para diferentes entradas (Ej. 1%, 3%, 10%, etc.)
9 plri = 9; % Coeficiente impacto para la perdida de paquetes
10 lj = 0.0138; %Corresponde la inversa de la media (lambda) en una pdf Exponencial
11 ll = 0.0138; %Corresponde la inversa de la media (lambda) en una pdf Exponencial
12 xjitter = -log(ujitter)/lj; % Jitter(i) Generado aleatoriamente.
13 xjitters = 1e-03*xjitter; % Conversión de milisegundos a segundos (s)
14 xlatencia = -log(ulatencia)/ll; % Latencia(i) Generado aleatoriamente.
15 xlatencias = 1e-03*xlatencia; % Conversión de milisegundos a segundos (s)
16 AL = 3.0*xlatencias; % Latencia caculada por su impacto.
17 AJ = 3.0*xjitters; % Jitter caculado por su impacto.
18 den = 1 + (AL + AJ)*exp(plr*plri);
19 mos = 0.999 + 4./den;
20 [DNEW ED] = allfitdist(mos,'PDF')
21 DNEW (1)
22 n = length(mos);
23 media = sum(mos)/n
24 varianza = var(mos)
```

Anexo 5: Resultados de la encuesta, calificación dada a la calidad de cada imagen del anexo 2.

RESULTADO DE LA ENCUESTA CALIDAD DE EXPERIENCIA (QoE) EN TERMINOS DE MOS, CALIFICACIONES DE 1 A 5.															
	ENCUESTA MOS PUNTO E			ENCUESTA MOS PUNTO A			ENCUESTA MOS PUNTO D			ENCUESTA MOS PUNTO B			ENCUESTA MOS PUNTO C		
Media (MOS)	1,34			3,86			1,77			3,68			2,829		
Mediana	1			4			2			4			3		
Moda	1			4			2			4			3		
Varianza	0,42			0,66			0,54			1,07			0,765		
Desviación Estándar	0,65			0,81			0,74			1,04			0,874		
Número de muestras	258			258			258			258			258		
Calificación QoE (MOS), según encuestado 1	1	2	3	4	4	5	3	3	3	4	4	5	4	4	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 2	1	2	2	4	5	4	3	2	2	4	5	5	3	3	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 3	1	1	1	3	3	4	2	1	1	2	4	5	2	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 4	1	1	1	2	3	4	2	1	2	4	5	4	4	4	5
Calificación QoE (MOS), según encuestado 5	1	1	1	4	5	4	1	1	1	1	2	3	2	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 6	1	1	1	4	5	5	2	1	1	3	4	4	2	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 7	1	2	2	4	4	4	2	2	2	3	4	4	2	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 8	1	1	1	3	4	4	1	1	1	2	3	3	2	1	2
Calificación QoE (MOS), según encuestado 9	1	1	1	3	3	4	1	1	1	2	4	4	3	1	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 10	1	1	2	3	3	4	2	1	1	3	4	4	3	3	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 11	1	1	1	3	4	4	1	1	1	1	4	4	3	1	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 12	1	1	1	4	3	4	1	1	1	2	4	4	2	1	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 13	1	1	1	3	4	4	2	1	1	2	4	3	2	2	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 14	1	1	1	3	3	4	2	1	1	2	4	4	2	2	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 15	1	1	1	3	4	4	2	1	1	3	4	3	3	2	2
Calificación QoE (MOS), según encuestado 16	1	1	1	3	3	3	2	1	2	4	5	5	2	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 17	1	1	1	3	4	5	2	1	1	3	5	5	3	3	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 18	1	1	1	3	3	4	1	1	2	3	5	5	3	3	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 19	1	1	2	4	4	5	2	1	2	3	5	4	2	3	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 20	1	1	2	5	4	4	3	2	2	3	4	4	4	3	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 21	1	1	1	3	3	4	2	1	1	2	3	4	2	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 22	1	2	2	4	4	4	2	1	2	3	4	4	3	3	4

Continuación Anexo 5.

	ENCUESTA MOS PUNTO E			ENCUESTA MOS PUNTO A			ENCUESTA MOS PUNTO D			ENCUESTA MOS PUNTO B			ENCUESTA MOS PUNTO C		
Calificación QoE (MOS), según encuestado 23	1	2	2	5	4	4	3	1	2	3	4	4	3	3	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 24	1	2	2	5	5	5	3	2	3	3	5	5	3	3	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 25	1	2	2	4	4	5	2	1	2	3	4	5	3	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 26	1	1	1	4	4	4	2	2	2	3	4	4	3	3	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 27	1	1	1	3	3	3	2	2	2	2	3	3	2	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 28	1	2	3	4	4	5	3	4	4	3	4	4	3	3	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 29	1	1	1	3	3	3	2	1	2	2	4	4	2	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 30	1	2	2	3	4	5	1	1	2	2	4	3	2	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 31	1	1	2	3	4	4	2	2	2	3	4	5	3	3	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 32	1	1	1	3	4	4	2	2	2	3	5	5	2	2	2
Calificación QoE (MOS), según encuestado 33	1	1	2	1	2	3	2	1	2	2	4	3	2	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 34	1	1	1	3	5	4	1	1	1	3	5	4	2	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 35	1	1	1	3	4	5	2	1	2	3	4	4	3	2	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 36	1	1	1	4	4	4	3	2	2	2	4	4	3	3	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 37	5	5	5	4	3	4	2	2	2	3	5	4	3	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 38	1	1	1	3	3	4	1	1	1	1	3	3	1	1	2
Calificación QoE (MOS), según encuestado 39	2	2	2	4	4	4	2	2	2	4	5	5	3	3	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 40	1	1	2	5	5	5	2	2	2	4	4	4	3	3	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 41	1	1	2	4	4	5	3	2	2	3	5	4	3	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 42	1	2	3	3	4	4	3	2	3	4	4	5	3	3	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 43	1	1	1	4	3	4	1	1	1	3	5	5	3	3	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 44	1	2	2	3	3	4	2	1	2	2	5	3	3	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 45	1	2	3	4	4	5	3	3	3	3	4	4	3	3	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 46	1	1	2	5	5	5	2	3	3	4	5	5	3	3	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 47	1	1	1	3	2	4	2	1	1	2	4	2	2	2	2
Calificación QoE (MOS), según encuestado 48	1	2	2	4	4	4	1	1	1	1	4	3	3	3	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 49	1	2	2	5	5	5	3	1	2	4	5	5	4	4	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 50	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	4	4	1	1	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 51	1	2	2	3	4	3	1	1	1	2	3	3	2	1	2

Continuación Anexo 5.

	ENCUESTA MOS PUNTO E			ENCUESTA MOS PUNTO A			ENCUESTA MOS PUNTO D			ENCUESTA MOS PUNTO B			ENCUESTA MOS PUNTO C		
Calificación QoE (MOS), según encuestado 52	1	1	1	3	4	4	3	2	2	3	5	5	4	3	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 53	1	1	1	3	4	4	2	2	2	3	4	4	2	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 54	1	1	1	4	4	4	2	2	2	3	4	4	2	2	2
Calificación QoE (MOS), según encuestado 55	1	1	1	3	4	4	2	1	2	2	4	4	2	3	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 56	1	1	1	5	4	4	2	2	2	2	5	5	3	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 57	2	2	2	3	3	3	3	2	2	3	4	4	3	3	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 58	1	1	1	3	3	3	2	1	2	2	3	3	2	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 59	1	2	2	4	3	3	2	1	1	2	5	4	2	3	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 60	1	1	1	3	4	4	2	1	2	3	4	4	2	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 61	1	2	3	3	4	4	2	1	2	3	4	4	3	3	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 62	1	1	2	4	5	5	3	2	3	3	5	5	3	3	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 63	1	2	2	3	4	4	3	2	2	4	5	4	3	3	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 64	1	1	1	4	5	5	2	1	1	3	5	5	2	3	5
Calificación QoE (MOS), según encuestado 65	1	1	1	5	5	5	4	3	3	3	5	5	2	2	5
Calificación QoE (MOS), según encuestado 66	1	1	1	5	5	5	4	3	3	3	5	5	4	4	5
Calificación QoE (MOS), según encuestado 67	1	1	1	5	5	5	3	2	2	3	5	5	4	4	5
Calificación QoE (MOS), según encuestado 68	1	2	2	4	5	5	2	1	1	3	5	5	3	3	5
Calificación QoE (MOS), según encuestado 69	1	1	2	4	4	5	2	2	2	4	5	5	4	4	5
Calificación QoE (MOS), según encuestado 70	1	1	1	4	4	4	2	1	2	3	4	4	2	3	2
Calificación QoE (MOS), según encuestado 71	1	1	1	4	5	5	1	1	1	2	5	5	2	1	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 72	1	1	1	4	4	5	1	1	2	2	5	5	1	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 73	1	1	1	3	4	5	2	2	2	3	3	3	3	3	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 74	1	1	1	5	4	5	1	1	1	3	5	4	3	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 75	1	2	2	3	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 76	1	2	2	5	5	5	3	2	2	5	5	5	5	4	5
Calificación QoE (MOS), según encuestado 77	1	1	1	2	2	3	1	1	1	1	2	3	1	1	1
Calificación QoE (MOS), según encuestado 78	1	1	1	2	3	3	1	1	1	3	4	4	2	2	2
Calificación QoE (MOS), según encuestado 79	1	1	1	3	4	4	1	1	1	2	4	4	2	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 80	1	1	1	4	3	3	1	1	1	1	4	4	3	3	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 81	1	2	1	4	3	4	1	1	1	2	3	4	2	2	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 82	1	2	3	4	4	5	3	2	2	4	5	5	3	3	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 83	1	2	2	3	3	4	2	2	1	3	3	3	3	3	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 84	1	2	1	4	4	5	3	2	1	3	5	4	3	3	4
Calificación QoE (MOS), según encuestado 85	1	2	3	4	4	5	3	3	3	3	4	4	3	3	3
Calificación QoE (MOS), según encuestado 86	1	2	2	3	3	4	2	2	1	2	3	4	3	3	4