

Revisión de la Implementación del Servicio de IPTV sobre Redes Inalámbricas y Móviles con Calidad de Servicio (QoS)

Review to the Implementation of IPTV Service over Wireless and Mobiles Networks with Quality of Service (QoS)

DIEGO FERNANDO RUEDA PEPINOSA

MSc. en Ingeniería de Telecomunicaciones

Investigador del Grupo GITUN

Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá

dfruedap@unal.edu.co

Bogotá, Colombia

ZOILA INÉS RAMOS RODRÍGUEZ

Ph.D (c) en Ingeniería de Telecomunicaciones

Universidad de Telecomunicaciones e Informática de Moscú

Profesor Asociado al Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial

Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá

ziramosp@unal.edu.co

Bogotá, Colombia

Fecha de recibido: 10/09/2012

Fecha de aprobación: 02/05/2013

RESUMEN

En IPTV (*Internet Protocol Television*) la calidad de los contenidos entregados a los usuarios se ve afectada por diferentes parámetros de desempeño de la red que deben ser asegurados en sus valores mínimos para garantizar la calidad percibida por los usuarios. El despliegue del servicio de IPTV sobre redes inalámbricas y móviles ha enfrentado serios desafíos debido a las limitaciones de ancho de banda, a la baja fiabilidad y calidad de los enlaces de comunicaciones inalámbricos y a la movilidad de los terminales. Sin embargo, las últimas tecnologías inalámbricas de banda ancha se perfilan como redes idóneas para el despliegue de este servicio toda vez que son arquitecturas completamente IP (*all-IP*) con capacidades de ofrecer Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*) de extremo a extremo e incrementan la velocidad de acceso. Por tanto, en este artículo se realiza la revisión de los trabajos que se han realizado para la implementación de la IPTV sobre redes inalámbricas y móviles con QoS.

PALABRAS CLAVE: Redes Inalámbricas y Móviles, Calidad de Servicio (QoS), Televisión sobre el Protocolo de Internet (IPTV)

ABSTRACT

In the Internet Protocol Television (IPTV) the quality of content delivered to users is affected by different parameters of network performance that must be secured at their minimum values to guarantee the quality perceived by users. The IPTV service deployment on wireless and mobile networks has been facing serious challenges due to limited bandwidth, low reliability and the quality of wireless communication links and user mobility. However, the latest broadband wireless technologies are emerging as suitable networks for the deployment of this service since they are all-IP architectures capabilities to provide end-to-end Quality of Service (QoS) and increase the access speed. So, in this paper, we review the work that has been made for the IPTV implementation over wireless and mobile networks with QoS.

KEYWORDS: Wireless and Mobile Networks, Internet Protocol Television (IPTV). Quality of Service (QoS).

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de radiodifusión de televisión terrestre, satelital y por cable han llegado a conformar una de las infraestructuras tecnológicas más grandes que han sido desplegadas cubriendo la mayor parte de los territorios [1]. Ahora con la digitalización de los contenidos de audio y video es posible el uso de las redes de banda ancha para la entrega de servicios de televisión mediante arquitecturas basadas en el Protocolo de Internet (IP, *Internet Protocol*) [1] [2].

En los sistemas de IPTV (*Internet Protocol Television*), la Televisión Digital (TD) es entregada a los usuarios usando las redes de conmutación de paquetes IP [1]. Cabe señalar que IPTV es diferente de las soluciones de TV sobre Internet, debido a que esta última permite a los usuarios ver videos o canales de TV en un entorno del mejor esfuerzo; mientras que en un sistema de IPTV se requiere que tanto el servicio como las redes de telecomunicaciones sean debidamente gestionadas para garantizar la calidad en los contenidos entregados a los usuarios [3] [4].

La cadena de valor del servicio de IPTV, está conformada por el proveedor de contenidos, el proveedor del servicio, el proveedor de red y el usuario final [5]. En este contexto, los contenidos audiovisuales generados en el proveedor de contenidos son multiplexados con otros canales de TD y aplicaciones interactivas para posteriormente ser transmitidos por la red IP del proveedor de red con calidad de servicio [2]. Del lado del usuario, este debe disponer de un dispositivo que le permita la recepción y decodificación de los canales de TD y ejecución de las aplicaciones interactivas en caso que estén disponibles [2].

En el entorno de las redes inalámbricas y móviles, la televisión sobre IP se enmarca bajo el concepto de *Mobile IPTV*, la cual se define como una tecnología capaz de permitir la transmisión y recepción de tráfico multimedia (audio, video y datos) por medio de redes inalámbricas basadas en el protocolo IP con soporte de Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*) y Calidad de la Experiencia (QoE, *Quality of Experience*), seguridad, movilidad e interactividad [6]. Con *Mobile IPTV* los usuarios pueden disfrutar de la TD y los servicios relacionados en cualquier lugar, a cualquier hora y sobre cualquier dispositivo, inclusive mientras están en movimiento [7].

Desde el punto de vista técnico, en los sistemas de IPTV se requiere la reproducción en tiempo real del contenido seleccionado por el usuario, por esta razón es

necesaria una red de alta velocidad, baja tasa de error y bajo retardo [8] y con ello garantizar el cumplimiento de estos parámetros de desempeño. Luego, la QoS y la QoE han sido identificadas como requisitos críticos para la implementación de un sistema de IPTV [1]. Por lo tanto, el despliegue del servicio de IPTV sobre redes inalámbricas y móviles ha enfrentado serios desafíos debido a las limitaciones de ancho de banda y a la baja fiabilidad y calidad de los enlaces de comunicaciones en estas redes [6]. Además, la movilidad de usuarios afecta el mantenimiento de las conexiones, especialmente si el usuario se mueve entre dos redes con tecnología diferente o entre redes con dominios administrativos diferentes [9].

Tecnologías de segunda y tercera generación (2G y 3G), como GSM (*Global System for Mobile Communications*), UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), HSPA (*System/High Speed Packet Access*) y CDMA2000 (*Code Division Multiple Access*) no han sido capaces de soportar las exigencias impuestas por servicios de banda ancha debido a su baja capacidad para satisfacer los requisitos de desempeño de los servicios multimedia [7].

Entre tanto, las últimas tecnologías inalámbricas de banda ancha como WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) basada en los estándares IEEE 802.16e [8] y 802.16m [11], y las tecnologías definidas por el 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) como LTE (*Long Term Evolution*) [12] y LTE-Advanced [13], ofrecen una capacidad mucho mayor logrando tasas de bits pico de hasta 340 Mbps sobre canales de 20 MHz y con una significativa reducción del retardo [14] [15]. Estas características técnicas permiten mejorar la experiencia de los usuarios y soportar los servicios multimedia a costos de transmisión por bit más bajos y con contenido más enriquecido que lo que se puede ofrecer con las redes de 2G y 3G [7].

Es por tanto que en este artículo se presenta una revisión de la implementación del servicio de IPTV sobre redes inalámbricas y móviles con QoS. Para ello, este trabajo se ha organizado de la siguiente forma: en la sección 2 se describen los aspectos relacionados con la QoS para IPTV, en la sección 3 se presentan las arquitecturas de red para el despliegue de IPTV y los estudios que se han realizado sobre estas. Seguidamente en la sección 4 se realiza una revisión de la literatura más relevante para la implementación de servicios de IPTV sobre redes inalámbricas y móviles con QoS. Finalmente, en la sección 5 se presentan las conclusiones obtenidas a partir de este trabajo.

2. CONSIDERACIONES DE QoS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE IPTV

El concepto de QoS suele estar ligado a las técnicas y procedimientos utilizados para dar un tratamiento preferente a unas clases de tráfico frente a otras, con el objetivo de satisfacer ciertos requisitos en al menos uno de los parámetros como ancho de banda, retardo de los paquetes, variación de retardo, y pérdida de paquetes en función del servicio que se trate [16] [17]. Otras definiciones de QoS, como la de la Unión internacional de las Tele-comunicaciones (UIT) [18], señalan que al utilizar el término QoS se deben tener en cuenta la totalidad de las características de un servicio de telecomunicaciones que determinan su capacidad para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas del usuario del servicio.

Desde el punto de vista de los servicios de telecomunicaciones la mayor parte de la satisfacción del usuario tiene relación con el desempeño de la red [17]. Es por ello que en otros trabajos la definición de la QoS se centra en la red, como la propuesta por el IETF (*Internet Engineering Task Force*) donde la QoS se define como el conjunto de requisitos del servicio que la red debe cumplir en el transporte del flujo de datos [19]. En este sentido, esta última definición está centrada en lo que en lo que [18] denomina la calidad de funcionamiento de la red. En el ámbito de las redes inalámbricas la QoS, implica la diferenciación de tráfico y el uso de múltiples portadoras con la configuración y las prioridades optimizadas para asegurar la calidad de servicio requerida por cada flujo de tráfico [20].

2.1 Parámetros de QoS a nivel de transporte para la IPTV

En un sistema de IPTV la red debe estar diseñada de tal forma que pueda manejar una amplia gama de servicios y aplicaciones y proporcionar los mecanismos de control apropiados para brindar la calidad de servicio en los contenidos entregados a los usuarios sin afectar el rendimiento de los otros servicios transportados. En este sentido, los paquetes que pertenecen a aplicaciones en tiempo real tales como los servicios de VoIP e IPTV deberán transmitirse antes que aquellos que pertenecen a las aplicaciones en tiempo no real, como el correo electrónico o la transferencia de archivos. Esta diferenciación se logra mediante la clasificación de servicios y el empleo de mecanismos de acondicionamiento relacionados con el tráfico y el comportamiento por salto (PHB, *Per Hop Behaviour*) entre los nodos de la red [21].

En el núcleo de la red la diferenciación se puede implementar por medio de un subconjunto de clases de funcionamiento IP como las definidas en [22]. En lo que respecta a la red de acceso debe estar en la capacidad de proporcionar a cada uno de los flujos de paquetes los recursos de la red necesarios para que las aplicaciones y servicios que se implementen sean entregados adecuadamente a los usuarios [21].

En el servicio de IPTV la calidad percibida por el usuario es afectada por los parámetros de desempeño de la red como el retardo, la variación del retardo (*jitter*) y la pérdida de paquetes [23]. Otros parámetros como el tiempo de cambio de canal (*zapping time*) y el tiempo de sincronización del audio y video son importantes en la experiencia de uso del servicio [24]. Además, en los sistemas de IPTV otro parámetro importante que se debe garantizar es la velocidad de transmisión de bits la cual debe ser mayor que la tasa de codificación de los contenidos de IPTV. Dicha velocidad puede variar dependiendo del algoritmo de compresión utilizado en el proceso de digitalización [23]. A continuación se describen los principales parámetros de desempeño de la IPTV.

2.1.1 Retardo. El retardo (*delay*) se manifiesta en varias formas, incluyendo el tiempo necesario para establecer el servicio desde la solicitud inicial que realiza el usuario y el tiempo para recibir la información una vez que el servicio se haya establecido [21]. El retardo impacta directamente en la satisfacción del usuario en función de la aplicación que se trate, y se produce en el equipo del usuario, en los dispositivos de red o en los servidores de aplicaciones. Desde el punto de vista del usuario, el retardo también tiene en cuenta el efecto en otros parámetros de red como el *throughput* [25]. Según [21] el retardo máximo aceptable para la IPTV es de 100 ms y se conoce como retardo de transferencia de paquetes IP (IPTD, *IP packet Transfer Delay*).

2.1.2 Variación del retardo (*jitter*). Considera las variaciones inherentes en los tiempos de llegada de los paquetes individuales de la capa de transporte. En los servicios que son altamente intolerantes al *jitter*, casi siempre se tomarán acciones para eliminarlo (o al menos reducirlos significativamente) mediante el almacenamiento de paquetes en memorias o *buffers* (a pesar que se adicione más retardos fijos) [25]. Para IPTV la máxima variación de retardo en la entrega de los paquetes IP (IPDV, *IP packet Delay Variation*) es de 50 ms [21].

2.1.3 Pérdida de paquetes. Afecta directamente la calidad de la información que se presenta al usuario, bien sea se trate de un servicio de audio, vídeo o datos [25]. En este contexto, la pérdida de información no se limita a los errores de bit o a la pérdida de paquetes durante la transmisión debido a la baja calidad de los enlaces de comunicaciones por una reducida SNR (*Signal to Noise Ratio*) [26], sino también a los efectos de cualquier degradación introducida por la codificación de los contenidos para conseguir una transmisión más eficaz [25].

En IPTV para medir la pérdida de información se tiene la razón de pérdida de paquetes (PLR, *Packet Loss Ratio*), la cual en las redes fijas de debe estar entre 1×10^{-8} y 1×10^{-5} , dependiendo de la técnica de codificación utilizada (MPEG-2 o MPEG-4) [21], pero en las redes móviles la PLR puede ser superior al 1% [26]. Un error o una secuencia de errores en el flujo de bits asociado al audio o vídeo puede causar efectos que van desde un impacto poco notable para el usuario hasta la pérdida completa de la señal de IPTV, y depende de la información que se perdió y que tan robusta es la implementación [26].

2.1.4 Velocidad de transmisión de bits. Los contenidos de TV pueden ser transmitidos en formato 4:3 para televisión de definición estándar (SDTV, *Standard Definition Tele-vision*) o 16:9 para televisión en alta definición (HDTV, *High Definition Television*) y dependiendo de la técnica de compresión la tasa de bits varía entre 1.75 Mbps y 15 Mbps [23]. En este sentido, si emplea la técnica de codificación de vídeo H.262 [27], con el perfil MPEG-2–*Main profile at Main level* (MP@ML) [28], se obtienen flujos para SDTV (480i/576i) de 2.5 Mbps y 15 Mbps para HDTV (720p/ 1080i) [23]. Mientras que si se emplea la técnica H.264 [29], también conocida como MPEG-4 *Part 10* o MPEG-4 AVC (*Advanced Video Coding*) [30], la tasa de codificación de vídeo se reduce a 1.75 Mbps para SDTV y a 10 Mbps para HDTV [23]. En cuanto a la codificación de los contenidos de audio tanto para SDTV como para HDTV se pueden usar técnicas como MPEG-2 AAC (*Advanced Audio Coding*) [31] o MPEG-4 *Audio* [32], obteniéndose con la primera técnica tasas de bit de 128 Kbps y con la segunda técnica 96 Kbps para audio estéreo [23].

En entornos de las redes móviles e inalámbricas las técnicas usadas para la codificación del vídeo es H.264/ MPEG-4 AVC y para la codificación del audio es MPEG-4 *Audio* debido a que con estas se logran las tasas de bits más bajas (128, 242 y 440 Kbps) para afrontar las

limitaciones en la velocidad de transmisión que tienen este tipo de redes [33]. Del mismo modo, la calidad de los contenidos depende de las características de reproducción de los dispositivos receptores (resolución de pantalla, capacidad de procesamiento, códec, entre otros), los cuales determinan si pueden decodificar señales de SDTV o HDTV. Por lo tanto, en los sistemas de IPTV móvil es recomendable usar mecanismos de codificación de vídeo escalable (SVC) para ajustar la tasa de bit según las características de los equipos de usuario y la velocidad de bits disponible en los enlaces de comunicaciones inalámbricos [26].

3. ARQUITECTURAS FUNCIONALES PARA EL DESPLIEGUE DE SERVICIOS DE IPTV

En trabajos como [34] y [35], se realiza la revisión y comparación de las arquitecturas funcionales recomendadas por la UIT en [36] para la entrega de servicios de IPTV. Las arquitecturas funcionales presentadas en [36] se basan en el uso de redes y tecnologías existentes, así como también en la arquitectura de las Redes de Nueva Generación (NGN, *Next Generation Networks*) [37]. En este sentido, se pueden encontrar tres arquitecturas: la primera define una arquitectura para el despliegue de IPTV sobre redes que no son NGN (Non-NGN IPTV) e incluye las redes existentes; la segunda presenta arquitectura que se basa en NGN sin la inclusión del Subsistema Multimedia IP (IMS, *IP Multimedia Subsystem*) (NGN non-IMS IPTV) [38]; y la tercera se basa en la implementación de IPTV en NGN con su componente de IMS (NGN-IMS IPTV) [39]. De estas arquitecturas, una de las más estudiadas es la NGN-IMS IPTV como se encuentra en los trabajos [38, 39, 40, 41, 42].

Particularmente, en [40] se presenta un marco de referencia para el aseguramiento de la QoS en la entrega de servicios de IPTV sobre entornos de NGN, bajo la premisa que el asegurar la QoS y la QoE son parte esencial de un sistema de IPTV. En dicho artículo se reconocen tres subsistemas: el IMS, que sirve para proveer el control en las sesiones, el lanzamiento del servicio y los mecanismos autenticación, autorización y contabilidad (AAA, *Authentication, Authorization, and Accounting*); el Subsistema de Asociación de Red (NASS, *Network Attachment Subsystem*) utilizado para inicializar el dispositivo del usuario final y los procedimientos de establecimiento de la red; y el Subsistema de Control de Admisión y Recursos (RACS, *Resource and Admission Control Subsystem*) para la

aplicación de políticas, control de admisión y gestión de recursos.

4. DESPLIEGUE DE SERVICIOS DE IPTV SOBRE REDES INALÁMBRICAS Y MÓVILES

En los trabajos encontrados en la literatura se han estudiado diferentes aspectos relacionados con la entrega de servicios de IPTV, *video streaming* y multimedia sobre redes inalámbricas y móviles con soporte de QoS/QoE, donde se proponen arquitecturas, marcos de referencia y en algunos de ellos se evalúa el desempeño de la red objeto de estudio: WLAN, WiMAX, y redes móviles de 3G y 4G como se puede ver a continuación.

4.1 Despliegue de IPTV sobre WLAN

En cuanto a los trabajos realizados para el despliegue de IPTV sobre WLAN, en [43] se realizan consideraciones sobre movilidad, señalización, QoS y seguridad, para tráfico multimedia basados en tecnologías W-CDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) e IEEE 802.11. En [44] se plantea una arquitectura de QoS de extremo a extremo en términos de componentes e interfaces, servicios y aplicaciones de red, protocolos de señalización y un sistema de gestión de QoS basado en políticas para usuarios que se mueven desde redes móviles celulares basadas en UMTS hacia redes de difusión, como las redes de Difusión de Video Digital Terrestre (DVB-T, *Digital Video Broadcast – Terrestrial*).

Por su parte, en [45] se realiza una revisión de la entrega de servicios de video *unicast* con QoS de extremo a extremo sobre redes inalámbricas y se presenta una solución centrada en las capas de red y una solución centrada en el sistema final. En la solución centrada en las capas de red, la entrega de video incluye la codificación del video, el mapeo y adaptación de la QoS a través de las capas de red, el control de la transmisión, el modelado de red adaptativo, y los módulos de decodificación y salida de video. Entre tanto, en la solución basada en el sistema final, las aplicaciones de video tienen en cuenta y se adaptan a las variaciones del canal inalámbrico. Ésta adaptación puede ser de la red o de los medios. La adaptación de la red hace referencia a la cantidad de recursos de red (ancho de banda, energía de la batería) que deben asignarse para la transmisión del video. Mientras que la adaptación de medios controla la tasa de bit del flujo de video basado en la

estimación del ancho de banda disponible, los errores y la energía de la batería de los dispositivos receptores.

En cuanto a las arquitecturas para la implementación de IPTV con QoS en WLAN se tiene la propuesta en [46], donde se realiza una descripción de los elementos que la conforman y luego se realiza una simulación para validar el mecanismo de control de la QoS que se basa en la medida de la tasa de bit en diferentes puntos de la arquitectura. Por su parte, en [47] los autores realizan una evaluación de la QoS en términos de la PLR y su relación con calidad percibida por los usuarios cuando se varían los esquemas de priorización de tráfico soportados por el estándar IEEE 802.11e. En [48] se realiza un estudio del desempeño de IPTV sobre una WLAN basada en el estándar IEEE 802.11n, para dos escenarios principales: uno *indoor*, con múltiples usuarios inalámbricos, y otro en una conexión *outdoor* punto a punto. Los parámetros evaluados fueron retardo, *jitter* y pérdida de paquetes.

En [49] los autores presentan en su trabajo los desafíos técnicos a considerar para la prestación del servicio de IPTV en entornos de redes móviles tales como la capacidad de los dispositivos móviles, ancho de banda de los canales inalámbricos y QoS/QoE. Además los autores de [49] proponen una arquitectura basada en el DCCP (*Datagram Congestion Control Protocol*) y en el SCTP (*Stream Control Transmission Protocol*) para proveer la QoS/QoE requerida por los usuarios del servicio cuando estos se desplazan entre tres redes diferentes (LAN, WLAN y WiBro), logrando como resultado de la implementación de los protocolos resolver los problemas de alta pérdida de paquetes y de bajo *throughput* en este tipo de entornos.

4.2 Despliegue de IPTV sobre WiMAX

En cuanto a los trabajos realizados para el despliegue de IPTV sobre redes WiMax se tienen a [50] donde se propone un marco de referencia desde la perspectiva de las capas física (PHY) y de Control de Acceso al Medio (MAC, *Medium Access Control*) con el fin de enfrentar algunos de los desafíos que implica la entrega de servicios de IPTV sobre este tipo de redes tales como movilidad, *multicast*, cambio rápido de canales, *jitter*, sobre encabezado de protocolos, diseño de los transmisores, consumo de energía y capacidad del sistema de IPTV para soportar múltiples usuarios.

En [51] se hace una revisión de la transmisión de IPTV sobre redes WiMax haciendo énfasis en las alternativas que tiene el enlace inalámbrico para brindar QoS/QoE.

En [52] se propone y evalúa un marco para la aplicación de superposición de codificación a nivel físico PHY de WiMAX para modular y demodular señales de *multicast* que transportan flujos de video asociados a IPTV con el fin de mejorar la relación señal a ruido pico (PSNR, *Peak Signal-to-Noise Ratio*) y de esta forma contribuir a brindar la QoS requerida por el servicio.

En [53], los autores realizan un análisis de los requerimientos de QoS para la entrega de IPTV sobre WiMax y desarrollan un controlador usando lógica *fuzzy* para mejorar la QoS ofrecida por la red al servicio de IPTV en términos de ancho de banda, retardo y pérdida de paquetes. En [54] se propone un modelo para implementar la IPTV sobre WiMax, considerando el algoritmo DLRTS (*Downlink Real-time Scheduling*) para la planificación de tráfico en el enlace descendente (DL, *Down link*) con el fin de reducir el retardo en la entrega de paquetes de IPTV. Los autores encontraron que el algoritmo DLRTS mejora el desempeño tanto en retardo como en *throughput* si se lo compara con lo ofrecido por algoritmo de planificación *Round-Robin* [54].

4.3 Despliegue de IPTV sobre redes 3G

En las redes de 3G se tiene el estudio realizado en [55], donde se evalúan las condiciones y restricciones bajo las cuales se da la continuidad a la QoS en las sesiones de video cuando los usuarios se mueven entre las redes WLAN y UMTS. El marco para la discusión presentado por los autores de [55] establece una arquitectura práctica de interconexión de redes UMTS/WLAN. Entre tanto, en [56] los autores encontraron que el desempeño de la red HSDPA (*System/High Speed Download Packet Access*) la implementación del planificador PF (*Proportional Fair*) para el transporte de video *streaming* presenta dificultades para mantener la QoS cuando existe una excesiva carga de tráfico de video. Pero si se implementa el algoritmo *Round-Robin* (RR) dentro de un escenario de tráfico mixto (voz, video y datos) la red se acerca al óptimo desempeño.

En publicaciones como [57, 58, 59, 60, 61] se discute la mejor estrategia para mapear las clases de QoS ofrecidas por UMTS en las clases de tráfico del modelo *DiffServ*. Los resultados muestran como una apropiada asignación de las clases a las aplicaciones como voz sobre IP (VoIP, *Voice over IP*) y *video streaming*, podría ser beneficiosa en la entrega de los flujos de paquetes asociados.

En [62] se realiza una comparación de la QoS en la entrega de *video streaming* sobre redes HSDPA en

diversos ambientes (rural, urbano, *indoor*, peatonal, montañoso) donde fueron evaluados parámetros como retardo, *jitter*, y *throughput*. En [63] se realiza una comparación de la QoS en la entrega de video sobre redes HSDPA y WiMAX, encontrándose que WiMAX tiene resultados óptimos en términos retardo, *jitter*, y *throughput* en la entrega de este tipo de aplicación puesto que dispone de una mayor capacidad que HSDPA.

4.4 Despliegue de IPTV sobre redes LTE y LTE-A

Las redes LTE y LTE-A se constituyen en la evolución de las redes de 3G y se conciben como una infraestructura de red capaz de soportar servicios multimedia ofreciendo los recursos necesarios para garantizar la calidad en su entrega. En redes LTE, el modelo de QoS se basa en el uso de portadores de servicio EPS (*Evolved Packet Core*) los cuales pueden ser clasificados como portadores por defecto, para transportar datos relacionada con señalización, control y de aplicaciones que no necesitan QoS, o como portadores dedicados, para transportar los flujos de tráfico asociados a servicios y aplicaciones con requisitos de QoS. Los portadores por defecto no garantizan la tasa de bits (*non-GBR, non-Guaranteed Bit Rate*) mientras que los portadores dedicados pueden o no garantizarla y depende de los servicios y aplicaciones que transporten [64].

En cuanto a la diferenciación del tráfico en las redes LTE, esta se realiza mediante la clasificación de servicios en clases, cada una de las cuales forma un flujo de paquetes al cual se le asignarán los recursos de la red según las exigencias del servicio usando portadores dedicados [64]. Desde la perspectiva del usuario, las clases de servicios son conversacional, interactiva, *streaming* y *background* [20]. Las clases conversacional y *streaming* están destinadas para transportar tráfico de servicios de tiempo real, los cuales dependen directamente de la percepción humana y son muy sensibles al retardo [20]. Entre tanto, las clases interactivas y *background* están pensadas para ser usadas por las aplicaciones de datos donde se debe garantizar una transferencia libre de errores sin tener en cuenta el retardo [65]. Para identificar la clase de QoS en un portador se tiene el parámetro QCI (*QoS Class Identifier*) y el parámetro de asignación y retención de prioridad (ARP, *Allocation and Retention Priority*). Con ARP se puede decidir si un portador puede ser establecido en caso de congestión del canal de radio [64].

Otro de los conceptos relacionados con la provisión de QoS en redes LTE tiene que ver con los algoritmos de planificación de recursos tanto en el enlace de bajada (DL, *Downlink*) como en el enlace de subida (UL, *Uplink*). Tales algoritmos permiten que los recursos de la red (portadores, tasas de bit y prioridades) sean asignados a cada uno de los flujos de tráfico teniendo en cuenta el nivel de QoS esperado, el comportamiento de las fuentes de datos, la carga de tráfico y la calidad del canal de radio. Es por ello en que diversos trabajos se han realizado estudios comparativos y propuesto algoritmos para la planificación de recursos en redes LTE con el objetivo de satisfacer los parámetros de desempeño de los diferentes servicios y aplicaciones que pueden circular por este tipo de redes.

En este orden de ideas, en [66] se encuentra el diseño de un planificador de tráfico para redes LTE y la caracterización de su desempeño en tres escenarios, llamados, *full-buffer*, *streaming video*, y *mixto streaming/live video*. Los autores de demuestran que propuesta de maximización de la utilidad en el planificador que diseñaron ofrece un buen control sobre la tasa de CDF (*Cumulative Distribution Function*) para el caso de *full-buffer*. Igualmente demuestran que las reglas EXP y LOG pueden soportar una mezcla de QoS de tráfico aumentando la capacidad del sistema en términos de número de usuarios y reduciendo la utilización de recursos. En [67], los autores encontraron, mediante la evaluación del desempeño de los planificadores de paquetes bien conocidos para servicios de *video streaming*, que el algoritmo M-LWDF (*Maximum - Largest Weighted Delay first*) proporciona una baja PLR y el mayor *throughput* al enlace descendente de la red LTE, soportando un mayor número de usuarios y garantizando la equidad (*fairness*) en nivel satisfactorio. A pesar que el algoritmo EXP/PF tiene un buen *throughput*, la equidad es muy pobre si se compara con la obtenida con M-LWDF cuando el número de usuario crece [67].

Por otro lado, en [68] se analizaron otros planificadores de tráfico como RR y *Best CQI (Channel Quality Indicator)* para una carga de tráfico mixto (VoIP y *video streaming*) en la red LTE, y se encontró que el planificador *Best CQI* ofrece una mejor experiencia a los usuarios que el algoritmo RR. *Best CQI* asigna un número apropiado de portadores de radio (RB, *Radio Bearer*) para los usuarios de voz maximizando el número restante de recursos a los usuarios de video; al algoritmo *Best CQI* concede el número apropiado de RB para los usuarios de video que tiene un buen CQI, y aquellos que tienen un bajo CQI son rechazados

por el planificador. En [69], se analiza el impacto del retardo del reporte no periódico del CQI sobre el rendimiento del algoritmo M-LWDF para atender a los usuarios de *video streaming* a diferentes velocidades. Los resultados de este trabajo recomiendan que para mantener la QoS requerida para los flujos de video a los usuarios que viajan a altas velocidades reporte del CQI se debe enviar con mayor frecuencia que aquellos que se desplazan a menor velocidad.

En [70] se realiza un estudio del desempeño para un servicio de video telefonía para dos algoritmos de planificación de paquetes PF y PFMR (*Proportional Fair Scheduling with Minimum Rate*) en DL. Como conclusión de este trabajo se tiene que PF no provee QoS mientras que PFMR si lo hace y además ofrece más alta capacidad para los flujos de video. Sin embargo, con PFMR, el *throughput* de la celda y de otros flujos *best effort* se reduce debido al alto peso de los flujos de video.

En [71] se presenta una herramienta para la simulación de la red LTE en situaciones en las que se desean evaluar los parámetros de desempeño de la red. En este software fueron modelados tres tipos de nodos de la red LTE: UE, eNB, y MME/GW, y soporta entornos uni-celda y multi-celda, gestión de calidad de servicio (QoS), movilidad de los usuarios (velocidad y dirección de desplazamiento) y procesos de *handover*. También modela el esquema AMC (*Adaptive Modulation and Coding*); la retroalimentación del CQI; los planificadores de tráfico bien conocidos (PF, M-LWPF y EXP/PF) las técnicas de reutilización de frecuencia; pérdidas de propagación; y los modelos para la capa PHY. Para validar esta herramienta de simulación los autores plantean un escenario multicelda donde evaluaron el desempeño (*throughput*, PLR y retardo) de las aplicaciones (VoIP, video y flujo de datos *best effort*) para cada uno de los planificadores de tráfico bien conocidos. Los resultados muestran que los algoritmos M-LWDF y EXP/PF mantienen una calidad de servicio adecuada para las aplicaciones en tiempo real como VoIP y video ante el crecimiento en el número de usuarios y velocidad de desplazamiento (3 y 120 Km/h). Por su parte, en [72] se hace uso de la herramienta propuesta en [71] para evaluar el desempeño de un planificador de tráfico de dos capas, con el cual se obtuvieron mejores resultados de desempeño de la red LTE para las aplicaciones en tiempo real que con los planificadores bien conocidos.

En cuanto a la evaluación del desempeño de los planificadores de tráfico en el enlace ascendente (UL), se

tiene el trabajo presentado en [73]. En este artículo, los autores evalúan el *throughput*, la pérdida de paquetes y el *fairness* de los planificadores en un escenario de red LTE con tráfico mixto. Como principal resultado encontraron que los planificadores de UL tienen un desempeño similar, y que al tener SC-FDMA, como esquema de acceso múltiple, se restringe la asignación de subportadoras contiguas limitando el rendimiento de los planificadores.

En [74] se propone una nueva técnica de asignación de recursos para aplicaciones de video streaming en tiempo real. La asignación de recursos, que es una de las técnicas de planificación de paquetes, utiliza la SNR instantánea del DL, el retardo de los paquetes y la información del buffer para determinar la cantidad de recursos de radio que serán asignados a un usuario. Los resultados de las simulaciones demuestran que la técnica propuesta supera a la técnica oportunística, al reducir el PLR, maximizar el *throughput* del sistema y aumentar la asignación de los RB cuando el número de usuarios crece. Esto se debe a que se utiliza de manera eficiente los recursos de radio disponibles para satisfacer los requisitos de QoS a las aplicaciones de video.

En [75] se propone un sistema *Quality-Driven Cross-Layer* optimizado para la entrega de video sobre redes LTE. Con este sistema, los autores demuestran que a pesar que la calidad del canal decrezca por un incremento en la PSNR, la calidad del video recibido por los usuarios se mantiene. Esto ocurre porque mientras que el sistema existente trata de maximizar el *throughput* de la red, lo que conduce a más pérdidas de paquetes y por consiguiente a la degradación del desempeño, el sistema propuesto por los autores de manera integral y dinámica puede adaptarse a la variación de la calidad del canal con óptimos esquemas de modulación y codificación, (MCS, *Modulation and Coding Scheme*) y parámetros de codificación para asegurar la mejor calidad del video con la restricción de retardo. Por ello, dicho sistema logra una mayor ganancia del desempeño cuando la restricción de retardo es más rigurosa. De este modo, cuanto mayor rigurosidad en la restricción de retardo, mayor será el peso de decisión para el usuario, y por lo tanto, más recursos le serán asignados. Finalmente, en [76] se proporciona una evaluación de desempeño de tráfico de video ante variaciones en DL de los parámetros de transmisión de la capa física para adaptarse a las condiciones del canal. En las simulaciones se midió el rendimiento de los cambios en el esquema de modulación, así como de las tasas de codificación en condiciones del canal malas y buenas,

llegando a la conclusión que con un esquema adaptativo se puede optimizar el rendimiento a lo largo de un canal de variable.

5. CONCLUSIONES

En la IPTV la calidad en los contenidos entregados a los usuarios se ve afectada por diferentes parámetros de desempeño de la red como retardo, variación del retardo (*jitter*), pérdida de paquetes y *throughput*, los cuales deben ser asegurados en sus valores mínimos para garantizar la calidad percibida por los usuarios. Por ello, se deben realizar las configuraciones adecuadas a los mecanismos de QoS ofrecidos por los protocolos de comunicaciones para contribuir a la mejora en el desempeño de la red sobre todo cuando se transmiten flujos de tráfico asociados a diferentes servicios y aplicaciones.

El despliegue del servicio de IPTV sobre redes inalámbricas y móviles enfrenta serios desafíos debido a las limitaciones de ancho de banda, a la baja fiabilidad y calidad de los enlaces de comunicaciones inalámbricos y a la movilidad de los usuarios. No obstante, tecnologías inalámbricas de banda ancha como LTE, *LTE-Advanced* y *WiMax-Advanced* se perfilan como redes idóneas para el despliegue de este servicio toda vez que son arquitecturas completamente IP (*all-IP*) con capacidades de ofrecer QoS de extremo a extremo y altas velocidades de acceso.

6. REFERENCIAS

- [1] M. N. O. Sadiku and S. R. Nelatury, "IPTV: An alternative to traditional cable and satellite television," *Trasn. IEEE Potentials*, vol. 30, No. 4, July 2011, pp. 44-46.
- [2] C. Palau, J. Martínez-Nohales, J. Mares, B. Molina and M. Esteve. "On mobile video streaming IPTV", *Proceeding of the 10th International Conference on Teleco-mmunications*, IEEE, June 2009, pp. 457-462.
- [3] A. Al-Hezmi, Y. Rebahi, T. Magedanz and S. Arbanowski, "Towards an interactive IPTV for mobile subscribers", *Proceeding of the International Conference on Digital Telecommunications*, IEEE, August 2006, p. 45.
- [4] J. Goldberg and T. Kernen, "Network structures - the Internet, IPTV and QoS", *EBU Technical Review*, October 2007, p. 11.
- [5] FG IPTV-ID-0025. "Overall definition and description of IPTV in the business role model", *ITU-T*, July 2006, p. 4.

- [6] S. Park, S. Jeong, C. Hwang and M. El Zarki, "Mobile IPTV: Approaches, Challenges, Standards, and QoS Support", *Trasn. IEEE Internet Computing*, vol. 13, No. 3, June 2009, pp. 23-31.
- [7] O. Oyman, J. Foerster, T. Yong-joo and L. Seong-Choon, "Toward enhanced mobile video services over WiMAX and LTE", *Trasn. IEEE Communications Magazine*, vol. 48, No. 8, August 2010, pp. 68-76.
- [8] E. M. Schwalb, *iTV Handbook: Technologies and Standards*. EE.UU: Ed. Prentice Hall, 2003, p. 752.
- [9] S. Zeadally, H. Moustafa and F. Siddiqui, "Internet Protocol Television (IPTV): Architecture, Trends, and Challenges", *Trans. IEEE Systems Journal*, vol. 5, No. 4, December 2011, pp. 518-527.
- [10] IEEE Std 802.16e (2009), IEEE 802.16 Air Interface for Broadband Wireless Access Systems.
- [11] IEEE Std 802.16m (2010), WirelessMAN-Advanced.
- [12] 3GPP Release 8 (2008), The LTE Release.
- [13] 3GPP Release 10 (2010), LTE Release 10 and Beyond (LTE-Advanced).
- [14] 3G Americas, "HSPA to LTE Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT Advanced". RYSAVY Research Rep. September 2009. p. 118.
- [15] S. Ahmadi, "An Overview of Next-Generation Mobile WiMAX Technology", *Trasn. IEEE Communications Magazine*, vol. 47, No. 6, June 2009, pp. 84-98.
- [16] J. Gozdecki, A. Jajszczyk and R. Stankiewicz, "Quality of service terminology in IP networks", *Trasn. IEEE Communications Magazine*, vol. 41, No. 3, March 2003, p.p. 153-159.
- [17] Bellido L. *Contribución a las metodologías para la evaluación de la calidad de servicio en redes heterogéneas [PhD Thesis]*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
- [18] ITU-T Rec. E.800 (2008), Definitions of terms related to quality of service.
- [19] IETF RFC 2386 (1998), A Framework for QoS-based Routing in the Internet.
- [20] 3GPP TS 23.107 (2011), Quality of Service (QoS) concept and architecture (Release 10).
- [21] ITU-T Rec. G.1080 (2008), Quality of experience requirements for IPTV services.
- [22] ITU-T Rec. Y.1541 (2006), Network Performance Objectives for IP-Based Services.
- [23] ITU-T. "IPTV Focus Group Proceedings". ITU, 2008, p. 715.
- [24] J. Llorer, M. García, M. Atenas and A. Canovas, "A QoE management system to improve the IPTV network", *Trans. International Journal of Communication Systems*, vol. 24, No. 1, January 2010, pp.118-138.
- [25] ITU-T Rec. G.1010 (2001), End-user multimedia QoS categories.
- [26] P. Mcdonagh, C. Vallati, A. Pande, P. Mohapatra, P. Perry, and E. Mingozzi, "Investigation of Scalable Video Delivery using H.264 SVC on an LTE Network," *Proceeding of the 14th Wireless Personal Multimedia Communications Symposium (WPMC'11)*, October 2011, pp. 1-5.
- [27] ITU-T Rec. H.262 (2000), Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video.
- [28] ISO/IEC 13818-2 (2000), Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video.
- [29] ITU-T Rec. H.264 (2005), Advanced video coding for generic audiovisual services.
- [30] ISO/IEC 14496-10 (2005), Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 10: Advanced Video Coding AVC.
- [31] ISO/IEC 13818-7 (2006), Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information - Part 7: Advanced Audio Coding (AAC).
- [32] ISO/IEC 14496-3 (2005), Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 3: Audio.
- [33] 3GPP TS 26.234 V11.0.0 (2012), Transparent end-to-end Packet-switched Streaming Service (PSS); Protocols and codecs (Release 11).
- [34] C. S. Lee, "IPTV over Next Generation Networks in ITU-T", *Proceeding of the 2nd IEEE/IFIP International Workshop on Broadband Convergence Networks (BcN'07)*, IEEE, May 2007, pp. 1-18.
- [35] E. Mikoczy, "Next generation of multimedia services - NGN based IPTV architecture", *Proceeding of the 15th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP 2008)*, IEEE, June 2008, pp. 523-526.
- [36] ITU-T Rec. Y.1910 (2008), IPTV functional architecture.
- [37] ITU-T Rec. Y.2001 (2004), General overview of NGN.
- [38] ETSI TS 182 028 V3.5.1, TISPAN (2011), NGN integrated IPTV subsystem Architecture.
- [39] ETSI TS 182 027 V3.5.1, TISPAN (2011), IPTV Architecture; IPTV Functions Supported by the IMS Subsystem.
- [40] M. Volk, J. Guna, A. Kos and J. Bester, "Quality-Assured Provisioning of IPTV Services within the NGN Environment", *Trasn. IEEE*

- Communications Magazine, vol. 46, No. 5, May 2008, pp. 118-126.
- [41] E. Mikoczy, D. Sivchenko, E. Xu and J. Moreno, "IPTV Services over IMS: Architecture and Standardization", *Trasn. IEEE Communications Magazine*, vol. 46, No. 5, May 2008, pp. 128-135.
- [42] M. A. Qadeer and A. H. Khan, "Multimedia Distribution over IPTV and its Integration with IMS", *Proceeding of the 2010 International Conference on in Data Storage and Data Engineering (DSDE 2010)*, IEEE, February 2010, pp. 101-105.
- [43] V. Marques, R. L. Aguiar, C. Garcia, J. I. Moreno, C. Beaujean, E. Melin and M. Liebsch, "An IP-based QoS architecture for 4G operator scenarios", *Trasn. IEEE Wireless Communications*, vol. 10, No. 3, June 2003, pp. 54-62.
- [44] S. Argento, R. Prior, F. Sousa, P. Gonçalves, J. Gozdecki, D. Gomes, E. Guainella, A. Cuevas, W. Dziunikowski and F. Fontes, "End-to-end QoS Architecture for 4G scenarios", *Proceeding of the 14th IST Wireless and Mobile Communications Summit*, IEEE, June 2005, pp. 1-6.
- [45] Q. Zhang, S. Member and W. Zhu, "End-to-End QoS for Video Delivery Over Wireless Internet", *Proceedings of the IEEE*, vol. 93, No. 1, January 2005, pp. 123-134.
- [46] J.-Y. Zhang and M.-G. Liang, "IPTV QoS Implement Mechanism in WLAN", *Proceeding of the International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2008, IEEE, August 2008, pp. 117-120.
- [47] R. MacKenzie, D. Hands and T. O'Farrell, "QoS of Video Delivered over 802.11e WLANs", *Proceeding of the IEEE International Conference in Communi-cations*, June 2009, IEEE, 2009, pp. 1-5.
- [48] M. Atenas, S. Sendra, M. Garcia and J. Lloret, "IPTV Performance in IEEE 802.11n WLANs", *Proceeding of the 2010 IEEE in GLOBECOM Workshops*, IEEE, December 2010, pp. 929-933.
- [49] S. Park, R. Haw and C. Seon Hong, "System architecture for IPTV seamless service in mobility", *Proceeding of the 2010 Digest of Technical Papers International Conference in Consumer Electronics (ICCE)*, IEEE, January 2010, pp. 59-60.
- [50] I. V. Uilecan, C. Zhou and G. E. Atkin, "Framework for delivering IPTV services over WiMAX wireless networks", *Proceeding of the IEEE International Conference on Electro/Information Technology*, IEEE, May 2007, pp.470-475.
- [51] R. B. Moawad, "IPTV over WiMax: Overview on the video path from the server to the WiMax end-user", *Proceeding of the IEEE Lebanon in Communications Workshop*, 2008 (LWC 2008), IEEE, May 2008, pp. 17-23.
- [52] J. She, F. Hou, P. H. Ho and L. L. Xie, "IPTV over WiMAX: Key Success Factors, Challenges, and Solutions", *Trasn. IEEE Communications Magazine*, vol. 45, No. 8, August 2007, pp. 87-93.
- [53] A. Shehu, A. Maraj and R. M. Mitrushi, "Analysis of QoS requirements for delivering IPTV over WiMAX technology", *Proceeding of the 2010 International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, IEEE, September 2010, pp. 380-385.
- [54] Z. Lian-ying and J. Wei-wei, "A Study on the Application of WiMAX Access Technology in IPTV System", *Proceeding of the 2010 Second International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing*, IEEE, April 2010, pp.184-187.
- [55] A. K. Salkintzis, G. Dimitriadis, D. Skyrianoglou, N. Passas and N. Pavlidou, "Seamless continuity of real-time video across UMTS and WLAN networks: challenges and performance evaluation", *Trasn. IEEE Wireless Communications*, vol. 12, No. 3, June 2005, pp. 8 -18.
- [56] V. Vukadinovic and G. Karlsson, "Video Streaming in 3.5G: On Throughput-Delay Performance of Proportional Fair Scheduling", *Proceeding of the 14th IEEE International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems*, 2006 (MASCOTS 2006), IEEE, September 2006, pp. 393-400.
- [57] F. Aghareparast and V.C.M. Leung, "QoS support in the UMTS/GPRS backbone network using DiffServ", *Proceeding of the IEEE GLOBECOM 2002*, IEEE, November 2002, vol. 2, pp. 1440-1444.
- [58] N.V. Lopes, M.J. Nicolau and A. Santos, "Efficiency of PRI and WRR DiffServ Scheduling Mechanisms for Real-Time Services on UMTS Environment", *Proceeding of the IEEE NTMS 2008*, IEEE, November 2008, pp.1-5.
- [59] E. Natalizio, S. Marano and A. Molinaro, "Packet scheduling algorithms for providing QoS on UMTS downlink shared channels", *Proceeding of the IEEE VTC 2005 (Fall)*, IEEE, vol.4, September 2005, pp. 2597-2601.
- [60] L.C. Saud and R.P. Lemos, "Third generation mobile wireless networks quality of service, with a 2.5G case study using Differentiated Services",

- Proceeding of the Sanoff Symposium on Advances in Wired and Wireless Communication, IEEE, April 2004, pp.71-74.
- [61] H. Wang, D. Prasad, O. Teyeb and H.P. Schwefel, "Performance Enhancements of UMTS Networks Using End-to-End QoS Provisioning", Proceeding of International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2005), Center for TeleInfrastruktur (CTIF), September 2005, pp. 1231-1235.
- [62] P. O. Amimo-Rayolla, M. O. Odhiambo and A. M. Kurien, "Video Streaming over HSDPA for Delivery of Essential Services in Under Serviced Areas in Africa", Proceeding of the 2008 Third International Conference on Broadband Communications, Information Technology & Biomedical Applications, IEEE, November 2008, pp. 262-267.
- [63] M. O. Odhiambo, P. O. Amimo-Rayolla, and A. M. Kurien, "Towards a converged network: Video streaming over WiMAX vs. HSDPA in the rural environment", Proceeding of the 2009 AFRICON, IEEE, September 2009, pp. 1-6.
- [64] H. Ekstrom, "QoS control in the 3GPP Evolved Packet System", *Trasn. IEEE Communications Magazine*, vol. 47, No. 2, February 2009, pp. 76-83.
- [65] M. Wemersson, S. Wanstedt and P. Synnergren, "Effects of QoS Scheduling Strategies on Performance of Mixed Services over LTE", Proceeding of the IEEE 18th International Symposium on in Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2007), IEEE, September 2007, pp. 1-5.
- [66] B. Sadiq, R. Madan and A. Sampath, "Downlink Scheduling for Multiclass Traffic in LTE", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2009, July 2009, pp.1-18.
- [67] H. A. M. Ramli, R. Basukala, K. Sandrasegaran and R. Patachaianand, "Performance of well known packet scheduling algorithms in the downlink 3GPP LTE system", Proceeding of the 2009 IEEE 9th Malaysia International Conference in Communications (MICC), IEEE, December 2009, pp. 815-820.
- [68] C. Balint, G. Budura and E. Marza, "Scheduling Techniques Evaluation in LTE systems with Mixed Data Traffic", Proceeding of the 2010 9th International Symposium in Electronics and Telecommunications (ISETC), IEEE, November 2010, pp. 221-224.
- [69] R. Basukala, H. A. M. Ramli, K. Sandrasegaran and L. Chen, "Impact of CQI Feedback Rate/Delay on Scheduling Video Streaming Services in LTE Downlink", Proceeding of the 2010 12th IEEE International Conference in Communication Technology (ICCT), IEEE, November 2010, pp. 1349 - 1352.
- [70] D. Wang, R. Soni, P. Chen and A. Rao, "Video Telephony over Downlink LTE Systems with/without QoS Provisioning", Proceeding of the 2011 34th IEEE in Sarnoff Symposium, IEEE, May 2011, pp.1-5.
- [71] G. Piro, L. Grieco, G. Boggia, F. Capozzi and P. Camarda, "Simulating LTE cellular systems: an open source framework", *Trasn. IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2011, vol. 60, No. 2, February 2011, pp. 498-513.
- [72] G. Piro, L. A. Grieco, G. Boggia, R. Fortuna and P. Camarda, "Two-Level Downlink Scheduling for Real-Time Multimedia Services in LTE Networks", *Trasn. IEEE Transactions on Multimedia*, vol.13, No.5, October 2011, pp.1052-1065.
- [73] M. Salah, N. A. Ali, A. E. Taha and H. Hassanein, "Evaluating Uplink Schedulers in LTE in Mixed Traffic Environments", Proceeding of the 2011 IEEE International Conference in Communications (ICC), IEEE, June 2011, pp. 1-5.
- [74] H. Adibah Mohd Ramli, K. Sandrasegaran, R. Basukala, R. Patachaianand, M. Xue and C. C. Lin, "Resource allocation technique for video streaming applications in the LTE system", Proceeding of the 2010 19th Annual in Wireless and Optical Communications Conference (WOCC), IEEE, May 2010, pp. 1-5.
- [75] H. Luo, S. Ci, D. Wu, J. Wu and H. Tang, "Quality-driven cross-layer optimized video delivery over LTE", *Trasn. IEEE Communications Magazine*, vol. 48, No. 2, February 2010, pp. 102-109.
- [76] A. Pande, V. Ramamurthi, and P. Mohapatra, "Quality-oriented Video delivery over LTE using Adaptive Modulation and Coding," Proceeding of the 2011 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2011), IEEE, December 2011, pp. 1-5.

7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó como parte del proyecto de tesis de Maestría en Ingeniería – Telecomunicaciones: “Marco de Referencia Técnico para el Despliegue del Servicio de IPTV sobre Redes Móviles LTE (*Long Term Evolution*) con Calidad de Servicio (QoS)”, desarrollado en Grupo de Investigación en Teleinformática de la Universidad Nacional de Colombia – GITUN.

8. CURRÍCULUM



Diego Fernando Rueda Pepinosa es MSc. en Ingeniería–Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones énfasis en Redes y Servicios Telemáticos graduado de la Universidad del Cauca (Colombia),

además hace parte del Grupo de Investigación GITUN. Certificado en ITIL *Foundations* por EXIN. Ha participado en proyectos de I+D+i en la Universidad del Cauca, en la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, en el Centro de Investigación de las Telecomunicaciones de Colombia (CINTEL) y en la Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial (COTECMAR). Entre sus áreas de interés se destacan la Gestión de Redes y Servicios de Nueva Generación, los Sistemas de Telecomunicaciones Inalámbricos y Móviles, la Calidad de Servicio en Redes de Telecomunicaciones (QoS) y la Televisión Digital Interactiva.



Zoila Inés Ramos Rodríguez es Ph.D (c) en Ingeniería de Telecomunicaciones, Especialista Radiocomunicaciones, Especialista en Derecho de las Telecomunicaciones, Ingeniera Electrónica, con estudios en Dirección de Empresas, estudiante de Derecho.

Autora y coautora de varios libros y artículos, Docente Investigadora Universidad Nacional de Colombia, Perito avalada por la Comisión de Regulación de Comunicaciones de Colombia (CRC), Consultora. Ha dirigido proyectos de envergadura nacional e internacional como: Interconexión de redes en ambientes multi-usuario y multioperador en Colombia para el Ministerio de Comunicaciones y Colciencias. El proyecto piloto de WiMAX para probar la tecnología antes de ser adquirida financiada por la Empresa de Telecomunicaciones de Bogotá (ETB) como operador del servicio, el proveedor de equipos Aispan y el Grupo de investigación GITUN. Dirigió la inspección a las

empresas de telecomunicaciones de Colombia vigiladas por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD). Delegada para Telecomunicaciones - SSPD, en las áreas de Interconexión, Tráfico, Seguridad, Tasación, Atención al cliente, Prepago y Call Center. Participó como inspectora en las áreas de Interconexión, Tráfico, Seguridad y Tasación a las empresas vigiladas por la SSPD. Dirige actualmente los proyectos “Telecomunicaciones por Líneas de Potencia Eléctrica (PLT)” en el CITIC, el proyecto “Las Telecomunicaciones y las TIC en el Fortalecimiento de la Identidad Nacional y Disminución de la Brecha Digital”, y el proyecto “Estudio Socioeconómico de la adopción de IPv6 en Colombia” para el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia (MINTIC).