



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Marco de referencia técnico para el despliegue del servicio de IPTV sobre redes móviles LTE (*Long Term Evolution*) con calidad de servicio (QoS)

Diego Fernando Rueda Pepinosa

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial
Bogotá, Colombia
2013

Marco de referencia técnico para el despliegue del servicio de IPTV sobre redes móviles LTE (*Long Term Evolution*) con calidad de servicio (QoS)

Diego Fernando Rueda Pepinosa

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería – Telecomunicaciones

Directora:
Ph.D. (c) Zoila Inés Ramos Rodríguez

Línea de Investigación:
Redes y Sistemas de Telecomunicaciones
Grupo de Investigación:
Grupo de Investigación de Teleinformática de la Universidad Nacional – GITUN

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial
Bogotá, Colombia
2013

A mis padres, a mis hermanos, a mis familiares y a todos aquellos quienes con sus recomendaciones, correcciones y apoyo incondicional me impulsaron a concluir este trabajo de investigación y con ello poder alcanzar esta meta.

Resumen

El despliegue de servicio de IPTV requiere que se provean los recursos de red y los mecanismos necesarios para garantizar la calidad en los contenidos entregados a los usuarios. Las características técnicas de las tecnologías LTE/LTE-A las perfilan como las redes móviles idóneas para el despliegue del servicio de IPTV puesto que son arquitecturas de red completamente IP (*All-IP*), con la capacidad de proporcionar altas velocidades de acceso, mejorar la eficiencia, reducir el retardo y proporcionar la QoS de extremo a extremo demandada por el servicio de IPTV. Por lo anterior el propósito de esta tesis se centró en generar un marco de referencia técnico que oriente el despliegue del servicio de IPTV en redes móviles LTE con calidad del servicio. Para ello, en este trabajo se identifican los principales parámetros de desempeño a nivel de red que deben ser garantizados por las redes LTE para la entrega de los servicios de IPTV con calidad de servicio; además se propone una arquitectura funcional para la implementación del servicio de IPTV sobre redes LTE/LTE-A y se analizan las alternativas de funcionamiento de QoS que ofrecen este tipo de tecnologías para la entrega de servicios de IPTV. También se realiza la simulación del tráfico generado por el servicio de IPTV en un modelo de red LTE para la evaluación de los parámetros de desempeño (*throughput*, retardo y pérdida de paquetes) en diferentes escenarios. Y finalmente se presentan los lineamientos técnicos para el despliegue del servicio de IPTV sobre redes LTE, los cuales fueron identificados a partir de los resultados obtenidos de las simulaciones y el análisis de las alternativas de funcionamiento de la red LTE para ofrecer servicio de IPTV con QoS.

Palabras clave: Calidad de Servicio; Redes LTE; Marco de referencia técnico; Redes Móviles de 4G; Televisión móvil; Televisión sobre el Protocolo de Internet.

Abstract

The IPTV service deployment requires that network provide resources and mechanisms to ensure the quality of content delivered to users. The technical characteristics of the technologies LTE/LTE-A make them ideal for IPTV service deployment because they are All-IP network architectures, have the ability to provide high speed access, improve efficiency, reduce latency and provide end-to-end QoS demanded by the IPTV service. Therefore the purpose of this thesis is focused on generating a technical framework to guide the deployment of IPTV service in LTE networks with quality of service. For this propose, in this work we identify key performance parameters at the network level must be guaranteed by LTE networks for the delivery of IPTV services with QoS. Then we propose a functional architecture for service implementation IPTV over mobile networks LTE/LTE-A and analyze the QoS performance alternatives that offer this type of technology for the delivery of IPTV services. Also, we performed the simulation of the traffic generated by the IPTV service on a LTE network model for evaluating performance parameters (throughput, delay and packet loss) in different scenarios. And finally we present technical guidelines for the deployment of IPTV service over LTE networks, which were identified from the results of the simulations and analysis alternatives LTE network performance to provide IPTV service with QoS.

Keywords: 4G Mobile Networks; Internet Protocol Television (IPTV); Long Term Evolution (LTE) Networks; Mobile TV; Quality of Service (QoS); Technical Framework.

Contenido

Resumen.....	VII
Lista de figuras	XII
Lista de tablas.....	XIV
Lista abreviaturas	XV
Introducción	1
Descripción del problema.....	2
Objetivos	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
Alcances y limitaciones.....	3
Metodología	3
Organización del documento	4
1 Consideraciones de QoS para el despliegue de servicios de IPTV sobre redes móviles.....	5
1.1 Cadena de valor para la implementación de servicios de IPTV sobre redes móviles	5
1.1.1 Proveedor de contenidos.....	5
1.1.2 Proveedor del servicio.....	6
1.1.3 Operador de red.....	6
1.1.4 Usuario final.....	7
1.2 Clasificación de los servicios de IPTV	7
1.3 Retos para la implementación de IPTV en redes móviles	7
1.4 Arquitectura de red para la implementación de IPTV.....	9
1.5 Calidad de servicio para IPTV en redes móviles	11
1.6 Parámetros de QoS de nivel de transporte para la IPTV.....	12
1.6.1 Retardo	13
1.6.2 Variación del retardo (<i>jitter</i>)	14
1.6.3 Pérdida de paquetes.....	14
1.6.4 Velocidad de transmisión	14
1.7 Grado de importancia relativo en la experiencia del usuarios de los parámetros de QoS para el servicio de IPTV.....	15
2 Análisis de las alternativas de funcionamiento de la red LTE para la implementación del servicio de IPTV con QoS	19
2.1 Evolución de las redes móviles hacia redes de banda ancha LTE/LTE-A	19
2.2 Especificaciones de las redes LTE/LTE-A	21
2.3 Generalidades de las redes móviles LTE/LTE-A.....	22
2.4 Arquitectura funcional de alto nivel para la implementación de IPTV en redes LTE/LTE-A	23
A	23
2.4.1 Equipos de usuario (UE).....	23

2.4.2	Capa de Acceso.....	24
2.4.3	Capa de Transporte.....	28
2.4.4	Capa de Control.....	29
2.4.5	Capa de servicios y aplicaciones.....	29
2.4.6	Capa de gestión de redes y servicios	30
2.4.7	Proveedor de Contenidos	31
2.5	Arquitectura funcional detallada para la implementación de IPTV en redes LTE/LTE-A31	
2.5.1	Equipos de usuario (UE)	31
2.5.2	Nodos B evolucionados (eNB).....	32
2.5.3	Entidad de gestión de la movilidad (MME).....	32
2.5.4	Puerta de enlace de servicio (S-GW).....	32
2.5.5	Puerta de enlace de la red de paquetes de datos (PDN-GW)	33
2.5.5	Control de políticas y de carga (PCC, <i>Policy and Charging Control</i>)	33
2.5.6	Servidor de suscripción local (HSS)	35
2.5.7	<i>Proxy</i> -CSCF (P-CSCF)	35
2.5.8	<i>Serving</i> -CSCF (S-CSCF).....	35
2.5.9	<i>Interrogating</i> -CSCF (I-CSCF)	35
2.5.10	Entidad de descubrimiento y selección de servicios (SDF/SSF)	36
2.5.11	Entidad para el control del servicio de IPTV (SCF).....	36
2.5.12	Entidad de entrega y control de contenidos (MDF/MCF).....	36
2.6	Servicio de multidifusión y difusión multimedia (MBMS)	37
2.7	Calidad de Servicio (QoS) en redes LTE/LTE-A.....	38
2.7.1	Conexiones PDN.....	38
2.7.2	Servicio portador EPS (<i>EPS Bearer Service</i>)	40
2.7.3	Parámetros de QoS en las redes LTE/LTE-A.....	43
2.8	Análisis de las alternativas de funcionamiento de la red LTE para la implementación del servicio de IPTV con QoS.....	45
2.8.1	Análisis del funcionamiento de la red LTE para la prestación de un servicio de IPTV básico con QoS.....	46
2.8.2	Análisis del funcionamiento de la red LTE para la prestación de un servicio de IPTV de VoD con QoS.....	51
3	Evaluación de los principales parámetros de desempeño la red LTE para la implementación de IPTV con QoS.....	57
3.1	Consideraciones generales para la simulación	57
3.2	Escenarios de simulación.....	58
3.2.1	Escenario 1: Modelo de red LTE Unicelda/Multiusuario.....	58
3.2.2	Escenario 2: Modelo de red LTE Multicelcelda/Multiusuario	59
3.3	Construcción de los escenarios de simulación	59
3.3.1	Modelo de red LTE para la simulación del servicio de IPTV.....	60
3.3.2	Modelo de tráfico para la simulación de las aplicaciones.....	62
3.4	Resultados de la simulación y discusión	63
3.4.1	Evaluación de los parámetros de desempeño de la red LTE para el Escenario 1: Uni-celda/Multi-Usuario	63
3.4.2	Evaluación de los parámetros de desempeño de la red LTE para el Escenario 2: Multi-celda/Multi-Usuario	68
4	Lineamientos técnicos para el despliegue del servicio de IPTV sobre redes LTE con Calidad de Servicio (QoS).....	75
4.1	Lineamientos técnicos	75
4.2	Requisitos de QoS para la implementación de un servicio de IPTV en la red LTE.....	76
4.2.1	Aspectos de la QoS y de la calidad de funcionamiento.....	76

4.2.2	Aspectos relativos a la red	78
4.3	Puntos de monitoreo de desempeño del servicio de IPTV en la red LTE	81
4.3.1	Punto de monitoreo 1 (PT1): Entre el proveedor de contenidos y el proveedor del servicio	82
4.3.2	Punto de monitoreo 2 (PT2): Entre el proveedor del servicio y el proveedor de la red LTE	83
4.3.3	Punto de monitoreo 3 (PT3): Entre el núcleo de la red LTE y la red de acceso E-UTRAN	83
4.3.4	Punto de monitoreo 4 (PT4): En el borde de la red de acceso E-UTRAN	84
4.3.5	Punto de monitoreo 5 (PT5): En el terminal del usuario final	85
4.4	Mecanismos de gestión de tráfico para IPTV	86
4.4.1	Requisitos funcionales para la gestión de tráfico	86
4.4.2	Mecanismos de gestión de tráfico en la red LTE para servicios de IPTV	87
4.5	Control de recursos y admisión, y políticas de calidad en redes LTE para IPTV	90
4.6	Acuerdo de nivel de servicio (SLA) para la prestación del servicio de IPTV sobre redes LTE	91
4.7	Gestión del servicio de IPTV en redes LTE basado en las buenas prácticas recomendadas por ITIL	92
4.7.1	Ciclo de vida de los servicios definido por ITIL	92
4.7.2	Diseño del servicio	94
4.7.3	Transición del Servicio	95
4.7.4	Operación del Servicio	97
4.7.5	Mejora continua del servicio	100
5	Conclusiones y recomendaciones	103
5.1	Conclusiones	103
5.2	Recomendaciones	105
A.	Anexo: Requisitos de las IMT-Advanced y tecnologías clave de LTE-A	107
B.	Anexo: Herramienta de simulación LTE-Sim	117
C.	Anexo: Normatividad y regulación para el despliegue de servicios de IPTV en Colombia	133
	Bibliografía	143

Lista de figuras

Figura 0-1: Metodología para el desarrollo del proyecto de tesis de maestría [20]	3
Figura 1-1: Cadena de valor para la implementación de servicios de IPTV. Adaptación [21].	6
Figura 1-2: Arquitectura funcional de alto nivel para el despliegue de IPTV según la UIT [29]	10
Figura 1-3: Trayectoria de referencia UNI a UNI para los objetivos de QoS de red [39]	13
Figura 1-4: Dimensiones de la QoE [26]	16
Figura 1-5: Ejemplo del impacto de la pérdida de un simple paquete IP (trama B y trama I) [26]	17
Figura 2-1: Requisitos de velocidad de transmisión de datos y retardo de servicios y aplicaciones [52] 20	
Figura 2-2: Evolución de las tecnologías definidas por el 3GPP [55]	21
Figura 2-3: Explicación del proyecto SAE/LTE [54].....	21
Figura 2-4: Arquitectura funcional de alto nivel para la implementación del servicio de IPTV sobre redes LTE/LTE-A	24
Figura 2-5: Red de Acceso por Radio Terrestre Universal – Evolucionada (E-UTRAN) [65].....	25
Figura 2-6: Pila de Protocolos en el Plano de Control de E-UTRAN [65]	25
Figura 2-7: Pila de protocolos en el Plano de Usuario de E-UTRAN [65]	26
Figura 2-8: Estructura de la Capa 2 para el DL [65].....	26
Figura 2-9: Estructura de la Capa 2 para el UL [65].....	27
Figura 2-10: Arquitectura del Núcleo de Paquetes Evolucionado (EPC) [72].....	29
Figura 2-11: Arquitectura del núcleo de IMS para la prestación de servicios de IPTV. Adaptación [31]	30
Figura 2-12: Arquitectura detallada para implementación de IPTV en redes LTE/LTE-A	31
Figura 2-13: Arquitectura del subsistema PCC en el EPS de las redes LTE/LTE-A [76].....	34
Figura 2-14: Protocolos para la de entrega y control de contenidos de IPTV (MDF/MCF) [81]	36
Figura 2-15: Arquitectura funcional para el despliegue del servicio MBMS [65].....	37
Figura 2-16: Conexión PDN. Adaptación [86]	38
Figura 2-17: Conexiones PDN y servicios portadores EPS [86].....	39
Figura 2-18: Servicios portadores EPS basados en GTP [86]	42
Figura 2-19: Parámetros de QoS en las redes LTE/LTE-A [85].....	43
Figura 2-20: Diagrama de secuencia para la prestación de un servicio de IPTV de radiodifusión con QoS en la red LTE.....	46
Figura 2-21: Activación del servicio portador MBMS para la prestación de un servicio de IPTV de radiodifusión.....	49
Figura 2-22: Diagrama de secuencia para la prestación de un servicio de IPTV de VoD con QoS en la red LTE	53
Figura 2-23: Activación del servicio portador EPS dedicado para el servicio de VoD.....	54
Figura 3-1: Escenario 1: Modelo de red LTE Uni-celda/Multi-usuario	58
Figura 3-2: Escenario 2: Modelo de red LTE Multi-celda/Multi-usuario	59

Figura 3-3: Retardo de flujos IPTV con tasa de codificación de a) 242Kbps y b) 440Kbps 64

Figura 3-4: Retardo de flujos VoIP con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps ... 64

Figura 3-5: PLR de flujos IPTV con tasa de codificación de a) 242Kbps y b) 440Kbps 65

Figura 3-6: PLR de flujos VoIP con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps 66

Figura 3-7: *Throughput* de flujos IPTV con tasa de codificación de a) 242Kbps y b) 440Kbps 66

Figura 3-8: *Throughput* de flujos VoIP con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps 67

Figura 3-9: PLR de flujos BE con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps 67

Figura 3-10: *Throughput* de flujos BE con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps .67

Figura 3-11: Eficiencia espectral de la red LTE con flujos de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps 68

Figura 3-12: Retardo de flujos IPTV con tasa de codificación de a) 242Kbps y b) 440Kbps 69

Figura 3-13: Retardo de flujos VoIP con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps .69

Figura 3-14: PLR de flujos IPTV con tasa de codificación de a) 242Kbps y b) 440Kbps 70

Figura 3-15: PLR de flujos VoIP con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps 70

Figura 3-16: *Throughput* de flujos IPTV con tasa de codificación de a) 242Kbps y b) 440Kbps 71

Figura 3-17: *Throughput* de flujos VoIP con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps 71

Figura 3-18: PLR de flujos BE con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps 72

Figura 3-19: *Throughput* de flujos BE con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps . 72

Figura 3-20: Eficiencia espectral de la red LTE con flujos de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps 72

Figura 4-1: Cadena de valor para la prestación del servicio de IPTV [95] 76

Figura 4-2: Puntos de monitoreo de desempeño del servicio de IPTV en la red LTE. Adaptación [99] 82

Figura 4-3: Mecanismos de gestión de tráfico para los planos de control, datos y gestión [103]..... 87

Figura 4-4: Ciclo de vida de los servicios definido por ITIL [107] 93

Lista de tablas

Tabla 1-1: Clases de tráfico desde la perspectiva del usuario para redes móviles [38].....	12
Tabla 1-2: Grado de importancia relativo de los parámetros de QoS para el servicio de IPTV [50].....	16
Tabla 2-1: Especificaciones técnicas para LTE/LTE-A	22
Tabla 2-2: Especificaciones y reportes técnicos para SAE.....	22
Tabla 2-3: Comparación de las características de la capa PHY para LTE, LTE-A y IMT- <i>Advanced</i> [55]	28
Tabla 2-4: Valores de QCI estandarizados [76]	44
Tabla 2-5: Alternativas de configuración de los parámetros de QoS para un servicio de IPTV de radiodifusión usando portadores GBR	48
Tabla 2-6: Alternativas de configuración de los parámetros de QoS para un servicio de IPTV de radiodifusión usando portadores <i>non</i> -GBR	52
Tabla 3-1: Parámetros de entrada a para la simulación del modelo red LTE	62
Tabla 4-1: Mapeo de los requisitos funcionales con los requisitos de alto nivel y los mecanismos de gestión de tráfico de IPTV [103]	88
Tabla 4-2: Mecanismos de gestión de tráfico en las capas de la arquitectura de la red LTE para la prestación de servicio de IPTV.....	88
Tabla 4-3: Mecanismos de gestión de tráfico en las capas de la arquitectura de la red LTE para la prestación de servicio de IPTV.....	89

Lista abreviaturas

Abreviatura	Término
2G	<i>Second Generation</i> (Segunda Generación)
3G	<i>Third Generation</i> (Tercera Generación)
3GPP	<i>Third Generation Partnership Project</i>
4G	<i>Fourth Generation</i> (Cuarta Generación)
AAA	<i>Authentication, Authorization and Accounting</i> (Autenticación, Autorización y Contabilización)
AAC	<i>Advanced Audio Coding</i> (Codificación de Audio Avanzada)
AF	<i>Application Functions</i> (Funciones de Aplicación)
AMBR	<i>Aggregated Maximum Bit-rate</i> (Tasa de Bits Máxima Agregada)
AMC	<i>Adaptative Modulation and Coding</i> (Codificación y Modulación Adaptativas)
APN	<i>Access Point Name</i> (Nombre del Punto de Acceso)
ARP	<i>Allocation and Retention Priority</i> (Asignación y Retención de Prioridad)
ARQ	<i>Automatic Repeat reQuest</i> (Solicitud de Repetición Automática)
AVC	<i>Advanced Video Coding</i> (Codificación de Video Avanzada)
BER	<i>Bit Error Rate</i> (Tasa de Error de Bits)
BERF	<i>Bearer Binding and Event Reporting Function</i> (Función de Reporte de Eventos y Unión de Portadoras)
BLER	<i>Block Error Rate</i> (Tasa de Error de Bloque)
BM-CS	<i>Broadcast/Multicast Service Center</i> (Centro de Servicios de Multidifusión/Difusión)
CDF	<i>Content Provider Functions</i> (Funciones del Proveedor de Contenidos)
CDMA2000	<i>Code Division Multiple Access 2000</i> (Acceso Múltiple por División de Código 2000)
CI	<i>Configuration Item</i> (Elementos de Configuración)
CMDB	<i>Configuration Management Database</i> (Base de Datos de Gestión de Configuración)
CoMP	<i>Coordinated multipoint transmission and reception</i> (Transmisión y recepción multipunto coordinadas)
CP	<i>Control Plane</i> (Plano de Control)
CQI	<i>Channel Quality Information</i> (Información de la Calidad del Canal)
CSCF	<i>Call Session Control Function</i> (Función de Control de Sesiones de Llamada)
CSI	<i>Continual Service Improvement</i> (Mejora Continua del Servicio)
DFT-S-OFDM	<i>Discrete Fourier Transform Spread OFDM</i>
DL	<i>Downlink</i> (Enlace Descendente)
DNG	<i>Delivery Network Gateway</i> (Pasarela de Red de Entrega)
DNGF	<i>Delivery Network Gateway Functions</i> (Funciones de Pasarela de Red de Entrega)
DSCP	<i>Differentiated Services Code Point</i> (Código de Servicios Diferenciados)
DRM	<i>Digital Rights Management</i> (<i>Gestión de Derechos Digitales</i>)
xDSL	<i>Digital Subscriber Line</i> (Línea de Suscriptor Digital)

Abreviatura	Término
FEC	<i>Forward Error Correction</i> (Corrección de Errores Hacia Adelante)
EDGE	<i>Enhanced Data rates for Global Evolution</i> (Tasas de Datos Mejoradas para Evolución Global)
eNB	<i>evolved Node B</i> (Nodos B Evolucionados)
EPC	<i>Evolved Packet Core</i> (Núcleo de Paquetes Evolucionado)
EPG	<i>Electronic Programme Guide</i> (Guía de Programación Electrónica)
EPS	<i>Evolved Packet System</i> (Sistema de Paquetes Evolucionado)
EUF	<i>End-User Functions</i> (Funciones de Usuario Final)
E-RAN	<i>Evolved Radio Access Network</i> (Red de Acceso por Radio – Evolucionada)
E-UTRA	<i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access</i> (Acceso por Radio Terrestre Universal – Evolucionado)
E-UTRAN	<i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network</i> (Red de Acceso por Radio Terrestre Universal – Evolucionada)
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i> (Dúplex por División de Frecuencia)
FEC	<i>Forward Error Check</i> (Verificación de Errores hacia Adelante)
FTP	<i>File Transfer Protocol</i> (Protocolo de Transferencia de Archivos)
FTTx	<i>Fiber To The x</i> (Fibra hasta cualquier ubicación)
EXP	<i>Exponential Proportional Fair</i>
GBR	<i>Guaranteed Bit Rate</i> (Tasa de Bits Garantizada)
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i> (Servicio General de Paquetes por Radio)
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i> (Sistema Global para Comunicaciones Móviles)
HARQ	<i>Hybrid ARQ</i> (ARQ Híbrida)
HDTV	<i>High Definition Television</i> (Televisión de Alta Definición)
HeNB	<i>Home eNB</i> (Nodos B Evolucionados de Hogar)
HFC	<i>Hybrid Fiber-Coax</i> (Híbrida de Fibra y Coaxial)
HG	<i>Home Gateway</i> (Pasarela del Hogar)
HSPA	<i>System/High Speed Packet Access</i> (Sistema de Acceso de Paquetes de Alta Velocidad)
HSDPA	<i>System/High Speed Downlink Packet Access</i> (Sistema de Acceso de Paquetes de Alta Velocidad para el Enlace Descendente)
HSS	<i>Home Subscription Server</i> (Servidor de Suscripción Local)
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i> (Protocolo de Transferencia de Hipertexto)
HTTPS	<i>HTTP Secure</i> (HTTP Seguro)
I-CSCF	<i>Interrogating-CSCF</i> (CSCF de Interrogación)
IGMP	<i>Internet Group Management Protocol</i> (Protocolo de Gestión de Grupos de Internet)
IMS	<i>Internet Protocol Multimedia Subsystem</i> (Subsistema Multimedia IP)
IMT	<i>International Mobile Telecommunications</i> (Telecomunicaciones Móviles Internacionales)
IP	<i>Internet Protocol</i> (Protocolo de Internet)
IPDV	<i>IP packet Delay Variation</i> (Variación del Retardo de paquetes IP)
IPTD	<i>IP packet Transfer Delay</i> (Retardo de Transferencia de paquetes IP)
IPTV	<i>Internet Protocol Television</i> (Televisión sobre el Protocolo de Internet)
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i> (Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet)
ISD	<i>Inter-Site Distance</i> (Distancia Entre Sitios)

Abreviatura	Término
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organización Internacional de Estandarización)
IT	<i>Information technology</i> (Tecnologías de Información)
ITIL	<i>Information Technology Infrastructure Library</i> (Biblioteca de Infraestructura de Tecnologías de Información)
ITU	<i>International Telecommunications Union</i> (Unión Internacional de Telecomunicaciones)
LTE	<i>Long Term Evolution</i> (Evolución a Largo Plazo)
LTE-A	<i>LTE-Advanced</i> (LTE Avanzado)
MAC	<i>Media Access Control</i> (Control de Acceso al Medio)
MCS	<i>Modulation and Coding Scheme</i> (Esquema de Modulación y Codificación)
M-LWDF	<i>Modified Largest Weighted Delay First</i>
MBMS	<i>Multimedia Broadcast Multicast Service</i> (Servicio de Multidifusión y Difusión Multimedia)
MBMS-GW	<i>MBMS Gateway</i> (Puerta de Enlace al MBMS)
MBR	<i>Maximum Bit Rate</i> (Tasa de Bits Máxima)
MBSFN	<i>Multimedia Broadcast Multicast Service Single Frequency Network</i> (Red del Servicio Multidifusión/Difusión de Frecuencia Única)
MCE	<i>Multi-cell/multicast Coordinating Entity</i> (Entidad de Coordinación de multidifusión para Múltiple celdas)
MCF	<i>Media Control Function</i> (Función de Control de Medios)
MDF	<i>Media Delivery Function</i> (Función de Entrega de Medios)
MF	<i>Management Functions</i> (Funciones de Gestión)
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i> (Entradas Múltiples Salidas Múltiples)
MM	<i>Mobility Management</i> (Gestión de la Movilidad)
MME	<i>Mobility Management Entity</i> (Entidad de Gestión de la Movilidad)
MPEG	<i>Moving Pictures Experts Group</i> (Grupo de Expertos en Video)
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i> (Tiempo Medio Entre Fallas)
MTBSI	<i>Mean Time Between Service Incidents</i> (Tiempo Medio Entre Incidentes del Servicio)
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i> (Tiempo Medio de Reparación)
NAS	<i>Non-Access Stratum</i> (Estrato de No Acceso)
NASS	<i>Network Attachment SubSystem</i> (Subsistema de Asociación a la Red)
NAT	<i>Network Address Translation</i> (Traducción de Direcciones de Red)
NF	<i>Network Functions</i> (Funciones de Red)
NGN	<i>Next Generation Networks</i> (Redes de Nueva Generación)
NMS	<i>Network Management Systems</i> (Sistemas de Gestión de Red)
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i> (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal)
OLA	<i>Operational Level Agreement</i> (Acuerdos de Nivel de Operación)
OSS	<i>Operations Support Systems</i> (Sistemas de Soporte a las Operaciones)
PCC	<i>Policy and Charging Control</i> (Políticas y Control de Carga)
PCEF	<i>Policy and Charging Enforcement Function</i> (Función de Ejecución de Políticas y Carga)
PCRF	<i>Policy and Charging Rules Function</i> (Función de Políticas y Reglas de Carga)
P-CSCF	<i>Proxy CSCF</i> (CSCF Proxy)
PDCP	<i>Packet Data Convergence Protocol</i> (Protocolo de Convergencia de Paquetes de Datos)
PF	<i>Proportional Fair</i>

Abreviatura	Término
PIR	<i>Post Implementation Review</i> (Revisiones Post-Implementación)
PLR	<i>Packet Loss Ratio</i> (Razón de Pérdida de Paquetes)
PLT	<i>Power Line Telecommunications</i> (Telecomunicaciones por Línea de Potencia)
PDN	<i>Packet Data Network Gateway</i> (Red de Paquetes de Datos)
PDN-GW	<i>Packet Data Network Gateway</i> (Puerta de Enlace a la Red de Paquetes de Datos)
PPV	<i>Pay Per View</i> (Pago por Ver)
PVR	<i>Personal Video Recorder</i> (Grabadora de Video Personal)
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i> (Modulación de Amplitud en Cuadratura)
QCI	<i>QoS Class Identifier</i> (Identificador de la Clase de QoS)
QoE	<i>Quality of Experience</i> (Calidad de la Experiencia)
QoS	<i>Quality of Service</i> (Calidad de Servicio)
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i> (Modulación por Desplazamiento de Fase en cuadratura)
RACS	<i>Resource and Admission Control Subsystem</i> (Subsistema de Control de Admisión y Recursos)
RB	<i>Radio Bearer</i> (Portador de Radio)
RF	Radio Frecuencia
RFC	<i>Request For Comments</i>
RFC	<i>Request For Change</i> (Solicitud de Cambio)
RLC	<i>Radio Link Control</i> (Control del Enlace de Radio)
ROCH	<i>Robust Header Compression</i> (Compresión de Encabezados Robusta)
RRC	<i>Radio Resource Control</i> (Control de Recursos de Radio)
RRM	<i>Radio Resource Management</i> (Gestión de los Recursos de Radio)
RTCP	<i>RTP Control Protocol</i> (Protocolo de Control del RTP)
RTP	<i>Real-time Transport Protocol</i> (Protocolo de Transporte de Aplicaciones de Tiempo Real)
RTSP	<i>Real-Time Streaming Protocol</i> (Protocolo de <i>Streaming</i> en Tiempo Real)
SAE	<i>System Architecture Evolution</i> (Evolución de la Arquitectura del Sistema)
SAP	<i>Service Access Point</i> (Punto de Acceso del Servicio)
SCF	<i>Service Control Function</i> (Función de Control del Servicio)
SC-FDMA	<i>Single Carrier Frequency Division Multiple Access</i> (Acceso Múltiple por División de Frecuencia de Portadora Simple)
S-CSCF	<i>Serving CSCF</i> (CSCF de Servicio)
SDF	<i>Service Discovery Function</i> (Función de Descubrimiento del Servicio)
SDP	<i>Session Description Protocol</i> (Protocolo de Descripción de la Sesión)
SDU	<i>Service Data Unit</i> (Unidad de Datos del Servicio)
SDTV	<i>Standard Definition Television</i> (Televisión de Definición Estándar)
S-GW	<i>Serving Gateway</i> (Puerta de Enlace del Servicio)
SIP	<i>Session Initiation Protocol</i> (Protocolo de Inicio de Sesión)
SIRN	<i>Signal Interference and Noise Rate</i> (Relación Señal a Interferencia y Ruido)
SISO	<i>Single Input Single Output</i> (Entrada Única Salida Única)
SKMS	<i>Service Knowledge Management System</i> (Sistema de Gestión del Conocimiento del Servicio)
SLA	<i>Service Level Agreement</i> (Acuerdo de Nivel de Servicio)
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i> (Protocolo de Gestión de Red Simple)
SON	<i>Self-Optimizing Network</i> (Auto-Optimización de la Red)
SSF	<i>Service Selection Function</i> (Función de Selección del Servicio)

Abreviatura	Término
<i>STB</i>	<i>Set Top Box</i> (Decodificador de Usuario Final)
<i>TCP</i>	<i>Transmission Control Protocol</i> (Protocolo de Control de la Transmisión)
<i>TD</i>	Televisión Digital
<i>TDD</i>	<i>Time Division Duplex</i> (Dúplex por División de Tiempo)
<i>TFT</i>	<i>Traffic Flow Template</i> (Plantilla de Filtro de Paquetes)
<i>TISPAN</i>	<i>Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking</i>
<i>TOS</i>	<i>Type of Service</i> (Tipo de Servicio)
<i>TPF</i>	<i>Transport Processing Functions</i> (Funciones de Procesamiento de Transporte)
<i>TR</i>	<i>Technical Reports</i> (Reportes Técnicos)
<i>TS</i>	<i>Technical Specifications</i> (Especificaciones Técnicas)
<i>TV</i>	<i>Television</i> (Televisión)
<i>UC</i>	<i>Underpinning Contract</i> (Contrato de Soporte)
<i>UDP</i>	<i>User Datagram Protocol</i> (Protocolo de Datagramas de Usuario)
<i>UE</i>	<i>User Equipment</i> (Equipo de Usuario)
<i>UL</i>	<i>Uplink</i> (Enlace Ascendente)
<i>UNI</i>	<i>User Network Interface</i> (Interfaz de Red del Usuario)
<i>UP</i>	<i>User Plane</i> (Plano de Usuario)
<i>UPSF</i>	<i>User Profile Server Function</i> (Servidor de Funciones de Perfil de Usuario)
<i>UMTS</i>	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i> (Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal)
<i>VCL</i>	<i>Video Coding Layer</i> (Capa de Codificación de Video)
<i>VLAN</i>	<i>Virtual Local Area Network</i> (Redes de Área Local Virtuales)
<i>VoD</i>	<i>Video on Demand</i> (Video bajo demanda)
<i>VoIP</i>	<i>Voice over IP</i> (Voz sobre IP)
<i>VPN</i>	<i>Virtual Private Network</i> (Red Privada Virtual)
<i>W-CDMA</i>	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i> (Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha)
<i>WLAN</i>	<i>Wireless Local Area Network</i> (Redes de Área Local Inalámbricas)
<i>WiMAX</i>	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i> (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas)

Introducción

La digitalización de los contenidos de audio y video ha hecho 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]. Los sistemas de IPTV (*Internet Protocol Television*) permiten que la Televisión Digital (TD) llegue a los usuarios usando las redes de conmutación de paquetes IP [1]. Es importante señalar que la televisión sobre IP se diferencia de la televisión (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]. En las redes móviles la televisión sobre IP se enmarca bajo el concepto de *Mobile IPTV*, donde los contenidos de IPTV se entregan a los usuarios por medio de redes inalámbricas con soporte de Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*) y Calidad de la Experiencia (QoE, *Quality of Experience*), seguridad, movilidad e interactividad [5], permitiendo a los usuarios acceder de la TD y los servicios asociados en cualquier lugar, a cualquier hora y sobre cualquier dispositivo [6].

Desde el punto de vista técnico, los sistemas de IPTV requieren 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 [7]. Por lo tanto, la QoS y la QoE han sido identificados como requisitos críticos del servicio de IPTV sobre cualquier red que se vaya a implementar [1]. En las redes móviles de segunda y tercera generación (2G y 3G), como GSM (*Global System for Mobile Communications*), GPRS (*General Packet Radio Service*), EDGE (*Enhanced Data rates for Global Evolution*), UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), HSPA (*System/High Speed Packet Access*) y CDMA2000 (*Code Division Multiple Access 2000*), el despliegue de la IPTV ha enfrentado serios desafíos debido a la limitada capacidad de estas tecnologías para satisfacer los requisitos de desempeño de calidad demandados por este servicio [6]. Por este motivo nuevas tecnologías de banda ancha móvil están siendo desarrolladas para soportar las exigencias de los servicios multimedia [8].

Las tecnologías móviles de cuarta generación (4G) basadas en los estándares LTE (*Long Term Evolution*) [9] y LTE-Advanced (LTE-A) [10] del 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) ofrecen mayores prestaciones para soportar la nueva generación de servicios móviles interactivos a costos de transmisión más bajos y con contenido más enriquecidos que lo que se puede ofrecer con las redes de 2G y 3G [6] [11] [12]. Es por ello que el propósito de esta tesis se centró en generar un marco de referencia técnico que oriente el despliegue del servicio de IPTV en redes móviles LTE para contribuir a garantizar los objetivos de calidad del servicio que demanda un sistema de IPTV.

Descripción del problema

En las redes móviles el crecimiento del número de usuarios, la multiplicidad de dispositivos para acceder a la red y la demanda de nuevos servicios y aplicaciones están generando un aumento en el tráfico de datos que circula por este tipo de redes causando problemas de congestión y una degradación en la calidad de los servicios ofrecidos [13], [14]. Según el estudio realizado en [14], para el año 2016 el tráfico de datos móviles llegará a más 10,8 Exabytes por mes, del cual el 70% será generado por los contenidos de video. Por lo tanto, las redes móviles están al borde de una tercera fase de evolución en la cual el tráfico de datos móviles será dominado principalmente por contenidos de video y se requerirán nuevas formas de optimizar la red para evitar la saturación de los canales de comunicaciones [6]. La estimación en el aumento de tráfico de video es uno de los principales impulsores para la adopción de estándares de banda ancha móvil como LTE/LTE-A [6].

Bajo este escenario uno de los servicios móviles más exigentes en términos de consumo de recursos de red es la IPTV, puesto que este servicio requiere que las redes de telecomunicaciones móviles garanticen los parámetros de desempeño mínimos para una adecuada entrega de los contenidos de IPTV a los usuarios. En consecuencia la implementación de las tecnologías LTE/LTE-A marcará el inicio de una nueva era en las comunicaciones móviles y permitirá a los operadores ofrecer una plataforma global para el soporte de la próxima generación de servicios móviles interactivos [17].

Las características técnicas de las redes LTE/LTE-A las perfilan como las tecnologías capaces de soportar el despliegue del servicio de IPTV puesto que se constituyen como la evolución de las redes móviles de 3G ofreciendo una arquitectura de red completamente IP (*All-IP*) y con la capacidad de proporcionar altas velocidades de acceso, mejorar la eficiencia, reducir el retardo y proporcionar la QoS de extremo a extremo demandada por dicho servicio [15] [16] [18]. Sin embargo, es necesario contar con una base técnica que permita la implementación del servicio de IPTV sobre este tipo de redes para garantizar los parámetros de desempeño y la calidad demanda por los usuarios [19].

Objetivos

Objetivo general

Generar un marco de referencia técnico para el despliegue del servicio de IPTV en redes móviles LTE con QoS

Objetivos específicos

- Analizar las diferentes alternativas de funcionamiento de la red LTE para la implementación del servicio de IPTV con QoS.
- Evaluar los principales parámetros de desempeño (*throughput*, retardo, pérdida de paquetes) en la red LTE mediante la simulación de tráfico de IPTV en un modelo de red LTE.

- Establecer los lineamientos técnicos para el despliegue del servicio de IPTV en redes móviles LTE con QoS basados en análisis de resultados de la simulación.

Alcances y limitaciones

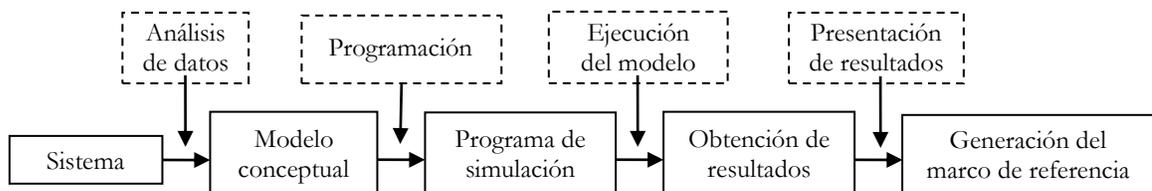
Los aspectos que restringen el alcance de este proyecto son:

- El uso de la herramienta de simulación de código abierto *LTE-Sim*, que es la que mejor se adaptó a las necesidades del proyecto teniendo en cuenta los escenarios de simulación planteados y las limitaciones para la adquisición de herramientas propietarias.
- Las simulaciones realizadas tienen en cuenta un modelo de red LTE que permitió evaluar el desempeño de la red en diferentes escenarios en los cuales se tienen cargas de tráfico de aplicaciones de IPTV, VoIP y flujos de datos *best effort* (BE).

Metodología

Para el desarrollo de esta tesis de maestría se usó la metodología presentada en la Figura 0-1, en la cual muestran los diferentes aspectos a tener en cuenta a la hora de modelar el comportamiento y prestaciones de un sistema de telecomunicaciones.

Figura 0-1: Metodología para el desarrollo del proyecto de tesis de maestría [20]



- **Fase de recolección de información y análisis de datos:** En esta fase se realizó la revisión bibliográfica para el despliegue del servicio de IPTV en redes móviles identificando los desafíos y tecnologías involucradas a la hora de implementar el servicio. También se determinaron los parámetros de desempeño a nivel de red que caracterizan la distribución del servicio de IPTV en redes móviles y se recopiló la información necesaria para realizar el análisis de las diferentes alternativas funcionamiento de la red LTE para el despliegue del servicio de IPTV con QoS.
- **Fase de programación y ejecución del modelo:** Partiendo del análisis y recolección de información realizada en la etapa anterior, en esta fase se hizo la elección de la herramienta de simulación y se determinaron los parámetros de entrada al software de simulación para la red LTE y el servicio de IPTV. De la misma forma, se realizó la simulación de tráfico de IPTV en el modelo de red LTE configurada con los mecanismos de QoS necesarios que permitieron obtener una serie de resultados acerca del comportamiento del sistema ante situaciones en las

que se quiso evaluar los principales parámetros de desempeño (*throughput*, retardo, pérdida de paquetes)

- **Fase de presentación de resultados:** En esta fase se obtuvieron las conclusiones sobre el comportamiento de la red LTE ante la presencia de tráfico de IPTV en el modelo de red LTE. La evaluación de los resultados y el análisis realizado permitieron la formulación de los lineamientos técnicos para implementar servicio de IPTV en redes móviles LTE con QoS.

Organización del documento

Este documento de tesis de maestría está organizado en capítulos, los cuales presentan los temas investigados y los resultados obtenidos:

- En el capítulo 1 se presentan la definición y los servicios soportados por la IPTV, se hace referencia a la cadena de valor y a la arquitectura funcional definida por la UIT para la implementación de los servicios de IPTV. También se identificaron los principales parámetros de desempeño a nivel de red que deben ser garantizados por las redes móviles LTE para la entrega de los servicios de IPTV con calidad de servicio.
- En el capítulo 2 se estudian características técnicas más importantes de las redes LTE/LTE-A, se propone una arquitectura funcional para la implementación del servicio de IPTV sobre redes móviles LTE/LTE-A y se realiza el análisis de las alternativas de funcionamiento de calidad de servicio que ofrecen este tipo de tecnologías para la entrega de servicios de IPTV.
- En el capítulo 3 se muestran los resultados obtenidos de la simulación de tráfico generado por el servicio de IPTV en un modelo de red LTE. Para la simulación se plantearon escenarios donde se evaluó el comportamiento de los parámetros de desempeño de la red (*throughput*, retardo y pérdida de paquetes) ante variaciones en número de terminales móviles conectados a la red, velocidad del desplazamiento de los usuarios, configuración de QoS de la red LTE y tasa de codificación de los flujos de video.
- En el capítulo 4 se presentan los lineamientos técnicos para el despliegue del servicio de IPTV sobre redes LTE, los cuales fueron identificados a partir de los resultados obtenidos de las simulaciones y el análisis de las alternativas de funcionamiento de la red LTE para ofrecer el servicio de IPTV con QoS, y se complementaron con los requisitos funcionales de alto nivel para la implementación de sistemas de IPTV, los puntos de monitoreo y con un marco para la gestión del servicio de IPTV.
- En el capítulo 5 se presentan las conclusiones a las que se llegaron con el desarrollo de esta tesis de maestría, las recomendaciones para quienes deseen continuar con investigaciones en las temáticas tratadas, los trabajos futuros y las contribuciones de este trabajo de investigación.

1 Consideraciones de QoS para el despliegue de servicios de IPTV sobre redes móviles

La QoS ha sido identificada como uno de los requisitos fundamentales para el despliegue de servicios de IPTV sobre redes cableadas, inalámbricas o móviles con el fin de garantizar los recursos de red requeridos para una adecuada entrega de los contenidos asociados a este tipo de servicio. Por consiguiente es necesario revisar los aspectos involucrados para proporcionar la QoS en la implementación del servicio de IPTV sobre redes móviles. En este capítulo se muestra la cadena de valor de la IPTV y se describen los servicios soportados por la IPTV. Luego se hace referencia a la arquitectura funcional para la implementación de la IPTV sobre redes IP definida por la UIT, y finalmente se presentan las consideraciones de QoS para el despliegue de la IPTV identificando los principales parámetros de desempeño que deben ser garantizados por las redes móviles.

1.1 Cadena de valor para la implementación de servicios de IPTV sobre redes móviles

En las redes móviles la IPTV se enmarca bajo el concepto de *Mobile IPTV*, que se define como una tecnología capaz de permitir a los usuarios la transmisión y recepción de tráfico multimedia incluyendo señales de televisión, video, audio, texto e imágenes por medio de redes inalámbricas basadas en el protocolo IP con soporte de QoS y QoE, seguridad, movilidad e interactividad [5]. Con *Mobile IPTV* los usuarios pueden disfrutar de la TD y los servicios relacionados en cualquier lugar, a cualquier hora y sobre cualquier dispositivo [6].

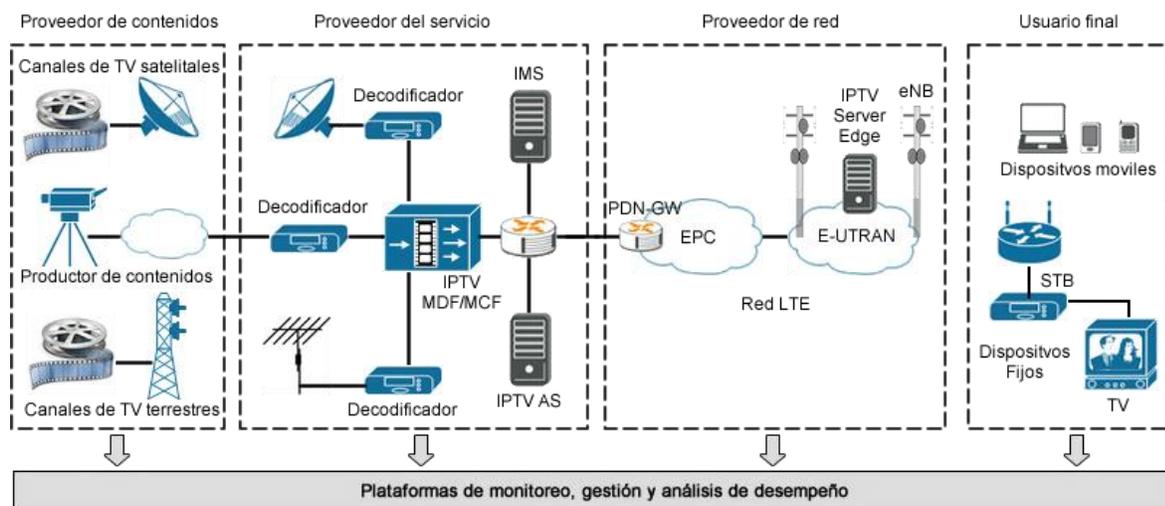
Para la implementación de un servicio de IPTV se ha definido una cadena de valor que está conformada por los siguientes dominios: el proveedor de contenidos, el proveedor del servicio, el proveedor de red y el usuario final, tal y como se puede ver en la Figura 1-1 [21]. En este contexto, los contenidos 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 operador de red asegurando la calidad de servicio y la gestión de la red [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 cuando estén disponibles [2].

1.1.1 Proveedor de contenidos

Es la entidad propietaria de los contenidos o es la poseedora de la licencia para vender los activos de los contenidos. Su función es la producción y entrega de contenidos los cuales pueden ser videos,

audios, datos, texto y aplicaciones interactivas. Forman parte de los proveedores de contenidos los programadores de canales de TV satelitales o terrestres, los productores de programas de TV, las bases de datos de contenidos (series y películas), las empresas de desarrollo de software y otros proveedores de contenido.

Figura 1-1: Cadena de valor para la implementación de servicios de IPTV. Adaptación [21].



1.1.2 Proveedor del servicio

Hace referencia a un operador que presta el servicio de IPTV a sus clientes mediante la suscripción de un contrato y el cobro de una tarifa. Como se puede ver en la Figura 1-1 el proveedor del servicio dispone de sistemas para la recepción de contenidos de diferentes fuentes, para la manipulación y transmisión de los contenidos, para la provisión de las aplicaciones interactivas y servicios de valor agregado, para garantizar la seguridad del acceso no autorizado a los contenidos y proteger los derechos de autor; y para la gestión de los suscriptores y la facturación del servicio.

1.1.3 Operador de red

El operador de red conecta a los clientes con el proveedor del servicio mediante una red conmutación de paquetes IP conformada por un núcleo de red y una red de acceso. La red de acceso del proveedor de red puede ser redes cableadas (xDSL (*Digital Subscriber Line*), FTTx (*Fiber To The*), PLT (*Power Line Telecommunications*) o HFC (*Hibryd Fiber-Coax*)), redes inalámbricas (WLAN (*Wireless Local Area Network*) o WiMax) o redes móviles (HSDPA+ (*System/High Speed Downlink Packet Access*), WiMax-Advanced, LTE/LTE-A). Dichas redes deben ser controladas y gestionadas adecuadamente por el proveedor de red para garantizar la calidad en el servicio y con ello una entrega satisfactoria de los contenidos multimedia asociados a la IPTV.

1.1.4 Usuario final

El usuario final es quien consume los servicios de la IPTV mediante la suscripción al servicio y pago de la tarifa asociada. Para la recepción de IPTV el cliente tiene diferentes opciones de equipos de usuario tales como televisores con o sin decodificadores de señales de IPTV (STB, *Set Top-Box*), televisores inteligentes (*smart TV*), computadores (portátiles o de escritorio), y dispositivos móviles (PDA, *smartphones* o *tablets*). Estos terminales realizan la decodificación de los contenidos, despliegue de las imágenes, reproducción del audio y ejecución de las aplicaciones interactivas que conforman los servicios de IPTV.

1.2 Clasificación de los servicios de IPTV

Según la ITU-T, los servicios de IPTV se pueden clasificar en tres categorías: servicios básicos, servicios mejorados, y servicios interactivos [22]. Los servicios básicos se componen de canales de TD, canales de audio, y canales de TD con datos. Esta clasificación el servicio de TD se emite de forma similar a como se hace con canales de televisión radiodifundida y pueden ser en alta definición (HD, *High Definition*) o en definición estándar (SD, *Standar Definition*) [22]. La siguiente categoría, que corresponde a los servicios mejorados, abarca la difusión de video cercano a la demanda (*Near VoD*, *Near Video on Demand*), video bajo demanda real (*Real VoD*), la guía de programación electrónica (EPG, *Electronic Program Guide*), la grabadora de video personal (PVR, *Personal Video Recorder*), entre otros. Estos servicios son más avanzados que los servicios básicos y están destinados a mejorar la comodidad del cliente y a proporcionar una variedad de contenidos multimedia que el cliente puede seleccionar para personalizar lo que desea ver [22].

Por último, se encuentran los servicios de IPTV interactivos como los servicios de información o *T-information* (noticias, tiempo, tráfico, etc.), de comercio o *T-commerce* (transacciones bancarias, compras, subastas, etc.), de comunicación o *T-communication* (correo, video teléfono, mensajería, etc.), de entretenimiento o *T-entertainment* (juegos, blog, etc.), y de educación o *T-learning* (educación primaria, intermedia, secundaria y superior) [22]. Este tipo de servicios requieren de un canal de comunicaciones bidireccional, que permita al cliente reproducir los contenidos multimedia de la IPTV y simultáneamente interactuar con las aplicaciones interactivas asociadas.

1.3 Retos para la implementación de IPTV en redes móviles

La implementación de IPTV sobre redes móviles debe superar varios desafíos antes que los servicios asociados sean ampliamente desplegados y utilizados. Entre los retos más importantes que deben cuenta por los proveedores del servicio y los operadores de red para el despliegue de IPTV en redes móviles están:

- *Características de enlace de comunicaciones inalámbrico*: los sistemas de IPTV móvil implican la existencia de un enlace de comunicaciones inalámbrico entre el proveedor del servicio y los clientes, el cual por la naturaleza del canal tiene mayores afectaciones que los canales de comunicación cableados. En los enlaces de comunicaciones inalámbricos se presentan errores en la transmisión, *shadowing*, *fading*, reflexiones temporales, interferencias y obstáculos que

afectan la calidad de la señal recibida y causan pérdidas de paquetes de ráfagas [8], afectando directamente la recepción de la IPTV en los terminales usados para acceder al servicio.

- *Velocidad de transmisión de datos del enlace inalámbrico:* puede variar según tráfico de la red, la potencia de la señal recibida dependiendo de la ubicación del usuario y por los terminales que se utilicen para conectarse a la red. Adicionalmente, los servicios de IPTV que requieren de una alta velocidad de transmisión de datos, como la televisión en alta definición (HDTV, *High Definition Television*), y el incremento de usuarios de las redes móviles generan la congestión de la red traduciéndose en un aumento en la pérdida de paquetes y el retardo en la transmisión.
- *Calidad del servicio (QoS) y de la experiencia (QoE):* los sistemas de IPTV requieren 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 [7]. El desempeño de la red está directamente relacionado con parámetros de calidad tales como la velocidad de transmisión de datos, retardo, *jitter*, y la pérdida de paquetes [8], por lo cual estos parámetros deberán monitorearse y medirse para que puedan ser mantenidos dentro de los niveles aceptables para la entrega de la IPTV.
- *Cobertura del servicio:* la dificultad para implementar una red inalámbrica que cubra todas las áreas geográficas [8], puede conllevar como solución usar redes con diferentes tecnologías para lograr ampliar la cobertura y facilitar la movilidad de los usuarios. En las redes móviles es usual encontrar en una misma zona todas las tecnologías que el operador de red haya desplegado como GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, HSDPA+, LTE/LTE-A. Esto permite al operador la habilitación del *handover* vertical [8], facilitando al usuario la movilidad entre redes inalámbricas heterogéneas para mantener el acceso a los servicios pero con las capacidades ofrecidas por cada tecnología. En los servicios de IPTV se requiere que la calidad del servicio sea mantenida por todas las redes que sean usadas para la entrega del servicio a los usuarios, por consiguiente cada una de estas deberá ser gestionada para mantener los niveles de calidad con los que el servicio venía desde la red de origen.
- *Heterogeneidad de los equipos de usuario:* las características de la IPTV móvil en cualquier momento y lugar despiertan en los usuarios la expectativa que los contenidos migren hacia un entorno multi-pantalla y con soporte a la interactividad, por lo cual estos esperan que todos los dispositivos que posean puedan ser parte de esta experiencia. Entre los dispositivos que un usuario dispone para acceder al servicio de IPTV se encuentran televisores con o sin decodificadores de señales de IPTV (STB), televisores inteligentes (*smart TV*), computadores (portátiles o de escritorio), y dispositivos móviles (PDA, *smartphones* o *tablets*), cada uno con capacidades diferentes en procesamiento, almacenamiento, tamaño y resolución de pantalla [8]. Esta tendencia influye directamente en el diseño de los servicios de IPTV mejorados e interactivos, los cuales deberán responder y adaptarse a las características propias de cada uno de los terminales para mantener la experiencia en el uso de los servicios.
- *Retardo de inicio de reproducción de contenidos:* se genera principalmente por el tiempo que tardan los equipos de los usuarios en unirse a la red, el tiempo de llenado de los *buffers* de los equipos receptores, y el tiempo de decodificación de los contenidos de audio y video [22]. Este

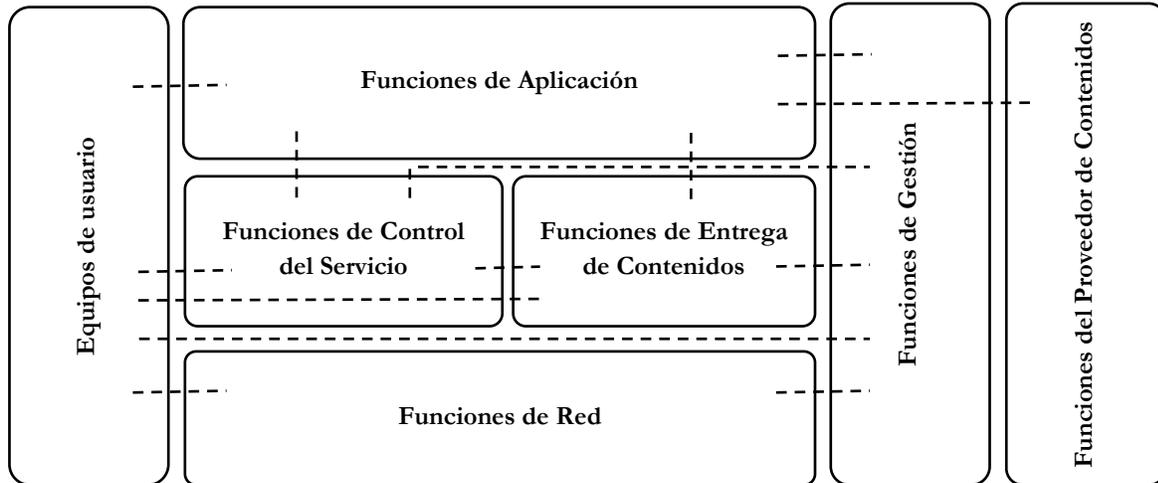
retardo, impide que el cambio de canal sea rápido y ágil, por lo que diversos estudios se han orientado a disminuir estos tiempos de espera con el fin de mejorar la QoE al usuario [25].

- *Tiempo de conmutación de canal (zapping time)*: tiene estrecha relación con la experiencia del usuario para determinar la calidad del servicio percibida. Generalmente, se determina por el tiempo que se requiere para tener una trama adecuada en el equipo del usuario para comenzar el procesamiento de decodificación del nuevo canal. Como parámetro de QoE, el tiempo de conmutación de canal puede ser descrito por tres componentes principales: retardo introducido por el protocolo de *multicast*, retardo en el *buffer* y el retardo de decodificación [26].
- *Mercados de consumo*: se debe evaluar cuál va ser la demanda de los usuarios hacia el consumo de servicios de IPTV en dispositivos móviles debido a la restricción de visualización de los contenidos en pantallas pequeñas y la interacción con las aplicaciones asociadas [8].
- *Regulación y normatividad*: es un aspecto que involucra la evaluación de la regulación existente en el país donde el proveedor desee desplegar el servicio de IPTV móvil, puesto que los requisitos para licencias o permisos de funcionamiento varían según las disposiciones de cada ente regulador. En la mayoría de los países la regulación para el despliegue del servicio de IPTV sobre redes móviles es escasa y aún no se tiene una normatividad al respecto ya que se trata de un servicio novedoso que no ha sido implementado masivamente por la limitada capacidad de las redes móviles de 2G y 3G que poseen los operadores. Se espera que con la implementación de las redes LTE/LTE-A, los operadores puedan llegar a interesarse por proporcionar servicios móviles avanzados como la IPTV y por ende los reguladores deberán emitir la normatividad que permita dar sustento legal a su funcionamiento.

1.4 Arquitectura de red para la implementación de IPTV

La Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT) ha definido tres arquitecturas funcionales [27] para la entrega de servicios de IPTV y tienen como referencia a las Redes de Nueva Generación (NGN, *Next Generation Networks*) [28]. La primera arquitectura fue definida para el despliegue de IPTV sobre redes que no son NGN (Non-NGN IPTV); la segunda presenta una arquitectura soportada en NGN sin la inclusión del Subsistema Multimedia IP (IMS, *IP Multimedia Subsystem*) (NGN non-IMS IPTV) [29]; y la tercera se basa en la implementación de IPTV en NGN con su componente de IMS (NGN-IMS IPTV) [30].

De las arquitecturas mencionadas la más estudiada es la NGN-IMS IPTV debido a las ventajas que conlleva la inclusión del subsistema IMS en la arquitectura como el control en las sesiones, el lanzamiento del servicio y los mecanismos de autenticación, autorización y contabilidad (AAA, *Authentication, Authorization, and Accounting*), la aplicación de políticas, control de admisión y gestión de recursos [31]. En la Figura 1-2 se ilustra la arquitectura funcional de alto nivel para el despliegue de IPTV definida por la UIT.

Figura 1-2: Arquitectura funcional de alto nivel para el despliegue de IPTV según la UIT [29]

A continuación se describen las funciones de la arquitectura de alto nivel para el despliegue de IPTV:

- *Funciones de Usuario Final.* Las funciones de usuario final (EUF, *End-User Functions*) realizan la mediación entre el usuario final y la infraestructura IPTV [29].
- *Funciones de Aplicación:* Las funciones de aplicación (AF, *Application Functions*) permiten al usuario final seleccionar, comprar o alquilar un contenido de IPTV [29].
- *Funciones de Control de Servicio:* Las funciones de control de servicio (SCF, *Service Control Functions*) facilitan la reserva y liberación de recursos de red y del servicio que deben ser usados para soportar el servicio de IPTV. Las funciones de control de servicio pueden solicitar a las funciones de entrega de contenido la separación de los recursos y a las funciones de red reservar en ancho de banda requerido para el flujo de paquetes de IPTV [29].
- *Funciones de Entrega de Contenido:* Las funciones de entrega de contenido (CDF, *Content Delivery Functions*) reciben el contenido de las funciones de aplicación, lo almacenan, procesan y lo entregan a las funciones de usuario final usando las capacidades de las funciones de red, bajo el control de las funciones de control de servicio [29].
- *Funciones de Red:* Las funciones de red (NF, *Network Functions*) proveen la conectividad IP entre los componentes del servicio de IPTV y las funciones de usuario final. Las funciones de red son compartidas por todos los servicios entregados por el protocolo IP al usuario final. Adicionalmente las funciones de red contribuyen con la provisión de la calidad de servicio requerida por los servicios de IPTV [29].
- *Funciones de Gestión:* Las funciones de gestión del sistema (MF, *Management Functions*) soportan la administración del sistema: operación, administración, mantenimiento y aprovisionamiento (OAM&P). Las funciones de administración no incluyen las funciones que se proveen durante

la interacción con las aplicaciones o las funciones que recopilan los datos de tasación y los mecanismo AAA [29].

- *Funciones de Proveedor de Contenidos*: Las funciones del proveedor de contenidos (CDF, *Content Provider Functions*) son provistas por la entidad que posee la licencia para suministrar (vender, rentar o permitir el uso libre) o es propietario del contenido (dueño del contenido audiovisual, meta-datos y derechos de uso) [29].

1.5 Calidad de servicio para IPTV en redes móviles

Para desplegar satisfactoriamente los servicios de IPTV es necesario que las redes de conmutación de paquetes IP proporcionen los mecanismos de control apropiados que les permitan brindar la calidad de servicio (QoS) en los contenidos entregados a los usuarios sin afectar la calidad de otros servicios que puedan ser entregados por la red. 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 velocidad de transmisión de datos, retardo de los paquetes, variación de retardo, y pérdida de paquetes en función del servicio que se trate [32][33]. Otras definiciones de QoS, como la de la UIT, 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 [34].

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 [33]. Es por ello que 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 [35]. Esta última definición está centrada en lo que [34] denomina la calidad de funcionamiento de la red. Sin embargo, a los usuarios les interesan aquellos aspectos de calidad que pueden ser percibido por ellos y dependen del servicio que se trate [36]. Por ejemplo, un usuario que navega por Internet percibe la QoS está dada principalmente por el tiempo que transcurre para que una página web se visualice completamente después de hacer la petición. Técnicamente, esta duración depende de una compleja interacción de factores tales como el ancho de banda, el retardo y la tasa de error de bits (BER, *Bit Error Rate*) [36].

En las redes inalámbricas, la QoS implica la diferenciación de tráfico y el uso de múltiples servicio portadores con la configuración y las prioridades optimizadas para asegurar la calidad de servicio que requiere cada flujo de tráfico [37]. Para permitir la diferenciación e identificación de los servicio se definieron 4 clases de tráfico, 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. Desde la perspectiva del usuario, la clasificación de la QoS para los servicios se realiza en conversacional, interactiva, *streaming* y *background* tal y como se muestra en la Tabla 1-1 [38]. La clase de servicio conversacional agrupa los servicios cuyos requisitos de QoS son más estrictos y rigurosos puesto que dependen directamente de la percepción humana como por ejemplo una llamada por VoIP. Mientras que la clase de servicio *background* reúne servicios con requisitos de QoS menores puesto que usuario envía y recibe datos en un segundo plano como por ejemplo en la transferencia de archivos FTP [38].

Tabla 1-1: Clases de tráfico desde la perspectiva del usuario para redes móviles [38]

Clase de tráfico	Conversacional Conversación en tiempo real	Interactiva Clase interactiva al mejor nivel posible	Streaming Clase <i>streaming</i> en tiempo real	Background Clase <i>background</i> al mejor nivel posible
Características desde la perspectiva del usuario	<ul style="list-style-type: none"> – Preserva la relación (variación) de tiempo entre las entidades de información del flujo de bits – Modelo conversacional (estricto y con bajo retardo) 	<ul style="list-style-type: none"> – Patrón de respuesta a peticiones – Preserva el contenido útil 	<ul style="list-style-type: none"> – Preserva la relación (variación) de tiempo entre las entidades de información del flujo de bits 	<ul style="list-style-type: none"> – El destino no espera los datos dentro de un tiempo limitado – Preserva el contenido útil
Ejemplo de aplicación	– Voz	– Navegación web	– Vídeo <i>streaming</i>	– Correo electrónico

En entornos de las redes móviles y según se muestra en la Tabla 1-1, la IPTV se clasifica en la clase de servicio de *streaming*, por lo cual la red deberá preservar la variación del tiempo entre las entidades de información del flujo de bits que conforman los contenidos de audio y video para evitar la desincronización, reducir el retardo de entrega de los paquetes y garantizar una pérdida de paquetes mínima para de esta forma mantener los niveles de calidad aceptables en la recepción de los contenidos y con ello garantizar una experiencia aceptable en el consumo de servicios de IPTV por parte de los usuarios.

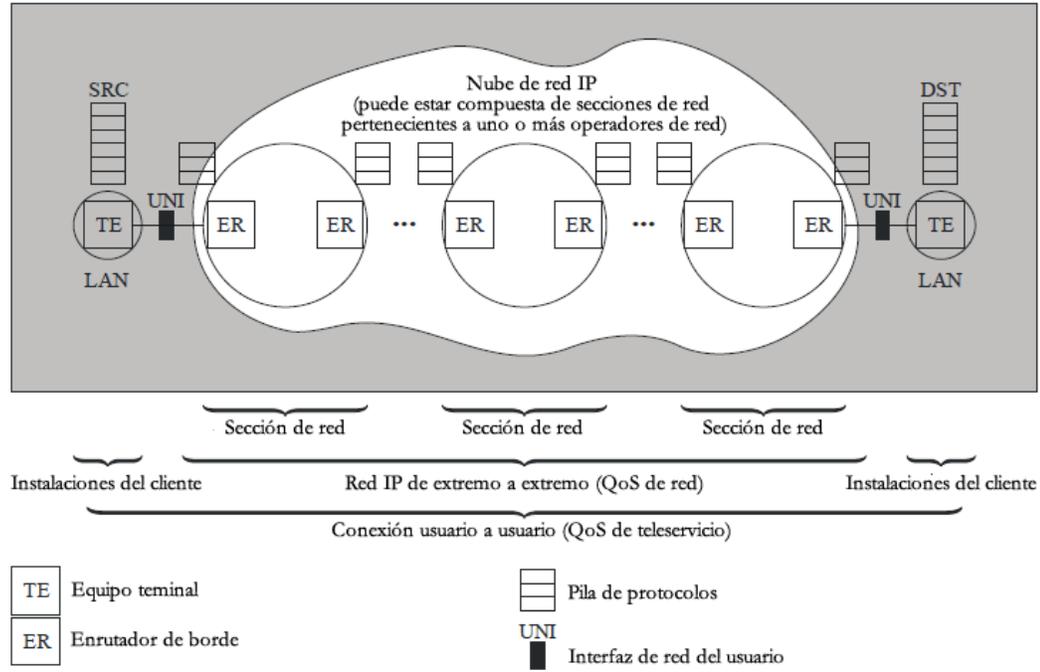
1.6 Parámetros de QoS de nivel de transporte para la IPTV

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 QoS en los contenidos entregados a los usuarios sin afectar la calidad 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 generalmente 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 [26].

En el núcleo de las redes IP la diferenciación se puede implementar por medio de un subconjunto de las clases de funcionamiento IP, como las definidas en [39]. Por su parte, la red de acceso, que puede basarse en una amplia gama de tecnologías incluyendo Ethernet, xDSL, HFC, FTTx, PLT, WiMAX, WLAN, UMTS, LTE, etc. [26], 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 transportan sean entregados adecuadamente a los usuarios y esta forma contribuir a garantizar los principales parámetros de desempeño de extremo a extremo. En la Figura 1-3 se presenta la trayectoria de referencia desde la interfaz de red del usuario (UNI, *User Network Interface*) fuente hasta la UNI destino para la medición de los objetivos de QoS de red de extremo a extremo [39]. En un sistema de IPTV las mediciones de los parámetros de calidad de servicio se realizan entre el servidor de IPTV y los STB

ubicados en las premisas del cliente, los cuales tienen en cuenta a todos los elementos necesarios para la entrega de los contenidos de IPTV.

Figura 1-3: Trayectoria de referencia UNI a UNI para los objetivos de QoS de red [39]



NOTA - Los equipos de las instalaciones del cliente (área sombreada) son únicamente para propósitos ilustrativos

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 y la pérdida de paquetes [40], y otros parámetros como el tiempo de cambio de canal (*zapping time*) y el tiempo de sincronización del audio y video [41]. Además, en los sistemas de IPTV se debe garantizar que la velocidad de transmisión de bits de la red 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 [40]. A continuación se describen los principales parámetros de desempeño de la IPTV.

1.6.1 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 este establecido. El retardo tiene un impacto directo en la satisfacción del usuario en función de la aplicación que se trate, y se puede producir 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* [42]. Es importante señalar que este parámetro corresponde al retardo introducido por los diferentes elementos de red que están involucrados en la entrega de los contenidos de IPTV desde el proveedor del servicio hasta el equipo receptor del usuario después que la negociación de conexión ha finalizado. No se considera el retardo

de inicio de reproducción de contenidos el cual está dado por el tiempo que tardan los equipos de los usuarios en unirse a la red, el tiempo de llenado de los *buffers* de los equipos receptores, y el tiempo de decodificación de los contenidos de audio y video [22]. 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*) [26][39].

1.6.2 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 adicionen más retardos fijos) [42]. Para IPTV la máxima variación de retardo en la entrega de los paquetes IP (IPDV, *IP packet Delay Variation*) es de 50 ms [26][39].

1.6.3 Pérdida de paquetes

Afecta directamente la calidad de la información que se presenta al usuario, independientemente del servicio que se trate (audio, vídeo o datos) [42]. 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*) [43], sino también a los efectos de cualquier degradación introducida por la codificación de los contenidos para conseguir una transmisión más eficaz [42]. La tasa de pérdida de paquetes también está directamente relacionada con la pérdida de paquetes IP, y se considera como la frecuencia de ocurrencia y la duración de un error de transmisión puede tener afectación directa sobre la pérdida de paquetes IP [26]. La pérdida de paquetes genera efectos negativos que el usuario puede apreciar en la recepción de los contenidos como el pixelado y congelación de la imagen, la pérdida de la señal de audio o video, el desfase entre el video y el audio, entre otros, dependiendo del número de paquetes IP perdidos [26].

En IPTV para medir la pérdida de información se tiene la razón de pérdida de paquetes (PLR, *Packet Loss Ratio*), la cual fue diseñada para asegurar al usuario final una entrega del servicio sin o con mínimas pérdidas. Cuando el desempeño de la infraestructura de red está por debajo de los niveles de calidad requeridos, los proveedores de servicios pueden hacer uso de técnicas de la capa de red (entrelazado y verificación de errores hacia adelante (FEC)) o de la capa de aplicación (ocultamiento de la pérdida, FEC de capa de aplicación, solicitud de repetición automática (ARQ)), y en general de mecanismos de protección de errores, para alcanzar los niveles de desempeño deseados [26]. La PLR las redes fijas debe estar entre 1E-08 y 1E-05, dependiendo de la técnica de codificación utilizada [26], pero en las redes móviles la PLR puede ser superior al 1% [43].

1.6.4 Velocidad de transmisión

Los contenidos de televisión pueden ser transmitidos en formato 4:3 para televisión de definición estándar (SDTV, *Standard Definition Television*) o 16:9 para televisión en alta definición (HDTV, *High Definition Television*) y dependiendo de la técnica de compresión la velocidad de codificación puede variar entre 1,75 Mbps y 15 Mbps [40]. En este sentido, si emplea la técnica de codificación de video

H.262 [44], también conocida como MPEG-2 – *Main profile at Main level* (MP@ML) [45], la mínima velocidad de datos requerida en la red por cada canal para SDTV (480i/576i) es de 2,5 Mbps y 15 Mbps para HDTV (720p/1080i/p) [40]. Mientras que si se emplea la técnica H.264 [46], también conocida como MPEG-4 *Part 10* o MPEG-4 AVC (*Advanced Video Coding*) [47], la tasa de codificación de video mínima se reduce a 1,75 Mbps para SDTV y a 10 Mbps para HDTV [40].

En cuanto al audio asociado a la IPTV dependiendo de la técnica de codificación utilizada, para SDTV se tiene que usando MPEG-2 AAC (*Advanced Audio Coding*) [48] la mínima tasa de datos requerida en la red es 96kbit/s para sonido estéreo, y con los estándares MPEG-1 *Audio Layer II* o MPEG-1 *Audio Layer III* (MP3) la mínima velocidad de datos será de 128 Kbps para sonido estéreo. También puede usarse para SDTV la técnica *Dolby Digital* (AC-3) con una tasa de bit mínima de 384 Kbps para sonido 5,1 y 128 Kbps para sonido estéreo [40]. Por su parte, el audio para HDTV puede ser entregado usando las técnicas MPEG-1 *Audio layer II* o MPEG-1/2 *Audio layer III* (MP3) para los cuales la tasa bits mínima es de 128 Kbps para sonido estéreo, o la codificación *Dolby digital* (AC-3) o MPEG-2 AAC con los cuales se requiere una tasa de bits mínima de 384 Kbps para sonido 5,1 y 128 Kbps para sonido estéreo [40].

En entornos de las redes móviles e inalámbricas las técnicas usadas para la codificación del video es H.264/MPEG-4 AVC y para la codificación del audio es MPEG-4 Audio [49] debido a que con estas se logran las tasas de bits más bajas (128, 242 y 440 Kbps) para afrontar las limitaciones de la velocidad de transmisión de este tipo de redes [50]. Del mismo modo, la calidad de los contenidos entregados depende de las características de reproducción de los dispositivos receptores (resolución de pantalla, capacidad de procesamiento, códec, entre otros), los cuales determinan el tipo de señales de SDTV o HDTV que pueden recibir los usuarios. Por lo tanto, en los sistemas de IPTV móvil es recomendable usar mecanismos de codificación de video escalable (SVC) para ajustar la tasa de bit según las características de los dispositivos receptores y el ancho de banda disponible en los enlaces de comunicaciones inalámbricos [23] [43].

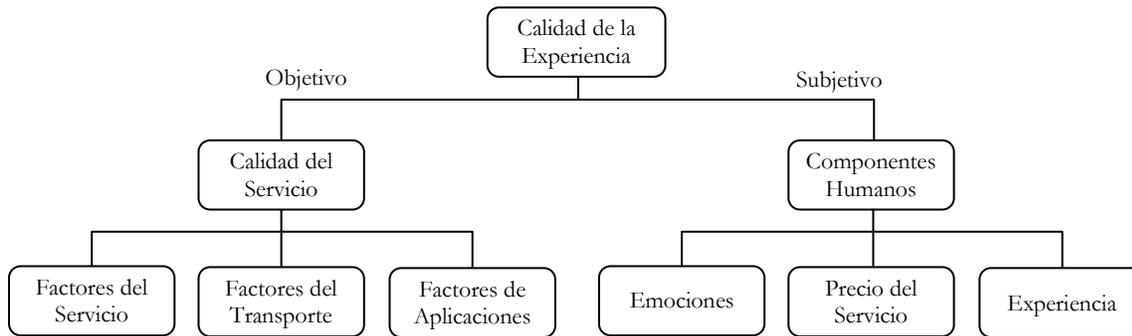
1.7 Grado de importancia relativo en la experiencia del usuarios de los parámetros de QoS para el servicio de IPTV

La experiencia de los usuario en el uso de un servicio se mide mediante la calidad de la experiencia (QoE), la cual se define como la aceptabilidad global de una aplicación o un servicio, tal y como es percibido por el usuario. Incluye los efectos completos de extremo a extremo del sistema (cliente, terminal, red, servicios de infraestructura, etc.) y puede ser influenciada por las expectativas del usuario y el contexto [26]. Es por ello que, en principio, la QoE es una medida subjetiva realizada por el usuario final y puede variar de un usuario a otro.

La QoE para contenidos multimedia como IPTV también se define [50] como la experiencia que tiene el usuario al momento de hacer uso de los servicios de comunicaciones ó de las aplicaciones proporcionadas por el proveedor del servicios, describiendo como le parece el servicio y si este satisface sus expectativas. La anterior definición permite identificar la naturaleza subjetiva de la QoE, ya que en ella se tienen en cuenta factores que determinan la aceptabilidad del servicio o aplicación, que incluye factores como usabilidad, utilidad, fidelidad y el nivel de soporte desde el proveedor del

servicio o aplicación [50]. Estos factores están directamente relacionados con componentes humanos como el precio del servicio, el contexto del juicio, nivel de estrés de los usuarios, la experiencia previa del usuario con servicios relacionados [26]. La Figura 1-4 muestra los factores que contribuyen a la QoE, los cuales están organizados como aquellos relacionados con la calidad de servicio y aquellos clasificados como componentes humanos.

Figura 1-4: Dimensiones de la QoE [26]



En el servicio de IPTV, la QoE relaciona de forma directa con lo que el cliente puede apreciar en la recepción de los contenidos de video como el pixelado y congelación de la imagen, la anulación del audio, el desfase entre el video y el audio, entre otros. No obstante, con frecuencia la QoE se calcula utilizando mediciones objetivas a través de los parámetros de QoS como la pérdida de paquetes o el retardo. En la Tabla 1-2 se muestra el grado de importancia relativo de los parámetros de QoS en la experiencia del usuario para el servicio de IPTV [50]. Las métricas presentadas en la Tabla 1-2 permitirán analizar el comportamiento del servicio de IPTV puesto que facilitan la evaluación sobre cómo el servicio es percibido por los usuarios sin la necesidad de realizar pruebas de opinión, las cuales por lo general son largas y costosas [26].

Tabla 1-2: Grado de importancia relativo de los parámetros de QoS para el servicio de IPTV [50]

Parámetro de QoS	Grado de Importancia Relativo
Pérdida de paquetes	41,7%
Nivel de Ráfaga	29,2%
Jitter de paquetes	10,7%
Retardo de paquetes	10,6%
Ancho de banda	7,8%

En la Tabla 1-2 se observa que los criterios clave de QoS para la IPTV son la pérdida de paquetes, el retardo y el *jitter*. Es de tener en cuenta que valores razonables de retardo y *jitter* de extremo a extremo no son problemáticos si el tamaño de la memoria intermedia de fluctuación de los *buffers de-jitter* del STB se aprovisiona para que coincida con el desempeño de la red y el video. Sin embargo, los flujos de video son muy sensibles a la pérdida de información por lo cual el impacto sobre la QoE es relevante. La pérdida de paquetes para la IPTV está correlacionada con [26]:

- Alta dependencia sobre el tipo de pérdida de datos:
 - Pérdida de la información del sistema y encabezados producen diferentes alteraciones.

- La pérdida de datos de tramas I y P producen diferentes alteraciones que si se llegase a perder una trama B debido a la propagación temporal del error.
- Depende del códec usado, donde a mayor compresión mayor es la sensibilidad a la pérdida.
- Depende del empaquetamiento del flujo de transporte MPEG usado.
- Periodo de pérdida (*loss period*) y distancia de pérdida (*loss distance*)
- Con altas tasas de bits de codificación, el flujo de video es más vulnerable a la pérdida de paquetes
 - La pérdida de paquetes ocurre con mayor frecuencia porque hay más paquetes por segundo transmitidos y cada uno tiene la misma probabilidad de ser afectado.
- El uso de decodificadores con algoritmos de ocultación pueden mitigar el impacto perceptual de algunas pérdidas.

Un error o una secuencia de errores en el flujo de bits asociado al audio o video puede causar efectos que van desde un impacto poco notable para el usuario, hasta la pérdida completa de la señal de audio o video, lo cual depende de la información perdida y de la robustez de la implementación. La Figura 1-5 muestra un ejemplo del impacto de la pérdida de un paquete IP (un paquete IP contiene siete paquetes de flujo de transporte MPEG) que contiene una trama de video B o una trama I. En este caso, la carencia de la trama I se propaga en el tiempo a través de 14 cuadros de vídeo o casi medio segundo (suponiendo 33 ms por trama) puesto que una trama I es clave en la compresión de las subsecuentes tramas P y B [26]. Ahora, si el paquete perdido afecta una trama B, la carencia impacta sólo a la trama con una duración de 33 ms, puesto que el códec no empleó la codificación de predicción entre tramas desde una trama B. Es de tener en cuenta que hay algoritmos de ocultación de pérdida que se emplearon en el decodificador del ejemplo [26].

Figura 1-5: Ejemplo del impacto de la pérdida de un simple paquete IP (trama B y trama I) [26]



a) Pérdida de un paquete IP con una trama B b) Pérdida de un paquete IP con una trama I

Los objetivos de la pérdida de paquetes se expresan en términos de la distancia de pérdida (*loss distance*) y del periodo de pérdida (*loss period*). Específicamente, la distancia de pérdida es una medida de la separación entre la pérdida de paquetes de red y los eventos de errores consecutivos; mientras que un periodo de pérdida es la duración de un evento de pérdida o error (cuantos paquetes se perdieron en ese periodo). Idealmente, el periodo de pérdida máximo correspondería a paquete IP, puesto que a menudo los errores de bits aleatorios o cantidades menores de congestión causan un evento de pérdida

aislado con un período de pérdida de un paquete, e incluso un evento de pérdida aislado puede dar lugar a un deterioro muy notable. La duración de la pérdida se traducirá en un número diferente de paquetes que se pierden, dependiendo de la tasa de bits del flujo de vídeo. Por ejemplo, 8ms de pérdida de datos de video en un flujo de transporte MPEG en una tasa de 8 Mbps:

Total de paquetes MPEG por segundo	= 3 Mbps / 8 bits por byte / 188 bytes por paquete de flujo de transporte MPEG
	= 1994,7 paquetes de flujo de transporte MPEG
Total de paquetes IP por segundo	= 1994,7 / 7 paquetes de flujo de transporte MPEG por paquete IP
	= 285 paquetes IP por segundo
Una pérdida de 8ms corresponde a	= 285 paquetes IP por segundo * 0,008 segundos
	= 2,28 paquetes IP periodos

Debido a que la pérdida de un paquete IP ocurre si una parte de un paquete se pierde, el resultado se redondea al número entero más próximo, es decir, 3 paquetes IP. Adicionalmente, los bytes perdidos no están necesariamente alineados con los límites de paquetes IP, por lo cual este resultado sería redondeado a 4 paquetes IP.

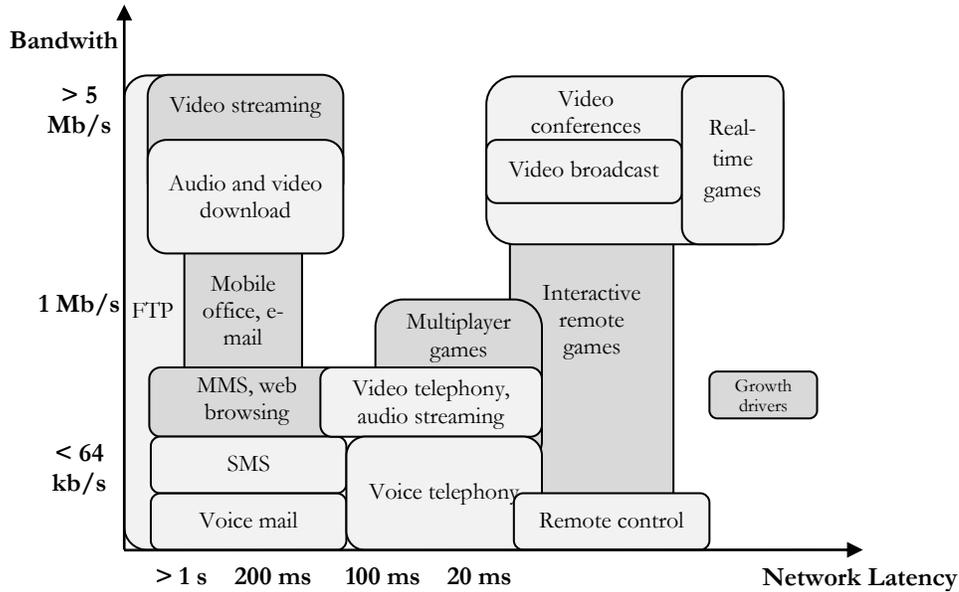
2 Análisis de las alternativas de funcionamiento de la red LTE para la implementación del servicio de IPTV con QoS

La IPTV es uno de los servicios más exigentes en términos de consumo de recursos de red, puesto que requiere que la red garantice los requisitos de QoS para una adecuada entrega de los contenidos a los usuarios. Entonces, para soportar la nueva generación de servicios y aplicaciones móviles los operadores de red móviles han impulsado la adopción de nuevos estándares de banda ancha como LTE. Así, en este capítulo inicialmente se estudian las principales características técnicas de la red LTE/LTE-A, luego se describe la arquitectura funcional propuesta para la implementación del servicio de IPTV sobre redes móviles LTE y se finaliza con el análisis de las alternativas de funcionamiento de QoS que ofrecen este tipo de tecnologías para la entrega de servicios de IPTV.

2.1 Evolución de las redes móviles hacia redes de banda ancha LTE/LTE-A

Las redes móviles están al borde de una tercera fase de evolución impulsada por el aumento en el tráfico de datos móviles que se debe al incremento en el número de usuarios, a la demanda de servicios y aplicaciones móviles y a la multiplicidad de dispositivos para acceder a la red [6], [13], [14]. La primera fase fue dominada por el tráfico de voz sobre las redes móviles de 2G usando el estándar GSM mientras que la segunda fase está marcada por el tráfico de datos soportado principalmente por el amplio despliegue de las redes móviles de 3G como UMTS y sus posteriores mejoras HSDPA/HSDPA+. Para la tercera fase se predice que el tráfico circulante por las redes móviles será dominado especialmente por contenidos de video y que se requerirán nuevas formas de optimizar la red para evitar la saturación de la red [6].

La evolución de la tecnología de las redes móviles hacia redes de banda ancha LTE/LTE-A busca incrementar la capacidad de la red, hacer más eficiente el uso de los recursos ofrecidos por las redes móviles, disminuir el retardo y aumentar la velocidad de transmisión de datos en el enlace ascendente (UL, *uplink*) y en el enlace descendente (DL, *downlink*). Estas mejoras están orientadas a satisfacer los requisitos de nuevos servicios y aplicaciones como la IPTV. En la Figura 2-1 se muestra los requisitos en cuanto a velocidad de transmisión de datos y el retardo que diferentes servicios y aplicaciones exigen a las redes móviles.

Figura 2-1: Requisitos de velocidad de transmisión de datos y retardo de servicios y aplicaciones [52]

Las redes móviles LTE/LTE-A son el resultado de la evolución de las tecnologías GSM/UMTS/HSDPA desarrolladas por el grupo 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Project Agreement*) tal y como se puede ver en la Figura 2-2 [53]. A finales del 2004 el 3GPP inició con el proyecto para definir la evolución a largo plazo de la tecnología UMTS basada en W-CDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) y asegurar que este sistema siga siendo competitivo a futuro [54]. A las nuevas especificaciones se las conoce formalmente como E-UTRA (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access*) y E-UTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*) pero son más conocidas como el proyecto LTE. La primera versión de LTE se documentó en el *Release 8* en diciembre de 2008, posteriormente en diciembre de 2009 fue lanzado el *Release 9* en el cual se realizaron algunas mejoras a LTE y sólo fue hasta marzo del 2011 donde en el *Release 10* se definió al estándar LTE-A [54].

Simultáneamente al proyecto LTE, el 3GPP había comenzado un proyecto llamado Evolución de la Arquitectura del Sistema (SAE, *System Architecture Evolution*) que define un núcleo de paquetes completamente IP (*All-IP*) y se conoce como el Núcleo de Paquetes Evolucionado (EPC, *Evolved Packet Core*) [54]. La combinación del EPC y la Red de Acceso por Radio Evolucionada (E-RAN, *Evolved Radio Access Network*) (E-UTRA más E-UTRAN) conforman el Sistema de Paquetes Evolucionado (EPS, *Evolved Packet System*) tal y como se muestra en la Figura 2-3 [54]. Dependiendo del contexto los términos LTE, E-UTRA, E-UTRAN, SAE, EPC y EPS se usan indistintamente para hablar del todo el sistema, aunque lo correcto para referirse al sistema completo sería usar EPS [54]. Sin embargo, normalmente se referencia al sistema como LTE/SAE o simplemente LTE [54].

Figura 2-2: Evolución de las tecnologías definidas por el 3GPP [55]

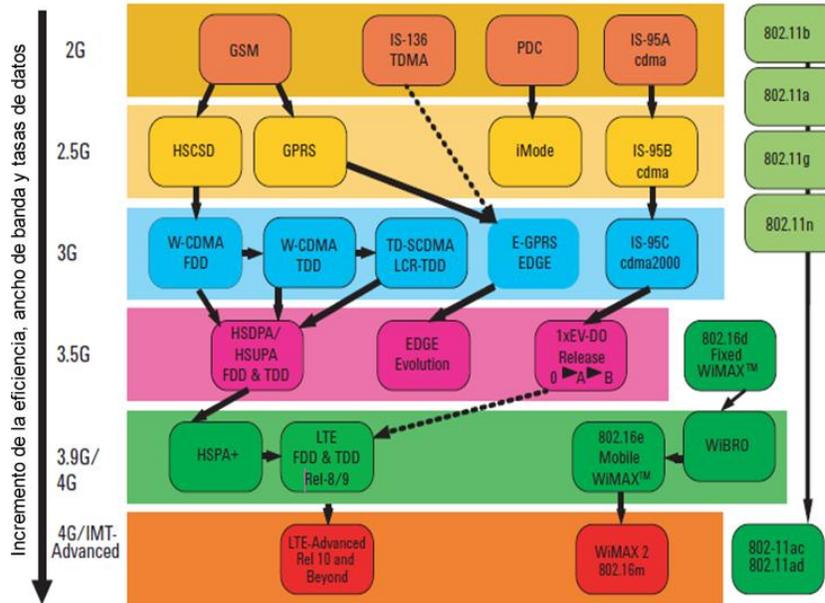
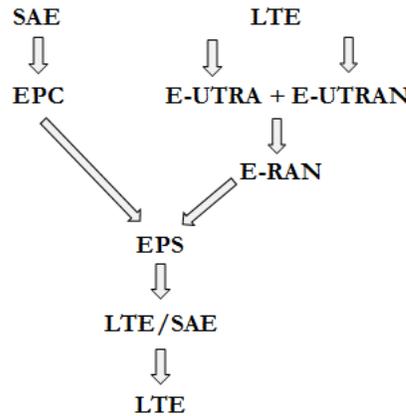


Figura 2-3: Explicación del proyecto SAE/LTE [54].



2.2 Especificaciones de las redes LTE/LTE-A

Las especificaciones 3GPP de las redes LTE/LTE-A inician en el *Release 7* donde se incluyó la fase de estudio de LTE. Dicho estudio dio lugar a varios Reportes Técnicos (TR, *Technical Reports*) como el estudio de viabilidad de LTE definido en el 3GPP TR 25.912 [56] y el documento de requisitos de LTE TR 25.913 [57]. En cuanto a las Especificaciones Técnicas (TS, *Technical Specifications*) propias para el LTE (E-UTRA y E-UTRAN) se encuentran en la serie 36 del *Release 8* [54], serie que también aplica para LTE-A pero como se definen en el *Release 10* [55]. En la Tabla 2-1 se presentan las principales especificaciones técnicas (TS, *Technical Specifications*) para las tecnologías de redes móviles LTE/LTE-A.

Tabla 2-1: Especificaciones técnicas para LTE/LTE-A

Especificación	Descripción
TS 36.1XX	Requerimiento de equipos. Terminales, estaciones base, repetidores
TS 36.2XX	Capa física
TS 36.3XX	Capas 2 y 3. Control de acceso al medio, control de enlace de radio y control de los recursos de radio
TS 36.4XX	Infraestructura de comunicaciones. UTRAN. Incluyendo estaciones base y entidades de gestión de movilidad
TS 36.5XX	Pruebas de conformidad
TS 36.8XX y TS 36.9XX	Reportes técnicos que contienen información de referencia y conocimiento

En cuanto a las especificaciones para SAE se encuentran las series 22, 23, 24 y 33, de las cuales en la Tabla 2-2 se listan algunas de las más importantes para el desarrollo de esta investigación [54].

Tabla 2-2: Especificaciones y reportes técnicos para SAE

Especificación	Descripción
TS 23.002	Arquitectura de red
TS 23.003	Terminales, red núcleo. Numeración direccionamiento e identificación
TS 23.107 y TS 23.207	Conceptos y arquitectura de calidad de servicio (QoS)
TS 23.203	Arquitectura de políticas y control de carga
TS 23.228	Subsistema Multimedia IP (IMS)
TS 23.401	Mejoras en <i>General Packet Radio Service</i> (GPRS) para la E-UTRAN
TR 23.882	Evolución de la Arquitectura del Sistema (SAE)
TS 24.301	Protocolo NAS para EPS.
TS 22.146, TS 22.246, TS 23.246, TS 25.346, TS 26.346 y TS 33.246	Servicio de multidifusión y difusión de multimedia (MBMS)
TS 29.272	Entidad de gestión de movilidad MME del EPS
TS 33.101	Seguridad 3G: Arquitectura de seguridad.

2.3 Generalidades de las redes móviles LTE/LTE-A

LTE Release 8 soporta una nueva interfaz de radio con portadoras de entre 1.4MHz a 20 MHz de ancho de banda [58], al igual que configuraciones de antenas como SISO (*Single Input Single Output*) y MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). Los esquemas de acceso múltiple que utiliza son OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) para el enlace descendente (DL) y SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) para el enlace ascendente (UL). En LTE Release 8 se logran obtener velocidades de transmisión de datos pico que exceden los 300 Mbps en el DL y 75 Mbps en el UL [58]. LTE Release 8 también reduce el retardo de la red, manejando un retardo de hasta 10 ms en el plano de usuario y 100 ms en el plano de control (pasando del modo pasivo al activo) [58].

Otro parámetro que se mejoró con LTE *Release* 8 fue la eficiencia espectral llegando en DL hasta 16,3 bps/Hz con MIMO 4x4 y 4,32 bps/Hz en UL con SISO, valores que superan en un factor de 2 a 3 veces a la eficiencia ofrecida por el estándar HSPA *Release* 6 [59]. En cuanto a la movilidad, LTE está dirigido principalmente a aplicaciones de baja movilidad en el rango de 0 a 15 Km/h, donde se obtendrá el rendimiento más alto. No obstante, el sistema es capaz de trabajar a velocidades más altas siendo soportado con un alto rendimiento en velocidades de 15 a 120 Km/h, y con soporte funcional desde 120 hasta 350 km/h. El funcionamiento para velocidades de 350 a 500 Km/h no fue considerado [55].

Posterior a LTE, el 3GPP lanzó el *Release* 9 en el cual se incluyeron algunas mejoras sobre el *Release* 8 y el estudio de factibilidad para su posterior evolución hacia LTE-A. Posterior a esta versión, en el *Release* 10 se definió al estándar LTE-A [10] el cual fue aceptado por la ITU como una de las tecnologías que cumplían con los requerimientos de las IMT-*Advanced* [17] [60]. Las características que se adicionaron en LTE-A fueron la ampliación del ancho de banda (hasta 100MHz de espectro) soportado por la agregación de portadoras (*carrier aggregation*), el incremento en la velocidad de datos pico (hasta 3Gbps en DL y 1,5 Gbps en UL), y una mayor eficiencia espectral, propiciada por el mejoramiento de las técnicas de acceso múltiple en UL y por la transmisión de múltiples antenas en DL [61]. En LTE-A para DL se logra una eficiencia espectral de hasta 30bps/Hz con arreglos MIMO 8x8 y cerca de 15 bps/Hz en UL con MIMO 4x4 [61].

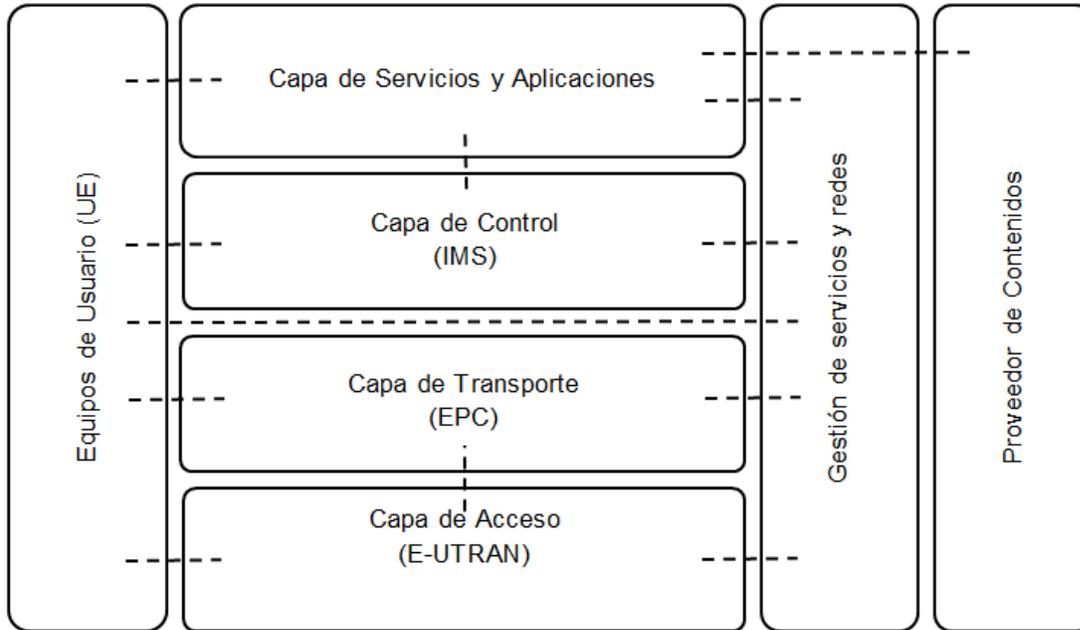
2.4 Arquitectura funcional de alto nivel para la implementación de IPTV en redes LTE/LTE-A

Las características técnicas de las tecnologías LTE/LTE-A mejoran la capacidad de las redes móviles para satisfacer los requisitos de calidad de servicios exigentes en consumo de recursos como lo es IPTV. La arquitectura funcional para la implementación de IPTV sobre redes LTE/LTE-A está orientada a garantizar la calidad de los contenidos entregados a los usuarios y la adecuada gestión del servicio. La arquitectura se basa en capas, cada una de las cuales cumplen con funciones bien definidas y ofrecen servicios entre sí. En la Figura 2-12 se presenta la arquitectura funcional de alto nivel para la implementación del servicio de IPTV sobre redes LTE/LTE-A.

2.4.1 Equipos de usuario (UE)

Los UE permiten la identificación de los usuarios, la decodificación de los contenidos, la visualización de las imágenes, la reproducción del audio y la ejecución de las aplicaciones interactivas asociadas a la IPTV. Para acceder a los servicios de IPTV, el usuario tiene diferentes opciones de terminales como televisores con o sin decodificadores de señales de IPTV (STB), televisores inteligentes (*smart TV*), computadores (portátiles o de escritorio), y dispositivos móviles (PDA, *smartphones* o *tablets*), cada uno con capacidades diferentes en procesamiento, almacenamiento, tamaño y resolución de pantalla [8]. En lo que respecta a la interacción del usuario con los servicios de IPTV, esta se realiza mediante las interfaces gráficas de las aplicaciones interactivas las cuales pueden seleccionar, reproducir y recibir los contenidos de IPTV.

Figura 2-4: Arquitectura funcional de alto nivel para la implementación del servicio de IPTV sobre redes LTE/LTE-A

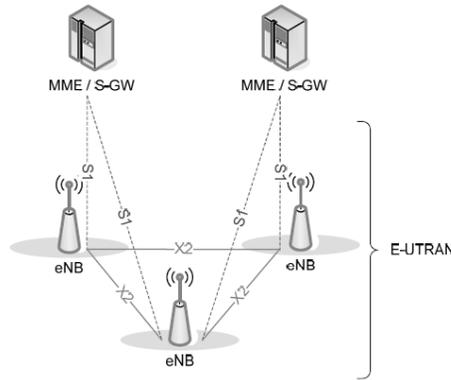


2.4.2 Capa de Acceso

Es la responsable de soportar la transmisión por radio frecuencia (RF) con el fin de proporcionar la conectividad entre los UE y los equipos de la capa de transporte. La capa de acceso gestiona el uso de los recursos de radio disponibles para la provisión de servicios portadores de forma eficiente. La activación de los recursos de transmisión se controla generalmente desde la capa de transporte. En la arquitectura propuesta, esta capa corresponde a la Red de Acceso por Radio Terrestre Universal – Evolucionada (E-UTRAN, *Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network*) de las tecnologías LTE/LTE-A [65].

La red E-UTRAN está compuesta por una malla de nodos B evolucionados (eNB, *evolved Node B*), los cuales son una especie de estaciones base que se distribuyen sobre toda la zona de cobertura de red tal y como se puede ver en la Figura 2-5. Un eNB define una celda y servirá a múltiples UE que se encuentren en su área de cobertura, pero un UE puede estar conectado únicamente a un eNB al tiempo [66]. La capa de acceso se divide en dos capas encargadas de controlar el acceso al medio y definir las características de nivel físico de la red (PHY).

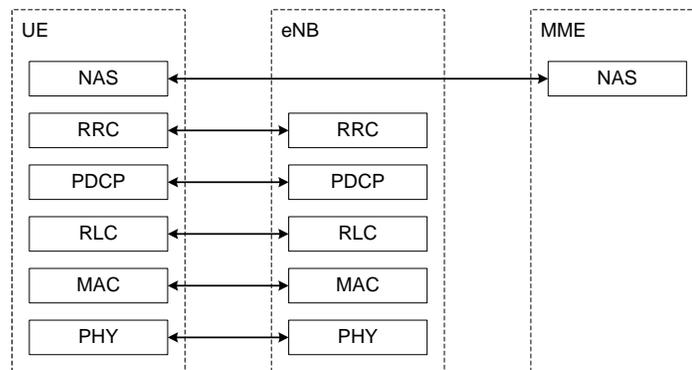
Figura 2-5: Red de Acceso por Radio Terrestre Universal – Evolucionada (E-UTRAN) [65]



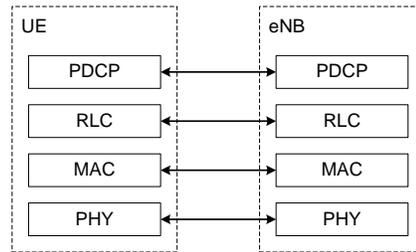
2.4.2.1 Capa 2 de E-UTRAN

Está definida por una arquitectura de protocolos tanto para el plano de control (CP) como para el plano de usuario (UP). En el CP se encuentran el protocolo de control NAS (*Non-Access Stratum*) y el protocolo para el Control de Recursos de Radio (RRC, *Radio Resource Control*) como se muestra en la Figura 2-6 [65]. El protocolo NAS permite la comunicación del UE con la entidad de gestión de la movilidad (MME) permitiendo el enganche de los UE a la red, la autenticación, la gestión de los servicios portadores del EPC y el manejo de la movilidad [67]. Por su parte, el protocolo RRC se utiliza para la difusión de información, la búsqueda (*paging*) de UE, el establecimiento y mantenimiento de los portadores de radio (RB, *Radio Bearer*), la gestión de la conexión RRC, la transferencia del contexto de UE durante el *handover* y para los reportes de medidas como la Información de la Calidad del Canal (CQI, *Channel Quality Information*) desde el UE [68].

Figura 2-6: Pila de Protocolos en el Plano de Control de E-UTRAN [65]



El UP consta de la pila de protocolos presentada en la Figura 2-7 como: el Protocolo de Convergencia de Paquetes de Datos (PDCP, *Packet Data Convergence Protocol*), el protocolo de Control del Enlace de Radio (RLC, *Radio Link Control*) y el protocolo encargado del Control de Acceso al Medio (MAC, *Media Access Control*) [65].

Figura 2-7: Pila de protocolos en el Plano de Usuario de E-UTRAN [65]

El protocolo PDCP se encarga de la compresión de los encabezados IP mediante la Compresión de Encabezados (ROHC, *Robust Header Compression*), del cifrado y la protección de la integridad de los datos transmitidos [69]. La subcapa RLC tiene a cargo la segmentación y concatenación de los paquetes de datos, y el manejo de las retransmisiones usando Solicitudes de Repetición Automática (ARQ, *Automatic Repeat reQuest*) [70]. Mientras que la subcapa MAC se encarga de las retransmisiones ARQ Híbridas (HARQ, *Hybrid ARQ*), del mapeo entre los canales lógicos y de transporte, de la programación del tráfico de los enlaces ascendente y descendente, de la priorización del tráfico, de la multiplexación de los UE, de la identificación del servicios multidifusión y difusión (MBMS, *Multimedia Broadcast/Multicast Service*) y de las selección del formato de transporte [71]. En la Figura 2-8 se presenta la estructura de la capa 2 para el DL y en la Figura 2-9 la estructura de la capa 2 para el UL.

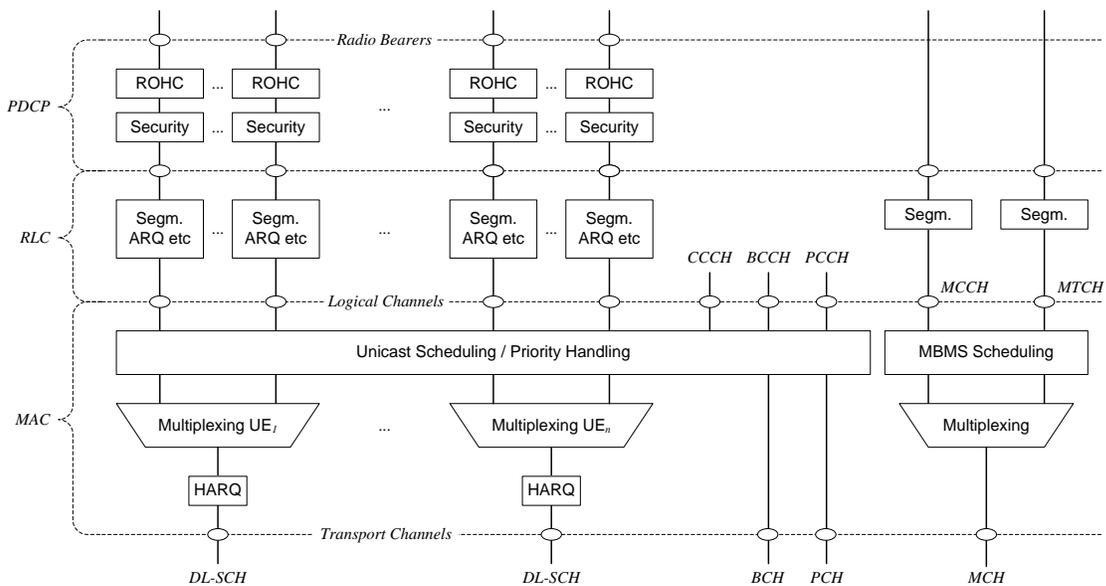
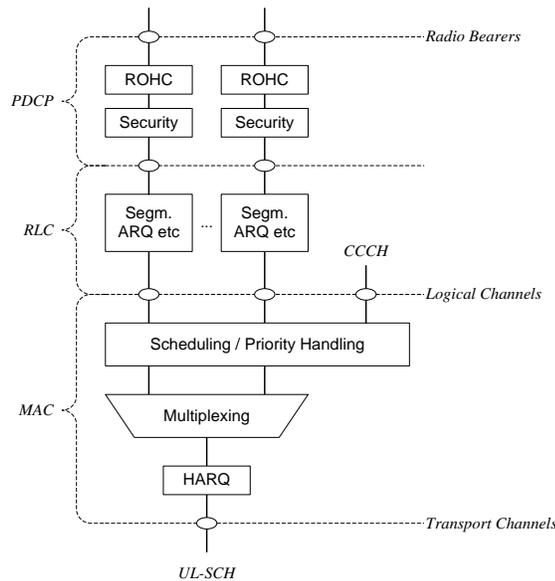
Figura 2-8: Estructura de la Capa 2 para el DL [65]

Figura 2-9: Estructura de la Capa 2 para el UL [65]



2.4.2.2 Capa Física de E-UTRAN

La capa PHY sirve tanto al UP como al CP y se encarga de la protección de los datos de errores del canal mediante el uso de esquemas de Modulación y Codificación Adaptativas (AMC, *Adaptive Modulation and Coding*) según las condiciones del canal. También mantiene las frecuencias y el tiempo de sincronización, realiza mediciones de las características del canal de radio y las comunica a las capas superiores, ejecuta funciones de procesamiento de RF incluyendo modulación y demodulación, implementa las configuraciones de antenas y los mecanismos de transmisión y multiplexación [65]. Todas estas características a nivel físico tienden a mejorar la entrega de servicios exigentes en cuanto a velocidad de transmisión de datos, retardo y errores de transmisión. Es por esto que la capacidad de las redes LTE/LTE-A aumenta significativamente en comparación a sus antecesoras y los servicios como la IPTV pueden ser entregados por medio de este tipo de redes.

La capa PHY define para LTE canales de hasta 20 MHz de ancho de banda y para LTE-A canales de hasta 100 MHz, con los cuales se logran obtener velocidades de transmisión como las mostradas en la Tabla 2-3. Tanto LTE como LTE-A soportan configuraciones de antenas SISO y MIMO, esquemas de acceso múltiple OFDMA para el DL y SC-FDMA para el UL (DFT-S-OFDM para el UL de LTE-A), y modulaciones QPSK, 16 QAM y 64 QAM (64 QAM opcional en UE) [10][58]. En cuanto a la eficiencia espectral en LTE/LTE-A hay una mejora entre 2 y 3 veces con respecto a las tecnologías antecesoras.

En la Tabla 2-3 se compara de eficiencia espectral en DL y UL para LTE, LTE-A e IMT-*Advanced*, donde se puede ver que la eficiencia espectral para LTE-A es sustancialmente más alta que los requerimientos de IMT-*Advanced*, mientras que para LTE se satisfacen los requerimientos de las IMT-*Advanced* para el DL pero no para el UL.

Tabla 2-3: Comparación de las características de la capa PHY para LTE, LTE-A y IMT-Advanced [55]

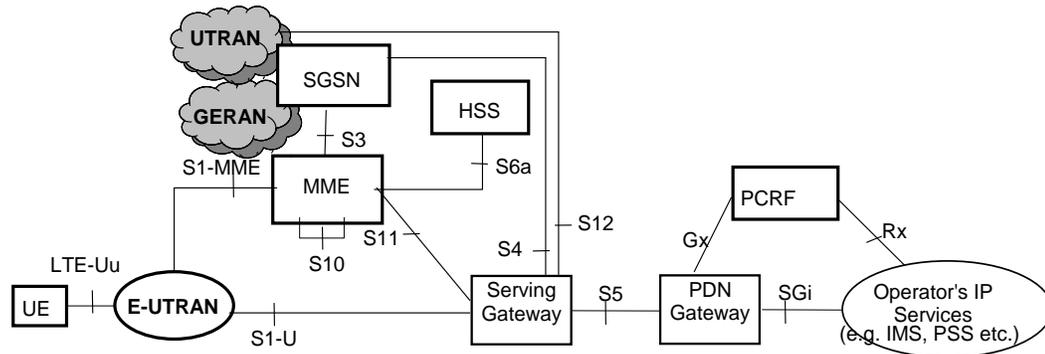
Ítem	Subcategoría	LTE	LTE-A	IMT-Advanced
Velocidad de datos pico	DL	300 Mbps	1Gbps	1 Gbps
	UL	75 Mbps	500 Mbps	500 Mbps
Eficiencia espectral pico (bps/Hz)	DL	16,3 (4x4 MIMO)	30 (hasta 8x8 MIMO)	15 (4x4 MIMO)
	UL	4,32 (64 QAM SISO)	15 (hasta 4x4 MIMO)	6,75 (4x4 MIMO)
Eficiencia espectral de celda en DL (bps/Hz) 3 Km/h, 500 m ISD*	2x2 MIMO	1,69	2.4	2,6
	4x2 MIMO	1,87	2.6	
	4x4 MIMO	2,67	3,7	
Eficiencia espectral en el borde de la celda DL (bps/Hz) 5 percentil, 10 usuarios, 500 m ISD*	2x2 MIMO	0,05	0,07	0,075
	4x2 MIMO	0,06	0,09	
	4x4 MIMO	0,08	0,12	

* ISD (*Inter-site distance*) = Distancia entre sitios

2.4.3 Capa de Transporte

Conformada por el núcleo de paquetes evolucionado (EPC) de las redes LTE/LTE-A, el cual proporciona al sistema de IPTV un núcleo *All-IP*, con capacidad de ofrecer QoS y acceso desde cualquier lugar y dispositivo incluso si el usuario está en movimiento. Las principales funciones de esta capa son la gestión de la movilidad de los UE (al momento del *handover* al interior de red o del *handover* vertical), el acceso a los servicios ofrecidos por el proveedor (voz, video y datos), la conexión a sistemas 3GPP y aquellos que no lo son, la conectividad IPv4/IPv6, la administración de las políticas de QoS y carga, y los mecanismos para la oferta de servicios MBMS [65].

Los elementos de red que integran al EPC son la entidad de gestión de la movilidad (MME), la puerta de enlace del servicio (S-GW), la puerta de enlace a la red de paquetes de datos (PDN-GW, *Packet Data Network Gateway*), y la entidad encargada de las políticas y reglas de carga (PCRF, *Policy and Charging Rules Function*) [65]. Además de los equipos propios que implementan las funciones del estándar LTE/LTE-A, también se incluyen en la capa de transporte otros elementos propios de las redes IP tales como *routers*, servidores DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*) para la configuración automática de las direcciones IP de los equipos de la red LTE y servidores DNS (*Domain Name Server*) para asociar los nombres de los equipos con sus direcciones IP. En la Figura 2-10 se muestra la conexión entre los principales elementos que conforman al EPC.

Figura 2-10: Arquitectura del Núcleo de Paquetes Evolucionado (EPC) [72]

2.4.4 Capa de Control

Está constituida por el subsistema IMS con el objetivo de proveer los mecanismos de control necesarios en la prestación de servicios multimedia basados en el uso del protocolo IP a los usuarios de la red LTE. Así, el IMS proporciona a la arquitectura el registro de usuarios y mecanismos AAA, la gestión de las suscripciones, la centralización de los perfiles del usuario, flexibilidad en las políticas del usuario, la personalización de servicio, la gestión de sesiones, enrutamiento, el lanzamiento de servicios, numeración, la interacción con los facilitadores de servicio NGN (presencia, mensajería, gestión de grupos, etc.), movilidad, calidad de servicio, el control de portadoras y una solución unificada de tasación y facturación [31].

Para el servicio de IPTV, el IMS ofrece la adaptación de los flujos de paquetes de datos a los recursos de la red y a las capacidades de los UE, permitiendo a los usuarios acceder al servicio de IPTV desde cualquier lugar, a cualquier hora, sobre cualquier dispositivo y en escenarios de movilidad. El IMS también brinda el control flexible del servicio de IPTV debido a que el manejo de sesiones se basa en el Protocolo de Inicio de Sesión (SIP, *Session Initiation Protocol*) [31]. De esta forma es posible el traspaso de las sesiones entre diferentes dispositivos con lo cual el usuario podrá continuar usando el servicio de IPTV aún sí cambia de UE, por ejemplo al pasar de un dispositivo móvil a un televisor.

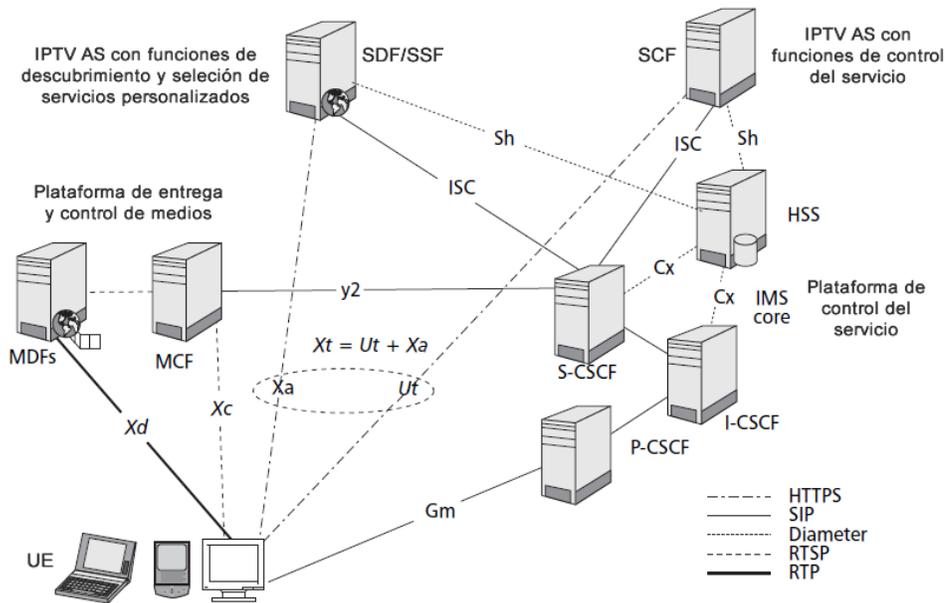
La capa de control está constituida por 3 entidades para el control de sesiones de llamada (CSCF, *Call Session Control Function*), las cuales se utilizan para el establecimiento de las sesiones multimedia entre los usuarios y para preparar la entrega de los servicios solicitados según las características de la sesión del usuario [31]. Las características como el perfil de usuario, políticas, suscripciones, preferencias, entre otros, se almacenan en el servidor de suscripción local (HSS, *Home Subscription Server*). En la Figura 2-11 se presenta la conexión de los diferentes componentes del núcleo de IMS con los componentes de la capa de servicios y aplicaciones de IPTV.

2.4.5 Capa de servicios y aplicaciones

Entre sus objetivos están almacenar y adquirir los diferentes contenidos de los servicios de IPTV; formar la parrilla de programación, integrar las aplicaciones interactivas con los canales de televisión; emitir y controlar los flujos del servicio de IPTV; y atender el diálogo de control de reproducción de

los contenidos (iniciar, pausar, detener, avanzar y retroceder) y de interactividad con las aplicaciones de IPTV [73]. También puede llevar a cabo la protección del contenido por derechos de autor y el cifrado de los mismos. Los principales componentes de esta capa son las entidades para el descubrimiento (SDF, *Service Discovery Function*) y selección de servicios (SSF, *Service Selection Function*), la entidad para el control del servicio de IPTV (SCF, *Service Control Function*) y la entidad para la entrega (MDF, *Media Delivery Function*) y control (MCF, *Media Control Function*) de los contenidos multimedia. La conexión de los componentes de la capa de servicios y aplicaciones con el núcleo IMS está en la Figura 2-11.

Figura 2-11: Arquitectura del núcleo de IMS para la prestación de servicios de IPTV. Adaptación [31]



2.4.6 Capa de gestión de redes y servicios

Proporciona las funciones de gestión y comunicación para la operación, administración y mantenimiento de la red móvil LTE/LTE-A y el aprovisionamiento del servicio de IPTV. Dentro de las funciones de la gestión de red se considera la gestión de la configuración y activos del servicio; la gestión de eventos con el objetivo de asegurar el correcto funcionamiento y ayudar a prever incidentes futuros en la red; la gestión de incidentes que afecten la calidad del servicio y la restauración del servicio en el menor tiempo posible; la gestión de problemas y errores frecuentes que degradan la calidad del servicio con en el fin de evitar su repetición; el monitoreo del desempeño a nivel de red; la gestión de la seguridad tomando acciones apropiadas para prevenir accesos no autorizados a la red; y el control de cambios para la provisión, cese o modificación de la capacidad de la red para el soporte de los servicios [74]. Por su parte, la gestión del servicio se relaciona con los aspectos contractuales de los servicios ofrecidos a los clientes. Entre sus tareas están la atención al usuario y gestión de las solicitudes que realicen; la interacción y negociación con proveedores de servicios; el mantenimiento de los acuerdos de nivel de servicio (SLA, *Service Level Agreement*) y del portafolio de servicios [74].

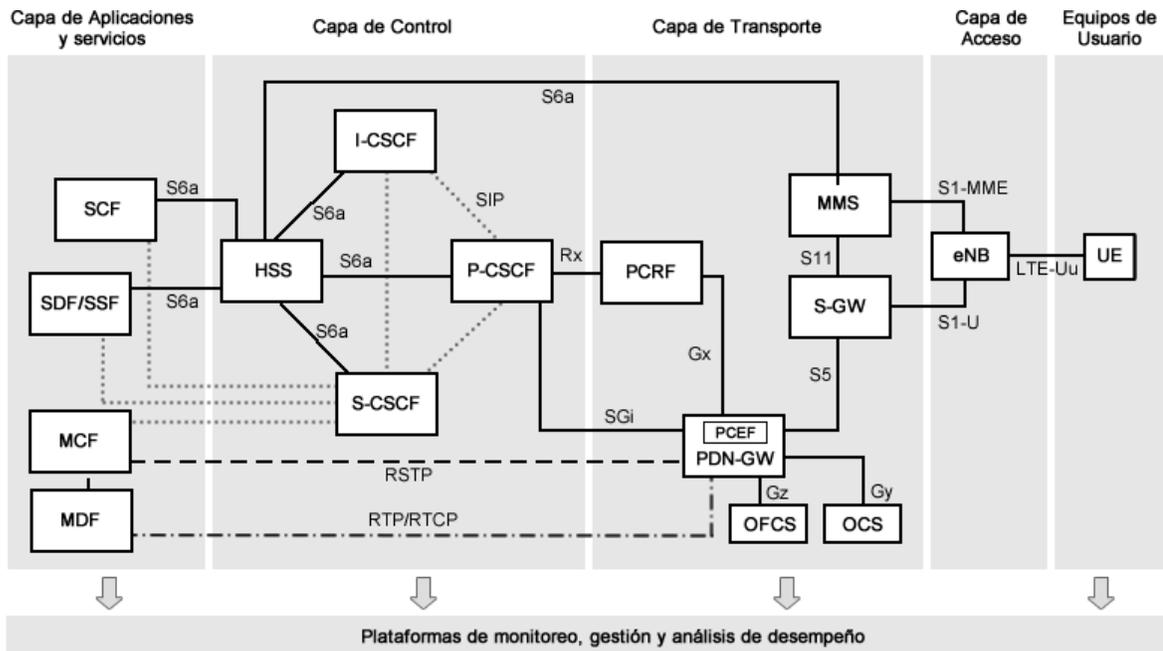
2.4.7 Proveedor de Contenidos

Es la entidad propietaria de los contenidos o es la poseedora de la licencia para vender los activos de los mismos [27]. Su función es la producción y entrega de contenidos los cuales pueden ser videos, audios, datos, texto y aplicaciones interactivas. Forman parte de los proveedores de contenidos los programadores de canales de TV satelitales o terrestres, las productoras de programas de TV, las bases de datos de contenidos (series y películas), las empresas de desarrollo de software, entre otros.

2.5 Arquitectura funcional detallada para la implementación de IPTV en redes LTE/LTE-A

En la Figura 2-12 se presentan en detalle los principales componentes de la arquitectura funcional para la implementación del servicio de IPTV sobre redes LTE/LTE-A.

Figura 2-12: Arquitectura detallada para implementación de IPTV en redes LTE/LTE-A



2.5.1 Equipos de usuario (UE)

Contienen el módulo de identificación de suscriptor universal (USIM, *Universal Subscriber Identity Module*) con la información de autenticación requerida para acceder a la red LTE y los datos necesarios para la operación de los servicios ofrecidos por el proveedor. La USIM está asociada a un usuario y por tanto lo identifica en el sistema independientemente del equipo utilizado. La separación entre USIM y el UE facilita que un usuario pueda cambiar de terminal manteniendo su identidad.

Los UE desempeñan funciones de comunicación con la red LTE como monitorear el rendimiento del canal de radio y transmitir al eNB el indicador de calidad del canal (CQI), soportar la interfaz de radio LTE/LTE-A para el enlace ascendente y descendente, y mapear el tráfico del enlace ascendente en las clases de tráfico de calidad de servicio [65]. Adicionalmente los UE deben estar en la capacidad de soportar los servicios y aplicaciones de IPTV realizando la decodificación de los contenidos, el despliegue de las imágenes, la reproducción del audio y la ejecución de las aplicaciones interactivas asociadas al servicio.

2.5.2 Nodos B evolucionados (eNB)

En el plano de control realizan funciones como la gestión de recursos de radio (RRM, *Radio Resource Management*), incluido el control de los RB, el control de admisión a los recursos de radio, la gestión de la movilidad (MM, *Mobility Management*) y la planificación de paquetes en el DL y UL. Adicionalmente en el plano de usuario el eNB se encarga de la compresión de encabezado IP y del cifrado de flujo de datos de usuario; de la selección de la MME; del re-envío de datos desde el UE hacia la S-GW; de la programación y transmisión de información de búsqueda (*paging*) originada desde la MME y de la información de operación y mantenimiento (O&M) [65]. La interconexión de los eNB con el EPC se realiza por medio de las interfaces *S1*. En particular, la interfaz *S1-MME* que soporta el plano de control termina en la entidad MME mientras que la interfaz *S1-U* del plano de usuario termina en el S-GW.

2.5.3 Entidad de gestión de la movilidad (MME)

Es el elemento esencial para el control de acceso al EPC. El MME se encarga de la señalización NAS para soportar la movilidad de los UE (*handover* dentro de la red LTE o *handover* vertical) y los procedimientos para la gestión de las sesiones (estableciendo y manteniendo la conectividad IP entre el UE y la PDN GW), del mismo modo provee seguridad a la señalización NAS. Igualmente, el MME realiza la autenticación de los usuarios mediante la interacción con el HSS a través de la interfaz *S6a* que implementa el protocolo *Diameter*; la gestión de los perfiles de suscripción del usuario; y la conectividad de los UE a los servicios mediante la selección del S-GW y del PDN-GW al momento de iniciar la conexión o para mantener la conectividad en movilidad [65]. El MME controla las funciones de transferencia del plano de usuario a través de la interfaz *S11* con la pasarela S-GW.

2.5.4 Puerta de enlace de servicio (S-GW)

Su principal función es la gestión y la conmutación de los paquetes de datos del usuario, de este modo la pasarela S-GW actúa como soporte de la movilidad en el plano de usuario durante el *handover* entre eNB de la red LTE y el *handover* vertical. También retiene la información de la transmisión cuando la terminal móvil se encuentra en el estado inactivo (*idle*) y almacena temporalmente las descargas de datos mientras el MME empieza el censado (*paging*) de los UE para restablecer la conexión. La pasarela S-GW gestiona y almacena los contextos de los UE, por ejemplo, los parámetros del servicio portador IP y la información de enrutamiento interno. Además, efectúa la marcación de paquetes a nivel de transporte en el DL y UL, monitorea los datos y los recolecta para propósitos de cobro de tarifas e interceptaciones legales [65].

2.5.5 Puerta de enlace de la red de paquetes de datos (PDN-GW)

Proporciona la conectividad IP a los UE hacia redes de datos externas siendo el punto de entrada y salida del tráfico para el UE. Un UE puede estar conectado simultáneamente con más de una pasarela PDN-GW para acceder a múltiples redes de datos. La pasarela PDN-GW lleva a cabo la asignación de direcciones IP, la aplicación de las reglas de control de QoS, el filtrado de paquetes para cada usuario, el marcado de paquetes a nivel de transporte en el DL, la interceptación legal y la detección de paquetes. Otra función clave de la pasarela PDN-GW es la de apoyar la movilidad de los usuarios en cualquiera de los casos de *handover* [65]. La pasarela PDN-GW se conecta a la pasarela S-GW mediante la interfaz *S5*, cuando ambas pasarelas pertenecen al mismo operador, y mediante *S8*, cuando éstas se encuentran en redes de operadores diferentes y se proporciona un servicio de *roaming*. A través de la interfaz *SGi* se realiza la interconexión de la pasarela PDN-GW con redes externas IP.

2.5.5 Control de políticas y de carga (PCC, *Policy and Charging Control*)

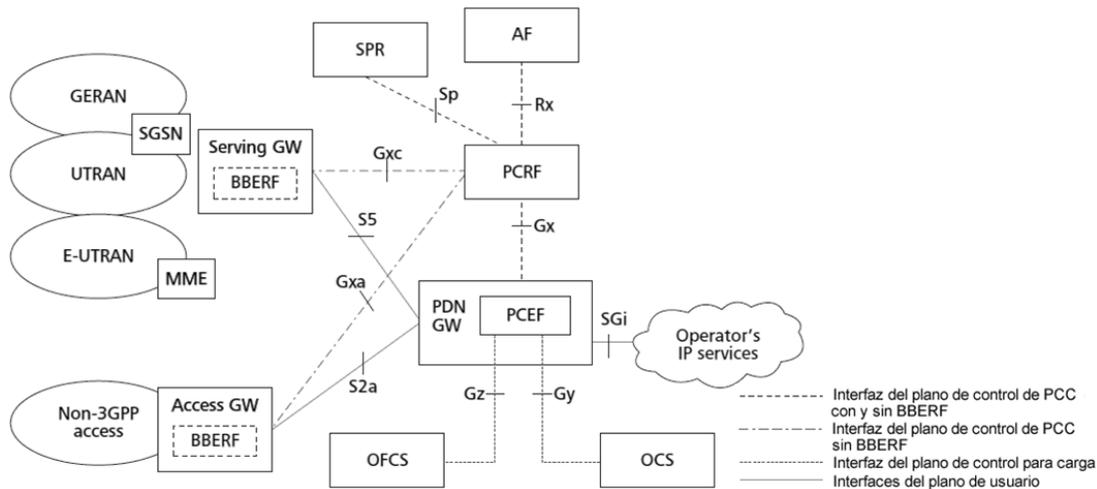
Es un subsistema que se adiciona a la arquitectura para controlar el comportamiento de QoS del servicio de conectividad IP mediante la definición y asignación de reglas PCC asociadas a los servicios de IPTV. El uso de este subsistema permite que el operador de la red sea quien se encargue de activar los servicios portadores con los parámetros de QoS apropiados según las necesidades de transmisión del servicio o aplicación solicitada por el usuario [76]. La unidad mínima de agregación de tráfico sobre la que se aplican las políticas de uso y tarificación del sistema PCC se denominan flujos de datos del servicio (SDF, *Service Data Flows*). Es importante señalar que cada servicio portador EPS puede transportar uno o múltiples SDF, por ejemplo, un SDF que tengan la misma QoS pueden transportarse en un único servicio portador EPS.

Las dos funciones principales del subsistema PCC son [76]:

- *Control mediante políticas de uso (policy control)* de los servicios portadores EPS basado en la definición de los parámetros de QoS al servicio portador EPS (*QoS control*) y control de paso del tráfico a través de la pasarela PDN-GW (*gating control*).
- *Control de la tarificación* del servicio de conectividad, incluyendo el control de servicios pre-pago que requieren un sistema de verificación de crédito *on-line*.

En la Figura 2-13 se muestra la arquitectura del subsistema PCC al interior del EPS de la red LTE. Las principales funciones de los elementos mostrados en la arquitectura PCC son [76]:

- *PCRF (Policy and Charging Rules Function)*: El elemento central del sistema PCC puesto que en este se determinan las políticas de uso mediante reglas PCC (*PCC rules*) que controlan las conexiones PDN para la prestación de servicios de IPTV con la QoS requerida. Las políticas de uso indican el perfil de QoS autorizado (*policy control*), los parámetros necesarios para el control de la tarificación (*charging control*), entre otros. La entidad PCRF es accesible desde las plataformas de servicios externas mediante la interfaz *Rx*, de este modo el elemento que controla la provisión de servicio puede indicar cuáles son los parámetros de QoS que la red debe proporcionar al servicio portador encargado de transportar el SDF.

Figura 2-13: Arquitectura del subsistema PCC en el EPS de las redes LTE/LTE-A [76]

- *PCEF (Policy and Charging Enforcement Function)*: Es la entidad encargada de aplicar las reglas PCC, enviadas desde el PCRF por la interfaz *Gx*, en la pasarela PDN-GW. Además, el PCEF suministra al PCRF la información relativa al usuario y a la red de acceso utilizada; se encarga de realizar medidas sobre el tráfico cursado (volumen de tráfico y duración de las sesiones) y de enviar la información relativa al uso de los recursos a las entidades encargadas de la tarificación. Con la aplicación de las reglas en la pasarela PDN-GW se logra dar el trato preferente a los flujos de IPTV en las redes LTE/LTE-A.
- *BBERF (Bearer Binding and Event Reporting Function)*: Es necesaria únicamente cuando la gestión de los servicios portadores EPS no se realiza desde la pasarela PDN-GW. Esto ocurre cuando la interfaz entre las pasarelas S-GW y PDN-GW se basa en PMIPv6 o bien cuando se accede a la pasarela PDN-GW desde redes no 3GPP mediante las interfaces *S2a/b/c*. En estos dos casos, no se disponen de los mecanismos de señalización asociados a la gestión de los servicios portadores EPS. Por ello, la entidad BBERF abarca el subconjunto de funciones de la entidad PCEF relacionadas con la asociación de SDF a servicios portadores EPS y la aplicación de las reglas PCC concerniente al *QoS control* y *gating control*. El resto de funciones relacionadas con la tarificación siguen realizándose en la pasarela PDN-GW. La comunicación entre las funciones BBERF y la entidad PCRF se realiza a través de la interfaz *Gxx*.
- *Repositorio del Perfil de Suscripción (SPR, Subscription Profile Repository)*: Constituye una base de datos donde se almacena la información relativa a las políticas de uso de la red que contempla la suscripción de un usuario y se accede por medio de la interfaz *Sp*. A modo de ejemplo, la base de datos SPR puede indicar que servicios de IPTV tiene autorizados un usuario en una determinada red APN, los parámetros de QoS autorizados para el servicio de IPTV, una categoría de usuario (*business/consumer*), etc. La base de datos SPR se concibe como una entidad funcional diferente del servidor HSS y, en LTE R8 no se contempla ninguna interacción entre ambas. Sin embargo, la integración de las funciones HSS y SPR en un mismo equipo físico podría ser una opción de implementación.

- *OFCS (Offline Charging System)/OCS (Online Charging System)*: Estas entidades constituyen el núcleo del sistema de tarificación de la red. Ambas entidades interactúan directamente con la pasarela PDN-GW mediante la interfaz Gz , en el caso de OFCS, y Gy , en el caso de OCS. El marco de tarificación soportado es un marco flexible que permite desplegar diferentes modelos en base a diferentes parámetros tales como tiempo de uso, volumen de datos, eventos, etc.

2.5.6 Servidor de suscripción local (HSS)

Es una base de datos que almacena todos los datos de los usuarios y registra la ubicación del usuario en la red. El HSS guarda el perfil del suscriptor el cual contiene información sobre los servicios que pueden ser utilizados por el usuario según lo contratado con el proveedor del servicio (paquetes de datos, servicios de IPTV, telefonía, *roaming*, etc.). También almacena los vectores de autenticación y las claves de seguridad para cada UE [75]. Esta entidad se comunica con el resto elementos de la arquitectura que requieren la autenticación de usuarios mediante interfaces que implementan el protocolo *Diameter*.

2.5.7 Proxy-CSCF (P-CSCF)

Es un servidor SIP que actúa como la puerta de entrada al subsistema IMS desde la red LTE/LTE-A. Los principales objetivos del P-CSCF son garantizar la señalización entre la red y los suscriptores, y la asignación de los recursos para los flujos multimedia por medio de la interacción con el subsistema de control de admisión y recursos (RACS, *Resource and Admission Control Subsystem*) [78]. En la arquitectura el P-CSCF se conecta con el PCRF para la asignación de las reglas PCC a los flujos de servicios asociados a la IPTV. Por tanto, mediante el P-CSCF el IMS puede controlar la operación de los servicios portadores del EPS en la capa de transporte.

2.5.8 Serving-CSCF (S-CSCF)

Es la principal entidad de control dentro del IMS puesto que actúa como servidor de registro SIP (SIP *Registrar*). Este componente procesa los registros de los usuarios y almacena su ubicación actual, también es el responsable de la autenticación de los usuarios y la gestión de las sesiones. Las políticas del suscriptor almacenadas en el HSS controlan las operaciones realizadas por el S-CSCF para un usuario en particular [78]. El S-CSCF puede proporcionar por sí solo algunos servicios al usuario o bien direccionar la señalización SIP hacia los servidores de aplicación correspondientes

2.5.9 Interrogating-CSCF (I-CSCF)

Es un servidor SIP que actúa como puerta de entrada de la señalización SIP proveniente de redes externas por ejemplo consultas a los servidores de nombres de dominios (DNS). El I-CSCF pregunta al HSS por el S-CSCF apropiado para el usuario [78].

2.5.10 Entidad de descubrimiento y selección de servicios (SDF/SSF)

El SDF brinda la información que se requiere para que un UE pueda identificar los servicios de IPTV disponibles (descubrimiento de servicios personalizados). En la arquitectura se pueden usar uno o varios SSF para proporcionar la información del servicio y las preferencias de los usuarios para que los servicios puedan ser seleccionados [31].

2.5.11 Entidad para el control del servicio de IPTV (SCF)

Maneja las solicitudes y la ejecución del servicio, además controla las sesiones para todos los servicios de IPTV. Las tareas generales de un SCF son el inicio de sesión y control de los servicios de IPTV; la interacción con el núcleo IMS y el S-CSCF para recibir, validar y ejecutar las peticiones de servicios de IPTV que realicen los usuarios; la autorización del servicio y validación de las peticiones del contenido seleccionado por el usuario con base a su perfil; la selección de las funciones relevantes de control/entrega de los contenidos de IPTV; la personalización de la experiencia del usuario y el control del crédito [31].

2.5.12 Entidad de entrega y control de contenidos (MDF/MCF)

Esta entidad realiza la entrega y el control de los contenidos multimedia asociados a la IPTV. En la Figura 2-14 se presenta la pila de protocolos para la de entrega y control de contenidos de IPTV. Las funciones del MDF son la transmisión de los flujos multimedia usando el Protocolo de Tiempo Real (RTP, *Real Time Protocol*); el almacenamiento de los contenidos multimedia e información del servicio; el procesamiento, codificación y decodificación de contenidos multimedia en varios formatos; y la protección de contenido [31].

Figura 2-14: Protocolos para la de entrega y control de contenidos de IPTV (MDF/MCF) [81]

Video Audio Speech Timed Text Scene description		Capability exchange Scene description Presentation description Still images Bitmap graphics Vector graphics Text Timed Text Synthetic audio	Capability exchange Presentation description	
RTP Payload Formats	3GP File Format	RTSP		
RTP	HTTP			
UDP	TCP			UDP
IP				

Entre tanto, las principales actividades realizadas por el MCF son la selección de los servidores de MDF para la entrega de los contenidos; la transmisión de los contenidos por las redes de transporte y el control del activo en la entrega de los contenidos; la aplicación de políticas para la distribución y gestión de contenidos; el mapeo de la identificación del contenido y su ubicación en el MDF; la

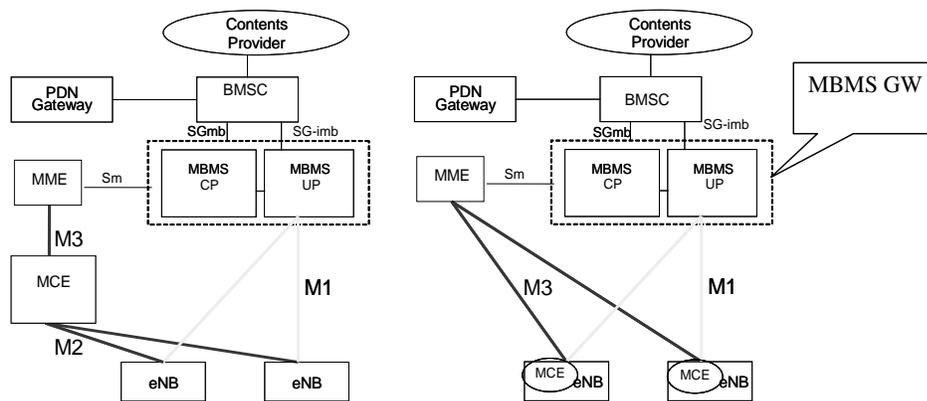
interacción con el UE mediante el uso de comandos del Protocolo de *Streaming* en Tiempo Real (RTSP, *Real-Time Streaming Protocol*) para la reproducción del contenido [80]; la recopilación de información estadística sobre el uso del servicio y la generación de información de facturación [31].

2.6 Servicio de multidifusión y difusión multimedia (MBMS)

En las redes LTE/LTE-A el servicio MBMS ofrece un modo de distribución punto-multipunto y se convierte en una alternativa valiosa a la unidifusión sobre todo cuando un gran número de usuarios acceden simultáneamente al mismo contenido. Por ejemplo, durante la transmisión en vivo de un programa de televisión la red tendría que enviar la misma cantidad de flujos de datos que el número de usuarios conectados. Con el servicio MBMS se hace más eficiente el uso del espectro disponible y reduce los costos por bit, puesto que el mismo flujo de datos se envía una sola vez a una gran cantidad de usuarios [82]. El MBMS agrupa dos tipos de servicios: el primero es un servicio de difusión (*broadcast*) que es recibido por todos los usuarios ubicados en el área de cobertura del eNB, y el segundo un servicio multidifusión (*multicast*) únicamente recibido un grupo de usuarios [83].

La activación del servicio MBMS se logra con la inclusión de un mínimo de elementos como el Centro de Servicios de Multidifusión/Difusión (BMSC, *Broadcast/Multicast Service Center*), la pasarela del MBMS (MBMS-GW, *MBMS Gateway*) y la entidad de coordinación de multidifusión para múltiple celdas (MCE, *Multi-cell/multicast Coordinating Entity*) [83]. Gráficamente, en la Figura 2-15 se puede observar la interconexión de dichos elementos en la red LTE/LTE-A.

Figura 2-15: Arquitectura funcional para el despliegue del servicio MBMS [65]



Las principales funciones de los elementos mostrados en la arquitectura de la Figura 2-15 son [84]:

- *Centro de Servicios de Multidifusión/Difusión (BM-SC)*: es el punto de contacto directo con el proveedor del servicio de IPTV. Se encarga de proveer y entregar los servicios MBMS a los UE. Realiza funciones de autorización de usuarios para acceder al servicio MBMS y de la iniciación del servicio portador MBMS dentro del PLMM (*Public Land Mobile Network*). Se usa para planificar y entregar las transmisiones MBMS. También realiza funciones de confidencialidad y protección de la integridad del mensaje MBMS.

- *Pasarela MBMS (MBMS-GW)*: es la entidad que se encarga de distribuir los paquetes IP a todos eNB que hacen parte de servicio MBMS mediante la interfaz M2, y realiza el control de la señalización de las sesiones MBMS en la red E-UTRAN usando la interfaz Sm hacia la entidad MME. También se encarga de funciones relacionadas con la tarificación del servicio MBMS.
- *Coordinación de multidifusión para múltiple celdas de multidifusión (MCE)*: es una entidad lógica que puede residir en otro elemento de la red como en un eNB. El MCE se encarga del control de admisión, de la asignación de los recursos de radio para toda la red de multidifusión/difusión de frecuencia única (MBSFN, *Multimedia Broadcast Multicast Service Single Frequency Network*), de la señalización para el control de la sesión de multidifusión, y además toma decisiones sobre la configuración de los enlaces de radio. Si el MCE esta separado de los eNB, la comunicación entre estas dos entidades se hace con la interfaz M2.

2.7 Calidad de Servicio (QoS) en redes LTE/LTE-A

El concepto de calidad de servicio (QoS) toma importancia cuando es necesaria la diferenciación servicios y usuarios. En este sentido, los mecanismos de QoS ofrecidos por las redes LTE/LTE-A permiten al operador de la red manejar diferenciadamente cada uno de los servicios dando un trato preferente a aquellos que son más exigentes en consumo de recursos de red para satisfacer sus requisitos de desempeño o en donde los usuarios así lo requieran debido a la importancia de la información transferida [85]. Con el fin de proveer los diferentes niveles de QoS es necesaria la gestión de sesiones para el manejo del servicio de conectividad IP ofrecido por las redes LTE/LTE-A, el cual se articula bajo los conceptos de conexión PDN y de servicio portador EPS [86].

2.7.1 Conexiones PDN

El término conexión PDN se utiliza para referirse al servicio de conectividad IP ofrecido por las redes LTE/LTE-A. La conexión PDN permite a los UE de las redes LTE/LTE-A intercambiar información con otros equipos de una red de paquetes de datos (PDN, *Packet Data Network*) externa y acceder a los servicios ofrecidos por estas [86]. La conexión PDN se caracteriza por una dirección IP única en el UE mediante la cual se identifica al usuario en la red externa. Las PDN a las cuales un UE puede acceder desde la red LTE son redes públicas como Internet o redes privadas como una intranet corporativa (VPN), la red de un Proveedor de Acceso a Internet (ISP) o una red propia del operador para la prestación de diferentes servicios como telefonía, multimedia, IPTV, videoconferencia, entre otros [86]. En la Figura 2-16 se ilustra el servicio de conectividad IP proporcionado por la red LTE.

Figura 2-16: Conexión PDN. Adaptación [86]

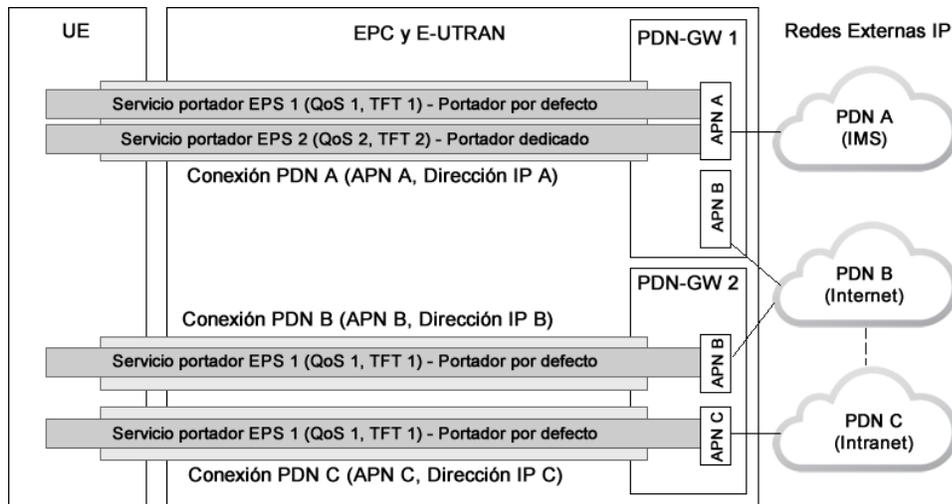


Las conexiones PDN se identifican mediante una etiqueta denominada APN (*Access Point Name*), la cual está compuesta por un identificador del operador de la red LTE (un código de operador y de país) y un identificador específico de la red externa a la que se proporciona acceso [87]. De esta forma, cuando se establece una conexión PDN entre un UE y una red externa, la red LTE utiliza el parámetro APN para determinar la pasarela PDN-GW o pasarelas PDN-GW que van a participar en dicha conexión PDN [76]. Se debe tener en cuenta que un UE puede establecer múltiples conexiones PDN simultáneas, a través de la misma o varias pasarelas PDN-GW.

El conjunto de redes externas a las que tiene acceso un usuario de la red LTE se controla mediante su perfil de suscripción, el cual contiene el conjunto de identificadores APN autorizados. En las redes LTE/LTE-A, a partir del momento en que un usuario se registra en la red LTE, se establece, como mínimo, una conexión PDN. La red externa accedida al momento de la conexión PDN inicial puede ser definida por el usuario mediante el envío del APN correspondiente o bien puede utilizarse un APN por defecto definido en el perfil de suscripción de dicho usuario. Las conexiones PDN adicionales las inicia el equipo de usuario una vez ya este registrado y haya establecido la conexión PDN inicial (el registro y el establecimiento de la primera conexión se realiza de forma combinada mediante el procedimiento denominado *Network Attach*). La desconexión de una conexión PDN puede iniciarla tanto la propia red LTE (debido, por ejemplo, a un cambio en la suscripción o a una falta de recursos) como el propio usuario [86].

En la Figura 2-17 se representa un equipo de usuario que tiene establecidas tres conexiones PDN con diferentes redes externas, donde se puede ver que cada conexión PDN se caracteriza por un identificador APN y la dirección IP utilizada por el terminal LTE (un terminal LTE puede tener asignadas múltiples direcciones IP, es decir, una para cada conexión PDN establecida) [86]. Como se observa en la Figura 2-17, el usuario tiene acceso a servicios proporcionados en una plataforma IMS mediante la conexión PDN A, por la conexión PDN B se proporciona acceso a Internet y por la conexión PDN C acceso a una red corporativa. En este ejemplo, el acceso a Internet se identifica mediante el identificador APN B y puede realizarse por la pasarela PDN-GW 1 o por pasarela PDN-GW 2.

Figura 2-17: Conexiones PDN y servicios portadores EPS [86]



Cuando existen múltiples pasarelas PDN-GW que proporcionan acceso a una misma red externa, la elección de la pasarela más apropiada la determinaría la red LTE basándose en diferentes aspectos tales como balanceo de cargas, espacio de direcciones utilizado en cada pasarela, diferenciación del servicio de acceso a Internet, etc. Finalmente, en la Figura 2-17 puede verse como cada conexión PDN está compuesta por un conjunto de servicios portadores EPS (*EPS bearer services*) para garantizar el acceso a los recursos de red que requieren los servicios a los que se acceden por las conexiones PDN.

2.7.2 Servicio portador EPS (*EPS Bearer Service*)

El servicio de conectividad IP proporcionado por las redes LTE/LTE-A soporta calidad de servicio (QoS) logrando que los paquetes de datos de una determinada conexión PDN puedan ser tratados de forma diferenciada para adaptarse a las necesidades de transmisión (velocidad de transmisión datos, retardo, *jitter* y tasa de pérdida de paquetes) de cada uno de los servicios a los cuales un usuario puede acceder [85]. Esto permite que las redes LTE/LTE-A soporten múltiples servicios con diferentes requisitos de desempeño garantizando a los usuarios una adecuada experiencia de uso de los servicios y a los operadores móviles una gestión eficiente de los recursos de red. Adicionalmente, la configuración de la QoS permite que los operadores de red puedan llevar a cabo determinadas estrategias de negocio con base a la diferenciación de usuarios (el tráfico de datos de los usuarios corporativos podrá tener mayor prioridad sobre el tráfico de los usuarios residenciales) [85][86].

2.7.2.1 Funciones para el servicio portador EPS en el plano del usuario

Las funciones de gestión de la QoS en el plano de usuario permiten mantener la señalización y el tráfico de datos de usuario dentro de ciertos límites definidos por los atributos de QoS específicos. Estas funciones aseguran la provisión de la QoS negociada para un servicio portador EPS [37]:

- *Función de mapeo*: permite que cada paquete de datos con un marcado específico reciba la QoS deseada en la transferencia por un servicio portador.
- *Función de clasificación*: asigna los paquetes IP a los servicios portadores establecidos por un UE de acuerdo con los atributos de QoS. El servicio portador seleccionado se deriva del encabezado del paquete IP o de las características de tráfico de los datos.
- *Gestión de recursos*: distribuye los recursos disponibles entre todos los servicios que comparten el mismo recurso en función de la QoS requerida. La gestión de recursos se realiza mediante la planificación de tráfico, la gestión de ancho de banda y control de potencia para el RB.
- *Acondicionador de tráfico*: proporciona la conformidad entre la QoS negociada por un servicio y el tráfico de datos. Esta función se realiza mediante los mecanismos de gestión de tráfico *traffic policing* o *traffic shaping*. El mecanismo *traffic policing* compara los paquetes de datos con los atributos de QoS. Los paquetes de datos que no coincidan con los atributos son descartados (*dropped*) o marcados como no coincidentes, para ser descartados preferencialmente en caso de congestión. Por su parte el mecanismo *traffic shaping* forma los paquetes de datos según la QoS

de tal forma que retiene el exceso de paquetes en una cola y luego programa el exceso para su posterior transmisión con incrementos de tiempo.

2.7.2.2 Servicios portadores EPS por defecto y dedicados

La forma de gestionar la calidad de servicio en las redes LTE/LTE-A se basa en el concepto de servicio portador EPS (*EPS Bearer Service*), el cual se define como un servicio de transferencia de paquetes IP que tiene asociado determinados parámetros de QoS y una plantilla de filtro de paquetes (TFT, *Traffic Flow Template*) para seleccionar el flujo de paquetes IP que debe recibir el tratamiento específico de QoS por parte de la red [72]. La transmisión de paquetes IP en las conexiones PDN está soportado en el establecimiento de un servicio portador EPS. De esta manera, en cada conexión PDN siempre existe un servicio portador EPS por defecto activo por donde se envía todo el tráfico IP de usuario sin distinción alguna [72] [86]. Por ello y con el fin de proporcionar QoS en la conexión PDN a un determinado flujo de paquetes IP deben activarse los servicios portadores EPS dedicados para que el tráfico seleccionado (mediante el TFT) se envíe a través de estos y el resto por el servicio portador EPS por defecto [72] [86].

Los parámetros de QoS del servicio portador por defecto se establecen en la suscripción del usuario y se almacenan en la base de datos HSS de la red [72]. El servicio portador EPS por defecto permanece activo mientras dura la conexión PDN y su desactivación conduce a la terminación de la conexión PDN [86]. En contraste, los servicios portadores EPS dedicados pueden activarse, modificarse o desactivarse al inicio o en el transcurso de una conexión PDN [86]. Por ejemplo, los servicios de IPTV necesitan la activación de un servicio portador dedicado con configuración adecuada en los parámetros de QoS durante el tiempo que el usuario use el servicio con el fin que las redes LTE/LTE-A puedan garantizar la entrega satisfactoria de los paquetes de audio y video asociados al servicio.

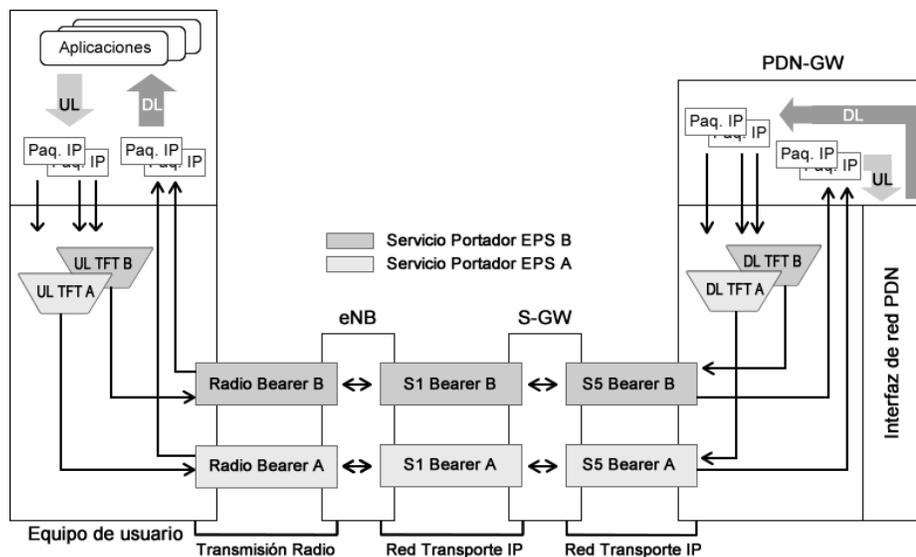
2.7.2.3 Estructura de un servicio portador EPS

El servicio portador EPS se extiende desde el terminal del usuario hasta la pasarela PDN-GW proporcionando una QoS *end-to-edge* [86]. La diferencia con el modelo de QoS *end-to-end* radica en que este último la QoS está determinada entre los dos extremos del servicio, por ejemplo entre el UE y el servidor de IPTV ubicado en la PDN. Sin embargo, las redes LTE/LTE-A no especifican un modelo de QoS *end-to-end* que cubra la transmisión en la red externa, por lo cual en la PDN se deben realizar las configuraciones necesarias con el fin de ofrecer la QoS a los servicios que lo requieran. Ahora bien, cuando la transferencia de paquetes IP se da al interior de las redes LTE/LTE-A el concepto de QoS es *end-to-end* como por ejemplo en una llamada telefónica entre dos UE [37].

La implementación de un servicio portador EPS requiere que en cada elemento de red donde se procesan los paquetes de datos del usuario se establezca un contexto de información (suscripción del usuario, capacidades del terminal e información relativa a la gestión de movilidad y de sesiones) con los parámetros de QoS pertinentes, y los filtros y etiquetas que permitan la identificación del flujo de datos asociado al servicio portador [86]. El filtro se establece por medio de la plantilla TFT que contiene atributos tales como puertos de los protocolos de transporte de origen y destino, direcciones IP de origen y destino, máscaras de subred y campos específicos de calidad de servicio en la cabecera del protocolo IP (*Type of Service*, TOS, en IPv4, y *Traffic Class* y *Flow Label* en IPv6) [85].

El TFT se encarga en el UE de filtrar el tráfico de datos en UL y mientras que en las pasarelas de red (S-GW o PDN-GW) filtra el tráfico dirigido al terminal de usuario (DL). En la Figura 2-18 se ilustra la ubicación de los filtros de paquetes basados en el protocolo de túnel GTP (GTP, *GPRS Tunneling Protocol*) en la interfaz entre S-GW y PDN-GW, donde el filtro TFT en sentido descendente se aplica en la pasarela PDN-GW. No obstante, si la interfaz entre S-GW y PDN-GW estuviera basada en PMIPv6 los filtros TFT para el enlace descendente se ubicarían en la pasarela S-GW dado que el protocolo PMIPv6 no soporta la identificación de diferentes flujos de tráfico entre las pasarelas S-GW y PDN-GW (los túneles PMIPv6 entre pasarelas se establecen por conexión PDN y no por servicio portador EPS) [86]. Adicionalmente, como se puede observar en la Figura 2-18, una vez identificados los paquetes IP asociados a un servicio portador mediante las plantillas TFT, estos se transportan a través de los equipos de red que sustentan el plano de usuario identificando el servicio portador EPS al que pertenece cada uno de los paquetes IP enviados.

Figura 2-18: Servicios portadores EPS basados en GTP [86]



Los parámetros de QoS se establecen por cada servicio portador EPS y se mapean entre los servicios portadores que lo conforman (*RB*, *S1* y *S5/S8*) [72]. En la interfaz radio los paquetes asociados a un servicio portador EPS se transmiten mediante un servicio RB mapeando el servicio portador EPS unívocamente a un RB. El cumplimiento de los parámetros de QoS en la interfaz radio se basa en la configuración apropiada de la capa PHY y de enlace de datos (configuración de los mecanismos de retransmisiones RLC y H-ARQ) y en la utilización de mecanismos de planificación de tráfico, gestión activa de colas y control de la velocidad de transferencia de datos del servicio RB [86].

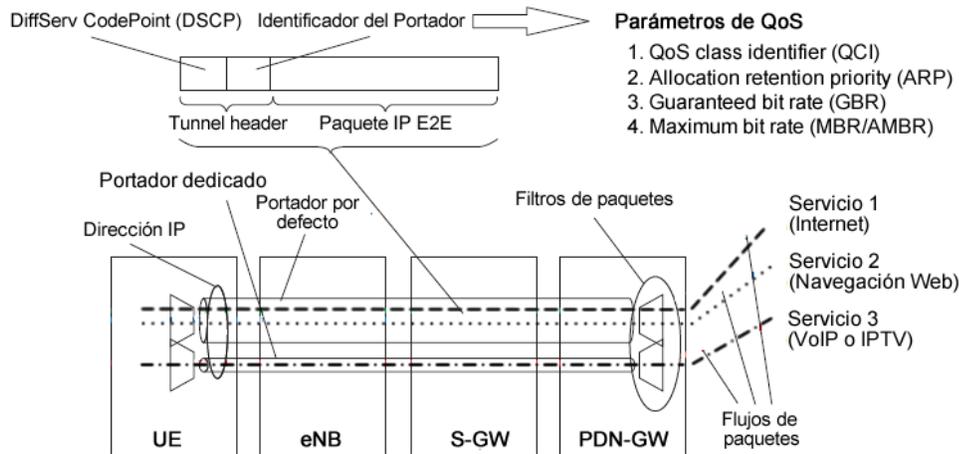
En la interfaz S1 el servicio portador EPS se mapea en un servicio portador S1 especificado por un identificador de túnel (TEID, *Tunnel Identifiers*) del GTP en ambos extremos de la interfaz. De forma similar, en la interfaz S5/S8 basada en GTP el mapeo del servicio portador EPS también consiste en su asociación con los identificadores de túnel que definen el servicio portador S5/S8. Ahora bien, si la interfaz S5/S8 se basa en PMIPv6 la distinción entre los paquetes IP que pertenecen a diferentes servicios portadores EPS no se lleva a cabo en esta interfaz, y el servicio portador EPS queda

implementado únicamente mediante el servicio RB y el servicio portador *S1*. Los parámetros de QoS del servicio portador EPS para las interfaces *S1* y *S5/S8* deben estar relacionados con los parámetros de QoS que empleen las redes de transporte IP que interconectan los diferentes elementos de las LTE/LTE-A como pueden ser los parámetros del modelo de servicios diferenciados (*DiffServ*) [86].

2.7.3 Parámetros de QoS en las redes LTE/LTE-A

La especificación de un conjunto de parámetros define un modelo de QoS que permite a las redes garantizar los recursos de transmisión necesarios para satisfacer los requisitos de desempeño de un determinado servicio o tipo de usuario. Estos parámetros también determinan el grado de flexibilidad que ofrece un sistema para gestionar la capacidad de transmisión disponible en la red [86]. En las redes LTE/LTE-A, el modelo de QoS que se utiliza para definir el comportamiento de un servicio portador EPS dedicado o MBMS, está basado en un máximo de cuatro parámetros complementados con dos parámetros relacionados con la suscripción del usuario [76]. El modelo de QoS definido para las redes LTE/LTE-A simplifica en gran medida el modelo utilizado en UMTS que se basa en un número mucho más elevado de parámetros para indicar el comportamiento de QoS [86] (un portador UMTS incluye un total de 4 clases de servicio y 13 atributos de QoS [37]). En la Figura 2-19 se presenta el conjunto completo de parámetros de QoS en las redes LTE/LTE-A.

Figura 2-19: Parámetros de QoS en las redes LTE/LTE-A [85]



2.7.3.1 Identificador de la Clase de QoS (QCI, QoS Class Identifier)

El QCI representa una clase de servicio o comportamiento de la red. La selección de un valor de QCI para un servicio portador EPS implica la elección de una serie de parámetros específicos en cada uno de los nodos que procesan los datos del usuario con el fin de controlar el manejo que se le debe dar a un paquete (pesos del *scheduling*, umbrales del control de admisión, configuración de los parámetros de capa de enlace y capa física, entre otros) [76].

Dada la gran flexibilidad que ofrece este esquema, el 3GPP ha especificado el comportamiento esperado para un conjunto de QCI de forma que pueda utilizarse como guía en la configuración de los

mecanismos que definen la QoS en cada nodo [86]. El objetivo de la estandarización de un conjunto de QCI es la de facilitar la consecución de un determinado comportamiento en las redes LTE/LTE-A con equipos de diferentes fabricantes así como en escenarios de *roaming* [76]. En la Tabla 2-4 se proporcionan los valores de QCI estandarizados en términos del tipo de servicio portador, retardo, tasa de pérdida de paquetes en situaciones de no congestión y un nivel de prioridad en el *scheduling* [76].

Tabla 2-4: Valores de QCI estandarizados [76]

QCI	Tipo de recurso	Prioridad en el <i>scheduling</i>	Retardo de paquetes	Tasa de pérdida de paquetes	Ejemplo de Servicios	
1	GBR	2	100 ms	10 ⁻²	Voz	
2		4	150 ms	10 ⁻³	Video conversacional (<i>Streaming</i> de video en vivo, videoconferencia)	
3		3	50 ms	10 ⁻³	Juegos en tiempo real	
4		5	300 ms	10 ⁻⁶	Video no conversacional (<i>Streaming</i> de video almacenado)	
5	Non-GBR	1	100 ms	10 ⁻⁶	Señalización del IMS	
6		6	300 ms	10 ⁻⁶	Video (<i>Streaming</i> de video almacenado) Basados en TCP (HTTP, e-mail, chat, FTP, transferencia de archivos P2P, etc.)	
7		7	100 ms	10 ⁻³	Voz, Video (<i>Streaming</i> de video en vivo) Juegos interactivos	
8		8	8	300 ms	10 ⁻⁶	Video (<i>Streaming</i> de video almacenado) Basados en TCP (HTTP, e-mail, chat, FTP, transferencia de archivos P2P, etc.)
9			9			

2.7.3.2 Asignación y Retención de Prioridad (ARP, *Allocation and Retention Priority*)

El parámetro ARP se utiliza como un indicador de prioridad en los procesos de establecimiento o modificación de un servicio portador EPS permitiendo a la red decidir si acepta o no estos procesos en función de los recursos disponibles [76]. Las redes LTE/LTE-A soportan un total de 15 prioridades con 1 como el nivel más alto. El valor de ARP define si un determinado servicio con alta prioridad puede obtener recursos mediante la desactivación de servicios portadores menos prioritarios (*capacity pre-emption*) o también cuando un servicio portador de baja prioridad puede ceder sus recursos para dar acceso a servicios con mayor prioridad (*pre-emption vulnerability*) [76]. El uso de este parámetro puede formar parte de un mecanismo de control de congestión.

2.7.3.3 Tasa de bits garantizada (GBR, *Guaranteed Bit Rate*) y no garantizada (Non-GBR)

El parámetro GBR indica la velocidad de transmisión de datos en bps que las redes LTE/LTE-A deben proporcionar a un servicio portador. Por definición, un servicio portador EPS con tasa garantizada que curse una tasa de datos menor o igual al valor del parámetro GBR configurado no tiene que experimentar pérdidas de paquetes por congestión [76]. Por ello, una característica importante de los servicios GBR es que deben someterse siempre a control de admisión, ya que su activación conlleva a la reserva de un determinado volumen de recursos de transmisión con el fin de garantizar dicha tasa. Por el contrario, los servicios portadores sin tasa garantizada (*non-GBR*) no

necesitan pasar un control de admisión, pero a diferencia de un servicio GBR, un servicio non-GBR puede experimentar pérdida de paquetes en situaciones de congestión [76].

2.7.3.4 Tasa de Bits Máxima (MBR, *Maximum Bit Rate*)

El parámetro MBR limita la tasa máxima de un servicio portador EPS de tal forma que mediante un mecanismo de control de tasa (*rate control*), el volumen de tráfico que excede el valor de MBR puede ser descartado [72]. En LTE R8 los valores GBR y MBR deben ser iguales, y únicamente están definidos para servicios portadores GBR [85].

2.7.3.5 Parámetros QoS usados en la diferenciación de usuarios

Además de los parámetros de QoS asignados a cada servicio portador EPS, un usuario de las redes LTE/LTE-A tiene asociados dos parámetros adicionales relacionados con la Tasa de Bits Máxima Agregada (AMBR, *Aggregated Maximum Bit-rate*): UE-AMBR y APN-AMBR [37]. Ambos parámetros indican la máxima tasa de transferencia en bps que de forma agregada podrán experimentar el conjunto de servicios portadores EPS *non-GBR* que tenga activados un usuario. En particular, el parámetro UE-AMBR limita la tasa máxima agregada del equipo de usuario y el parámetro APN-AMBR la tasa agregada máxima del equipo de usuario con una determinada red externa (asociada a dicho APN) [37]. Estos dos parámetros forman parte del perfil de suscripción del usuario por lo cual pueden ser usados por el operador de red para plantear diferentes estrategias de negocio basadas en la tasa máxima de transferencia ofrecida a los usuarios [37].

En las redes LTE/LTE-A, el perfil de suscripción de un usuario únicamente contiene el perfil de QoS de los servicios portadores EPS por defecto en cada conexión PDN y los valores APN-AMBR y UE-AMBR. En cuanto al perfil de QoS autorizado para los servicios portadores EPS dedicados se obtiene directamente a través del sistema de control de políticas de uso de la red (PCC), que pasa a ser el responsable de determinar el comportamiento de QoS requerido en base al tipo de servicio final solicitado y la posible información de suscripción del usuario asociada a la plataforma de provisión de servicios (y no a la red de acceso) [86].

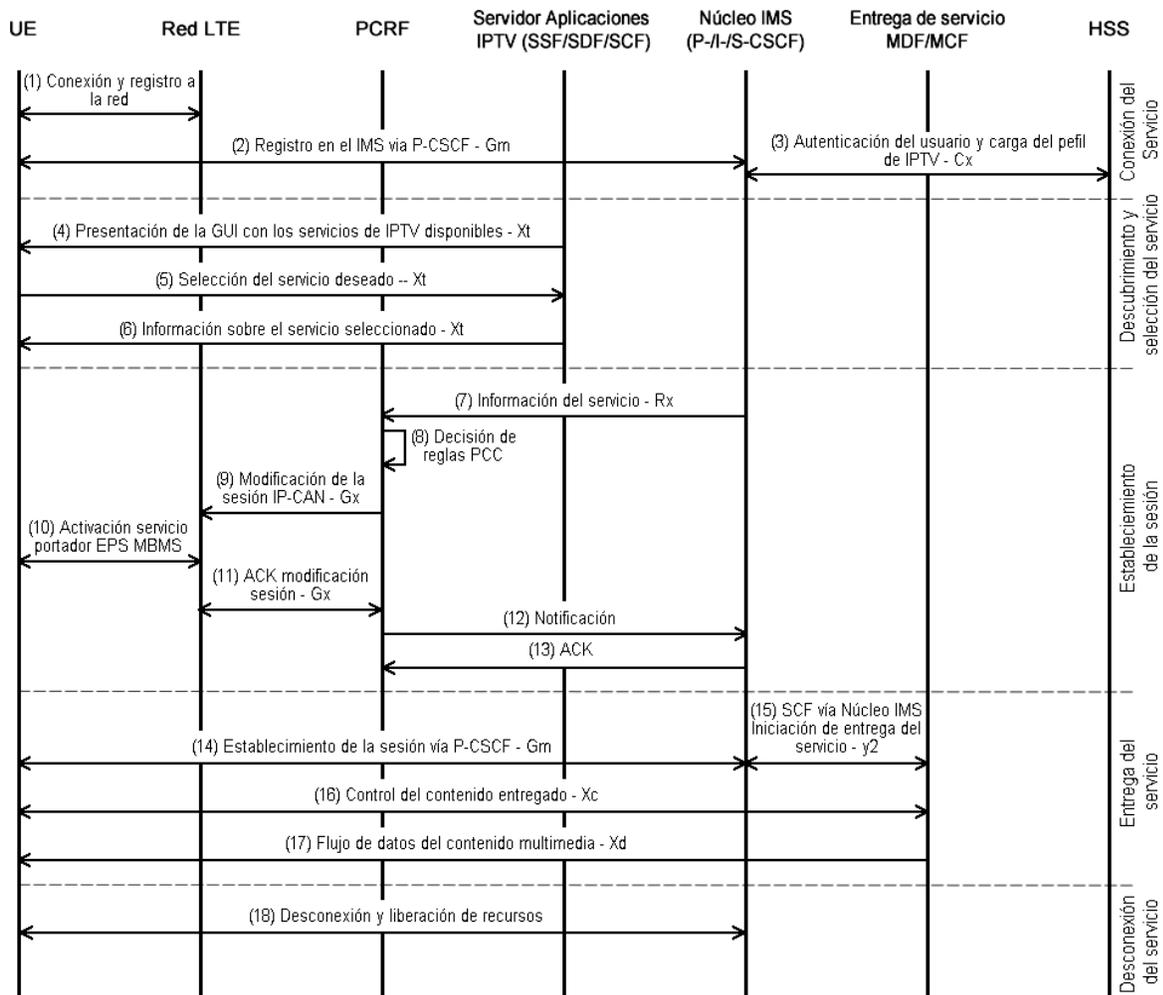
2.8 Análisis de las alternativas de funcionamiento de la red LTE para la implementación del servicio de IPTV con QoS

Con el fin de realizar el análisis de las alternativas de funcionamiento de la red LTE para la implementación del servicio de IPTV con QoS se han planteado dos escenarios: el primero corresponde al uso de un servicio básico y el segundo a un servicio mejorado. Dichos escenarios utilizan diferentes configuraciones de los parámetros de QoS de la red LTE para la entrega de estos servicios de IPTV, por lo cual son idóneos para cumplir con este objetivo. En este análisis se utilizaron diagramas de secuencia donde se muestra la intervención de las entidades funcionales mostradas en la arquitectura de la Figura 2-12. Cabe señalar que en los dos escenarios se asume que el usuario ya se encuentra conectado a la red LTE, por lo cual este aspecto no será descrito en detalle en el presente análisis y se inicia desde que el usuario hace la petición del servicio de IPTV que desea consumir.

2.8.1 Análisis del funcionamiento de la red LTE para la prestación de un servicio de IPTV básico con QoS

El servicio de IPTV básico puede ser un servicio de televisión radiodifundida, en el cual una misma señal es recibida por múltiples usuarios autorizados para acceder a los contenidos. En este caso la red LTE forma un único canal de transmisión usando el subsistema MBMS para formar una MBSFN [82] [84]. Este canal se conoce como servicio portador MBMS al cual la red LTE garantiza la QoS requerida por el servicio de IPTV y al que todos los usuarios del grupo de multidifusión van a unirse [15]. El diagrama de secuencia para la prestación servicio de IPTV de radiodifusión con QoS en la red LTE se muestra en la Figura 2-20.

Figura 2-20: Diagrama de secuencia para la prestación de un servicio de IPTV de radiodifusión con QoS en la red LTE



A continuación se describen los pasos mostrados en la Figura 2-20:

- (1) *Conexión y registro a la red LTE:* es el primer paso que un usuario debe realizar para recibir los servicios de IPTV. Este proceso se lleva a cabo cuando se enciende el equipo de usuario y

se detecta la presencia de la red LTE. Después de un proceso de autenticación del usuario, se establece una conexión PDN con la activación del servicio portador EPS por defecto con lo cual el usuario dispone de un servicio de conectividad IP operativo (*always-on*) [65].

- (2), (3) *Registro en el sistema IMS*: después que el usuario se haya conectado y registrado en la red LTE, mediante la interfaz *Gm* debe hacer la solicitud de registro al P-CSCF del IMS para que pueda acceder a los servicios de IPTV. Una vez recibida esta solicitud, el I-CSCF por medio de la interfaz *Cx* se comunica con la base de datos de suscriptores HSS para autenticar al usuario y cargar el perfil de suscripción a los servicios de IPTV [30][31]. Si el registro del usuario en el sistema IMS es exitosa, se le notifica al usuario y se procede con los siguientes pasos. En este proceso se usa el protocolo SIP para la interfaz *Gm* y el protocolo *Diameter* para la interfaz *Cx*.
- (4), (5) *Descubrimiento y selección del servicio*: posterior al registro del usuario en el sistema IMS el servidor de aplicaciones de IPTV, encargado del descubrimiento (SDF), selección (SSF) y control (SCF) del servicio, recibe desde el S-CSCF la confirmación del registro [30][31]. Con esta notificación el servidor de aplicaciones de IPTV consulta al HSS, por la interfaz *Sh*, el perfil de suscripción a los servicios de IPTV y preferencias del usuario para conformar y enviar al UE una interfaz gráfica (GUI), generalmente una página en HTML, con la lista de los servicios de IPTV que tiene disponibles según lo contratado con el proveedor del servicio [31]. El usuario en su UE selecciona desde la GUI el servicio de IPTV deseado enviando una solicitud del servicio, la cual es respondida por el servidor de aplicaciones de IPTV con la información sobre el servicio escogido. La interacción entre el servidor de aplicaciones de IPTV y el UE se realiza con el protocolo HTTPS en la interfaz *Xt* [30].
- (6) *Información sobre el servicio seleccionado*: mediante este anuncio se entrega al UE los parámetros que son necesarios para la activación del servicio de IPTV seleccionado [30]. Como se trata un servicio de IPTV de radiodifusión, la información que se entrega al UE corresponde a la dirección IP del grupo de multidifusión al cual el UE debe unirse para recibir el contenido deseado.
- (7) *Información del servicio*: después de la selección del servicio de IPTV, por medio de la interfaz *Rx*, el P-CSCF (que conoce las características del servicio que se va cursar) envía una notificación al PCRF para el establecimiento de las políticas de control de QoS de este servicio (reglas PCC) [76].
- (8) *Decisión de reglas PCC*: el PCRF define cuales son las reglas apropiadas para garantizar el comportamiento de QoS al servicio de IPTV seleccionado por el usuario basándose en la configuración que el operador haya establecido para soportar los paquetes IP asociados al flujo de datos de IPTV [31][76]. Las reglas PCC definen la configuración de los parámetros de QoS (QCI, ARP, GBR y MBR) para soportar el servicio de IPTV de radiodifusión [76]. Como alternativas a la implementación del servicio de IPTV de radiodifusión en la red LTE se tienen las siguientes configuraciones de los parámetros de QoS:

- *ARP*: dado que en el servicio de IPTV se necesitan garantizar determinados recursos para satisfacer los requisitos de desempeño de QoS, se recomienda que el parámetro ARP sea configurado con valores entre 5 y 8 en aras de mantener los recursos asignados por la red LTE. Valores muy bajos en ARP ocasionarán que en situaciones de congestión se liberen los recursos ocupados por las transmisiones del servicio de IPTV, lo cual se traduce en la degradación de la calidad de los contenidos entregados a los usuarios y en el peor de los casos la desconexión del servicio.
- *GBR*: debido a que se propone la utilización del subsistema MBMS para la entrega del servicio de IPTV de radiodifusión, entonces solo es posible usar portadoras GBR [84]. La configuración de una regla PCC de tasa de bits garantizada significa que la red LTE está reservando los recursos de velocidad de transmisión para la prestación del servicio de IPTV. Para determinar el valor de GBR se debe tener en cuenta la calidad de los contenidos del servicio de IPTV, es decir, si se trata de un servicio en SD o HD. Con el valor GBR adecuado se contribuye a garantizar que la tasa de pérdida de paquetes este dentro de los límites establecidos para ofrecer QoS puesto que se evita el descarte de paquetes en situaciones de congestión [85]. Sin embargo, cuando la red LTE no tenga la capacidad para ofrecer la tasa de bits solicitada por esta configuración, es posible que el usuario no pueda acceder a los servicios ya que debe pasar por el proceso de control de admisión.
- *MBR*: en el subsistema MBMS, la entidad BM-SC es la encargada de asegurar que la tasa de bits no sea más alta que la MBR [84].
- *QCI*: al usar la configuración GBR el valor de QCI recomendado según la Tabla 2-4 para ofrecer QoS al servicio de IPTV es 4. En la Tabla 2-5 se presentan las alternativas de configuración de los parámetros de QoS que el operador puede configurar en las reglas PCC para la entrega de servicios básicos de IPTV con QoS. En la Tabla 2-5 también se con considero la configuración de los parámetros de QoS fijados en [89].

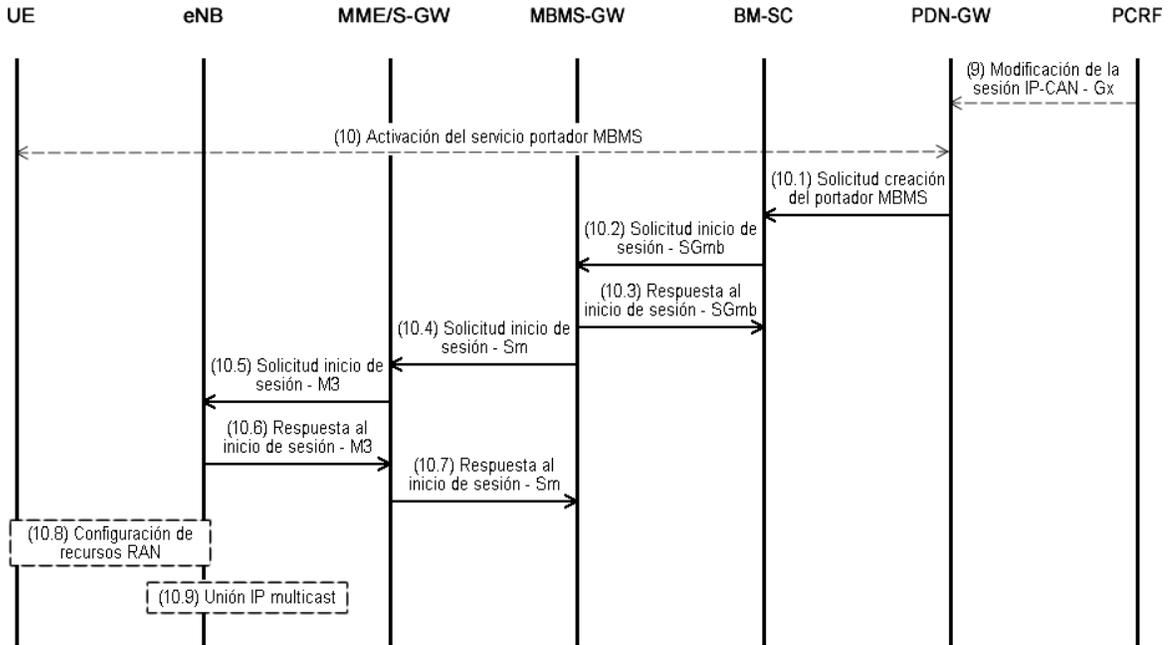
Tabla 2-5: Alternativas de configuración de los parámetros de QoS para un servicio de IPTV de radiodifusión usando portadores GBR

Formato	Codificación	GBR (Kbps)	MBR (Mbps)	QCI	APN
SDTV (352x280)	MPEG-4 AVC	64	0,128	4	5 – 8
SDTV (352x280)	MPEG-4 AVC	64	0,242	4	5 – 8
SDTV (352x280)	MPEG-4 AVC	64	0,440	4	5 – 8
SDTV (480i/576i)	MPEG-4 AVC	64	1,75	4	5 – 8
HDTV (720p/1080i/p)	MPEG-4 AVC	64	10	4	5 – 8

- (9) *Modificación de la sesión IP-CAN*: con las reglas PCC identificadas para el servicio de IPTV de radiodifusión, es necesario modificar la sesión IP-CAN para la conformación de los SDF en los portadores del servicio EPS. Con el fin de realizar este proceso, el PCRF, por la interfaz Gx, le comunica al PCEF ubicado en la pasarela PDN-GW la configuración de QoS que debe aplicar para soportar la entrega de los flujos de datos de IPTV [76].

- (10) *Activación del servicio portador MBMS*: este procedimiento habilita la recepción de los flujos de datos del servicio de IPTV de radiodifusión a través de un servicio portador MBMS específico, el cual será recibido simultáneamente por un grupo de usuarios [82]. En la Figura 2-21 se presentan los pasos para la activación del servicio portador MBMS.

Figura 2-21: Activación del servicio portador MBMS para la prestación de un servicio de IPTV de radiodifusión



A continuación se describen los pasos mostrados en la Figura 2-21 para la activación del servicio portador MBMS [84]:

- (10.1) *Solicitud de creación del servicio portador MBMS*: este paso lo inicia el PDN-GW cuando realiza la solicitud al BM-SC de la creación del servicio portador MBMS que será utilizado para la entrega del servicio de IPTV de radiodifusión. El mensaje de activación contiene los parámetros de QoS derivados de las reglas PCC (QCI, ARP, GBR y MBR) definidas para el servicio de radiodifusión, junto con el descriptor de tráfico TFT derivado de los filtros de paquetes contenidos en las reglas PCC.
- (10.2) *Solicitud de inicio de sesión*: con la información recibida desde el PDN-GW, el BM-SC envía un mensaje *Session Start Request* a la pasarela MBMS-GW para indicar el inicio de la transmisión de los flujos de paquetes IP asociados al servicio de IPTV. En este mensaje también se envían los atributos a la sesión como: TMGI, identificador de flujo, QoS, área de servicio MBMS, identificador de sesión, duración estimada de la sesión, la lista de los nodos del plano de control MBMS (MME) para la pasarela MBMS-GW, el tiempo de transferencia de datos MBMS, el inicio de la transferencia de datos MBMS, el indicador de acceso, entre otros. Para enviar el mensaje *Session Start Request* el BM-SC usa la interfaz *SGmb*.

- (10.3) *Respuesta al inicio de sesión:* la pasarela MBMS-GW mediante un mensaje *Session Start Response* responde al BM-SC con la información para el envío de los flujos de datos MBMS asociados al servicio de IPTV. Esta respuesta se hace por la interfaz *SGmb*.
- (10.4) *Solicitud de inicio de sesión:* el MBMS-GW crea un contexto de portador MBMS, almacena los atributos de la sesión y la lista de nodos del plano de control MBMS en el contexto, y asigna una red de transporte IP *multicast* y un C-TEID para esta sesión. La pasarela MBMS-GW, por la interfaz *Sm*, envía al MME un mensaje *Session Start Request* con los atributos de la sesión.
- (10.5) *Solicitud de inicio de sesión:* la entidad MME crea un contexto de portador MBMS, almacena los atributos de la sesión y envía un mensaje *Session Start Request* con los atributos de sesión a la red E-UTRAN. Cuando la entidad MME se conecta a múltiples MCE, debe enviar el mensaje de control de sesión (*Session Control*) únicamente a las MCE del área de servicio MBMS. El mensaje *Session Start Request* se envía por la interfaz *M3*. En este paso, el eNB mapea los parámetros de QoS del servicio portador MBMS a los del servicio RB asociado y envía un mensaje RRC para reconfigurar los parámetros de la interfaz radio en el UE. También se establece el plano de usuario entre el eNB y la pasarela S-GW para el UL.
- (10.6) *Respuesta al inicio de sesión:* la red E-UTRAN crea un contexto de portador MBMS, almacena los atributos de la sesión y responde al MME con un mensaje *Session Start Response* para confirmar la recepción del mensaje *Session Start Request*. usando la interfaz *M3*. Además, la red E-UTRAN establece el plano de usuario entre el eNB y la pasarela S-GW con la configuración de QoS en este caso para el DL.
- (10.7) *Respuesta al inicio de sesión:* la entidad MME almacena los atributos de la sesión y el identificador de los eNBs/RNC que conformarán el DL para el contexto de portador MBMS. La entidad MME responde a la pasarela MBMS-GW con un mensaje *Session Start Response* tan pronto como la solicitud de inicio de sesión es aceptada por un eNB. Esta respuesta se hace por la interfaz *Sm*.
- (10.8) *Configuración de los recursos RAN:* la red E-UTRAN establece los recursos de radio necesarios para la transferencia de datos del servicio de IPTV de radiodifusión a los UE interesados. Para la red E-UTRAN la configuración de los recursos de radio se programan usando el parámetro de inicio de transferencia de datos MBMS si está presente, de lo contrario se utiliza el parámetro de tiempo de transferencia de datos del servicio de IPTV.
- (10.8) *Unión IP multicast:* si el nodo E-UTRAN acepta la distribución IP *multicast*, este nodo se une a la red de transporte IP *multicast* asignada por la pasarela MBMS-GW, para permitir la recepción de datos del servicio de IPTV.
- (11) *Respuesta a la modificación de la sesión IP-CAN:* dado que la activación del servicio portador MBMS se inició a partir del envío de reglas PCC desde el PCRF, la pasarela PDN-GW

notifica a la entidad PCRF el resultado de la activación. Con lo cual ya se puede dar continuidad a la entrega del servicio de radiodifusión de IPTV solicitado por el usuario.

- (12), (13) *Notificación a la plataforma de servicios:* en caso de que el núcleo IMS hubiera solicitado la notificación del evento asociado al establecimiento del servicio MBMS, la entidad PCRF genera el aviso correspondiente [84][78][84].
- (14) *Establecimiento de la sesión con el núcleo IMS:* con los recursos de la red LTE dispuestos para la entrega del servicio IPTV con QoS, se termina de establecer la sesión con el núcleo IMS, mediante el intercambio de mensajes SIP por la interfaz *Gm*. También, el núcleo IMS puede iniciar el proceso de reserva de recursos que son requeridos para los flujos de IPTV según las capacidades del UE [31].
- (15) *Iniciación de la entrega del servicio:* después de que se recibe la notificación de inicio de sesión, el SCP a través del núcleo IMS controla el inicio de la entrega de los contenidos de IPTV seleccionados por el usuario [31]. Esta notificación se realiza usando la interfaz *y2*.
- (16), (17) *Control y entrega del servicio:* el usuario ahora puede acceder el servicio de IPTV de radiodifusión desde su dispositivo. Por la interfaz *Xd* (entre el UE y el servidor de MDF) el UE recibe los flujos de paquetes del servicio de IPTV transportados por los protocolos RTP/RTCP [31]. Cabe señalar que al usar MBMS para la entrega del servicio de IPTV de radiodifusión, los contenidos pasan a través del BM-SC y MBMS-GW los cuales conforman el contexto del portador MBMS [84]. En cuanto a las posibilidades de control que tienen el usuario sobre el servicio de IPTV de radiodifusión, mediante la interfaz *Xc* (entre el UE y el servidor de MCF) que implementa el protocolo RTSP, el usuario puede iniciar, parar o detener la reproducción de los contenidos.
- (18) *Desconexión y liberación de recursos:* este último paso corresponde a la desconexión del usuario del servicio de IPTV de radiodifusión. De este modo, el UE dejará de recibir el flujo de paquetes del servicio por lo cual los recursos asignados al servicio portador MBMS son liberados y todas las sesiones establecidas se cierran.

Se debe tener en cuenta que cuando el usuario cambia de canal entre los que tiene autorizados según su perfil de suscripción, el proceso se inicia desde el paso (4) puesto que no es necesario pasar por la fase de registro de usuario.

2.8.2 Análisis del funcionamiento de la red LTE para la prestación de un servicio de IPTV de VoD con QoS

El servicio de IPTV de VoD hace parte de los servicios mejorados definidos por la UITT y permite a un usuario acceder de forma personalizada al contenido que desea ver usando un canal dedicado. Al igual que el servicio de radiodifusión de IPTV, en el servicio de VoD los contenidos pueden estar en formato de HD o SD. En el servicio de VoD el usuario está en la capacidad de avanzar, retroceder, pausar y reproducir el video cuando este lo requiera usando la interfaz *Xc*. Para la prestación de este

tipo de servicio, en la red LTE se establecen igual número de conexiones que el número de usuarios que accedan el servicio de VoD.

La red LTE debe garantizar a cada una de las conexiones los parámetros de desempeño mínimos para una entrega de los contenidos con QoS, por ello el número de usuarios del servicio de VoD que puede atender una celda de la red LTE es menor que los soportados en el servicio de IPTV de radiodifusión. En el servicio de VoD se activa un servicio portador dedicado por cada usuario conectado al servicio, por lo cual se incrementa la demanda de los recursos de la red para mantener la entrega de paquetes IP con QoS [85].

En cuanto a la configuración de las reglas PCC para ofrecer QoS a los flujos de paquetes del servicio de VoD, se puede usar la configuración propuesta en la Tabla 2-5 para cada una de las conexiones establecidas. Sin embargo, dicha configuración demanda más recursos de la red LTE al tener que garantizar la tasa de bits. Como otra alternativa de configuración de QoS para el servicio de VoD se tiene la siguiente:

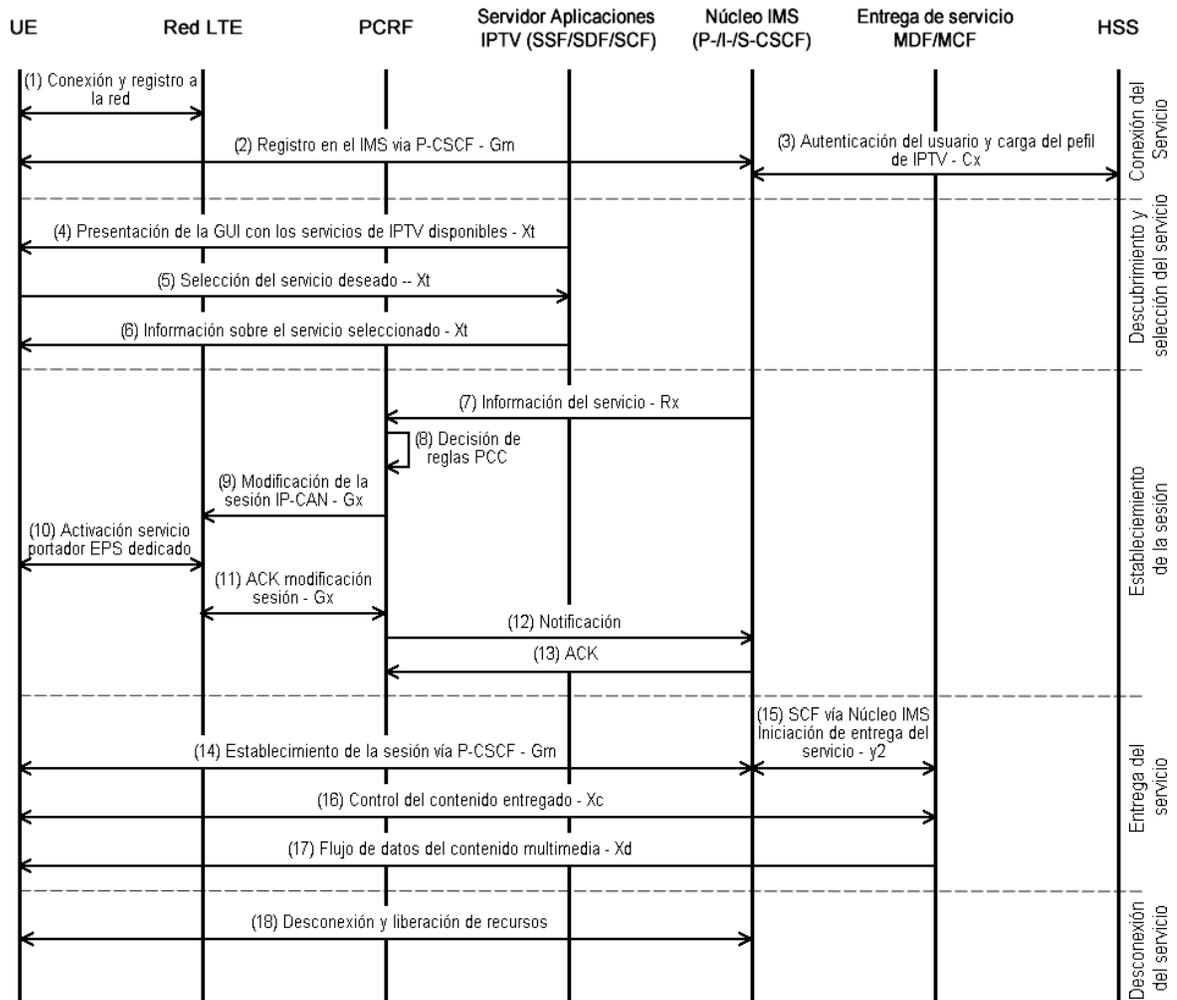
- *non-GBR*: al configurar la regla PCC con el parámetro *non-GBR*, la red LTE no garantizará la velocidad de transmisión para este servicio de IPTV, por lo cual se puede presentar degradación en la prestación del servicio ante situaciones de congestión a causa de la pérdida de paquetes [85].
- QCI: Según lo expuesto en la Tabla 2-4 para portadoras *non-GBR* y para satisfacer los requisitos de desempeño de QoS del servicios de VoD, el valor del QCI que se recomienda configurar en las reglas PCC es 7. En la Tabla 2-6 se propone la configuración de los parámetros de QoS que el operador puede aplicar en las reglas PCC para la entrega de servicios entrega del servicio de VoD con *non-GBR*.

Tabla 2-6: Alternativas de configuración de los parámetros de QoS para un servicio de IPTV de radiodifusión usando portadores *non-GBR*

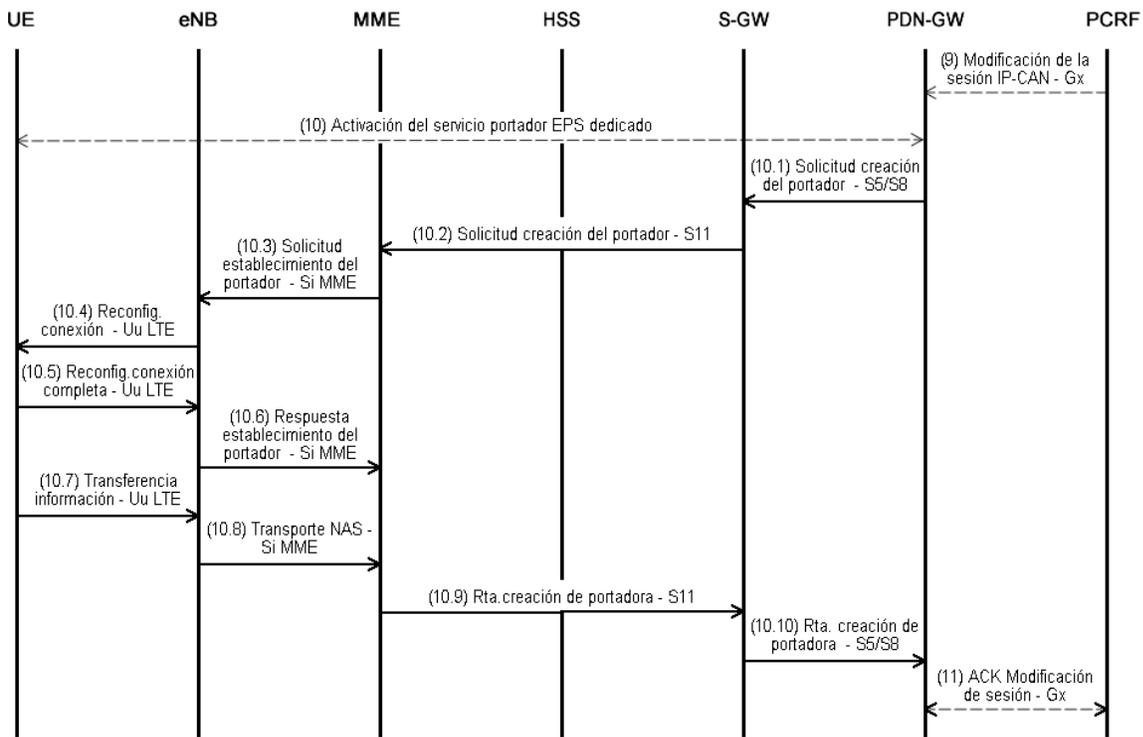
Formato	Codificación	Tasa de bits requerida (Mbps)	QCI	APN
SDTV (352x280)	MPEG-4 AVC	0,128	7	5 - 8
SDTV (352x280)	MPEG-4 AVC	0,242	7	5 - 8
SDTV (352x280)	MPEG-4 AVC	0,440	7	5 - 8
SDTV (480i/576i)	MPEG-4 AVC	1,75	7	5 - 8
HDTV (720p/1080i/p)	MPEG-4 AVC	10	7	5 - 8

Para la prestación servicio de IPTV de VoD con QoS en la red LTE se tienen el diagrama de secuencia mostrado en la Figura 2-22.

Figura 2-22: Diagrama de secuencia para la prestación de un servicio de IPTV de VoD con QoS en la red LTE



Como se puede observar en la Figura 2-22, el diagrama de secuencia mostrado difiere del diagrama presentado en la Figura 2-20 únicamente en el paso (10). Esto se debe a que cuando se establece un servicio de VoD es necesario que para cada usuario la activación de un servicio portador EPS dedicado para la entrega del contenido solicitado. Por consiguiente, la descripción de los pasos para la entrega del servicio de VoD es la misma que se presentó para el servicio de básico de IPTV. En Figura 2-23 se presenta el proceso seguido en el paso (10) para la activación de servicio portador EPS dedicado para la entrega del servicio de VoD.

Figura 2-23: Activación del servicio portador EPS dedicado para el servicio de VoD

A continuación se describen los pasos mostrados en la Figura 2-23 para la activación del servicio portador EPS dedicado:

- *(9) Modificación de la sesión IP-CAN:* este paso inicia la activación del servicio portador EPS dedicado, y realiza la solicitud de modificación de la sesión IP-CAN con las reglas PCC identificadas para el servicio de IPTV de VoD [65]. Para realizar este proceso, el PCRF, por la interfaz *Gx*, le comunica al PCEF (ubicado en la pasarela PDN-GW) la configuración de QoS que debe aplicar para soportar la entrega de los flujos de datos de IPTV asociados al servicio de VoD [76].
- *(10.1), (10.2) Solicitud de creación del servicio portador:* en caso de utilizarse la interfaz S5/S8 basada en GTP, la activación del servicio portador EPS dedicado se inicia desde la pasarela PDN-GW mediante el envío del mensaje *Create Bearer Request* a la pasarela S-GW [65]. El mensaje de activación contiene los parámetros de QoS derivados de las reglas PCC (QCI, ARP, GBR y MBR) definidas para el servicio de VoD, junto con el descriptor de tráfico TFT derivado de los filtros de paquetes contenidos en las reglas PCC [76]. El mensaje también contiene la información necesaria para configurar el plano de usuario entre pasarelas. Finalmente, el mensaje de activación del servicio portador dedicado llega por la interfaz *S11* a la entidad MME encargada del usuario.
- *(10.3) Solicitud de establecimiento de servicio portador en E-UTRAN:* la entidad MME selecciona un identificador para el nuevo servicio portador dedicado y construye un mensaje NAS

denominado *Session Management Request*. Dicho mensaje contiene la identidad del servicio portador y sus parámetros de QoS (excepto el ARP) y el filtro de paquetes TFT asociado para ser aplicado en el equipo de usuario para seleccionar el tráfico del UL. La entidad MME encapsula el mensaje *Session Management Request* en el mensaje de petición de activación del servicio portador RB que envía al eNB (*Bearer Setup Request*) por la interfaz *Si-MME* [65]. El mensaje *Bearer Setup Request* contiene los parámetros de QoS del servicio portador (aquí sí que se incluye el ARP, pero no se incluye el TFT) y el identificador de túnel para el establecimiento del plano de usuario entre el eNB y la pasarela S-GW en UL [65].

Si en el momento en que la entidad MME recibe el mensaje de *Create Bearer Request* de la pasarela S-GW, el usuario se encuentra en modo *idle* (no se encuentra conectado a ningún eNB), la entidad MME inicia previamente el procedimiento de petición de servicio (*Network Triggered Service Request*) para informar al usuario los eNB que forman parte del área de seguimiento donde está ubicado el terminal [65].

- (10.4), (10.5) *Establecimiento del servicio portador radio (RB)*: el eNB mapea los parámetros de QoS del servicio portador EPS a los del servicio RB asociado y envía un mensaje RRC para reconfigurar los parámetros de la interfaz radio en el equipo terminal [65]. El mensaje RRC transporta el mensaje *Session Management Request* proveniente de la entidad MME. La activación del servicio RB finaliza con el envío del mensaje *RRC Connection Reconfiguration Complete* por parte del terminal para informar al eNB que la configuración de la conexión se ha completado. La comunicación entre el eNB y el UE se da por la interfaz *Uu-LTE* [65].
- (10.6) *Confirmación del establecimiento del servicio portador en E-UTRAN*: una vez establecido el nuevo servicio RB, el eNB responde a la petición de activación originada desde la entidad MME. El mensaje contiene los parámetros necesarios para establecer el plano de usuario entre el eNB y la pasarela S-GW para el DL [65].
- (10.7) y (10.8) *Confirmación del establecimiento del servicio portador en el UE*: la confirmación se realiza mediante el envío del mensaje *NAS Session Management Response* que se transporta hasta la entidad MME mediante el protocolo RRC de la interfaz radio y el protocolo *S1-AP* de la interfaz *S1-MME* [65].
- (10.9) y (10.10) *Respuesta a la petición de la pasarela PDN-GW*: tras la recepción de la respuesta del eNB (*Bearer Setup Response*) y la del UE (*Session Management Response*), la entidad MME responde a la petición de activación del servicio portador dedicado a la pasarela S-GW (mensaje (10)) y ésta a la pasarela PDN-GW (mensaje (11)). En dichas respuestas se incluyen los identificadores de túnel que permiten terminar de establecer el plano de usuario entre eNB y la pasarela PDN-GW en DL [65].
- (11) *Respuesta a la modificación de la sesión IP-CAN*: dado que la activación del servicio portador EPS dedicado se inició a partir del envío de reglas PCC desde el PCRF, la pasarela PDN-GW notifica a la entidad PCRF el resultado de la activación [76]. Con lo cual ya se puede dar continuidad a la entrega del servicio de VoD solicitado por el usuario.

3 Evaluación de los principales parámetros de desempeño la red LTE para la implementación de IPTV con QoS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la simulación de tráfico generado por el servicio de IPTV en un modelo de red LTE. Para la simulación se plantearon diferentes escenarios en donde los recursos de la red LTE se comparten entre aplicaciones y servicios móviles (voz, video y datos), a cada uno de los cuales se les asignó la configuración de los parámetros de QoS necesarios para satisfacer sus requisitos de calidad. En dichos escenarios se evaluó el comportamiento de los principales parámetros de desempeño de la red (*throughput*, retardo y pérdida de paquetes) ante variaciones en la cantidad de terminales móviles conectados, diferentes niveles de movilidad de los usuarios y configuración de QoS de la red LTE.

3.1 Consideraciones generales para la simulación

Luego de conocer las características y alternativas de funcionamiento de la red LTE para la implementación de un servicio de IPTV con QoS, se eligió la herramienta *LTE-Sim* [90] para la simulación del tráfico de IPTV y la red LTE. Esta herramienta es un software de código abierto que ofrece los mecanismos necesarios para llevar a cabo la simulación de tráfico de IPTV en un modelo de red LTE ante situaciones en las que se desean evaluar los parámetros de desempeño de la red.

Para construir los escenarios de simulación se tuvieron en cuenta las especificaciones técnicas del 3GPP que aplican para las redes LTE y los servicios de voz, video y datos que en un momento dado pueden ser recibidos por los usuarios de las redes móviles. Los resultados de las simulaciones de cada escenario permitieron la evaluación del *throughput*, retardo y la tasa de pérdida de paquetes frente a variaciones en la cantidad de terminales móviles conectados a la red para diferentes niveles de movilidad y configuración de QoS de la red LTE en entornos uni-celda y multi-celda.

Las simulaciones fueron planteadas sobre un modelo de red LTE que fue definido con base a la arquitectura funcional propuesta en la Figura 2-12 y a los recursos ofrecidos por la herramienta *LTE-Sim*. En lo que respecta al modelo de tráfico para los servicios y aplicaciones a simular se usaron los modelos que por defecto están definidos en la herramienta de simulación para los servicios de IPTV, VoIP, y una aplicación de transferencia de datos *best effort* (BE). Para la evaluación de los principales parámetros de desempeño de la red LTE se definieron dos escenarios donde circula tráfico de paquetes asociados al servicio de IPTV.

En lo que respecta a las restricciones para las simulaciones, en los escenarios no se simula el núcleo de IMS puesto que la simulación inicia con la transferencia de los flujos de datos de los servicios sin pasar por el proceso registro de usuarios y el proceso de descubrimiento y selección del servicio; la entidad PCRF ya que las reglas PCC se configuran en los RB soportados por los eNB; la pasarela PDN-GW debido a que corresponde a un equipo ajeno a la red LTE y no es del interés evaluar su desempeño; los servidores de servicios y aplicaciones porque el eNB se conecta directamente con el generador de tráfico de los servicios consumidos por los UE. En cuanto a los servicios de IPTV, se simula el servicio de IPTV de VoD.

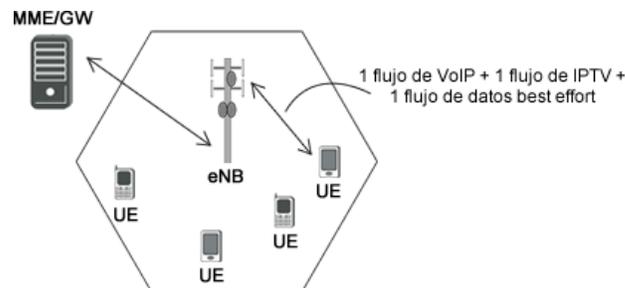
3.2 Escenarios de simulación

La simulación del tráfico generado por un servicio de IPTV se realizó en dos escenarios que permitieron evaluar los principales parámetros de desempeño de la red LTE frente a variaciones en la cantidad de terminales móviles conectados a la red para diferentes velocidades de desplazamiento de los usuarios y configuración de QoS de la red LTE. Los escenarios están basados en el modelo de red LTE definido por *LTE-Sim* donde los UE intercambian tráfico de servicios de voz, video y datos únicamente con el eNB a través de los RB. En *LTE-Sim* cada RB tiene la configuración necesaria para soportar la QoS requerida por el flujo de paquetes del servicio que transporta [90].

3.2.1 Escenario 1: Modelo de red LTE Unicelda/Multiusuario

En este escenario se definió un entorno de red LTE de una macro-celda urbana que está conformada por un eNB, un MME/GW y varios UE, como se puede ver en la Figura 3-1. En este escenario los UE tienen acceso a un flujo de VoIP, un flujo de IPTV y un flujo de datos BE, a los cuales se les asignó la configuración de los parámetros de QoS necesarios para satisfacer los requisitos de calidad de cada flujo. En la simulación de este escenario se evaluó el retardo, la tasa de pérdida de paquetes y el *throughput* frente a variaciones en la cantidad de terminales móviles conectados a la red elegidos de un rango de 5 a 35 UE, para diferente velocidad de movilidad de los usuarios (3 y 30 Km/h) al interior de la celda y variación en los algoritmos de planificación (*scheduling*) de tráfico en la red LTE para QoS.

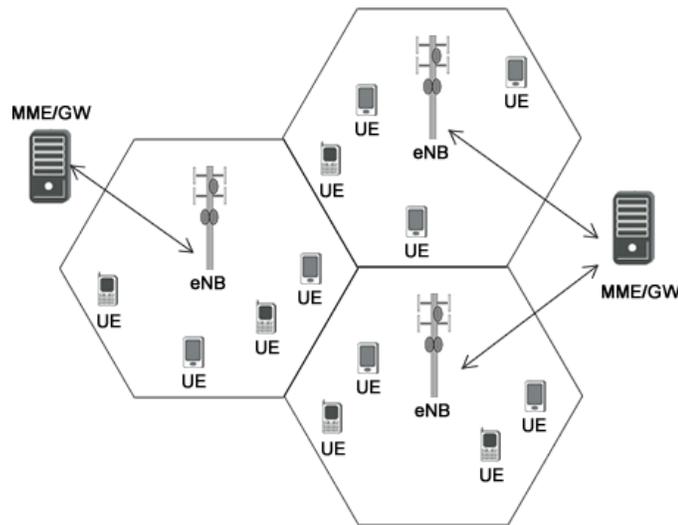
Figura 3-1: Escenario 1: Modelo de red LTE Uni-celda/Multi-usuario



3.2.2 Escenario 2: Modelo de red LTE Multicelcelda/Multiusuario

Constituye un escenario más ajustado a la realidad y permite evaluar un modelo de red LTE con *handover*. En este escenario se definió un entorno de red conformado por 9 celdas de 1Km de radio. En cada celda hay un eNB y un número variable de UE los cuales están uniformemente distribuidos en las celdas. Los UE se desplazan entre las celdas siguiendo un camino aleatorio en un modelo de macro-celda urbano (Figura 3-2). De forma similar al Escenario 1, los UE tienen acceso a un flujo de VoIP, un flujo de IPTV y un flujo de datos BE, a los cuales se les asignó la configuración de los parámetros de QoS necesarios para satisfacer los requisitos de calidad de cada flujo. La simulación de este escenario permitió la evaluación del retardo, la tasa de pérdida de paquetes y el *throughput* frente a variaciones en la cantidad de terminales móviles conectados a la red elegidos de un rango de 5 a 35 UE, para diferente velocidad de movilidad de los usuarios (3 y 30 Km/h) y variación de los algoritmos planificación de tráfico en la red LTE para QoS.

Figura 3-2: Escenario 2: Modelo de red LTE Multi-celda/Multi-usuario



3.3 Construcción de los escenarios de simulación

LTE-*Sim* abarca varios aspectos de las redes LTE, incluyendo tanto a la red de acceso E-UTRAN y el núcleo EPS. Específicamente, fueron modelados tres tipos de nodos de la red LTE: UE, eNB, y MME/GW, soporta entornos uni-celda y multi-celda, gestión de calidad de servicio (QoS), movilidad del usuario (velocidad y dirección de desplazamiento) y procesos de *handover* [90]. También implementa varios generadores de tráfico en la capa de aplicación, y soporta la gestión de portadores de radio RB. En LTE-*Sim* se programaron los algoritmos de planificación de tráfico bien conocidos: PF (*Proportional Fair*), M-LWDF (*Modified Largest Weighted Delay First*) y EXP/PF (*Exponential Proportional Fair*); el esquema AMC; la retroalimentación calidad del canal CQI; las técnicas de reutilización de frecuencia; pérdidas de propagación; y los modelos para la capa PHY [90].

Un escenario de simulación en *LTE-Sim* está compuesto por varios objetos que modelan los principales elementos de un sistema LTE. Para la creación de los escenarios se debe crear un archivo en C++ siguiendo los siguientes pasos [90]:

- Crear una instancia para las clases simulador (*Simulator*), gestor de red (*NetworkManager*), gestor de flujos (*FlowsManager*) y gestor de tramas (*FrameManager*).
- Especificar el modelo de red LTE soportado por una o más celdas, y los nodos UE, eNB y MME/GW usando los métodos de la clase *NetworkManager*. A cada uno de estos objetos se les puede asignar diversos parámetros con el constructor de la clase que los soporta.
- Definir el modelo de tráfico de las aplicaciones y servicios a simular, especificando para cada uno, el origen y el destino, los parámetros de QoS, los parámetros del clasificador IP, el tiempo de inicio y de parada.
- Precisar la duración de la simulación, y finalmente, llamar la función *Simulator::Run()* para iniciar la simulación del escenario definido.

3.3.1 Modelo de red LTE para la simulación del servicio de IPTV

3.3.1.1 Generalidades de la topología de red implementada en *LTE-Sim*

El modelo de red LTE desarrollado en *LTE-Sim* está conformado por tres tipos de nodos: UE, eNB y MME/GW, los cuales puede ser una fuente o un destino de los flujos de paquetes de un servicio o aplicación. Para cada nodo del modelo de red LTE en la herramienta de simulación se desarrolló una clase (*eNodeB*, *UserEquipment* y *MME-GW*) extendiendo la clase *NetworkNode* [88]. En *LTE-Sim* un nodo de red se identifica por un identificador único (ID) y tiene asociado una posición en un sistema cartesiano.

En la construcción de los escenarios de simulación los nodos se distribuyen en una o varias celdas, las cuales se implementaron en la clase *Cell*. A cada celda se la identifica por un identificador único (ID) y se le asigna el radio de la celda y la posición en un sistema cartesiano. Durante la simulación, cada eNB mantiene la lista de UE que tienen conectados, y almacena, para cada uno de ellos, el ID y los últimos reportes del calidad del enlace (CQI). Por otra parte, los eNB y los UE conocen la celda LTE a la que pertenecen, y cada UE mantiene actualizado el ID de la celda y el ID del eNB que lo atiende [90].

En *LTE-Sim* se definieron los anchos de banda de canal disponibles para el sistema LTE (1,4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz), además se implementaron los mecanismo de reutilización de frecuencias y los modelos pérdidas de propagación. En el simulador, el acceso de radio está basado en OFDM y soporta las técnicas de acceso múltiple FDD (*Frequency Division Duplex*) y TDD (*Time Division Duplex*). En lo que respecta la capa física de los eNB y UE, *LTE-Sim* define la instancia *m_phy* a un objeto PHY, el cual fue desarrollado para proveer una interfaz entre los nodos de la red LTE y el canal de radio. Esta interfaz permite almacenar y gestionar la información del canal de radio (el ancho de banda y la lista de sub-canales disponibles para DL y UL), y ofrece el acceso al canal de radio con el fin de simular la

transmisión y la recepción de paquetes. En *LTE-Sim* también fue modelada la estimación de la calidad del canal (CQI) y el reporte del CQI desde el UE hacia el eNB [90].

Otras funciones modeladas para el eNB son la gestión de recursos de radio y las estrategias de planificación de tráfico en la subcapa MAC para el UL y DL. Igualmente, en *LTE-Sim* se implementaron diversas funcionalidades de la pila de protocolos de los planos de usuario y control en las subcapas RRC, PDCP y MAC [90]. En lo que respecta a la movilidad del usuario, *LTE-Sim* soporta el desplazamiento al interior de una celda y procesos de *handover*. Para estos escenarios de movilidad se pueden especificar dos modelos de desplazamiento, el primero es el modelo de dirección aleatoria y el segundo es el modelo de camino aleatorio. La velocidad de desplazamiento del usuario puede ser elegida entre los valores 0, 3, 30, y 120 Km/h, que son equivalentes a los escenarios estático, peatonal y vehicular, respectivamente, según las especificaciones técnicas del 3GPP [90].

3.3.1.2 Gestión de flujos y QoS en *LTE-Sim*

En *LTE-Sim* se implementaron únicamente los RB dedicados, los cuales fueron modelados mediante la clase *Bearer*. En *LTE-Sim* cuando se establece un flujo de paquetes se activa un portador RB dedicado entre el eNB y el UE tanto para el UL como para el DL. Además, para cada UE y eNB se puede activar más de un RB con soporte a QoS. En la clase *Bearer*, el objeto *QoSParameters* permite definir la configuración de los parámetros de QoS al flujo de paquetes: QCI, ARP en los modos *preemption flow capability* y *preemption flow vulnerability*, GBR y MBR [90].

El modelo de QoS desarrollado para *LTE-Sim* esta conformado por un clasificador de paquetes IP que permite mapear los paquetes procedentes de la capa IP a un RB específico, conforme a los parámetros de QoS almacenados en la clase *ClassifierParameters*. La clasificación de paquetes se realiza utilizando un filtro de paquetes basado en las direcciones IP de origen y destino, los puertos del emisor y del receptor, y el tipo de protocolo de transporte. Esta funcionalidad fue implementada en *LTE-Sim* en la clase de *Classifier*, la cual está definida para todos los nodos del modelo de red LTE [90].

3.3.1.3 Parámetros de entrada para la simulación del modelo red LTE

En los escenarios de simulación se configuró un modelo de red LTE de macro-celdas urbanas con un radio de 1 Km y un clúster de 4 celdas, frecuencia de portadora de 2 GHz en modo FDD, canales en DL de 10 MHz, 14 símbolos por TTI (*Transmission Time Interval*), longitud de la sub-trama de 1ms, 12 sub-portadoras por RB, 12 KHz de separación entre sub-portadoras, potencia de transmisión de 43 dBm y 2 antenas de transmisión en el eNB, con los esquemas de modulación QPSK, 16QAM y 64QAM, y 10% en la Tasa de Error de Bloque (BLER, *Block Error Rate*). El reporte del CQI lo hace el UE periódicamente en modo *full bandwidth*. Esta configuración fue tomada de los trabajos [90] y [91]. En la Tabla 3-1 se presenta el resumen de los parámetros configurados para la simulación del modelo de red LTE.

Tabla 3-1: Parámetros de entrada a para la simulación del modelo red LTE

Parámetro		Valor
Capa PHY	Frecuencia de Portadora (<i>Carrier Frequency</i>)	2 GHz
	Ancho de Banda para el DL (<i>Bandwidth</i>)	10 MHz
	Símbolos por TTI (<i>Symbol for TTI</i>)	14
	Longitud de la Sub-trama (<i>Subframe length</i>)	1ms
	Subportadoras por RB (<i>Subcarriers per RB</i>)	12
	Separación entre Subportadoras (<i>Subcarrier spacing</i>)	15 KHz
	Potencia de transmisión en el eNB	43 dBm
	Número de antenas de transmisión en el eNB	2
	Esquema de modulación	QPSK, 16QAM y 64QAM
	BLER	10%
<i>Overhead</i>	RTP/UDP/IP con compresión ROCH	3 bytes
	MAC y RLC	5 bytes
	PDCP	2 bytes
	CRC	3 bytes
	L1/L2	3 símbolos
Celdas	Diámetro de la celda	1 Km
	Clúster	4
RLC ARQ	Número de retransmisiones para la activación	5
CQI	Esquema de reporte	<i>Full bandwidth</i> , periódico
Usuarios	Número de usuarios/Celda	5, 15, 25 y 35
	Movilidad	Dirección aleatoria
	Velocidad	3 Km/h y 30Km/h

3.3.2 Modelo de tráfico para la simulación de las aplicaciones

3.3.2.1 Capa de aplicación en LTE-Sim

Los paquetes transportados por un RB dedicado se producen en la capa de aplicación de LTE-Sim mediante cuatro generadores de tráfico independientes: basado en trazas (*trace-based*) para la simulación de IPTV, VoIP, velocidad de bits constante (CBR, *Constant Bit Rate*), y *buffer* infinito. En LTE-Sim se definió una clase para cada una de estas aplicaciones: *TraceBased*, *VoIP*, *CBR* y *InfiniteBuffer*, las cuales extienden de la clase *Application* [90].

La aplicación *trace-based* permite simular la transmisión de un servicio de IPTV de VoD y se basa en las trazas de vídeo reales que están disponibles en [92]. La aplicación de VoIP genera flujos de voz basados en la recomendación ITU-T G.729 [93] y fue modelada con la cadena de *Markov ON/OFF* [94]. La aplicación CBR produce paquetes con una tasa de bits constante que se define por el tamaño de paquete y el tiempo entre llegadas de paquetes. Finalmente, se tiene la aplicación de *buffer* infinito para modelar una fuente ideal que siempre tiene paquetes para enviar.

En LTE-Sim, el proceso de transmisión de paquetes se inicia con la generación de los paquetes de cada aplicación, los cuales pasan a través de la pila de protocolos de plano de usuario donde se adicionan los encabezados de protocolos. Luego el paquete se pone en cola en la capa MAC y se asocia a un RB

utilizando las funcionalidades del clasificador IP. Con esto, el paquete queda listo para ser enviado por el canal basándose en las decisiones del algoritmo de planificación de paquetes configurado en el eNB. Cuando el nodo de destino recibe los paquetes desde el canal de transmisión, se eliminan los encabezados conforme atraviesa la pila de protocolos del plano de usuario hasta que el paquete es finalmente entregado al disipador de aplicación encargado de procesarlos [90].

3.3.2.2 Parámetros de entrada para la simulación de tráfico

En el escenario planteado cada uno de los UE tiene acceso a un flujo de IPTV, un flujo de VoIP y un flujo de datos BE. En la herramienta de simulación los flujos de tráfico fueron modelados de la siguiente manera:

- El flujo de IPTV de VoD fue simulado mediante la aplicación *trace-based* de *LTE-Sim*. La traza de tráfico es creó a partir de las secuencias de prueba de video "*foreman.yuv*", que corresponde a un video con 25 tramas por segundo, una resolución CIF de 352x288 y una formato YUV que fue repetido durante todo el tiempo de simulación. La secuencia de video obtenida fue comprimida usando el estándar MPEG-4/H.264 con tasa de codificación promedio de 242 Kbps y 440 Kbps.
- El flujo de VoIP fue modelado con cadena de *Markov ON/OFF*, donde el periodo *ON* está distribuido exponencialmente con un valor medio de 3 s, y el periodo *OFF* tiene una función de densidad de probabilidad exponencial truncada con un límite superior de 6,9 s y un valor medio de 3 s [94]. Durante el período de *ON*, el origen envía paquetes con un tamaño de 20 bytes cada 20 ms para lograr una tasa de bits de 8 Kbps, mientras que durante el período de *OFF*, la tasa de bits es cero debido a que se asume la presencia de un detector de actividad de voz.
- El flujo BE corresponde a una aplicación de buffer infinito para modelar una fuente ideal que siempre tiene paquetes para enviar.

3.4 Resultados de la simulación y discusión

3.4.1 Evaluación de los parámetros de desempeño de la red LTE para el Escenario 1: Uni-celda/Multi-Usuario

Este escenario fue configurado el modelo de red LTE con los parámetros mostrados en la Tabla 3-1, para una celda con 1Km de radio y que recibe la interferencia generada por el clúster de 4 celdas. Los parámetros de desempeño evaluados son el retardo, la tasa de pérdida de paquetes y el *throughput*, para cada una de las aplicaciones (IPTV, VoIP y datos BE) ante variaciones en el número de UE conectados a la red en un rango de 5 a 35, para dos velocidades desplazamiento (3 y 30 Km/h), con diferentes tasas de codificación de los flujos de IPTV (242 Kbps y 440 Kbps) y los algoritmos de planificación de tráfico PF, M-LWDF y EXP/PF.

En este sentido, en la Figura 3-3 y Figura 3-4 se pueden ver los resultados de la simulación para el retardo de los flujos de IPTV y VoIP, el cual para los dos servicios aumenta cuando el número de usuarios conectados a la red crece y cuando la velocidad de desplazamiento es mayor. También se puede apreciar que si la tasa de codificación de los flujos de video es más grande, el retardo IPTV y VoIP aumenta puesto que se incrementa el tráfico de video y por consiguiente los paquetes tardan más tiempo en las colas de los planificadores de los eNB antes de ser transmitidos por la red.

Figura 3-3: Retardo de flujos IPTV con tasa de codificación de a) 242Kbps y b) 440Kbps

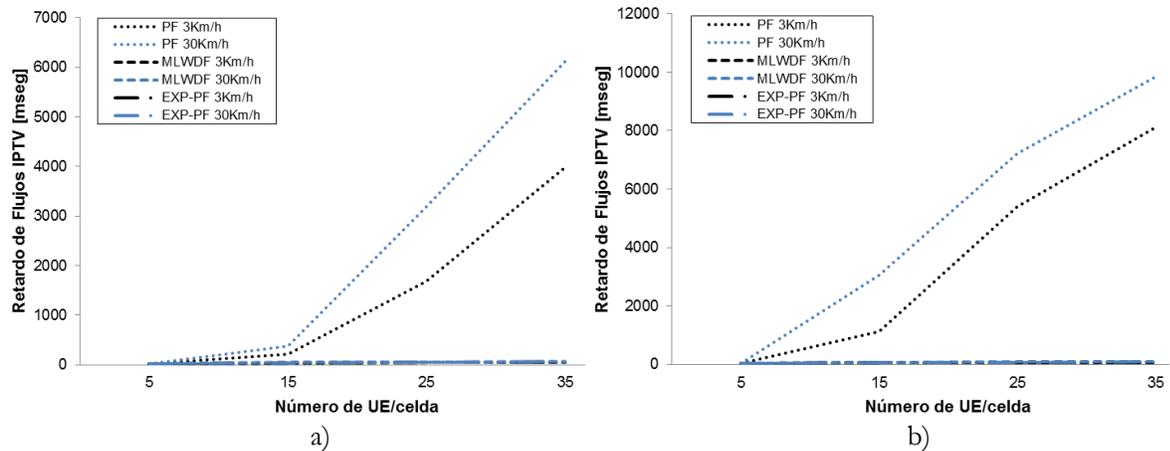
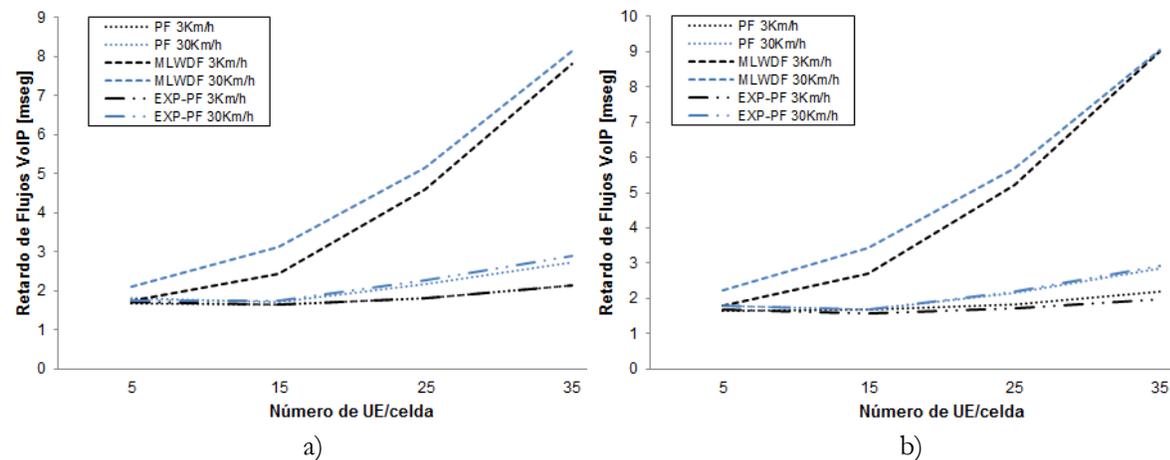


Figura 3-4: Retardo de flujos VoIP con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps



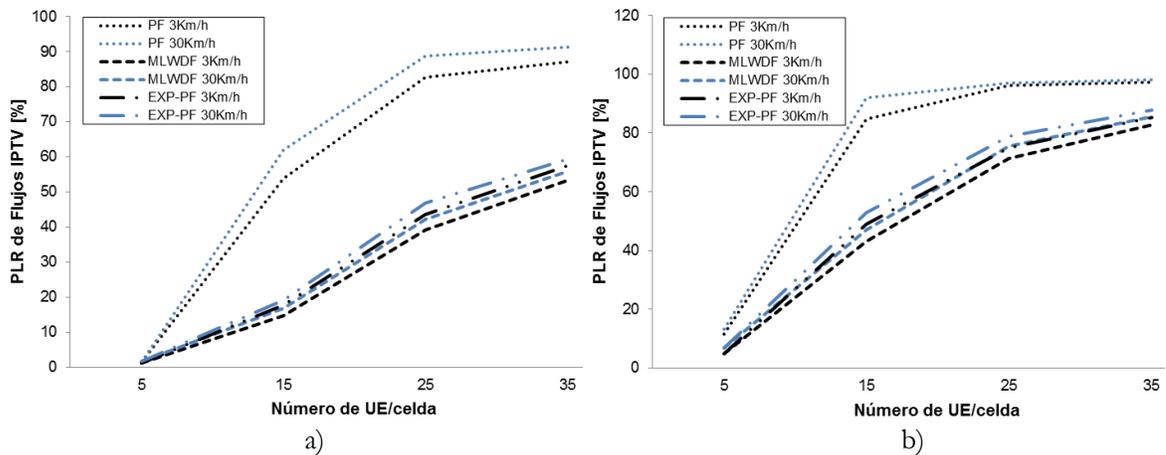
En cuanto al efecto de los algoritmos de planificación de tráfico, el mejor comportamiento del retardo para los flujos de IPTV y VoIP se obtiene cuando se configuran los planificadores M-LWDF y EXP/PF, puesto que estos fueron diseñados para mantener un bajo retardo de las aplicaciones en tiempo real. Por ello el retardo se mantiene por debajo del requisito de QoS para dichas aplicaciones encontrándose que el promedio del retardo de los flujos de IPTV es de 50 ms y el retardo de los flujos de VoIP es de 3ms. Pero, cuando se configura el algoritmo PF el retardo IPTV se incrementa significativamente desde 25 ms para 5 UE hasta los 7 s para 35 UE, lo cual significa que PF no es recomendable para mantener un bajo retardo en los flujos de IPTV ante el crecimiento del número de UE (Figura 3-3) ya que PF soporta sus decisiones de planificación de tráfico en las condiciones del

canal y el *throughput* de la red para mantener la equidad entre los flujos, siendo insuficientes para soportar aplicaciones de video debido a los estrictos requisitos de retardo. Sin embargo, el retardo VoIP a pesar que aumenta cuando crece el número de UE con algoritmo PF, se mantiene en promedio entre 1,5 ms para 5 UE y 2,5 ms para 35 UE (Figura 3-4).

La tasa PLR experimentada por los flujos de IPTV se puede apreciar en la Figura 3-5, la cual aumenta con la velocidad de desplazamiento de los UE debido a que la calidad del canal de comunicaciones inalámbrico disminuye y el procedimiento de adaptación de enlace se deteriora a altas velocidades. Además se tiene que si la tasa de codificación de video aumenta la pérdida de paquetes crece puesto que los planificadores de tráfico tienen que procesar una mayor cantidad de paquetes de video generando un desborde de las colas de tráfico. En este sentido, con los planificadores M-LWDF y EXP/PF, la tasa PLR se incrementa con el número de UE dado que un alto número de flujos en tiempo real genera que la probabilidad de descarte de paquetes por la expiración del tiempo de espera para transmisión sea más grande.

Si se utiliza el planificador PF la tasa PLR de IPTV aumenta en mayor medida con el número de usuarios conectados a la red ya que este algoritmo no está diseñado para manejar un alto volumen de tráfico de aplicaciones en tiempo real y descarta más paquetes. Por su parte, la tasa PLR de los flujos de VoIP, la cual se puede ver en la Figura 3-6, aumenta con el número de usuarios y velocidad de desplazamiento, también crece cuando la codificación de los flujos de video es más alta, pero se mantiene en un promedio bajo (0,1 %) para los tres planificadores evaluados.

Figura 3-5: PLR de flujos IPTV con tasa de codificación de a) 242Kbps y b) 440Kbps



En lo que respecta al *throughput* de los flujos de paquetes de IPTV (Figura 3-7) se observa que este parámetro disminuye cada vez que el número de UE aumenta. Esta situación se debe principalmente a que la tasa PLR aumenta en la medida que crecen los UE conectados a la red tal y como se pudo ver en la Figura 3-5. El crecimiento de la tasa PLR se traduce en una menor transferencia efectiva de paquetes por la red. El mayor *throughput* para los flujos de IPTV se obtuvo con los algoritmos de planificación M-LWDF y EXP/PF, mientras que con PF el *throughput* es bajo. Igualmente, se puede apreciar que si la tasa de codificación de video aumenta, el *throughput* de los flujos de IPTV disminuye debido a que los paquetes son descartados en las colas de los planificadores y por ende en la red LTE existe menos tráfico asociado a este servicio. Sin embargo, como se puede ver en la Figura 3-8 el

throughput de los flujos de VoIP es proporcional al número de usuarios, a pesar que la PLR de los flujos VoIP puesto que aumenta de forma no significativa (en promedio la PLR de VoIP fue de 0,1%). También se observa que el *throughput* VoIP es similar con los tres planificadores evaluados.

Figura 3-6: PLR de flujos VoIP con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps

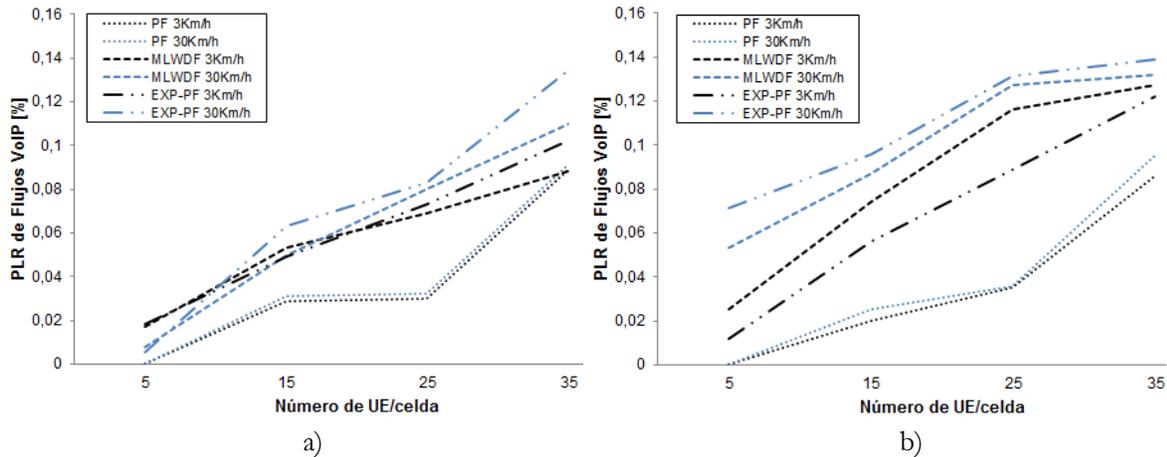
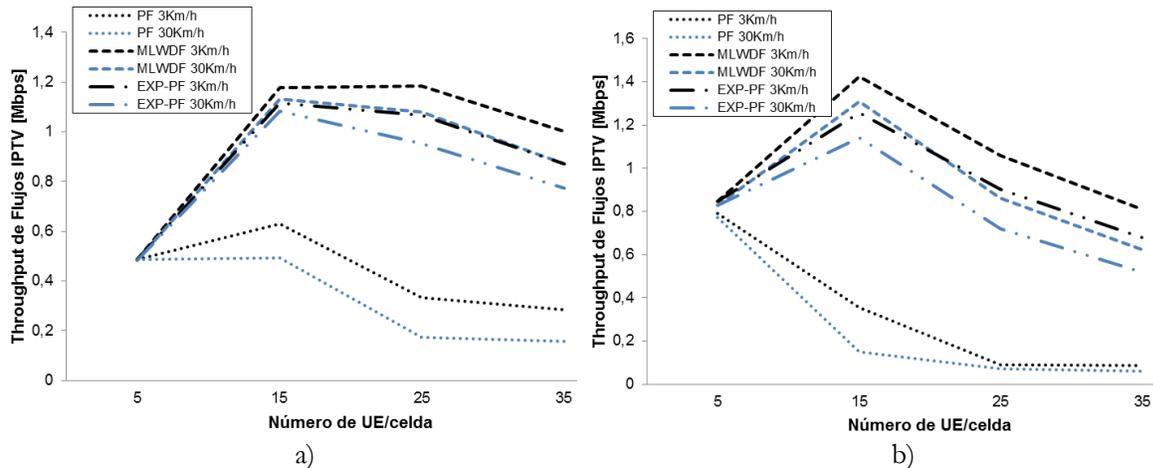


Figura 3-7: *Throughput* de flujos IPTV con tasa de codificación de a) 242Kbps y b) 440Kbps



Del mismo modo se evaluó el desempeño de la aplicación de transferencia de datos BE, donde el *throughput* disminuye cuando la velocidad de desplazamiento aumenta debido a que la calidad del canal empeora con la velocidad. Con todas las estrategias de planificación evaluadas, los flujos de paquetes BE recibieron el mismo trato razón por la cual no se observan diferencias significativas en la variación de *throughput* y la tasa de pérdidas de paquetes PLR. Esto se debe a que los tres algoritmos usan PF para el cálculo de la métrica con el cual se basa la decisión de planificación. En la Figura 3-9 se presenta la tasa PLR y en la Figura 3-10 el *throughput* de los flujos de paquetes BE.

Figura 3-8: *Throughput* de flujos VoIP con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps

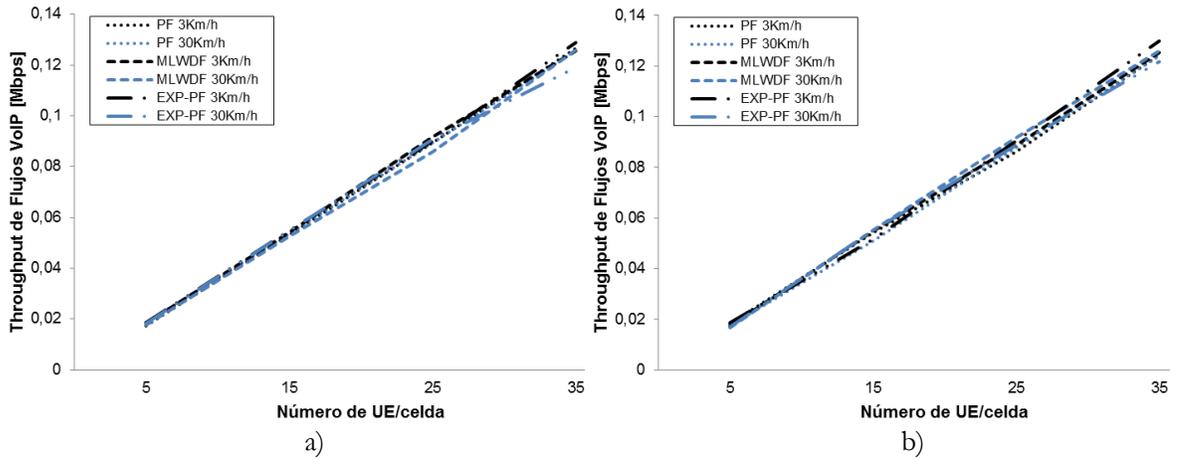


Figura 3-9: PLR de flujos BE con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps

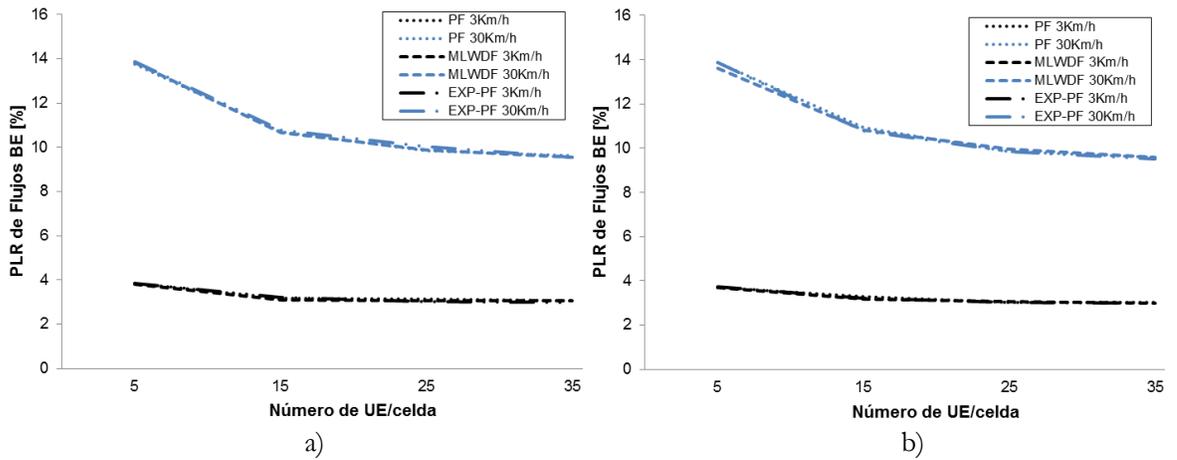
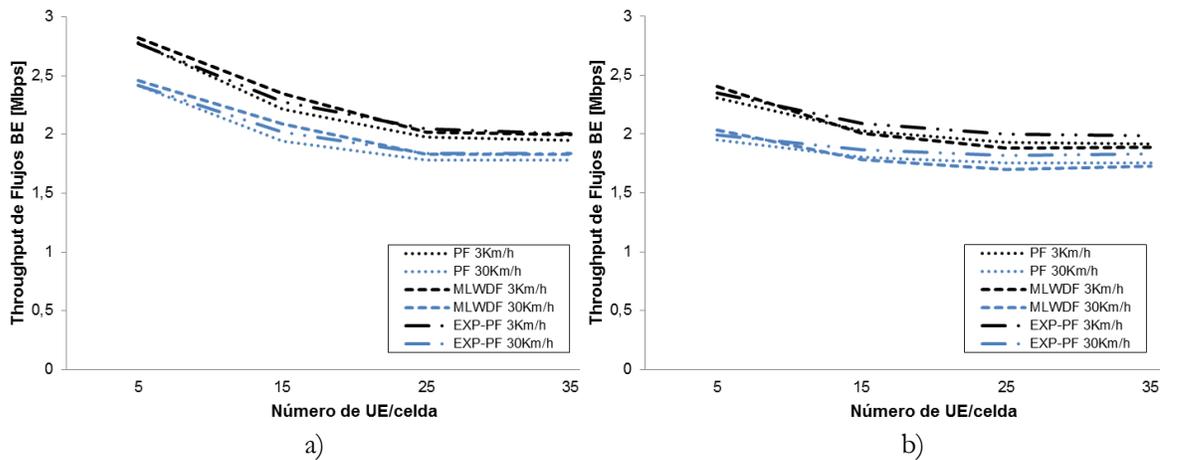
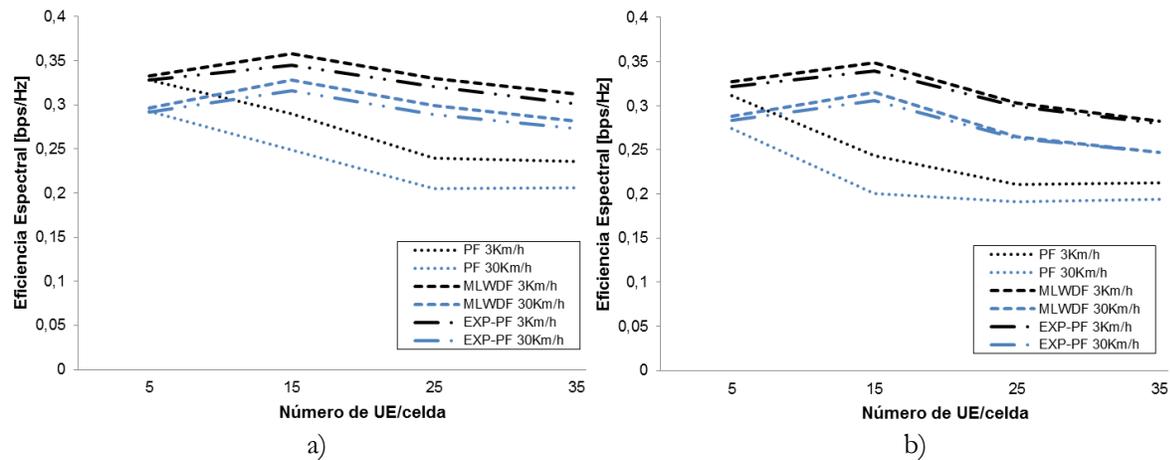


Figura 3-10: *Throughput* de flujos BE con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps



Por último, la Figura 3-11 muestra la eficiencia espectral en la red LTE y se expresa como el *throughput* total de todos los usuarios dividido por el ancho de banda disponible. Como se ilustra en la Figura 3-11, el impacto de cada uno de los algoritmos de planificación de tráfico sobre esta variable es diferente. Así, cuando el número de usuarios en la celda aumenta, los planificadores M-LWDF y EXP/PF tratan de garantizar la QoS para un gran número de flujos, con un impacto negativo en la eficiencia del sistema, sin embargo la eficiencia espectral está por encima de la lograda con el algoritmo PF. Adicionalmente se tiene que la eficiencia espectral es mayor cuando la velocidad de desplazamiento disminuye puesto que los UE perciben una mejor calidad del canal y no se descartan paquetes por errores en la transmisión por el canal PHY.

Figura 3-11: Eficiencia espectral de la red LTE con flujos de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps



3.4.2 Evaluación de los parámetros de desempeño de la red LTE para el Escenario 2: Multi-celda/Multi-Usuario

En este escenario el modelo de red LTE para la simulación de tráfico de IPTV está conformado por 9 celdas de 1Km de radio, en las cuales las frecuencias del primer ancho de banda operativo de LTE se distribuyen a lo largo de un clúster compuesto por 4 celdas. Es importante señalar que en cada celda existe un eNB y un número variable de UE en un rango de 5 a 35 que se desplazan siguiendo un camino aleatorio. Al igual que el escenario 1, los parámetros de desempeño evaluados son el retardo, la tasa de pérdida de paquetes y el *throughput* para cada una de las aplicaciones (IPTV, VoIP y datos BE) ante variaciones en el número de UE conectados a la red, para dos velocidades desplazamiento (3 y 30 Km/h), con diferentes tasas de codificación de los flujos de IPTV (242 Kbps y 440 Kbps) y los algoritmos de planificación de tráfico PF, M-LWDF y EXP/PF.

Los resultados de la simulación para el retardo de los flujos de paquetes de IPTV y VoIP se presentan en la Figura 3-12 y Figura 3-13 respectivamente. Como se puede observar, el retardo para los dos servicios aumenta cuando el número de usuarios conectados a la red crece y cuando los UE se desplazan a mayor velocidad. También se puede apreciar que si la tasa de codificación de los flujos de video es más alta, el retardo IPTV y VoIP aumenta puesto que en la red se incrementa el tráfico de video y por consiguiente los paquetes tardan más tiempo en las colas de los planificadores de los eNB antes de ser transmitidos por la red.

En cuanto al efecto de los algoritmos de planificación, al igual que el Escenario 1, el mejor comportamiento del retardo para los flujos de IPTV se obtuvo cuando se configuran los planificadores M-LWDF y EXP/PF, donde el retardo se mantiene por debajo del requisito de QoS. Para IPTV el promedio del retardo es de 30 ms. Ahora, cuando se configura el algoritmo PF el retardo IPTV se incrementa desde 7 ms para 5 UE hasta los 400 ms para 35 UE (Figura 3-12). Para los flujos de VoIP el retardo con los algoritmos M-LWDF y EXP/PF es en promedio 2,26 ms, mientras que con el algoritmo PF el retardo promedio es de 1,76 ms (Figura 3-13). Es de notar que el retardo de este escenario 2 es mayor que el del escenario 1 puesto que en el escenario 2 se adiciona el retardo generado por el *handover* de los usuarios cuando se mueven entre las celdas del modelo de red LTE.

Figura 3-12: Retardo de flujos IPTV con tasa de codificación de a) 242Kbps y b) 440Kbps

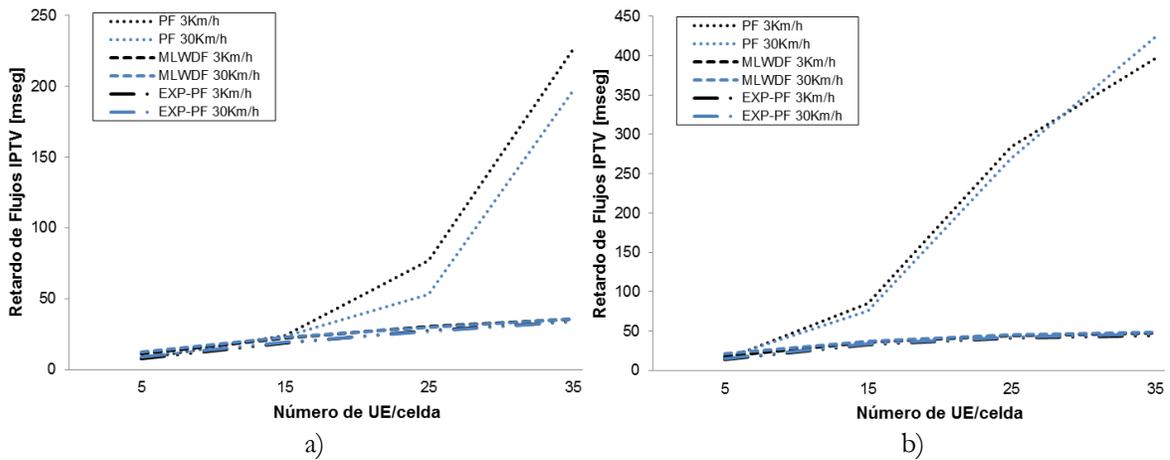
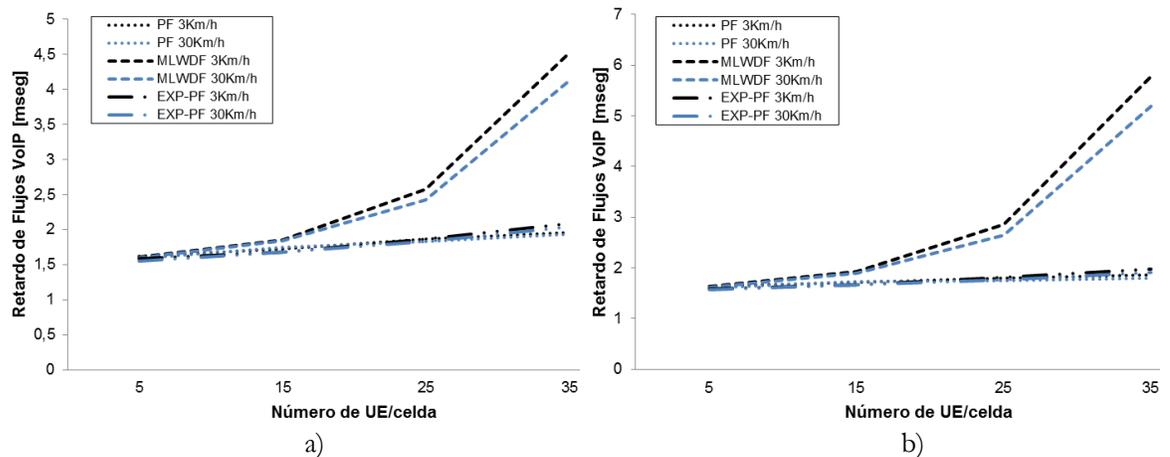


Figura 3-13: Retardo de flujos VoIP con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps



En la Figura 3-14 y la Figura 3-15 se muestran los resultados de las simulaciones para PLR de los flujos de IPTV y VoIP. Para los dos servicios la tasa PLR aumenta con la velocidad de desplazamiento de los UE ya que la calidad del canal de comunicaciones inalámbrico disminuye y el procedimiento de adaptación de enlace se deteriora a altas velocidades. Adicionalmente se tiene que si la tasa de codificación de video aumenta la PLR de IPTV crece debido a que los planificadores de tráfico tienen que procesar una mayor cantidad de paquetes de video generando un desborde de las colas de tráfico.

De forma similar al escenario 1, cuando se utilizan los planificadores M-LWDF y EXP/PF, la tasa PLR de IPTV es menor que cuando se usa el algoritmo PF. En lo que respecta a la PLR de los flujos de VoIP, la cual se puede ver en la Figura 3-15, aumenta con el número de usuarios y velocidad de desplazamiento, también crece cuando la codificación de los flujos de video es más alta, pero se mantiene en un promedio bajo (0,03 %) para los tres planificadores evaluados. El crecimiento de la tasa PLR se traduce en una menor transferencia efectiva de paquetes por la red LTE, por lo cual se reduce el *throughput* IPTV y VoIP tal y como se puede ver en la Figura 3-16 y Figura 3-17. El mayor *throughput* para los flujos de IPTV y VoIP se obtuvo con los algoritmos M-LWDF y EXP/PF, mientras que con PF el *throughput* es más bajo.

Figura 3-14: PLR de flujos IPTV con tasa de codificación de a) 242Kbps y b) 440Kbps

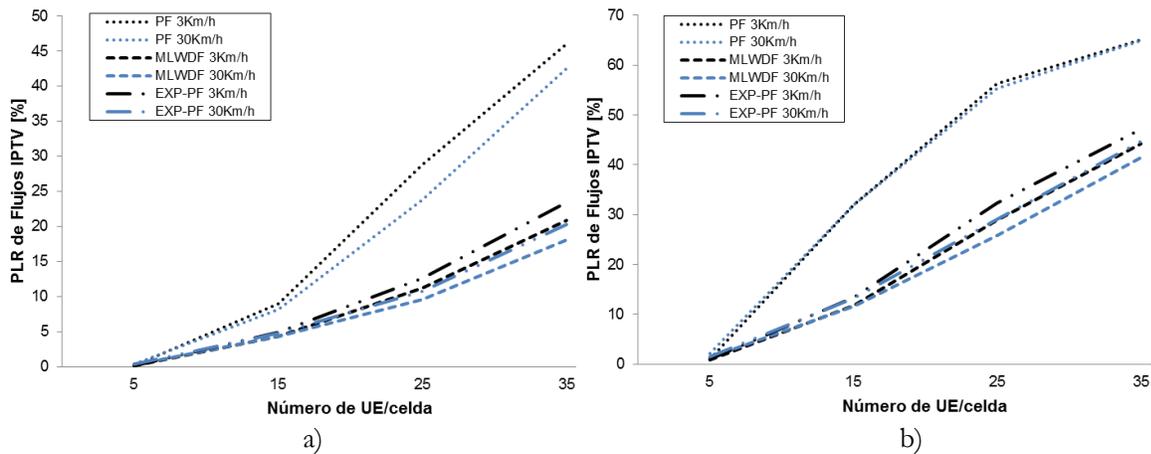


Figura 3-15: PLR de flujos VoIP con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps

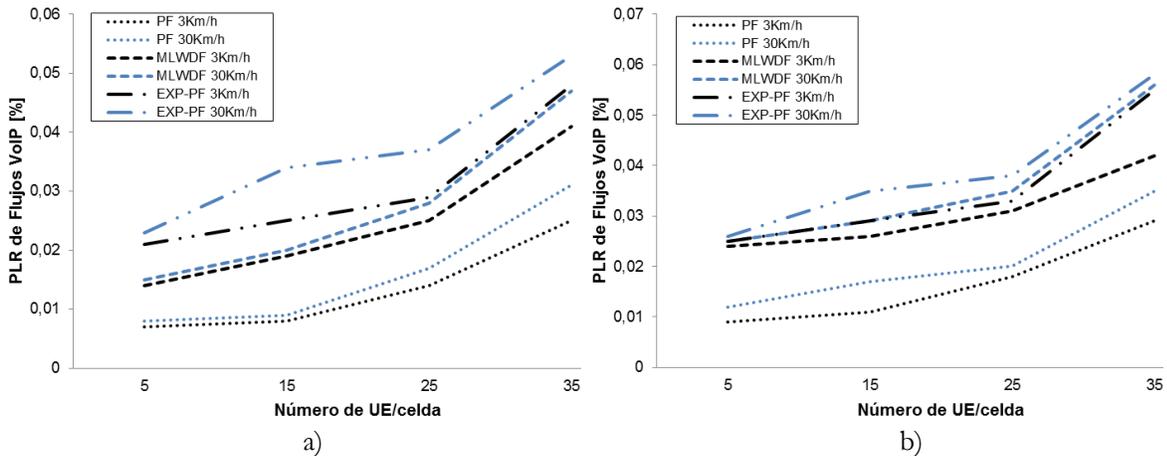


Figura 3-16: *Throughput* de flujos IPTV con tasa de codificación de a) 242Kbps y b) 440Kbps

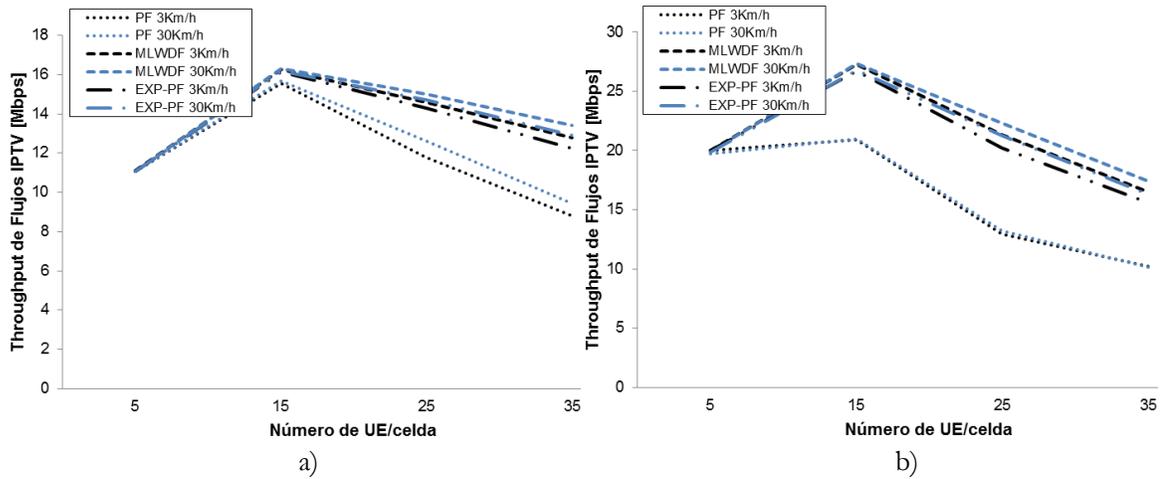
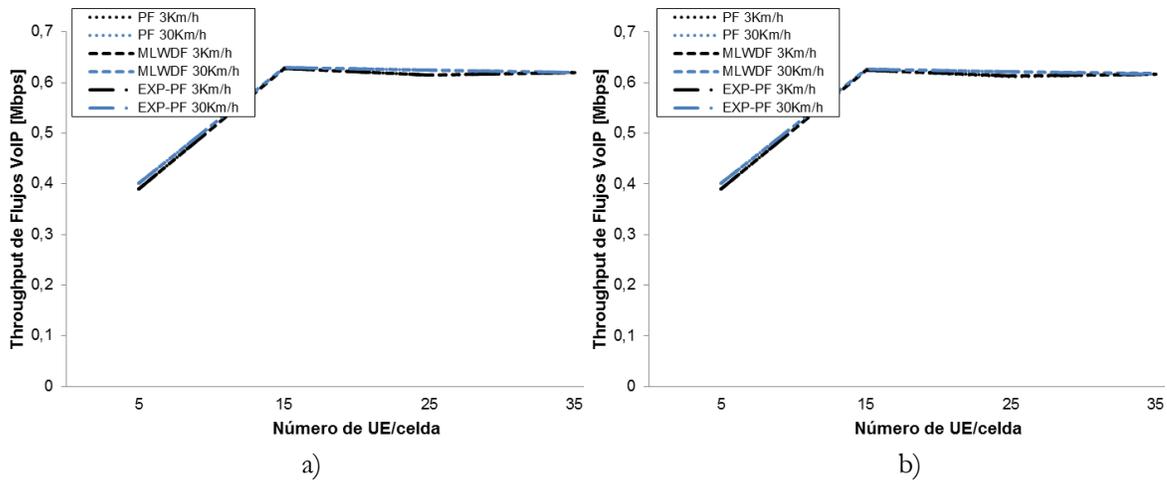
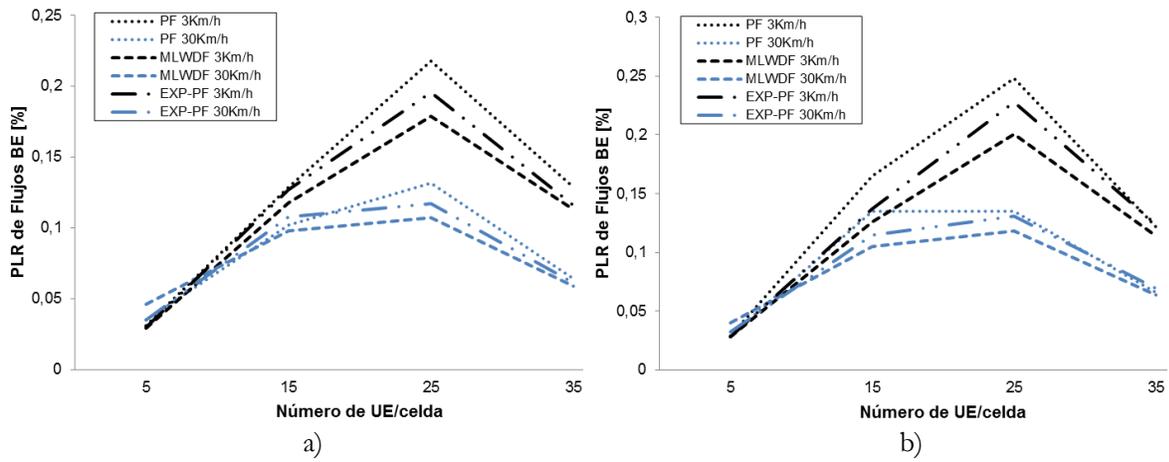
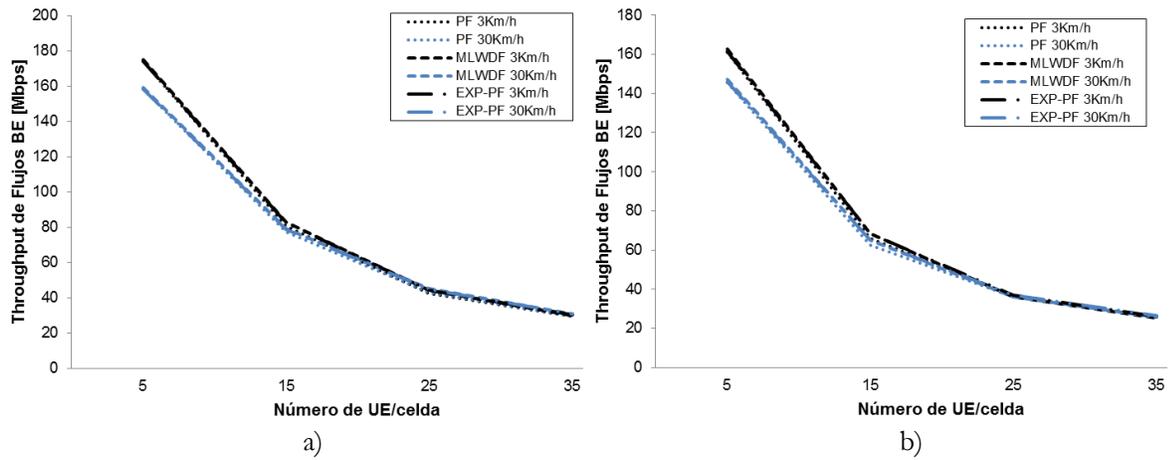
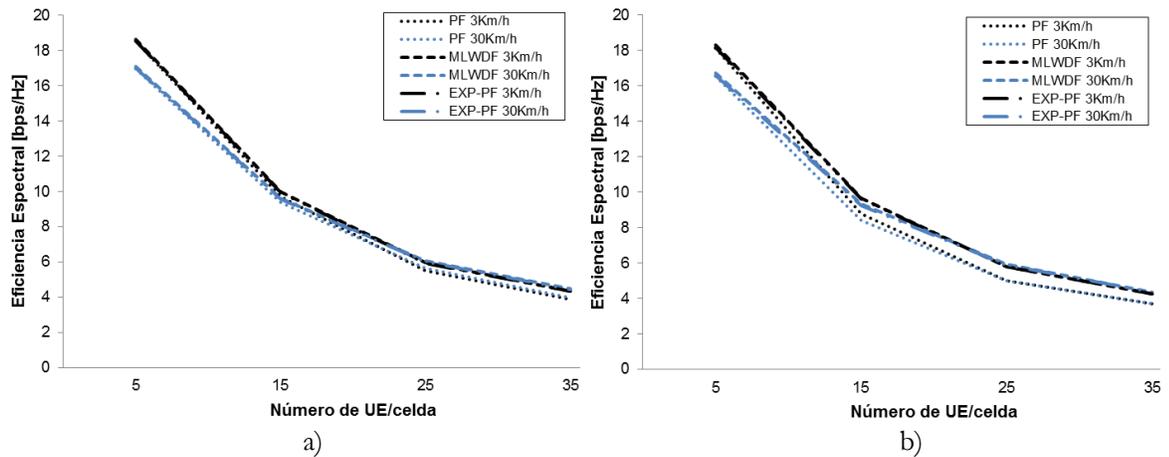


Figura 3-17: *Throughput* de flujos VoIP con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps



En lo que respecta al desempeño de la aplicación de transferencia de datos BE se tiene que el *throughput* disminuye cuando la velocidad de desplazamiento aumenta tal y como ocurrió en el escenario 1. Con las estrategias de planificación evaluadas, los flujos de paquetes BE recibieron el mismo trato razón por la cual no se observan diferencias significativas en la variación de *throughput* y la tasa PLR para cada una. En la Figura 3-18 se presenta la tasa PLR y en la Figura 3-19 el *throughput* de los flujos de paquetes BE.

Finalmente, en la Figura 3-20 se muestra la eficiencia espectral en la red LTE, la cual se comporta de forma similar a los resultados obtenidos en el escenario 1, es decir, cuando el número de usuarios en la calda aumenta la eficiencia espectral se reduce y se comporta de mejor manera cuando se usan los planificadores M-LWDF y EXP/PF. Asimismo, la eficiencia espectral es mayor cuando la velocidad de desplazamiento disminuye.

Figura 3-18: PLR de flujos BE con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps**Figura 3-19:** Throughput de flujos BE con tasa de codificación de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps**Figura 3-20:** Eficiencia espectral de la red LTE con flujos de video de a) 242Kbps y b) 440Kbps

4 Lineamientos técnicos para el despliegue del servicio de IPTV sobre redes LTE con Calidad de Servicio (QoS)

En este capítulo se presentan los lineamientos desde el punto de vista técnico para la implementación de servicios de IPTV con QoS sobre redes LTE, los cuales fueron identificados a partir de los resultados obtenidos de las simulaciones y el análisis a las alternativas de funcionamiento de la red LTE para ofrecer servicio de IPTV con QoS, además se tuvieron en cuenta los requisitos funcionales de alto nivel definidos por la UIT en [95] para la el despliegue de sistemas de IPTV y se complementaron con un marco para la gestión del servicio de IPTV.

4.1 Lineamientos técnicos

Los lineamientos técnicos que se pueden establecer para asegurar que los objetivos de calidad del servicio de IPTV sean satisfechos eficientemente en la red LTE son:

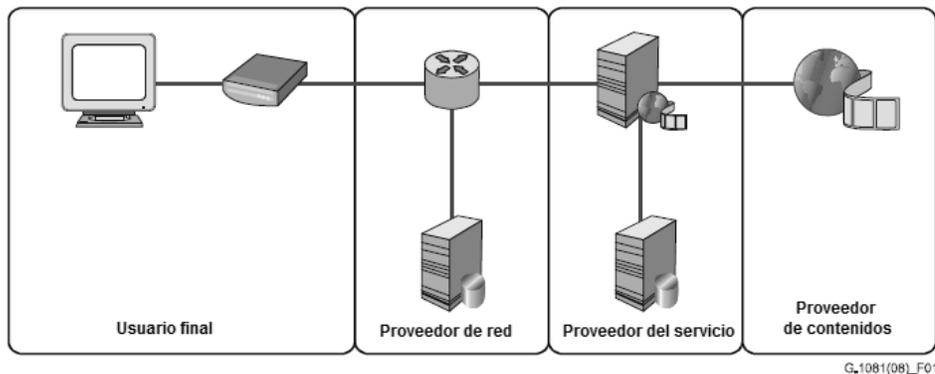
- Cumplir con los requisitos obligatorios de alto nivel y las recomendaciones definidas en [95] para la prestación de servicios de IPTV, particularmente los relacionados con la QoS y la calidad de funcionamiento, la red, la distribución por multidifusión, y la movilidad.
- Establecer los puntos de monitoreo en la red LTE que permitan a los operadores de red y proveedores del servicio supervisar el desempeño de extremo a extremo de la entrega de servicios de IPTV sobre esta red.
- Utilizar mecanismos de gestión del tráfico en la red LTE para tratar de forma diferenciada los flujos de paquetes relacionados directamente con IPTV. Esto permite que la prestación de servicios de IPTV sobre este tipo de redes se realice con el nivel requerido de calidad y fiabilidad.
- Definir un conjunto de políticas de calidad (reglas PCC) en la red LTE para definir la operación de los equipos de red y los criterios de gestión del uso y el acceso a los recursos de red con el fin de asegurar la prestación estable y con la calidad deseada de los servicios de IPTV.

- Realizar un acuerdo de nivel de servicio (SLA) entre el usuario final y el proveedor del servicio IPTV donde se especifique el nivel de disponibilidad, entrega de servicios, funcionamiento, operación, compensaciones de facturación u otros atributos del servicio de IPTV. En el SLA se deben incluir los parámetros de QoS y los valores que definen el servicio de IPTV ofrecido al usuario.
- Utilizar las mejores prácticas definidas por ITIL (*Information Technology Infrastructure Library*) para la gestión del servicio de IPTV puesto que contribuyen a mantener y mejorar la calidad de los servicios de IPTV ofrecidos, evitar los problemas asociados la prestación del servicio de IPTV y en caso de que estos ocurran ofrecen un marco de actuación para que estos sean solucionados con el menor impacto y en el menor tiempo posible cumpliendo con los SLA definidos con los usuarios.

4.2 Requisitos de QoS para la implementación de un servicio de IPTV en la red LTE

En [95] se especifican los requisitos de alto nivel para los servicios de IPTV particularmente para la prestación de servicios, los aspectos relativos a la red, la contabilidad y tasación, la QoS y la QoE, la seguridad, la protección del servicio y del contenido, el sistema terminal, el software intermedio y el contenido. Los requisitos definidos en [95] están relacionados con los dominios de la cadena de valor definida por la ITU para la prestación del servicio de IPTV, la cual se puede ver en la Figura 4-1.

Figura 4-1: Cadena de valor para la prestación del servicio de IPTV [95]



A continuación se presentan los requisitos de alto nivel para los aspectos relacionados con la QoS y la calidad de funcionamiento, la gestión del tráfico, la red, la distribución por multidifusión, y la movilidad que deben ser cumplidos por los proveedores del servicio de IPTV y los proveedores de la red LTE para contribuir a la implementación del servicio de IPTV en la red LTE con QoS.

4.2.1 Aspectos de la QoS y de la calidad de funcionamiento

Estos requisitos están relacionados con la QoS, la calidad de funcionamiento (QoE), y la gestión de tráfico y fueron definidos por la ITU en [95].

4.2.1.1 Calidad de servicio (QoS)

Los aspectos relacionados con la calidad de servicio (QoS) son [95]:

Requisitos de arquitectura

- R 6.2-01: Es obligatorio que la arquitectura de la IPTV disponga de un marco general que identifique los componentes y los puntos para la medición de la calidad del servicio.
- R 6.2-02: Es obligatorio que la arquitectura de la IPTV disponga de capacidades para gestionar la capacidad de los elementos de la red y del servicio.
- R 6.2-03: Es obligatorio que la arquitectura de la IPTV disponga de un mecanismo para gestionar la QoS del transporte basado en el servicio a través de los dominios de diversos proveedores de red.
- R 6.2-04: Es obligatorio que la red por la que se transmite el servicio de IPTV admita clases de QoS IP y satisfaga los correspondientes requisitos de calidad de funcionamiento especificados en [39].

Recomendaciones de la arquitectura

- RR 6.2-01: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV mantenga la misma QoS durante todo el periodo de funcionamiento del servicio de IPTV.
- RR 6.2-02: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV disponga de mecanismos que permitan a los operadores de red integrar las funciones de gestión de la QoS de la IPTV en un marco común de gestión de la QoS junto con otros servicios y aplicaciones.
- RR 6.2-03: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV se base en las capacidades de QoS que corresponda (por ejemplo, RACF (*Resource and Admission Control Function*) [96] y *DiffServ* [97] al integrar los servicios de IPTV en los entornos NGN.
- RR 6.2-04: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV permita la transmisión de vídeo o datos con una calidad suficiente para percibir la interpretación en el lenguaje de los signos, incluida la lectura labial. Para ello, se requiere la transmisión de un número suficiente de tramas por segundo y con una resolución espacial adecuada para reproducir los detalles de las manos, la expresión, los labios, los ojos y el cuerpo de los intérpretes [98].

4.2.1.2 Calidad percibida

Los aspectos relacionados con la calidad percibida (QoE) son [95]:

Requisitos de arquitectura

- R 6.2.1-01: Es obligatorio que la arquitectura de la IPTV disponga de mecanismos de tolerancia a errores en la infraestructura del proveedor de servicios con el fin de mantener una elevada QoE.
- R 6.2.1-02: Es obligatorio que la arquitectura de la IPTV permita suministrar servicios de IPTV con la calidad percibida (QoE) definida para el usuario de la IPTV.

Recomendaciones de la arquitectura

- RR 6.2.1-01: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV admita la QoE adecuada para los usuarios autorizados a cargar el contenido en la red del proveedor de servicios.
- RR 6.2.1-02: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV permita cambiar de canal en un tiempo tal que ofrezca una QoE suficiente.
- RR 6.2.1-03: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV disponga de capacidades para supervisar la calidad del audio y del vídeo [99].
- RR 6.2.1-04: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV permita navegar por los elementos del menú EPG con la suficiente QoE.

4.2.1.3 Gestión del tráfico

Los aspectos relacionados con la gestión del tráfico son [95]:

Requisitos de arquitectura

- R 6.2.2-01: Es obligatorio que la arquitectura de la IPTV disponga de mecanismos de gestión del tráfico para el tratamiento diferencial del tráfico de IPTV.
- R 6.2.2-02: Es obligatorio que la arquitectura de la IPTV tenga la capacidad de configurar las reglas de la QoS en la DNGF (*Delivery Network Gateway Functions*) que rige la correspondencia de tráfico (ascendente o descendente) para los diversos servicios de IPTV.
- R 6.2.2-03: Es obligatorio que la arquitectura de la IPTV disponga de un mecanismo para la asignación de prioridades al tráfico de IPTV.
- R 6.2.2-04: Es obligatorio que la arquitectura de la IPTV disponga de los mecanismos necesarios para la identificación, la clasificación y el marcado, el establecimiento de políticas y condiciones, la programación y el descarte de tráfico de IPTV.

Recomendaciones de la arquitectura

- RR 6.2.2-01: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV disponga de mecanismos para equilibrar dinámicamente la carga de tráfico de la IPTV de modo que permita ajustar de manera dinámica la carga de tráfico de la red y las condiciones de congestión en cualquier instante, permitiendo así el suministro de servicios de IPTV a los usuarios con el nivel de calidad requerido.
- RR 6.2.2-02: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV ofrezca mecanismos para el control de admisión del tráfico de IPTV, en particular el generado por los usuarios, a través de la red de acceso y la troncal.

4.2.2 Aspectos relativos a la red

Los aspectos relativos a la red fueron definidos por la ITU en [95] y se establecen requisitos a nivel transmisión, multidifusión y movilidad.

Recomendaciones de la arquitectura

- RR 6.4-01: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV tenga la capacidad de transmisión multidifusión y unidifusión.
- RR 6.4-02: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV permita el suministro de contenido en diversas versiones opcionales, que se seleccionará según las capacidades del dispositivo terminal de IPTV que reciba el contenido (por ejemplo, velocidad de acceso, resolución, formatos posibles).
- RR 6.4-03: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV sea capaz de determinar información sobre las características de la red inalámbrica que envía el dispositivo terminal de IPTV.

Opciones de arquitectura

- OR 6.4-01: Es facultativo que la arquitectura de la IPTV tenga capacidades de señalización para transmitir información relativa a la anchura de banda.
- OR 6.4-02: Es facultativo que la arquitectura de la IPTV utilice la información sobre la anchura de banda para determinar el tipo de codificación más adecuado para suministrar el contenido.

4.2.2.1 Red

Los aspectos relacionados con la red son [95]:

Requisitos de arquitectura

- R 6.4.1-01: Es obligatorio que la arquitectura de la IPTV permita que el proveedor de red gestione y aplique las políticas de transporte de los proveedores de servicio.
- R 6.4.1-02: Es obligatorio que la arquitectura de la IPTV disponga de un mecanismo para diferenciar adecuadamente los distintos tipos de tráfico, por ejemplo datos y voz.
- R 6.4.1-03: Es obligatorio que la arquitectura de la IPTV disponga de un mecanismo para atravesar NAT (*Network Address Translation*).
- R 6.4.1-04: Es obligatorio que la arquitectura de la IPTV disponga de un mecanismo para la asignación de direcciones IP y máscaras de subred IP a una DNG (*Delivery Network Gateway*) conectada.

Recomendaciones de la arquitectura

- RR 6.4.1-01: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV disponga de mecanismos para acceder y obtener información sobre la ubicación del usuario.
- RR 6.4.1-02: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV permita el suministro de servicios de IPTV por diferentes redes de acceso (tales como cable, óptica, xDSL, inalámbrica).
- RR 6.4.1-03: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV admita IPv4 e IPv6.
- RR 6.4.1-04: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV permita la atribución estática y dinámica de direcciones y planes de numeración y denominación.

4.2.2.2 Distribución por multidifusión

Los aspectos relacionados con la distribución de contenidos de IPTV por multidifusión definidos en [95] se amplían en [101]. Los requisitos de alto nivel para la distribución por multidifusión son [95]:

Requisitos de arquitectura

- R 6.4.2-01: Es obligatorio que la arquitectura de la IPTV disponga de mecanismos de comunicación por multidifusión para todos los usuarios.
- R 6.4.2-02: Es obligatorio que la arquitectura de la IPTV permita al proveedor de servicios utilizar las capacidades de transmisión por multidifusión del proveedor de red.

Recomendaciones de la arquitectura

- RR 6.4.2-01: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV disponga de mecanismos que permitan la distribución de servicios de IPTV a grupos específicos de usuarios.
- RR 6.4.2-02: Se recomienda que la arquitectura de la IPTV disponga de mecanismos para transmitir información sobre identificación relativa a los usuarios que desean o van a recibir los servicios de IPTV.

4.2.2.3 Aspectos relativos a la movilidad

Los aspectos relacionados con la movilidad son [95]:

Requisitos de arquitectura

- R 6.4.3-01: Es obligatorio que la arquitectura de IPTV disponga de mecanismos para el intercambio de información acerca del abonado entre la red visitada (desde la que el usuario accede a los servicios de IPTV) y el proveedor servicio de IPTV contratado (al que está abonado el usuario) en caso de que se admita la movilidad.
- R 6.4.3-02: Es obligatorio que la arquitectura de IPTV disponga de mecanismos para detectar y seleccionar el perfil del usuario del servicio desde el dispositivo terminal de IPTV o el proveedor de servicios de IPTV contratado, perfil que el usuario utilizará siempre que acceda a tales servicios de IPTV desde una red visitada, en caso de que se admita la movilidad.
- R 6.4.3-03: Es obligatorio que la arquitectura de IPTV disponga de mecanismos para detectar y seleccionar los servicios de IPTV que el proveedor de servicios de IPTV contratado ofrece a los usuarios en itinerancia, en caso de que se admita la movilidad.
- R 6.4.3-04: Es obligatorio que la arquitectura de IPTV permita la obtención de información sobre el contexto de control desde el dispositivo terminal de origen y la transfiera al dispositivo terminal de destino, en caso de que se admita la movilidad.
- R 6.4.3-05: Es obligatorio que la arquitectura de la IPTV admita el nomadismo, tanto en lo que respecta a la movilidad del usuario como a la movilidad del terminal [100].

Recomendaciones de la arquitectura

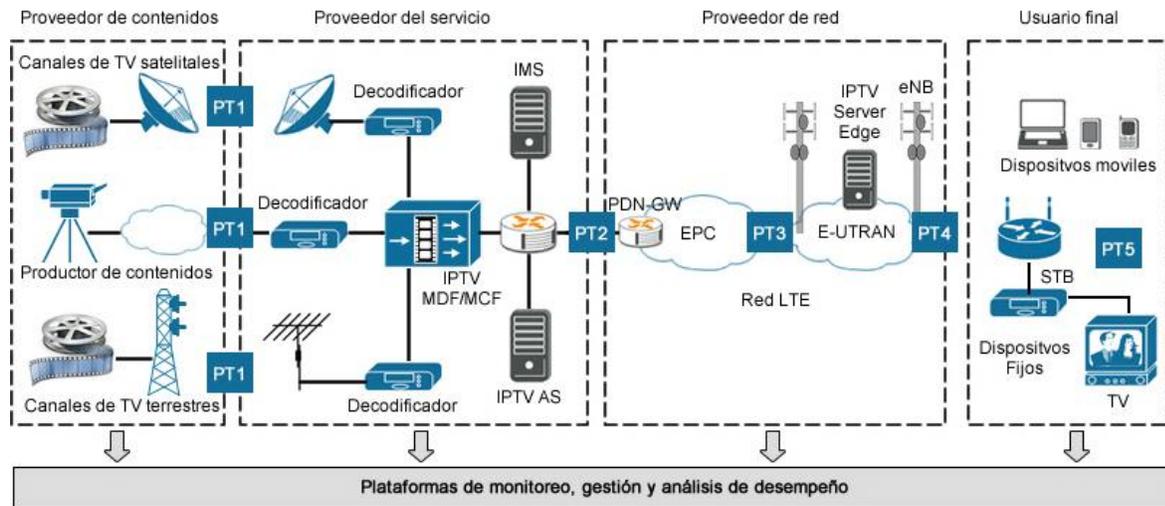
- RR 6.4.3-01: Cuando se permita la movilidad del terminal sin interrupción del servicio, se recomienda que esta movilidad también se aplique a la IPTV.

4.3 Puntos de monitoreo de desempeño del servicio de IPTV en la red LTE

Tal y como se puede ver en la Figura 4-1, la cadena de valor para la entrega de contenidos de IPTV se divide en múltiples dominios que tienen la opción de ser monitoreados [99]. El objetivo del monitoreo del desempeño es proporcionar a los usuarios finales de servicios de IPTV una alta experiencia de uso mediante la identificación, localización y cuantificación de los problemas del servicio y de la red [99]. Este enfoque de dominio es independiente de cualquier método de control puesto que se establecen puntos de monitoreo de desempeño específicos que permitirán a los operadores de red y proveedores del servicio monitorear el desempeño de extremo a extremo de la entrega de un servicio de IPTV sobre la red LTE. El monitoreo del desempeño puede ayudar a [99]:

- Encontrar errores en el sistema de IPTV de extremo a extremo (depuración del sistema).
- Comprobar la utilización de recursos y la carga de los componentes del sistema de IPTV.
- Compara los valores (métricas) respecto al desempeño de las diferentes implementaciones del sistema de IPTV.
- Proporcionar una base para el modelado del sistema de IPTV.
- Identificar los cuellos de botella del sistema de IPTV.
- Optimizar el despliegue de red que soporta el despliegue de servicios de IPTV
- Asegurar que el rendimiento del sistema de IPTV no se degrade con el tiempo.

Las características de desempeño monitoreadas en los dominios pueden integrarse con los Sistemas de Soporte a las Operaciones (OSS, *Operations Support Systems*) y/o con Sistemas de Gestión de Red (NMS, *Network Management Systems*). La topología y los dominios variarían de un operador a otro; sin embargo, el monitoreo puede ser aplicado en cada frontera del dominio [99]. En la Figura 4-2 se muestra la topología de una red LTE con dominios de monitoreo específicos. De esta manera, el despliegue exitoso de los servicios de IPTV sobre las redes LTE requiere que se monitoree el desempeño en los puntos de interconexión entre el operador de la red LTE y proveedor del servicio de IPTV; en los puntos de conexión entre el núcleo y la red de acceso; en los puntos de agregación; y en los dispositivos usados por los usuarios finales para acceder al servicio de IPTV.

Figura 4-2: Puntos de monitoreo de desempeño del servicio de IPTV en la red LTE. Adaptación [99]

4.3.1 Punto de monitoreo 1 (PT1): Entre el proveedor de contenidos y el proveedor del servicio

Este punto demarca la frontera entre el suministro de los contenidos y control del servicio de IPTV. PT1 está situado entre el dominio de los proveedores de contenidos (los propietarios de contenido y agregadores) y un proveedor de servicios de IPTV. PT1 permite la medición de la calidad de la fuente del contenido, la verificación de los metadatos, y el análisis de la información que se intercambia entre el proveedor de contenido y el proveedor de servicios de IPTV [99].

PT1 puede capturar la siguiente información [99]:

- Parámetros de codificación de vídeo, audio y texto
- Parámetros de calidad de vídeo, audio y texto
- Reconocimiento para la notificación de recepción de la transferencia del contenido fuente

PT1 puede soportar las siguientes capacidades [99]:

- Transacciones de solicitud/respuesta en tiempo real de los protocolos involucrados
- Notificaciones en tiempo real de eventos asíncronos
- Entrega fiable y segura de los mensajes involucrados
- Sincronización del reloj con los demás puntos de control
- Identificación de los distintos proveedores de contenidos
- Información de las pruebas de reportes para los parámetros de calidad de vídeo, audio y texto de varios proveedores de contenido a la plataforma de monitorización de la calidad del servicio

4.3.2 Punto de monitoreo 2 (PT2): Entre el proveedor del servicio y el proveedor de la red LTE

Este punto se encuentra en la frontera entre el proveedor de servicios de IPTV y el proveedor de la red LTE. Su objetivo es el control de la calidad de *streaming* original. PT2 monitorea la calidad de la transmisión del proveedor de servicio en la salida de cabecera [99]. Específicamente en la red LTE PT1 debe monitorear las interfaces de conexión con la PDN-GW (X_t , X_d , X_c , G_x y SGi) relacionadas con el control y entrega de los servicios de IPTV (ver Figura 2-12).

PT2 puede capturar la siguiente información [99]:

- Los parámetros de calidad del flujo multimedia desde el nodo central del proveedor del servicio
- Los parámetros de desempeño de los servidores EPG en el nodo central del proveedor del servicio
- Los parámetros de desempeño de los servidores de VoD en el nodo central del proveedor del servicio
- Los parámetros de desempeño de los servidores relacionados con el servicio en el nodo central de proveedor de servicios

PT2 puede soportar las siguientes capacidades [99]:

- Transacciones de solicitud/respuesta en tiempo real de los protocolos involucrados
- Notificaciones en tiempo real de eventos asíncronos
- Entrega fiable y segura de los mensajes involucrados
- Sincronización del reloj con los demás puntos de control
- Identificación de los distintos servidores
- Información de las pruebas de reportes para los parámetros de calidad de vídeo, audio y texto y desempeño de varios servidores a la plataforma de monitorización de la calidad del servicio

4.3.3 Punto de monitoreo 3 (PT3): Entre el núcleo de la red LTE y la red de acceso E-UTRAN

Este punto se localiza en la frontera entre el núcleo de la red LTE (EPC) y red de acceso E-UTRAN sobre cualquier tipo de interfaz y su función es la monitorización de parámetros de desempeño relacionados con el protocolo IP [99]. Como se puede ver en la Figura 2-12, en la red LTE se deben monitorear las interfaces que conectan a la pasarela PDN-GW con la pasarela S-GW ($S5$, cuando ambas pasarelas pertenecen al mismo operador, y $S8$, cuando éstas se encuentran en redes de operadores diferentes y se proporciona un servicio de *roaming*), y la interfaz que conectan a los eNB la pasarela S-GW ($S1-U$).

PT3 puede capturar la siguiente información [99]:

- Segmento de red de origen y el segmento de red de destino que deben medirse

- Desempeño de la red IP como se define en [104]. Los métodos recomendados para la medición se encuentran en [105]:
 - Retardo promedio en un sentido (*mean one-way delay*)
 - Variación del retardo de paquetes en un sentido (*one-way packet delay variation*).
 - Tasa de pérdida de paquetes (PLR)
 - Perfil de pérdida de paquetes.
 - Indisponibilidad del trayecto recibiste
- Parámetros de desempeño de la red multidifusión IP definidos en [102]:
 - Tiempo de unión exitosa (*successful join time*)
 - Tiempo de abandono exitoso (*successful leave time*)
 - Retardo promedio del grupo en un sentido (*group mean one-way delay*)
 - Disponibilidad del grupo de servicio IP (*group IP service availability*)
 - Tasa promedio de pérdida del grupo (*mean group loss ratio*)

PT3 puede soportar las siguientes capacidades [99]:

- Transacciones de solicitud/respuesta en tiempo real
- Notificaciones en tiempo real de eventos asíncronos
- Entrega fiable y segura de los mensajes implicados
- Sincronización del reloj con los demás puntos de control
- Presentación de la información de los parámetros de calidad de la red IP a la plataforma de monitoreo de calidad de servicio
- Acceso directo a la información IP (por ejemplo, cabecera del paquete, el tipo de códec) del flujo audiovisual o del texto
- Captura de información sobre la calidad procedente de los dispositivos de usuario final

4.3.4 Punto de monitoreo 4 (PT4): En el borde de la red de acceso E-UTRAN

Este punto está más cerca del usuario, donde el monitoreo de la calidad del *streaming*, la calidad audiovisual y los atributos del servicio de IPTV son importantes. El monitoreo en este punto se puede implementar mediante la introducción de la función del monitoreo de desempeño por ejemplo en las pasarelas domésticas y en los STB [99]. En PT4 se debe monitorear la interfaz de radio *LTE-Uu* entre los eNB y los UE.

PT4 puede capturar la siguiente información [99]:

- El segmento de red de origen y el segmento de red de destino que deben medirse
- Acceso a la información de calidad de servicio y a la información de calidad de los flujos multimedia de IPTV
- Las plataforma del servicio desde el borde de la red de acceso al servicio de IPTV
- Acceso a la información del protocolo IP (por ejemplo, la cabecera del paquete, el tipo de códec) de la secuencia audiovisual o texto.

- Desempeño de la red IP como se define en [104]. Los métodos recomendados para la medición se encuentran en [105]:
 - Retardo promedio en un sentido (*mean one-way delay*)
 - Variación del retardo de paquetes en un sentido (*one-way packet delay variation*).
 - Tasa de pérdida de paquetes (PLR)
 - Perfil de pérdida de paquetes.
 - Indisponibilidad del trayecto recibiste
- Parámetros de desempeño de la red multidifusión IP definidos en [102]:
 - Tiempo de unión exitosa (*successful join time*)
 - Tiempo de abandono exitoso (*successful leave time*)
 - Retardo promedio del grupo en un sentido (*group mean one-way delay*)
 - Disponibilidad del grupo de servicio IP (*group IP service availability*)
 - Tasa promedio de pérdida del grupo (*mean group loss ratio*)

PT4 puede soportar las siguientes capacidades [99]:

- Transacciones de solicitud/respuesta en tiempo real
- Notificaciones en tiempo real de eventos asíncronos
- Entrega fiable y segura de los mensajes implicados
- Sincronización del reloj con los demás puntos de control
- Simular el flujo de servicios integrados del terminal de IPTV
- Reporte de la información de los parámetros de desempeño de la red IP, calidad de servicio de la plataforma de acceso a los servicios de IPTV desde el punto de borde, y calidad de los flujos multimedia a la plataforma de monitoreo de la calidad del servicio.

4.3.5 Punto de monitoreo 5 (PT5): En el terminal del usuario final

Este punto se encuentra en el extremo final de la cadena de calor del servicio de IPTV y se relaciona directamente con la QoE en el cliente. El monitoreo de la calidad audiovisual, la precisión del texto y los atributos del servicio IPTV percibidos por el cliente son importantes [99].

PT5 puede capturar la siguiente información [99]:

- El segmento de red de origen y el segmento de red de destino que deben medirse
- Acceso a la información de calidad de servicio y a la información de calidad de los flujos multimedia de IPTV por parte del cliente.

PT5 puede soportar las siguientes capacidades [99]:

- Transacciones de solicitud/respuesta en tiempo real
- Notificaciones en tiempo real de eventos asíncronos
- Entrega fiable y segura de los mensajes implicados
- Sincronización del reloj con los demás puntos de control
- Información de servicios integrados de terminal de IPTV;

- Reporte de la información de los parámetros de desempeño de la red IP, la calidad del servicio de la plataforma de acceso a los servicios de IPTV, y la calidad de los flujos multimedia recibidos por el cliente.

4.4 Mecanismos de gestión de tráfico para IPTV

En [103] se definen los requisitos funcionales que se derivan de aspectos de gestión de tráfico establecidos en [95]. Con base a ellos, en [103] se describen un conjunto de mecanismos de gestión del tráfico en la capa de transporte para soportar los servicios de IPTV desde la perspectiva del plano de control, el plano de datos y el plano de gestión. Las directrices sobre cómo tales mecanismos se pueden usar para responder eficazmente a los requisitos funcionales también se proporcionan en detalle en [103].

La red que soporta los servicios de IPTV abarca varios dominios que pueden ser diseñados, implementados y operados por diferentes proveedores y que pueden diferir en sus capacidades de gestión del tráfico. Por ello, se espera que el proveedor o los proveedores de la red implementen el conjunto de mecanismos descritos en [103] siguiendo las directrices para garantizar que los objetivos de calidad del servicio de IPTV se satisfagan de manera eficiente. Por otra parte, los mecanismos de gestión de tráfico también dependen de las arquitecturas de red utilizadas para la entrega de los servicios de IPTV como se definen en [27].

4.4.1 Requisitos funcionales para la gestión de tráfico

Los requisitos funcionales para el plano de control, plano de gestión y plano de datos son [103]:

Requisitos funcionales para el Plano de Control

- FR 6.2.1-01: Los mecanismos de gestión del tráfico son requeridos para soportar la capacidad de control de admisión.
- FR 6.2.1-02: Los mecanismos de gestión del tráfico son requeridos para soportar la capacidad de controlar la congestión de la red y mejorar la utilización de la red mediante la selección de un trayecto apropiado.
- FR 6.2.1-03: Los mecanismos de gestión del tráfico son requeridos para soportar el intercambio de la información de tráfico de la red con los sistemas de gestión de red.

Requisitos funcionales para el Plano de Gestión

- FR 6.2.2-01: Los mecanismos de gestión del tráfico son requeridos para habilitar las capacidades políticas de control y gestión.
- FR 6.2.2-02: Los mecanismos de gestión del tráfico son requeridos para soportar la capacidad de obtener información de desempeño para asegurar la QoS a los servicios de IPTV.
- FR 6.2.2-03: Los mecanismos de gestión del tráfico son requeridos para soportar la capacidad de los acuerdos de nivel de servicio (SLA) en IPTV.

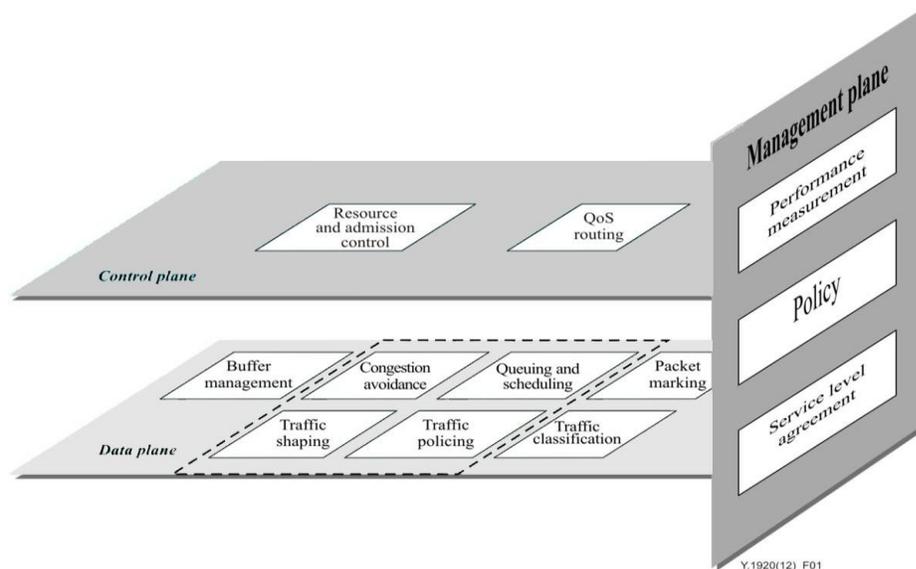
Requisitos funcionales para el Plano de Datos

- FR 6.2.3-01: Los mecanismos de gestión del tráfico son requeridos para habilitar la diferenciación de tráfico con el fin de proporcionar la entrega esperada de los servicios de IPTV con el nivel correspondiente de calidad y fiabilidad.
- FR 6.2.3-02: Los mecanismos de gestión del tráfico son necesarios para apoyar la capacidad de marcar el tráfico para asociar los paquetes con diferentes prioridades.
- FR 6.2.3-03: Los mecanismos de gestión del tráfico son necesarios para apoyar la capacidad de gestión de los buffers para tratar los paquetes recibidos.
- FR 6.2.3-04: Los mecanismos de gestión del tráfico son necesarios para soportar capacidades de colas de tráfico y de planificación de tráfico.
- FR 6.2.3-05: Los mecanismos de gestión del tráfico son necesarios para soportar *traffic policing* y *traffic shaping* para el control de las tasa de datos.
- FR 6.2.3-06: Los mecanismos de gestión del tráfico son necesarios para soportar la capacidad de gestión de la congestión.

4.4.2 Mecanismos de gestión de tráfico en la red LTE para servicios de IPTV

Los mecanismos de gestión del tráfico permiten tratar de forma diferenciada los flujos de paquetes relacionados directamente con IPTV. Esto facilita la prestación de servicios de IPTV con el nivel requerido de calidad y fiabilidad, y se pueden implementar con otros mecanismos de la red como una solución integral de QoS [103]. El marco referencia de gestión de tráfico contiene los mecanismos relacionados con el tráfico de usuario, los trayectos a través del cual viaja el tráfico, y los aspectos de operación, administración y gestión de la red [103]. Como se muestra en la Figura 4-3, los mecanismos de gestión de tráfico están organizados en el plano de control, plano de datos y plano de gestión.

Figura 4-3: Mecanismos de gestión de tráfico para los planos de control, datos y gestión [103]



En la Tabla 4-1 se presenta el mapeo de los requisitos funcionales definidos en [103] con los requisitos de alto nivel establecidos en [95], y con los mecanismos de gestión de tráfico en los diferentes planos.

Tabla 4-1: Mapeo de los requisitos funcionales con los requisitos de alto nivel y los mecanismos de gestión de tráfico de IPTV [103]

Requisito de alto nivel	Requisito funcional	Mecanismo de gestión de tráfico relacionado	Clausula relacionada
R 6.2.2-01	FR 6.2.3-01	Marcado de paquetes	7.2 Plano de Datos
	FR 6.2.3-02	Clasificación de tráfico	
	FR 6.2.3-03	Gestión de buffer	
	FR 6.2.3-04	Encolamiento y planificación	
	FR 6.2.3-05	<i>Traffic policing y traffic shaping</i>	
R 6.2.2-02	FR 6.2.1-01	Control de admisión	7.1 Plano de Control
	FR 6.2.1-02	Enrutamiento de QoS	
	FR 6.2.1-03	Control de recursos	
	FR 6.2.2-01	Políticas	7.3 Plano de Gestión
	FR 6.2.2-03	Acuerdo de nivel de servicio (SLA)	
R 6.2.2-03	FR 6.2.2-01	Políticas	7.3 Plano de Gestión
	FR 6.2.2-02	Medición del desempeño	
	FR 6.2.2-03	Acuerdo de nivel de servicio (SLA)	
R 6.2.2-04	FR 6.2.1-01	Control de admisión	7.1 Plano de Control
	FR 6.2.3-01	Clasificación de tráfico	7.2 Plano de Datos
	FR 6.2.3-02	Encolamiento y planificación	
	FR 6.2.3-04	<i>Traffic policing y traffic shaping</i>	
	FR 6.2.3-05	Evitar la congestión	

Las capas de la red arquitectura funcional para la implementación del servicio de IPTV sobre redes LTE/LTE-A (Figura 2-4) deben implementar los mecanismos de gestión de tráfico mostrados en la Tabla 4-1 para manejar apropiadamente los flujos de paquetes de IPTV sin afectar el comportamiento de otras aplicaciones que se transporten por la red. Con base a la información presentada en [103], en la Tabla 4-2 se presentan los mecanismos de gestión de tráfico que se implementan en cada una de las capas de la arquitectura de la red LTE para la prestación de servicio de IPTV.

Tabla 4-2: Mecanismos de gestión de tráfico en las capas de la arquitectura de la red LTE para la prestación de servicio de IPTV

Mecanismo de gestión de tráfico	Capa de acceso	Capa de transporte	Capa de control	Equipos de usuario	Gestión de servicios y redes
Clasificación de tráfico	✓	✓		✓	
Marcado de tráfico	✓	✓		✓	
Identificación de tráfico	✓	✓		✓	
Encolamiento de tráfico	✓	✓		✓	
Planificación de tráfico	✓	✓		✓	
<i>Traffic policing</i>	✓	✓			

Tabla 4-3: Mecanismos de gestión de tráfico en las capas de la arquitectura de la red LTE para la prestación de servicio de IPTV

Mecanismo de gestión de tráfico	Capa de acceso	Capa de transporte	Capa de control	Equipos de usuario	Gestión de servicios y redes
<i>Traffic shaping</i>	✓	✓			
Control de recursos y admisión	✓	✓	✓		
Enrutamiento con QoS		✓	✓		
Políticas		✓	✓		✓
SLA					✓
Desempeño					✓

Los mecanismos de gestión de tráfico en las capas de acceso y transporte se implementan mediante los portadores de servicio EPS. Estos mecanismos fueron simulados en los escenarios planteados donde se evaluaron los principales parámetros de desempeño y cuya configuración arroja resultados aceptables para el despliegue del servicio de IPTV con QoS. Por ello es posible que la configuración usada en la simulación pueda servir para la construcción de una red LTE que soporte la entrega de servicios de IPTV. También, a partir del análisis realizado sobre las alternativas de funcionamiento de la red LTE para la prestación del servicio de IPTV con QoS, es posible establecer las posibles configuraciones de las políticas de calidad de servicio que se deberían aplicar a los servicios de IPTV (Tabla 2-5 y Tabla 2-6). En este sentido, a continuación se presentan los mecanismos de gestión de tráfico para la prestación del servicio de IPTV con QoS en la red LTE que fueron identificados a partir de los resultados de las simulaciones y el análisis realizado a la red LTE:

- La marcación de paquetes en la red LTE se realiza mediante el parámetro QCI, cuyos valores de configuración estándar se presentan en la Tabla 2-4. El QCI representa una clase de servicio o comportamiento de la red. La selección de un valor de QCI para un servicio portador EPS implica la elección de una serie de parámetros específicos en cada uno de los nodos que procesan los datos del usuario con el fin de controlar el manejo que se le debe dar a un paquete. Tal y como se expuso en el numeral 2.8.1 para el servicio de IPTV de radiodifusión cuando se configura una regla con GBR el valor de QCI recomendado para ofrecer QoS al servicio de IPTV es 4, mientras que si se trata de un servicio de IPTV de VoD, el valor de QCI debe ser 7 con tasa non-GBR. Los QCI permiten la identificación del tráfico de paquetes de IPTV por los elementos de la red LTE que lo deban transportar.
- Según los resultados de las simulaciones, en la red LTE es posible usar el algoritmo M-LWDF para la planificación de tráfico de IPTV puesto que ofrece el mejor comportamiento de los parámetros de desempeño ante el crecimiento en el número de usuarios y variación en la velocidad de desplazamiento de los mismos. M-LWDF soporta múltiples datos de usuarios con diferentes requisitos de QoS, y además fue diseñado especialmente para manejar los flujos de paquetes de aplicaciones multimedia garantizando un bajo retardo según las condiciones de del canal. Además el algoritmo de planificación que sea seleccionado en el eNB se encarga de administrar las colas de paquetes basado en las decisiones de planificación, las cuales están estrictamente relacionadas con la calidad de canal experimentada por cada UE, que periódicamente mide la calidad usando símbolos de referencia, por lo cual se tiene que:

- Para asegurar una transmisión con el menor número de errores, que puedan afectar la calidad de los contenidos de IPTV, es posible configurar la técnica AMC para permitir al eNB la selección, durante el procedimiento de asignación de recursos, de la modulación y esquema de codificación adecuados para el flujo paquetes que deben ser procesados. Del mismo modo, para maximizar la eficiencia espectral el Esquema de Modulación y Codificación (MCS, *Modulation and Coding Scheme*) se elegirá teniendo en cuenta el último valor de CQI enviado por el UE [90].
- Para monitorear la calidad del canal de radio se recomienda medir el valor CQI el cual se obtiene como una versión cuantificada de la Relación Señal a Interferencia y Ruido (SINR, *Signal Interference and Noise Rate*) estimada. El CQI es usado por el UE para informar a la eNB la mayor tasa de datos que puede lograr en un sub-canal dado, garantizando al mismo tiempo una Tasa de Error de Bloque (BLER) que sea menor o igual a la BLER objetivo (el valor por defecto es 10%). El procedimiento de correspondencia entre la SINR y el CQI se realiza a través de las curvas de SINR-BLER. Usando estas tablas de asignación, es posible seleccionar los mejores MCS (en términos de la tasa de datos) para que la SINR dada garantice un valor de BLER más pequeño que el BLER objetivo [90].
- En las pasarelas del hogar (HG, *Home Gateway*) utilizadas para acceder a la red LTE, se deben configurar los mecanismos de QoS ofrecidos por los protocolos de comunicaciones con el fin de diferenciar el tráfico generado por el servicio de IPTV del tráfico de otras aplicaciones. Entonces, si la distribución de servicios se realiza por medio de una red Ethernet, se debe usar el nivel de prioridad usando el campo IP DSCP o los bits de prioridad de usuario de Ethernet [103]. Los posibles criterios de clasificación en Ethernet incluyen los tipos de LAN, las direcciones MAC y las etiquetas de las VLAN (*Virtual Local Area Network*). Ahora, si la distribución es por medio de las redes WLAN, la gestión de tráfico se debe basar en el uso del estándar IEEE 802.11e, el cual define 4 categorías de acceso que soportan efectivamente 4 niveles de prioridad [103].

4.5 Control de recursos y admisión, y políticas de calidad en redes LTE para IPTV

El control de recursos y admisión se lleva a cabo en las capas de control, transporte y acceso de la arquitectura de referencia mostrada en la Figura 2-4. El proceso de admisión implica la generación de la solicitud de acceso al servicio por parte del usuario. Dicha solicitud es recibida por el núcleo de IMS, el cual comprueba con el perfil de usuario si el usuario está autorizado para acceder al servicio de IPTV solicitado. Sin embargo, en las redes LTE se debe pasar por un proceso de asignación de recursos tal y como se describió en los diagramas de secuencia de los numerales 2.8.1 y 2.8.2, donde dependiendo del servicio que sea solicitado se valida la disponibilidad de recursos de red para aceptar o rechazar la solicitud puesto que a los portadores del servicio se les debe garantizar la QoS para el transporte de los paquetes de IPTV. En este sentido, cuando el usuario desea acceder a un servicio de IPTV de radiodifusión, se debe verificar que el usuario pueda formar parte de un grupo de multidifusión para posteriormente asociarlo a un servicio portador MBMS, pero si el usuario solicita un servicio de VoD la red LTE validará si es posible asignar un servicio portador EPC dedicado.

Después de la selección del servicio de IPTV y verificación de recursos en la red, el núcleo IMS envía una notificación al PCRF para el establecimiento de las políticas de control de QoS. El PCRF hace parte del subsistema PCC el cual fue adicionado a la arquitectura de IPTV para controlar el comportamiento de QoS del servicio de conectividad IP mediante la definición y asignación de reglas PCC asociadas a los servicios de IPTV. El uso de este subsistema permite que el operador de la red sea quien se encargue de activar los servicios portadores con los parámetros de QoS apropiados según las necesidades de transmisión del servicio o aplicación solicitada por el usuario [76]. Las reglas PCC definen la configuración de los parámetros de QoS (QCI, ARP, GBR y MBR) para soportar los servicios de IPTV y se plantea la utilización de los valores presentados en las Tablas 2-5 y Tabla 2-6 según el servicio de IPTV que sea solicitado por el usuario.

4.6 Acuerdo de nivel de servicio (SLA) para la prestación del servicio de IPTV sobre redes LTE

Un SLA en el servicio IPTV representa el acuerdo entre el usuario final y uno o más proveedores del servicio IPTV con el fin de establecer las características del servicio, las responsabilidades y las prioridades de todas las partes [103]. Un SLA puede incluir cláusulas sobre calidad de funcionamiento, operación, nivel de disponibilidad, tarificación y facturación, prestación del servicio, compensaciones u otros atributos del servicio de IPTV [103].

La parte del SLA que se refiere a la QoS se denomina acuerdo de QoS e incluye un programa formal acordado entre dos entidades para verificar, medir y determinar los parámetros de QoS para el servicio de IPTV [106]. Se puede incluir los parámetros y sus valores que definen el servicio de IPTV que ofrece a un usuario final por una red [103]. El objetivo consiste en lograr la QoS acordada con el usuario final para poder satisfacerle. Cada informe relativo a la calidad de funcionamiento puede incluir únicamente los parámetros de QoS acordados en el correspondiente SLA [106].

Según [106], el acuerdo de calidad de servicio debe estar conformado por la descripción de las interfaces, las características del tráfico (de aplicación y de gestión), los parámetros de QoS y sus valores objetivos, los esquemas de medición y las pautas de reacción (que se activan cuando no se cumplen con los objetivos de QoS). Para la prestación del servicio de IPTV en redes móviles es posible definir un SLA como sigue:

- *Descripción de las interfaces:* Una interfaz es una frontera lógica entre dos entidades y está compuesta por un grupo de puntos de interacción. Según la Figura 2-5, en la red LTE las interfaces que deben tenerse en cuenta en el SLA para la entrega de servicio de IPTV son: X_d , X_t , X_c , $S5/S8$, $S1-U$ y $LTE-Uu$, puesto que están directamente relacionadas con la entrega de servicio de los flujos de paquetes de IPTV y es donde deben medirse los parámetros de QoS.
- *Características del tráfico:* El tráfico del servicio de IPTV está confirmado por un flujo de paquetes no elástico, lo que significa que no se adapta fácilmente a las variaciones de los parámetros de desempeño de la red, siendo sensible al retardo y a la pérdida de paquetes. Dependiendo del servicio de IPTV que se trate la red LTE debe estar en la capacidad de manejar una transmisión por *multicast* (radiodifusión) o *unicast* (VoD)

- *Parámetros de QoS y objetivos:* Los parámetros de QoS y los valores objetivos para el servicio de IPTV se describen en detalle en el numeral 1.6 y están relacionados con el retardo, *jitter*, PLR y velocidad de transmisión de bits.
- *Esquemas de medición:* Para realizar la medición de la calidad del servicio en la red se recomienda usar los puntos de monitoreo de desempeño descritos en el numeral 4.3.
- *Pautas de reacción:* Es un proceso que se activa cuando que no se cumplen los compromisos sobre las características del tráfico ni los parámetros de QoS. Con mayor generalidad, una reacción se puede describir como un proceso que está caracterizado por entradas, salidas y limitaciones [103]. En el lado entrada están las mediciones tomadas sobre el tráfico y la QoS con el fin de comprobar si se están produciendo situaciones de interrupción, averías, tráfico entrante que no cumple las características del tráfico acordadas, QoS insuficiente. Una vez obtenidas, las medidas se compilan y comparan con los valores objetivos en el SLA (limitaciones) [103]. En función de los resultados de la comparación y de los recursos disponibles, finalmente, se individualiza la salida de la reacción definiendo los procesos a seguir para restablecer la QoS en servicio de IPTV [103].

Por ello, con el fin de reaccionar efectivamente ante situaciones en las cuales haya degradación en la prestación del servicio de IPTV sobre redes LTE, se puede realizar la gestión del servicio basándose en las buenas prácticas recomendadas por ITIL tal y como se expone en el numeral 4.7, pero definiendo tiempos de respuesta que deberán ser evaluados por cada operador según sus capacidades operativas y, si existe, por la normatividad que regule el servicio de IPTV móvil en el país o región en donde se desee prestar el servicio.

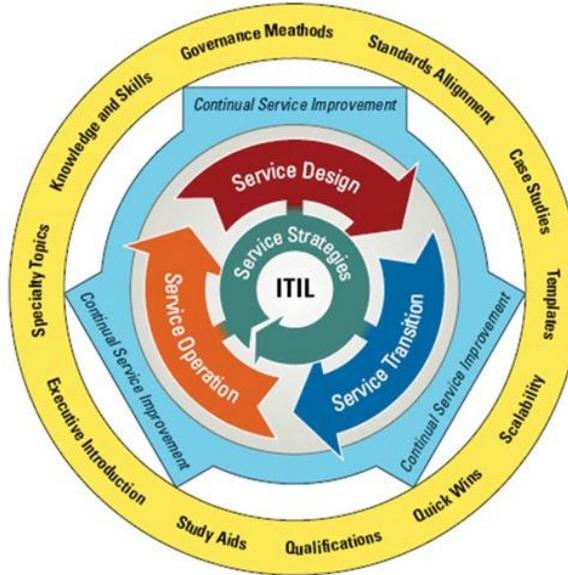
4.7 Gestión del servicio de IPTV en redes LTE basado en las buenas prácticas recomendadas por ITIL

En ITIL se define la gestión de servicios como un conjunto de capacidades organizativas especializadas para la provisión de valor a los clientes en forma de servicios [107]. Por lo cual una correcta gestión del servicio requerirá conocer las necesidades del cliente; estimar la capacidad y recursos necesarios para la prestación del servicio; establecer los niveles de calidad del servicio; supervisar la prestación del servicio; y establecer mecanismos de mejora y evolución del servicio [74]. De esta forma, utilizar las buenas prácticas definidas por ITIL para la gestión del servicio de IPTV contribuye a mejorar la calidad de los servicios de IPTV ofrecidos a los usuarios, evitar los problemas asociados la prestación del servicio de IPTV y en caso de que estos ocurran ofrecer un marco de actuación para que estos sean solucionados con el menor impacto y a la mayor brevedad posible.

4.7.1 Ciclo de vida de los servicios definido por ITIL

La versión 3 de ITIL estructura la gestión de los servicios sobre el concepto de ciclo de vida de los servicios como se ilustra en la Figura 4-4. Este enfoque tiene como objetivo ofrecer una visión global de la vida de un servicio desde su diseño hasta su eventual abandono sin por ello ignorar los detalles de todos los procesos y funciones involucrados en la eficiente prestación del mismo [74].

Figura 4-4: Ciclo de vida de los servicios definido por ITIL [107]



El ciclo de vida del servicio de ITIL V3 consta de cinco fases que se describen a continuación [74]:

- *Estrategia del Servicio:* propone tratar la gestión de servicios no sólo como una capacidad sino como un activo estratégico. Se encarga de los objetivos y expectativas generales de negocios para asegurar que la estrategia de TI se correlaciona con ellos. Está conformada por los procesos de estrategia del servicio, gestión financiera, gestión de la demanda y gestión del portafolio de servicios.
- *Diseño del Servicio:* cubre los principios y métodos necesarios para transformar los objetivos estratégicos en portafolios de servicios y activos. Esta fase inicia con un conjunto de requisitos de negocio nuevos o modificados y termina con el desarrollo de una solución diseñada para satisfacer las necesidades documentadas del negocio. El objetivo del diseño es satisfacer los requerimientos actuales y futuros del negocio. Incluye los procesos de gestión del catálogo de servicio; gestión de niveles de servicio; gestión de la capacidad; gestión de la disponibilidad; gestión de la continuidad del servicio de TI; gestión de la seguridad de la información; y gestión de proveedores.
- *Transición del Servicio:* es la fase de desarrollo y mejoramiento de capacidades para la transición de servicios nuevos y modificados hacia producción, con base a los diseños del servicio de manera que la operación del servicio pueda administrar los servicios y la infraestructura de una manera controlada. Se ocupa de los procesos de gestión de cambios, gestión de la configuración y de los activos del servicio; gestión de versiones y liberación; planeación y soporte de la transición; validación y prueba del servicio; evaluación; y gestión del conocimiento.
- *Operación del Servicio:* se ocupa del negocio como una actividad cotidiana. Es la fase de alcanzar efectividad y eficiencia en la provisión y soporte de servicios con el fin de asegurar valor para

el cliente y el proveedor de servicio. Tiene los procesos de gestión de eventos; gestión de Incidentes; gestión de solicitudes; gestión de problemas; y gestión de accesos. Además en esta fase se incluye funciones como el centro de servicio al usuario; gestión tecnológica; gestión de las operaciones de TI; y gestión de aplicaciones.

- *Mejora Continua del Servicio:* proporciona una guía para la creación y mantenimiento del valor para el cliente por medio del diseño de mejoras a los procesos y a la entrega del servicio. Su propósito es realinear los servicios de TI a las necesidades cambiantes del negocio a través de la implementación de mejoras. Esta fase está basada en modelo Planear, Hacer, Verificar y Actuar. Consta de los procesos de medición del servicio; reporte del servicio; y mejora del servicio.

De los procesos incluidos en las fases del ciclo de vida del servicio definido por ITIL a continuación se amplían aquellos que están relacionados con garantizar una adecuada entrega del servicio de IPTV manteniendo los objetivos de QoS establecidos en los SLA, y aquellos que permitan actuar ante situaciones donde haya una afectación en la prestación del servicio de IPTV sobre las redes LTE.

4.7.2 Diseño del servicio

4.7.2.1 Gestión de Niveles de Servicio

Se ocupa de acordar y garantizar los niveles de calidad de los servicios de IPTV prestados. En este proceso es importante conocer las necesidades de los clientes en cuanto al servicio de IPTV; definir correctamente los servicios de IPTV ofrecidos; y monitorear la calidad del servicio de IPTV respecto a los objetivos establecidos en los SLA con clientes y proveedores [74].

4.7.2.2 Gestión de la Capacidad

Se encarga de garantizar que el proveedor del servicio y el proveedor de red disponen de la capacidad suficiente para prestar los servicios de IPTV asociados. Las responsabilidades de este proceso son asegurar que se cubren las necesidades de capacidad tanto presentes como futuras; controlar el rendimiento de la infraestructura de red LTE y del servicio de IPTV; desarrollar planes de capacidad asociados a los niveles de servicio acordados; y gestionar y racionalizar la demanda de servicios de IPTV [74].

4.7.2.3 Gestión de la Disponibilidad

Se encarga de garantizar que se cumplen los niveles de disponibilidad acordados en los SLA para la prestación del servicio de IPTV. Las responsabilidades de este proceso son determinar los requisitos de disponibilidad en estrecha colaboración con los clientes; garantizar el nivel de disponibilidad establecido para los servicios de IPTV; monitorizar la disponibilidad de los sistemas de IPTV; proponer mejoras en la infraestructura de la red LTE y servicios IPTV con el objetivo de aumentar los niveles de disponibilidad; supervisar el cumplimiento de los Acuerdos de Nivel de Operación (OLA, *Operational Level Agreement*) y los Contratos de Soporte (UC, *Underpinning Contract*) acordados con proveedores internos y externos [74].

Los indicadores clave sobre los que se sustenta el proceso de Gestión de la Disponibilidad son [74]:

- *Disponibilidad:* porcentaje de tiempo sobre el total acordado en que los servicios de IPTV han sido accesibles al usuario y han funcionado correctamente. Se debe poner a disposición de los clientes informes de disponibilidad que incluyan el tiempo medio de reparación (MTTR), tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio entre incidentes (MTBSI).
- *Fiabilidad:* medida del tiempo durante el cual los servicios de IPTV han funcionado correctamente de forma ininterrumpida.
- *Capacidad de mantenimiento:* capacidad de recuperar el servicio de IPTV en caso de interrupción.
- *Capacidad de Servicio:* determina la disponibilidad de los servicios internos y externos contratados y su adecuación a los OLA y UC vigentes.

4.7.2.4 Gestión de la Continuidad del Servicio

Se encarga de establecer planes de contingencia que aseguren la continuidad del servicio en un tiempo predeterminado con el menor impacto posible en los servicios de carácter crítico **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Las responsabilidades de este proceso son garantizar la pronta recuperación de los servicios (críticos) de IPTV tras un desastre; y establecer políticas y procedimientos que eviten, en la medida de lo posible, las perniciosas consecuencias de un desastre o causa de fuerza mayor [74].

4.7.3 Transición del Servicio

4.7.3.1 Gestión de Cambios

Responsable de supervisar y aprobar la introducción o modificación de los servicios prestados garantizando que todo el proceso ha sido convenientemente planificado, evaluado, probado, implementado y documentado [74]. Las principales razones para la realización de cambios en la infraestructura de red LTE y del servicio de IPTV son la solución de errores conocidos; desarrollo de nuevos servicios; mejora de los servicios existentes; e imperativo legal. El objetivo principal de este proceso es la evaluación y planificación del proceso de cambio para asegurar que, si éste se lleva a cabo, se haga de la forma más eficiente, siguiendo los procedimientos establecidos y asegurando en todo momento la calidad y continuidad del servicio de IPTV.

4.7.3.2 Gestión de la Configuración y Activos del Servicio

Se encarga del registro y gestión de los elementos de configuración (CI, *Configuration Item*) y activos del servicio [74]. Los objetivos de este proceso son proporcionar información precisa y fiable al resto de la organización de todos los CI de la infraestructura de red LTE y del servicio de IPTV; mantener actualizada la Base de Datos de Gestión de Configuración (CMDB, *Configuration Management Database*) y Activos del servicio (registro actualizado de todos los CI (identificación, tipo, ubicación, estado, etc.), interrelación entre los CI, y los servicios que ofrecen los diferentes CI); servir de apoyo a los otros procesos, en particular, a la Gestión de Incidencias, Problemas y Cambios [74].

4.7.3.3 Gestión de Versiones y Liberación

Se encarga de desarrollar, probar e implementar las nuevas versiones del hardware y software involucrado en la prestación de servicios de IPTV según las directrices marcadas en la fase de Diseño del Servicio [74]. Este proceso debe asegurar, en colaboración con la Gestión de Cambios y la de Configuración y Activos TI, que todos los cambios se ven correctamente reflejados en la CMDB [74].

4.7.3.4 Validación y Pruebas del Servicio

Se encarga de garantizar que los servicios cumplen los requisitos mínimos de calidad antes de su paso al entorno de producción, y que no van a provocar ningún error inesperado cuando estén operativas [74]. Para lograr este objetivo este proceso se encarga de diseñar y mantener un entorno de pruebas, es decir, una réplica exacta del escenario en el que el servicio desarrolla su actividad; conocer en detalle las funcionalidades del servicio y mantener listados actualizados de todos los casos de uso para poder hacer chequeos completos; conocer en detalle los requisitos de calidad del servicio acordados con el cliente para poder garantizar que las nuevas versiones los cumplen; y planificar y llevar a cabo un cronograma de pruebas que cubra todas las funcionalidades registradas para el servicio [74].

4.7.3.5 Evaluación

Es un proceso transversal que se ocupa de evaluar la calidad general de los servicios, su rentabilidad, su utilización, la percepción de sus usuarios, entre otros, con el fin de generar un informe completo al respecto [74]. De esta forma, el objetivo principal de este proceso consiste en proporcionar la información suficiente para determinar con seguridad si un aspecto del servicio es útil para el negocio, ya sea porque incrementa su calidad o porque proporciona una mejora en la productividad. No debe confundirse esta labor con la de verificar si el servicio cumple los requisitos mínimos de calidad, eficacia y utilidad, que corresponde al proceso de Validación y Pruebas del Servicio [74].

4.7.3.6 Gestión del Conocimiento

Gestiona toda la información relevante a la prestación de los servicios asegurando que esté disponible para los agentes implicados en su concepción, diseño, desarrollo, implementación y operación. Este proceso puede colaborar estrechamente con otros procesos para documentar y analizar [74]:

- Los errores detectados y las soluciones aportadas en cada caso, principalmente desde la Gestión de Incidencias y Errores. De esta manera, puede confeccionarse un registro que ayuda a minimizar el tiempo de catalogación y solución de los mismos en el futuro. Asimismo, la Gestión de Problemas puede hacer un seguimiento del histórico de errores, establecer relaciones y determinar con mayor facilidad las causas de los mismos.
- La Gestión de Cambios aportará documentación sobre las propuestas de cambio llegadas desde la fase de Mejora Continua del Servicio, tanto si han sido pre-aprobadas como si se han descartado.
- La información relativa a las posibles consecuencias del error, que puede proporcionar al Centro de Servicios la posibilidad de anticiparse al cliente.

La Gestión del Conocimiento es la encargada, por último, de centralizar toda esta información en un repositorio denominado Sistema de Gestión del Conocimiento del Servicio (SKMS, *Service Knowledge Management System*) [74].

4.7.4 Operación del Servicio

4.7.4.1 Gestión de Eventos

Una vez que el servicio está operando es necesario monitorear todos los eventos que acontezcan en la infraestructura de red LTE y del servicio de IPTV con el objetivo de asegurar su correcto funcionamiento y ayudar a prever incidencias futuras. Sin embargo, los eventos no tienen por qué ser siempre negativos o extraordinarios, también pueden ser rutinarios. Un aspecto clave en la Gestión de Eventos es, como resulta evidente, un monitoreo adecuado y unos sistemas de control efectivos, por lo cual se encuentran dos tipos de herramientas [74]:

- *Herramientas de monitoreo activa*: se comprueban los CI uno a uno para verificar su estado y disponibilidad. Si detecta excepciones, la herramienta de monitoreo genera una alerta y la envía al equipo o mecanismo de control asignado.
- *Herramientas de monitoreo pasiva*: detectan y correlacionan alertas operacionales generadas por los propios CI.

Además de detectar y notificar los sucesos, este proceso se encarga de clasificarlos y dimensionar su impacto en el servicio. También se ocupa también de documentar el evento y derivarlo al proceso correspondiente para que tome medidas según corresponda [74]. En caso de que el evento suponga una interrupción no planificada del servicio o fallos en uno o más CI, al proceso de Gestión de Incidentes [74]:

- Si un incidente se repite a menudo y no se conoce la causa que la provoca, al proceso de Gestión de Problemas.
- Finalmente, este proceso envía a la Gestión de Cambios, a través de la Mejora Continua del Servicio, nuevas solicitudes de cambio basadas en la correlación de eventos; y posibilita la comparación entre el rendimiento real del servicio con los estándares de diseño y los SLA.

4.7.4.2 Gestión de Incidentes

Se encarga de registrar todos los incidentes que afecten a la calidad del servicio de IPTV y restaurarlo a los niveles acordados de calidad de la manera más rápida y eficaz posible. Un incidente se define como cualquier evento que no forma parte de la operación estándar de un servicio y que causa, o puede causar, una interrupción o una reducción de calidad del mismo [74]. Los objetivos principales de este proceso son detectar cualquier alteración en los servicios; registrar y clasificar estas alteraciones; y asignar el personal encargado de restaurar el servicio según se define en el SLA correspondiente [74]. El proceso de Gestión de Incidentes está conformado por las actividades de clasificación, registro, análisis, resolución y cierre. Adicionalmente debe llevarse a cabo la correcta elaboración de informes los cuales deben aportar información esencial para [74]:

- *La Gestión de Niveles de Servicio:* es esencial que los clientes dispongan de información puntual sobre los niveles de cumplimiento de los SLA y que se adopten medidas correctivas en caso de incumplimiento.
- *Monitorear el rendimiento del Centro de Servicios:* conocer el grado de satisfacción del cliente por el servicio prestado y supervisar el correcto funcionamiento de la primera línea de soporte y atención al cliente.
- *Optimizar la asignación de recursos:* los gestores deben conocer si el proceso de escalado ha sido fiel a los protocolos pre-establecidos y si se han evitado duplicidades en el proceso de gestión.
- *Identificar errores:* puede ocurrir que los protocolos especificados no se adecuen a la estructura de la organización o las necesidades del cliente, por lo que se deberán tomar medidas correctivas.
- *Disponer de Información Estadística:* que puede ser utilizada para hacer proyecciones futuras sobre asignación de recursos, costos asociados al servicio, etc.

Por otro lado una correcta Gestión de Incidentes requiere de una infraestructura que facilite su correcta implementación. Entre ellos cabe destacar [74]:

- Un correcto sistema automatizado de registro de incidentes y relación con los clientes.
- Un SKMS que permita comparar nuevos incidentes con incidentes ya registrados y resueltos. Un SKMS actualizado permite:
 - Evitar escalados innecesarios.
 - Convertir el *know how* de los técnicos en un activo duradero de la empresa.
 - Poner directamente a disposición del cliente parte o la totalidad de estos datos, lo que puede permitir que a veces el usuario no necesite notificar el incidente.
- Una CMDB que permita conocer todas las configuraciones actuales y el impacto que éstas puedan tener en la resolución del incidente.

Para el correcto seguimiento de todo el proceso, es indispensable la utilización de métricas que permitan evaluar de la forma más objetiva posible el funcionamiento del servicio. Algunos de los aspectos clave a considerar son **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

- Número de incidentes clasificados temporalmente y por prioridades.
- Tiempos de resolución clasificados en función del impacto y la urgencia de los incidentes.
- Nivel de cumplimiento del SLA.
- Costos asociados.
- Uso de los recursos disponibles en el Centro de Servicios.
- Porcentaje de incidentes, clasificados por prioridades, resueltos en primera instancia por el Centro de Servicios.
- Grado de satisfacción del cliente

4.7.4.3 Gestión de Peticiones

Se encarga de gestionar las peticiones de usuarios y clientes que habitualmente requieren pequeños cambios en la prestación del servicio [74]. Es importante aclarar que la petición de servicio, es un concepto que engloba las solicitudes que los usuarios realizan como solicitudes de información o consejo; peticiones de cambios estándar (por ejemplo cuando el usuario olvida su contraseña y solicita una nueva); y peticiones de acceso a servicios [74]. Los objetivos de este proceso son proporcionar un canal de comunicación a través del cual los usuarios puedan solicitar y recibir servicios estándar para los que existe una aprobación previa; brindar información a los usuarios y clientes sobre la disponibilidad de los servicios y el procedimiento para obtenerlos; localizar y distribuir los componentes de servicios estándar solicitados; y ayudar a resolver quejas o comentarios ofreciendo información general [74].

4.7.4.4 Gestión de Problemas

Se encarga de analizar y ofrecer soluciones a aquellos incidentes que por su frecuencia o impacto degradan la calidad del servicio de IPTV [74]. Las funciones principales de este proceso son investigar las causas subyacentes a toda alteración, real o potencial, del servicio de IPTV; determinar posibles soluciones a las mismas; proponer las Solicitudes de Cambio (RFC, *Request For Change*) necesarias para restablecer la calidad del servicio; realizar Revisiones Post-Implementación (PIR, *Post Implementation Review*) para asegurar que los cambios han surtido los efectos buscados sin crear problemas de carácter secundario [74]. La Gestión de Problemas puede ser [74]:

- *Reactiva*: Analiza los incidentes ocurridos para descubrir su causa y propone soluciones a los mismos.
- *Proactiva*: Monitoriza la calidad de la infraestructura TI y analiza su configuración con el objetivo de prevenir incidentes incluso antes de que éstos ocurran.

Cuando algún tipo de incidente se convierte en recurrente o tiene un fuerte impacto en la infraestructura de la red LTE y del servicio de IPTV, es la función de la Gestión de Problemas el determinar sus causas y encontrar posibles soluciones. También se debe diferenciar entre [74]:

- *Problema*: causa subyacente, aún no identificada, de una serie de incidentes o un incidente aislado de importancia significativa.
- *Error conocido*: Un problema se transforma en un error conocido cuando se han determinado sus causas.

Las actividades de este proceso son la identificación y registro; la clasificación y asignación de recursos; el análisis y diagnóstico (error conocido). También tiene que llevar a cabo el [74]:

- *Control de Problemas*: se encarga de registrar y clasificar los problemas para determinar sus causas y convertirlos en errores conocidos.
- *Control de Errores*: registra los errores conocidos y propone soluciones a los mismos mediante RFC que son enviadas a Gestión de Cambios. Del mismo modo, efectúa la revisión post-implementación de los mismos en estrecha colaboración con Gestión de Cambios.

En particular, una apropiada gestión de problemas debe traducirse en una [74]:

- Disminución del número de incidentes y una más rápida resolución de los mismos.
- Mayor eficacia en la resolución de problemas.
- Gestión proactiva, que permita identificar problemas potenciales antes de que éstos se manifiesten o provoquen una seria degradación de la calidad del servicio.

La correcta elaboración de informes permite evaluar el rendimiento de la Gestión de Problemas y aporta información de vital importancia a otras áreas de la infraestructura. Entre la documentación generada se puede destacar [74]:

- *Informes de Rendimiento de la Gestión de Problemas*: donde se detalle el número de errores resueltos, la eficacia de las soluciones propuestas, los tiempos de respuesta y el impacto en la Gestión de Incidencias
- *Informes de Gestión Proactiva*: donde se especifiquen las acciones ejercidas para la prevención de nuevos problemas y los resultados de los análisis realizados sobre la adecuación de las estructuras TI a las necesidades de la empresa.
- *Informes de Calidad de Productos y Servicios*: donde se evalúe el impacto en la calidad del servicio de los productos y servicios contratados y que eventualmente pueda permitir adoptar decisiones informadas sobre cambios de proveedores, etc.

4.7.5 Mejora continua del servicio

4.7.5.1 Proceso de Mejora Continua del Servicio (CSI)

Describe como se deben medir la calidad y rendimiento de los procesos para generar los informes adecuados que permitan la creación de un plan de mejora del servicio [74]. Este proceso implementa el ciclo de *Deming* (Planificar (*Plan*), Hacer (*Do*), Verificar (*Check*) y Actuar (*Act*)) para la mejora de los servicios [74]. El proceso CSI permite a la organización conocer en profundidad la calidad y rendimiento de los servicios ofrecidos; y detectar oportunidades de mejora; proponer acciones correctivas; y supervisar su implementación. Adicionalmente, para que el proceso CSI sea efectivo tiene que adaptarse a la visión y estrategia del negocio. Sin unos objetivos claros es imposible determinar cuáles han de ser los aspectos prioritarios en el proceso de mejora y la organización puede terminar volcando sus esfuerzos en aspectos irrelevantes para el desarrollo del negocio [74].

El proceso CSI se compone de siete pasos que permiten, a partir de los datos obtenidos, elaborar el plan de mejora del servicio [74]:

- Paso 1: ¿Qué se debe medir?
- Paso 2: ¿Qué se puede medir?
- Paso 3: Recopilar los datos necesarios.
- Paso 4: Procesar los datos (información).
- Paso 5: Analizar los datos (conocimiento).
- Paso 6: Proponer medidas correctivas (sabiduría).

- Paso 7: Implementar las medidas correctivas.

4.7.5.2 Reportes del Servicio

Se encarga de la generación de los informes que permitan evaluar los servicios ofrecidos y los resultados de las mejoras propuestas [74]. Tiene como principal objetivo proporcionar a todos los agentes implicados en la gestión de los servicios una visión objetiva, basada en datos y métricas, de la calidad y desempeño de los servicios prestados [74]. Este proceso tiene como entrada los datos recopilados a través de toda la organización y ofrece como salida una serie de informes que aporten el conocimiento necesario para implementar mejoras funcionales, estructurales o para el negocio. La Gestión de Informes es esencial para [74]:

- Garantizar que todos los responsables de la gestión de procesos TI disponen del conocimiento necesario para tomar decisiones informadas.
- Se dispone de todas las métricas necesarias para evaluar de forma global la calidad de los servicios prestados.
- Crear un marco unificado para la generación y difusión de informes que simplifique el acceso a la información.

Las principales actividades de la Gestión de Informes de servicios TI se resumen en la selección y recopilación de los datos necesarios para la generación de informes; el procesado y análisis de los datos para su posterior uso; la preparación de los contenidos para los diferentes interesados; y la publicación de los informes predeterminados [74].

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- En IPTV la calidad en los contenidos entregados a los usuarios se ve afectada por diferentes parámetros de desempeño a nivel de red como el retardo, variación del retardo (*jitter*), pérdida de paquetes y *throughput*, los cuales deben ser asegurados en sus valores mínimos para garantizar que la calidad percibida por los usuarios sea la apropiada. Por ello, se deben realizar las configuraciones adecuadas a los mecanismos de QoS ofrecidos por los protocolos de comunicaciones para contribuir a mejorar el desempeño de la red sobre todo cuando se transmiten flujos de paquetes asociados a servicios y aplicaciones con requisitos de calidad distintos.
- El despliegue del servicio de IPTV sobre redes 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-A se perfilan como redes idóneas para el despliegue de este servicio puesto que son arquitecturas completamente IP (*all-IP*) capaces de ofrecer altas velocidades de acceso, mejorar la eficiencia espectral, reducir el retardo y proporcionar QoS de extremo a extremo a los flujos en tiempo real.
- La arquitectura propuesta para la implementación de servicio de IPTV sobre redes LTE/LTE-A se basa en el uso del IMS como componente esencial para el control de sesiones, el lanzamiento del servicio, mecanismos de AAA, la aplicación de políticas de calidad, el control de admisión y la gestión de recursos. También en la arquitectura se plantea la inclusión del servicio de multidifusión y difusión de multimedia (MBMS) de las redes LTE/LTE-A para optimizar el uso del espectro radioeléctrico y los recursos de la red obteniendo con ello que una mayor cantidad de usuarios puedan acceder a los servicios básicos de IPTV.
- El servicio de conectividad IP proporcionado por las redes LTE/LTE-A soporta calidad de servicio (QoS) logrando que los paquetes de datos de una determinada conexión PDN puedan ser tratados de forma diferenciada para adaptarse a las necesidades de transmisión de cada uno de los servicios a los cuales un usuario puede acceder. Esto permite que las redes LTE/LTE-A soporten múltiples servicios con diferentes requisitos de desempeño garantizando a los usuarios una adecuada experiencia de uso de los servicios y a los operadores móviles una gestión eficiente de los recursos de red. Adicionalmente, la configuración de la QoS permite que los operadores de red puedan llevar a cabo determinadas estrategias de negocio con base a

la diferenciación de usuarios (el tráfico de datos de los usuarios corporativos podrá tener mayor prioridad sobre el tráfico de los usuarios residenciales)

- En las redes LTE/LTE-A, el modelo de QoS que se utiliza para definir el comportamiento de un servicio portador EPS dedicado o MBMS, y se basa en un máximo de cuatro parámetros (QCI, ARP, GBR y MBR) complementados con dos parámetros relacionados con la suscripción del usuario (UE-AMBR y APN-AMBR). Estos parámetros de QoS pueden ser definidos mediante la gestión de políticas de calidad de servicio que permitirán a los operadores de las redes LTE/LTE-A establecer el comportamiento en los elementos de red para que puedan identificar los flujos de paquetes asociados al servicio de IPTV y con esto dar el tratamiento preferente para garantizar los recursos necesarios y que los objetivos de calidad estén dentro de los niveles aceptables para la entrega de servicios de IPTV. Estas políticas de calidad se pueden definir mediante reglas PCC en el PCRF de la capa de control de la arquitectura propuesta en la Figura 2-4.
- El análisis de las alternativas de funcionamiento de la red LTE para prestación del servicio de IPTV con QoS arroja como resultado los diagramas de secuencia para la prestación de servicios de IPTV y la configuración de los parámetros de QoS para la red LTE según el tipo de servicio de IPTV solicitado por el usuario. De este modo, si se trata de un servicio de IPTV básico en la red LTE se conforma un servicio portador MBMS al que se establece la configuración de los parámetros de QoS mostrados en la Tabla 2-5 y al que se unirán todos los usuarios que accedan al mismo servicio; pero si se trata de un servicio de IPTV de VoD, en la red LTE, para cada usuario se establece un portador dedicado al cual se le puede aplicar la configuración de los parámetros de QoS presentados en la Tabla 2-6.
- En un sistema de IPTV es importante establecer los puntos de monitoreo que permitan a los operadores de red y proveedores del servicio supervisar el desempeño del servicio de extremo a extremo. Con esto es posible proporcionar a los usuarios finales de servicios de IPTV una alta experiencia de uso mediante la identificación, localización y cuantificación de los problemas del servicio y de la red. De esta manera, el despliegue exitoso de los servicios de IPTV sobre las redes LTE requiere que se monitoree el desempeño en los puntos de interconexión entre el operador de la red LTE y proveedor del servicio de IPTV; en los puntos de conexión entre el núcleo y la red de acceso; en los puntos de agregación; y en los dispositivos usados por los usuarios finales para acceder al servicio de IPTV.
- En la red LTE, los mecanismos de gestión de tráfico se implementan en las capas de acceso y transporte mediante los portadores de servicio EPS, los cuales fueron simulados en los escenarios planteados para la evaluación de los parámetros de desempeño y cuya configuración arroja resultados aceptables para el despliegue del servicio de IPTV con QoS. Según los resultados de las simulaciones, en la planificación de tráfico de IPTV en la red LTE se recomienda usar el algoritmo M-LWDF puesto que ofrece para este tipo de tráfico el mejor comportamiento de los parámetros de desempeño ante el crecimiento en el número de usuarios y variación en la velocidad de desplazamiento de los mismos. M-LWDF soporta múltiples datos de usuarios con diferentes requisitos de QoS, y además fue diseñado especialmente para manejar los flujos de paquetes de aplicaciones multimedia garantizando un bajo retardo según las condiciones del canal. Por ello es posible que dicha configuración

pueda servir de referencia para la construcción de una red LTE para soportar la entrega de servicios de IPTV.

- Para asegurar una transmisión con el menor número de errores que puedan afectar la calidad de los contenidos de IPTV es posible configurar la técnica AMC para permitir al eNB la selección, durante el procedimiento de asignación de recursos, de la modulación y esquema de codificación adecuado para el flujo paquetes que tiene que ser programado. Para maximizar la eficiencia espectral, el esquema MCS se elegirá teniendo en cuenta el último valor de CQI enviado por el UE. Por ello, también es deseable la medición del valor CQI el cual se obtiene como una versión cuantificada de la SINR estimada. El CQI es usado por el UE para informar a la eNB la mayor tasa de datos que se puede lograr en un sub-canal dado, garantizando al mismo tiempo una BLER menor o igual al valor objetivo.
- Realizar un acuerdo de nivel de servicio (SLA) entre el usuario final y el proveedor del servicio IPTV donde se especifique el nivel de disponibilidad, entrega de servicios, funcionamiento, operación, compensaciones de facturación u otros atributos del servicio de IPTV. La parte del SLA que se refiere a la QoS se denomina acuerdo de QoS e incluye un programa formal acordado entre dos entidades para verificar, medir y determinar los parámetros de QoS para el servicio de IPTV. En el SLA se deben establecer los parámetros de QoS y los valores que definen el servicio de IPTV ofrecido al usuario.
- Utilizar las buenas prácticas definidas por ITIL para la gestión del servicio de IPTV puesto que contribuyen a mantener y mejorar la calidad de los servicios de IPTV ofrecidos a los usuarios, evitar los problemas asociados la prestación del servicio de IPTV y en caso de que estos ocurran ofrecen un marco de actuación para que estos sean solucionados con el menor impacto y en el menor tiempo posible cumpliendo con los SLA definidos con los usuarios. De los procesos incluidos en las fases del ciclo de vida del servicio definido por ITIL se describieron aquellos que están relacionados con garantizar una adecuada entrega del servicio de IPTV manteniendo los objetivos de QoS y aquellos que permitan actuar ante situaciones donde haya una afectación en la prestación del servicio de IPTV sobre las redes LTE.

5.2 Recomendaciones

- La televisión sobre IP proporciona nuevas posibilidades para el desarrollo de aplicaciones interactivas a sus abonados, por lo cual se pueden realizar estudios y modelados de aplicaciones que permitiría analizar la entrega de contenidos y el consumo de recursos en la red LTE para aplicaciones de IPTV en las áreas de la educación, comercio, salud, entretenimiento e información. Las aplicaciones de IPTV interactivas tienen como requisito que se garantice la QoS tanto en UL como en DL.
- Desarrollar un módulo para la herramienta *LTE-Sim* que permita la simulación de portadores MBMS para la evaluación del desempeño de implementación los servicios básicos de IPTV sobre la red LTE.

- Implementar la configuración de los parámetros de QoS establecidos en este trabajo de investigación, en un ambiente real con la mayor parte de los elementos de la arquitectura propuesta para la entrega de servicios de IPTV sobre redes LTE y así evaluar el consumo de recursos en dicha red.

A. Anexo: Requisitos de las IMT-Advanced y tecnologías clave de LTE-A

A.1. Requisitos de las IMT-Advanced

Estos requerimientos definen las características de las redes de telecomunicaciones móviles internacionales avanzadas. Los requerimientos de alto nivel para las IMT-Advanced [60] que son soportados por LTE-A están el alto grado de uniformidad de la funcionalidad para soportar una amplia gama de servicios y aplicaciones de manera eficiente en costos; la compatibilidad de los servicios dentro de las IMT y con las redes fijas; la capacidad de inter-funcionamiento con otros sistemas de acceso por radio; los servicios móviles de alta calidad; los equipos de usuario adecuados para su uso en todo el mundo; las aplicaciones, servicios y equipos fáciles de usar; y la capacidad de *roaming* mundial. Adicionalmente a estos requerimientos de alto nivel, se tienen los requerimientos de desempeño de las IMT-Advanced los cuales en su mayoría fueron superados por LTE-A tales como:

- *Velocidad de datos pico*: Este parámetro deberá cumplir con 1Gbps para el canal descendente y 500 Mbps para el canal ascendente [60]. Con LTE-A se pueden lograr tasas pico de hasta 3 Gbps en DL y 1,5 Gbps en UL [61].
- *Retardo*: Para este parámetro se manejan dos tipos de retardo [60]:
 - *Retardo en el plano de control*: Tiene en cuenta el tiempo de transición entre los diferentes modos de conexión. El tiempo de transición de desde el modo pasivo a un estado activo debe ser menor a 100 ms, lo cual es cumplido por LTE-A en el plano de control.
 - *Retardo en plano de usuario*: También es conocido como el retardo de transporte y se define como el tiempo de transito en una dirección entre un paquete SDU disponible en la capa IP en el terminal de usuario/estación base y la disponibilidad de este paquete en la capa IP en la estación base/terminal de usuario. El retardo del plano de usuario incluye el retardo introducido por los protocolos asociados y el control de la señalización asumiendo que el equipo de usuario esta en estado activo. En condiciones sin carga (0 byte de *payload* + encabezado IP), los sistemas de IMT-Advanced deberán ser capaces de alcanzar el retardo en el plano de usuario menor que 10ms tanto para DL como para UL. Este parámetro también es garantizado por las redes LTE-A.
- *Eficiencia espectral de celda*: Se define como tasa de transferencia efectiva (*throughput*) de todos los usuarios divididos por el ancho de banda del canal sobre el número de celdas. Este valor esta normalizado y se mide en bps/Hz/cell [60]. En la Tabla 2-3 se pueden observar los valores

obtenidos en LTE-A y su comparación con los requisitos de IMT-Advanced para este parámetro.

- *Eficiencia espectral pico*: Es la tasa de datos teórica más alta normalizada por el total del ancho de banda de la celda asumiendo condiciones libre de errores, cuando todos los recursos de radio disponibles para el enlace correspondiente (UL o DL) son asignado a un terminal móvil [60]. En la Tabla 2-3 se pueden observar los valores obtenidos en LTE-A y su comparación con los requisitos de IMT-Advanced para este parámetro.
- *Eficiencia espectral de usuario en el borde de la celda*: Se define como el 5% de la función distribución acumulada de la tasa de transferencia efectiva (*throughput*) de usuario normalizada sobre el ancho de banda. Se mide en bps/Hz [60]. En la Tabla 2-3 se pueden observar los valores obtenidos en LTE-A y su comparación con los requisitos de IMT-Advanced para este parámetro.
- *Movilidad*: El sistema soportara movilidad entre redes celulares hasta 350 Km/h (Tabla A-1)

Tabla A-1: Requerimientos de las IMT-Advanced para movilidad [60]

Velocidad	Movilidad	Calidad
0-15 Km/h	Baja movilidad	Optimizada
15-120 Km/h	Alta movilidad	Soportada con alto rendimiento
12-350 Km/h	Muy alta movilidad	Soporte funcional
350-500 Km/h		Bajo consideración

- *Cobertura*: El sistema debe estar enfocado en cumplir los requerimientos de cada uno de los apartados anteriores como se muestra en la Tabla A-2.

Tabla A-2: Requerimientos de las IMT-Advanced para cobertura [60]

Cobertura	Características
Por encima de 5 Km	Debe satisfacer el 100% cada uno de los requisitos de desempeño
Por encima de 10 Km	Puede haber degradación en los requisitos anteriores pero en movilidad
Por encima de 100 Km	No está tomada en cuenta en la especificación

- *Flexibilidad del espectro*: Es la capacidad de operar en diferentes bandas de frecuencia y con diferentes tamaños, hasta 100 MHz, además debe soportar los modos de transmisión FDD (*Frequency División Duplex*) y TDD (*Time División Duplex*) en bandas pareadas y no pareadas.

A pesar que no son críticas para las IMT-Advanced, las siguientes son otras características que incluyeron en LTE-A: retransmisión (*Relaying*), transmisión y recepción multipunto coordinadas (CoMP, *Coordinated Multipoint transmission and reception*), soporte para redes heterogéneas, mejora en la auto-optimización de la red LTE (SON, *Self-Optimizing Network*), mejora en la movilidad de los HeNB (*Home evolved Node B*) y la definición de los requerimientos de RF para los terminales fijos [55].

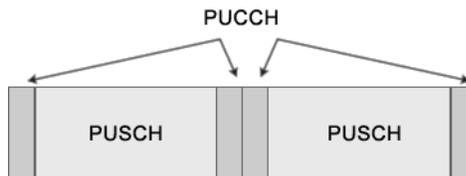
A.2. Tecnologías claves en LTE-A

A.2.1. Agregación de portadoras

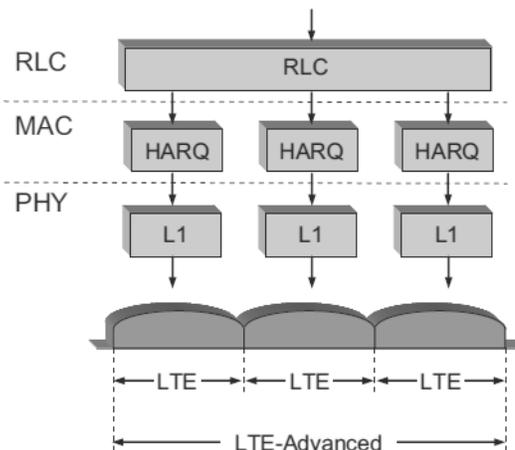
Para lograr velocidades de datos pico de hasta 1Gbps se requiere canales con mayor ancho de banda que los especificados en LTE *Release* 8. En las IMT-*Advanced* se establece un límite de hasta 100 MHz de ancho de banda del canal, con 40 MHz para lograr el rendimiento mínimo [10]. Es de tener en cuenta que LTE *Release* 8 soporta canales de 1,4, 3, 5, 10, 15 o 20 MHz de ancho de banda [10]. A dichos canales se les denomina portadoras de componente y se pueden agregar hasta un máximo de 5 portadoras.

Debido a que la mayor parte del espectro está ocupado y 100 MHz de espectro contiguo no está disponible para la mayoría de los operadores, la UIT ha permitido la creación de canales de mayor ancho de banda a través de la agregación de portadoras contiguas y no contiguas. Para cumplir con los requisitos de la UIT, LTE-A soporta tres escenarios de agregación de portadoras: contiguas intra-banda, no contiguas intra-banda y de agregación no contigua entre bandas [55]. En este sentido, el espectro de una banda se puede añadir con el espectro de otra banda en un UE que soporte múltiples transceptores. La Figura A-1 muestra un ejemplo de agregación contigua en la que dos canales de 20 MHz que se encuentran lado a lado. En este ejemplo el ancho de banda agregado cubre el requisito mínimo de 40 MHz y podría apoyarse con un único transceptor. Sin embargo, si los canales no fueran contiguos, es decir, no adyacentes o situado en bandas de frecuencia diferentes, entonces el UE deberá tener múltiples transceptores [55].

Figura A-1: Agregación contigua de dos portadoras en UL [55]

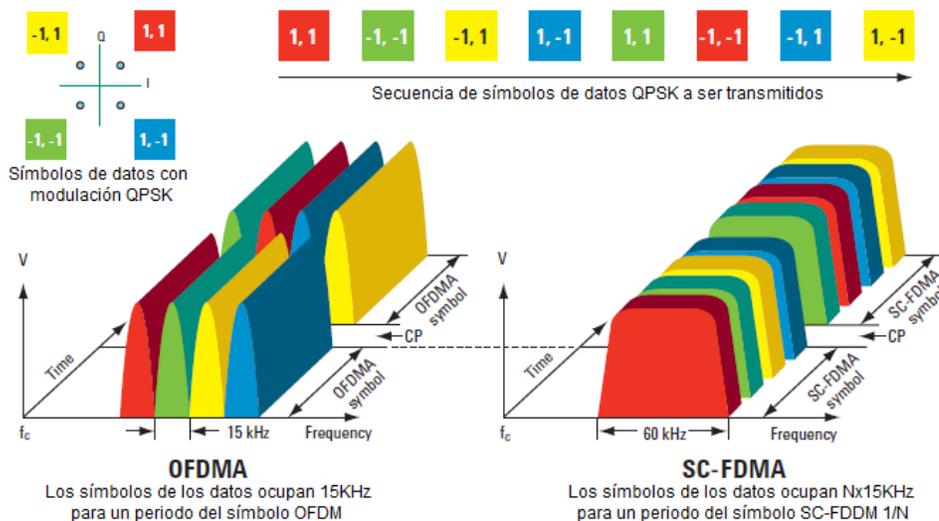


La agregación de componentes de portadora, se puede implementar en diferentes capas de la pila de protocolos. En LTE-A los datos de diferentes componentes de portadora se agrega encima de la capa MAC, ver Figura A-2. Esto implica que las retransmisiones ARQ-*Hybrid*, los esquemas demodulación y el tipo de código (QAM, 16QAM, 64QAM) se realizan independientemente para cada portadora agregada. Esta característica es útil para el caso de portadoras de componente agregadas que operan en diferentes bandas de frecuencia o con calidad del canal de radio variable para cada una.

Figura A-2: Agregación de portadoras en la pila de protocolos de LTE-A

A.2.2. Mejoras de las técnicas de acceso múltiple en UL

El UL de LTE R8 se basa en SC-FDMA (*Single Carrier – Frequency Division Multiple Access*), la cual combina la flexibilidad de OFDM con el bajo consumo de energético de un sistema de una única portadora [55]. Es de tener en cuenta que en OFDM los símbolos se transmiten en paralelo, mientras que en SC-FDMA los símbolos se transmiten en series a cuatro veces la velocidad. En este sentido, la señal OFDMA luce como una señal de múltiples portadora mientras que la señal SC-FDMA se observa como una señal de portadora simple (ver Figura A-3) [62]. Sin embargo, el SC-FDMA requiere la asignación de una portadora a través de un bloque contiguo de espectro y esto impide parte de la flexibilidad inherente a la programación pura de OFDM [55].

Figura A-3: Comparación de la señal OFDMA y SC-FDMA en frecuencia [62]

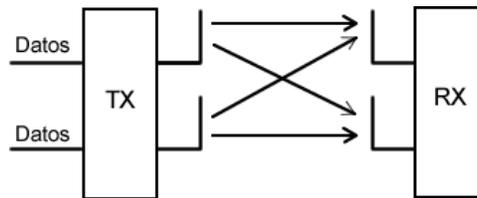
En LTE-A se mejora el esquema de acceso al múltiple del UL mediante la adopción de un clúster SC-FDMA, también conocido como DFT-S-OFDM (*Discrete Fourier Transform Spread OFDM*). Este esquema es similar al SC-FDMA, pero tiene la ventaja de que permite grupos de subportadoras no

contiguas (clúster) que son asignadas para la transmisión por un solo UE, permitiendo así al UL la programación selectiva de frecuencia y la mejora del rendimiento del enlace. El clúster SC-FDMA permite mantener la compatibilidad hacia atrás con LTE [55].

A.2.3. Mejoras en la transmisión por múltiples antenas

Los sistemas de antenas MIMO se utilizan para proporcionar mayores velocidades de datos y mejorar el desempeño general del sistema a través de la transmisión de dos (o más) flujos de datos diferentes en dos (o más) antenas – utilizando los mismos recursos tanto en frecuencia y tiempo, separados sólo por el uso de señales de referencia diferentes – para ser recibidos por dos o más antenas, como se puede ver en la Figura A-4 [10]. Sin embargo, MIMO se utiliza principalmente cuando la relación señal a ruido (S/N, *Signal to Noise*) sea alta, es decir, cuando la calidad del canal de radio sea muy buena. Para las situaciones con baja S/N, es mejor utilizar otros tipos de técnicas de transmisión por múltiples para mejorar la S/N, por ejemplo, transmisión por diversidad [10].

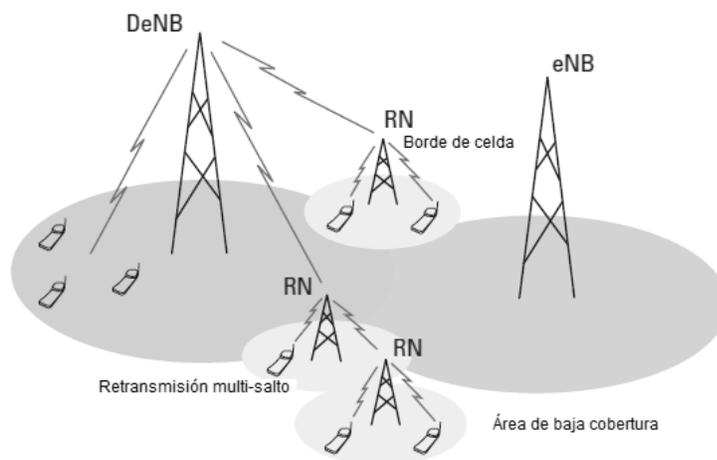
Figura A-4: Multiplexación espacial MIMO 2X2 [10]



En LTE-A se aumentó en el número de antenas de transmisión en comparación con las definidas en LTE Release 8. Para el DL en LTE-A se utiliza una configuración de antenas MIMO 8X8 permitiendo una eficiencia espectral pico superior a 30 bps/Hz y tasas de datos por encima de 1 Gbps usando un canal de 40 MHz ancho de banda [10]. En LTE-A también es posible lograr tasas de datos mayores con canales de ancho de banda más amplios (hasta 3 Gbps en DL y 1.5 Gbps en UL). Por su parte en UL, LTE-A incluye multiplexación espacial de hasta cuatro capas (MIMO 4X4), logrando así una eficiencia espectral pico que supera los 15 bps/Hz [10].

A.2.4. Nodos de retransmisión (RN)

En LTE-A, la posibilidad por la planificación eficiente de una red heterogénea, es decir, una mezcla de celdas grandes y pequeñas, se incrementa por la introducción de los nodos de retransmisión (RN, *Relay Nodes*) [10]. Los RN son estaciones base de baja potencia que se encargan de recibir, amplificar y retransmitir las señales de UL y DL hacia zonas de pobre cobertura. El RN podría ubicarse en el borde de la celda o en alguna otra área de baja cobertura tal y como se muestra en la Figura A-5. Los RN son dispositivos relativamente simples que operan a nivel de RF [55].

Figura A-5: Nodos de retransmisión (RN) [55]

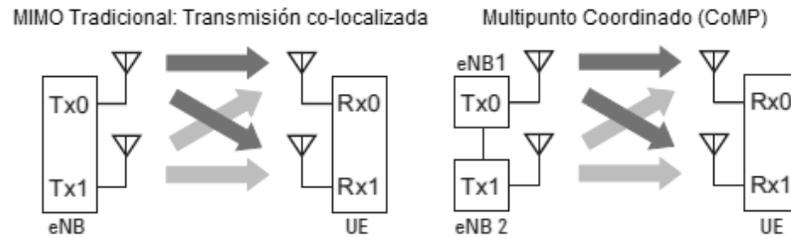
El RN se conecta al eNB donante (DeNB, *Donor eNB*) a través de una interfaz de radio, la U_n , que es una modificación de la interfaz de radio U_u de la E-UTRAN. De ahí que los recursos de radio de la celda donante son compartidos entre los UE servidas directamente por el DeNB y los RN [10]. Es por ello que los RN pueden mejorar la cobertura pero no incrementar sustancialmente la capacidad [55]. El RN será en gran medida compatible con las mismas funcionalidades que el eNB, sin embargo el DeNB será responsable de la selección MME [10].

Los RN más avanzados en capa 2 pueden decodificar las transmisiones antes de retransmitirlas. De esta forma, el tráfico puede ser enviado selectivamente hacia y desde el UE local al RN para minimizar la interferencia creada por los RN legados que envían todo el tráfico. Dependiendo de la pila de protocolos implementada por el RN, se puede crear un enrutador inalámbrico de Capa 3 que opere de la misma manera que un eNB, utilizando el estándar de protocolos de la interfaz de radio y realizando su propia asignación de recursos y programación de tráfico [55].

A.2.5. Transmisión y recepción multipunto coordinadas (CoMP)

El sistema de multiplexación espacial multipunto coordinado (CoMP) es una variante avanzada de MIMO que estudia como mejorar el rendimiento para lograr altas velocidad de datos, el *throughput* del borde de la celda, y el *throughput* del sistema en escenarios de alta y baja carga. La Figura 2-9 compara el sistema de multiplexación espacial MIMO en DL con el CoMP. La diferencia entre los dos sistemas es que con CoMP, los transmisores no tienen que estar físicamente co-localizados, aunque estén enlazados por algún tipo de conexión de datos de alta velocidad y puedan compartir datos de carga útil.

En el DL, el CoMP permite la programación coordinada y formación de haz desde dos o más ubicaciones físicamente separadas. El enfoque CoMP para MIMO requiere alta velocidad y comunicación a nivel de símbolos entre las entidades usadas en la transmisión, como se muestra en el lado derecho de la Figura A-6 por la línea de conexión entre eNB1 y eNB2 [55].

Figura A-6: Comparación de la transmisión MIMO tradicional y multipunto coordinada (CoMP) [55]

A.2.6. Soporte a redes heterogéneas

En LTE-A se propone abordar las necesidades de soportar redes heterogéneas que combinan nodos de baja potencia (como pico-celdas, femto-celdas, repetidores, y RN) dentro de un macro-celda. A medida que la red se hace más compleja, el tema de la gestión de recursos de radio crece en importancia. Por ello se definen métodos más avanzados para la gestión de recursos de radio como la auto-optimización de red (SON). Las especificaciones de LTE-A también desarrollarán el uso de femto-celdas y estaciones base (HeNBs) como un medio para mejorar la eficiencia de la red y reducir los costos de infraestructura.

A.2.7. Mejora en la auto-optimización de la red LTE (SON)

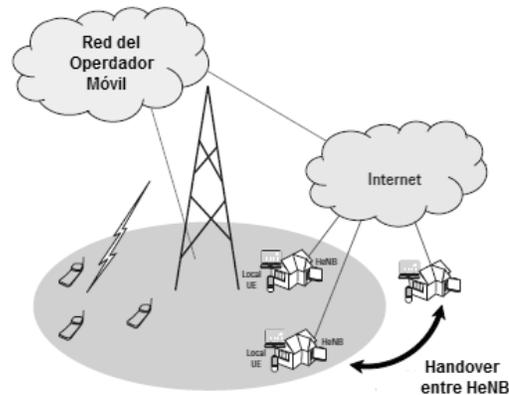
Los sistemas celulares actuales tienen una planificación muy centralizada, y la adición de nuevos nodos a la red implica un trabajo costoso y requiere mucho tiempo. Algunas capacidades limitadas de SON se introdujeron en el *Release 8* y pero se detallan más en el *Release 9* y el *Release 10*. La intención de SON es reducir sustancialmente el esfuerzo requerido para introducir nuevos nodos y gestionar la red. Existen implicaciones para la planificación de radio así como para la interfaz de operación y mantenimiento (O&M) a la estación base. Los principales aspectos de SON son:

- *Auto configuración:* El proceso de la automatización a un evento específico, tal como la introducción de una femto-celda nueva, haciendo uso de la interfaz de O&M y el módulo de gestión de red.
- *Auto optimización:* El proceso continuo usando los datos ambientales, como las mediciones del UE y de la estaciones base, para optimizar las configuraciones actuales de la red dentro de las limitaciones establecidas por el proceso de configuración.
- *Auto sanación:* El proceso de recuperación de un evento excepcional causado por circunstancias inusuales, como un cambio radical en las condiciones de interferencia o la detección de una situación de *ping pong* en el que un UE continuamente cambia entre macro-celdas y femto-celdas.

A.2.8. Mejora en la movilidad de los HeNB

El 3GPP el *Release 8* incluyó las femto-celdas para UMTS y extendió este concepto en el *Release 9* para LTE con los HeNB. Además, en el *Release 9* se definió completamente la movilidad entrante (desde una macro celda a un HeNB). Pero en LTE-A se definen mejoras para permitir la movilidad entre un HeNB y otro HeNB. En la Figura A-7 se muestra la topología de despliegue de una femto-celda [55].

Figura A-7: Topología de despliegue de una femtocelda [55]

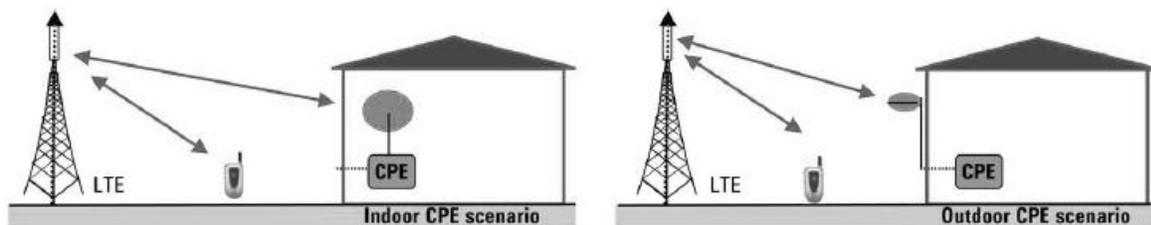


Desde la perspectiva de implementación de radio la femto-celda opera sobre áreas pequeñas dentro de una celda más grande. El canal de radio puede ser compartido con la celda más grande (despliegue co-canal) o puede ser un canal dedicado. El concepto de femto-celda difiere de la retransmisión debido a que la conexión de retorno de la femto-celda al núcleo de la red móvil se provee localmente por medio de una conexión a Internet DSL o por cable, en lugar de la interfaz de radio a la macro-celda [55].

A.2.9. Equipos de usuario fijos (CPE)

En el contexto de las especificaciones del 3GPP los CPE (*Customer premises equipment*) se refieren a un UE con una ubicación fija. Los dos escenarios principales de despliegue de los CPE se dan en el TR 36.807, como se muestra en la Figura A-8. En el escenario interior (*indoor*) se usan antenas omnidireccionales mientras que el escenario exterior (*outdoor*) se utilizan antenas unidireccionales [55].

Figura A-8: Escenarios de despliegue para CPE [55]



La principal ventaja del CPE es que puede ser situado de manera óptima utilizando una antena de mayor rendimiento y con una mayor potencia de salida de hasta 27 dBm en comparación con los 23

dBm de un UE estándar [55]. Los CPE también tienen menos probabilidades que sean alimentados por una batería, lo que ofrece mayor libertad de diseño para optimizar el rendimiento del canal de radio. La combinación de la posición de la antena, la potencia de salida, la ubicación fija y menos preocupación por el consumo energético cambia el rendimiento que se puede alcanzar utilizando un típico UE móvil [55]. Este rendimiento es útil cuando LTE sea utilizado para proporcionar servicios de banda ancha de alto desempeño, por ejemplo, en las zonas rurales. Tal despliegue es visto como un uso atractivo del dividendo digital del espectro liberado por la transición de la televisión analógica a la televisión digital [55].

B. Anexo: Herramienta de simulación LTE-*Sim*

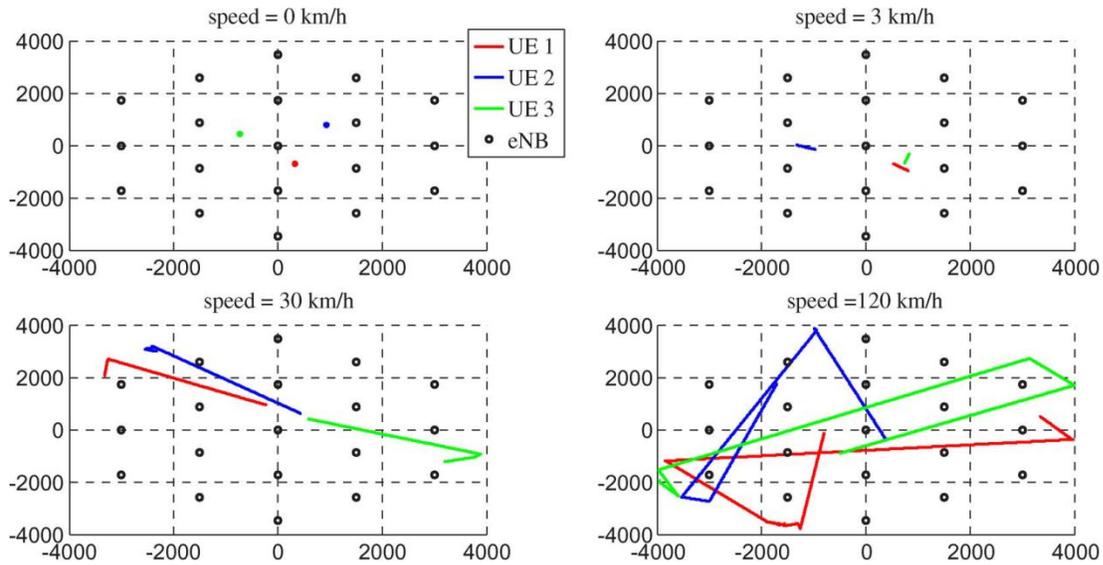
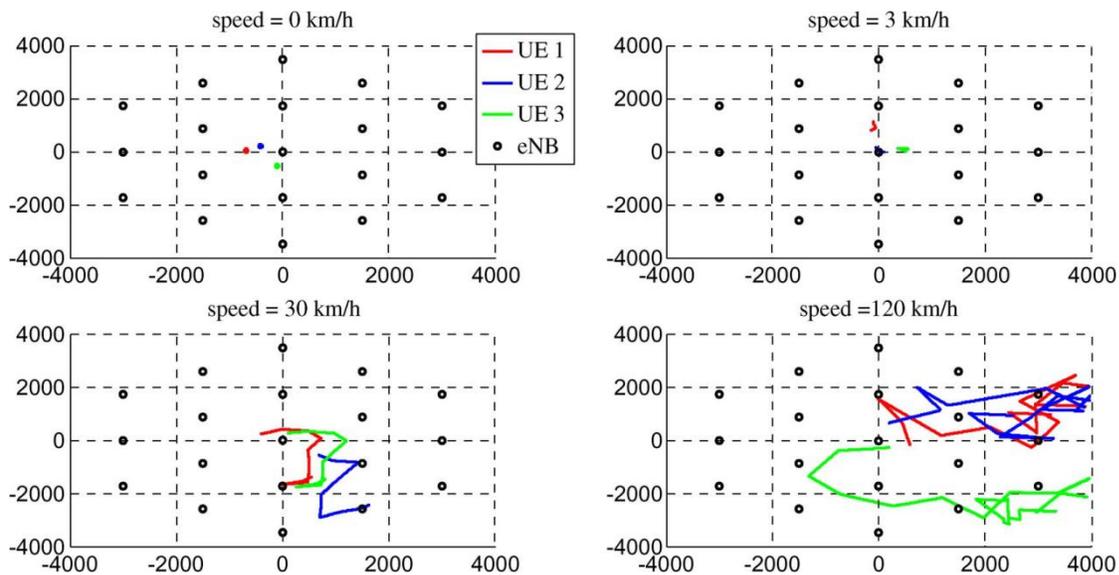
B.1. LTE-*Sim*

Para la simulación del tráfico de IPTV y la red LTE se eligió la herramienta LTE-*Sim* [88]. Esta herramienta es un software de código abierto que ofrece los mecanismos necesarios para llevar a cabo la simulación de tráfico de IPTV en un modelo de red LTE ante situaciones en las que se desean evaluar los parámetros de desempeño de la red. En LTE-*Sim* 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; 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 características de la capa PHY [90].

B.2. Movilidad del usuario

La movilidad del usuario en LTE-*Sim* soporta el desplazamiento al interior de una celda y procesos de *handover*. Para estos escenarios de movilidad se pueden especificar dos modelos de desplazamiento, el primero es el modelo de dirección aleatoria, con la clase *RandomDirection*, y el segundo es el modelo de camino aleatorio, con la clase *RandomWalk*. Estas dos clases se extienden de la clase *MobilityModel*. Para definir la velocidad y la dirección del desplazamiento del usuario se tienen las variables *m_speed* y *m_speedDirection* de la clase *MobilityModel*. La movilidad de cada UE se gestiona con el elemento *m_mobility*. En LTE-*Sim*, la velocidad de usuario puede ser elegida entre los valores 0, 3, 30, y 120 Km/h, que son equivalentes a los escenarios estático, peatonal y vehicular, respectivamente, según las especificaciones técnicas del 3GPP [90].

Cuando se usa el modelo de dirección aleatoria (*RandomDirection*), el UE selecciona aleatoriamente la dirección de desplazamiento, la cual se mantiene constante durante el tiempo, y el UE se dirige hacia el límite del área de la simulación. Una vez que se alcanza el límite del área, el UE selecciona una nueva dirección al azar (véase Figura B-1). Ahora bien, si se utiliza el modelo de camino aleatorio (*RandomWalk*), el UE selecciona aleatoriamente la dirección y se desplaza una distancia determinada que depende de la velocidad del usuario. El UE cambia su dirección de desplazamiento después de cubrir esta distancia o, como en el modelo anterior, una vez que se alcance el límite del área de la simulación (ver Figura B-2). Por defecto, la distancia de desplazamiento es igual a 200, 400, y 1000m cuando la velocidad de usuario es igual a 3, 30, y 120Km/h, respectivamente [90].

Figura B-1: Patrón de desplazamiento de UE con el modelo de movilidad de dirección aleatoria [90]**Figura B-2:** Patrón de desplazamiento de UE con el modelo de movilidad de camino aleatorio [90]

La movilidad de los usuarios es gestionada por la clase *NetworkManager* que cada TTI actualiza la posición de usuario de acuerdo con el modelo de movilidad seleccionado y los parámetros y verifica, si el procedimiento de handover es necesario. En *LTE-Sim*, se implementan reelección de celdas y *hard handover*. Además, las decisiones de *handover* se llevan a cabo por la clase *HandOverManager*, que se define para cada UE. La gestión de *hard handover* consiste en los pasos siguientes [90]:

- Para el UE que ha activado el procedimiento de handover, se utiliza la función *HandOverManager::SelectTargetENodeB()* para elegir un nuevo eNB. El eNB seleccionado es el más cercano al desplazamiento del UE.

- Toda la información sobre el UE se transfiere desde el eNB antigua al nuevo.
- Entre el UE y el nuevo eNB, se crea un portador de radio (RB).
- El UE actualiza la lista de sub-canales disponibles para DL y UL, de acuerdo con los asignados en el nuevo eNB.

Durante el *handover*, el UE conmuta a un estado independiente por un intervalo de tiempo dado de modo que los flujos dirigidos y procedentes desde el UE no pueden ser programados; tal intervalo de tiempo es un parámetro de simulador y puede ser modificada (el valor por defecto es 30 ms).

B.3. Pila de protocolos

LTE-*Sim* implementa varias funcionalidades las pilas de protocolos tanto del plano de control como del plano de usuario. Para este objetivo, se creó la clase *ProtocolStack* como un contenedor de las entidades de RRC, PDCP y MAC. Una instancia de esta clase, llamada *m_protocolStack*, fue definida para cada dispositivo. Además, se creó una entidad RLC para cada portador de radio (RB) dedicado.

La entidad RRC gestiona los portadores de radio dedicados del enlace descendente y ascendente para un determinado dispositivo. También interactúa con el clasificador para la clasificación de un paquete en portador de radio apropiado. Por su parte, la entidad PDCP ofrece la compresión de encabezados de los paquetes procedentes de la capa superior que serán encolados en una cola MAC adecuado [90].

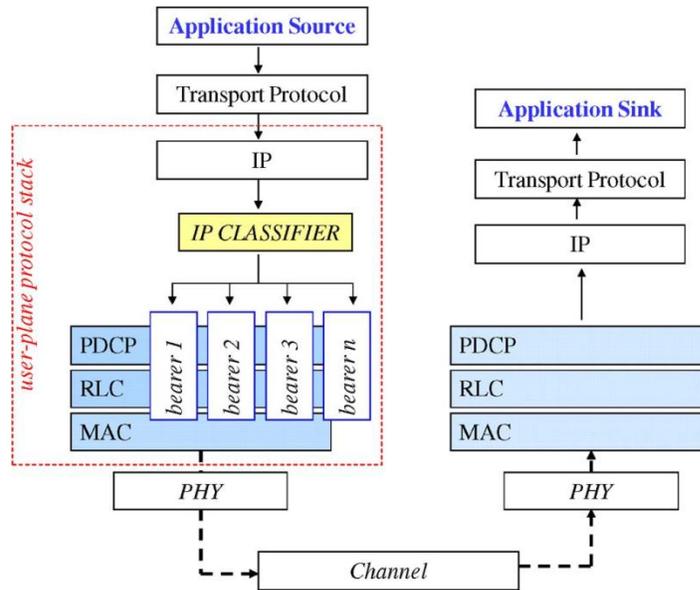
La entidad RLC modela la transmisión de datos sin reconocimiento (NACK) en la capa RLC, ya que representa el modo más utilizado de transmisión de datos, en particular para aplicaciones sensibles al retardo y tolerantes a errores (tales como VoIP y video streaming). Las funcionalidades más importantes que se han definido para la capa RLC son la segmentación y la concatenación de unidades de datos de servicio [90].

La entidad MAC proporciona, para el UE y el eNB, una interfaz entre el dispositivo y la capa PHY diseñada para la entrega de paquetes procedentes de la capa superior a la capa PHY y viceversa. Además, en esta clase, también se define el módulo AMC. La clase *EnbMACEntity* adiciona al eNB el scheduling de paquetes en los enlaces ascendente y descendente. Un ejemplo de la interacción entre las entidades incluidas en la pila de protocolos implementada en LTE-*Sim* se muestra en la Figura B-3 Como se puede ver la trayectoria de paquetes inicia a en la capa de aplicación y sigue por la pila de protocolos del plano de usuario [90][88].

El paquete de LTE se basa en la clase de *Packet*, y el objeto paquete se define por tres variables: *m_timeStamp*, *m_size* y *m_packetHeaders*. La variable *m_timeStamp* representa el instante de generación del paquete en la capa de aplicación. Este valor se utiliza para calcular retardo de paquetes en una vía (también podría ser usado para fines estadísticos y por las estrategias de *scheduling*). La variable *m_size* corresponde el tamaño del paquete y la variable *m_packetHeaders* representa la lista de encabezados de protocolo que han sido adicionadas al paquete. Cuando el paquete se crea, la variable *m_size* es igual a

la cantidad de datos generados por la capa de aplicación. Tan pronto como un nuevo encabezado de protocolo se agrega al paquete, la variable m_size se actualiza según sea su tamaño.

Figura B-3: Pila de protocolos implementada en LTE-Sim [90]



En LTE-Sim, se desarrolló únicamente el protocolo de transporte UDP, y se define en la clase *TransportLayer*. Durante la simulación, la capa de aplicación crea los paquetes de datos de usuario que pasan a la capa de transporte donde se agrega el encabezado del protocolo UDP y luego a la capa de Internet donde se adiciona el encabezado del protocolo IP. Posteriormente, un clasificador de paquetes IP es utilizado para mapear los datagramas IP a los portadores de radio (RB) antes de su transmisión por el canal LTE [90].

Cada portador mantiene su propia cola de transmisión FIFO (*First In First Out*), con la clase *MACQueue* de LTE-Sim. Cuando un paquete IP se pone en la cola, un encabezado PDCP se añade. Debido a que el protocolo PDCP proporciona una funcionalidad de compresión de encabezado usando el protocolo de compresión de encabezado robusto, el tamaño de paquete se actualiza para comprimir en tiempo real los encabezados UDP/IP a 3 bytes. Finalmente, cuando el paquete sale de la cola, se adiciona un remolque de verificación de redundancia cíclica (CRC, *Cyclic Redundancy Check*) y los encabezados de las capas RLC y MAC [90].

B.4. Gestión del ancho de banda en LTE-Sim

Todos los dispositivos deben conocer el ancho de banda operativo y los sub-canales disponibles para los enlaces ascendente y descendente. La clase *BandwidthManager* fue desarrollada en LTE-Sim para almacenar esta información. Una instancia de la clase *BandwidthManager* se define para cada objeto PHY, y las instancias de los dispositivos pertenecientes a la misma celda tienen la misma información. LTE-Sim soporta todos los anchos de banda de canal disponibles para el sistema LTE (1,4; 3; 5; 10; 15; y 20 MHz) [90].

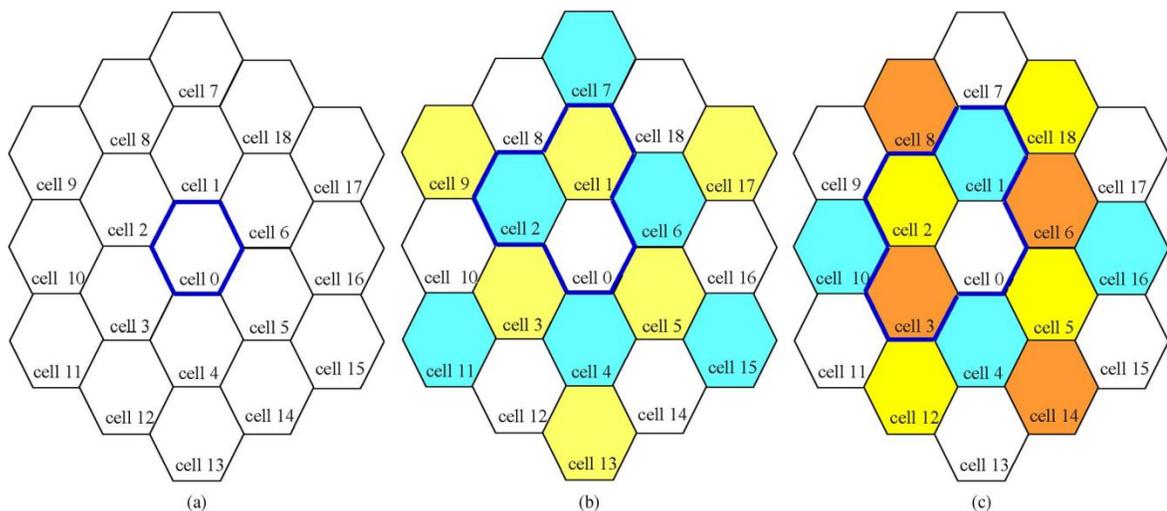
B.5. Reutilización de frecuencia

Una característica fundamental de las redes móviles que fue implementada en LTE-*Sim* tiene que ver con la reutilización de frecuencias, la cual aumenta la cobertura y la capacidad de la red celular y reduce la interferencia entre celdas. Con este concepto, la idea es que cada celda no utilice todos los subcanales disponibles sino sólo un sub-conjunto, de manera que las celdas adyacentes utilicen un sub-conjunto de sub-canales diferente. Un grupo de celdas, utilizando juntas el conjunto completo de sub-canales disponibles, forman un clúster que se replica periódicamente para cubrir la zona de servicio.

El método *NetworkManager::RunFrequencyReuse()* fue desarrollado en LTE-*Sim* para aplicar las técnicas de reutilización de frecuencia y distribuir el ancho de banda disponible entre las celdas. Como se describe en [88], el número de celdas que forman el clúster depende de la banda E-UTRAN operativa y el ancho de banda de enlace descendente (enlace ascendente). LTE-*Sim* soporta las posibles configuraciones del clúster disponibles para la primera banda operativa de E-UTRAN (es decir, [1929-1980] MHz para el enlace ascendente y [2110-2170] MHz para el enlace descendente, en el modo FDD) [90].

El método *NetworkManager::RunFrequencyReuse()* recibe los siguientes parámetros como entrada: el número de celdas, el tamaño del clúster, y el ancho de banda del enlace descendente (enlace ascendente). Este método distribuye el ancho de banda total disponible entre los clúster de manera que todas las celdas pertenecientes al mismo clúster no tengan superposición de canales. Después de aplicar la técnica de reutilización de frecuencia, devuelve una lista de objetos *BandwidthManager* que deben asignarse a los dispositivos que pertenecen a cada celda. La Figura B-4 muestra ejemplos de los resultados de la técnica de reutilización de frecuencia aplicados en LTE-*Sim*. Cuando ocurre el procedimiento de *handover*, el UE actualiza la lista de sub-canales disponibles para el enlace descendente y enlace ascendente, de acuerdo con los asignados al nuevo eNB. Es importante señalar que la lista de sub-canales asignados a una celda permanece constante durante la simulación [90].

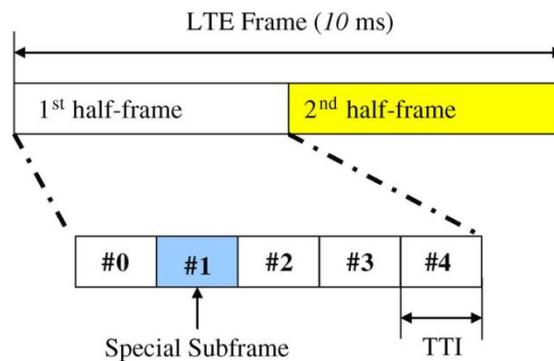
Figura B-4: Técnicas de reutilización de frecuencia implementadas con clúster de (a) uno, (b) tres, y (c) cuatro celdas [90]



B.6. Estructura de la trama

LTE-*Sim* soporta los dos tipos de estructura de tramas propuestos para E-UTRAN. La primera se define para el modo FDD, y se llama estructura de trama de tipo 1. El segundo se llama estructura de trama de tipo 2 y se define para el modo TDD. Para el tipo de estructura de trama de tipo 1, el ancho de banda se divide en dos partes, lo que permite a los enlaces descendente y ascendente la transmisión de datos simultáneamente. Para estructura de trama de tipo 2, la trama de LTE se divide en dos *half-frames* consecutivas, con una duración de 5 ms (véase la Figura B-5) [90].

Figura B-5: Trama de tipo 2 para el modo TDD [90]



Además, una sub-trama especial en cada *half-frame* se reserva para otros fines y no se utiliza para la transmisión de datos. En una verdadera red LTE, esta sub-trama se utiliza para enviar los símbolos piloto DL y UL, separadas por un periodo de guarda. En la Tabla B-1 se presentan las siete configuraciones implementadas en el enlace ascendente-descendente de las tramas de tipo 2 (TDD). En LTE-*Sim* las sub-tramas 0 y 5 están siempre reservadas para transmisión de enlace descendente.

Tabla B-1: Configuraciones de las sub-tramas tipo 2 (TDD) [90]

Configuración	Número de sub-trama									
	1 st half-frame					2 nd half-frame				
Número	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	D	S	U	D	D	D	D	D	U	D
6	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

D= sub-trama enlace descendente; *U*=sub-trama enlace ascendente; *S*=Sub-trama especial

La estructura de trama y la configuración de trama TDD se han definido en la clase *FrameManager*. Durante la simulación, los la clase *FrameManager* programa la trama LTE y sub-tramas y decide, de acuerdo con la estructura de trama, si una sub-trama se utiliza para el enlace ascendente, descendente, o ambos [90].

B.7. Programación de recursos de radio

El objetivo más importante de la planificación (*scheduling*) en LTE es satisfacer los requisitos de QoS de todos los usuarios, tratando de alcanzar, al mismo tiempo, un equilibrio óptimo entre la utilización y la equidad de los recursos de radio asignados. Este objetivo es muy difícil de satisfacer, especialmente en la presencia de aplicaciones multimedia de tiempo real, que se caracterizan por las estrictas restricciones sobre retardo de paquetes y el *jitter* [90].

En el sistema LTE, ha sido introducido el concepto de canal sensible a la planificación. Este aprovecha el carácter independiente del desvanecimiento rápido a través de los usuarios. Cuando hay muchos usuarios que miden una calidad de un canal diferente, es altamente probable que encuentre un usuario con una condición de canal buena o relativamente buena en un momento dado. A partir de esta idea, el máximo *throughput* y PF han llegado a ser las más importantes estrategias de planificación bien conocidas para redes LTE [90].

Las decisiones de planificación están estrictamente relacionadas con la calidad de canal experimentada por cada UE, que periódicamente mide una calidad usando símbolos de referencia. Entonces, la retroalimentación del CQI se envía al eNB, usando los mensajes de control de enlace ascendente. Esta información es utilizada por el planificador (*scheduler*) para distribuir adecuadamente RB entre los usuarios. Además, la retroalimentación del CQI también es utilizada por el módulo de adaptación de enlace para seleccionar, para cada UE, el esquema de modulación más adecuado y tasa de codificación a nivel PHY, tratando de maximizar la eficiencia espectral. Este enfoque es conocido como AMC, y ha sido adoptado por varias tecnologías inalámbricas como EDGE y WiMAX [90].

En LTE-*Sim*, se implementaron los *schedulers* del enlace descendente PF (*Proportional Fair*), M-LWDF (*Modified Largest Weighted Delay First*) y EXP (*Exponential Proportional Fair*) en las clases *PF-DLScheduler*, *M-LWDF-DLScheduler*, y *EXPDLScheduler*, respectivamente. Los objetos de los schedulers de los enlaces descendente y se definen en la clase *eNodoB*. Cada scheduler ejecuta el algoritmo de *scheduling* de enlace ascendente/enlace descendente utilizando el método *DoSchedule()*, que se define en la clase del propio scheduler. Al principio de cada sub-trama, el *FrameManager* maneja el algoritmo de asignación de recursos del enlace ascendente/descendente para todos los eNB [90].

B.8. Planificadores de tráfico en el enlace descendente

En LTE-*Sim* los planificadores de tráfico los enlaces descendente y ascendente se definen en las variables *m_downlinkScheduler* y *m_uplinkScheduler*, respectivamente. Al comienzo de cada sub-trama, el planificador selecciona todos los flujos que pueden ser programados. Un flujo se puede programar si y sólo si tiene paquetes de datos a transmitir en la capa MAC y si el UE receptor no está en el estado de reposo (*idle*). En cada TTI, el planificador calcula una métrica determinada para cada flujo que puede ser programado. La métrica asignada al flujo *i*-ésimo para el sub-canal de flujo *j*-ésimo se define como $w_{i,j}$. Los algoritmos de planificación difieren en la forma en que se calcula la métrica y cada planificador trabaja asignando cada sub-canal *j*-ésimo al flujo con el mayor $w_{i,j}$. El procedimiento de planificación se puede resumir en los siguientes pasos [88]:

- El eNB crea una lista de los flujos del enlace descendente que tienen paquetes para transmitir (*FlowsToSchedule*), es decir, la lista de los flujos que se pueden programar en la sub-trama actual.
- En la lista *FlowsToSchedule*, para cada flujo se almacena la longitud de cola de MAC y las retroalimentaciones del CQI.
- De acuerdo con la estrategia de scheduling, la métrica elegida se calcula para cada flujo en la lista *FlowsToSchedule*.
- El eNB asigna a cada sub-canal al flujo que presenta la mayor métrica. Es importante resaltar que el eNB, durante el procedimiento de asignación de recursos, considera la cuota de datos que cada flujo ya ha enviado. Por lo tanto, tan pronto como un flujo envía todos los paquetes en cola, su registro se elimina de la lista *FlowsToSchedule*.
- Para cada flujo programado, el eNB calcula el tamaño del bloque de transporte (TB, *Transport Block*), es decir, la cuota de datos que se transmite a la capa MAC durante el TTI en curso. En detalle, el eNB utiliza el módulo AMC (que se define en el objeto PHY) para mapear la retroalimentación CQI con el MCS adecuado. Entonces, se puede obtener el tamaño del TB desde el MCS seleccionado, que es la cuota de datos binarios en la capa PHY.

Al final del procedimiento de scheduling, el eNB llama al método *Bearer::Dequeue()* de todos los flujos programados que proporciona el desencolado de paquetes en la capa MAC.

Para obtener la métrica, los algoritmos del scheduler generalmente necesitan conocer tasa media de transmisión de datos R_i del flujo i -ésimo, así como la tasa instantánea de datos disponible de la UE receptor para el sub-canal j -ésimo. Esta información es útil cuando la métrica tiene que tener en cuenta la información sobre el rendimiento garantizado en el pasado a cada flujo para realizar el balanceo de la equidad. En particular, en cada TTI, la estimación de R_i está dada por la Ec. B.1 [90].

$$R_i(k) = 0.8R_i(k-1) + 0.2R_i(k) \quad (\text{B.1})$$

Donde $R_i(k)$ es la tasa de datos conseguido por el flujo i -ésimo en el k -ésimo TTI, y $R_i(k-1)$ es la estimación en el anterior TTI.

A continuación, se describe cómo se implementó en *LTE-Sim* el cálculo de la métrica para cada *scheduler* del enlace descendente [90].

B.8.1. PF Scheduler

Asigna los recursos de radio, teniendo en cuenta tanto la calidad del canal experimentado como el *throughput* pasado del usuario. El objetivo es maximizar el *throughput* total de la red y garantizar la equidad entre los flujos. Para este programador, la métrica $w_{i,j}$ se define como la relación entre la tasa instantánea de datos disponible ($r_{i,j}$) y la tasa media de datos anteriores. Con referencia al flujo i -ésimo en el sub-canal de flujo j -ésimo, se tiene la Ec. B.2.

$$w_{i,j} = \frac{r_{i,j}}{R_i} \quad (\text{B.2})$$

Donde $r_{i,j}$ es calculada por el módulo AMC teniendo en cuenta la retroalimentación del CQI que el UE que aloja en el flujo i -ésimo enviado por el sub-canal j -ésimo, y R_i es la tasa media de datos estimada.

B.8.2. M-LWDF *Scheduler*

Soporta múltiples datos de usuarios con diferentes requisitos de QoS. Para cada flujo en tiempo real, teniendo en cuenta un retardo de paquetes umbral τ_i , se define la probabilidad δ_i como la probabilidad que el máximo retardo $D_{HOL,i}$ del paquete *head-of-line* (el primer paquete a ser transmitidos en la cola) supera el umbral del retardo. Para dar prioridad a flujos en tiempo real con el mayor retardo para los paquetes de *head-of-line* y las mejores condiciones de canal, la métrica se define como la Ec. B.3.

$$w_{i,j} = \alpha_i D_{HOL,i} \cdot \frac{r_{i,j}}{R_i} \quad (\text{B.3})$$

Donde $r_{i,j}$ y R_i tienen el mismo significado que la ecuación (2), y α_i está dado por la Ec. B.4.

$$\alpha_i = \frac{-\log \delta_i}{\tau_i} \quad (\text{B.4})$$

En su lugar, para flujos en tiempo no real, la métrica considerada es el del PF *scheduler*. En la implementación actual del esquema de *scheduling* M-LWDF, los paquetes pertenecientes a un flujo en tiempo real se borran de la cola de MAC si no se transmiten antes de la expiración de su plazo. Esta operación es necesaria para evitar el desperdicio de ancho de banda. Esta aplicación no está disponible para el PF *scheduler*, ya que no está diseñado para servicios en tiempo real.

B.8.3. EXP *Scheduler*

Ha sido diseñado para aumentar la prioridad de flujos en tiempo real con respecto a los flujos en tiempo no real, donde su línea (*head-of-line*) de retardo de paquetes está muy cerca del umbral de retardo. Para flujos en tiempo real, la métrica considerada se calcula utilizando la Ec. B.5 y Ec. B.6.

$$w_{i,j} = \exp\left(\frac{\alpha_i D_{HOL,i} + \chi}{1 + \sqrt{\chi}}\right) \frac{r_{i,j}}{R_i} \quad (\text{B.5})$$

Donde los símbolos tienen el mismo significado que la Ec. B.3 y Ec. B.4, y χ esta dado por la Ec. B.6.

$$\chi = \frac{1}{N_{rt}} \sum_{i=1}^{N_{rt}} \alpha_i D_{HOL,i} \quad (\text{B.6})$$

Siendo N_{rt} el número flujos de tiempo real activos en el enlace descendente.

En su lugar, para no flujos en tiempo real, la métrica considerada es el de la scheduler PF. También, con el algoritmo EXP, los paquetes pertenecientes a un flujo en tiempo real se borran de la cola de MAC si no se transmiten antes de la expiración de su plazo.

B.9. Modelo del Canal y capa PHY

Los objetos PHY se unen al canal de LTE, modelado por la clase de *Channel*, para llevar a cabo diversas funcionalidades: la estimación de la SINR, la selección del esquema de modulación y codificación (MCS, *Modulation and Coding Scheme*) adecuado antes de la transmisión de paquetes (en particular, dicha función es proporcionada por el módulo *AMC*), y el acceso al canal para permitir la transmisión y recepción de paquetes [90].

B.9.1. Modelo del Canal

En *LTE-Sim*, la clase *Channel* administra la transmisión de cada paquete a través del canal PHY entre los nodos programados en el escenario, y también implementa un modelo de pérdidas de propagación. [88]. Esta clase fue desarrollada para manejar la transmisión de paquetes a través del canal PHY, teniendo en cuenta el modelo de pérdida de propagación. Con el fin de administrar separadamente el DL y UL, en *LTE-Sim* se definieron un par de canales para cada celda, que son almacenados por las variables *m_downlinkChannel* y *m_uplinkChannel* en los objetos PHY. Adicionalmente, la clase *Channel* tiene una estructura privada llamada *m_devices* para manejar los objetos PHY conectados a este [90].

Cuando una instancia PHY tiene que enviar paquetes para enviar sobre un conjunto de sub-canales, en primer lugar se calcula, para cada dispositivo PHY conectado, las pérdidas de propagación de acuerdo con el modelo definido y se actualiza la potencia de transmisión. A continuación, se envían por el canal los paquetes a todos los dispositivos conectados a este y se llama al procedimiento de recepción [90].

B.9.2. Modelo de Pérdidas de Propagación

La clase *PropagationLossModel* de *LTE-Sim* modela la propagación del canal en la interfaz E-UTRAN. Esta clase calcula las pérdidas de propagación de la señal transmitida. Con el objetivo de soportar varios escenarios de celdas (micro-celda urbana, macro-celda suburbana, macro-celda urbana, y macro-celda rural), en *LTE-Sim* se desarrolló la clase virtual *ChannelRealization* para proveer una implementación básica de los modelos de propagación y de canal; esto da cuentas de la condición del canal en términos de las pérdidas. Para las determinar las condiciones del canal se deben considerar cuatro fenómenos diferentes: la pérdida del trayecto (*path loss*), la pérdida de penetración, el *shadowing*, y el efecto de desvanecimiento rápido por múltiples trayectos [90].

La variable *m_channelRealizations*, que se define en la clase *PropagationLossModel*, almacena un objeto *ChannelRealization* para cada par de dispositivos conectados a un determinado canal. Durante las transmisiones de paquetes, conociendo los dispositivos origen y destino, un objeto *ChannelRealization* es seleccionado y asociado con ellos, formando la variable *m_channelRealizations*. Entonces, la se llama al método *ChannelRealization::ComputePropagationLoss()* para calcular la pérdida debida a la propagación.

Para entender cómo el modelo de pérdida de propagación funciona en LTE-*Sim*, se puede analizar lo que sucede en una transmisión en DL. Sean $P_{TX,j}$ and $P_{RX,i,j}$ la potencia de transmisión y recepción en el eNB del i -ésimo UE para el j -ésimo sub-canal, respectivamente. $P_{RX,i,j}$ esta dada por la Ec. B.7 [90].

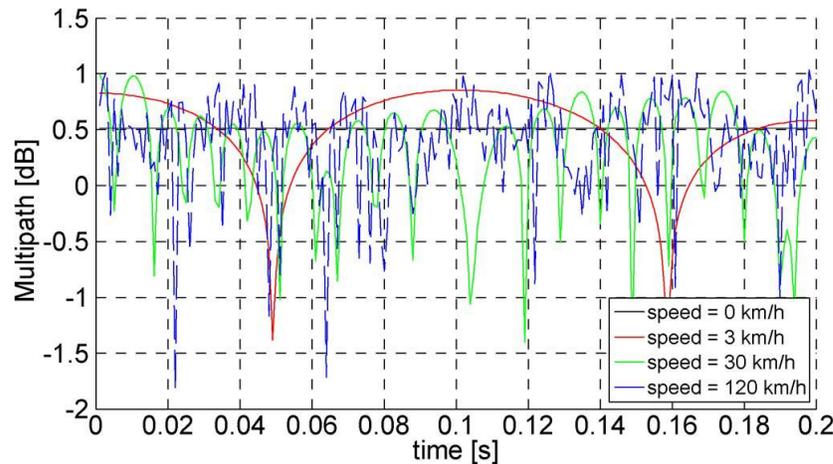
$$P_{RXi,j} [dB] = P_{TX,j} - L_i - S_{i,j} - T_i - M_{i,j} \quad (B.7)$$

Donde, $P_{TX,i,j}$ es la potencia de transmisión del eNB; L_i es la pérdida de trayecto para los escenarios de celdas según la Tabla B-2; $S_{i,j}$ representa el desvanecimiento *large-scale shadowing*, modelado por una distribución *log-normal* con 0 dB de media y 8 dB de desviación estándar; T_i corresponde a la pérdida de penetración, fijadas en 10 dB; y $M_{i,j}$ es la perdida por múltiples trayectos, definidas por el desvanecimiento de *Rayleigh*, teniendo en cuenta la velocidad del usuario, la frecuencia de la sub-portadora para el j -ésimo sub-canal, y un número de múltiples trayectos seleccionados de un conjunto (6, 8, 10 y 12). La Figura B-6 muestra un ejemplo de la pérdida por múltiples trayectos de *Rayleigh* para la velocidad del usuario a 0, 3, 30 y 120 KM/h [90].

Tabla B-2: Modelos de pérdida de trayecto (L) soportados en LTE-*Sim* [90]

Escenario de celda	Pérdidas de trayecto (dB)
Macro-celda - Áreas Urbana y Sub-urbana	$L = 128.1 + 37.6 \log_{10} d @ 2GHz$
Macro-celda - Área Rural	$L = 100.54 + 34.1 \log_{10} d @ 2GHz$
Micro-celda	$L = 24 + 45 \log_{10}(d + 20)$

Figura B-6: Pérdida por desvanecimiento rápido por múltiples trayectos de *Rayleigh* [90]



B.9.3. Procedimiento de recepción en el UE

En LTE-*Sim* cuando un i -ésimo UE recibe un paquete, este ejecuta los siguientes pasos [90]:

- La capa PHY calcula, para cada sub-canal, la razón señal a interferencia y ruido (SINR, *Signal Interference and Noise Rate*) para la señal recibida considerando la potencia recibida, el ruido y la interferencia como se muestra en la Ec. B.8.

$$SINR_{i,j} = \frac{P_{RXi,j}}{(FN_0B) + I} \quad (B.8)$$

Donde F , N_0 , B , e I son la figura de ruido (con un valor por defecto de 2,5), la densidad espectral de ruido (con un valor por defecto de -174 dBm), el ancho de banda de un bloque del recurso (por ejemplo, 180 KHz), y la interferencia (potencia total recibida desde el eNB que comparte la misma frecuencia de operación de la celda), respectivamente.

- De acuerdo con el modo de reporte del CQI, el UE crea una retroalimentación del CQI para enviar al eNB.
- La capa PHY determina si los paquetes se han recibido correctamente. Para este propósito, para cada sub-canal utilizado para transmitir ese paquete, se estima la tasa de error de bloque (BLER, *Block Error Rate*), es decir, la relación entre el número de bloques erróneos recibidos y el número total bloques enviados. La BLER se obtiene teniendo en cuenta tanto los MCS utilizados para la transmisión y la SINR que el dispositivo ha estimado para el sub-canal considerado. En *LTE-Sim*, diferentes conjuntos de curvas BLER-SINR fueron almacenadas, y la elección del conjunto depende de varios parámetros de la capa PHY. Según la curva BLER-SINR seleccionada, el simulador estima si el paquete ha sido recibido correctamente o no. En este último caso, el paquete se considera erróneo y se descarta.
- Si el paquete se ha recibido correctamente, se envía a las capas superiores.

B.9.4. Calidad del canal (CQI)

Durante el proceso de asignación de recursos, el eNB puede seleccionar el MCS más adecuado para cada flujo programado, tratando de minimizar la pérdida de paquetes debido a los errores de canal. En *LTE-Sim*, el UE utiliza el *CQIManager* para crear la retroalimentación del CQI. Cuando el UE recibe los flujos de paquetes, este estima la SINR para cada sub-canal de DL. Entonces, según con las normas de información de CQI, se crea una retroalimentación de CQI para enviar el reporte al eNB en el que se encuentre registrado. Durante la simulación, cada eNB mantiene la lista de UE asociados a él, almacena, para cada uno de ellos, el ID y los últimos reportes del CQI [90].

El CQI es usado por el UE para informar a la eNB la mayor tasa de datos que se puede lograr en un sub-canal dado, garantizando al mismo tiempo una BLER que sea menor o igual a la BLER objetivo (el valor por defecto es 10%). En particular, el valor de CQI se obtiene como una versión cuantificada de la SINR estimada. El procedimiento de correspondencia entre la SINR y el CQI se realiza a través de las curvas de SINR-BLER. Usando estas tablas de asignación, es posible seleccionar los *bestMCS* (en términos de la tasa de datos) para que la SINR dada garantice un valor de BLER más pequeño que el BLER objetivo. Por último, el reporte del CQI corresponde al índice de los MCS seleccionados [90].

LTE-Sim soporta los reportes de CQI periódico y aperiódico tanto en los modos *full-band* y *wide-band*. Cuando se selecciona el reporte de CQI periódico, la variable *m_reportingInterval*, que se define en la clase *CQIManager*, identifica cuando la retroalimentación del CQI debe ser creada y enviada al eNB. En

cambio cuando se elige el reporte aperiódico del CQI, el UE crea y envía la retroalimentación CQI sólo cuando se recibe una solicitud desde el eNB [90].

B.9.5. Módulo AMC

Se implementa en la clase *AMC* de *LTE-Sim* y fue desarrollado para permitir al eNB la selección, durante el procedimiento de asignación de recursos, de la modulación y esquema de codificación adecuado para el flujo paquetes que tiene que ser programado. Para maximizar la eficiencia espectral, el MCS se elegirá teniendo en cuenta el último valor de CQI enviado por el UE y usando el método de *AMC::GetMCSFromCQI()* [90].

B.9.6. Determinación del tamaño de TB

El bloque de transporte (TB) es el número de bytes que puede transmitir un flujo en uno o más subcanales en la capa MAC (incluyendo el MAC *overhead* y el CRC *trailer*) durante un TTI. El tamaño de TB depende del MCS elegido por el módulo de AMC, el número de puertos de antena, la duración del código de prefijo utilizado en la capa PHY y el número de símbolos utilizados por el canal de control. El objeto *AMCModule* utiliza la tabla *m_TBSize_Table* para evaluar el tamaño de TB a partir del valor MCS seleccionado. Para este fin, se tiene en cuenta: código de prefijo normal, dos puertos de antena, tres símbolos OFDM para PDCCH, sin señales de sincronización, y la ausencia del canal de difusión PHY (PBCH, *PHY Broadcast Channel*) [90].

B.10 Scripts utilizados en las simulaciones

Para la realización de las simulaciones se utilizaron los scripts que vienen en la carpeta de la herramienta de simulación, la cual puede ser descargada desde el portal web del *Telematics Lab - DEE - Politecnico di Bari* (<http://telematics.poliba.it/index.php/en/lte-sim>). El simulador fue instalado en un computador con sistema operativo Linux Ubuntu 12.10. La configuración de los escenarios se realizó con base al script *RUN/do_simulations/doSim1.sh* en el cual se modificaron los parámetros de configuración establecidos por los desarrolladores del mismo.

B.10.1 Script para la simulación del Escenario 1

```
# Single Cell With Interference

FILE="Sim01_242kbps_3km" #OUTPUT FILE NAME
NUMSIM=4 #Number of simulations
FILENAME="Multi" # SIMULATION TYPE NAME
COUNT=1
CELS=1 # NUMBER OF CELLS
TOTALNAME=""
MINUSERS=5 # Start users
INTERVAL=5 # Interval between users
MAXUSERS=40 #max of users

# params of LTE-SIM MULTICEL
```

```

RADIUS=1 # Radius in Km
NBUE=0 #Number of UE's
NBVOIP=1 # Number of Voip Flows
NBVIDEO=1 #Number of Video
NBBE=1 # Number of Best Effort Flows
NBCBR=0 #Number of CBR flows
#Scheduler Type PF=1, MLWDF=2 EXP= 3
FRAME_STRUCT=1 # FDD or TDD
SPEED=3 #User speed
MAXDELAY=0.1
VIDEOBITRATE=242

NBUE=$MINUSERS
until [ $NBUE -gt $MAXUSERS ]; do

    # bash until loop
    until [ $COUNT -gt $NUMSIM ]; do
        TOTALNAME=$FILE"_"$COUNT"_"$FILENAME"_PF_"$NBUE"U"$CELS"C".sim"
        ../../LTE-Sim SingleCellWithI $CELS $RADIUS $NBUE $NBVOIP $NBVIDEO $NBBE $NBCBR 1
$FRAME_STRUCT $SPEED $MAXDELAY $VIDEOBITRATE $COUNT > $TOTALNAME
        echo FILE $TOTALNAME CREATED!

        #let COUNT=COUNT+1
        COUNT=$(( $COUNT + 1 ))
        done
        COUNT=1

        until [ $COUNT -gt $NUMSIM ]; do
            TOTALNAME=$FILE"_"$COUNT"_"$FILENAME"_MLWDF_"$NBUE"U"$CELS"C".sim"
            ../../LTE-Sim SingleCellWithI $CELS $RADIUS $NBUE $NBVOIP $NBVIDEO $NBBE $NBCBR 2
$FRAME_STRUCT $$SPEED $MAXDELAY $VIDEOBITRATE $COUNT > $TOTALNAME
            echo FILE $TOTALNAME CREATED!
            #let COUNT=COUNT+1
            COUNT=$(( $COUNT + 1 ))
            done
            COUNT=1

            until [ $COUNT -gt $NUMSIM ]; do
                TOTALNAME=$FILE"_"$COUNT"_"$FILENAME"_EXPPF_"$NBUE"U"$CELS"C".sim"
                ../../LTE-Sim SingleCellWithI $CELS $RADIUS $NBUE $NBVOIP $NBVIDEO $NBBE $NBCBR 3
$FRAME_STRUCT $$SPEED $MAXDELAY $VIDEOBITRATE $COUNT > $TOTALNAME
                echo FILE $TOTALNAME CREATED!
                #let COUNT=COUNT+1
                COUNT=$(( $COUNT + 1 ))
                done
                COUNT=1

#let NBUE=NBUE+INTERVAL
NBUE=$(( $NBUE + $INTERVAL ))
done
echo SIMULATION FINISHED!
echo CREATING RESULTS REPORT!

# params 1 MINUSERS, 2 MAXUSERS, 3 INTERVAL, 4 FILENAME, 5 FILE, 6 NUMSIM, 7 TypeFlow,
Graphic_name

# result shells
./packet_loss_ratio.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM VIDEO Packet-
Loss-Ratio
./packet_loss_ratio.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM VOIP Packet-
Loss-Ratio
./packet_loss_ratio.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM INF_BUF
Packet-Loss-Ratio

```

```

./throughput_comp.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM VIDEO Throughput
./throughput_comp.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM VOIP Throughput
./throughput_comp.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM INF_BUF
Throughput
./delay_comp.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM VIDEO Delay
./delay_comp.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM VOIP Delay
./delay_comp.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM INF_BUF Delay
./spectral_efficiency_comp.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM
Spectral-Efficiency Spec-Eff

```

B.10.1 Script para la simulación del Escenario 2

```

# Multiple Cell With Interference

FILE="Sim_242kbps_3km" #OUTPUT FILE NAME
NUMSIM=4 #Number of simulations
FILENAME="Multi" # SIMULATION TYPE NAME
COUNT=1
CELS=9 # NUMBER OF CELLS
TOTALNAME=""
MINUSERS=5 # Start users
INTERVAL=10 # Interval between users
MAXUSERS=35 #max of users

# params of LTE-SIM MULTICEL

RADIUS=1 # Radius in Km
NBUE=0 #Number of UE's
NBVOIP=1 # Number of Voip Flows
NBVIDEO=1 #Number of Video
NBBE=1 # Number of Best Effort Flows
NBCBR=0 #Number of CBR flows
#Scheduler Type PF=1, MLWDF=2 EXP= 3
FRAME_STRUCT=1 # FDD or TDD
SPEED=3 #User speed
MAXDELAY=0.1
VIDEOBITRATE=242

NBUE=$MINUSERS
until [ $NBUE -gt $MAXUSERS ]; do

    # bash until loop
    until [ $COUNT -gt $NUMSIM ]; do
        TOTALNAME=$FILE_"$COUNT_"$FILENAME"_PF_"$NBUE"U"$CELS"C"".sim"
        ../../LTE-Sim MultiCell $CELS $RADIUS $NBUE $NBVOIP $NBVIDEO $NBBE $NBCBR 1
        $FRAME_STRUCT $SPEED $MAXDELAY $VIDEOBITRATE $COUNT > files/$TOTALNAME
        echo FILE $TOTALNAME CREATED!

        #let COUNT=COUNT+1
        COUNT=$(( $COUNT + 1 ))
        done
        COUNT=1

    until [ $COUNT -gt $NUMSIM ]; do
        TOTALNAME=$FILE_"$COUNT_"$FILENAME"_MLWDF_"$NBUE"U"$CELS"C"".sim"
        ../../LTE-Sim MultiCell $CELS $RADIUS $NBUE $NBVOIP $NBVIDEO $NBBE $NBCBR 2
        $FRAME_STRUCT $SPEED $MAXDELAY $VIDEOBITRATE $COUNT > files/$TOTALNAME
        echo FILE $TOTALNAME CREATED!
        #let COUNT=COUNT+1
        COUNT=$(( $COUNT + 1 ))
    done
done

```

```

done
COUNT=1

until [ $COUNT -gt $NUMSIM ]; do
    TOTALNAME=$FILE"_"$COUNT"_"$FILENAME"_EXPPF_"$NBUE"U"$CELS"C".sim"
    ../../LTE-Sim MultiCell $CELS $RADIUS $NBUE $NBVOIP $NBVIDEO $NBBE $NBCBR 3
    $FRAME_STRUCT $SPEED $MAXDELAY $VIDEOBITRATE $COUNT > files/$TOTALNAME
    echo FILE $TOTALNAME CREATED!
    #let COUNT=COUNT+1
    COUNT=$(( $COUNT + 1 ))
done
COUNT=1

#let NBUE=NBUE+INTERVAL
NBUE=$(( $NBUE + $INTERVAL ))
done
echo SIMULATION FINISHED!
echo CREATING RESULTS REPORT!

# params 1 MINUSERS, 2 MAXUSERS, 3 INTERVAL, 4 FILENAME, 5 FILE, 6 NUMSIM, 7 TypeFlow,
Graphic_name

# result shells
./packet_loss_ratio.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM VIDEO Packet-
Loss-Ratio
./packet_loss_ratio.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM VOIP Packet-
Loss-Ratio
./packet_loss_ratio.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM INF_BUF
Packet-Loss-Ratio
./throughput_comp.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM VIDEO Throughput
./throughput_comp.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM VOIP Throughput
./throughput_comp.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM INF_BUF
Throughput
./delay_comp.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM VIDEO Delay
./delay_comp.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM VOIP Delay
./delay_comp.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM INF_BUF Delay
./spectral_efficiency_comp.sh $MINUSERS $MAXUSERS $INTERVAL $FILENAME $FILE $NUMSIM
Spectral-Efficiency Spec-Eff

```

C. Anexo: Normatividad y regulación para el despliegue de servicios de IPTV en Colombia

C.1. Licencia Única para la prestación del servicio de televisión por suscripción

C.1.1. Antecedentes para el otorgamiento de las concesiones de televisión por suscripción en Colombia

El artículo 19 de la Ley 182 de 1995 se define la clasificación del servicio de televisión en función de la tecnología de transmisión atendiendo al medio utilizado para distribuir la señal de televisión al usuario, definiendo la televisión cableada y cerrada, y la televisión satelital, así [107]:

- *Televisión cableada y cerrada:* es aquella en la que la señal de televisión llega al usuario a través de un medio físico de distribución destinado exclusivamente a esta transmisión, o compartido para la prestación de otros servicios de telecomunicaciones de conformidad con las respectivas concesiones y las normas especiales que regulan la materia. No hacen parte de la televisión cableada, las redes internas de distribución colocadas en un inmueble a partir de una antena o punto de recepción.
- *Televisión satelital:* es aquella en la que la señal de televisión llega al usuario desde un satélite de distribución directa.

Del mismo modo, el artículo 20 de la Ley 182 de 1995 establece la clasificación del servicio de televisión en función de los usuarios, definiendo la televisión por suscripción como aquella en la que la señal independientemente de la tecnología de transmisión utilizada y con sujeción a un mismo régimen jurídico de prestación, está destinada a ser recibida únicamente por personas autorizadas para la recepción [107]. Mediante Acuerdo CNTV 010 del 24, la Comisión Nacional de Televisión (CNTV) (hoy en liquidación) reglamentó el servicio de Televisión por Suscripción, estableciendo que tanto el servicio de televisión cableada como satelital denominado DBS (*Direct Broadcast Satellite*) o televisión directa al hogar (DTH, *Direct To Home*), se consideran servicios de Televisión por Suscripción [108].

En relación con los mecanismos para otorgar la concesión, en el caso del servicio de Televisión por Suscripción cableada, la concesión se otorga mediante el procedimiento de licitación pública (Artículos 41 y 42 de la Ley 182 de 1995). La concesión para operar el servicio de televisión satelital se otorga mediante permiso otorgado por la CNTV (hoy en liquidación) y bajo las normas que para tal efecto dicha entidad estableciera (Artículo 21 de la Ley 335 de 1996 [109]). La CNTV (hoy en liquidación) a través del Acuerdo CNTV 010 de 2006 estableció los requisitos y condiciones para acceder al otorgamiento del permiso para la televisión satelital [108].

En este sentido, aunque la Ley 182 de 1995 establecía de manera general que las concesiones para la prestación del servicio de Televisión por Suscripción, independientemente de la tecnología de transmisión utilizada, debían ser otorgadas mediante el procedimiento de licitación pública, a partir de la vigencia de la Ley 335 de 1996, para la prestación del servicio satelital solamente se requeriría de permiso por parte de la CNTV (hoy en liquidación), sin que sea necesario su otorgamiento a través de licitación pública [109].

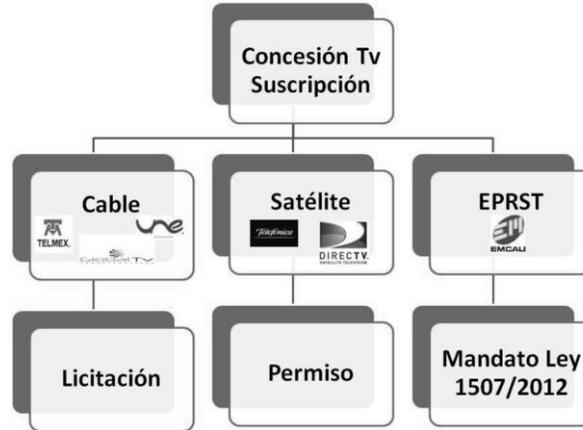
De otra parte, con la expedición de la Ley 1507 de 2012, se autoriza a las Empresas Públicas Proveedoras de Redes y Servicios de Telecomunicaciones (EPRST) prestar el servicio de Televisión por Suscripción, bajo las condiciones que establezca la ANTV [110]. El párrafo 2 del artículo 14 de la citada Ley define que la ANTV otorgará las concesiones de televisión por suscripción a las EPRST que así lo soliciten, previo el cumplimiento de las condiciones establecidas por la entidad para el efecto [110]. De acuerdo con esta obligación, la ANTV expidió la Resolución ANTV 048 de 2012 *“Por medio del cual se establecen las condiciones previas de que trata el párrafo 2 del artículo 14 de la Ley 1507 de 2012”*, según lo definido por dicha resolución las concesiones para la prestación y explotación del servicio de Televisión por Suscripción serán otorgados a las EPRST por la ANTV, mediante contrato firmado entre la ANTV y la EPRST, una vez se constate el lleno de los requisitos dispuestos en la mencionada resolución [112]. A septiembre de 2012, la ANTV firmó el Contrato No. 13 de 2012 con las EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI EMCALI E.I.C.E. E.S.P. otorgando la concesión para la prestación, operación y explotación del servicio público de Televisión por Suscripción [113].

Teniendo en cuenta todo lo anterior, en la Figura C-1 se presenta esquemáticamente el régimen actual del otorgamiento de las concesiones para la prestación del servicio público de Televisión por Suscripción en Colombia. Se aprecia que actualmente existen tres (3) grupos de operadores a los que se les otorgó concesiones para prestar el servicio de Televisión por Suscripción mediante tres (3) mecanismos diferentes [113].

En lo que respecta al servicio de IPTV, no había existido un conceso entre Ministerio de Tecnologías de Información y Telecomunicaciones (MINTIC) y la CNTV (en liquidación) por el cual se pueda determinar si la IPTV se trata de un servicio de valor agregado o un servicio de televisión por suscripción [114]. Cada uno de ellos tienen sus argumentos con los cuales defienden su posición lo cual es determinante en el despliegue de este servicio puesto que no se trata de una discusión meramente jurídica, o técnica en cuanto a términos, sino que implica unas consecuencias de tipo económicas y políticas que imposibilitan la adecuación de una regulación apta para estos servicios así como su control por un único ente competente [114]. De todas formas la regulación aceptada en Colombia para IPTV ha sido la emitida por el MINTIC, donde con la obtención de un Título

Habilitante Convergente (THC) es posible que un operador pueda prestar el servicio de IPTV puesto que fue clasificado como un servicio de valor agregado¹ [114].

Figura C-1: Mecanismos para el otorgamiento de las concesiones de Televisión por Suscripción [113]



En este sentido, se plantea la necesidad de revisar las condiciones y mecanismos de la adjudicación de las concesiones para la prestación del servicio de Televisión por Suscripción en Colombia, en concordancia con el inciso b) del artículo 3 de la Ley 1507 de 2012 [110]. Además que en los artículos 3, 6 y 14 de la Ley 1507 de 2012 se traslada a la Autoridad Nacional de Televisión (ANTV) y a su Junta Nacional de Televisión, la función de adjudicar las concesiones y licencias de servicio y aprobar prórrogas, así como reglamentar, entre otros aspectos, los requisitos de las licencias para acceder al servicio, el régimen sancionatorio, y la fijación de derechos, tasas y tarifas que deba percibir por concepto del otorgamiento y explotación de las concesiones para la operación del servicio de televisión [110].

De esta manera, bajo el proyecto regulatorio “*Revisión de las condiciones de prestación de los servicios de Televisión por Suscripción con independencia de la tecnología*”, la ANTV encontró pertinente analizar las condiciones de prestación de los servicios de Televisión por Suscripción con independencia de las tecnologías de transmisión con el fin de expedir la reglamentación para el otorgamiento de concesiones para prestar dicho servicio, revisando aquella establecida en los Acuerdos CNTV 010 de 2006 [108] y CNTV 006 de 2010 [116], en un ambiente de total neutralidad tecnológica, manteniendo el procedimiento de otorgamiento de la concesión a través de licitación pública [113].

C.1.2. La Televisión por Suscripción en Colombia

El servicio de Televisión por Suscripción es aquel cuya señal, independientemente de la tecnología y el medio de transmisión utilizados y con sujeción a un mismo régimen jurídico de prestación, está

¹ Según el artículo 2 y 3 del Decreto 2870 de 2007 se otorgará licencia o concesión a través del THC que incluye todos los servicios de telecomunicaciones consagrados en el Decreto 1900 de 1990 excepto TV, Radio, Telefonía Móvil Celular y de Comunicación Personal, Telefonía Pública Básica Conmutada Local, Local Extendida y Telefonía Móvil Rural, por lo cual es posible que un operador pueda prestar el servicio de IPTV puesto que fue considerado como un servicio de valor agregado.

destinada a ser recibida solamente por las personas autorizadas para la recepción, y comprende tanto el servicio de televisión cableada como el servicio de televisión satelital denominado DBS [113].

En la actualidad existen cuarenta y cinco (45) operadores de Televisión por Suscripción, de los cuales cuarenta y dos (42) prestan el servicio de Televisión por Suscripción cableada, dos (2) lo hacen a través de tecnología satelital y una (1) EPRST que se acogió a lo establecido en la Resolución ANTV 048 de 2012 [113]. Entre diciembre de 2005 y diciembre de 2011, el mercado de Televisión por Suscripción creció un 194%, al pasar de 1.353.525 usuarios a 3.871.895 usuarios, logrando que la penetración aumentara del 12,5% al 31,1%. En la Tabla C-1 se presenta la evolución de los usuarios de este servicio discriminado por tipo de tecnología (cable y satélite) y la penetración durante el periodo comprendido entre los años 2005 y 2011 [113].

Tabla C-1: Evolución de los usuarios de Televisión por Suscripción y penetración del servicio en Colombia (2005 a 2011) [113]

TV por Suscripción	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Cable	1.276.174	1.478.407	2.407.554	2.838.943	2.830.508	2.936.128	3.186.934
Satelital	77.351	94.549	227.970	319.596	372.037	574.207	684.961
TOTAL	1.353.525	1.572.956	2.635.524	3.158.539	3.202.545	3.510.335	3.871.895
% Crec.		16,2%	67,6%	19,8%	1,4%	9,6%	10,3%
HOGARES	10.871.082	11.117.177	11.374.978	11.641.145	11.913.643	12.191.188	12.464.083
Penetración	12,5%	14,1%	23,2%	27,1%	26,9%	28,8%	31,1%

En cuanto a la distribución del mercado en cable y satélite, se observa una recomposición en el período analizado, toda vez que la televisión cableada pasó de representar el 94% en 2005 al 83% en 2011, mientras que la televisión satelital pasó del 6% al 17% [113]. A diciembre de 2011, cuatro (4) operadores participaban con el 91% del mercado: TELMEX (47%), UNE EPM TELECOMUNICACIONES (27%), DIRECTV (11%) y COLOMBIA TELECOMUNICACIONES - TELEFÓNICA (6%), estos dos (2) últimos operadores son los satelitales. El restante 9% de distribuyó entre los otros cuarenta (40) operadores [113].

Desde el punto de vista tecnológico, el aumento de penetración del servicio durante los últimos años puede obedecer en primera instancia, a la posibilidad de implementación de las diferentes infraestructuras a menores costos acompañadas del acelerado desarrollo de estándares técnicos de codificación y compresión de contenidos audiovisuales, distribuibles a través de diversos medios de transmisión tanto cableado como satélite, que han permitido la optimización de canales asociados al servicio reflejado en un aumento significativo para el transporte de múltiples señales de televisión con calidades de imagen y audio que antes se creían impensables (Televisión en SD y HD) [113].

En segundo lugar, el alto desarrollo de las plataformas IP y la confluencia de tecnologías capaces de armar contenedores (paquetes) que pueden alojar distintos servicios simultáneos entre los que se cuentan los de voz, datos y audiovisuales (TV), son factores que se constituyen para implementar en la actualidad redes de datos de alta velocidad, los cuales sumados al desarrollo de aplicativos y programas de computador orientados a la gestión y administración de los sistemas e infraestructuras para la prestación de los servicios de Televisión por Suscripción, han permitido que los modelos de negocio

posibiliten el acceso a los distintos sectores de la población logrando un aumento del cubrimiento de este tipo de servicios con características de pago por parte del usuario [113].

C.1.3. Principales aspectos de la Licencia Única para la prestación del servicio de televisión por suscripción en redes móviles

Con base a lo descrito anteriormente, en la Resolución ANTV 0179 de 2012 se establece la *Licencia Única* para la prestación del servicio de televisión por suscripción [113]. Así en el artículo 1 de citada Resolución “*La Autoridad Nacional de Televisión podrá otorgar Licencia Única para la operación, explotación y prestación del servicio de televisión por suscripción en un ambiente de total neutralidad tecnológica en cuanto a transmisión, redes, medios, estándares y acceso al usuario. Dicha Licencia Única será otorgada mediante procedimiento de licitación pública*” [116]. Esto significa que un operador que obtenga la *Licencia Única* podrá prestar el servicio de televisión por suscripción sobre cualquier medio de transmisión, red de telecomunicación en convergencia y estándar de televisión siempre y cuando se garantice al usuario del servicio la visualización del servicio en su dispositivo receptor. Por lo cual si un operador móvil desea prestar el servicio de IPTV sobre una red LTE deberá solicitar una *Licencia Única* ante la ANTV que le permita el despliegue de este servicio sobre su red móvil.

Según el artículo 4 de la Resolución ANTV 0179 de 2012, para el otorgamiento de la *Licencia Única* las empresas interesadas deberán cumplir con los requisitos que trata el Anexo 1 de la citada Resolución [116]. Estos aspectos son [116]:

- **Consideraciones generales**

El servicio de televisión por suscripción se entenderá como prestado a la entrada del aparato receptor del suscriptor, en un estándar técnico que permita al aparato receptor descifrar la(s) señal(es) portadora(s) de los programas y desplegarlos en su pantalla.

Cuando la(s) señal(es) portadora(s) de los programas sean entregados a la entrada del aparato receptor del suscriptor en el campo analógico, deben cumplir con el estándar NTSC1, con asignación de frecuencias o canalización estándar.

Cuando la(s) señal(es) portadora(s) de los programas sean digitales, bajo cualquier protocolo de transmisión, e ingresen previamente a un dispositivo decodificador y/o conversor digital/análogo (SET-TOP-BOX, STB), para ser entregadas a la entrada del aparato receptor del suscriptor en el campo analógico, deben cumplir con el estándar NTSC, con asignación de frecuencias o canalización estándar.

Cuando la(s) señal(es) portadora(s) de los programas sean entregados a la entrada del aparato receptor del suscriptor en el campo digital, bajo cualquier protocolo de transmisión, el estándar digital seleccionado por el concesionario del servicio debe permitir al aparato receptor descifrar la(s) señal(es) portadora(s) de los programas y desplegarlos en su pantalla. En consecuencia, el concesionario del servicio dispondrá de los dispositivos técnicos

necesarios de forma que sea posible el despliegue de los programas en la pantalla del aparato receptor del suscriptor.

En todo caso, el concesionario del servicio debe asegurarse de que el estándar y protocolo de transmisión seleccionados no restringirán de ninguna manera la recepción de señales de televisión analógica y/o digital terrestres radiodifundidas por parte del aparato receptor del suscriptor.

La Autoridad Nacional de Televisión adoptará las medidas necesarias para permitir la implementación de nuevas tecnologías en la prestación del servicio de televisión por suscripción, pudiendo adicionar e introducir cambios en la presente resolución, con el fin de promover la prestación del servicio en un ambiente de neutralidad tecnológica integral.

▪ **Medios de transmisión**

El medio de transmisión constituye el soporte sobre el cual se transportan la(s) señal(es) portadora(s) de los programas desde el origen hasta el suscriptor.

El servicio de televisión por suscripción puede ser prestado por radiodifusión utilizando como medio no guiado de transmisión el espectro radioeléctrico, sea terrestre y/o satelital, distribución utilizando como medio guiado de transmisión cualquier forma de cable físico y/o por cualquier forma y medio de teledifusión.

Con el fin de cumplir con el objeto del servicio de televisión por suscripción, los concesionarios del mismo pueden disponer de cualquiera de los medios de transmisión existentes o de cualquier combinación de los mismos de forma que se soporten las conexiones necesarias entre el punto de origen de las señales y la entrada del aparato receptor del suscriptor.

▪ **Redes de telecomunicaciones**

Para efectos de prestación del servicio de televisión por suscripción, los concesionarios del mismo podrán implementar o disponer de cualquier tipo de red de telecomunicaciones en un ambiente de convergencia total de redes, de forma que se soporten las conexiones necesarias entre el punto de origen de la(s) señal(es) y la entrada del aparato receptor del suscriptor, independientemente de el(los) medio(s) y estándar(es) de transmisión que se utilice(n).

El concesionario del servicio podrá utilizar total o parcialmente, con el objeto de lograr soluciones completas o puntuales, los diferentes medios de transmisión y redes de telecomunicaciones⁵ a nivel de transmisión, distribución y acceso al usuario, así como las diferentes tecnologías, estándares y protocolos de transmisión, de manera no restrictiva.

- **Acceso al usuario**

La(s) señal(es) analógica(s) portadora(s) de los programas podrán ser dispuestas a la entrada del aparato receptor del suscriptor en el estándar analógico de manera directa, con o sin la mediación de dispositivos de decodificación y/o conversión (SET-TOP-BOX, STB).

La(s) señal(es) digital(es) portadora(s) de los programas, bajo cualquier estándar y protocolo de transmisión, podrán ser dispuestas a la entrada del aparato receptor del suscriptor en el estándar analógico de manera indirecta, con la mediación de dispositivos de decodificación y/o conversión (SET-TOP-BOX, STB).

La(s) señal(es) digital(es) portadora(s) de los programas, bajo cualquier estándar y protocolo de transmisión, podrán ser dispuestas a la entrada del aparato receptor del suscriptor de manera directa, con o sin la mediación de dispositivos de decodificación y/o conversión (SET-TOP-BOX, STB).

Las señales portadoras de los programas del servicio de televisión por suscripción en ningún caso podrán generar interferencias en el espectro radioeléctrico.

Adicionalmente, en el artículo 6 de la Resolución ANTV 0179 de 2012, se establece el valor de la *Licencia Única* donde el pago del valor de la concesión para la operación y explotación del servicio de televisión por suscripción y su forma de actualización se encuentran determinados en el Anexo 2 de la citada Resolución [116]. Adicionalmente, en el artículo 4 de la Resolución ANTV 0179 de 2012 se establece que los operadores del servicio de televisión por suscripción que obtengan la Licencia Única deben cancelar los valores por concepto de compensación y comercialización establecidos en la Resolución ANTV 045 de 2012 [118].

C.2. Regulación relativa a la calidad de servicio en redes móviles

En la regulación vigente en Colombia no se encuentran normatividad relacionada con la medición y reportes de indicadores de calidad de servicio para IPTV. Los reportes sobre el servicio de IPTV que se registran están relacionados con el número de suscriptores por el medio de acceso en cada ciudad, y los ingresos obtenidos por el operador como resultado de la prestación del servicio [119].

En lo que respecta a los indicadores de calidad para los servicios de telecomunicaciones sobre redes móviles, en la Resolución 3067 CRC de 2011 los proveedores de redes y servicios deberán diligenciar un formato asociado con los parámetros de acceso a Internet provisto a través de redes móviles, que están consignados en el numeral 2 del Anexo I de la Resolución CRC 3067 de 2011 o aquella que la modifique o derogue como la Resolución CRC 4000 de 2012 [121]. Este formato se muestra en la Tabla C-2 [120].

Tabla C-2: Indicadores de calidad del servicio de Internet móvil [119]

1		2		3	4	5	6	7	8	9	10		11	
Departamento	Municipio	Coordenadas geográficas de la medición		Dirección o pto de ref	Tecnología	Mediciones Ping (tiempo de ida y vuelta)	Indicador Ping	Mediciones Tasa de datos media FTP	Indicador Tasa de datos media FTP	Mediciones Tasa de datos media HTTP	Indicador Tasa de datos media HTTP	Fecha de la medición		
		Latitud	Longitud									Día	Hora	

Los campos de la Tabla C-2 son [120]:

- *Departamento / Municipio:* Son los datos de ubicación geográfica donde se realiza la medición de los indicadores. Se tienen en cuenta los 32 Departamentos y la ciudad de Bogotá D.C. Los municipios están de acuerdo con la división político-administrativa de Colombia, DIVIPOLA, presente en el sistema de consulta del DANE.
- *Coordenadas geográficas de la medición:* Coordenadas geográficas (Latitud/Longitud) del sitio donde se realizó la medición de los indicadores.
- *Dirección o punto de referencia:* Dirección física del sitio donde se realizó la medición.
- *Tecnología:* Corresponde a la tecnología de acceso utilizada para la transmisión de la información al usuario final a través de la red, sobre la cual se realizó la medición de los indicadores. Se clasifica en: GSM, GPRS, EDGE, WCDMA, UMTS y HSDPA.
- *Mediciones Ping (tiempo de ida y vuelta):* Tiempo que requiere un paquete para viajar desde un origen a un destino y regresar. Se utiliza para medir el retraso en una red en un momento dado. Para esta medición el servicio ya debe estar establecido. En este campo.
- *Indicador Ping:* Corresponde al valor calculado a partir de las mediciones de Ping realizadas en el trimestre, de acuerdo con lo establecido en el Numeral 2 del Anexo I de la Resolución CRC 3067 de 2011 o aquella norma que la modifique ó adicione.
- *Mediciones Tasa de datos media FTP:* Media de la tasa de transferencia de datos medidos a lo largo de todo el tiempo de conexión al servicio, luego que un enlace de datos ha sido establecido de manera exitosa.
- *Indicador Tasa de datos media FTP:* Corresponde al valor calculado a partir de las mediciones de tasa de datos media FTP realizadas en el trimestre, de acuerdo con lo establecido en el Numeral 2 del Anexo I de la Resolución CRC 3067 de 2011 o aquella norma que la modifique ó adicione.
- *Mediciones Tasa de datos media HTTP:* Media de la tasa de transferencia de datos medidos a lo largo de todo el tiempo de conexión al servicio, luego que un enlace de datos ha sido establecido de manera exitosa.
- *Indicador Tasa de datos media HTTP:* Corresponde al valor calculado a partir de las mediciones de tasa de datos media HTTP realizadas en el trimestre, de acuerdo con lo establecido en el Numeral 2 del Anexo I de la Resolución CRC 3067 de 2011 o aquella norma que la modifique ó adicione.

- *Fecha de la medición:* Corresponde al día (en formato yyyy/MM/dd) y hora (en formato de 24 horas HH:mm:ss) en la que se realizó la medición de los indicadores.

Bibliografía

- [1] M. N. O. Sadiku and S. R. Nelatury, "IPTV: An alternative to traditional cable and satellite television," *IEEE Potentials*, vol. 30, no. 4, pp. 44-46, Jul. 2011.
- [2] C. Palau, J. Martinez-Nohales, J. Mares, B. Molina and M. Esteve, "On mobile video streaming IPTV," in *Proc. 10th International Conference on Telecommunications*, IEEE, 2009, pp. 457-462.
- [3] A. Al-Hezmi, Y. Rebahi, T. Magedanz and S. Arbanowski, "Towards an interactive IPTV for mobile subscribers," in *Proc. International Conference on Digital Telecommunications*, IEEE, 2006, p. 45.
- [4] J. Goldberg and T. Kernén, "Network structures - the Internet, IPTV and QoE," EBU Technical Review, 2007, pp. 1-11.
- [5] S. Park, S. Jeong, C. Hwang and M. El Zarki, "Mobile IPTV: Approaches, Challenges, Standards, and QoS Support," *IEEE Internet Computing*, vol. 13, no. 3, pp. 23-31, Jun. 2009.
- [6] O. Oyman, J. Foerster, T. Yong-joo and L. Seong-Choon, "Toward enhanced mobile video services over WiMAX and LTE," *IEEE Communications Magazine*, vol. 48, no. 8, pp. 68-76, Aug. 2010.
- [7] E. M. Schwalb, *iTV Handbook: Technologies and Standards*. EE.UU: Ed. Prentice Hall, 2003, p. 752.
- [8] S. Zeadally, H. Moustafa and F. Siddiqui, "Internet Protocol Television (IPTV): Architecture, Trends, and Challenges," *IEEE Trans. Systems Journal*, vol. 5, no. 4, pp. 518-527, Dec. 2011.
- [9] 3GPP, "LTE," Internet: <http://www.3gpp.org/Release-8>, 2008. [Oct. 7, 2011]
- [10] 3GPP, "LTE-Advanced," Internet: <http://www.3gpp.org/Release-10>, 2010. [Oct. 7, 2011]
- [11] *HSPA to LTE Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT Advanced*, 3G Americas, 2009.
- [12] S. Ahmadi, "An Overview of Next-Generation Mobile WiMAX Technology," *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 6, pp. 84-98, Jun. 2009.
- [13] *Global Mobile Broadband: Market potential for 3G LTE (Long Term Evolution)*, Analysis Research, 2008.
- [14] *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2011-2016*, Cisco Systems, 2012.
- [15] I. Siomina and S. Wanstedt, "The Impact of QoS Support on the End User Satisfaction in LTE Networks with Mixed Traffic," in *Proc. 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, IEEE, 2008, pp. 1-5.
- [16] *Framework for services supported by IMT*, ITU-R Rec. M.1822, 2008.
- [17] ITU Press, "ITU Paves the Way for Next-Generation 4G Mobile Broadband Technologies," Internet: http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2010/40.aspx, Oct. 2010. [Oct. 10, 2011].
- [18] M. Baker, "LTE-Advanced Physical Layer," in *Proc. IMT-Advanced Evaluation Workshop*, 3GPP, 2009, pp. 1-48.
- [19] D. F. Rueda and Z. I. Ramos, "Revisión a la implementación del servicio de IPTV sobre redes inalámbricas y móviles con Calidad de Servicio (QoS)," *Revista UIS Ingenierías*, Unpublished, 2013.
- [20] R. García, "Desarrollo de un modelo de red con tecnología FTTH para transmisión de voz y datos. Análisis del protocolo de acceso al medio y validación del tráfico generado," Ph.D. dissertation, Dept. Inform., Univ. of Oviedo, Xixón, Spain, 2005.
- [21] *Overall definition and description of IPTV in the business role model*, FG IPTV-ID-0025, 2006.
- [22] *Classifications of IPTV Service and Its Meaning*, ITU-T FG IPTV-ID-0026, 2006.

- [23] J. Kim, T. Um, W. Ryu, B. Lee y M. Hahn, "Heterogeneous Networks and Terminal-Aware QoS/QoE-Guaranteed Mobile IPTV Service". *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, no. 5, pp. 110-117, May. 2008.
- [24] J. Liu, S. G. Rao, B. Li, and H. Zhang, "Opportunities and challenges of peer-to-peer internet video broadcast," in *Proc. Special Issue on Recent Advances in Distributed Multimedia Communications*, IEEE, 2007, pp. 11-24.
- [25] X. Hei, C. Liang, J. Liang, Y. Liu, and K. W. Ross, "A measurement study of a large-scale P2P IPTV system," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol.9, no. 8, pp.1672-1687, Dec. 2007.
- [26] *Quality of experience requirements for IPTV services*, Rec. ITU-T G.1080, 2008.
- [27] *IPTV functional architecture*, ITU-T Rec. Y.1910, 2008.
- [28] *General overview of NGN*, ITU-T Rec. Y.2001, 2004.
- [29] *NGN integrated IPTV subsystem Architecture*, ETSI TS 182 028 V3.5.1, 2011.
- [30] *IPTV Architecture; IPTV Functions Supported by the IMS Subsystem*, ETSI TS 182 027 V3.5.1, 2011.
- [31] E. Mikoczy, D. Sivchenko, E. Xu, and J. Moreno, "IPTV Services over IMS: Architecture and Standardization," *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, no. 5, pp. 128–135, May. 2008.
- [32] J. Gozdecki, A. Jajszczyk and R. Stankiewicz, "Quality of service terminology in IP networks," *Trans. IEEE Communications Magazine*, vol. 41, no. 3, p.p. 153–159, Mar. 2003
- [33] Bellido L, "Contribución a las metodologías para la evaluación de la calidad de servicio en redes heterogéneas," Ph.D. dissertation, Univ. Pol. de Madrid, Madrid, Spain, 2004.
- [34] *Definitions of terms related to quality of service*, Rec. ITU-T E.800, 2008.
- [35] *A Framework for QoS-based Routing in the Internet*, IETF RFC 2386, 1998.
- [36] *Marco para los servicios soportados por las IMT*, Rec. UIT-R M.1822, 2008.
- [37] *Quality of Service (QoS) concept and architecture (Release 11)*, 3GPP TS 23.107 V11.0.0, 2012.
- [38] *Requisitos relativos a la calidad de funcionamiento y servicio en las redes de acceso a las telecomunicaciones móviles internacionales 2000 (IMT 2000)*, Rec. UIT-R M.1079-2, 2003.
- [39] *Network Performance Objectives for IP-Based Services*, Rec. ITU-T Y.1541, 2011.
- [40] ITU-T, IPTV Focus Group Proceedings, Switzerland: ITU, 2008, p. 715.
- [41] J. Llorer, M. García, M. Atenas and A. Canovas, "A QoE management system to improve the IPTV network," *International Journal of Communication Systems*, vol. 24, no. 1, pp.118-138, Jan. 2010.
- [42] *End-user multimedia QoS categories*, ITU-T Rec. G.1010, 2001.
- [43] 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," *In Proc. 14th Wireless Personal Multimedia Communications Symposium (WPMC'11)*, IEEE, 2011, pp. 1-5.
- [44] *Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video*, ITU-T Rec. H.262, 2000.
- [45] *Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video*, ISO/IEC 13818-2, 2000.
- [46] *Advanced video coding for generic audiovisual services*, ITU-T Rec. H.264, 2005.
- [47] *Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 10: Advanced Video Coding AVC*, ISO/IEC 14496-10, 2005.
- [48] *Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information - Part 7: Advanced Audio Coding (AAC)*, ISO/IEC 13818-7, 2006.
- [49] *Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 3: Audio*, ISO/IEC 14496-3, 2005.
- [50] H. J. Kim and S. G. Choi, "A Study on a QoS/QoE Correlation Model for QoE Evaluation on IPTV Service," in *Proc. The 12th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, IEEE, 2010, pp. 1377-1382.
- [51] *Technical Report Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN); Review of available material on QoS requirements of Multimedia Services*, ETSI TR 102 479 V1.1.1, 2006.
- [52] S. Tomaziz and G. Jakus, "Long Term Evolution: Towards 4th Generation of Mobile Telephony and Beyond," in *Proc. 9th International Conference on Telecommunication in Modern Satellite, Cable, and Broadcasting Services (TELSIKS '09)*, IEEE, 2009, pp. 91-96.

- [53] 3GPP, "About 3GPP," Internet: <http://www.3gpp.org/About-3GPP>. [Ago. 18, 2012].
- [54] Agilent, *3GPP Long Term Evolution: System Overview, Product Development and Test Challenges*. USA: Agilent Technologies, Inc., 2008, p. 92.
- [55] Agilent, *Introducing LTE-Advanced*. USA: Agilent Technologies, Inc., 2011, p. 36.
- [56] *Feasibility study for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)*, 3GPP TR 25.912 V7.2.0, 2007.
- [57] *Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN)*, 3GPP TR 25.913 V7.3.0, 2007.
- [58] T. Nakamura, "Proposal for Candidate Radio Interface Technologies for IMT-Advanced Based on LTE Release 10 and Beyond (LTE-Advanced)," in *Proc. 3GPP IMT-Advanced Evaluation Workshop*, 3GPP, 2009, pp. 1-25.
- [59] P.E. Mogensen, T. Koivisto, K.I. Pedersen, I.Z. Kovacs, B. Raaf, K. Pajukoski and M.J. Rinne, "LTE-Advanced: The path towards gigabit/s in wireless mobile communications," in *Proc. 1st International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronics Systems Technology (Wireless VITAE 2009)*, IEEE, 2009, pp. 147-151.
- [60] *Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radio interface(s)*, Rep. ITU-R M.2134, 2008.
- [61] J. Wannstrom, "LTE-Advanced," Internet: <http://www.3gpp.org/LTE-Advanced>, May. 2012. [Jul 20, 2012].
- [62] M. Rumney, "3GPP LTE: Introducing Single-Carrier FDMA," *Agilent Measurement Journal*, pp. 1-10, Jan 2008.
- [63] S. Parkvall and D. Astely, "The Evolution of LTE towards IMT-Advanced," *Journal of Communications*, vol. 4, no. 3, pp. 146-154, Apr 2009.
- [64] Internet: <http://robclubbon.com/create-responsive-wordpress-site-streamline-genesis>, Jun. 2012. [Jul 21, 2012].
- [65] *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2*, 3GPP TS 36.300 V10.8.0, 2012.
- [66] F. Sandu, S. Cserey and E. Mile-Ciobanu, "Simulating of LTE Signaling," *Advances in Electrical and Computer Engineering*, AECE, vol. 10, no. 2, pp. 108-114, May. 2010.
- [67] *Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3*, 3GPP TS 24.301 V11.1.0, 2011.
- [68] *E-UTRA; Radio Resource Control (RRC) Protocol specification*, 3GPP TS 36.331 V10.4.0, 2011.
- [69] *E-UTRA; Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification*, 3GPP TS 36.323 V10.1.0, 2011.
- [70] *E-UTRA; Radio Link Control (RLC) protocol specification*, 3GPP TS 36.322 V10.0.0, 2011.
- [71] *E-UTRA; Medium Access Control (MAC) protocol specification*, 3GPP TS 36.321 V10.4.0, 2011.
- [72] *General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access*, 3GPP TS 23.401 V11.4.0, 2012.
- [73] D. Durán, R. Cerón, J. Arciniegas, "Architecture for the Support of the Video on Demand Service for Virtual Academic Communities on IPTV", in *Proc. 2011 6th Colombian Computing Congress (CCC)*, IEEE, 2011, pp. 1-7.
- [74] Osiasis, "ITIL V3 Gestión de servicios de TI," Internet: <http://itilv3.osiasis.es/itil.php>, 2011. [Sep. 11, 2012].
- [75] Alcatel Lucent, "LTE Evolved Packet System Architecture," Internet: http://lte.alcatel-lucent.com/locale/en_us/downloads/LTE_poster.pdf, 2011. [Jul. 18, 2012]
- [76] *Policy and charging control architecture*, 3GPP TS 23.203 V10.8.0, 2012.
- [77] J.-J.P. Balbas, S. Rommer and John Stenfelt, "Policy and Charging Control in the Evolved Packet System," *IEEE Communications Magazine*, vol.47, no. 2, pp. 68-74, Feb. 2009.
- [78] *IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2*, 3GPP TS 23.228 V10.7.0, 2011.
- [79] *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*, IETF RFC 3550, 2003.
- [80] *Real Time Streaming Protocol (RTSP)*, IETF RFC 2326, 1998.
- [81] *Transparent end-to-end Packet-switched Streaming Service (PSS); Protocols and codecs (Release 11)*, 3GPP TS 26.234 V10.4.0, 2012.

- [82] R. J. Vale, H. Viswanathan, "eMBMS for More Efficient Use of Spectrum," Internet: <http://www2.alcatel-lucent.com/blogs/techzine/2011/embms-for-more-efficient-use-of-spectrum/>, Nov. 2011. [Mar 20, 2012].
- [83] R. Radhakrishnan and A. Nayak, "Joint Delivery of Unicast and E-MBMS Services in LTE Networks," in *Proc. 2011 IEEE 17th International Conference on Parallel and Distributed Systems*, IEEE, 2011, pp. 127-133.
- [84] *Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and functional description (Release 11)*, 3GPP TS 23.246 V11.1.0, 2012.
- [85] H. Ekström, "QoS Control in the 3GPP Evolved Packet System," *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 2, pp. 76-83, Feb. 2009.
- [86] R. Gomes, F. Álvarez, F. Casadell, R. Ferrús, J. Pérez and O. Sallent, *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*, Fundación Vodafone, España, 2010, p. 431.
- [87] *Numbering, addressing and identification*, 3GPP TS 23.003 V11.4.0, 2012.
- [88] *Technical Specification Group Services and System Aspects; End-to-end Quality of Service (QoS) concept and architecture (Release 11)*, 3GPP TS 23.207 V11.0.0, 2009.
- [89] M. Salah, N. A. Ali, A. E. Taha and H. Hassanein, "Evaluating Uplink Schedulers in LTE in Mixed Traffic Environments", *In Proc. 2011 IEEE International Conference in Communications (ICC)*, IEEE, June 2011, pp. 1-5.
- [90] G. Piro, L. Grieco, G. Boggia, F. Capozzi, and P. Camarda, "Simulating LTE cellular systems: an open source framework," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60, no. 2, pp. 498–513, Feb. 2011.
- [91] G. Piro, L. A. Grieco, G. Boggia, R. Fortuna and P. Camarda, "Two-Level Downlink Scheduling for Real-Time Multimedia Services in LTE Networks", *Trans. IEEE Transactions on Multimedia*, vol.13, No.5, pp.1052-1065, Oct.2011.
- [92] Video trace library. Internet: <http://trace.eas.asu.edu/> [Mar. 1, 2013]
- [93] *Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP)*, Rec. ITU-T G.729, 2012.
- [94] C. Chuah and R. H. Katz, "Characterizing packet audio streams from Internet multimedia applications," in *Proc. 2002 IEEE International Conference on Communications (ICC 2002)*, IEEE, 2002, pp. 1199–1203.
- [95] *Requirements for the support of IPTV services*, Rec. ITU-T Y.1901, 2009.
- [96] *Resource and admission control functions in next generation networks*, Rec. ITU-T Y.2111, 2011.
- [97] *An Architecture for Differentiated Services*, IETF RFC 2475, 1998.
- [98] *Application profile - Sign language and lip-reading real-time*, Rec. ITU-T H.Sup1, 1999
- [99] *Performance monitoring points for IPTV*, Rec. ITU-Y G.1081, 2008.
- [100] *Requirements and capabilities for ITU-T NGN*, Rec. ITU-T Y.2201, 2009
- [101] *Framework for multicast-based IPTV content delivery*, Rec. ITU-T Y.1902, 2011
- [102] *Multicast IP performance parameters*, Rec. ITU-T Y.1544, 2008
- [103] *Guidelines for the use of traffic management mechanisms in support of IPTV services*, Rec. ITU-T Y.1920, 2012.
- [104] *Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters*, Rec. ITU-T Y.1540, 2011-
- [105] *Measurements in IP networks for inter-domain performance assessment*, Rec. ITU-T Y.1543, 2007.
- [106] *Framework of a service level agreement*, Rec. UIT-T E.860, 2003
- [107] SDI, *ITIL V3 Service Management Foundation*. England: Service Desk Institute, 2008 p. 126
- [108] *Por la cual se reglamenta el servicio de televisión y se formulan políticas para su desarrollo, se democratiza el acceso a éste, se conforma la Comisión Nacional de Televisión, se promueven la industria y actividades de televisión, se establecen normas para contratación de los servicios, se reestructuran <sic> entidades del sector y se dictan otras disposiciones en materia de telecomunicaciones*, Ley 182 de 1995, República de Colombia.
- [109] *Por medio del cual se modifican las condiciones de acceso a la prestación del servicio público de Televisión por Suscripción, la tarifa de compensación que deben cancelar los operadores de este servicio a la comisión nacional de televisión, y se dictan otras disposiciones*, Acuerdo CNTV 010 de 2006, República de Colombia.

- [110] *Por la cual se modifica parcialmente la Ley 14 de 1991 y la Ley 182 de 1995, se crea la televisión privada en Colombia y se dictan otras disposiciones*, Ley 335 de 1996, República de Colombia.
- [111] *Por la cual se establece la distribución de competencias entre las entidades del Estado en materia de televisión y se dictan otras disposiciones*, Ley 1507 de 2012, República de Colombia.
- [112] *Por medio del cual se establecen las condiciones previas de que trata el parágrafo 2º del artículo 14 de la Ley 1507 de 2012*, Resolución ANTV 048 de 2012, República de Colombia.
- [113] ANTV, “*Revisión de las condiciones de prestación de los servicios de Televisión por Suscripción con independencia de la tecnología*,” Colombia: ANTV, 2012, p. 44.
- [114] N. Beltrán, “*Problemas en torno a la clasificación de IPTV como un servicio de valor agregado y sus consecuencias entre los años 2006 – 2011*,” Undergraduate dissertation, Fac. Derecho y Ciencias Sociales, Univ. ICESI, Cali, Colombia, 2011.
- [115] *Por medio del cual se adoptan medidas para facilitar la convergencia de los Servicios y Redes en materia de Telecomunicaciones*, Decreto 2870 de 2007, República de Colombia.
- [116] *Por medio del cual se modifican las condiciones de acceso a la prestación del Servicio Público de Televisión por Suscripción, la tarifa de Compensación que deben cancelar los Operadores de este servicio a la Comisión Nacional de Televisión, y se dictan otras disposiciones*, Acuerdo CNTV 006 de 2010, República de Colombia.
- [117] *Por la cual se establece la Licencia Única para la prestación del servicio de televisión por suscripción*, Resolución ANTV 0179 de 2012, República de Colombia.
- [118] *Por medio del cual se modifica la tarifa de compensación que deben cancelar los operadores del servicio de televisión por suscripción y se dictan otras disposiciones*, Resolución ANTV 045 de 2012, República de Colombia.
- [119] *Por la cual se compilan los formatos vigentes de reporte del Régimen de Información Periódica de los Proveedores de Redes y Servicios de Telecomunicaciones*, Resolución CRC 3523 de 2012, República de Colombia.
- [120] *Por la cual se definen los indicadores de calidad para los servicios de telecomunicaciones y se dictan otras disposiciones*, Resolución CRC 3067 de 2011, República de Colombia.
- [121] *Por la cual se modifican las Resoluciones CRC 3067 y 3496 de 2011 y se dictan otras disposiciones*, Resolución CRC 4000 de 2012, República de Colombia.