

**ANÁLISIS MULTINIVEL DE LA CALIDAD DE SERVICIO Y SU RELACIÓN CON LA  
ARQUITECTURA TMN**



**MARIO FERNANDO CAICEDO ZAMUDIO  
CARLOS ANDRÉS VITERI MERA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
GRUPO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN  
2006**

**ANÁLISIS MULTINIVEL DE LA CALIDAD DE SERVICIO Y SU RELACIÓN CON LA  
ARQUITECTURA TMN**

**MARIO FERNANDO CAICEDO ZAMUDIO  
CARLOS ANDRÉS VITERI MERA**

Trabajo de Grado presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero en  
Electrónica y Telecomunicaciones

**Director  
Ing. OSCAR J. CALDERÓN CORTÉS**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
GRUPO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN  
2006**

# TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>1. PRÓLOGO.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 TERMINOLOGÍA .....</b>	<b>12</b>
<b>2. CALIDAD DE SERVICIO EN REDES DE TELECOMUNICACIONES .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 VISIÓN DE CALIDAD DE SERVICIO DE ETSI.....</b>	<b>16</b>
2.1.1 Calidad de Servicio requerida por el cliente .....	16
2.1.2 Calidad de Servicio ofrecida por el proveedor.....	17
2.1.3 Calidad de Servicio alcanzada por el proveedor .....	17
2.1.4 Calidad de Servicio percibida por el cliente.....	17
<b>2.2 VISIÓN DE CALIDAD DE SERVICIO DE IETF .....</b>	<b>18</b>
2.2.1 IntServ.....	18
2.2.2 DiffServ .....	19
<b>2.3 VISIÓN DE CALIDAD DE SERVICIO DE UIT-T.....</b>	<b>20</b>
2.3.1 Recomendación E.800. Términos y definiciones relacionados con la Calidad de Servicio y el Desempeño de Red incluyendo la fiabilidad.....	20
2.3.2 Recomendación G.1000. Calidad de Servicio en las comunicaciones: marco y definiciones.....	21
2.3.3 Recomendación Y.1540. Parámetros de desempeño para la transferencia de paquetes IP y la disponibilidad .....	21
2.3.4 Recomendación Y.1541. Objetivos de desempeño de red para servicios IP .....	21
2.3.5 Recomendación Y.1291. Marco arquitectural para el soporte de calidad de servicio en redes de paquetes .....	22
<b>2.4 EL MODELO GENERAL .....</b>	<b>23</b>
<b>3. PARÁMETROS Y MECANISMOS DE CALIDAD DE SERVICIO .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO .....</b>	<b>26</b>
3.1.1 Parámetros asociados a la transmisión de datos.....	26
3.1.2 Parámetros asociados a los atributos del servicio .....	27
3.1.3 Parámetros asociados a percepciones subjetivas de los usuarios .....	28
<b>3.2 MECANISMOS DE CALIDAD DE SERVICIO .....</b>	<b>28</b>
3.2.1 Mecanismos intrínsecos .....	29
3.2.1.1 Mecanismos que operan en los elementos de red.....	29
3.2.1.2 Mecanismos de red.....	36
3.2.2 Mecanismos complementarios .....	39
3.2.2.1 Acuerdos de Nivel de Servicio (SLAs, Service Level Agreements).....	39
3.2.2.2 Políticas .....	41
3.2.2.3 Métricas .....	41
3.2.2.4 Gestión de la Relación con el Cliente (CRM, Customer Relationship Management) .....	42

<b>4. VISIÓN MULTINIVEL DE LA CALIDAD DE SERVICIO .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1 ASPECTOS GENERALES DE LA VISIÓN MULTINIVEL DE CALIDAD DE SERVICIO .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2 NIVEL DE CLIENTE / USUARIO.....</b>	<b>48</b>
4.2.1 Calidad de Servicio Requerida .....	49
4.2.2 Calidad de Servicio Percibida.....	53
4.2.2.1 Conciencia del servicio .....	53
4.2.2.2 Expectativas del cliente.....	54
4.2.2.3 Experiencias recientes.....	55
4.2.2.4 Publicidad .....	55
4.2.2.5 Naturaleza del estudio .....	55
4.2.3 Calidad de Servicio Evaluada.....	56
4.2.3.1 SERVQUAL.....	57
4.2.3.2 SERVPERF.....	58
4.2.3.3 Sasser, Olsen Y Wickoff .....	58
4.2.3.4 Grönross .....	58
4.2.4 Propuesta Final del Nivel de Cliente / Usuario.....	59
<b>4.3 NIVEL DE PROVEEDOR DE SERVICIO.....</b>	<b>60</b>
4.3.1 Calidad de Servicio Ofrecida .....	60
4.3.1.1 Acuerdos de Nivel de Servicio .....	61
4.3.1.2 Planeación técnica de la red .....	62
4.3.1.3 Gestión de la Relación con el Cliente (CRM, Customer Relationship Management) .....	63
4.3.2 Calidad de Servicio Alcanzada .....	65
4.3.2.1 Metodología de medición de los parámetros .....	66
4.3.2.2 Verificación de objetivos .....	66
4.3.3 Propuesta Final del Nivel de Proveedor de Servicio .....	66
<b>4.4 NIVEL DE PROVEEDOR DE RED .....</b>	<b>68</b>
4.4.1 Funciones asociadas al borde de la red.....	68
4.4.2 Funciones de control de recursos .....	70
4.4.3 Reestablecimiento de tráfico .....	71
4.4.4 Propuesta Final del Nivel de Proveedor de Red .....	72
<b>4.5 PROPUESTA FINAL PARA EL MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>74</b>
<b>5. TMN Y LA VISIÓN MULTINIVEL DE CALIDAD DE SERVICIO .....</b>	<b>76</b>
<b>5.1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>76</b>
<b>5.2 GENERALIDADES DE TMN Y ANÁLISIS DE SUS POSIBLES RELACIONES CON LA VISIÓN MULTINIVEL DE CALIDAD DE SERVICIO .....</b>	<b>77</b>
5.2.1 Arquitectura funcional de TMN .....	78
5.2.1.1 Capa de Gestión Empresarial.....	81
5.2.1.2 Capa de Gestión de Servicios.....	83
5.2.1.3 Capa de Gestión de Red.....	85
5.2.1.4 Capa de Gestión de Elementos de Red.....	87
5.2.2 FCAPS.....	88
5.2.3 Arquitectura de Información de TMN.....	90
5.2.4 Arquitectura Física de TMN.....	90
<b>5.3 INTEGRACIÓN DE LAS RELACIONES IDENTIFICADAS Y EL MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>91</b>

<b>6. ESCENARIO DE APLICACIÓN DE LA VISIÓN MULTINIVEL DE CALIDAD DE SERVICIO .....</b>	<b>94</b>
<b>6.1 NIVEL DE CLIENTE / USUARIO.....</b>	<b>94</b>
6.1.1 Captura de Requerimientos.....	94
6.1.2 Calidad de Servicio Percibida y Evaluada.....	95
<b>6.2 NIVEL DE PROVEEDOR DE SERVICIO.....</b>	<b>95</b>
6.2.1 Calidad de Servicio Ofrecida .....	95
6.2.1.1 SLA para clientes residenciales .....	95
6.2.1.2 SLAs para clientes corporativos.....	98
6.2.1.3 Planeación Técnica de la Red.....	100
6.2.1.4 CRM.....	102
6.2.2 Calidad de Servicio Alcanzada .....	103
<b>6.3 NIVEL DE PROVEEDOR DE RED .....</b>	<b>103</b>
6.3.1 Funciones en el borde de la red .....	104
6.3.2 Funciones de control de recursos .....	106
6.3.3 Funciones de reestablecimiento de tráfico .....	107
6.3.4 Conmutación de Etiquetas Multi-Protocolo (MPLS, <i>MultiProtocol Label Switching</i> )..	107
6.3.5 Aplicación de políticas y procesos de mapeo.....	108
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>112</b>
<b>8. REFERENCIAS .....</b>	<b>114</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Relaciones entre los puntos de vista de QoS y el Desempeño de red .....	17
<b>Figura 2.</b> Modelo General de QoS y las aproximaciones UIT/ETSI e IETF.....	24
<b>Figura 3.</b> Método leaky bucket .....	31
<b>Figura 4.</b> Método token bucket .....	31
<b>Figura 5.</b> SLAs entre entidades de red ubicadas en diferentes niveles.....	40
<b>Figura 6.</b> Niveles de la Visión Multinivel y su correspondencia con el Modelo General....	47
<b>Figura 7.</b> Visiones de UIT/ETSI e IETF enmarcadas la Visión Multinivel .....	47
<b>Figura 8.</b> Matriz para la identificación de los criterios de QoS.....	51
<b>Figura 9.</b> Influencias sobre la Conciencia del servicio.....	54
<b>Figura 10.</b> Expectativas del cliente y la calidad percibida .....	55
<b>Figura 11.</b> Propuesta Final del Nivel de Cliente / Usuario .....	59
<b>Figura 12.</b> Oferta de servicios (SLAs diferenciados) para los dos tipos de clientes.....	61
<b>Figura 13.</b> Actividades de planeación y los documentos de soporte.....	63
<b>Figura 14.</b> Propuesta Final del Nivel de Proveedor de Red .....	67
<b>Figura 15.</b> Funciones propuestas por el marco para el borde de la red.....	70
<b>Figura 16.</b> Funciones de control de recursos y sus relaciones.....	71
<b>Figura 17.</b> Funciones de reestablecimiento de tráfico y sus relaciones .....	71
<b>Figura 18.</b> Mapa conceptual de la propuesta final del Nivel de Proveedor de Red.....	73
<b>Figura 19.</b> Propuesta final para el marco conceptual .....	75
<b>Figura 20.</b> Arquitectura Lógica por Capas de TMN .....	79
<b>Figura 21.</b> Capa de Gestión Empresarial de TMN y la Visión Multinivel .....	82
<b>Figura 22.</b> Capa de Gestión de Servicios de TMN y la Visión Multinivel.....	84
<b>Figura 23.</b> Capa de Gestión de Red de TMN y la Visión Multinivel.....	86
<b>Figura 24.</b> Capa de Gestión de Elementos de Red de TMN y la Visión Multinivel.....	87
<b>Figura 25.</b> Marco conceptual. Integración de la Visión Multinivel y TMN .....	92
<b>Figura 26.</b> Red de referencia para la implementación del marco conceptual.....	104
<b>Figura 27.</b> Operación de COPS y COPS-PR.....	105
<b>Figura 28.</b> Señalización RSVP y su interacción con el dominio DiffServ .....	110
<b>Figura 29.</b> Procedimientos de mapeo en el ejemplo propuesto .....	111

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Definición de Clases de QoS y sus objetivos de Desempeño de Red.....	63
<b>Tabla 2.</b> Marcación de tráfico, reservación de recursos y su implementación.....	69
<b>Tabla 3.</b> Funciones de los niveles del Modelo OSI para Calidad de Servicio.....	72
<b>Tabla 4.</b> Tipos de tráfico y sus prioridades para 802.1p / 802.11e .....	102
<b>Tabla 5.</b> Planeación técnica. Niveles, clases de servicio y parámetros asociados.....	102
<b>Tabla 6.</b> Resumen de las tecnologías en el Nivel de Proveedor de Red.....	108

## ACRÓNIMOS

<b>AF</b>	Assured Forwarding (Reenvío Asegurado)
<b>AP</b>	Access Point (Punto de Acceso)
<b>BE</b>	Best Effort (Mejor Esfuerzo)
<b>BML</b>	Business Management Layer (Capa de Gestión Empresarial)
<b>CL</b>	Controlled Load (Servicio de Carga Controlada)
<b>CoS</b>	Class of Service (Clase de Servicio)
<b>COPS</b>	Common Open Policy Service (Protocolo Común Abierto para el Servicio de Políticas)
<b>CRM</b>	Customer Relationship Management (Gestión de la Relación con el Cliente)
<b>DiffServ</b>	Differentiated Services (Servicios Diferenciados)
<b>DSCP</b>	Differentiated Services Code Point (Punto de Código para Servicios Diferenciados)
<b>ECN</b>	Explicit Congestion Notification (Notificación Explícita de Congestión)
<b>EF</b>	Expedited Forwarding (Reenvío Expedito)
<b>EML</b>	Element Management Layer (Capa de Gestión de Elementos de Red)
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute (Instituto Europeo de Estándares en Telecomunicaciones)
<b>FCAPS</b>	Failure, Configuration, Accounting, Performance, Security (Fallas, Configuración, Contabilidad, Desempeño de Red y Seguridad)
<b>FIFO</b>	First In First Out (Primero en entrar, primero en salir)
<b>FRED</b>	Flow RED (RED de flujo)
<b>GS</b>	Guaranteed Service (Servicio Garantizado)
<b>IETF</b>	Internet Engineering Task Force (Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet)
<b>IntServ</b>	Integrated Services (Servicios Integrados)
<b>IP</b>	Internet Protocol (Protocolo Internet)
<b>ISO</b>	International Standards Organization (Organización Internacional de Estándares)
<b>LAN</b>	Local Area Network (Red de Área Local)
<b>LLA</b>	Logical Layered Architecture (Arquitectura Lógica por Capas)
<b>LSP</b>	Label Switched Path (Trayecto Conmutado por Etiquetas)
<b>MPLS</b>	MultiProtocol Label Switching (Conmutación de Etiquetas MultiProtocolo)

**MOS** Mean Opinion Score (Nota Media de Opinión)

**NE** Network Element (Elemento de red)

**NEF** Network Element Functions (Funciones de Elemento de Red)

**NML** Network Management Layer (Capa de Gestión de Red)

**NP** Network Performance (Calidad de Funcionamiento de la Red ó Desempeño de Red)

**OSF** Operations System Functions (Funciones de Sistema de Operaciones)

**OSI** Open System Interconnection (Interconexión de Sistemas Abiertos)

**OSPF** Open Shortest Path First

**PHB** Per Hop Behavior (Comportamiento por Saltos)

**PQ** Priority Queuing (Puesta en cola por prioridad)

**PDP** Policy Decision Point (Punto de Decisión de Políticas)

**PEP** Policy Enforcement Point (Punto de Aplicación de Políticas)

**QoS** Quality of Service (Calidad de Servicio)

**RED** Random Early Detection (Detección Aleatoria Temprana)

**RR** Round Robin

**RSVP** Resource ReSerVation Protocol (Protocolo de Reservación de Recursos)

**SLA** Service Level Agreement (Acuerdo de Nivel de Servicio)

**SLS** Service Level Specifications (Especificaciones de Nivel de Servicio)

**SML** Service Management Layer (Capa de Gestión de Servicios)

**TCA** Traffic Conditioning Agreement (Acuerdo de Condicionamiento de Tráfico)

**TCP** Transmission Control Protocol (Protocolo de Control de la Transmisión)

**TCS** Traffic Conditioning Specifications (Especificaciones de Condicionamiento de Tráfico)

**TF** Transformation Functions (Funciones de Transformación)

**TIC** Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

**TMN** Telecommunications Management Network (Red de Gestión de las Telecomunicaciones)

**ToS** Type of Service (Tipo de Servicio)

**UDP** User Datagram Protocol (Protocolo de Datagramas de Usuario)

**UIT-T** Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones

**VLL** Virtual Leased Line (Línea Arrendada Virtual)

**WAN** Wide Area Network (Red de Área Extensa)

**WFQ** Weighted Fair Queuing (Puesta en cola Justa Ponderada)

**WLAN** Wireless Local Area Network (Red de Área Local Inalámbrica)

**WRED** Weighted RED (RED Ponderado)

**WRR** Weighted Round Robin (Round Robin Ponderado)

**WSF** WorkStation Functions (Funciones de Estación de Trabajo)

# 1. PRÓLOGO

## 1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, una de las exigencias más grandes de los operadores de redes de telecomunicaciones es la de garantizar calidad en el portafolio de servicios que suministra, además de satisfacer los requerimientos de los suscriptores. Tradicionalmente, las redes siguen un paradigma en el que cada servicio que se crea debe tener una red particular que lo soporte, dando origen a una multiplicidad de infraestructuras que permiten garantizar de forma sencilla el ofrecimiento de Calidad de Servicio, pues son redes que se adaptan a las condiciones de tráfico particulares.

La tendencia actual de los operadores es la convergencia, en la cual una sola red debe soportar diversos servicios. Este tipo de redes basadas en paquetes transportan múltiples flujos de datos con diferentes requerimientos, por lo cual surge el desafío de tener que brindar Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*) con una misma infraestructura, tanto tecnológica como protocolar, y aparecen muchos problemas que se deben solucionar.

En este contexto surgió la necesidad de realizar este trabajo de grado, con el fin de consolidar los conocimientos en el tema y proponer un marco conceptual que plantee una forma novedosa y coherente de abordar los problemas inherentes a la provisión de Calidad de Servicio.

Este documento está organizado de la siguiente manera: en primer lugar, como complemento de la introducción, se presenta una definición simple de la terminología básica que se va a utilizar en el desarrollo del trabajo; ella ofrece una ambientación antes de abordar temas específicos.

Posteriormente, en los Capítulos 2 y 3 se ofrece una aproximación al estado del arte de la Calidad de Servicio: las principales definiciones, mecanismos y parámetros. Esto ayuda a identificar de una forma clara las necesidades que existen en el tema y a contextualizar el desarrollo de este trabajo. El estado del arte contribuye a la consolidación del conocimiento en el área de las Redes Telemáticas Multiservicio.

En el Capítulo 4 se realiza un Análisis Multinivel de la Calidad de Servicio, y se propone un marco conceptual que aporta una nueva visión del tema y permite enmarcar los trabajos existentes y por venir. Este análisis aporta principalmente dos elementos: en primer lugar, están la identificación y especificación de las relaciones entre los distintos elementos, mecanismos y aspectos relacionados con la provisión de Calidad de Servicio. En segundo lugar se encuentra la definición del marco basada en una estructura por niveles, la cual especifica sus interacciones y funcionalidades, de manera que se tienen en cuenta aspectos que abarcan desde el negocio de las telecomunicaciones hasta los mecanismos de Calidad de Servicio en redes de paquetes.

En el Capítulo 5 se justifica la necesidad de establecer relaciones de la Visión Multinivel de Calidad de Servicio con la Gestión de Redes de Telecomunicaciones, particularmente con la arquitectura TMN. Se plantean las consideraciones básicas, se analiza la existencia de esas relaciones y, de ser el caso, se especifican e integran con el marco conceptual. Adicionalmente, se describen escenarios en los cuales se puede aplicar el marco, con el fin de lograr una mejor comprensión de los resultados obtenidos. Por último se dan una serie de conclusiones, recomendaciones y perspectivas obtenidas con el desarrollo del proyecto.

## 1.2 TERMINOLOGÍA

A continuación se presenta una lista de la terminología utilizada en este documento y su significado. Su objetivo es brindar una referencia conceptual general; los términos más importantes se definen con mayor precisión en los capítulos siguientes. Aunque algunos de los conceptos pueden tener una connotación diferente, cuando se utilicen en este documento su significado será el descrito a continuación.

Conviene empezar definiendo los conceptos de 'calidad' y 'servicio', los cuales se deben conocer para establecer en los capítulos siguientes el concepto general de 'Calidad de Servicio'.

- **Calidad.** Este concepto es fácil de definir para los productos, pero bastante complicado para cualquier servicio. Al hablar de las telecomunicaciones, la definición más difundida es la de la Organización Internacional de Estándares (ISO, *International Standards Organization*) [1], la cual se cita a continuación: "**La totalidad de características de una entidad que afectan su habilidad de satisfacer necesidades declaradas e implícitas**". En este trabajo, una 'entidad' puede ser un proveedor de telecomunicaciones o un servicio.
- **Servicio.** Hace referencia a un servicio de telecomunicaciones. El concepto es intangible y varios economistas plantean definiciones complejas que no son prácticas en el ámbito de este trabajo. La definición más conveniente es: "**la aplicación de una red de telecomunicaciones que consiste en ofrecer un conjunto predefinido de funciones que permiten su utilización por parte de los usuarios, con el fin de satisfacer sus necesidades**", la cual se adaptó de las especificadas en [2] y [3].

Ahora, se identifican los principales actores involucrados en la prestación de un servicio. Las siguientes definiciones se toman de [2]:

- **Cliente.** La persona u organización que paga por la provisión de un servicio.
- **Usuario.** Persona que utiliza el servicio de telecomunicaciones.

- **Proveedor de servicio.** Organización que ofrece un servicio a los clientes o usuarios. No es necesariamente un proveedor de red.
- **Proveedor de red.** Organización que provee la infraestructura de telecomunicaciones necesaria para un ofrecer un servicio. La misma organización puede ser a la vez un proveedor de servicio.

Los organismos de estandarización más importantes a cuyos trabajos se hace referencia en este documento son los siguientes:

- **Instituto Europeo de Estándares en Telecomunicaciones (ETSI, *European Telecommunications Standards Institute*).** Organización independiente sin ánimo de lucro cuya misión es producir estándares en telecomunicaciones. Es el responsable oficial de la estandarización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) dentro de Europa.
- **Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet (IETF, *Internet Engineering Task Force*).** Comunidad internacional abierta de diseñadores de red, operadores, fabricantes e investigadores comprometidos con la evolución de la arquitectura de Internet y su correcta operación.
- **Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T).** Entidad encargada de estudiar los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios de los servicios, y de publicar recomendaciones con el fin de normalizar las telecomunicaciones a nivel mundial.

Dado el énfasis que tiene este trabajo en las redes basadas en paquetes, se presentan algunos conceptos relacionados con esta tecnología:

- **IP (*Internet Protocol*).** Es un protocolo del nivel de red que permite la conectividad de redes físicas diferentes. Su función principal es el enrutamiento, que consiste en definir un camino (cada enrutador define el siguiente segmento de la ruta) para enviar paquetes a través de varias redes físicas. Este protocolo es no orientado a la conexión, no provee corrección de errores ni control de flujo y, por lo tanto, no es confiable para los niveles superiores.
- **TCP (*Transmission Control Protocol*).** Es un protocolo del nivel de transporte orientado a conexión. Establece comunicación entre terminales a través de puertos lógicos controlados por los sistemas operativos. También se encarga del control del flujo de datos por medio de mensajes de confirmación de recepción (llamados ACK) y provee control de errores.
- **UDP (*User Datagram Protocol*).** Es un protocolo del nivel de transporte que es no orientado a conexión. No utiliza mensajes ACK (no realiza control de flujo) y es utilizado por la mayoría de aplicaciones que generan tráfico de tiempo real.

- **Flujo.** Conjunto distinguible de paquetes que se generan por una misma actividad de usuario y que tienen los mismos requerimientos de Calidad de Servicio. Los paquetes que pertenecen a un mismo flujo se pueden identificar por medio de los campos de dirección de origen y destino, puertos de origen y destino e identificador de protocolo, presentes en el encabezamiento de los datos. Esta definición se adaptó de [4].
- **Ruta o trayecto.** Una secuencia de enlaces entre dispositivos desde el origen hasta el destino que se determina por medio de un esquema de enrutamiento.

Finalmente, algunos términos utilizados frecuentemente relacionados con la Calidad de Servicio:

- **Mejor Esfuerzo (BE, *Best Effort*).** El tratamiento que las redes de paquetes ofrecen por defecto a todo el tráfico. Todos los paquetes reciben la misma atención y se transportan con el mejor esfuerzo de la red, sin que se establezcan prioridades para los servicios.
- **Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA, *Service Level Agreement*).** Documento de carácter técnico, económico y legal entre un proveedor de servicio y un cliente, que especifica qué servicios se van a suministrar, cuáles son sus características y las sanciones por su incumplimiento.
- **Protocolo de Reservación de Recursos (RSVP, *Resource ReSerVation Protocol*).** Es un protocolo de señalización de Calidad de Servicio, utilizado para transportar todo tipo de información relacionada. Particularmente utilizado para los procedimientos de reservación de recursos en la red, aunque tiene numerosas aplicaciones adicionales. Se transporta sobre datagramas IP.
- **Clase de Servicio (CoS, *Class of Service*).** Clasificación que determina el tratamiento que recibirá el tráfico al interior de una red de paquetes.
- **Elemento de red (NE, *Network Element*).** Cualquier equipo, parte, sistema, unidad funcional o dispositivo de telecomunicaciones que se puede considerar individualmente o como perteneciente a la red.

Con esta perspectiva de los principales conceptos relacionados con la Calidad de Servicio, se continúa en el siguiente capítulo con una descripción más detallada del tema, que incluye las aproximaciones realizadas por los organismos de estandarización en telecomunicaciones más importantes. Esto permitirá conocer el estado del arte del problema en cuestión.

## 2. CALIDAD DE SERVICIO EN REDES DE TELECOMUNICACIONES

Tradicionalmente la provisión de los servicios de telecomunicaciones se ha realizado a través de infraestructuras especializadas, es decir, cada servicio tiene una arquitectura de red que se ajusta a sus necesidades. Por ejemplo, las redes telefónicas convencionales se desarrollaron para ajustarse a las características de la voz: la red de acceso ofrece un ancho de banda preciso para esta señal y que siempre está disponible, los métodos de conmutación se adaptan perfectamente y los niveles de disponibilidad en las redes troncales son muy altos. De la misma forma, el desarrollo de las redes de datos dio lugar a una especialización en los dispositivos de transmisión y en las pilas de protocolos, enfocándose en la entrega eficiente de los datos (sin pérdidas de información) y en la conectividad de múltiples redes, como en el caso de Internet. En ese contexto, la utilización de infraestructuras especializadas generó una oferta de servicios de alta calidad y elevó las expectativas de los usuarios.

Sin embargo, la evolución del sector de las telecomunicaciones ha provocado cambios en el modelo de provisión de servicios de muchos operadores. Se ha pasado de un modelo vertical en el cual la red y los servicios aparecen estrechamente ligados, a un modelo intermedio que empezó con la intensificación de la competencia, en el que se mezclan redes y servicios de una forma no siempre óptima, por ejemplo, algunos operadores de telefonía han incursionando en el negocio de la provisión de acceso a Internet o televisión por suscripción.

El paso siguiente es un modelo horizontal en el que se propone una independencia absoluta entre redes y servicios, con una infraestructura común a la cual se denomina red multiservicios. Soportar en esta red las distintas aplicaciones, existentes o por venir, implica que ella debe responder a unos criterios de diseño estrictos que aseguren su funcionamiento con los niveles de calidad requeridos (los mismos que se lograrían con infraestructuras especializadas), esto constituye el concepto general de Calidad de Servicio.

La principal tecnología que soportará esta convergencia es la de redes de paquetes, especialmente las basadas en el Protocolo Internet (IP, *Internet Protocol*). Éstas fueron concebidas para transportar de forma óptima y segura tráfico normal de datos. Sin embargo, al integrar múltiples servicios se necesita que la red ofrezca un tratamiento diferente a cada uno de ellos, garantizando los parámetros que aseguren su funcionamiento correcto como el ancho de banda (o velocidad de bits), el retardo total, el jitter y la pérdida de paquetes, entre otros. El desafío de brindar Calidad de Servicio sobre estas redes (que involucran infraestructuras físicas y protocolares) es bastante complicado y han surgido muchos problemas técnicos que se deben solucionar para alcanzar una verdadera convergencia.

Como se mencionó anteriormente, los niveles actuales de calidad, confiabilidad y disponibilidad de determinados servicios (como el caso de la telefonía) son muy altos, y como consecuencia de ello los clientes han desarrollado una percepción subjetiva de la calidad a la cual se han habituado a lo largo de años de uso de la red telefónica básica, lo que supone un importante reto para cualquier solución desplegada en una red. La nueva concepción de las empresas de telecomunicaciones, en la que el cliente se constituye en el eje de su desarrollo, obliga a un enfoque en el que las expectativas del usuario deben definir los parámetros técnicos que permitan soportar de una forma adecuada los servicios que se le presten.

Por lo mencionado anteriormente y al notar que la Calidad de Servicio desempeñará un papel fundamental en las redes multiservicio, los organismos internacionales más importantes centraron su atención en ella, publicando varias investigaciones y generando estándares al respecto. En este capítulo se hará referencia a los trabajos realizados por ETSI, IETF y UIT, los cuales son los más difundidos y aceptados, con el fin de brindar una apreciación general del estado del arte de la Calidad de Servicio. También se presentará el modelo general que enmarca las diversas visiones y además toma en cuenta aspectos que no han sido tratados por las organizaciones de estandarización.

## **2.1 VISIÓN DE CALIDAD DE SERVICIO DE ETSI**

La Calidad de Servicio definida en la recomendación UIT-T E.800 [5] como **“el efecto colectivo del desempeño de un servicio que determina el grado de satisfacción de un usuario”**, se toma como referencia por el ETSI en el reporte ETR 003 [2]. Esta definición tiene en cuenta el punto de vista del usuario e identifica de manera clara la relación que existe entre el desempeño y la QoS. Las definiciones relacionadas con el Desempeño serán abordadas posteriormente en la sección correspondiente a los trabajos de UIT-T.

Un aporte importante de la visión de ETSI es el análisis del problema desde diferentes puntos de vista, teniendo en cuenta la perspectiva del cliente y del proveedor. Entre ellas debe existir una realimentación con el fin de que los requerimientos del usuario sean tomados por el proveedor como punto de partida para una prestación satisfactoria del servicio. La Figura 1 presenta los diferentes puntos de vista de QoS y su relación con el desempeño de la red, según el ETR 003. A continuación se describen brevemente los cuatro puntos de vista de QoS definidos por ETSI.

### **2.1.1 Calidad de Servicio requerida por el cliente**

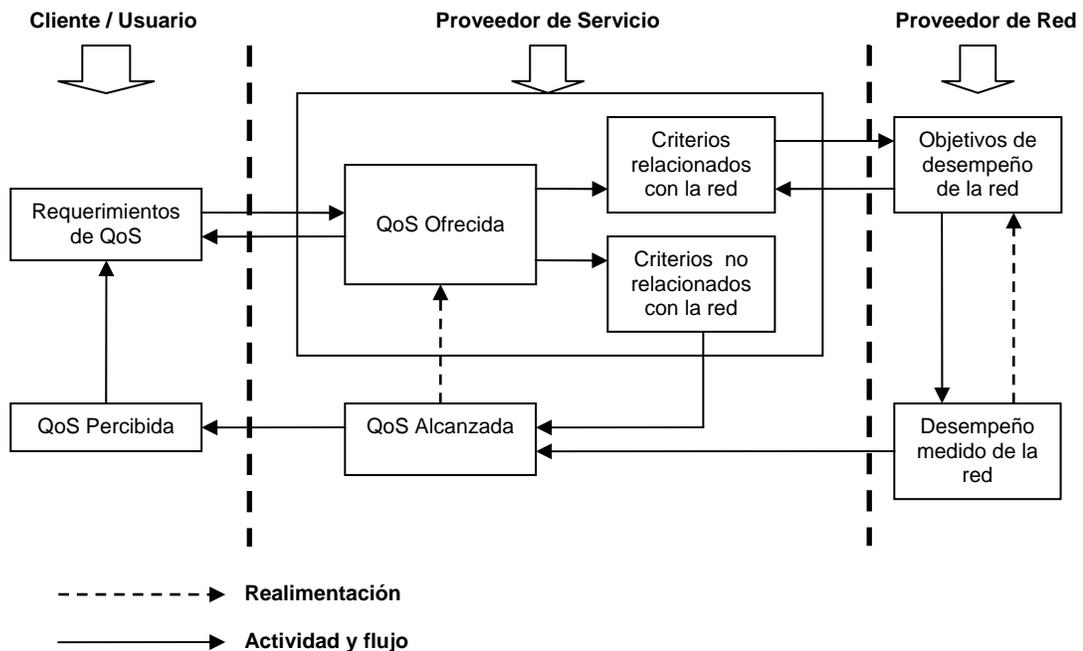
La QoS requerida por el cliente es una manifestación de un nivel de calidad que el usuario requiere o prefiere para un servicio determinado, expresado en términos técnicos o subjetivos. Esto es posible ya que a la mayoría de los clientes no les interesa cómo se le provee el servicio o los aspectos internos de la red, sólo tiene claro el grado de calidad que necesita. Las preferencias del usuario se expresan a través de parámetros que el puede percibir, no dependen de la red, tienen en cuenta todos sus puntos de vista y

deben ser asegurados por el proveedor del servicio creando un lenguaje común con el cliente que debe ser independiente de la red y entendible por las dos partes.

### 2.1.2 Calidad de Servicio ofrecida por el proveedor

La Calidad de Servicio ofrecida es, como su nombre lo indica, una manifestación del nivel de calidad que el proveedor espera poner a disposición del cliente. Se expresa a través de valores asignados a parámetros de QoS diseñados para que el cliente los pueda entender, es decir, que se expresan en un lenguaje común para el cliente y el proveedor, sin entrar en detalles técnicos. Cada uno de los servicios que se proveen tiene su conjunto propio de parámetros.

**Figura 1.** Relaciones entre los puntos de vista de QoS y el Desempeño de red [2].



### 2.1.3 Calidad de Servicio alcanzada por el proveedor

La Calidad de Servicio alcanzada por el proveedor es una manifestación del nivel de calidad que efectivamente se ha entregado al cliente. Se expresa a través de medidas de los parámetros definidos para el servicio y se busca que el valor alcanzado sea lo más cercano al valor ofrecido. Esta QoS se evalúa en periodos de tiempo predefinidos.

### 2.1.4 Calidad de Servicio percibida por el cliente

Es el nivel de calidad que el usuario ha experimentado, expresado generalmente en términos subjetivos relacionados con el grado de satisfacción.

## **2.2 VISION DE CALIDAD DE SERVICIO DE IETF**

Con el surgimiento de los servicios y aplicaciones de tiempo real que corren sobre Internet la IETF comenzó a trabajar en el tema de la Calidad de Servicio y los problemas que supone. La primera definición formal de QoS por parte de la IETF se presenta en el glosario del RFC 2386 [6] como “**un conjunto de requerimientos de un servicio que la red debe satisfacer al transportar un flujo**”. Esta definición está enfocada a los elementos técnicos de la red, concentrándose en suministrar parámetros de transporte adecuados para los flujos y en el desarrollo de la arquitectura de Internet; no tiene en cuenta elementos relacionados con la calidad percibida por el usuario ni por fuera del desempeño de la red.

Entre los desarrollos más importantes de IETF se encuentran marcos de trabajo creados con el fin de incentivar los desarrollos en el campo de la Calidad de Servicio, facilitando así la evolución de las redes hacia la convergencia. Todos estos desarrollos proponen una extensión al modelo actual de Internet ya que cambiarlo completamente es una tarea demasiado compleja.

De acuerdo a lo anterior, IETF desarrolló dos arquitecturas de Calidad de Servicio para Internet que operan sobre el nivel IP, denominadas Servicios Integrados (IntServ, *Integrated Services*) y Servicios Diferenciados (DiffServ, *Differentiated Services*). Ambas permiten gestionar los recursos con base en Clases de Servicio.

### **2.2.1 IntServ**

El modelo de servicio de Internet (Best Effort) permaneció inalterado desde su creación y la IETF consideró que cambiarlo completamente sería un cometido demasiado complejo. Los esfuerzos para extender el modelo y soportar Calidad de Servicio aparecen reflejados de forma oficial en el RFC 1633 [4] titulado “*Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview*”, en el cual se propone una extensión de la arquitectura y protocolos de Internet con el fin de soportar servicios de tiempo real sobre redes IP. Esta extensión, usualmente conocida como Servicios Integrados (IntServ, *Integrated Services*), es la primera arquitectura de Calidad de Servicio desarrollada para redes de paquetes y se propuso como un suplemento del servicio IP básico, no como reemplazo.

El RFC 1633 especifica la extensión del modelo de servicio así como un marco para su implementación. Esta separación se realizó con el fin de permitir la evolución de las implementaciones a lo largo del ciclo de vida del modelo.

El modelo se basa en los siguientes supuestos:

- Los recursos se deben gestionar de forma directa y explícita para satisfacer los requerimientos de las aplicaciones. Esto implica la utilización de mecanismos para control de admisión y reservación de recursos.

- Internet debe ser la infraestructura común para el tráfico normal y el de tiempo real, ya que construir una nueva red para el tráfico de tiempo real sería demasiado complejo. Esto implica que se debe unificar la pila de protocolos para cualquier tipo de tráfico, es decir, IP debe ser utilizado también para el transporte de datos de tiempo real.

Cada flujo se debe atender independientemente y no puede influenciar a otros. La arquitectura define dos Clases de Servicio adicionales a la Best Effort, llamadas Servicio Garantizado (GS, *Guaranteed Service*) y Servicio de Carga Controlada (CL, *Controlled Load*), las cuales especifican el tratamiento que deben recibir los flujos a lo largo de la ruta. Además, IntServ requiere que los recursos necesarios para satisfacer los requerimientos de una aplicación o servicio se reserven sobre el trayecto con anticipación, para lo cual es necesario el Protocolo de Reservación de Recursos (RSVP, *Resource ReSerVation Protocol*). Este protocolo utiliza un conjunto de mensajes de señalización para transportar información sobre los requerimientos y propiedades de cada flujo, la cual se utiliza para mantener tablas de estado en cada uno de los nodos, generando un alto tráfico de señalización y ocupación de recursos en los dispositivos [7].

Las garantías ofrecidas conducen a problemas de escalabilidad debido a que la cantidad de señalización se incrementa proporcionalmente al número de flujos y, además, los enrutadores necesitan grandes espacios de almacenamiento y alta capacidad de procesamiento debido a la necesidad de implementar el protocolo RSVP, control de admisión, un clasificador de tráfico y en especial algoritmos planificadores de paquetes [8].

### 2.2.2 DiffServ

DiffServ es una arquitectura de Calidad de Servicio desarrollada por IETF [9] con el fin de superar los problemas de escalabilidad de IntServ. Se basa en la división del tráfico en un número limitado de Clases de Servicio, trasladando el procesamiento más complejo a los nodos de frontera del dominio. DiffServ no necesita que una aplicación reserve recursos para cada flujo sino que los requerimientos de QoS de los usuarios se especifiquen en un Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA, *Service Level Agreement*).

Todo el tráfico que ingresa a un dominio DiffServ se clasifica asignándosele un comportamiento de reenvío predeterminado denominado Comportamiento por Saltos (PHB, *Per Hop Behavior*). Es por esto que los paquetes deben marcarse con un código que diferencia los distintos comportamientos. La marca se realiza cambiando un campo del encabezado IP, particularmente el campo Tipo de Servicio (ToS, *Type of Service*), por un código denominado DSCP (*Differentiated Services Code Point*) que consta de 6 bits para diferenciar clases de tráfico y 2 bits reservados [10]. El código se asigna en los terminales ó en el enrutador de ingreso al dominio DiffServ y se examina en cada uno de los nodos del trayecto con el fin de gestionar colas y controlar los mecanismos de planificación en los enrutadores.

Se han definido dos PHBs adicionales al Best Effort que conforman las nuevas Clases de Servicio que se describen a continuación. El Reenvío Expedito (EF, *Expedited*

*Forwarding*) proporciona un servicio de baja pérdida de paquetes, bajo retardo, bajo jitter y ancho de banda asegurado que es equivalente al servicio llamado Línea Arrendada Virtual (VLL, *Virtual Leased Line*) [11]. Los paquetes pertenecientes al PHB EF se marcan con el código 101110. El Reenvío Asegurado (AF, *Assured Forwarding*) proporciona alta probabilidad de que los parámetros del tráfico sean conformes a los acuerdos. Aunque se permite que el cliente genere más tráfico del acordado, el exceso no será tratado de la misma manera, además, se definen cuatro clases de AF con diferentes niveles de prioridad y con marcas que permiten saber qué paquetes se eliminarán primero en caso de congestión.

Es importante señalar que dado que la marcación de tráfico se realiza en el ingreso al dominio DiffServ, la Calidad de Servicio se garantiza únicamente en una dirección.

## **2.3 VISIÓN DE CALIDAD DE SERVICIO DE UIT-T**

La UIT busca generar estándares para el sector de las telecomunicaciones y ha creado diversas recomendaciones que se relacionan con la QoS, de las cuales las más importantes son:

- La recomendación E.800: presenta una definición genérica de Calidad de Servicio que hace énfasis en los aspectos operativos de las redes, así como diversas definiciones relacionadas con el tema.
- La recomendación G.1000 [12]: presenta un marco de QoS no relacionado con la red, que la ubica dentro de un contexto de negocio en el cual participan tanto clientes como proveedores.
- Las recomendaciones Y.1540 [13] e Y.1541 [14]: definen parámetros y valores que se pueden utilizar para medir y evaluar la calidad de funcionamiento en redes IP.
- La recomendación Y.1291 [15]: presenta un marco arquitectural para el soporte de Calidad de Servicio en redes de paquetes, realizando un compendio de los principales mecanismos de red existentes que permiten soportarla.

### **2.3.1 Recomendación E.800. Términos y definiciones relacionados con la Calidad de Servicio y el Desempeño de Red incluyendo la fiabilidad**

Esta recomendación define la Calidad de Servicio como “**el efecto colectivo del desempeño de un servicio que determina el grado de satisfacción de un usuario del servicio**”, definición muy difundida en el sector de las telecomunicaciones por ser una de las primeras que surgió. La recomendación también busca identificar los principales factores que influyen colectivamente en la Calidad de Servicio que el usuario percibe y, además, define los aspectos operativos de las redes. Sin embargo, no tiene en cuenta el marco en el cual todas las definiciones planteadas se desenvuelven, por lo cual se queda corta al tratar de aplicarla en un contexto real de negocio en una red de telecomunicaciones.

De acuerdo a la definición de Calidad de Servicio que se presenta, UIT establece la calidad de funcionamiento de la red (NP, Network Performance) como un concepto fundamental en el tema, definiéndola en la misma recomendación como ***“la habilidad de una red o segmento de red para proveer funciones relacionadas con la comunicación entre usuarios”***. En el presente documento el término *“calidad de funcionamiento”* será sustituido por *“desempeño”*.

### **2.3.2 Recomendación G.1000. Calidad de Servicio en las comunicaciones: marco y definiciones**

Esta recomendación busca establecer un enfoque coherente de la Calidad de Servicio, es decir, busca establecer una concepción de QoS mas tangible y acorde con un modelo de telecomunicaciones, en el cual hay interacción entre las partes que lo conforman, de tal manera que el concepto de calidad no se vea desligado sino que las expectativas del usuario permitan establecer criterios para planificar las redes y los servicios que se van a prestar.

Esta recomendación termina presentando un modelo muy parecido al que tiene la ETSI en el cual se toman en cuenta tanto la perspectiva del cliente como del proveedor. La recomendación define cuatro perspectivas diferentes que son: las necesidades de QoS del cliente, las ofertas de QoS del proveedor de servicio (QoS esperada), la QoS conseguida y la calificación de QoS en las encuestas del cliente. Como se observa, los conceptos son equiparables a las definiciones del ETR 003 de ETSI.

### **2.3.3 Recomendación Y.1540. Parámetros de desempeño para la transferencia de paquetes IP y la disponibilidad**

Esta recomendación no está relacionada directamente con la Calidad de Servicio sino con el desempeño de red y define los parámetros que se pueden utilizar para especificar y evaluar esta calidad en cuanto a velocidad, exactitud, seguridad de funcionamiento y disponibilidad de transferencia de paquetes. Estos parámetros se aplican extremo a extremo, punto a punto, y a tramos de la red.

Con esta recomendación los proveedores pueden planificar, desarrollar y evaluar un servicio para que satisfaga las necesidades de los usuarios. También puede ser utilizada por los fabricantes de equipos como fuente de información sobre los parámetros que deberán cumplir los dispositivos, al igual que por los usuarios finales para evaluar la calidad del servicio que se les está prestando.

### **2.3.4 Recomendación Y.1541. Objetivos de desempeño de red para servicios IP**

Esta recomendación establece los valores de desempeño aceptables para cada uno de los parámetros definidos en la recomendación Y.1540. Estos se agrupan en un conjunto

de Clases de Servicio que tiene por objetivo establecer las bases de acuerdos entre los clientes, los proveedores de servicio y los proveedores de red.

### **2.3.5 Recomendación Y.1291. Marco arquitectural para el soporte de calidad de servicio en redes de paquetes**

La Recomendación UIT-T Y.1291 proporciona una estructura lógica para enmarcar mecanismos genéricos (denominados bloques de construcción) cuyo principal objetivo es mejorar el desempeño de la red. Este marco arquitectural es independiente de la aplicación y se basa en mecanismos genéricos para redes de paquetes, distribuyéndolos en tres planos lógicos que proporcionan el efecto colectivo deseado. Varios elementos que IETF ha trabajado y estandarizado se enmarcan en esta recomendación, con referencias a más de 15 RFCs.

Los bloques de construcción se distribuyen en tres planos lógicos dependiendo de los elementos sobre los cuales trabajen. La recomendación proporciona una definición de cada uno de los mecanismos así como una recopilación de los más importantes métodos, algoritmos y protocolos que los implementan, con especial énfasis en los trabajos de IETF, dada la gran cantidad de implementaciones que este organismo ha realizado en el campo de las redes IP. A continuación se presentan los bloques de construcción y los planos lógicos en los cuales se encuentran.

- **Plano de control.** Contiene mecanismos que trabajan sobre los trayectos por los que se transmite el tráfico. Incluye tres mecanismos:
  - Control de admisión.
  - Enrutamiento QoS.
  - Reservación de recursos.
  
- **Plano de datos.** Contiene mecanismos que trabajan directamente con los paquetes. Incluye siete mecanismos:
  - Gestión de buffer.
  - Prevención de la congestión.
  - Puesta en cola y planificación.
  - Marcación de paquetes.
  - Clasificación de tráfico.
  - Aplicación de políticas de tráfico.
  - Conformación de tráfico.
  
- **Plano de gestión.** Contiene mecanismos relacionados con las funciones de gestión de red.
  - Acuerdos de nivel de servicio.
  - Medición y registro de tráfico.
  - Restablecimiento de tráfico.
  - Políticas.

Las interacciones entre los mecanismos son elementos fundamentales del marco arquitectural ya que debe existir un funcionamiento armónico y coherente entre los bloques de construcción. La recomendación señala la importancia de la señalización pero aparece como un tema en estudio y establece diferencias entre los diversos tipos: dentro o fuera de banda, acoplada o desacoplada al trayecto, interplanos o intraplano.

Además, se brindan consideraciones relativas a la seguridad y se ofrecen ejemplos de métodos estandarizados de QoS que permiten ilustrar las interacciones de los bloques de construcción y cómo se sitúan en el marco arquitectural.

## **2.4 EL MODELO GENERAL**

Define tres niveles de QoS: intrínseca, percibida y evaluada. Este modelo ha tenido gran acogida en la comunidad académica, pues enmarca las visiones de calidad presentadas anteriormente además de involucrar el punto de vista del usuario, no sólo como percepción sino como referente para tomar decisiones sobre la continuidad del contrato de servicio.

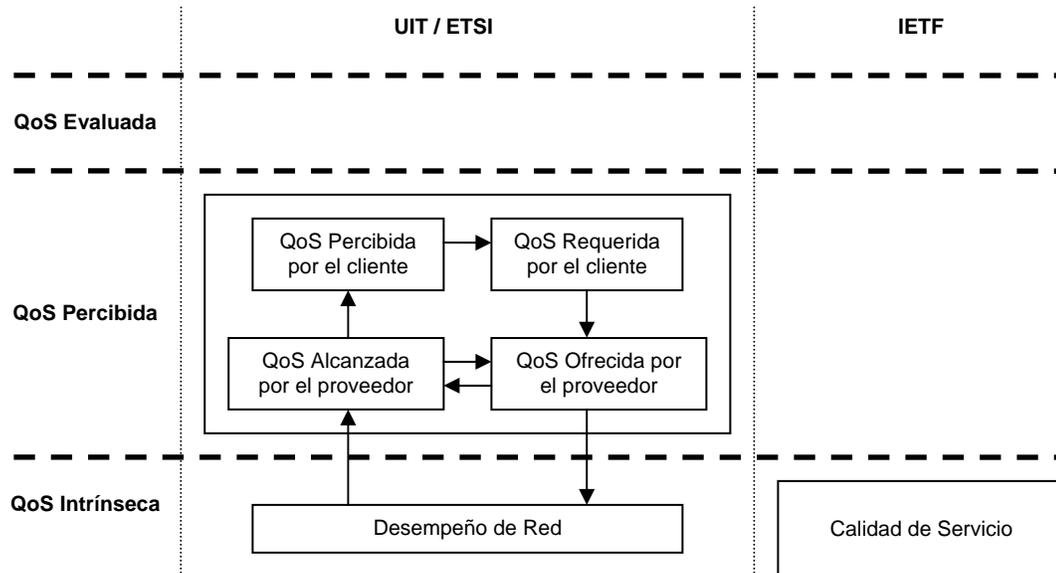
La QoS intrínseca hace referencia a las características técnicas, y se encuentra determinada por el diseño de la red de transporte y por la red de acceso, pero también influyen, entre otras, la selección de protocolos de transferencia apropiados, la confiabilidad de la red y el valor de los parámetros relacionados. La QoS intrínseca es evaluada a través de la comparación de las medidas del desempeño de la red con el desempeño esperado. Enmarcado en este nivel se encuentra la visión de desempeño de red de UIT-T y ETSI en sus recomendaciones E.800 y ETR 003 respectivamente, además de la visión de QoS de IETF.

La QoS percibida se obtiene de la experiencia del cliente al usar un servicio en particular, y es influenciada por las expectativas del usuario comparadas con el desempeño del servicio y, de igual manera, por el conocimiento y las experiencias que éste tenga con servicios similares y las opiniones de otros clientes. Esto implica que asegurar algunos parámetros técnicos puede no ser suficiente para satisfacer al cliente, puesto que los aspectos técnicos del servicio no le interesan sino que se cumplan sus expectativas. Las diversas definiciones de QoS no relacionadas con el desempeño de red que se presentan en las recomendaciones UIT-T G.1000 y ETSI ETR 003, hacen parte de este nivel.

La QoS evaluada se evidencia cuando el cliente decide si continua usando el servicio o no, en esta decisión influye la QoS percibida, el precio del servicio, la respuesta del proveedor frente a las quejas y problemas que haya tenido el cliente, entre muchos factores que deben tomarse en cuenta.

La Figura 2 presenta las visiones de QoS de los diferentes organismos enmarcadas en el modelo general.

**Figura 2. Modelo General de QoS y las aproximaciones UIT/ETSI e IETF [16].**



Para asegurar un nivel de Calidad de Servicio apropiado se deben tener en cuenta cada una de las capas, pues hacen referencia a diferentes aspectos. La Calidad de Servicio intrínseca es responsabilidad del proveedor de la red de transporte y depende de parámetros de la red como son la arquitectura, la planificación y la gestión. Con una QoS intrínseca apropiada y ajustada a un servicio determinado, y acompañada de un análisis de mercado y de las expectativas del cliente, se asegura un nivel de QoS percibida elevado, lo cual es responsabilidad del proveedor del servicio, pero en ésta también influyen factores como el marketing y la publicidad. La QoS evaluada depende en mayor medida de las tarifas, así como de la confiabilidad que se haya logrado transmitir al cliente, al igual que el soporte técnico [16].

Este capítulo permitió conocer las definiciones existentes de Calidad de Servicio a través de los trabajos realizados por los organismos de estandarización más importantes a nivel mundial. Con esto se logró identificar los factores que influyen en la QoS, algunos mecanismos, los actores involucrados en la prestación de un servicio de telecomunicaciones y la visión de QoS de cada uno de ellos.

Al concluir este capítulo se observa que los diversos trabajos mencionados carecen de una orientación común, es decir, abarcan diversos temas (desde los mecanismos para proveer QoS en redes IP hasta el punto de vista de los usuarios) sin que exista un marco común que relacione los trabajos. Además, las visiones han surgido de manera independiente en cada organización lo cual ha dificultado la estandarización y el surgimiento de un modelo que logre involucrar todos los aspectos relacionados con la Calidad de Servicio.

Partiendo de lo anterior, se ha identificado la necesidad de construir un marco conceptual que tenga en cuenta las visiones de Calidad de Servicio existentes y que abarque todos los aspectos relacionados con ella, de manera que se genere una nueva visión. Para esto es necesario identificar, clasificar y encontrar relaciones entre los parámetros y mecanismos de QoS, de manera que sirvan como soporte para el marco conceptual.

## 3. PARÁMETROS Y MECANISMOS DE CALIDAD DE SERVICIO

### 3.1 PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO

Las futuras redes multiservicio basadas en paquetes necesitarán un conjunto común de parámetros que permitan medir el desempeño de red y valorar la QoS en general. Existen diversos tipos de parámetros relacionados con diferentes puntos de vista de la Calidad de Servicio, en este caso se presentan tres conjuntos de ellos: los asociados a la transmisión de datos, los asociados a los atributos del servicio y los asociados a percepciones subjetivas de los usuarios.

#### 3.1.1 Parámetros asociados a la transmisión de datos

En cuanto a las características técnicas de la red y la transmisión de datos existen cinco parámetros básicos que permiten evaluar el desempeño y que son válidos para todas las redes de paquetes: velocidad de bits, retardo, jitter, tasa de pérdida de paquetes y disponibilidad. Éstos permiten describir el tratamiento que los paquetes experimentan al transitar por la red y, aunque son válidos para la mayoría de ellas, se pueden trasladar a parámetros particulares de cada arquitectura. A continuación se presenta una descripción de cada parámetro:

- **Velocidad de bits.** Es el número de bits por unidad de tiempo de los datos de usuario transmitidos por la red. No es lo mismo que la velocidad efectiva del medio o la capacidad máxima, debido a los diversos encabezados que las tecnologías de comunicación añaden a la información. Generalmente, el proveedor garantiza una velocidad mínima a los usuarios para el tráfico que generen. Este parámetro es bastante útil a la hora de describir los atributos de una fuente de tráfico, de los cuales los más importantes son la velocidad pico (máxima cantidad de datos en un intervalo de tiempo) y la velocidad promedio (media de la cantidad de datos en un intervalo largo de tiempo). Otro atributo significativo relacionado con la velocidad pico es el tamaño de ráfaga, el cual se refiere al número de paquetes que se presentan a esa velocidad.
- **Latencia o retardo total.** Es el tiempo total que un paquete demora en transitar de extremo a extremo de la red. Este parámetro se ve afectado por los tiempos de tránsito en elementos particulares de la red (permaneciendo en colas) y el tiempo que se necesita para digitalizar y comprimir las señales de voz y/o video antes de enviarse por la red.
- **Jitter.** Se puede definir como la diferencia en el retardo que experimentan paquetes que forman parte de un mismo flujo. Sus causas van desde el tránsito por diferentes trayectos hasta las variaciones en el tiempo de procesamiento debido a

reordenamiento de las colas o segmentación de los paquetes. Las aplicaciones multimedia son especialmente sensibles al jitter.

- **Tasa de pérdida de paquetes.** Es el cociente del total de paquetes perdidos sobre el total de paquetes enviados por la fuente. Esta pérdida se presenta debido a que cuando hay congestión en los enlaces los buffers de los dispositivos se llenan, ocasionando pérdida de cualquier paquete que llegue en ese momento. El valor típico para este parámetro en una red bien manejada no supera el 1%.
- **Disponibilidad.** Es una medida del tiempo en el cual la red se encuentra disponible para su utilización y se mide como un porcentaje de un intervalo dado. Idealmente éste debe ser el 100% y, aunque representa un criterio bastante estricto, hay que tener en cuenta que incluso un valor tan alto como 99.8% representa casi una hora y media de tiempo fuera de servicio en un mes, lo cual es inaceptable para una empresa grande. Generalmente los proveedores más importantes ofrecen una disponibilidad de 99.9999%.

### 3.1.2 Parámetros asociados a los atributos del servicio

Los atributos de un servicio son características particulares que son percibidas tanto por el cliente como por el proveedor. Algunos de ellos se derivan de los parámetros asociados con la transmisión de datos mientras que otros se relacionan con la habilidad del proveedor para satisfacer al cliente y no se relacionan directamente con la red de telecomunicaciones. Entre estos parámetros se encuentran los definidos en la recomendación UIT-T E.800, clasificados en cuatro grupos: soporte, operabilidad del servicio, posibilidad de ser servido (servibilidad) y seguridad. A continuación se presenta una descripción de ellos:

- **Parámetros relacionados con el soporte del servicio.** El soporte se define como la habilidad de la empresa de telecomunicaciones para proveer un servicio y brindar asistencia en su utilización. Algunos de los parámetros son: tiempo medio de provisión del servicio, probabilidad de error en la facturación, probabilidad de tarificación o contabilidad incorrectas y la integridad de la información de facturación.
- **Parámetros relacionados con la usabilidad del servicio.** La usabilidad es la facilidad de utilización de un servicio. Depende de la habilidad de un servicio para que un usuario lo utilice de forma fácil y exitosa. Algunos de los parámetros son la probabilidad de error de un usuario y la probabilidad de abandono de un servicio por parte del usuario.
- **Parámetros relacionados con la servibilidad.** Estos parámetros reflejan la habilidad de un servicio para que se obtenga cuando un usuario lo solicita y la continuidad de su provisión durante la duración del mismo, sin que se presente deterioro excesivo. Algunos de los parámetros son: probabilidad de acceso al servicio, demora media de acceso al servicio, retenibilidad del servicio, probabilidad de liberación prematura,

probabilidad de cumplimiento satisfactorio de un servicio, tiempo medio entre interrupciones y duración media de las interrupciones.

- **Parámetros relacionados con la seguridad del servicio.** Se refieren a la protección contra monitoreo no autorizado, utilización fraudulenta, deterioro malicioso, errores humanos y desastres naturales.

### **3.1.3 Parámetros asociados a percepciones subjetivas de los usuarios**

Uno de los principales criterios para valorar la Calidad de Servicio suministrada por un determinado proveedor es la percepción subjetiva del usuario sobre el servicio que está recibiendo. Sin embargo, se necesita que toda evaluación subjetiva sea llevada a parámetros cuantitativos que se puedan utilizar de una forma más práctica para mejorar las características técnicas al interior de la red y los criterios no relacionados con ella.

De esta forma, UIT-T propone la utilización del parámetro llamado Nota Media de Opinión (MOS, *Mean Opinion Score*) para cuantificar la calidad percibida por los usuarios en las conversaciones realizadas mediante telefonía tradicional. Este parámetro se obtiene permitiendo que el usuario realice una evaluación del servicio, en la cual se relaciona una escala numérica (de 1 a 5) con las valoraciones subjetivas (bueno, muy bueno, etc.). La MOS es el promedio aritmético de todas las evaluaciones realizadas.

La Nota Media de Opinión se puede utilizar para cuantificar cualquier evaluación subjetiva y cualquier servicio, incluyendo criterios no relacionados con la red como la atención al cliente, la facturación, solución de los reclamos, etc.

## **3.2 MECANISMOS DE CALIDAD DE SERVICIO**

Para proporcionar la Calidad de Servicio que las nuevas aplicaciones y los usuario exigen se necesita un conjunto de mecanismos que actúen sobre los diversos elementos involucrados en la prestación del servicio. Como primera medida, deben existir tecnologías de red que soporten QoS, las cuales deben controlar y proporcionar las respuestas que la red ofrece a los servicios, especialmente en los casos en que hay contienda por los recursos.

Sin embargo, la sola utilización de mecanismos de red no es suficiente para que el operador ofrezca Calidad de Servicio. También se necesita implementar mecanismos complementarios que permitan trabajar en aspectos como la percepción de los usuarios y la gestión interna de la empresa. Todos los mecanismos se deben utilizar conjuntamente para producir el efecto colectivo de calidad.

De esta forma, se presenta una división entre los mecanismos que actúan sobre la red (los cuales se llamarán intrínsecos, tomando el término del modelo general de QoS) y los complementarios. A continuación se describen los mecanismos más importantes y su relación específica con el soporte de Calidad de Servicio.

### 3.2.1 Mecanismos intrínsecos

Los mecanismos intrínsecos son tecnologías que soportan la Calidad de Servicio y pueden ser implementadas en un elemento de red específico, para señalización entre elementos o para controlar y administrar el tráfico. Dado que las redes multiservicio están basadas en paquetes, la descripción de los mecanismos se enfocará en este tipo de redes, con especial énfasis en las IP y el nivel 3 del modelo de referencia OSI.

Teniendo en cuenta que este tipo de mecanismos pueden actuar en cada uno de los dispositivos individualmente o proporcionando un efecto colectivo sobre toda la red, se consideró pertinente realizar esa diferenciación agrupándolos en las dos categorías siguientes:

#### 3.2.1.1 Mecanismos que operan en los elementos de red

- **Control de Admisión (*Admission Control*)**

Es un mecanismo que permite administrar la utilización de los recursos de la red controlando los flujos de datos que se admiten. Para esto, se debe conocer el estado de la red con el fin de saber si hay suficientes recursos disponibles para soportar el tráfico, sin afectar los flujos que se están cursando en ese momento. La decisión de admitir un nuevo flujo se basa en la aplicación de una determinada política. La IETF presenta en el RFC 2753 [17] las metas y los requerimientos de un control de admisión basado en políticas, así como una arquitectura para su aplicación.

UIT-T en la recomendación Y.1291 menciona dos métodos de control de admisión relacionados con el desempeño de la red. El primero es el basado en parámetros, que toma medidas del tráfico presente (velocidad de bits, pérdida de paquetes y retardo) como elementos de decisión para admitir un flujo entrante; este método proporciona una Calidad de Servicio rígida pues sus medidas son estrictas y precisas, lo cual permite asegurar los recursos por medio de reservación. El segundo método es el basado en mediciones, el cual envía tráfico de determinada prioridad para observar cómo responde la red a éste y así tomar la decisión de admisión; este método no permite reservar recursos, por lo cual se dice que proporciona una Calidad de Servicio flexible o relativa.

El control de admisión también puede utilizarse para garantizar exigencias de disponibilidad de un servicio, implementando niveles de prioridad para las peticiones de conexión que llegan, con el fin de cumplir los valores acordados.

- **Clasificación y Marcación de Tráfico (*Traffic Classification y Traffic Marking*)**

La clasificación de tráfico se realiza en el nodo de ingreso a la red como requisito fundamental para determinar el tratamiento que se le brindará en cuanto a reservación de recursos, encolamiento y planificación. Se puede realizar a nivel de paquete o a

nivel de flujo examinando los campos del encabezado IP como las direcciones de fuente y destino, el protocolo o los puertos de nivel superior.

Algunas arquitecturas de Calidad de Servicio no requieren que la clasificación del tráfico se manifieste mediante marcas en los paquetes (IntServ, por ejemplo), sin embargo, otras tecnologías requieren que el tráfico se marque con códigos específicos de acuerdo a su Clase de Servicio (DiffServ utiliza el DSCP en el encabezado IP). La operación de marcación tiene lugar en el borde de la red, en el mismo dispositivo que realiza la clasificación, e implica la asignación de un valor a un campo del encabezamiento del paquete. La marca también puede realizarse en los terminales, pero se deberá verificar en el ingreso a la red.

Los criterios para marcar los paquetes se pueden configurar en forma estática o dinámica, y deben reflejar lo pactado en un acuerdo de nivel de servicio. La configuración dinámica requiere de un protocolo que transporte la información sobre la marcación que debe aplicarse a un flujo particular.

Algunas tecnologías del nivel 2 del modelo de referencia OSI utilizan marcas en las tramas, como representación del nivel de prioridad de los datos que contienen. En el caso de Ethernet, los criterios para realizar esta marcación se encuentran especificados en el estándar 802.1p [18], el cual define ocho niveles de prioridad que se examinan en los switches con el fin de brindar el tratamiento pertinente a nivel de encolamiento y planificación. De la misma forma, el estándar 802.11e [19] define mecanismos de control de acceso al medio basado en clasificación de tráfico para redes inalámbricas de área local; estos operan asignando un nivel de prioridad a las tramas que sirve para determinar su tratamiento a nivel de colas de transmisión y utilización del medio inalámbrico. Igualmente se especifica la interacción entre estos dos estándares que se realiza en los Puntos de Acceso (APs, *Access Points*), llevando las marcas de nivel de prioridad de 802.1p a la clasificación de 802.11e y viceversa.

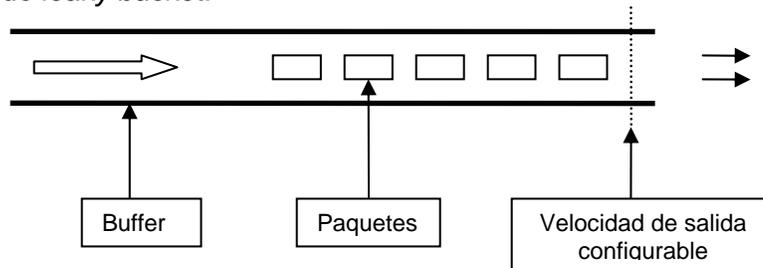
- **Conformación de Tráfico (*Traffic Shaping*)**

La finalidad de este mecanismo es lograr que todo el tráfico que sale de la fuente sea conforme a los parámetros negociados con el proveedor, 'suavizando' las ráfagas inherentes al tráfico de velocidad variable y controlando otros atributos como la velocidad pico y la velocidad promedio. Si un terminal no realiza esta operación, el tráfico no conforme que genere será sujeto a eliminación o degradación de prioridad en el nodo de ingreso a la red.

Básicamente se desean controlar tres atributos del tráfico entrante en la red: la velocidad pico, la velocidad promedio y el tamaño de las ráfagas. De acuerdo a cuál de los anteriores atributos se quiera intervenir, se utilizan diferentes algoritmos de conformación o combinaciones de ellos. Existen dos algoritmos fundamentales: "*leaky bucket*" y "*token bucket*".

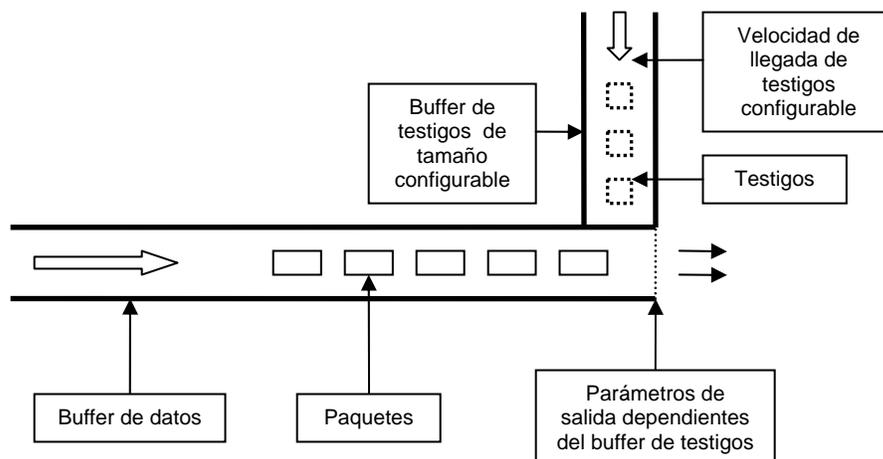
- ✓ **Leaky Bucket.** Es un método simple compuesto por un buffer que envía los paquetes a una velocidad determinada que se ajusta generalmente a la velocidad pico. La Figura 3 ilustra el método 'leaky bucket'.

**Figura 3.** Método leaky bucket.



- ✓ **Token Bucket.** Este método introduce un control más avanzado sobre la salida de paquetes en el buffer y es especialmente útil cuando los parámetros que se desea controlar son la velocidad promedio y el tamaño de las ráfagas. El método utiliza un buffer adicional al de datos, el cual recibe 'testigos' a la velocidad promedio que se quiere ajustar y tiene un tamaño igual al máximo de las ráfagas permitidas. Un paquete puede salir solamente si hay suficientes testigos y uno de ellos es eliminado por cada paquete que se envía. Si no hay paquetes para enviar, el buffer de testigos se llenará, limitando el tamaño de las ráfagas de tráfico al número de testigos que se encuentran en el buffer. En redes que utilizan tamaños de paquetes variables, como las IP, los testigos están constituidos por una cantidad de bytes constante para poder controlar el ancho de banda utilizado. La Figura 4 ilustra el método 'token bucket'.

**Figura 4.** Método token bucket.



Generalmente los métodos 'leaky bucket' y 'token bucket' son utilizados en conjunto para ejercer control sobre los tres atributos de tráfico más importantes. Primero se

utiliza un *'leaky bucket'* para controlar la velocidad pico y luego el *'token bucket'* para la conformación de velocidad promedio y tamaño de ráfagas.

- **Vigilancia de Tráfico (*Traffic Policing*)**

Dada la existencia de un Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA, *Service Level Agreement*) entre el cliente/usuario y el proveedor, en el cual se especifican las características del tráfico de usuario que se va a admitir en la red, se necesita establecer un mecanismo que permita detectar las posibles violaciones en el tráfico y que tome los correctivos necesarios para el cumplimiento del contrato. La vigilancia se aplica en el borde de la red sobre cualquier paquete que intente ingresar, después de lo cual se puede permitir la entrada normal del paquete o, en caso que no sea conforme, eliminarlo o bajar su nivel de prioridad (actualizar la marca) de manera que este tráfico sea el primero en desecharse en caso de congestión.

La vigilancia y la conformación de tráfico utilizan los mismos métodos genéricos para cumplir su objetivo (*leaky bucket* y *token bucket*), sin embargo, existen diferencias conceptuales, técnicas y de ubicación:

- ✓ La vigilancia simplemente examina el tráfico y actúa en caso que no sea conforme, no intenta corregirlo; la conformación corrige los atributos del tráfico para asegurar que cumpla los acuerdos.
- ✓ La vigilancia no utiliza un buffer (o utiliza uno muy pequeño) para los datos, los paquetes entrantes se clasifican en conformes y no conformes sin permanecer almacenados mucho tiempo y pueden ser eliminados; la conformación almacena los datos en un buffer para que no se pierdan y no elimina ningún paquete.
- ✓ La vigilancia se realiza solamente en el nodo de entrada a la red. La conformación se puede realizar en el terminal antes de enviar tráfico a la red.

En cuanto a la diferencia en la aplicación de los métodos, *leaky bucket* se considera un *token bucket* con tamaño de buffer de testigos igual a cero. Existe un pequeño buffer para los datos, los cuales salen a una velocidad constante igual a la velocidad de generación de testigos. Cualquier paquete que encuentre el buffer de datos lleno se somete a los procesos de descarte, al igual que los paquetes que al llegar encuentren el buffer de testigos vacío.

- **Puesta en Cola y Planificación (*Queuing y Scheduling*)**

La puesta en cola se refiere al proceso de recibir los paquetes y asignarles una cola (buffer) con base en la clasificación realizada anteriormente. Los algoritmos de planificación seleccionan el siguiente paquete a ser enviado con base en criterios que varían de acuerdo al algoritmo. Las implementaciones de estos mecanismos se realizan tanto a nivel 3 en los enrutadores como en los switches de nivel 2.

Estos mecanismos tienen como objetivo controlar la utilización del ancho de banda de un enlace regulando la manera en que las distintas fuentes de tráfico comparten los recursos. Con esto, se puede garantizar que cada flujo reciba el tratamiento necesario, asegurando parámetros de transporte como la pérdida de paquetes, el retardo y el jitter.

Los métodos para gobernar la puesta en cola y la planificación se conocen también como disciplinas de servicio. A continuación se presentan las más importantes en cuanto a implementaciones realizadas por los fabricantes de dispositivos de red.

- ✓ **Primero en entrar, primero en salir (FIFO, First In First Out).** Es la disciplina que se utiliza por defecto en las redes tradicionales. Todos los paquetes se almacenan en un buffer común y se atienden en el orden en que llegaron. Esta disciplina tiene limitaciones serias para soportar Calidad de Servicio ya que no existe diferenciación entre los paquetes ni entre flujos, lo cual impide suministrar parámetros de transporte adecuados para cada uno de ellos.
- ✓ **Puesta en cola por prioridad (PQ, Priority Queuing).** Esta disciplina brinda tratamiento diferencial a los flujos mediante la utilización de varias colas con diferentes niveles de prioridad. Los paquetes se clasifican de acuerdo a la marcación que lleven y se almacenan en la cola correspondiente. El número de colas depende del número de prioridades que soporte el protocolo (se puede utilizar el campo ToS de IP, el DSCP en DiffServ o la marca de prioridad de las tramas 802.1p / 802.11e). El planificador no atiende una cola hasta que se hayan servido las de mayor prioridad y, por lo tanto, esta disciplina tiende a no atender a los paquetes con baja prioridad si el tráfico de mayor prioridad es muy grande. Los paquetes al interior de cada cola se atienden mediante la disciplina FIFO.
- ✓ **Round Robin (RR).** Esta disciplina utiliza una cola por cada flujo que deba atender. El planificador brinda servicio secuencialmente a las colas, tomando un paquete a la vez. Si una cola no tiene paquetes, se salta. El ancho de banda del enlace se comparte equitativamente entre los flujos solamente si el tamaño de los paquetes es igual en todos ellos, si un flujo tiene paquetes demasiado grandes puede monopolizar la utilización del ancho de banda ya que se emplearía mucho tiempo para servir a estos paquetes, mientras que los pequeños sufrirían largas esperas. Es por esto que se introdujeron modificaciones asignando pesos a las colas y en otros casos, utilizando contadores de bits que permiten calcular exactamente la proporción de ancho de banda asignada a cada cola.
- ✓ **Puesta en cola justa ponderada (WFQ, Weighted Fair Queuing).** Esta disciplina utiliza varias colas que tienen asignados diferentes pesos. Los paquetes se clasifican y se asignan a las colas con base en sus requerimientos de servicio. El algoritmo de planificación analiza el tamaño de los paquetes y el

peso de cada cola para decidir qué paquete será el siguiente en salir, con lo cual se logra compartir de forma equitativa el ancho de banda del enlace.

- **Gestión de buffer**

Este mecanismo establece los criterios para la eliminación de paquetes cuando se presenta congestión en los buffers de los dispositivos de red. Los principales objetivos son minimizar el tamaño de las colas (sin que ello se traduzca en subutilización de los enlaces) y evitar que un solo flujo monopolice el espacio del buffer bloqueando a los demás, lo cual contribuye con el aseguramiento de los parámetros de transporte a todo el tráfico. Tradicionalmente, el esquema que se utiliza es el de Eliminación al Final (*Tail Drop*), el cual actúa solamente cuando el buffer está completamente lleno, eliminando cualquier paquete que intente entrar en ese momento. Otros esquemas conservan los paquetes entrantes a expensas de los que se encuentran en espera al interior del buffer; se puede eliminar el paquete ubicado al principio de la cola o uno seleccionado al azar.

Este tipo de esquemas, en los cuales solamente se eliminan paquetes cuando el buffer está lleno, tienden a mantener la congestión en las colas por periodos de tiempo relativamente largos, afectando severamente el tráfico (especialmente las ráfagas). Es por esto que se desarrollaron esquemas más flexibles, que no dependen de un tamaño máximo fijo de la cola sino que utilizan procedimientos probabilísticos. El más conocido entre estos métodos es el denominado Detección Aleatoria Temprana (RED, *Random Early Detection*), el cual se basa en un tamaño promedio estimado de cola que es directamente proporcional a la probabilidad de eliminación de un paquete. Es decir, si una cola ha estado relativamente vacía en un pasado reciente, se tiende a conservar los paquetes entrantes, mientras que si la cola ha estado relativamente llena, es muy probable que los paquetes entrantes se eliminen. RED también permite que se especifique un valor para el tamaño de la cola por debajo del cual no se elimine ningún paquete y otro valor por encima del cual se eliminen todos los paquetes entrantes. La eficacia de RED depende en gran medida de estos valores, y no existe un conjunto de ellos que sea adecuado para todo tipo de tráfico o escenario de congestión.

Es por esto que han surgido variantes como el RED de flujo (FRED, *Flow RED*), que introduce un control adicional basado en el porcentaje de utilización de la cola por un flujo determinado, y el RED ponderado (WRED, *Weighted RED*), que permite ofrecer un tratamiento diferencial a los flujos con base en la marcación que tengan, asignando una menor probabilidad de eliminación a los que tengan una mayor prioridad.

La eliminación de paquetes temprana también actúa como mecanismo de prevención de congestión, aprovechando las capacidades de control de TCP. Cuando un paquete se elimina, una fuente que utilice ese protocolo reducirá su velocidad de transmisión hasta que no se presenten pérdidas, lo cual contribuye con el despeje de la congestión. En otras palabras, se puede utilizar RED como un medio para que las

fuentes que utilizan TCP ajusten su velocidad de transmisión para que se adapte a lo que la red puede soportar.

- **Adaptaciones del nivel de aplicación**

La mayor parte de los mecanismos relacionados con la provisión de Calidad de Servicio en la red trabajan en las capas inferiores del modelo de referencia OSI, principalmente en el nivel 3. Esto se debe a que estas capas ofrecen los servicios portadores a las aplicaciones, de manera que si no se garantiza QoS en los niveles bajos, las aplicaciones no pueden hacer mucho para corregir el problema. Sin embargo en una arquitectura basada en Calidad de Servicio, el nivel de aplicación también puede contribuir con el efecto colectivo, ofreciendo mecanismos que permitan complementar lo realizado en las capas inferiores.

Las adaptaciones del nivel de aplicación para soportar Calidad de Servicio son mecanismos que se utilizan principalmente para reducir los efectos del jitter y la pérdida de paquetes en los terminales. Esto se logra administrando el buffer de recepción para que se retrase (durante un tiempo configurable 'D') el procesamiento del primer paquete que ha llegado, de manera que la mayor parte del tiempo exista por lo menos un paquete esperando en el buffer. Esto reduce la frecuencia y la duración de las interrupciones ocasionadas por el jitter y la pérdida de paquetes, aumentando un poco el retardo de la comunicación. Es por esto que la selección del parámetro D es fundamental para cualquier algoritmo que opere en este nivel. Las implementaciones más importantes son el método Montgomery de espera en recepción y la reproducción adaptativa de audio [20].

Otros métodos implementados en esta capa son:

- ✓ Mecanismos de control de realimentación: buscan corregir los atributos del tráfico enviado por la fuente con base en el estado de la red. Esto se logra detectando fenómenos como la pérdida de paquetes, que luego son notificados a la fuente para que disminuya la velocidad de bits de sus transmisiones. Este método es bastante útil para servicios como la videoconferencia.
- ✓ Corrección de errores hacia adelante: el nivel de aplicación envía información de redundancia para que el receptor pueda reconstruir un flujo completo en el caso que algunos paquetes se pierdan.
- ✓ Entrelazado: es un método particularmente útil en las transmisiones de audio. Consiste en modificar el orden de los paquetes para evitar que la pérdida de algunos de ellos ocasione una interrupción larga. El receptor reordena los paquetes, esparciendo el efecto de la pérdida sobre la extensión del flujo.
- ✓ Reparación en recepción: esta técnica busca reemplazar los paquetes perdidos con algunos que sean similares. Esto se puede realizar debido a la gran cantidad de información redundante presente en las señales de audio y video. En el caso

más simple un paquete perdido se puede reemplazar con el inmediatamente anterior, de forma que se repita.

### 3.2.1.2 Mecanismos de red

- **Reservación de recursos**

La reservación de recursos es un mecanismo que permite asegurar que un flujo se pueda transmitir por la red sin problemas, al permitir que los nodos que hacen parte de su trayecto conozcan sus requerimientos de QoS y se preparen para soportarlo. Los recursos más importantes que se reservan son el ancho de banda y el espacio en memoria; el primero contribuye a disminuir el retardo y el jitter en los flujos críticos, y el segundo permite controlar la pérdida de paquetes para que no supere los niveles establecidos.

Para implementar este mecanismo se utiliza un protocolo que permita intercambiar información sobre disponibilidad de recursos en la red y también informar sobre las características de un flujo entrante. Un ejemplo claro de este tipo de protocolos es RSVP que la IETF define en el RFC 2205 [21]. Este protocolo fue diseñado para permitir que los nodos a lo largo del trayecto (que se establece por medio de un protocolo de enrutamiento) conozcan las características del flujo, de tal manera que se puedan reservar los recursos necesarios para soportarlo. RSVP soporta comunicaciones Unicast y Multicast; al ingresar un nuevo flujo se envían mensajes de solicitud de reserva a todos los componentes de la red que se encuentren en su ruta, pasando de forma transparente a través de los dispositivos que no brinden soporte para RSVP.

Para que la reservación esté totalmente garantizada, cada salto debe conceder la reserva y asignar físicamente los recursos solicitados. Si se rechaza la petición, el programa recibe la respuesta inmediata que la red no puede aceptar la cantidad y el tipo de tráfico o el nivel de servicio solicitado, y luego determina si envía los datos utilizando el mejor esfuerzo de la red o si espera para repetir la solicitud posteriormente.

RSVP requiere que la reservación se actualice periódicamente. Esta información, llamada información de estado de la reserva, se almacena en cada uno de los nodos durante un tiempo determinado. Si no se reciben mensajes de actualización, las reservaciones se eliminan y se liberan los recursos asignados. Si el protocolo de enrutamiento de la red cambia el trayecto de la comunicación, RSVP se encarga de reservar los recursos automáticamente a lo largo de la nueva ruta.

- **Enrutamiento QoS**

UIT-T define el enrutamiento QoS en la Recomendación Y.1291 [15] como ***“la selección de un trayecto que satisface los requisitos de QoS de un flujo”*** e IETF lo define en el RFC 2386 [6] como ***“un mecanismo para enrutamiento bajo el cual***

***los trayectos para los flujos se determinan con base en el conocimiento de la disponibilidad de recursos en la red así como en los requerimientos de QoS del flujo”.***

Los protocolos actuales de enrutamiento se basan en la elección de la ruta ‘más corta’, haciendo referencia a métricas como el número de saltos o el ‘costo’ de los enlaces, que varían de acuerdo al protocolo. Sin embargo, es muy posible que el trayecto que cumpla con los requerimientos de QoS de un flujo no sea el tradicional trayecto más corto, por lo cual se necesitarán extensiones de los protocolos actuales.

La señalización necesaria relacionada con la disponibilidad de recursos y los requerimientos de un flujo puede transportarse por un protocolo como RSVP o incluso por los protocolos de enrutamiento, dadas algunas extensiones propuestas por IETF. Además, el enrutamiento QoS debe interactuar necesariamente con algún mecanismo de reservación de recursos, ya que no sirve de nada determinar el trayecto que soporte los requerimientos de calidad de un flujo si al momento en que los datos lo transiten los recursos ya no se puedan garantizar.

El número de parámetros de QoS que se deben asegurar para los flujos de datos de tiempo real es uno de los factores que limita las implementaciones de este mecanismo debido a que entre más parámetros se utilicen para el cálculo de la ruta se necesitará mayor información del estado de los enlaces y capacidad de procesamiento en los enrutadores. Es por esto que en la práctica se utiliza un solo parámetro o técnicas como el filtrado secuencial, que permiten trabajar varias métricas evaluándolas de forma individual y secuencial sobre el trayecto.

El RFC 2386 propone un marco de trabajo para los desarrollos relacionados con el enrutamiento QoS, estableciendo que cualquier trabajo debe ser una extensión del modelo de enrutamiento actual y se debe realizar prioritariamente al interior de los dominios. Cualquier interacción interdominio debe ser simple, consistente y estable. Con esto, IETF busca facilitar la evolución de las redes hacia el soporte de QoS, incentivando el trabajo por parte del sector de las comunicaciones, sin especificar ninguna arquitectura o interacciones con otros mecanismos. Las extensiones propuestas al modelo de enrutamiento actual son básicamente tres. Primero, se deben tener en cuenta múltiples métricas al manejar la información de enrutamiento, seguramente habrá que manejar variables como el ancho de banda y el retardo en las tablas, aumentando la información de señalización que debe transitar por la red. Segundo, debe mantenerse la ruta encontrada, aún si se encuentran rutas más cortas, ya que cambios en los trayectos pueden afectar parámetros como la variación del retardo y ancho de banda disponible. Tercero, debe implementarse también un mecanismo de control de admisión, que compruebe que existen rutas que soporten la QoS requerida por el flujo. Todo lo anterior lleva a la conclusión que el enrutamiento QoS debe necesariamente interactuar con mecanismos de reservación de recursos y de control de admisión.

La Recomendación UIT-T Y.1291 establece varias definiciones y relaciones con RSVP, el protocolo de enrutamiento OSPF (*Open Shortest Path First*) y mecanismos de ingeniería de tráfico. También relaciona al enrutamiento QoS con la reservación de recursos y el control de admisión, ubicándolos como los tres mecanismos del plano de control del marco arquitectural que propone.

- **Reestablecimiento**

El reestablecimiento es un mecanismo que determina el comportamiento que la red va a presentar cuando ocurre una falla, buscando minimizar sus efectos por medio de planes de contingencia para que la prestación de servicios no se vea afectada y pueda mantenerse con el mismo grado de calidad. Este mecanismo tiene una gran importancia pues garantiza que la disponibilidad de la red se mantenga por encima de los niveles establecidos, aún en caso de falla.

La recomendación UIT-T Y.1291 define dos tipos de fallas de red. La primera es la falla de nodo, en la cual un elemento de red presenta mal funcionamiento. La solución a este inconveniente depende del diseño inicial de la red, al incorporar elementos redundantes que entren a funcionar como respaldo. Si la falla no se puede solucionar localmente, el tráfico debe encaminarse por otros enlaces para que se minimice el efecto de la avería. El segundo tipo de falla es la de enlace, en la cual se presenta una interrupción en la conexión entre dos nodos de la red. Estas fallas se mitigan reservando una determinada capacidad, de tal manera que se puedan reestablecer los flujos de tráfico hasta que se solucione el problema.

En la actualidad este mecanismo se implementa en las redes ópticas, que son capaces de proporcionar una funcionalidad de protección dinámica de anillos y mallas, además de reestablecimiento a nivel de longitud de onda. El reencaminamiento se utiliza tradicionalmente en el nivel 3 para reestablecer el servicio y puede realizarse de extremo a extremo o a nivel local.

- **Prevención de congestión**

La congestión se presenta cuando el tráfico sobrepasa o se aproxima al volumen máximo que la red puede manejar. Cuando existe congestión en una red, ocurren fenómenos como la pérdida de paquete y el retardo excesivo; los paquetes se pierden al descartarse, ocasionando retransmisiones que incrementan el flujo de datos en la red y la congestión, lo cual puede llevar a un colapso. La prevención de congestión busca proporcionar medios eficaces para mantener la carga de la red por debajo de su capacidad máxima, de manera que pueda funcionar con un rendimiento aceptable. Este mecanismo contribuye al aseguramiento de niveles adecuados de la tasa de pérdida de paquetes, la disponibilidad y el retardo.

Una implementación de este mecanismo busca que el emisor disminuya el volumen de tráfico que pasa a la red al recibir una indicación que se está produciendo congestión. Un ejemplo de este método es el implementado por TCP basado en el

principio de ventana, el cual disminuye por un factor multiplicativo el tamaño de la misma cuando se ha presentado pérdida de paquetes en la red. Al presentarse congestión o acercarse al límite de la capacidad de la red, se busca que la reducción de tráfico se aplique a los flujos que no tengan una alta prioridad, para así poder seguir prestando un servicio normal a los flujos que si la tengan. Cuando la congestión cesa o disminuye, los emisores comienzan a aumentar de forma cuidadosa el volumen de tráfico que inyectan a la red.

Idealmente el transmisor debe enterarse de la congestión sin que se presente la pérdida de paquetes, por lo cual la IETF en el RFC 3168 [22] especifica el esquema de Notificación Explícita de Congestión (ECN, *Explicit Congestion Notification*) que propone marcar los paquetes que han pasado por un periodo de congestión, de manera que notifiquen al transmisor para disminuir el tráfico que está ingresando a la red. Para este propósito la IETF propone utilizar dos bits del encabezado IP (específicamente del campo Tipo de Servicio o Clase de Tráfico). Se debe tener en cuenta que la migración hacia este esquema es gradual, pues muchos de los enrutadores y terminales aún no soportan esta función.

### 3.2.2 Mecanismos complementarios

Los mecanismos complementarios actúan sobre los elementos relacionados con la Calidad de Servicio percibida por el usuario. También se enmarcan en esta categoría algunas herramientas que el proveedor puede utilizar para la gestión interna de la empresa. Los mecanismos más importantes que se identificaron son los siguientes:

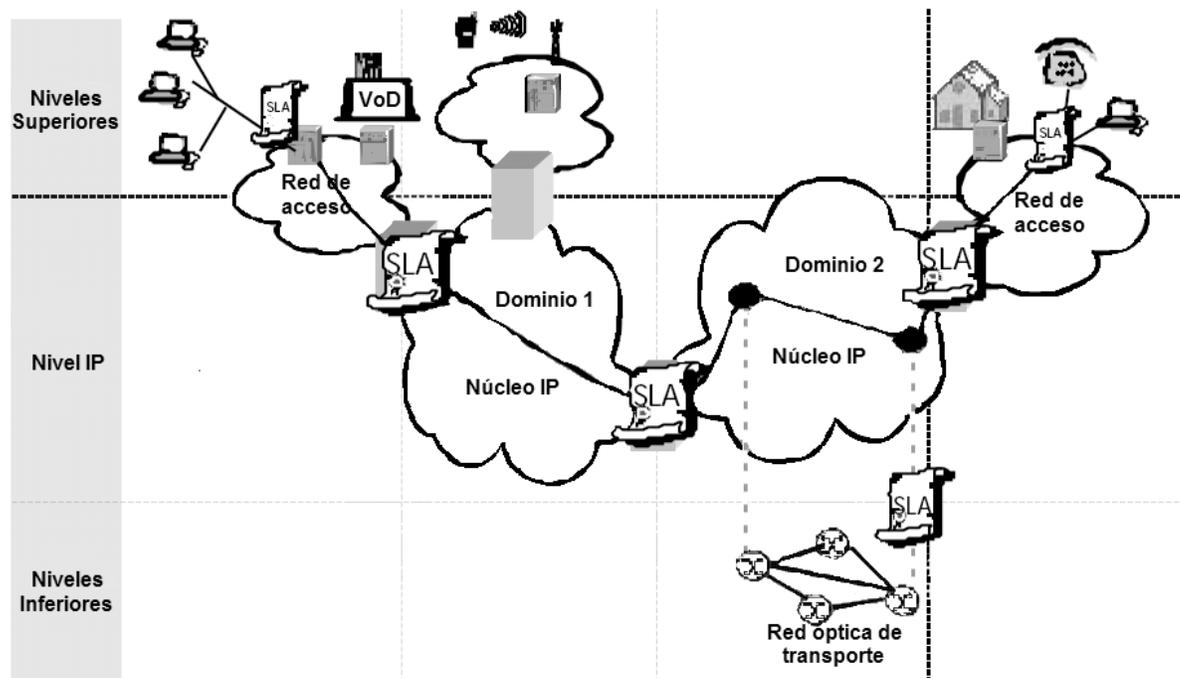
#### 3.2.2.1 Acuerdos de Nivel de Servicio (SLAs, Service Level Agreements)

IETF define un SLA en el RFC 2475 [9] como “**un contrato de servicio entre un cliente y un proveedor que especifica el tratamiento de reenvío que el cliente debería recibir**”, definición bastante limitada a los aspectos técnicos que luego se revisa en el RFC 3198 [23] aclarando que es un “**documento resultante de una negociación entre un cliente/usuario y el proveedor de un servicio que especifica los niveles de disponibilidad, posibilidad de ser servido, desempeño, operación y otros atributos del servicio**”. UIT-T toma esta última definición y explica que un SLA puede incluir aspectos que son de naturaleza comercial como la fijación de precios. En términos generales se puede decir que un SLA es un contrato de carácter técnico, económico y legal entre un proveedor de servicio y un cliente, que especifica qué servicios se van a suministrar, cuáles son sus características y las sanciones por su incumplimiento. Además, puede establecerse entre diversos tipos de participantes: proveedores de red, proveedores de servicios, clientes corporativos y usuarios finales.

La utilización de SLAs tiene grandes ventajas como el aumento de la confianza y lealtad de los clientes al percibir una gestión seria por parte de la empresa y la optimización de la utilización de los recursos de la red, entre otras. Sin embargo, también se presentan retos como la necesidad de medidas confiables de los parámetros de QoS y de solucionar los problemas que se derivan del tránsito por múltiples dominios (no siempre se puede

asegurar QoS extremo a extremo). Lo anterior es bastante complicado debido a que los SLAs se pueden presentar en diversos niveles de una red, lo cual crea una distinción entre los acuerdos que se establecen entre operadores que se encuentran en el mismo nivel del modelo OSI (llamados SLAs horizontales) y los que se encuentran en diferentes niveles (SLAs verticales). La Figura 5 ilustra la ubicación en diferentes niveles de los SLAs con el fin de proveer gestión del servicio extremo a extremo.

**Figura 5.** SLAs entre entidades de red ubicadas en diferentes niveles [24].



Las Especificaciones de Nivel de Servicio (SLS, *Service Level Specifications*) forman parte de un SLA y constituyen las características técnicas del servicio, definidas por medio de parámetros que generalmente son independientes de la tecnología de red. Algunos parámetros pueden ser irrelevantes para determinados servicios por lo cual, cada servicio tiene un conjunto de parámetros específicos asociados.

Generalmente los SLAs presentan los servicios divididos en categorías que comparten los mismos parámetros y sus valores correspondientes. Estas son las llamadas Clases de Servicio (CoS, *Class of Service*). Las redes se configuran para manejar un número limitado de clases y el SLA debe especificar claramente la CoS a la cual va a pertenecer el tráfico. Los organismos de estandarización (IETF, 3GPP, UIT-T, ETSI, etc.) han definido Clases de Servicio con el fin de ofrecer a los proveedores una base para su implementación al interior de las redes.

Los SLAs también pueden incluir algunas reglas de condicionamiento de tráfico, que especifican la clasificación de los paquetes y los atributos del tráfico (velocidad y tamaño

de las ráfagas) generado por el cliente. Estas reglas constituyen un Acuerdo de Condicionamiento de Tráfico (TCA, *Traffic Conditioning Agreement*) que debe definir los métodos de medición, marcado, eliminación y conformación del tráfico, teniendo en cuenta los casos en los que el cliente cumpla el perfil contratado y también cuando no lo haga. En este contexto también operan las Especificaciones de Condicionamiento de Tráfico (TCS, *Traffic Conditioning Specifications*), constituidas por un conjunto de parámetros con valores asignados que permitan especificar las reglas establecidas en un TCA. En otras palabras un TCS es la parte técnica de un TCA y también es un elemento integral de las SLS.

Aunque algunos proveedores ya empiezan a ofrecer SLAs, éstos son bastante básicos y requieren todavía desarrollo e investigación. Los factores clave para esto, que aún no se han trabajado lo suficiente, son: el perfeccionamiento de un modelo que se adapte a todo tipo de servicios, la automatización de los procedimientos relacionados, la escalabilidad de las soluciones y, fundamentalmente, el establecimiento de una solución que se adapte a servicios que crucen múltiples dominios.

### **3.2.2.2 Políticas**

Más que un mecanismo, las políticas son un conjunto de reglas que el proveedor establece para gestionar, administrar y controlar el acceso a los recursos de red. Estas pueden ser específicas de las necesidades del proveedor o reflejar los SLA constituidos, lo cual puede incluir una variedad de requisitos de QoS. Las reglas pueden presentarse de manera informal para determinados tipos de tráfico, por ejemplo si en la red se cursa VoIP, se requiere un comportamiento específico que se asemeje al prestado por la telefonía clásica. De esta forma, algunos servicios tienen unas necesidades implícitas que deben ser interpretadas por el proveedor y traducidas a valores asociados a los parámetros de Calidad de Servicio.

Adicionalmente, los dispositivos de red necesitan conocer la información sobre las políticas del proveedor, de manera que puedan aplicarlas directamente al tráfico. Es por esto que la IETF en el RFC 2748 [25] especifica un protocolo simple de indagación y respuesta que se puede utilizar para intercambiar información de políticas. Su nombre es Protocolo Común Abierto para el Servicio de Políticas (COPS Protocol, *Common Open Policy Service*) y define dos puntos clave para su aplicación: el Punto de Decisión de Políticas (PDP, *Policy Decision Point*) que es un servidor en el que se almacenan todas las reglas que se van a manejar en un dominio administrativo, y el Punto de Aplicación de Políticas (PEP, *Policy Enforcement Point*), rol que desempeña cualquier nodo o elemento de red que requiera acceder a la información a manera de cliente.

### **3.2.2.3 Métricas**

Las métricas tienen como objetivo supervisar las propiedades temporales de un flujo de tráfico con el fin de evaluar el grado de calidad con el cual se está tratando. Para esta evaluación del Desempeño de Red se utilizan los parámetros que se describieron anteriormente. También es importante especificar en qué punto o puntos de la red se

realizan las medidas, si van a ser extremo a extremo, por tramos o en un dispositivo particular, y el intervalo de tiempo correspondiente.

Existen dos tipos de técnicas para obtener medidas: activas y pasivas. Las técnicas activas son aquellas en las que se inyecta tráfico en la red para observar su comportamiento, mientras que las técnicas pasivas se limitan a analizar el tráfico existente. Se pueden realizar medidas en cualquier nivel del modelo OSI, por ejemplo el retardo para la descarga de una página HTML en el nivel de aplicación, tiempo de ida y vuelta para el nivel de transporte, pérdida de paquetes a nivel de red o medidas relacionadas con los atributos del servicio como el número de conexiones exitosas de los clientes o el tiempo medio de provisión de un servicio.

UIT-T ha realizado aproximaciones con respecto a las métricas al definir en sus recomendaciones Y.1540 e Y.1541 un conjunto de objetivos de QoS y parámetros de transferencia para paquetes IP. La recomendación Y.1540 define parámetros que se pueden utilizar para especificar y evaluar el Desempeño de Red en cuanto a velocidad, exactitud, seguridad y disponibilidad del servicio, así como metodologías para su medición. Estos parámetros se aplican extremo a extremo, punto a punto y por tramos de red. La recomendación Y.1541 especifica los valores aceptables a nivel mundial para cada uno de los parámetros definidos en la recomendación Y.1540. Los valores se agrupan en un conjunto de Clases de Servicio que tienen como objetivo establecer las bases para los SLAs.

Las métricas también pueden evaluar los parámetros relacionados con las percepciones subjetivas de los usuarios, aunque cualquier medición que se realice en este nivel es bastante complicada de realizar debido su naturaleza subjetiva.

#### **3.2.2.4 Gestión de la Relación con el Cliente (CRM, Customer Relationship Management)**

En la situación económica actual se presenta una competencia intensa entre empresas de telecomunicaciones, lo cual ha generado clientes bastante exigentes y la necesidad de mecanismos que permitan entenderlos y manejarlos de una manera más efectiva y proactiva. El objetivo de las empresas es adquirir nuevos clientes y mantener satisfechos a los actuales con el fin de crear una ventaja competitiva. En este sentido es fundamental generar una mayor lealtad de los clientes por medio de contactos permanentes por múltiples medios, personalización de las interacciones y el establecimiento de una relación cordial que le genere una sensación de confianza y seguridad.

CRM es una actividad responsable de desarrollar y gerenciar las relaciones individuales con cada uno de los clientes, buscando entender y anticipar sus necesidades. Desde el punto de vista tecnológico CRM comprende: capturar toda la información posible del cliente, consolidar los datos en una base central, analizarlos y distribuir los resultados a diferentes puntos de contacto para que sean utilizados en actividades de gestión. Para esto se necesita involucrar a toda la empresa en el proceso: instruyendo al personal,

brindando el soporte tecnológico (como sistemas CRM de código abierto) y adaptando los procedimientos [26].

Desde el punto de vista del cliente CRM es un mecanismo bastante eficaz para el soporte de la Calidad de Servicio percibida, ya que la sensación de confianza y seguridad que brinda actúa como un valor agregado del servicio.

Este capítulo permitió conocer los principales parámetros que permiten evaluar la Calidad de Servicio, desde los atributos técnicos de la red hasta la percepción subjetiva de los usuarios. También se describieron los mecanismos relacionados con la provisión de QoS, se clasificaron y se presentaron sus principales características, todo con base en los estudios realizados por los organismos de estandarización más importantes a nivel mundial. Se incluyeron mecanismos que operan en diversos niveles del modelo OSI, pero se hizo énfasis en el nivel 3 debido a la gran cantidad de trabajos al respecto; también se describió brevemente la operación de 802.1p y 802.11e a nivel 2 como mecanismos de clasificación y marcación, así como el control de congestión de TCP a nivel 4 y algunos métodos que trabajan en el nivel de aplicación.

El siguiente capítulo presentará un análisis de los elementos de Calidad de Servicio abarcados hasta el momento, buscando generar una nueva visión. Para esto se necesita establecer un marco conceptual en el cual se presenten los mecanismos estudiados, sus relaciones y clasificación en distintos niveles. El marco ofrecerá una perspectiva mucho más clara de QoS y permitirá agrupar las diferentes visiones en una sola estructura más coherente y armónica.

## 4. VISIÓN MULTINIVEL DE LA CALIDAD DE SERVICIO

Como se observó anteriormente, los trabajos sobre Calidad de Servicio realizados por los organismos de estandarización tienen diferentes enfoques. IETF, trabajando en el desarrollo de Internet, propone una visión que está concentrada en ofrecer los parámetros de transporte que los flujos requieren. Esta perspectiva técnica se debe a la búsqueda de la optimización en la interconexión de redes, dejando a un lado la percepción subjetiva de los usuarios para que se trate al interior de los dominios por el proveedor respectivo. En los trabajos de UIT y ETSI la visión de IETF se considera tan solo un factor de la provisión de Calidad de Servicio y lo llaman Desempeño de Red.

ETSI plantea una visión más completa que incluye definiciones y elementos relacionados con el punto de vista de los usuarios y señala que existen relaciones entre la Calidad de Servicio y el Desempeño de Red. Aunque abarca más elementos, la visión de ETSI carece de profundidad, ya que no brinda ningún marco de trabajo para desarrollos a nivel de mecanismos, y no va más allá de definir los cuatro puntos de vista explicados en el Capítulo 2 de este documento. Esta falta de profundización hace que la visión de ETSI sea material de naturaleza informativa, útil como orientación para iniciar trabajos ya que ofrece elementos que involucran a cada uno de los actores que participan en la prestación de servicios de telecomunicaciones (usuarios y proveedores).

Los trabajos de UIT abarcan muchos más aspectos, pero se encuentran desligados entre sí. En las primeras definiciones relacionadas con Calidad de Servicio que aparecen en la recomendación E.800 se puede observar que se tiene en cuenta el punto de vista del usuario y también la relación directa con el Desempeño de Red. Posteriormente, UIT también asimila los cuatro puntos de vista de QoS definidos por ETSI, dando mayor claridad a las relaciones entre los elementos asociados a los usuarios y los concernientes a los proveedores. Un trabajo más reciente es el marco arquitectural para el soporte de Calidad de Servicio en redes de paquetes definido en la recomendación Y.1291, el cual se encuentra desligado de los trabajos anteriores y cuyo propósito es mejorar el Desempeño de Red. De la misma forma, aparecen las recomendaciones Y.1540 e Y.1541, definiendo parámetros y valores asignados a determinadas Clases de Servicio para redes IP. Como se observa, UIT presenta varios trabajos relacionados con Calidad de Servicio pero no se encuentran ubicados en un marco común y son prácticamente independientes entre sí.

Dada esta situación en los trabajos de los organismos de estandarización, surge la necesidad de establecer una visión general de Calidad de Servicio, que abarque todos los elementos ubicados en diversos niveles y todos los actores involucrados en la prestación de un servicio de telecomunicaciones, con el fin de brindar una orientación común para los desarrollos en el tema. Este capítulo presenta una propuesta llamada Visión Multinivel de Calidad de Servicio que ofrecerá una primera aproximación a este problema.

Esta sección se organiza de la siguiente manera. En primer lugar, se identifican las características de la Visión Multinivel y se establecen los criterios para realizar la división en niveles del marco conceptual. Luego, se describen las relaciones que existen entre la

Visión de Calidad de Servicio que se propone, el Modelo General y las visiones de UIT-T, ETSI e IETF. Posteriormente, se identifican y analizan los elementos, mecanismos y aspectos relacionados con la QoS, en cada uno de los niveles de la visión (esto se realiza tomando como referencia principal los mecanismos descritos en el Capítulo 3 de este documento). Para cada uno de los componentes se presenta una descripción de su contribución a la calidad, se especifican sus relaciones con los demás elementos dentro y fuera del nivel y se ofrece una perspectiva general para su implementación y manejo. La propuesta final de cada nivel se presenta en forma de mapa conceptual, lo cual permite resumir de una forma clara los componentes y relaciones establecidas.

La integración de las propuestas de cada nivel conforma un marco conceptual, el cual brinda un modelo de referencia que establece directrices para ofrecer un efecto global de Calidad de Servicio y constituye el resultado final del Análisis Multinivel.

#### **4.1 ASPECTOS GENERALES DE LA VISIÓN MULTINIVEL DE CALIDAD DE SERVICIO**

La propuesta de una Visión Multinivel busca distribuir los elementos y mecanismos de QoS en niveles que involucran tanto a los usuarios como a los proveedores, desde un enfoque técnico hasta uno de negocio, especificando las relaciones entre niveles que permiten brindar un efecto global de calidad. Esta distribución logra tomar los trabajos realizados en diferentes aspectos, proporcionándoles una estructura lógica y un marco para un funcionamiento armónico y coherente.

Esta nueva visión se soporta en un marco conceptual que identifica y clasifica las relaciones entre los mecanismos y aspectos relacionados con la Calidad de Servicio, con el fin de ofrecer una guía de implementación para los proveedores. Para el desarrollo del marco se consideraron características que permiten su aplicación. En primer lugar, se propone una división en niveles que identifican y agrupan elementos que guardan una relación estrecha entre sí. El número de niveles se limita a un valor razonable y sus interacciones son directas, concretas y limitadas con el fin de que exista una identificación clara de sus límites. Además de las relaciones entre los elementos que pertenecen a un mismo nivel, se procura que cada uno de ellos sea suficientemente independiente para facilitar la evolución de la visión. De esta manera, cualquier desarrollo futuro se puede enmarcar en los niveles preestablecidos, asegurando la coherencia del marco conceptual.

Para empezar el Análisis Multinivel de la Calidad de Servicio, se deben tener en cuenta los actores involucrados de manera directa o indirecta en la prestación de servicios:

- **Cliente.** El cliente es la persona o grupo de personas que pagan por la prestación del servicio, sin que sean necesariamente usuarios. En el contexto de éste trabajo, se hará referencia al cliente como el actor que se suscribe, paga, hace uso (es también usuario) y aporta opiniones sobre los servicios. Los clientes pueden ser individuos o empresas.

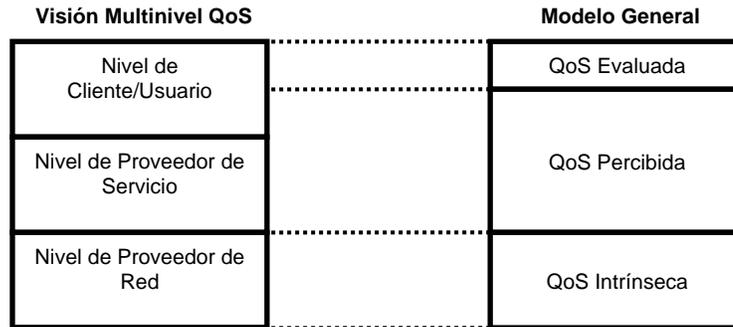
- **Proveedor de Servicio.** Es quien ofrece directamente los servicios al cliente. Define la forma de prestación y de utilización de los servicios, y fundamentalmente posee personal de atención al cliente y sistemas de soporte de sus actividades empresariales. Es uno de los grupos que está tomando mayor fuerza en la actualidad dentro de la industria de las telecomunicaciones, gracias a que se libera de la carga de mantenimiento y operación de los recursos de la red, pues paga al operador por un nivel de funcionamiento adecuado que éste debe garantizar. De este modo sus responsabilidades en el aseguramiento de la calidad en el servicio son más específicas y por ende más realizables.
- **Proveedor de Red.** Es quien provee la infraestructura de red que soporta los servicios. Su campo de acción se orienta a garantizar un desempeño adecuado de los recursos de telecomunicaciones y cobran por el transporte de información con una QoS determinada.
- **Fabricantes.** Son quienes producen y venden el hardware y software que utilizan los proveedores de red y servicios. También proveen equipos terminales para el usuario. Sus funciones respecto a la Calidad del Servicio están relacionadas con la implementación de los mecanismos de soporte en los equipos que proveen.
- **Autoridades políticas (entidades reguladoras).** Son actores pasivos de la industria. No están involucrados directamente en el desarrollo tecnológico, pero juegan un papel importante en relación con la determinación del marco regulador en el cual se pueden ofrecer los servicios de telecomunicaciones dentro de un área geográfica. Son catalizadores de la actividad económica en las telecomunicaciones, pues establecen límites y estímulos para el despliegue de servicios.

Teniendo en cuenta que cada uno de los actores tiene diferentes puntos de vista y consideraciones respecto a la Calidad de Servicio, se decidió realizar un marco conceptual en el que se establece una división con base en los tres principales actores identificados: Nivel de Cliente/Usuario, Nivel de Proveedor de Servicio y Nivel de Proveedor de Red. Cada uno de ellos incluye aspectos de diferente naturaleza.

Desde la perspectiva del Modelo General de QoS, el nivel de cliente/usuario es muy semejante al de QoS Percibida aunque también abarca aspectos de QoS Evaluada. De la misma manera, el Nivel de Proveedor de Red es equivalente al de QoS Intrínseca y el de Proveedor de Servicio incluye algunos aspectos de QoS Percibida. La correspondencia entre los niveles de la visión propuesta y los del Modelo General de QoS se presenta en la Figura 6.

En el nivel de cliente/usuario se ubican los elementos de QoS relacionados con su satisfacción como son: la captura de sus requerimientos, los métodos de evaluación de la calidad que percibe (para los criterios relacionados y no relacionados con la red), la gestión de la relación cliente – proveedor y la evaluación que determina su continuidad como suscriptor. Este nivel no incluye ninguna función que afecte directamente la arquitectura interna ni los parámetros técnicos de la red.

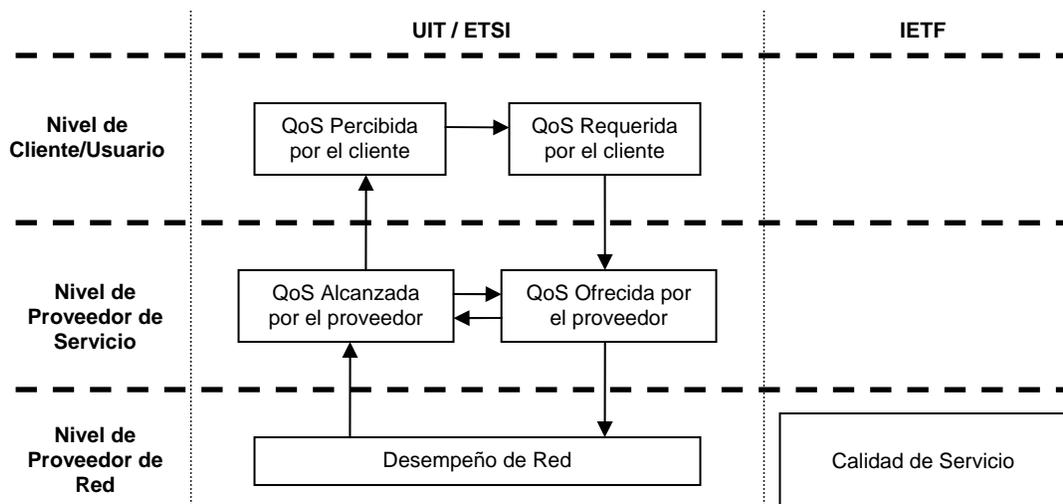
**Figura 6. Niveles de la Visión Multinivel de Calidad de Servicio y su correspondencia con el Modelo General.**



Los elementos técnicos y mecanismos intrínsecos se enmarcan en el Nivel de Proveedor de Red, mientras que los aspectos asociados a la gestión de la relación con el cliente y al negocio de telecomunicaciones se agrupan en un Nivel de Proveedor de Servicio. En el contexto de este trabajo, **se considera al proveedor de servicio y al de red como una misma empresa**, la distinción entre estos niveles es únicamente de carácter funcional.

Es conveniente observar cómo se enmarcan las visiones de UIT-T, ETSI e IETF en los niveles que se proponen para la Visión Multinivel, situación que se presenta en la Figura 7. En ella se tienen en cuenta los cuatro puntos de vista de QoS definidos en el reporte ETR 003 de ETSI.

**Figura 7. Visiones de Calidad de Servicio de UIT/ETSI e IETF enmarcadas la Visión Multinivel.**



Uno de los criterios más importantes que se han tenido en cuenta en este trabajo es la conformidad con las recomendaciones de Calidad de Servicio actuales. Es por esto que el desarrollo de los niveles de Cliente/Usuario y de Proveedor de Servicio se basa en los cuatro puntos de vista de QoS de la visión UIT-T/ETSI.

A continuación se presenta una descripción detallada de cada nivel, incluyendo los diferentes puntos de vista de QoS, los factores que los influyen, los mecanismos y elementos que se enmarcan en ellos y sus relaciones.

## **4.2 NIVEL DE CLIENTE / USUARIO**

Esta sección describe los aspectos relacionados con los requerimientos, expectativas y percepciones de los clientes respecto a la Calidad de Servicio, analizando los elementos que pueden influenciarlos. También se especifican las características y procedimientos que permiten a los proveedores mantener a los usuarios satisfechos, orientando el análisis a los puntos de vista definidos por UIT-T y ETSI (QoS Requerida y QoS Percibida).

El análisis que se presenta en este nivel ofrece una perspectiva general sobre el manejo que se debe dar a los clientes. Esto aporta al marco conceptual la identificación de los procedimientos que se deben utilizar para capturar sus requerimientos y percepciones, al tiempo que se establecen las relaciones entre estos procedimientos y los demás niveles de la visión.

En la nueva concepción de las empresas de telecomunicaciones el cliente se constituye como el eje de su desarrollo, obligándolas a enfocarse en las expectativas del usuario. Para esto se deben definir los procedimientos que permiten soportar la Calidad de Servicio que el usuario espera y percibe.

En un mercado libre existen diferentes niveles de requerimientos de calidad, debido a que los individuos involucrados están estratificados y al tipo de uso que cada uno de ellos le da al producto o servicio. Al identificar las necesidades de un mercado se puede diseñar un producto que las satisfaga; entre más se acerque el producto a las necesidades que se percibieron, el grado de aceptación de éste será mayor.

En cuanto a la Calidad de Servicio en las redes de telecomunicaciones, los proveedores deben estar atentos a las necesidades de cada grupo de usuarios, pues todos presentan características especiales, por ejemplo, los bancos necesitan que no se presente ninguna falla en determinados periodos de tiempo durante el día, mientras que programas de opinión necesitan manejar una gran capacidad de llamadas en un proceso de televotación. Conocer estas características le permiten al proveedor del servicio diferenciar entre los tipos de usuario que atiende, lo cual influye en el precio que se va a cobrar por el servicio, pues cada tipo de usuario esta dispuesto a pagar por el grado de calidad que demanda.

En este nivel se enmarcan los aspectos relacionados con la captura de los requerimientos del cliente, la evaluación de la calidad percibida, satisfacción de las expectativas y decisión acerca de la continuidad como suscriptor del servicio por parte del cliente. En los trabajos presentados en los capítulos anteriores se observa que tanto UIT-T como ETSI toman en cuenta la Calidad de Servicio Requerida y Percibida, pero no consideran el concepto de Calidad de Servicio Evaluada, el cual sólo se plantea en el Modelo General. Para el Análisis Multinivel se tomarán en cuenta estos tres puntos de vista dentro del Nivel de Cliente / Usuario.

#### 4.2.1 Calidad de Servicio Requerida

La QoS requerida por el cliente es una manifestación de un nivel de calidad que un cliente desea obtener de un servicio en particular. El nivel de calidad se expresa en el lenguaje del cliente, ya sea técnico o informal, basándose en un servicio extremo a extremo. Esto se debe a que a la mayoría de los clientes no les interesa cómo se le provee el servicio o los aspectos internos de la red, sólo tiene claro el grado de calidad que necesita. Los requerimientos del usuario se expresan a través de parámetros que el puede percibir, tienen en cuenta todos sus puntos de vista y el Proveedor de Servicio debe garantizarlos. Esto permite crear un lenguaje común con el cliente, que debe ser independiente de la red y entendible por las dos partes.

Los requerimientos del cliente tienen las siguientes características:

- Se expresan en términos que el usuario comprende y no en los que el proveedor maneja. Claro está que para servicios especiales o muy sofisticados las dos partes deben acordar el manejo de un lenguaje técnico común, que facilite la comunicación. Los usuarios regulares expresan en sus propios términos el grado de calidad que requieren, y es responsabilidad del proveedor capturarlos y traducirlos a un lenguaje técnico.
- Se basan en parámetros medidos extremo a extremo, ya que a los usuarios no les interesa la calidad de los tramos internos de la red o de los equipos que se estén usando para transportar sus datos. A ellos solo les interesa el grado de calidad que perciben del funcionamiento colectivo de la red.
- La calidad se expresa para cada servicio en particular, ya que cada uno de ellos presenta parámetros y criterios diferentes, los cuales se deben definir explícitamente e incluir sus objetivos.

Diversos factores influyen los requerimientos del usuario, como el conocimiento previo que el cliente tiene del servicio y sus características, la importancia que se le dé a la relación precio/calidad, la variación de la calidad experimentada, la importancia de las telecomunicaciones en su estilo de vida o desempeño laboral, entre otras. Los factores que influyen en los requerimientos del cliente se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- **Tipo de Aplicación.** La utilización que se le vaya a dar al servicio afecta los requerimientos, pues no es lo mismo soportar a un usuario residencial que a una gran

empresa, ya que el primero puede tolerar retardos e incluso fallas durante el día, mientras que el segundo necesita una conexión estable y permanente pues su negocio depende de ello.

- **Competencia.** El negocio de las telecomunicaciones es competitivo y el usuario está en libertad de escoger cualquier proveedor. De esta manera, cuando un proveedor alcanza un grado de calidad, los demás están obligados a alcanzarlo y tratar de superarlo, de manera que su servicio se diferencie del de sus competidores en cuanto a calidad. Esto eleva constantemente las expectativas de los usuarios.
- **Avances Tecnológicos.** Los clientes están atentos a los avances tecnológicos y de su posible influencia en su productividad.
- **Economía.** La relación precio/calidad es compleja, pues existen diferentes tipos de clientes para analizar. Están los que no se preocupan por la calidad y si por un bajo costo, o los que no toman en cuenta el precio pero le dan una gran relevancia a la calidad, y una tercera clase son los que se preocupan por la calidad pero son concientes del precio que pagan.

El método para capturar los requerimientos del cliente para cualquier servicio de telecomunicaciones se divide en dos pasos. El primero consiste en la identificación de los criterios que son relevantes para un servicio específico y el segundo en determinar cuáles de éstos son importantes para el cliente.

Un método genérico para la obtención de estos criterios es la aplicación de la matriz que se presenta en la Figura 8. Este método se define en el ETR 003 de ETSI [2] y en la recomendación UIT-T G.1000 [12]. El Nivel de Cliente / Usuario propone la utilización de la matriz para capturar los requerimientos de los clientes, especialmente los empresariales. Para los usuarios individuales o residenciales es mucho más práctico ofrecer servicios con parámetros preestablecidos a manera de paquetes, los cuales se basan en análisis del mercado y de los segmentos en los cuales el proveedor considere incursionar. Esto se tratará con mayor detalle en la sección de Calidad de Servicio Ofrecida del Nivel de Proveedor de Servicio.

En las filas de la matriz se encuentran las funciones de servicio divididas en grupos. Primero se encuentran las funciones relacionadas con la gestión del servicio, las cuales siguen la secuencia de pasos que se dan cuando un usuario se suscribe a un servicio, comenzando con las ventas y actividades pre-contractuales y terminando con el cese del servicio. Luego se tienen las funciones concernientes a la calidad técnica de la conexión, las cuales se organizan empezando con el establecimiento y finalizando con la liberación de la conexión. Luego se encuentran las funciones de facturación y gestión de la red/servicio por parte del cliente.

A continuación se da una breve descripción de cada una de estas funciones:

- **Ventas y actividades pre-contractuales.** Con este criterio se le provee información al cliente acerca de las características del servicio, sus limitaciones y cualquier cambio que se haya planeado en el futuro. Se le informa también del costo inicial, el costo mensual, el mantenimiento y el grado de calidad que se planea entregar. Toda la

información que el cliente debe saber antes de contratar un servicio hace parte de las actividades pre-contractuales.

**Figura 8.** Matriz para la identificación de los criterios de QoS [12].

		Criterios de calidad de servicio						
		Velocidad 1	Precisión 2	Disponibilidad 3	Fiabilidad 4	Seguridad 5	Simplicidad 6	Flexibilidad 7
Función de servicio								
GESTIÓN DE SERVICIO	Ventas y actividades precontractuales 1							
	Prestación 2							
	Alteración 3							
	Atención al cliente 4							
	Reparaciones 5							
	Cese 6							
CALIDAD DE LA CONEXIÓN	Establecimiento de conexión 7							
	Transferencia de información 8							
	Liberación de conexión 9							
Facturación 10								
Gestión de la red/ servicio por el cliente 11								

- **Prestación.** Este punto hace referencia a la preparación por parte del proveedor de servicio de todos los componentes requeridos para la operación y mantenimiento del servicio, como se define en las especificaciones del servicio.
- **Alteración.** Este punto hace referencia a los cambios que el usuario quiera hacer sobre las características del servicio, los cuales se deben plantear en el contrato inicial.
- **Atención al cliente.** Con esto se hace referencia al manejo y configuración de los equipos que el cliente debe conocer para acceder al servicio, al igual que los procedimientos para realizar y corregir quejas o también el mantenimiento preventivo que se le hará al servicio.
- **Reparaciones.** Aquí se definen las funciones relacionadas con las actividades de reparación que tendrán lugar desde el instante en que el servicio no funcione con las características especificadas, hasta el momento en que se retorna al estado normal de funcionamiento.

- **Cese.** Aquí se estipulan los términos en los que un contrato termina.
- **Establecimiento de conexión.** Incluye todas las funciones asociadas con el establecimiento de la conexión, desde que el cliente solicita el servicio hasta que recibe alguna respuesta por parte de la red.
- **Transferencia de información.** Los clientes son muy sensibles a este grupo de funciones pues abarcan todos los parámetros de calidad que influyen en la transferencia de información, desde que la conexión se establece hasta el momento en que el cliente termina la sesión.
- **Liberación de conexión.** Agrupa todas las funciones que se llevan a cabo desde el momento en que se solicita la terminación de la sesión hasta el momento en que efectivamente se termina.
- **Facturación.** Tiene que ver con todos los aspectos relacionados con el cobro de las cuentas, desde los formatos de cuenta hasta los requisitos y formas de pago.
- **Gestión de la red/servicio por el cliente.** Este punto hace referencia a las funciones que el usuario puede controlar y que están asociadas con la gestión del servicio.

En las columnas de la matriz se tienen los criterios que son relevantes para los usuarios divididos en las siguientes categorías:

- **Velocidad.** Este criterio de calidad hace referencia a la rapidez con la que se ejecuta cualquiera de las funciones de servicio.
- **Precisión.** Este criterio evalúa el grado de certeza con el que las funciones se llevan a cabo. Para esto se debe contar con un nivel de referencia.
- **Disponibilidad.** Se relaciona con la facilidad de acceso a los diversos componentes de una función de servicio por parte del cliente en el momento en que éste los requiere.
- **Fiabilidad.** Se relaciona con la probabilidad de que el servicio funcione dentro del rango esperado de velocidad y disponibilidad en un periodo de tiempo dado, por ejemplo, un mes.
- **Seguridad.** Este criterio de calidad tiene que ver con la confidencialidad con la que una función de servicio se lleva a cabo.
- **Simplicidad.** Con este criterio se busca evaluar qué tan cómodos se sienten los clientes al acceder a una función de servicio y, de la misma manera, determinar las preferencias de los clientes al acceder a un servicio.
- **Flexibilidad.** Con este criterio se busca agrupar los requerimientos opcionales que tiene el cliente para un servicio, por ejemplo, el periodo facturado en una cuenta puede ser mensual, quincenal o semestral.

La aplicación de esta matriz tiene como resultado fundamental los parámetros de Calidad de Servicio que son relevantes para los clientes, con lo cual se pueden establecer los niveles ofrecidos para el servicio. Esto se logra cruzando las filas y columnas con el fin de asignar un parámetro para cada celda y su respectiva importancia para el contrato de servicio.

## **4.2.2 Calidad de Servicio Percibida**

La Calidad de Servicio percibida es una declaración que expresa el nivel de calidad que los clientes creen haber experimentado. Se expresa en términos subjetivos relacionados con el grado de satisfacción y no en términos técnicos. La Calidad de Servicio Percibida se evalúa por medio de la comparación con las expectativas de los clientes y de sus experiencias con el servicio a través de comentarios escuchados al respecto.

Este punto de vista de la calidad incluye todos los aspectos del servicio, tanto los relacionados con el desempeño de la red como los que no. Los clientes no se interesan en saber como un servicio se presta, ni como la red y el transporte de la información influye en su percepción de calidad. El cliente percibe el servicio como un todo y no se le puede pedir que diferencie entre los aspectos que se encuentran relacionados con la red y los que no lo están.

La percepción de calidad por parte del cliente es individual para cada servicio que se le presta, aunque los parámetros que influyen en ésta pueden ser los mismos para distintos servicios, por ejemplo la atención al cliente es un parámetro relevante en todos los casos. Sin embargo, los parámetros técnicos son diferentes, pues cada uno de los servicios presenta características especiales que demandan un comportamiento específico de la red.

Las principales características que tiene la Calidad de Servicio percibida por el cliente son:

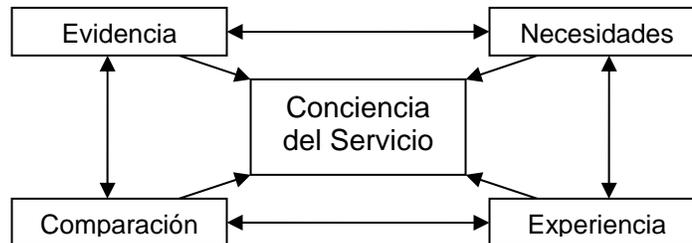
- Es subjetiva y está supeditada a diversos factores, algunos de los cuales se analizarán más adelante.
- Se expresa en términos cuantitativos, de acuerdo a lo presentado en el Capítulo 3 para los parámetros relacionados con las percepciones subjetivas de los usuarios.

En cuanto a los factores que influyen la percepción que el cliente tiene acerca de la calidad se pueden encontrar los siguientes:

### **4.2.2.1 Conciencia del servicio**

Con respecto al grado de conciencia que tiene el cliente acerca del servicio se sabe que depende de varias variables. Un cliente de tipo comercial tiene muy bien definidas sus necesidades: en su decisión sobre el proveedor que va a utilizar prima su satisfacción y su nivel de confianza, lo que permite asegurar que sus actividades comerciales se soportan adecuadamente. Usuarios residenciales toman en cuenta elementos como la cortesía en el trato, la eficiencia y efectividad en las reparaciones y el precio. En la Figura 9 se muestran algunas de las influencias que se relacionan con la conciencia del servicio, las cuales se describen a continuación.

**Figura 9.** Influencias sobre la Conciencia del servicio [27].



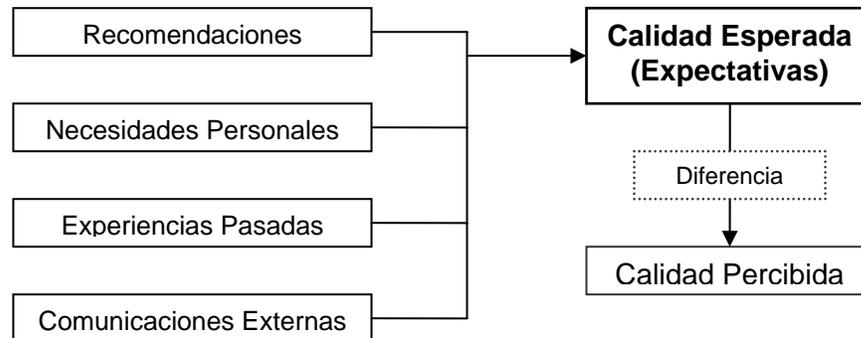
- **Evidencia.** El cliente se ve influenciado por diversas formas de evidencia, como las publicaciones en los medios, la publicidad y los reportes generados por el propio Proveedor de Servicio. Cuentas mal presentadas o informes que no contengan la información que el cliente necesita conllevan a una mala reacción por parte de los clientes. El proveedor cuenta con una poderosa arma para influenciar a los clientes si toma en cuenta estos aspectos.
- **Comparación.** Este es un criterio que varía con el tiempo y con las necesidades del cliente. Las telecomunicaciones, al pertenecer a un mercado libre, se encuentran supeditadas a la competencia, razón por la cual la comparación tiene gran efecto en la percepción del cliente. Los aspectos más importantes sujetos a comparación son la calidad y el precio.
- **Necesidades.** Las necesidades específicas de cada cliente tienen una gran influencia en la percepción de calidad que este tiene. Por ejemplo, usuarios comerciales necesitan un plan de trabajo lo suficientemente robusto que les permita tener la confianza de que su desempeño no se verá comprometido.
- **Experiencia.** Este es el más influyente de los criterios, pues enmarca la experiencia personal del cliente, la cual varía dependiendo de sus expectativas y cuán relevante es la calidad para ellos.

#### **4.2.2.2 Expectativas del cliente**

Según el estudio que se presenta en [27], el cliente forma expectativas a partir de la influencia de los aspectos que se muestran en la Figura 10, los cuales se describen a continuación.

- **Recomendaciones.** Este aspecto cubre todo lo que el cliente escucha de los demás, es decir, percepciones del servicio que pueden ser buenas o malas y que no pueden ser controladas por el proveedor.
- **Necesidades personales.** En ellas influyen todas las características y circunstancias que envuelven al cliente. Está fuera del alcance de los proveedores conocer y controlar todas las necesidades.

**Figura 10.** Expectativas del cliente y la calidad percibida.



- Experiencias pasadas. Hace referencia a todas las experiencias que un cliente ha tenido con un determinado proveedor de servicio, sean buenas o malas. Éstas serán el punto de partida para futuros negocios.
- Comunicaciones externas. Este punto cubre todo el contacto que puede llegar a tener el cliente con el proveedor, incluyendo publicidad, medios, material promocional y de ventas. Todos éstos, a excepción de los medios, son controlados por el proveedor.
- La diferencia que existe en la calidad de servicio percibida y las expectativas que tiene el cliente se tratará en la sección de Calidad de Servicio Evaluada.

#### **4.2.2.3 Experiencias recientes**

Las experiencias que el cliente haya tenido con el proveedor influyen la percepción de la calidad que está experimentando, ya sean éstas buenas o malas.

#### **4.2.2.4 Publicidad**

Se ha identificado que la publicidad afecta la percepción del cliente. Es una herramienta de influencia, pues los mensajes llegan al cliente con la información que el proveedor quiere dar a conocer.

#### **4.2.2.5 Naturaleza del estudio**

Los clientes son subjetivos por naturaleza, por lo que los resultados de un ranking de opinión se deben estudiar con cautela. Cuando un cliente se entrevista vía telefónica o a través de un cuestionario, elementos como el estado de ánimo (del entrevistado o del entrevistador) son influyentes al momento de obtener una respuesta, al igual que la claridad y complejidad de las preguntas.

Si un proveedor de servicio es conciente de la importancia de la Calidad de Servicio Percibida, puede incrementar su número de usuarios y mejorar la imagen de su empresa, implementando programas dirigidos a mejorar la calidad y buena publicidad. Esto se

alcanza con un pequeño incremento en el costo, que ayudará a mejorar los parámetros que el cliente considere prioritarios.

### **4.2.3 Calidad de Servicio Evaluada**

Este es un elemento muy importante y, aunque esta muy relacionada con la Calidad de Servicio Percibida, se decidió considerarlo independientemente pues en este punto el cliente decide que tan satisfecho está con el servicio que se le esta prestando.

El que la Calidad de Servicio Evaluada se encuentre en el nivel de cliente no significa que los proveedores no se preocupen por ésta; ellos necesitan conocer cómo sus clientes evalúan la calidad que están experimentando para compararla con sus propias medidas y poder tomar correctivos como replantear los programas de calidad que tenga implementados. Para el cliente el evaluar la calidad tiene un significado muy distinto, lo que busca es determinar la continuidad con el servicio o el cese del mismo. Esto depende de qué tanto el servicio está cumpliendo con sus expectativas, las cuales varían con el tiempo. Como se mencionó anteriormente, hay diversos factores que influyen en las expectativas del cliente, los cuales se muestran en la Figura 10.

De acuerdo con el estudio que se presenta en [28], se tiene que el 70% de clientes insatisfechos con un servicio buscaran otro proveedor, pero solo el 5% de ellos le harán saber al proveedor que están insatisfechos. Un cliente insatisfecho le dirá a un aproximado de 10 personas sobre la mala experiencia que tuvo, mientras que un cliente que está satisfecho solo comentará su experiencia con 5. A un proveedor le cuesta 5 veces más atraer un nuevo cliente que mantener uno, pero el 95% de los clientes insatisfechos se quedará con el servicio si se maneja de manera correcta. De los datos anteriormente citados se observa la importancia de la evaluación que un cliente le da al servicio que le están prestando. Es por esto que los proveedores deben invertir tiempo y recursos para conocer la opinión de sus clientes, con el fin de adecuar sus programas de calidad y publicar los resultados obtenidos (si éstos son satisfactorios) como una forma de publicidad.

Para poder evaluar la calidad se debe seleccionar el servicio o grupo de servicios y escoger el método que se va a utilizar para determinar el grado de satisfacción del cliente.

Al seleccionar el servicio o grupo de servicios que se van a estudiar, se deben tener en cuenta cuáles de los parámetros serán monitoreados. Como fin último del estudio de la calidad, se tiene que comparar los resultados de la calidad que se está entregando con las expectativas que el cliente tiene.

Se han desarrollado distintos métodos con el fin de detectar el grado de satisfacción de los clientes respecto a un servicio. Se pueden agrupar en los siguientes tipos:

- Modelos objetivos: A través de indicadores tales como el número de quejas. La validez de estos modelos es limitada.

- Modelos subjetivos: Basados en la percepción del individuo de su propia satisfacción. La evaluación basada en modelos subjetivos tiene como principales desventajas un costo elevado, consumo de tiempo y dificultad de realización.
- Modelos fisiológicos: Midiendo reacciones involuntarias del cuerpo.

Dentro de los modelos subjetivos, los más reconocidos son [28]:

#### **4.2.3.1 SERVQUAL**

Consiste en un conjunto de entrevistas y encuestas. Este modelo se aplicó a diferentes compañías que proporcionan servicios y los resultados llevaron a definir que al evaluar la calidad de servicio, los clientes tenían como parámetro la magnitud de la diferencia entre sus expectativas respecto a un servicio y la percepción que ellos tenían de éste.

Se definieron cinco posibles desajustes en la provisión de un servicio:

- 1) Diferencia entre las expectativas del cliente y la percepción de dichas expectativas por el proveedor.
- 2) Diferencia entre la percepción de las expectativas y la forma de traducirlo en especificaciones técnicas de calidad.
- 3) Diferencia entre la calidad de servicio especificada y la realmente entregada.
- 4) Diferencia entre el servicio prestado y el prometido al cliente. Aquí conviene destacar los problemas de prometer más de lo que se anuncia, y por otro lado el posible impacto en la percepción de la calidad si no se informa a los usuarios de las acciones dirigidas a mejorarla.
- 5) Diferencia entre las características del servicio percibido por el usuario y las expectativas que dicho usuario tenía del servicio. La hipótesis es que esta diferencia es función de las anteriores.

El modelo SERVQUAL trata de medir la percepción y expectativas de los usuarios a través de una encuesta de 22 preguntas, las cuales se dividen en 5 grupos comunes a todos los servicios:

- Elementos tangibles. Instalaciones físicas, equipamiento y apariencia del personal.
- Fiabilidad. Realización del servicio prometido de forma eficaz.
- Respuesta. Capacidad de atender a los clientes con una pronta respuesta a sus consultas.
- Garantía. Incluye competencia, cortesía, credibilidad y seguridad.
- Empatía. Formada por la capacidad del cliente de utilizar el servicio cuando quiera (acceso), la habilidad de informarle con su propio lenguaje (comunicación) y el conocimiento del consumidor y de sus necesidades.

Las veintidós sentencias se redactan y presentan en una doble escala para valorar por un lado las expectativas (lo que debe ser) y por otro la percepción (lo que es) del cliente.

La principal contribución de este estudio es que proporciona un modelo conceptual claro de la calidad de servicio, además de ofrecer una base sólida para investigaciones futuras. Una de sus desventajas es que existen servicios cuyas dimensiones no coinciden exactamente con las cinco descritas. Se han realizado varias versiones de este modelo para tratar de adaptarlo a cada uno de esos servicios.

#### **4.2.3.2 SERVPERF**

Este modelo consta de una sola escala basada en la percepción del usuario. La calidad se mide como la suma de cada uno de los elementos de la encuesta. La diferencia con el método anterior es que no tiene en cuenta las expectativas del usuario por lo que, aunque es capaz de medir la calidad de un servicio, no puede establecer en qué elementos es prioritario mejorar la calidad. No es lo mismo una calidad baja en un aspecto que es esencial para el usuario, que en uno que se define como de importancia baja.

Por ello se ha desarrollado también como variante un método con dos escalas sencillas, que evalúan tanto la percepción del servicio como la importancia y necesidad de las distintas cualidades del mismo.

#### **4.2.3.3 Sasser, Olsen Y Wickoff**

Plantean que el usuario no sólo tiene en cuenta las características del servicio base que ofrece una empresa, sino que también influyen en su percepción los demás servicios que se ofrecen. Además establecen que los clientes tienden a ajustarse a uno de los siguientes comportamientos:

- Se centran en el atributo que consideran más importante.
- Dan una mayor importancia a una característica, pero mantienen el resto por encima de un mínimo.
- Utilizan un modelo compensatorio en el que unos atributos pueden empeorar siempre que otros mejoren.

#### **4.2.3.4 Grönross**

Diferencia tres aspectos que condicionan la percepción de la calidad de servicio por un cliente:

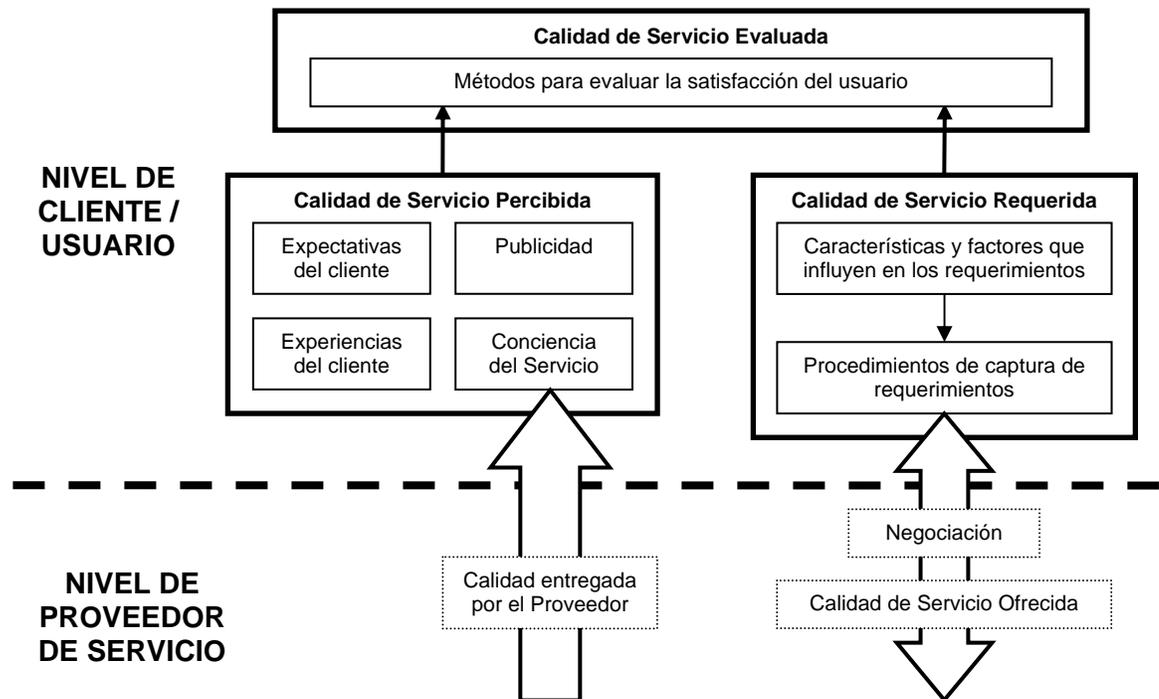
- Las características técnicas del servicio.
- La calidad funcional o relacional. Es decir, la forma de proporcionar el servicio.
- La imagen de la empresa.

Considera que la calidad funcional es la que tiene una mayor importancia, sobre todo cuando las características técnicas superan un mínimo. Define los siguientes criterios que afectan a la calidad de servicio: actitud y conducta, cercanía y flexibilidad, fiabilidad, soporte a situaciones de error e imagen de marca.

#### 4.2.4 Propuesta Final del Nivel de Cliente / Usuario

De acuerdo a lo descrito anteriormente, las relaciones entre los tres puntos de vista de calidad que conforman este nivel se presentan en la Figura 11, al igual que los aspectos más importantes para cada uno de ellos.

*Figura 11. Propuesta Final del Nivel de Cliente / Usuario.*



La propuesta de este nivel aporta una guía para establecer procedimientos que permiten entender los requerimientos, percepciones y evaluaciones que realizan los clientes sobre la Calidad de Servicio desde su punto de vista.

En cuanto a la QoS Requerida, se realizó un análisis de sus características y se describió una metodología de captura de requerimientos, la cual inicia el proceso de prestación de un servicio entregando información para los procedimientos que se describirán en la siguiente sección.

De la misma forma, se analizaron los factores más importantes que afectan la Calidad de Servicio Percibida y se describieron los métodos que permiten su evaluación como criterio fundamental para la retención y captura de clientes.

### **4.3 NIVEL DE PROVEEDOR DE SERVICIO**

Este nivel tiene en cuenta los aspectos de gestión empresarial del operador de telecomunicaciones que influyen la Calidad de Servicio, abarcando elementos como el análisis de mercado, posicionamiento de marca, ofrecimiento de SLAs, diferenciación del producto, gestión de la relación con el cliente, análisis de resultados y la planeación de los aspectos técnicos de la red de acuerdo a todo lo anterior.

Con relación a los trabajos de UIT-T y ETSI sobre los cuatro puntos de vista de QoS, en el Nivel de Proveedor de Servicio se pueden situar dos de ellos: la Calidad de Servicio Ofrecida y la Calidad de Servicio Entregada. Todos los elementos que presentará este nivel se enmarcarán en estos puntos de vista, tratando de desarrollar una visión conforme con las recomendaciones internacionales.

Es importante resaltar que esta capa debe enfocarse en las características extremo a extremo de la prestación de los servicios, ya que son éstas las que se deben planear y entregar de una forma apropiada para que influyan de una forma positiva en la percepción y evaluación del usuario.

#### **4.3.1 Calidad de Servicio Ofrecida**

Desde el punto de vista económico, en el sector de las telecomunicaciones se ha producido una intensificación de la competencia entre las empresas que ha derivado en una reducción del precio de los servicios. De esta manera, surge la Calidad de Servicio como un elemento diferenciador que permite capturar una mayor cantidad de clientes al ofrecer un importante criterio de decisión cuando los precios son similares.

En los procedimientos relacionados con la Calidad de Servicio Ofrecida debe realizarse el mayor esfuerzo en cuanto a toma de decisiones empresariales, por lo tanto, se necesita considerar toda la información importante antes que los objetivos de planeación se establezcan. La calidad de las decisiones afectará también la calidad efectivamente entregada y el juicio de los clientes.

En este sentido, es muy importante escoger el segmento del mercado en el cual el proveedor quiere incursionar y el nivel de calidad que se va a ofrecer, lo cual determinará la posición en el mercado. Mientras algunas empresas deciden ofrecer un alto nivel de calidad, otras ofrecen el más rentable o el que mejor se ajuste a las características de su infraestructura de red. Las decisiones sobre los precios y los niveles de calidad dependen de los procesos de planeación estratégica de la gestión empresarial, y se debe tener en cuenta que se pueden ofrecer diferentes niveles de calidad para un mismo servicio, lo que permitirá competir en diferentes segmentos del mercado y capturar clientes de diferentes características.

La Calidad de Servicio Ofrecida es una manifestación de las especificaciones del servicio que el proveedor planea entregar al cliente, las cuales se deben definir de acuerdo a los análisis del mercado (expectativas y necesidades insatisfechas de los clientes) y a la

infraestructura de red. En este contexto, se debe profundizar en algunos elementos que permitirán brindar un soporte adecuado a la Calidad de Servicio Ofrecida por el proveedor. Se han identificado los SLAs, la gestión de la relación con el cliente y los criterios para la planeación técnica de la red como los aspectos más importante que se analizarán en esta sección.

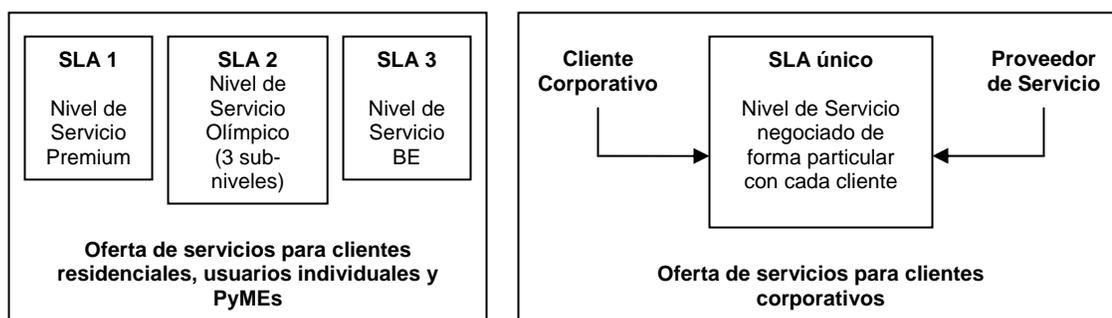
#### 4.3.1.1 Acuerdos de Nivel de Servicio

Establecer SLAs es el mejor método para formalizar las relaciones entre el cliente y el proveedor. Estos acuerdos constituyen pactos de referencia sobre la prestación del servicio que permiten establecer niveles de calidad, precios y contraprestaciones por incumplimiento de las obligaciones de las dos partes. Las características del servicio se definen por medio de sus parámetros específicos, los cuales se deben asociar a la infraestructura de red (parámetros de transmisión de datos) y a criterios operacionales de la empresa (atención al usuario, tiempos de respuesta a las peticiones, facturación, etc.). Este conjunto de características determinan el nivel de calidad que el usuario contrata y se denomina **Nivel de Servicio**.

Generalmente los proveedores utilizan un sistema que ofrece niveles de servicio Premium, Olímpico (con 3 sub-niveles) y Best Effort para describir los diferentes niveles de calidad que se experimentarán (la especificación de estos niveles dependerá de los análisis del mercado y los requerimientos de los clientes). Este sistema es especialmente útil para ofrecer SLAs a los clientes residenciales, usuarios individuales y empresas pequeñas y medianas, ya que utilizar pocos niveles de servicio predeterminados facilita la tarea de llevar las especificaciones técnicas a la configuración de la red. El factor predominante para este tipo de usuarios es el precio, lo cual brinda la oportunidad a los proveedores de sacrificar un poco la Calidad de Servicio Ofrecida a ellos, con el fin de rebajar los precios, atraer clientes y optimizar la utilización de los recursos de la red.

La relación con los clientes corporativos es mucho más formal y requiere la elaboración de SLAs particulares que reflejen los procedimientos de captura de requerimientos y en los cuales se establezcan cláusulas de penalización por incumplimiento mucho más estrictas, lo cual incrementa la confianza del cliente. La Figura 12 ilustra estas diferencias entre los SLAs que se ofrecen a diferentes tipos de clientes.

**Figura 12.** Oferta de servicios (SLAs diferenciados) para los dos tipos de clientes.



La utilización de estos SLAs diferenciados es un elemento importante del marco propuesto para este nivel, y se deben utilizar para todos los clientes y servicios ofrecidos por la empresa. Igualmente, se debe establecer de una forma clara la relación entre los diferentes niveles de servicio y la planeación técnica de la red, situación que se abordará en la siguiente sección.

#### **4.3.1.2 Planeación técnica de la red**

Además de los factores económicos anteriormente mencionados, la Calidad de Servicio ofrecida también depende de las capacidades que la infraestructura de red puede brindar. Es por esto que se necesita una correspondencia entre la oferta de servicios y el soporte para QoS del Nivel de Proveedor de Red. Esta correspondencia se debe presentar entre los niveles de servicio pactados en los SLAs y las Clases de Servicio de las tecnologías de red.

Las Clases de Servicio dependen de las arquitecturas que soportan la QoS y definen un conjunto de parámetros característicos que, generalmente, no tienen valores concretos asociados. Por ejemplo, el PHB EF de DiffServ es una Clase de Servicio de baja pérdida, baja latencia y ancho de banda asegurado, sin embargo, no define ningún valor asociado a estos parámetros [11].

Si varias arquitecturas de Calidad de Servicio operan conjuntamente en una red, se debe especificar de forma clara cómo se corresponderán las diferentes Clases de Servicio. Para las tecnologías más utilizadas existen métodos estandarizados que permiten realizar estos procedimientos de mapeo. En el caso de IntServ y DiffServ una aproximación se encuentra en [29].

Se necesita una definición genérica de valores, que permita establecer claramente cuáles son las metas que debe alcanzar la infraestructura de red para los parámetros de transporte. Un ejemplo de esto son los objetivos de Desempeño de Red, descritos en forma de máximos o mínimos para los parámetros asociados a la transmisión IP, los cuales se especifican en la Recomendación UIT-T Y.1541 [14]. Ésta también plantea una correspondencia de los parámetros con las Clases de Servicio de la arquitectura DiffServ. Lo anterior se muestra en la Tabla 1.

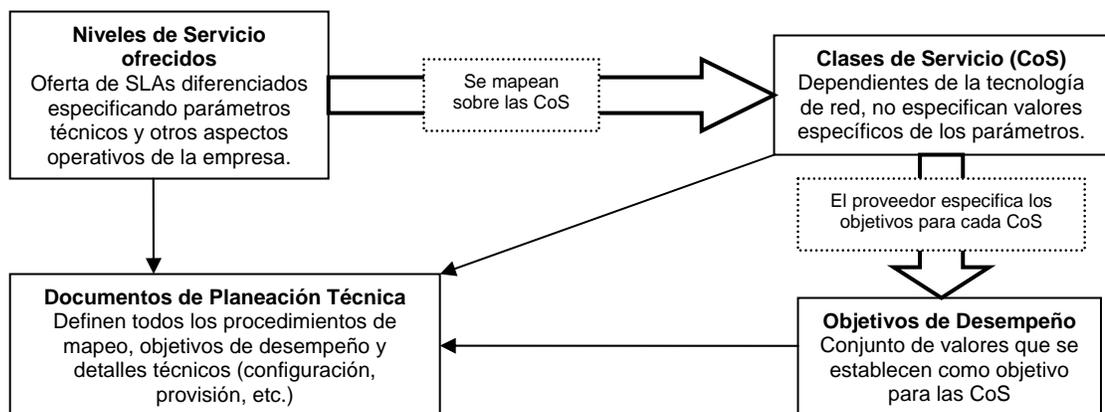
Una vez se establezcan qué Clases de Servicio soportarán los Niveles de Servicio ofrecidos, deben elaborarse documentos que especifiquen los procedimientos que tienen que realizarse en cuanto a configuración de los dispositivos, estimación de capacidad, provisión de nuevos usuarios, gestión de fallas y otros detalles técnicos de la infraestructura de red, los cuales establecerán los criterios para el tratamiento del tráfico y los objetivos de desempeño para cada uno de los niveles de servicio ofrecidos. Estos documentos brindan soporte a las operaciones del proveedor, contribuyendo a la interacción efectiva de los niveles de Proveedor de Servicio y Proveedor de Red.

**Tabla 1.** Definición de Clases de QoS y sus objetivos de Desempeño de Red [14].

PARÁMETROS	CLASIFICACIÓN DE OBJETIVOS					
	Clase 0	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Latencia máxima	100 ms	400 ms	100 ms	400 ms	1 s	-
Variación de Latencia máxima (jitter)	50 ms	50 ms	-	-	-	-
Tasa de pérdida de paquetes máxima	10 <sup>-3</sup>					-
Tasa de error en paquetes máxima	10 <sup>-4</sup>					-
Correspondencia con CoS de DiffServ	EF PHB		AF PHB			BE

En cuanto a los parámetros que se deben utilizar para establecer los objetivos de Desempeño de la Red, se tienen principalmente los asociados a la transmisión de datos (velocidad de bits, latencia, jitter, tasa de pérdida de paquetes y disponibilidad) ya que a partir de ellos se pueden derivar parámetros específicos de cada servicio (por ejemplo, a partir de la tasa de pérdida de paquetes se puede deducir la probabilidad de liberación prematura de una conexión). Además, la disponibilidad es el parámetro que mejor describe el comportamiento en cuanto a fallas de la infraestructura, lo cual permite realizar una particularización sobre dispositivos y/o segmentos de red con el fin de realizar una gestión eficiente de las fallas. La Figura 13 muestra los procedimientos de planeación en el Nivel de Proveedor de Servicio de la propuesta.

**Figura 13.** Actividades de planeación y los documentos de soporte.



#### 4.3.1.3 Gestión de la Relación con el Cliente (CRM, Customer Relationship Management)

El objetivo de la implementación de CRM en una empresa es ofrecer una experiencia personalizada a los clientes, obteniendo toda la información posible en cada comunicación con el fin de mejorar la relación hasta el punto de lograr un grado alto de

familiaridad con él, lo cual se traducirá en lealtad y posicionamiento en el mercado. Tradicionalmente se ofrecen descuentos acumulativos, puntos por consumo y otros métodos poco eficaces para lograr la lealtad de los clientes, sin embargo, CRM logra incrementar la Calidad de Servicio Ofrecida por el proveedor, actuando como un generador de valor agregado para el cliente [26].

El soporte tecnológico de CRM lo brindan sistemas de información que trabajan en dos frentes. El primero lo conforman los centros de contacto con el cliente, los cuales obtienen y modifican su información, reciben reportes de fallas (en el servicio o la facturación), brindan información del servicio y reciben solicitudes de provisión de servicios. El segundo frente lo conforman los diversos departamentos al interior de la empresa que utilizan la información recogida, pero que no tienen un contacto directo con el cliente. Los departamentos son los encargados de realizar labores operativas (como la solución de fallas de infraestructura o de contabilidad) y de planeación estratégica, utilizando la información acumulada para generar más utilidades y aumentar el valor del servicio que percibe el cliente.

La introducción del término CRM es relativamente reciente y la mayoría de los trabajos al respecto hacen énfasis en el software de soporte. Sin embargo, el objetivo principal que debe alcanzar una empresa es la construcción de relaciones estables, fuertes y satisfactorias con los clientes, lo cual se puede alcanzar mediante el establecimiento de procedimientos claros y la preparación del personal. El software que soporte estas actividades es un elemento secundario y existen varias soluciones de código abierto que permiten adecuar el sistema para las necesidades particulares de cada empresa.

La principal propuesta para este componente es la creación de un Manual de Procedimientos, en el que se describa la metodología que debe seguir el personal para mejorar la experiencia del cliente (en cuanto a los criterios operativos de la empresa no relacionados con la infraestructura de telecomunicaciones). Este manual debe establecer de forma clara todos los criterios no relacionados con la red que permiten asegurar una alta Calidad de Servicio Ofrecida y se debe dar a conocer en toda la empresa mediante un proceso de instrucción del personal. El documento debe considerar los parámetros de QoS asociados, fijando objetivos como tiempos máximos de reparación, provisión y atención de quejas ó notas mínimas en las encuestas realizadas a los clientes. De esta manera, se tendrán elementos cuantitativos que permitirán verificar el cumplimiento de los objetivos del proveedor. La utilización de un manual basado en CRM incrementa de forma significativa la Calidad de Servicio Ofrecida y se convierte en otro elemento diferenciador que contribuye al posicionamiento de la empresa en el mercado.

Otro aspecto importante que debe contener el manual de procedimientos es la definición de la metodología para la gestión de fallas, la cual debe especificar los aspectos logísticos y operativos de todas las posibles operaciones de reparación y contingencia de fallas. Los mecanismos de reestablecimiento de tráfico en el Nivel de Proveedor de Red permiten que se mantengan ciertas funciones limitadas de transporte mientras se llevan a cabo las reparaciones.

También se debe especificar la metodología de capacitación del personal que entre en contacto con el cliente, ya que se debe asegurar que estas personas sean amables, sensitivas a las necesidades del usuario y sepan promocionar y vender los servicios que ofrece el proveedor. El personal de atención al cliente refleja la disposición de la empresa a entablar una relación satisfactoria y, por lo tanto, este aspecto del Manual de Procedimientos es de suma importancia.

La lista de elementos que debe contener el Manual de Procedimientos se presenta a continuación:

- Funciones de los centros de atención al cliente y otros puntos de contacto.
- Lista de las posibles interacciones con el cliente y los procedimientos asociados.
- Información de manejo del sistema de soporte CRM y sus relaciones con las interacciones con el cliente.
- Especificación de los procedimientos de venta, provisión, modificación y suspensión del servicio; reparación y gestión de fallas; contabilidad.
- Información completa de la oferta de servicios de la empresa.
- Objetivos para los tiempos de reparación, provisión del servicio y otros parámetros no asociados a las especificaciones técnicas de red.
- Políticas de capacitación y evaluación del personal.

Los parámetros más importantes para los cuales se deben señalar objetivos son los siguientes:

- Tiempo de provisión del servicio.
- Tiempo para brindar información sobre la oferta de servicios (tarifas, características, equipos terminales ofrecidos, etc.).
- Disponibilidad de los puntos de contacto con el cliente (horas).
- Número de quejas y/o reclamos (clasificados de acuerdo a su naturaleza: contabilidad, fallas técnicas, etc.).
- Tiempo de solución de quejas y reclamos.
- Parámetros relacionados con la disponibilidad (tiempo medio entre fallas, tiempo medio de reparación).

### **4.3.2 Calidad de Servicio Alcanzada**

La QoS Alcanzada es el nivel de calidad efectivamente entregado por el proveedor, medido de acuerdo a los parámetros establecidos para cada servicio en los SLAs. Idealmente, el nivel de calidad debe ser igual o superior al establecido en los Documentos de Planeación Técnica y el Manual de Procedimientos, en los cuales se fijan los objetivos que la compañía debe alcanzar.

Entre las funciones relacionadas con este punto de vista de QoS están la especificación de la metodología de medición de los parámetros y los procesos de verificación de objetivos (y, por lo tanto, de los SLAs), las cuales se describirán a continuación.

#### **4.3.2.1 Metodología de medición de los parámetros**

En cuanto a los parámetros técnicos, es complejo definir los mecanismos de medición que se van a utilizar. Aunque es factible tomar muestras en algunos elementos de red con el fin de estimar el desempeño extremo a extremo, esto no es práctico debido a los diferentes niveles de carga de tráfico que presentan diferentes segmentos de la red (lo cual implicaría la utilización de métodos de modelado bastante complejos). Es por esto que se sugiere el establecimiento de puntos de medición del desempeño extremo a extremo en los puntos más cercanos al usuario que sean viables, incluyendo parámetros del nivel de aplicación (tiempo de descarga de páginas HTML, velocidad media de descarga de archivos, etc.), de transporte (tiempo de ida y vuelta) y de red (latencia, jitter, etc.).

La medición de los parámetros no relacionados con la red es inmediata con la utilización de sistemas de soporte CRM, los cuales permiten la recolección de toda la información sobre las operaciones realizadas por el proveedor para consolidarla y generar informes con los parámetros pertinentes que se elijan.

#### **4.3.2.2 Verificación de objetivos**

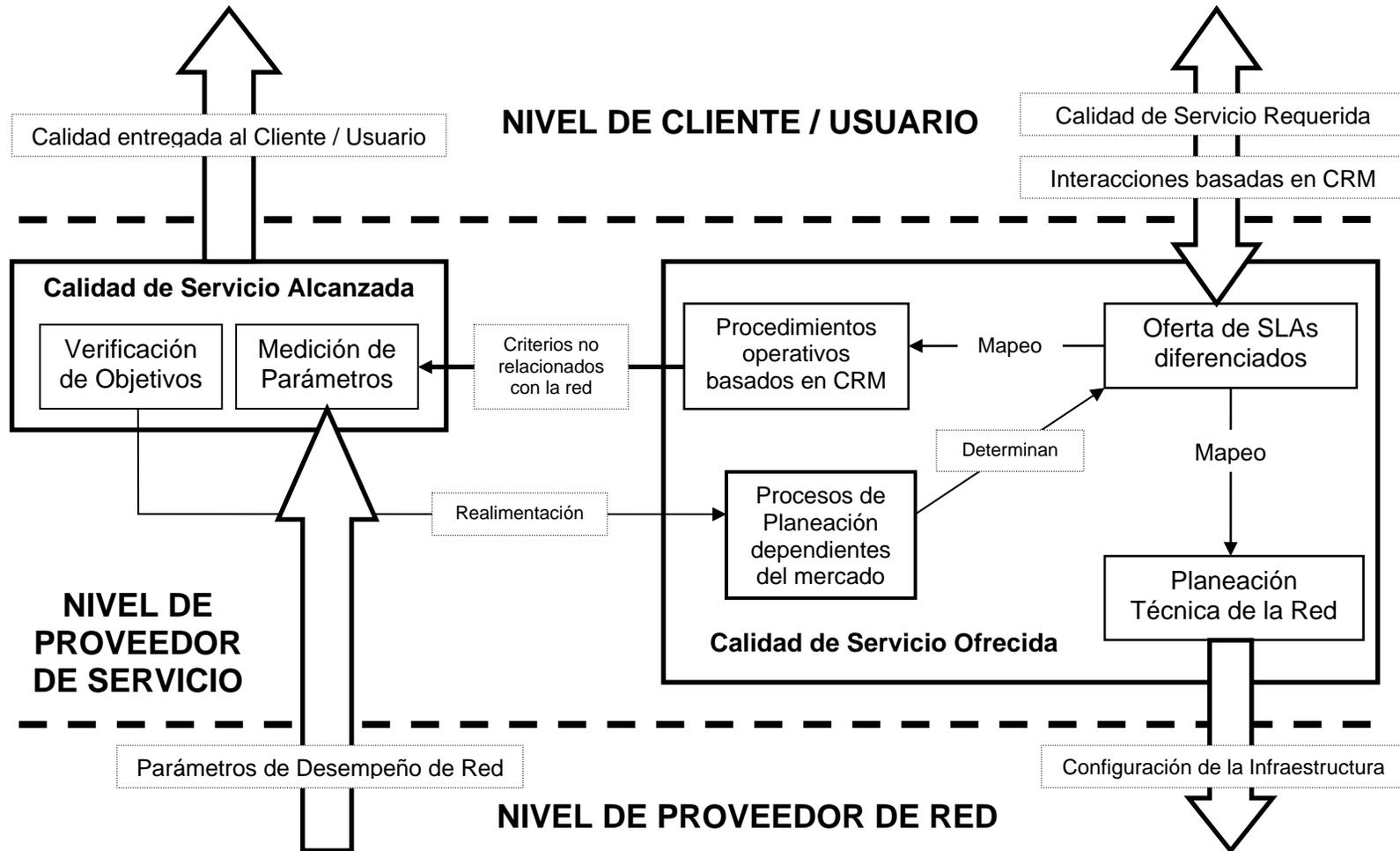
Los datos sobre Calidad de Servicio Alcanzada permiten realizar una comparación con los objetivos establecidos, de manera que el proveedor puede evaluar si necesita mejorar su planeación, operación, o los sistemas de medición. De la misma manera, los usuarios pueden utilizar los datos para reclamar compensaciones por incumplimiento de los SLAs. En este caso, el usuario puede realizar sus propias mediciones o utilizar las del proveedor por medio de una verificación externa que puede realizar un ente regulador.

La publicación de los resultados de la QoS Alcanzada debe tener en cuenta las personas hacia quienes está dirigida. Al interior de la empresa, se necesitan datos muy precisos y puntuales, que permitan una realimentación hacia los procesos de planeación y un refinamiento de todas las operaciones. La información suministrada a los usuarios se debe ofrecer en términos relevantes fácilmente comprensibles y su frecuencia de publicación se debe especificar en los SLAs.

#### **4.3.3 Propuesta Final del Nivel de Proveedor de Servicio**

La Figura 14 muestra la propuesta del Nivel de Proveedor de Servicio condensando los aspectos que se trataron anteriormente y sus relaciones. Como se observa, todos los elementos corresponden a funciones que el proveedor puede implementar al interior de su organización con el fin de soportar Calidad de Servicio, teniendo en cuenta los aspectos de planeación y operación. De esta manera, la propuesta del nivel aporta una guía para el establecimiento y manejo de los procedimientos de negocio que se pueden implementar para brindar QoS.

**Figura 14.** Propuesta Final del Nivel de Proveedor de Red.



## **4.4 NIVEL DE PROVEEDOR DE RED**

Este nivel clasifica, organiza y proporciona una estructura para los mecanismos intrínsecos descritos en el Capítulo 3. De esta manera, se aporta una guía para la implementación de todo el soporte tecnológico de la QoS, el cual se necesita para garantizar niveles adecuados de los parámetros de transporte que requiere cada servicio, cuidando que esto no perjudique el desempeño general de la red. Este nivel se caracteriza por tener un manejo estrictamente técnico, orientado a la implementación y configuración de los mecanismos intrínsecos. Todos ellos se deben utilizar para suministrar un soporte sólido y extremo a extremo para la Calidad de Servicio.

Con el fin de esclarecer la estructura del marco conceptual, algunos de los mecanismos se agruparán en bloques funcionales, de manera que se puedan establecer las relaciones entre ellos de acuerdo a las operaciones que realicen en la red. A continuación se presenta la descripción de cada uno de los bloques:

- Bloque de funciones de control de trayecto: agrupa todas las funciones que aseguran que exista una ruta a lo largo de la red que satisfaga los requerimientos de Calidad de Servicio de un flujo en el momento que éste lo requiera. En este bloque se enmarcan los mecanismos de reservación de recursos y enrutamiento QoS.
- Bloque de funciones de control de los atributos de tráfico: cualquier flujo de información que se acepte para ingresar en la red debe cumplir con los acuerdos realizados entre el cliente y el proveedor. Es por esto que se necesitan funciones de red que permitan controlar los atributos y tomar las medidas del caso. Para lograr esto se cuenta con dos mecanismos: conformación y vigilancia de tráfico.
- Bloque de funciones de control de recursos: los dos recursos básicos de la red son la capacidad de los enlaces y las propiedades de los dispositivos (memoria, tiempo de procesamiento, etc.). Éstos se pueden administrar directamente por medio de los mecanismos de gestión de buffer, puesta en cola y planificación.

En las siguientes secciones se describirán las funciones principales que se deben desempeñar en este nivel, así como sus relaciones y la propuesta de una implementación conjunta que brinde un soporte completo a la Calidad de Servicio en este nivel (a la cual se hará referencia como *Desempeño de Red*).

### **4.4.1 Funciones asociadas al borde de la red**

Se identificó el control de admisión como el componente fundamental en cualquier red que soporte Calidad de Servicio. La creciente demanda por servicios de tiempo real sobre redes de paquetes exigirá un aumento de la cantidad de recursos; sin embargo, esto no se puede realizar de forma ilimitada debido a que no es viable económicamente. Por esto se plantea el control de admisión como una forma eficaz para garantizar QoS cuando se considere que hay restricción de recursos, dado que se limita la cantidad de flujos que transitan por la red.

La verificación que realiza el control de admisión está estrechamente ligada al bloque de control de trayecto, ya que cualquier petición de admisión debe consultar primero si existe una ruta en la red que soporte sus requerimientos de QoS. Esta relación se observa implementada en la arquitectura IntServ, en la cual cualquier petición de reservación debe autorizarse por una entidad que ejecute control de admisión, y deja abierta la posibilidad de que un componente ejecute el enrutamiento QoS [6].

Como se explicó en el capítulo anterior, existen dos mecanismos que permiten asegurar los recursos para el tráfico: la reservación de recursos y la marcación de tráfico. La decisión sobre cual de ellos se debe utilizar depende de diversos factores, los cuales se resumen en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Marcación de tráfico, reservación de recursos y factores para su implementación.

<b>Factor</b>	<b>Reservación de recursos</b>	<b>Marcación de tráfico</b>
Aplicaciones de usuario	Tráfico bastante exigente con requerimientos de ancho de banda asegurado.	Tráfico menos exigente que se puede enmarcar en Clases de Servicio predeterminadas.
Capacidad de la red (costos de implementación)	Gran capacidad de la red y clientes dispuestos a asumir el costo.	Capacidad de la red limitada y costos más accesibles para los usuarios.
Tamaño de la red y número de usuarios (escalabilidad)	Problemas de escalabilidad, especialmente en el núcleo de la red.	Ofrece escalabilidad gracias al número limitado de Clases de Servicio.

Sin embargo, para redes grandes en las cuales exista un escenario con aplicaciones exigentes, capacidad de la red limitada y deseo de escalabilidad, se propone la utilización de la clasificación y marcación de tráfico simultáneamente con la reservación de recursos buscando solucionar los problemas de escalabilidad en el núcleo de la red que tiene esta última. De esta manera se utiliza reservación de recursos en la red de acceso, mientras que en el núcleo se implementa la marcación de tráfico. Un ejemplo de la utilización conjunta de estos mecanismos se presenta en el RFC 2998 [29] que especifica un marco para la implementación complementaria de las arquitecturas IntServ y DiffServ con el fin de ofrecer soporte para Calidad de Servicio extremo a extremo.

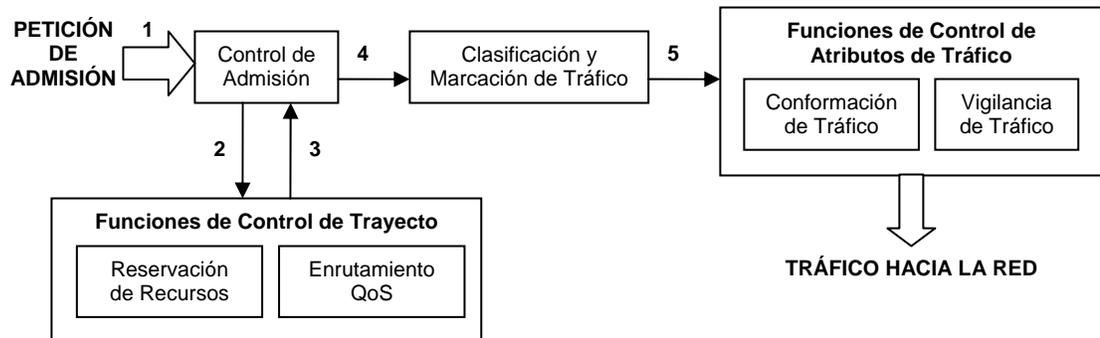
La función de clasificación y marcación de tráfico se debe realizar después del control de admisión. Posteriormente se debe utilizar el bloque de control de atributos del tráfico para asegurar que las características de cualquier flujo admitido se ajusten a la petición que realizó y al servicio contratado; para esto el proveedor de red tiene la opción de utilizar los mecanismos de conformación y/o vigilancia de tráfico.

La Figura 15 muestra la secuencia de las funciones del marco propuesto para los procedimientos asociados al borde de la red.

Como se mencionó anteriormente, debido a los problemas de escalabilidad de la reservación de recursos en el núcleo de la red, el marco propone utilizarla únicamente para la red de acceso. La marcación de tráfico se encargará de ofrecer Calidad de

Servicio en el núcleo y puede realizarse en el borde de la red (por parte de la misma entidad que realiza la reservación) o en la frontera del núcleo (creando en él una nube a través de la cual la señalización para la reservación de recursos pasa de forma transparente).

**Figura 15.** Funciones propuestas por el marco para el borde de la red.



Para que la reservación de recursos y la marcación de tráfico funcionen conjuntamente de una forma adecuada, se necesita que exista coherencia entre las Clases de Servicio que van a ofrecer cada una de ellas. De la misma manera deben corresponder las marcas efectuadas a nivel 2 (tramas) y a nivel 3 (paquetes), temas que han sido abordado por la IETF en trabajos como [29] y [30]. Además, todos los procedimientos de mapeo entre Clases de Servicio (o niveles de prioridad) de diferentes tecnologías se deben describir sin ambigüedades en los Documentos de Planeación Técnica tratados en el Nivel de Proveedor de Servicio.

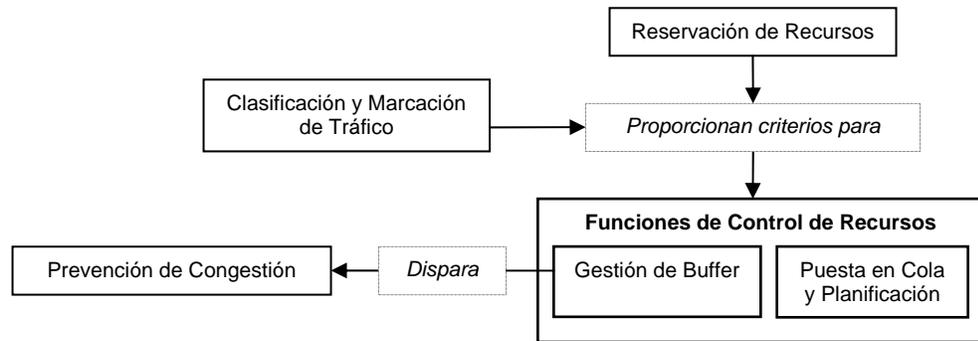
#### 4.4.2 Funciones de control de recursos

La administración de los recursos de la red es una función fundamental que se debe realizar en todos los dispositivos con el fin de optimizar los recursos existentes (evitando el sobredimensionamiento) y ofrecer soporte para los servicios de tiempo real. Los recursos básicos que el marco contempla son el ancho de banda de los enlaces, el tiempo de procesamiento y el espacio en memoria de los dispositivos. Los mecanismos que se pueden implementar en una red para administrar estos recursos de forma directa son gestión de buffer, puesta en cola y planificación. Además, el mecanismo de prevención de congestión actúa de forma indirecta evitando que el exceso de tráfico desborde la capacidad de los elementos de red.

Como se detalló en el Capítulo 3, el mecanismo de gestión de buffer actúa como un iniciador de los mecanismos de control de congestión y, por lo tanto, estos deben diseñarse de manera que se preste especial atención a esta relación (el descarte de paquetes se debe hacer de tal forma que dispare de manera efectiva la prevención de congestión).

Las funciones de control de recursos dependen de la reservación o la clasificación/marcación de tráfico realizadas en el borde de la red y se deben configurar en cada dispositivo de manera que exista coherencia entre las Clases de Servicio ofrecidas y los métodos para soportarlas. La Figura 16 muestra las funciones de control de recursos y su relación con otros componentes de este nivel.

**Figura 16.** Funciones de control de recursos y sus relaciones.



#### 4.4.3 Reestablecimiento de tráfico

Los mecanismos de recuperación en caso de fallas son muy importantes ya que influyen directamente en la disponibilidad de la red y, por lo tanto, en la Calidad de Servicio percibida por el usuario. Las funciones de control de trayecto tienen como respaldo los procedimientos de protección y recuperación, de manera que si ocurre una falla en el trayecto ya establecido, debe encontrarse otro que soporte los mismos requerimientos de QoS, dando prioridad al reestablecimiento del tráfico de tiempo real. Es por esto que se propone la utilización de esquemas basados en Clases de Servicio, tal como el que se presenta en [31], los cuales permiten optimizar la utilización de la capacidad de la red en situaciones de falla, al mismo tiempo que se mantiene la disponibilidad para el tráfico de alta prioridad. Los mecanismos de reestablecimiento de tráfico y sus relaciones con otros elementos del Nivel de Proveedor de Red se muestran en la Figura 17.

**Figura 17.** Funciones de reestablecimiento de tráfico y sus relaciones.



#### 4.4.4 Propuesta Final del Nivel de Proveedor de Red

En el mapa conceptual que se muestra en la Figura 18 se presenta la propuesta final para soportar Calidad de Servicio en una infraestructura de telecomunicaciones. Este mapa resume todos los mecanismos intrínsecos que se deben utilizar para ofrecer QoS extremo a extremo en una red de paquetes, y se constituye en una guía para su implementación. El aporte más importante que ofrece este nivel del marco conceptual es que permite observar cómo los mecanismos interactúan y cooperan, ofreciendo funciones complementarias que conjuntamente proporcionan un adecuado Desempeño de Red.

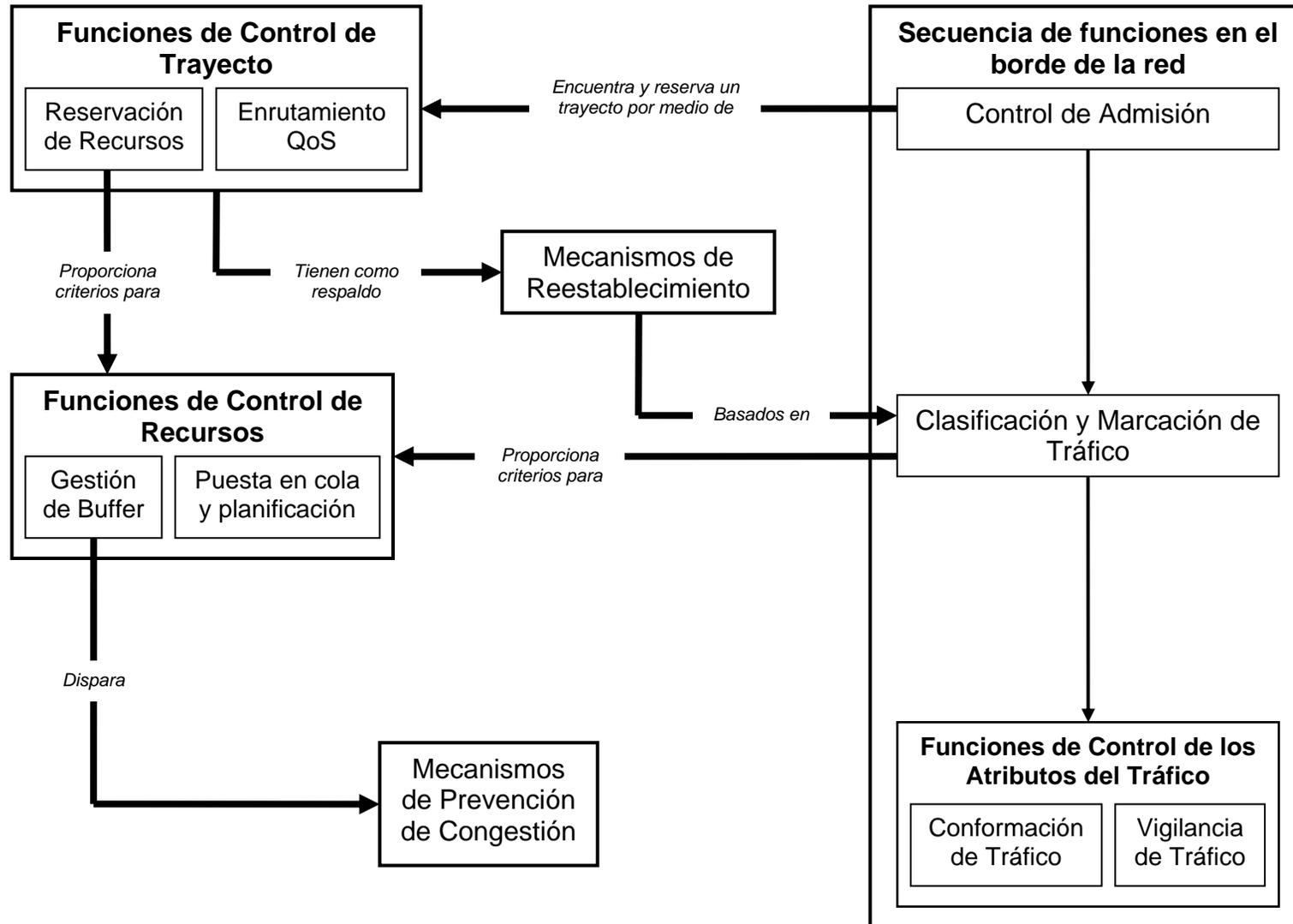
Aunque no se hayan especificado las relaciones de las funciones de este nivel con las adaptaciones del nivel de aplicación, se considera que estas últimas son necesarias como complemento del esquema, especialmente si se tiene en cuenta que son imperativas para que el mecanismo de reservación de recursos funcione de manera adecuada (una aplicación debe realizar una petición explícita de reservación). Además, se hace énfasis en la necesidad de implementar todas las funciones propuestas con el fin de ofrecer un desempeño de red que permita actuar sobre todos los parámetros significativos para los niveles superiores de la Visión Multinivel.

La Tabla 3 muestra de una manera más clara la ubicación de los mecanismos que operan en el Nivel de Proveedor de Red dentro del Modelo de Referencia OSI.

**Tabla 3.** Funciones de los niveles del Modelo de Referencia OSI para Calidad de Servicio.

NIVEL	FUNCIONES
<b>7 – Aplicación</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mitigación de jitter y retardo.</li><li>• Petición de admisión (reservación de recursos).</li></ul>
<b>4 – Transporte</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Control de flujo (prevención de congestión).</li></ul>
<b>3 – Red</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Funciones de Control de Trayecto.</li><li>• Funciones de Control de Recursos.</li><li>• Funciones de Control de los Atributos del Tráfico.</li><li>• Reestablecimiento.</li><li>• Clasificación y marcación de tráfico.</li></ul>
<b>2 – Enlace</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Clasificación y marcación de tráfico (priorización de tramas).</li><li>• Puesta en cola y planificación de tramas.</li><li>• Reestablecimiento.</li></ul>

**Figura 18.** Mapa conceptual de la propuesta final del Nivel de Proveedor de Red.



## **4.5 PROPUESTA FINAL PARA EL MARCO CONCEPTUAL**

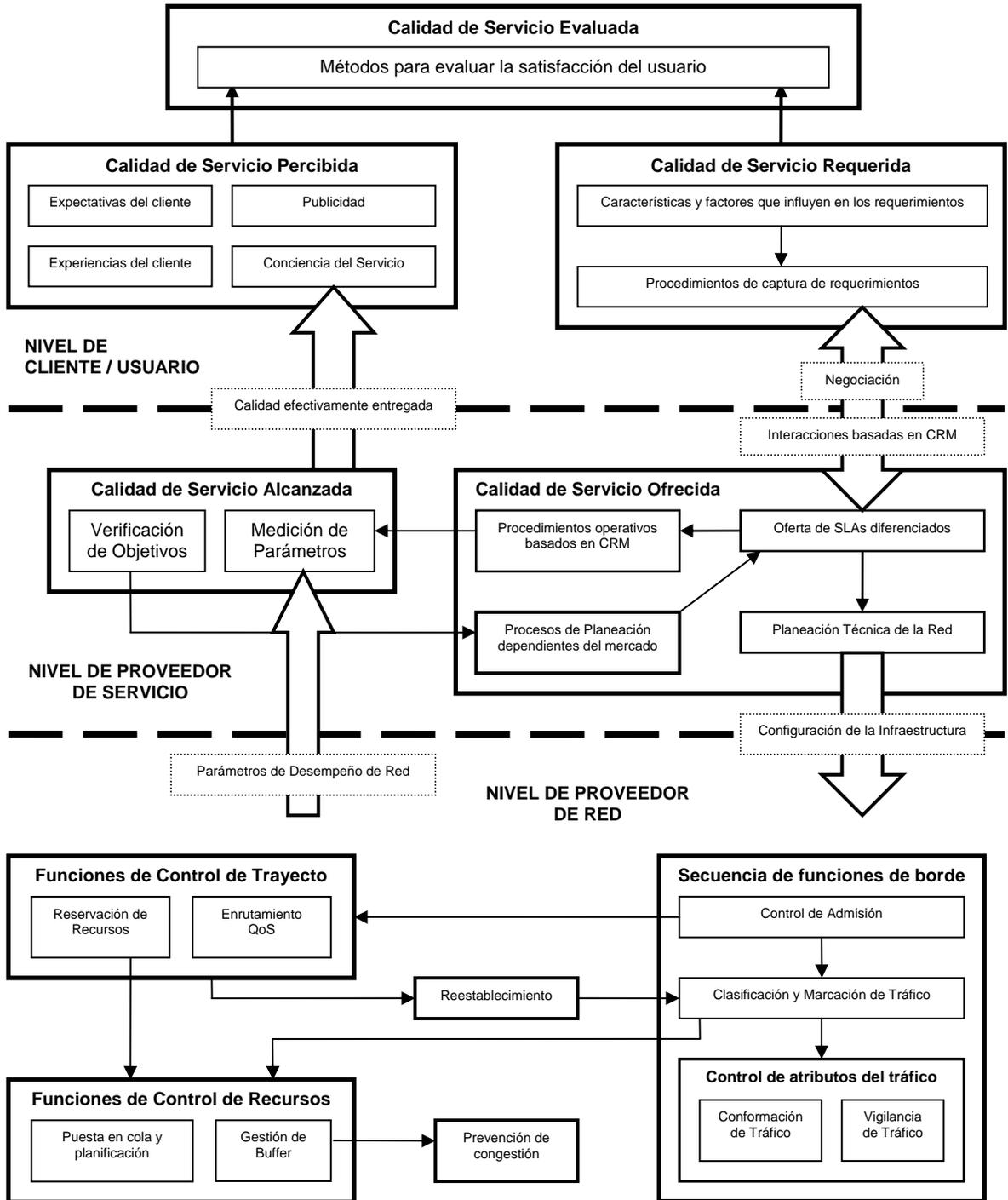
La Figura 19 muestra la propuesta final para el marco conceptual en el cual se soporta la Visión Multinivel. Esta propuesta aporta la identificación y clasificación de los elementos, mecanismos y aspectos relacionados con la provisión de Calidad de Servicio, al tiempo que especifica sus interrelaciones, resumiendo los planteamientos realizados para cada nivel.

Como resultado del Análisis Multinivel, se presenta una estructura dividida en niveles que pretende abarcar la mayor cantidad de aspectos relacionados con la QoS (involucrando tanto a los usuarios como a los proveedores, desde un enfoque técnico hasta uno de negocio), lo cual aporta una aproximación novedosa, ya que hasta el momento los trabajos en el tema se han tratado de manera desligada en cada aspecto de la calidad.

Otro de los aportes del marco conceptual es el establecimiento de relaciones entre los elementos que lo conforman, lo cual permite establecer directrices para soportar cualquier procedimiento de QoS que se quiera implementar en una empresa de telecomunicaciones. De esta manera se aporta un marco de trabajo que se puede aplicar para brindar un efecto global de calidad, que incluye los aspectos técnicos, los relacionados con el negocio de telecomunicaciones y los relacionados con el manejo de los clientes.

En el entorno de este trabajo, se considera necesario relacionar la Visión Multinivel propuesta y una arquitectura de Gestión de Redes de Telecomunicaciones. El siguiente capítulo presentará un análisis sobre la necesidad de vincular estos conceptos, tomando como caso de estudio particular la arquitectura TMN. Se estudiará la existencia de relaciones entre estas entidades y, de ser el caso, se especificarán e integrarán al marco conceptual.

Figura 19. Propuesta final para el marco conceptual.



## **5. TMN Y LA VISIÓN MULTINIVEL DE CALIDAD DE SERVICIO**

### **5.1 INTRODUCCIÓN**

En el capítulo anterior se propuso un marco conceptual que permite establecer directrices para soportar la QoS en varios niveles y que contribuye a la solución de este problema en las redes multiservicio. Sin embargo, cualquier solución que se despliegue introduce inevitablemente la necesidad de un sistema de gestión que permita realizar operaciones de control, configuración, monitoreo, administración y mantenimiento.

La creciente demanda de calidad en la red y los costos operacionales elevados motivaron a los proveedores de telecomunicaciones a aprovechar al máximo la red, por lo que se comenzaron a desarrollar herramientas de gestión. Si estas herramientas son deficientes o no existen, una red no opera de modo confiable, ya que no se pueden identificar posibles errores por métodos simples, no se pueden controlar ni modificar determinados parámetros operacionales de la red, y como consecuencia no habrá satisfacción de los usuarios.

En las condiciones actuales de las redes de paquetes, en las cuales no existe un soporte completo para Calidad de Servicio, los desarrollos en el campo de la gestión se han concentrado en producir dispositivos altamente configurables que se adaptan a las condiciones particulares de cada red. Sin embargo, con el advenimiento de las redes multiservicio y la necesidad de garantizar QoS, se requiere un cambio en el paradigma de gestión con el fin de soportar la utilización de SLAs, procedimientos empresariales más complejos y mecanismos de red, así como la interacción de todos estos factores.

La carencia de un adecuado esquema de gestión ha determinado una velocidad lenta de despliegue de algunos mecanismos de QoS, como es el caso de IntServ y RSVP. Esta arquitectura se ha enfrentado a problemas de gestión de carácter técnico y operativo (además de los problemas de escalabilidad mencionados anteriormente), encontrando barreras como la falta de información de los usuarios, infraestructura inadecuada y la falta de mecanismos apropiados de gestión, tanto a nivel de red como de negocio. Es por esto que la arquitectura IntServ se utiliza para propósitos experimentales y académicos, mas no para proyectos serios a gran escala.

El éxito que tenga la aplicación del marco conceptual propuesto en el capítulo anterior depende del sustento que ofrezca una arquitectura de gestión. Ésta debe ser robusta y debe combinar el soporte para los mecanismos de QoS que implemente la red con los procedimientos de gestión que se requieran a nivel de negocio.

En este sentido, se necesita que todos los esfuerzos de la empresa se orienten a la satisfacción de los clientes, lo cual implica que se haga un énfasis especial en la gestión de los niveles de Cliente / Usuario y Proveedor de Servicio de la Visión Multinivel. De esta

manera se puede garantizar que los servicios y las funciones de red se ajusten al comportamiento y necesidades cambiantes de los clientes.

Sin embargo, en la actualidad se presentan falencias en cuanto a los métodos de control, configuración y monitoreo de la red ya que, desde una perspectiva de negocio, no se puede garantizar que los requerimientos del usuario se traduzcan en la gestión técnica de la red. La identificación de relaciones entre la Visión Multinivel y una arquitectura de gestión brinda una aproximación a este problema ya que ofrece una perspectiva basada en la satisfacción de los clientes.

La Red de Gestión de Telecomunicaciones (TMN, *Telecommunications Management Network*) que define UIT-T, surge por la necesidad de que exista un sistema común de apoyo a la operación de redes de telecomunicaciones. Su estructura permite tomar en cuenta aspectos relacionados con la gestión de negocio así como la de elementos de red, por lo cual es propicia para analizar la existencia de relaciones con la Visión Multinivel de Calidad de Servicio.

Este capítulo presenta un análisis de las recomendaciones que conforman TMN (tanto en lo concerniente a su arquitectura como a sus funciones de gestión), buscando encontrar relaciones funcionales con la Visión propuesta en el capítulo anterior. Si estas relaciones existiesen, se presentará su identificación e integración con el marco conceptual, lo cual conformará el resultado final de este trabajo.

## **5.2 GENERALIDADES DE TMN Y ANÁLISIS DE SUS POSIBLES RELACIONES CON LA VISIÓN MULTINIVEL DE CALIDAD DE SERVICIO**

TMN es la red que soporta las actividades de gestión asociadas con las redes de telecomunicaciones, permitiendo satisfacer sus requerimientos de planeación, provisión, instalación, mantenimiento, operación y administración.

TMN provee una arquitectura organizada que permite la interconexión necesaria entre varios tipos de sistemas y equipos de telecomunicaciones. Además, cuenta con la flexibilidad necesaria para soportar diversas condiciones topológicas de las redes de telecomunicaciones y la organización de su administración.

La recomendación UIT-T M.3010 [32] (referente principal de este trabajo) define las tres arquitecturas básicas que se deben considerar para TMN: la arquitectura funcional, la arquitectura de información y la arquitectura física. Adicionalmente, se presenta un modelo de referencia llamado Arquitectura Lógica por Capas (LLA, *Logical Layered Architecture*) que pertenece a la arquitectura funcional y que tiene como objetivo dividir las diferentes funcionalidades de gestión.

La gestión de una red de telecomunicaciones implica realizar funciones de adquisición y recolección de datos en los elementos de red, procesamiento y evaluación de la

información recogida, control de la red como resultado de la evaluación, registro de los contratos, gestión de servicios del cliente y planeación de los procesos técnicos y financieros. Estas funciones de gestión se han estandarizado para TMN, y se especifican en la recomendación UIT-T M.3400 [33], agrupándose en los conjuntos llamados Áreas Funcionales de Gestión que se muestran a continuación:

- Gestión de averías (o mantenimiento).
- Gestión de la configuración.
- Gestión de la contabilidad.
- Gestión de la calidad de funcionamiento (o desempeño de red).
- Gestión de la seguridad.

Estas funciones son comúnmente llamadas FCAPS (*Failure, Configuration, Accounting, Performance, Security*) y ofrecen una perspectiva de la gestión desde la parte de negocio hasta la parte técnica y operativa.

De acuerdo a lo anterior, se han identificado cuatro elementos constituyentes de TMN que son un referente obligado para analizar la posible existencia de relaciones con la Visión Multinivel de Calidad de Servicio:

- La arquitectura funcional (que incluye la arquitectura lógica por capas).
- Las FCAPS.
- La arquitectura de información.
- La arquitectura física.

A continuación se presenta una breve descripción y un análisis de cada uno de estos elementos.

### **5.2.1 Arquitectura funcional de TMN**

Es un marco genérico para la distribución de las funcionalidades de gestión. Está conformada por los siguientes elementos fundamentales: Bloques de Función, Funciones de Gestión de TMN y Puntos de Referencia. Cualquier funcionalidad de gestión se puede describir en términos de estos elementos, por lo cual cualquier relación funcional con la Visión Multinivel de Calidad de Servicio se puede identificar en esta arquitectura.

Existen cuatro bloques de función definidos para TMN: *Funciones de Sistema de Operaciones* (OSF, *Operations System Functions*), *Funciones de Elemento de Red* (NEF, *Network Element Functions*), *Funciones de Estación de Trabajo* (WSF, *WorkStation Functions*) y *Funciones de Transformación* (TF, *Transformation Functions*).

El *Bloque de Funciones de Sistema de Operaciones* es el encargado de procesar información relacionada con la gestión con el fin de supervisar, coordinar y/o controlar las funciones de la red de telecomunicaciones. El sistema de operaciones es el corazón de TMN, donde se ejecuta el control de las funciones de gestión.

La entidad que ejecute las *Funciones de Estación de Trabajo* provee la interfaz entre el sistema de operaciones y los usuarios, mientras que las *Funciones de Elemento de Red* proporcionan la capacidad de controlar y/o supervisar los elementos de la red gestionada. Las *Funciones de Transformación* permiten la comunicación entre entidades funcionales de TMN que sean incompatibles. Los Puntos de Referencia definen la frontera entre bloques de funciones.

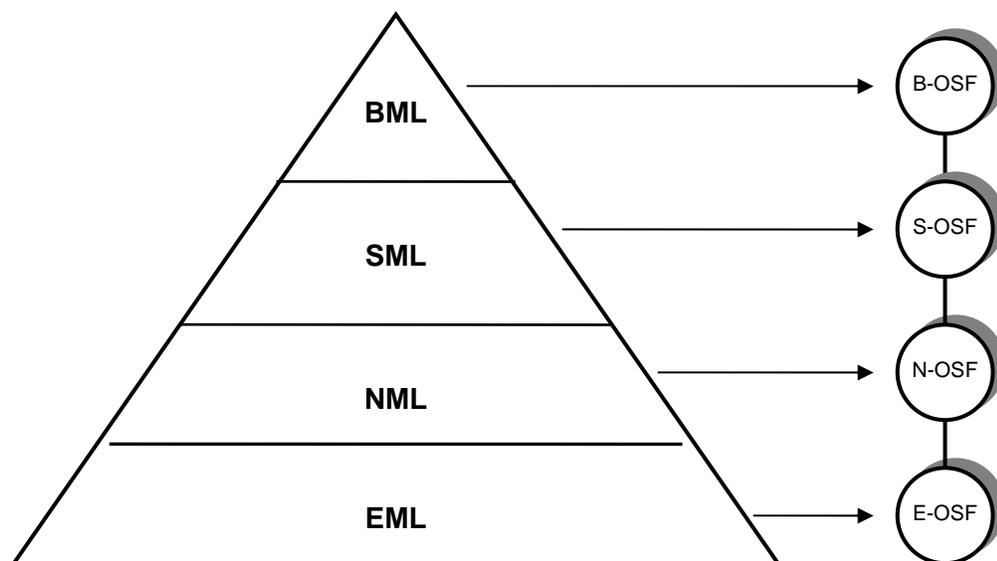
La definición de los bloques de función no proporciona elementos suficientes para afirmar o negar la existencia de relaciones con la Visión Multinivel de Calidad de Servicio. La definición de la Arquitectura Lógica por Capas, la cual separa las OSF de acuerdo a las diferentes áreas de gestión en que se apliquen, ofrece un punto de vista más claro desde el cual se puede enfocar el análisis.

La LLA constituye una parte de la Arquitectura Funcional TMN que divide en capas lógicas las funciones de gestión. Una capa lógica contiene aspectos específicos e implica el agrupamiento de la información de gestión relativa a ellos. De esta manera, se ofrece una estructura lógica que permite la especialización de las OSF que operan en cada capa.

Las capas definidas para la LLA son:

- Capa de Gestión Empresarial (BML, *Business Management Layer*).
- Capa de Gestión de Servicios (SML, *Service Management Layer*).
- Capa de Gestión de Red (NML, *Network Management Layer*).
- Capa de Gestión de Elementos de Red (EML, *Element Management Layer*).

**Figura 20.** Arquitectura Lógica por Capas de TMN [32].



Esta arquitectura se representa comúnmente en forma de pirámide, indicando que la mayor parte de la información elemental se encuentra en la capa base, pero el grado de

complejidad aumenta con el ascenso en las capas. Un elemento interesante de esta arquitectura es que las funcionalidades de las capas superiores definen los requerimientos que se tienen de las inferiores. La Figura 20 presenta la LLA y la distribución de las OSF.

En los siguientes párrafos se describirán en términos generales cada una de las capas de la LLA, con el fin de obtener una perspectiva más precisa para identificar posibles relaciones con la Visión Multinivel de Calidad de Servicio.

La Capa de Gestión Empresarial está orientada al manejo administrativo de la empresa de telecomunicaciones, teniendo en cuenta factores como la competencia, el análisis del mercado, la demanda y el posicionamiento. También incluye las funciones de planeación como el establecimiento de metas y presupuestos, además de la coordinación general de las actividades empresariales. Esta capa se incluye para facilitar la especificación de las capacidades que deben proveer las otras capas de gestión.

La Capa de Gestión de Servicios tiene que ver con los factores contractuales de los servicios que se suministran a los clientes, tales como el manejo de las peticiones, la facturación, los objetivos de calidad, las quejas y los reclamos. En otras palabras, hace referencia a todos los procesos y sistemas empleados para prestar servicios a los clientes y para gestionarlos a través del ciclo de vida del servicio. Esto incluye aspectos de negocios, pero también requiere de algunas capacidades de la infraestructura de red.

La Capa de Gestión de Red tiene como responsabilidad las funciones relativas a la gestión de una zona geográficamente amplia de la infraestructura de red, proporcionando las capacidades relacionadas con los aspectos técnicos que necesita la Capa de Gestión de Servicios. Idealmente se le debe suministrar a esta capa la independencia de las tecnologías de red.

La Capa de Gestión de Elementos de Red proporciona las capacidades que se necesitan en cada uno de los elementos para que se gestionen individualmente o en grupo (configuración, monitoreo, etc.). También enmarca las funciones que debe desempeñar cada uno de los elementos con relación a las operaciones de la Capa de Gestión de Red. La visión de esta capa y su funcionalidad son independientes de la tecnología de red y los fabricantes [34].

En términos generales, se observa que la estructura de la LLA es semejante a la de la Visión Multinivel de Calidad de Servicio en aspectos como la separación funcional de los niveles: unos relacionados con la parte administrativa, operativa y de negocio de las telecomunicaciones y otros que tienen que ver con los elementos técnicos y de infraestructura. También se encuentra una similitud en la manera como los criterios de negocio y el manejo empresarial son los que en último término definen los criterios operacionales y técnicos. Sin embargo, el elemento fundamental que se tiene después de analizar las generalidades de las capas de la LLA, es la identificación de temas comunes como la planeación, el servicio al cliente y el manejo de los dispositivos de la red.

La identificación de estas similitudes obliga a realizar un análisis más extenso de todas las capas, ya que en un principio **se puede relacionar la LLA con la Visión Multinivel de Calidad de Servicio.**

#### **5.2.1.1 Capa de Gestión Empresarial**

Para empezar el análisis de esta capa, conviene detallar los objetivos que se han definido para ella [32], con el fin de complementar lo tratado anteriormente:

- 1) Servir de soporte para el proceso de toma de decisiones para la inversión y utilización óptimas de nuevos recursos de telecomunicaciones.
- 2) Servir de soporte para la gestión del presupuesto relativo a operaciones, administración y mantenimiento.
- 3) Servir de soporte para el suministro y demanda de mano de obra relacionada con las operaciones, administración y mantenimiento.
- 4) Mantener los datos agregados sobre la totalidad de la empresa.

A partir de estos objetivos y de la descripción que se presentó anteriormente, se pueden identificar áreas de trabajo sobre las cuales la Capa de Gestión Empresarial se relaciona con la Visión Multinivel de Calidad de Servicio.

En primer lugar, la orientación de esta capa hacia el manejo administrativo de la empresa de telecomunicaciones proporciona el criterio principal para encontrar elementos de la Visión Multinivel que se relacionen: estos se encuentran en los niveles de Proveedor de Servicio y de Cliente/Usuario. Particularmente, el componente de Calidad de Servicio ofrecida está relacionado con los aspectos de planeación, estrategia de la empresa y los estudios de mercado (competencia, posicionamiento, demanda, etc.).

**Así, las funcionalidades de planeación estratégica que se establecieron para la Calidad de Servicio Ofrecida de la Visión Multinivel se pueden soportar en las capacidades de gestión que se definen para la BML de TMN.**

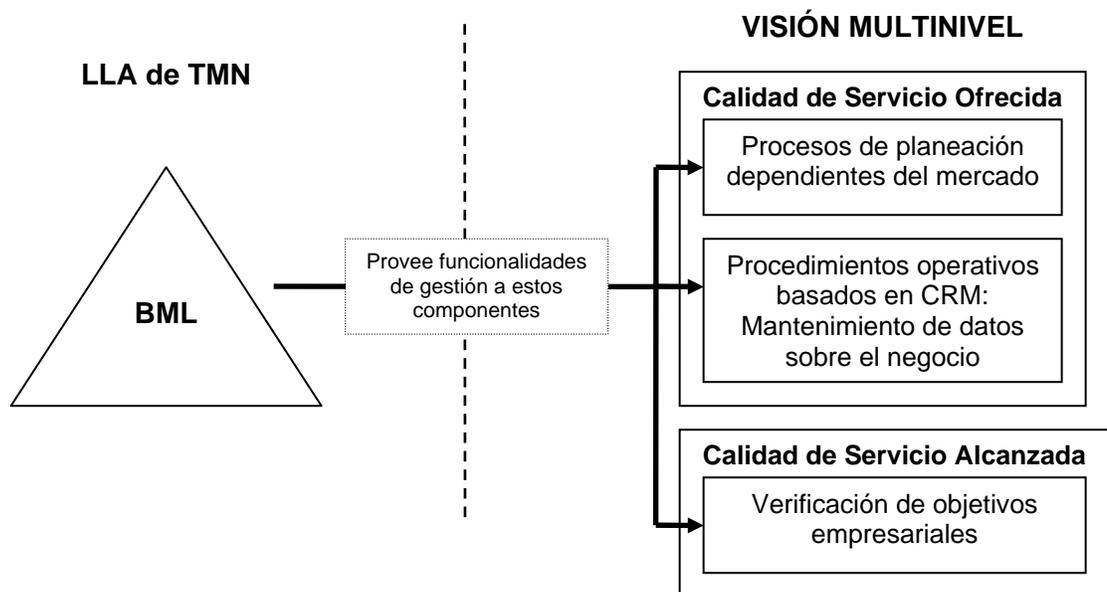
De acuerdo a lo establecido para la Calidad de Servicio Ofrecida, los procedimientos de planeación determinan la oferta de servicios de la empresa, incluyendo características como el precio y los niveles de calidad. La oferta de servicios lleva al establecimiento de los objetivos que el Proveedor de Servicio debe alcanzar, los cuales están sujetos a una verificación que se tiene en cuenta para realizar nuevamente la planeación. **Todos los procedimientos de gestión que sirven de soporte a estas funciones se encuentran dentro de las funcionalidades de la Capa de Gestión Empresarial de TMN.**

De la misma forma, la implementación de procedimientos basados en CRM en el Nivel de Proveedor de Servicios permite mantener datos agregados sobre las actividades de negocio del proveedor de telecomunicaciones, enmarcándose en los objetivos definidos para esta capa de la LLA.

Todos estos elementos para los cuales la Capa de Gestión Empresarial de TMN puede brindar soporte tienen un enfoque global de la empresa que es independiente del servicio. Es decir, las funcionalidades de gestión que esta capa de la LLA provee a la Visión Multinivel de Calidad de Servicio están únicamente relacionadas con los aspectos generales del negocio de las telecomunicaciones y no con aspectos particulares de cada uno de los servicios que se ofrecen.

La Figura 21 ilustra los elementos de la Visión Multinivel de Calidad de Servicio para los cuales la Capa de Gestión Empresarial de TMN brinda soporte.

**Figura 21.** Capa de Gestión Empresarial de TMN y la Visión Multinivel.



De esta manera, se identifica la existencia de relaciones funcionales entre TMN y la Visión Multinivel de Calidad de Servicio. El análisis de las demás capas de la LLA permitirá especificar más relaciones.

La limitación de la BML para proveer funciones de gestión a la visión Multinivel radica en que su perspectiva de negocio no permite abarcar aspectos particulares de cada servicio, sino generalidades de la planeación empresarial.

Otros elementos de los niveles de Cliente/Usuario y Proveedor de Servicio de la Visión Multinivel como la captura de requerimientos, los métodos de evaluación de la Calidad Percibida por el usuario, la metodología de medición de los parámetros de Calidad de Servicio Alcanzada y el establecimiento de SLAs son dependientes del servicio y sus relaciones con TMN se analizarán en la Capa de Gestión de Servicios de la LLA.

### 5.2.1.2 Capa de Gestión de Servicios

La definición general de esta capa establece su área de trabajo en los aspectos contractuales de los servicios de telecomunicaciones. Sin embargo, también se definen cuatro objetivos que comprenden la provisión de soporte de gestión para:

- 1) Manejo de la relación con el cliente.
- 2) Interacción con otras empresas de telecomunicaciones.
- 3) Mantenimiento de datos estadísticos (por ejemplo, Calidad de Servicio).
- 4) Interacción entre servicios.

Como se observa, existen varias áreas de la gestión de servicios que son afines a las actividades que se desarrollan en la capa de gestión empresarial. Sin embargo, se debe tener en cuenta que, aunque un área se trabaje en ambas capas, el enfoque con el que se aborda en cada una es diferente (en la BML se orienta al negocio y en la SML a las particularidades de cada servicio).

En este contexto general de la capa, se identifican dos elementos de la Visión Multinivel de Calidad de Servicio cuyas características se ajustan para que se gestionen mediante la SML de TMN, estos son los procedimientos basados en CRM y el establecimiento de SLAs.

Los procedimientos basados en CRM se pueden gestionar desde TMN, de acuerdo a lo definido en los objetivos de la Capa de Gestión de Servicios. Esta capa permite realizar una evaluación de la eficiencia en la interacción con el cliente, la capacidad de satisfacción de sus expectativas y las técnicas orientadas a la retención y aumento de la base de clientes. Las funciones de gestión que la SML puede ofrecer a la Visión Multinivel (en lo que respecta al manejo de la relación con el cliente) abarcan todos los puntos de contacto básicos y todas las interacciones relativas a los servicios. Esto incluye las peticiones de provisión, suspensión, facturación, información de calidad, mercadeo, y solución de fallas [35].

Además, existe otro componente de la Visión Multinivel relacionado con la atención y satisfacción del cliente que puede utilizar las funcionalidades de gestión de esta capa. Este componente es la metodología de evaluación de la Calidad de Servicio Percibida, la cual puede utilizar las funciones de gestión de TMN con el fin de recoger información útil para la Capa de Gestión Empresarial, evaluar el cumplimiento de los objetivos en la prestación del servicio y refinar los procedimientos de la empresa.

En cuanto al soporte de las operaciones contractuales que maneja el Proveedor de Servicios, se identifica el establecimiento de SLAs como el componente de la Visión Multinivel relacionado con la Capa de Gestión de Servicios de TMN. Ésta ofrece funcionalidades que permiten organizar y agilizar las actividades y facilitar el manejo de la información para que esté disponible en todo momento y sea actualizada, completa y oportuna.

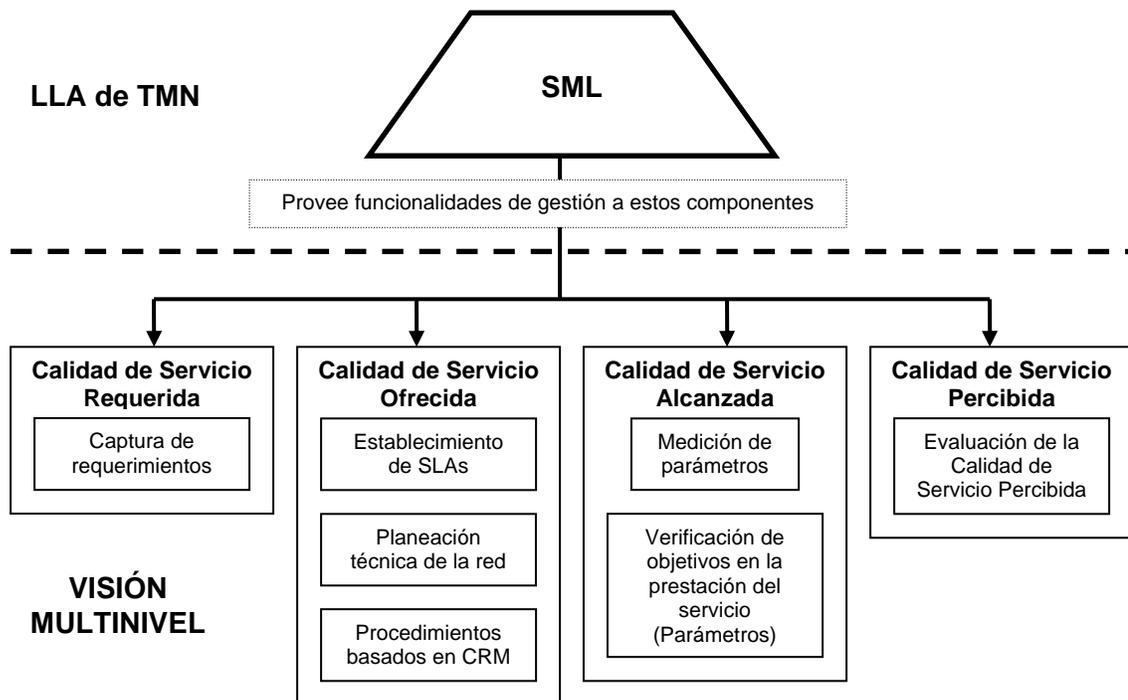
Pero el componente de SLAs no es el único de la Visión Multinivel que tiene que ver con los aspectos contractuales del servicio. También las funciones de captura de requerimientos, planeación técnica de la red, medición de parámetros y verificación de objetivos se pueden gestionar desde la SML.

La captura de requerimientos constituye el fundamento para establecer SLAs con los clientes y se basa en interacciones apoyadas por los sistemas CRM, de manera que se puede soportar por las funciones de gestión de la SML. De la misma forma, la planeación técnica de la red se deriva de los SLAs y se puede gestionar desde esta capa, ya que es aquí donde se puede establecer un vínculo entre el Desempeño de la Red y los Niveles de Servicio ofrecidos en los contratos.

La medición de parámetros proporciona elementos de juicio para comprobar el cumplimiento de los aspectos contractuales, al igual que la verificación de objetivos en la prestación del servicio (tanto técnicos como operativos). Estos componentes también se pueden relacionar con las capacidades de gestión de la SML, las cuales permiten identificar con rapidez los problemas en el desarrollo del servicio, evaluar los niveles de calidad y realizar comparaciones con otros operadores para determinar la posición del servicio en el mercado.

Los componentes de la Visión Multinivel de Calidad de Servicio que pueden utilizar las funcionalidades de la Capa de Gestión de Servicios de TMN se presentan en la Figura 22.

**Figura 22.** Capa de Gestión de Servicios de TMN y la Visión Multinivel.



El soporte de gestión de la SML también puede apoyar la coordinación de los procedimientos al interior de la Visión Multinivel, soportando el flujo de actividades de tipo operacional que intervienen en la prestación de un servicio.

### **5.2.1.3 Capa de Gestión de Red**

El área de trabajo de esta capa es la gestión de la infraestructura de red, abarcando aspectos de diseño, capacidad, funciones de contingencia y dimensionamiento de la red. Los objetivos que se definen para la NML son los siguientes:

- 1) El control y la coordinación de todos los elementos de red dentro de su ámbito ó dominio.
- 2) El suministro, la suspensión o la modificación de las capacidades de red para el soporte de servicios a los clientes.
- 3) El mantenimiento de las capacidades de la red.
- 4) El mantenimiento de datos estadísticos, registro y otros datos acerca de la red y la interacción con la Capa de Gestión de Servicios en lo concerniente al Desempeño de la Red, utilización, disponibilidad, etc.
- 5) Las OSF de red pueden gestionar las relaciones entre NEF (por ejemplo, la conectividad).

De acuerdo a lo descrito anteriormente, esta capa provee funciones de gestión para los aspectos técnicos que abarquen un área geográfica extensa de la infraestructura. La NML provee la coordinación de los elementos de red y utiliza las capacidades de la EML para gestionarlos individualmente. Es por esto que la NML se puede aplicar a la Visión Multinivel con el fin de coordinar las acciones que soportan la Calidad de Servicio en el Nivel de Proveedor de Red, ayudando a que los procesos de planeación técnica realizados en la Capa de Gestión de Servicios se lleven de una forma adecuada a la infraestructura de red.

Teniendo en cuenta que la NML soporta las actividades de diseño y dimensionamiento de la red, se puede aplicar para ofrecer capacidades de gestión a las funciones de prevención de congestión y reestablecimiento de la red, con el fin de mejorar las actividades de diseño, la especificación de planes de contingencia y la respuesta de los elementos de la red. Esto mejora la robustez y la capacidad de adaptación de la red. Igualmente, las funciones de control de trayecto están directamente relacionadas con el dimensionamiento de la red y requieren de las funciones de gestión que permitan realizar la coordinación entre los dispositivos que intervengan en la comunicación extremo a extremo.

Las actividades de provisión, suspensión o modificación del servicio se realizan en el frontera de la red y deben reflejar sin ambigüedades lo establecido en los Acuerdos de Nivel de Servicio y en la planeación técnica de la red. Las funciones del borde de la red requieren soporte de gestión que permita mantener información actualizada y completa de las condiciones contractuales de cada usuario, de manera que el tráfico que genere reciba el tratamiento indicado. Esto debe traducirse en la configuración de los dispositivos que

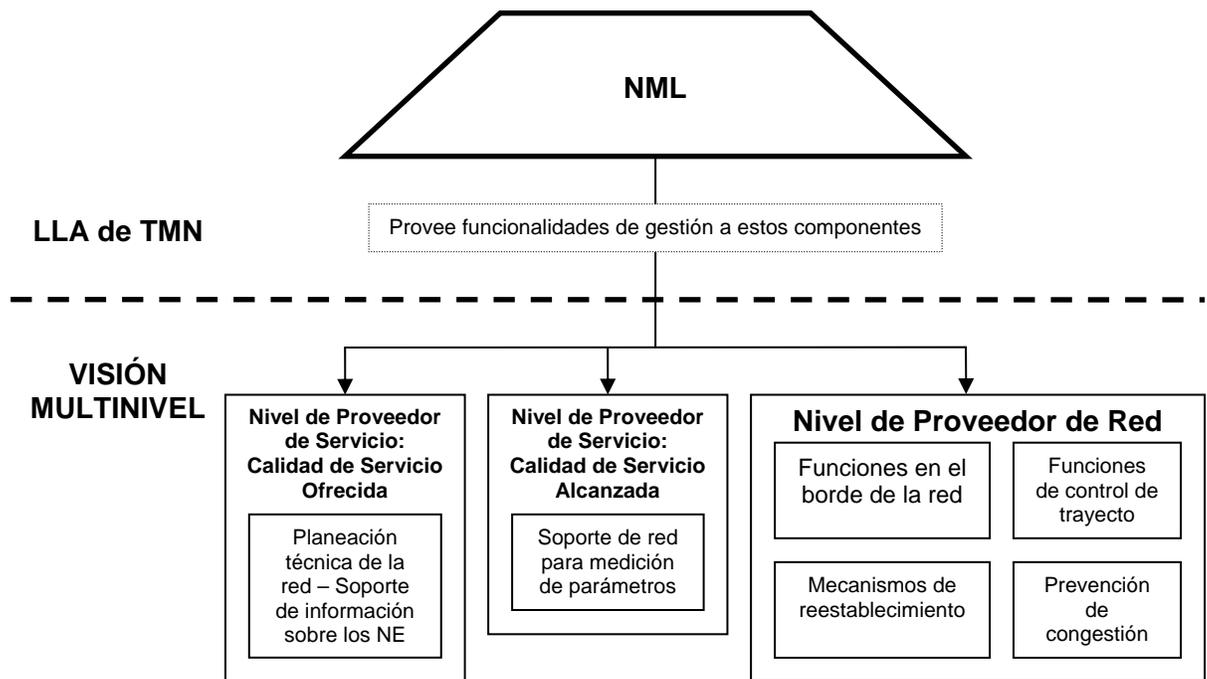
realizan estas funciones y en la especificación de los mecanismos que brindarán el soporte de información. Es por esto que las Funciones de Borde en el Nivel de proveedor de Red necesitan las capacidades de gestión de la Capa de Gestión de Red de TMN.

También se pueden utilizar las funciones de la NML para controlar y configurar las Funciones de Control de Recursos en los dispositivos. Estas tareas se deben implementar obligatoriamente y dependen de la operación colectiva de la red, pero necesitan el apoyo de gestión que brinde cada uno de los elementos de red (implementando las NEF).

La medición de parámetros sobre el Desempeño de la Red es un componente del Nivel de Proveedor de Servicio de la Visión Multinivel. La NML de TMN ofrece soporte de gestión para esta actividad, suministrando capacidades de mantenimiento y registro de información de la red (por ejemplo parámetros de calidad, disponibilidad y utilización de los servicios por parte los usuarios).

Los componentes de la Visión Multinivel de Calidad de Servicio que pueden utilizar las funcionalidades de la Capa de Gestión de Red de TMN se presentan en la Figura 23.

**Figura 23.** Capa de Gestión de Red de TMN y la Visión Multinivel.



Aunque la medición de parámetros se relaciona también con la Capa de Gestión de Servicios, a nivel de red se encuentra el soporte tecnológico para estas funciones. Esto permite obtener medidas de los parámetros relacionados con el transporte de información para su evaluación en la SML, con el fin de verificar los aspectos contractuales. Los procedimientos de mantenimiento de datos estadísticos y otros datos acerca de la red

brindan un soporte adicional a los procedimientos de planeación técnica y constituyen un apoyo fundamental a la hora de encontrar fallas, prevenir congestión y proporcionar mecanismos de contingencia eficaces.

Todas las funciones de coordinación de elementos de red que provee esta capa se deben apoyar en la EML, la cual brinda los mecanismos de interacción con las funciones propias de cada dispositivo (NEF). Estas funciones proporcionan el soporte para la configuración y el manejo de información de gestión en cada dispositivo.

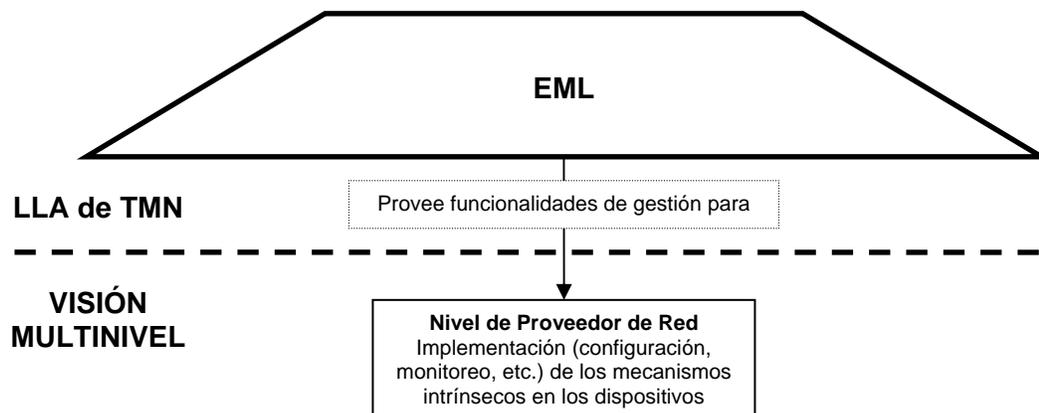
#### 5.2.1.4 Capa de Gestión de Elementos de Red

Esta capa proporciona las funcionalidades necesarias para gestionar cada uno de los elementos de red con base en los procedimientos de la Capa de Gestión de Red. Esto se realiza interactuando con las NEF propias de cada dispositivo. Los objetivos definidos para la EML son los siguientes:

- 1) Control y coordinación de un subconjunto de elementos de red sobre una base de NEF individuales. En este cometido, las OSF de elemento soportan la interacción entre la capa de gestión de red y la capa de elemento de red al procesar la información de gestión intercambiada entre las OSF de red y las NEF individuales. Las OSF de elemento deben proporcionar acceso pleno a la funcionalidad del elemento de red.
- 2) La Capa de Gestión de Elementos puede también controlar y coordinar un subconjunto de elementos de red sobre una base colectiva.
- 3) Mantenimiento de datos estadísticos, registros y otros datos acerca de los elementos dentro de su ámbito de control.

Todas los componentes de la Visión Multinivel de la Calidad de Servicio para los cuales se establecieron relaciones con la NML necesitan las funciones de la EML para que se posibilite su implementación en los dispositivos de red. La Figura 24 muestra las relaciones particulares entre la EML y la Visión Multinivel de Calidad de Servicio.

**Figura 24.** Capa de Gestión de Elementos de Red de TMN y la Visión Multinivel.



De esta manera, la EML proporciona los elementos de gestión necesarios para que en cada elemento se puedan aplicar las decisiones tomadas en la NML a partir de la planeación técnica y las características particulares de cada servicio. Es importante resaltar que esta capa proporciona el soporte para todas las funciones que brinda la NML.

Como conclusión del análisis realizado a la Arquitectura Lógica por Capas de TMN, se observa que **es posible aplicar sus funcionalidades de gestión a la Visión Multinivel de Calidad de Servicio**. Se identificaron relaciones funcionales en todas las capas de la LLA y se especificó la manera como se pueden aplicar a los componentes de la Visión.

### 5.2.2 FCAPS

Las funciones de gestión que se definen en la Recomendación UIT-T M.3400 [33] proporcionan pautas que abarcan todas las actividades de gestión de telecomunicaciones que debe implementar una organización. La naturaleza de estas funciones es abstracta y evita la asociación con tecnologías específicas. Este modelo forma parte de la Arquitectura Funcional de TMN, pero no se encuentra ligado a la LLA, es decir, cada una de las Áreas Funcionales de Gestión se puede aplicar a varios niveles, dependiendo de las necesidades y las características de cada implementación.

El análisis de las FCAPS se realiza con el fin de complementar los aspectos generales que se identificaron para la LLA, brindando un enfoque más concreto sobre las funciones de gestión que soportan la Calidad de Servicio en una red. Desde el punto de vista de la Visión Multinivel, y teniendo en cuenta las relaciones que se identificaron desde la LLA, se plantea que **el modelo FCAPS se puede aplicar para garantizar la Calidad de Servicio**. A continuación se describe el aporte que cada una de las Áreas Funcionales de Gestión está en capacidad de realizar a la Visión Multinivel.

- **Fallas.** Como se detalló en los capítulos anteriores, la disponibilidad del servicio es uno de los principales parámetros que el cliente tiene en cuenta para evaluar la calidad que recibe. Además, cualquier incumplimiento de los niveles establecidos en los SLAs puede significar una sanción económica para el proveedor, por lo cual se requiere una red robusta que tenga la capacidad de realizar un manejo eficaz de las fallas. En este contexto, se puede utilizar el Área Funcional de Gestión de Fallas para monitorear la red con el fin de realizar una detección temprana de cualquier tipo de avería (hardware, software o errores operativos) que pueda causar una disminución de la calidad entregada al usuario. Estas funciones también permiten facilitar la localización de las fallas, disminuir los tiempos de reparación y garantizar la disponibilidad del servicio (con algunas restricciones) cuando ocurran desperfectos. Todo este soporte se puede brindar a los procedimientos operativos y de planeación técnica en el Nivel de Proveedor de Servicio y a los mecanismos de reestablecimiento del Nivel de Proveedor de Red de la Visión Multinivel.
- **Configuración.** Toda la planeación técnica que se realiza en el Nivel de Proveedor de Servicio se debe llevar a la configuración de la infraestructura que aplicará los

mecanismos intrínsecos de QoS. El Área Funcional de Gestión de la Configuración ofrece soporte para esta labor, la cual es complicada debido a que se debe solucionar el problema de cómo se utiliza la información de la planeación técnica para configurar dispositivos. La mayor parte de estos datos provienen directamente de los SLAs, lo cual puede conducir a problemas de escalabilidad en el manejo de la información si el número de usuarios es muy grande. Además, se debe tratar el inconveniente que representa la continua actualización de la información, lo cual puede provocar ambigüedades en la configuración de los elementos de red. Esta área de gestión permite solucionar estos problemas, proporcionando funciones que organizan y facilitan la configuración de los dispositivos y se relaciona directamente con el Nivel de Proveedor de Red de la Visión Multinivel, en el cual se enmarcan los mecanismos intrínsecos que requieren estas funciones de gestión para una operación fiable.

- **Contabilidad.** Uno de los aportes más importantes que puede brindar una arquitectura de gestión a la Visión Multinivel, es la provisión de funciones que permitan manejar el cobro que se realiza a los clientes por el servicio y la calidad que reciben. Esto se logra mediante la asociación de cada cliente con el costo de los recursos que utiliza, con base en lo establecido en el SLA. El Área Funcional de Gestión de la Contabilidad proporciona funciones que permiten establecer un sistema de facturación que recoja toda la información necesaria y la procese de acuerdo a los criterios especificados por el proveedor. Sin embargo, estas funciones no se limitan a los aspectos relacionados con el cobro a los usuarios, sino que también se pueden utilizar para ejercer control sobre la empresa, sus finanzas y sus procedimientos de planeación.
- **Desempeño.** Este conjunto de funciones están destinadas a evaluar el comportamiento de los elementos de red con el fin de analizar los datos para corregir su comportamiento y facilitar la planificación, la provisión, el mantenimiento y la medición de la calidad. Es por esto que estas funciones proporcionan soporte a los procedimientos de medición de parámetros, verificación de objetivos y planeación técnica de la red en el Nivel de Proveedor de Servicio de la Visión Multinivel, acumulando todos los datos pertinentes y realizando un análisis metódico sobre ellos. Estas actividades contribuyen a que el proveedor ofrezca un servicio eficiente y de calidad, asegurando la satisfacción del usuario.
- **Seguridad.** Este grupo de funciones comprende la prevención, detección, contingencia y recuperación ante cualquier evento que comprometa la seguridad de la red. En cuanto su relación con la Visión Multinivel, estas funciones se pueden utilizar para prevenir la modificación, corrupción ó utilización malintencionada de los datos de configuración (órdenes, notificaciones, alarmas, etc.), lo cual es particularmente útil para contrarrestar cualquier intento de fraude por parte de los usuarios. Esto permite establecer directivas de seguridad para la empresa de telecomunicaciones, las cuales se pueden aplicar tanto a nivel de negocio como de red. Es decir, esta Área Funcional puede brindar soporte para los niveles de Proveedor de Servicio y Proveedor de Red de la Visión Multinivel.

Con lo descrito anteriormente, se consiguió una mejor descripción funciones de gestión que permitirían soportar la Calidad de Servicio en una red de telecomunicaciones. **Se pudo establecer que las Áreas Funcionales de Gestión (FCAPS) pueden brindar soporte a elementos específicos de la Visión Multinivel**, lo cual complementa las relaciones establecidas con la LLA.

### 5.2.3 Arquitectura de Información de TMN

Las funciones de gestión son básicamente aplicaciones del procesamiento de información de la red. Para que se puedan realizar, debe existir una arquitectura estandarizada que permita el intercambio de información entre sistemas, por lo cual se especifica la Arquitectura de Información de TMN.

Esta arquitectura se basa en paradigmas comunes que facilitan el tratamiento de la información y la interoperabilidad, y está especialmente enfocada en las técnicas orientadas a objetos. Sus componentes principales son:

- El modelo de interacción entre entidades que intercambian información.
- El modelo de información de gestión, que determina el alcance de la información que se puede exponer e intercambiar de una manera normalizada.
- Elementos de información, los cuales ofrecen criterios para el modelado de la información y constituyen una abstracción de los recursos gestionados.
- Puntos de referencia, que especifican la información que debe fluir entre los elementos de la Arquitectura Funcional.

Como se observa, la Arquitectura de Información de TMN especifica la forma en que se deben realizar los intercambios de información de gestión, definiendo procedimientos y formatos. **No se pueden distinguir relaciones particulares con la Calidad de Servicio desde esta arquitectura.** La información sobre gestión de QoS en diferentes niveles se debe manejar de una forma idéntica a la de cualquier otra información de gestión.

### 5.2.4 Arquitectura Física de TMN

Esta arquitectura define la manera como se deben implementar los bloques que se especifican en la Arquitectura Funcional, así como las interfaces ubicadas en diferentes puntos de referencia. A partir de esto, se definen cuatro bloques físicos: el sistema de operaciones, los dispositivos de transformación, los elementos de red y las estaciones de trabajo.

De acuerdo a lo descrito para la LLA, pueden existir OSF en diferentes capas y, por lo tanto, varios Sistemas de Operaciones en una TMN. Cada uno de ellos es el responsable de controlar, supervisar y coordinar las funciones de gestión de cada capa, por lo cual es posible establecer una relación entre la Arquitectura Física y la Visión Multinivel de Calidad de Servicio, ya que cada Sistema de Operaciones ofrece funcionalidades de gestión particulares. Por ejemplo, un Sistema de Operaciones en la Capa de Red se podría implementar en forma de un servidor que gestione el funcionamiento de los

elementos de red y los mecanismos intrínsecos necesarios para el soporte de QoS (un ejemplo se presenta en el Capítulo 6). La Estación de Trabajo puede ser un terminal de usuario que permita el acceso y la configuración del Sistema de Operaciones. De la misma forma, en el entorno de la Visión Multinivel, los Elementos de Red son los dispositivos que se deben gestionar para ofrecer Calidad de Servicio (por ejemplo, enrutadores, switches, puntos de acceso, etc.)

Como se observa, **los componentes que permiten soportar Calidad de Servicio se pueden enmarcar como Bloques Físicos de TMN**, estableciendo otra relación entre esta arquitectura y la Visión Multinivel.

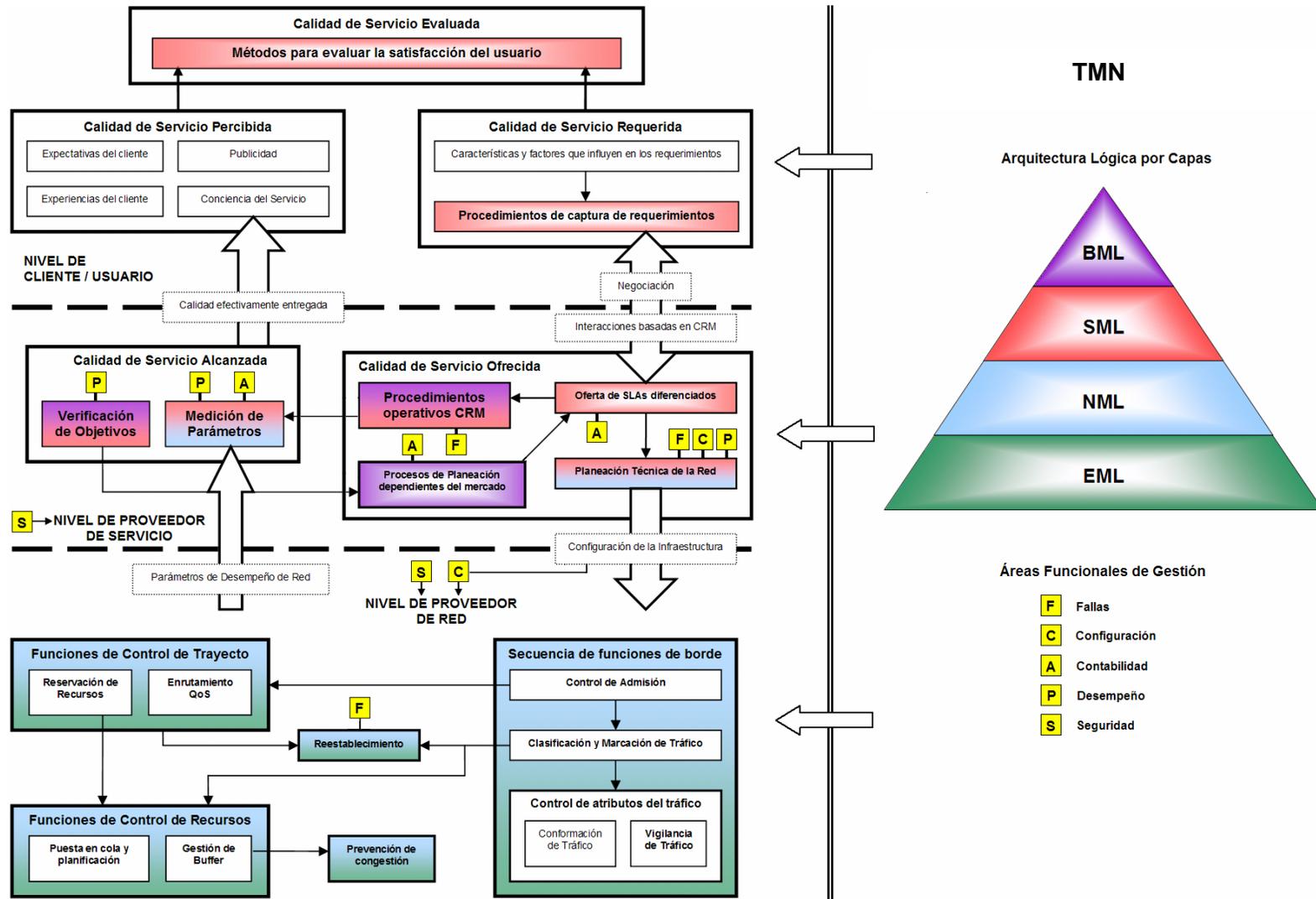
### **5.3 INTEGRACIÓN DE LAS RELACIONES IDENTIFICADAS Y EL MARCO CONCEPTUAL**

Después del Análisis de los elementos más relevantes de TMN, se identificaron relaciones concretas entre la LLA, las FCAPS y la Visión Multinivel de Calidad de Servicio. De esta manera, se estableció que TMN puede brindar soporte a los procedimientos de QoS desde cada uno de los niveles de la LLA y en cada Área Funcional de Gestión.

La Figura 25 muestra la integración de las relaciones identificadas y el marco conceptual que se propone en el Capítulo 4; los componentes presentan diferentes colores de acuerdo a la capa de TMN que les puede ofrecer soporte, y se presenta un vínculo con el Área Funcional de Gestión que esté relacionada (mediante las convenciones con fondo amarillo). Esto brinda una perspectiva sobre los elementos de TMN que brindan apoyo de gestión para la Calidad de Servicio y en qué áreas de la Visión Multinivel se pueden enmarcar.

Con respecto a esta figura, se observa que la mayoría de los componentes pueden utilizar aspectos de gestión que se ubican en diferentes niveles de la LLA. Además, las FCAPS ofrecen una perspectiva más concreta sobre las funciones de gestión que pueden soportar la Calidad de Servicio y en qué elementos se pueden aplicar. Es importante resaltar que la mayoría del soporte de gestión que requiere el Nivel de Proveedor de Red lo puede ofrecer el Área Funcional de Configuración.

Figura 25. Marco conceptual. Integración de la Visión Multinivel y sus relaciones con TMN.



Este capítulo presentó la identificación de relaciones funcionales entre los diversos elementos de TMN y la Visión Multinivel de Calidad de Servicio. Se analizaron las arquitecturas definidas para TMN y cada uno de los aspectos que pudiesen tener relación con la QoS, obteniendo relaciones en las arquitecturas funcional (incluyendo la LLA y las FCAPS) y física. También se describieron los aportes de las funciones de gestión de TMN para el soporte de Calidad de Servicio y las relaciones entre las capas lógicas de TMN y los diferentes niveles de la Visión.

Lo anterior permitió verificar que es posible aplicar la arquitectura TMN para brindar soporte a los procedimientos y mecanismos relacionados con la provisión de Calidad de Servicio.

El siguiente capítulo presenta un escenario de aplicación para la Visión Multinivel y proporciona ejemplos sobre las tecnologías específicas que la soportan. Esto brinda una mejor comprensión de los resultados obtenidos con el desarrollo de este trabajo.

## **6. ESCENARIO DE APLICACIÓN DE LA VISIÓN MULTINIVEL DE CALIDAD DE SERVICIO**

En el Capítulo 4 se describe una Visión Multinivel de la Calidad de Servicio y se propone un marco conceptual basado en ciertos mecanismos y componentes. Ahora se necesita determinar escenarios en los cuales se pueda aplicar este marco, de manera que se logre una mejor comprensión de los resultados obtenidos con el desarrollo de este trabajo.

Este capítulo presenta un escenario que permite brindar ejemplos de la aplicación del marco conceptual en todos sus niveles. La descripción empieza con los procedimientos del Nivel de Cliente / Usuario (captura de requerimientos y evaluación de la calidad percibida), realizando diferenciaciones entre los clientes individuales / residenciales y los corporativos. Posteriormente se describe el Nivel de Proveedor de Servicio, haciendo énfasis en el establecimiento de SLAs y en la planeación técnica del soporte para QoS. En el Nivel de Proveedor de Red se describe un modelo de red de referencia y se proponen ejemplos de implementación de los mecanismos intrínsecos que se presentan en el marco conceptual; actualmente se encuentran disponibles todas las tecnologías y sistemas de soporte necesarios para esta aplicación.

### **6.1 NIVEL DE CLIENTE / USUARIO**

#### **6.1.1 Captura de Requerimientos**

Las funciones de captura de requerimientos se deben adaptar a las características de los clientes. Para los usuarios individuales / residenciales que contratan el servicio directamente, se necesita obtener información sobre los costos máximos que pueden asumir y sobre las características esenciales de calidad que necesitan (expresadas en términos subjetivos simples, por ejemplo, calidad aceptable, buena, óptima, etc.). No es relevante aplicar la matriz de Calidad de Servicio (descrita en el Capítulo 4) para este tipo de usuarios ya que generalmente no necesitan una descripción específica en términos de parámetros del servicio que quieren contratar. Al obtener los dos criterios básicos: calidad y precio que desea el cliente, el proveedor está en la capacidad de ofrecer los planes que se ajusten a sus necesidades. Esto se realiza por medio de un conjunto limitado de SLAs (lo cual se describirá con mayor profundidad posteriormente). Es importante señalar que aunque los requerimientos de calidad se capturen de forma simple, deben comprender tanto los aspectos operativos del servicio como los de atención por parte de la empresa de telecomunicaciones.

Para los usuarios corporativos es ineludible la utilización de la matriz, ya que sus necesidades de calidad no siempre son obvias, y se pueden presentar exigencias imprevistas que se deben detectar antes de establecer un SLA. La captura de requerimientos por medio de la matriz asegura que se identifiquen todos los parámetros relevantes para el cliente, permitiendo establecer los niveles aceptables de calidad.

Estos procedimientos previos a la venta y al establecimiento de SLAs, se deben documentar en la plataforma CRM que tenga implementada el proveedor. Esto ayuda a realizar análisis sobre las ventas fallidas y a establecer un seguimiento de los clientes desde el momento en que se realizó el primer contacto con la empresa.

### **6.1.2 Calidad de Servicio Percibida y Evaluada**

Para lograr una realimentación sobre la calidad que el cliente percibe y determinar cómo va a influir en sus decisiones sobre la continuidad del servicio, se necesita aplicar algún mecanismo de medida que establezca de una forma precisa las evaluaciones que el usuario realiza. Un ejemplo de esto es el Modelo SERVQUAL descrito en el Capítulo 4. Al realizar una encuesta de 22 preguntas, el proveedor puede identificar los criterios que el usuario evalúa con el fin de realimentar los datos a las funciones de planeación empresarial. Es muy importante establecer cuidadosamente las características de la encuesta: factores más relevantes para evaluar, tamaño de la muestra y grupos de clientes (por ejemplo, aquellos que hayan experimentado problemas con el servicio).

## **6.2 NIVEL DE PROVEEDOR DE SERVICIO**

### **6.2.1 Calidad de Servicio Ofrecida**

Todos los procedimientos asociados a este componente giran en torno al análisis del mercado que debe realizar el proveedor. Los niveles de calidad y el precio de los servicios que se van a ofrecer se determinan por medio de un estudio que detecte necesidades insatisfechas de los clientes, oportunidades de posicionamiento en un segmento del mercado y la relación costo/calidad que maximice la rentabilidad del proveedor.

Este análisis del mercado tiene como resultado final la definición de la oferta de SLAs, la cual constituye el portafolio de servicios del proveedor. Como se mencionó anteriormente, para los clientes residenciales es práctico ofrecer un conjunto predefinido de SLAs, que permitan ofrecer un número limitado de niveles de calidad que la empresa puede manejar, mientras que para los clientes corporativos los acuerdos tienen un grado de especificación mayor. A continuación se presentan ejemplos sobre algunos elementos básicos que deben contener los SLAs para los servicios de voz, datos y video. De ninguna manera se trata de proponer un modelo para un SLA completo, simplemente se brindan algunos aspectos básicos, con fines ilustrativos. Para fijar los objetivos de los parámetros de transporte, se toma como referencia la Recomendación UIT-T G.1010 [36].

#### **6.2.1.1 SLA para clientes residenciales**

Este tipo de acuerdos se ofrecen a usuarios individuales, familias y empresas pequeñas. Sus objetivos son establecer un servicio con unas características de precio y calidad que permitan un buen posicionamiento de la empresa en este segmento del mercado, además de conseguir la mejor rentabilidad posible. Los servicios más solicitados por este tipo de

usuarios son los de voz y datos, para los cuales se realizarán algunas consideraciones a manera de ejemplo.

## SERVICIO DE VOZ

- **Naturaleza del servicio.** El acuerdo cubre el servicio de Voz sobre IP (VoIP, *Voice over Internet Protocol*).
- **Nivel de Servicio.** El proveedor se compromete a entregar un nivel de servicio bueno, llamado *Voz Básica*, el cual tiene los siguientes parámetros y valores:
  - ✓ Disponibilidad del servicio de 99.99% del tiempo.
  - ✓ Ancho de banda mínimo de 24 Kbps a nivel IP (en un sentido), suficiente para soportar aplicaciones de voz que utilicen el códec G.729. De acuerdo a lo presentado en [37], este códec genera una velocidad de bits de 8 Kbps, para una MOS esperada de 3.92. El ancho de banda mínimo se calcula con base en la velocidad de bits del códec, los encabezados de los niveles superiores y el tamaño de la muestra.
  - ✓ Latencia máxima en un sentido de 150 ms.
  - ✓ Variación de latencia máxima 1 ms.
  - ✓ Tasa de pérdida de paquetes máxima de 3%.
- **Obligaciones adicionales del proveedor**
  - ✓ El operador se compromete a proporcionar una interfaz entre un dispositivo telefónico tradicional y su red de acceso. Esta interfaz implementa el códec de voz G.729.
  - ✓ El servicio tendrá unas características que proporcionarán una facilidad de operación suficiente (en cuanto a esquemas de numeración, manejo de los terminales, etc.).
  - ✓ El operador realizará la instalación y configuración de todos los dispositivos necesarios para la prestación del servicio.
- **Mantenimiento y gestión de fallas.** El proveedor realizará mantenimiento preventivo en la infraestructura del usuario (cableado, terminales, etc.) con una frecuencia semestral sin costos adicionales. La recepción de informes sobre fallas en el servicio se realiza en cualquiera de los centros de atención al cliente en los horarios que se estipulan más adelante. La empresa se compromete a solucionar el 95% de las fallas en un periodo inferior a 24 horas después de la notificación.
- **Atención al cliente.** La disponibilidad de los centros de contacto con el cliente es de lunes a domingo de 8 a.m. a 12 m y de 2 p.m. a 6 p.m. El cliente elige el método que prefiera para que la empresa lo contacte (vía telefónica, por escrito, etc.).

- **Facturación.** El cobro por la prestación del servicio se realiza mensualmente por medio de una cuenta enviada al domicilio del cliente.
- **Costos.** Especificación detallada de los costos del servicio. Para el proveedor es beneficioso especificar tarifas reducidas para los horarios nocturnos y fines de semana, con el fin de desalentar las conexiones en horarios de oficina (cuando se presenta la mayor congestión en la red) y aprovechar los momentos de menor carga.

## SERVICIO DE DATOS

El servicio de datos se refiere a la provisión de acceso a Internet y en general, a las capacidades de transporte IP del proveedor. Aunque no se puede garantizar Calidad de Servicio extremo a extremo en Internet (debido a que la información atraviesa diversos dominios administrativos y no todos ellos soportan QoS), el proveedor debe garantizar parámetros de acceso. Algunos aspectos básicos de un SLA de estas características son:

- **Naturaleza del servicio.** El acuerdo cubre el servicio de provisión de acceso a Internet.
- **Nivel de Servicio.** El proveedor se compromete a entregar un nivel de servicio *Oro*, *Plata* ó *Bronce*, de acuerdo a la elección del usuario, los cuales tienen los siguientes parámetros y valores:
  - ✓ Disponibilidad del servicio de 99.9% del tiempo.
  - ✓ Velocidad mínima de acceso a nivel IP: 512 Kbps para el nivel *Oro*, 256 Kbps para el *Plata* y 128 Kbps para el *Bronce*.
  - ✓ Tasa de pérdida de paquetes máxima de 5%.
- **Obligaciones adicionales del proveedor**
  - ✓ El operador se compromete a proporcionar una interfaz entre el terminal del usuario y su red de acceso (por ejemplo, cable o DSL).
  - ✓ El operador realizará la instalación y configuración de todos los dispositivos necesarios para la prestación del servicio.
- **Mantenimiento y gestión de fallas.** Igual que lo estipulado para el servicio de voz.
- **Atención al cliente.** Igual que lo estipulado para el servicio de voz.
- **Facturación.** Igual que lo estipulado para el servicio de voz.
- **Costos.** Especificación detallada de los costos. Para este servicio se deben incluir cláusulas que especifiquen los sobrecostos si el cliente desea aumentar su velocidad de acceso por un periodo determinado de tiempo, al igual que los procedimientos para que esto se realice.

### 6.2.1.2 SLAs para clientes corporativos

Estos acuerdos deben reflejar los procedimientos de captura de requerimientos, de manera que todos los parámetros que son importantes para el cliente se tengan en cuenta en este documento. Usualmente las necesidades de calidad de estos usuarios son altas, por lo cual el proveedor debe disponer de un paquete de servicios empresariales con niveles mayores a los que se ofrecen a los clientes residenciales.

Las empresas suelen utilizar la red del proveedor para interconectar sedes remotas, de manera que la responsabilidad por la Calidad de Servicio extremo a extremo (para la mayor parte del tráfico) es del proveedor, excepto para el caso de Internet (por las razones presentadas anteriormente). A continuación se presentan unos ejemplos básicos sobre las características de un SLA para clientes empresariales y los servicios de voz, datos y video.

#### SERVICIO DE VOZ

- **Naturaleza del servicio.** El acuerdo cubre el servicio de Voz sobre IP (VoIP, *Voice over Internet Protocol*).
- **Nivel de Servicio.** El proveedor se compromete a entregar un nivel de servicio excelente, llamado *Voz de Alta Calidad* para cada línea que desee contratar el cliente. Este nivel tiene los siguientes parámetros y valores:
  - ✓ Disponibilidad del servicio de 99.9999% del tiempo.
  - ✓ Ancho de banda mínimo de 80 Kbps a nivel IP (en un sentido), suficiente para soportar aplicaciones de voz que utilicen el códec G.711. De acuerdo a lo presentado en [37], este códec genera una velocidad de bits de 64 Kbps, para una MOS esperada de 4.1. El ancho de banda mínimo se calcula con base en la velocidad de bits del códec, los encabezados de los niveles superiores y el tamaño de la muestra.
  - ✓ Latencia máxima en un sentido de 100 ms.
  - ✓ Variación de latencia máxima de 1 ms.
  - ✓ Tasa de pérdida de paquetes máxima de 3%.
  - ✓ Tasa de intentos de llamada fallidos de 1 en 1000.
- **Obligaciones adicionales del proveedor.** Igual que lo estipulado en el servicio de voz para clientes residenciales.
- **Mantenimiento y gestión de fallas.** El proveedor realizará mantenimiento preventivo en la infraestructura del usuario (cableado, terminales, etc.) con una frecuencia semestral sin costos adicionales. La recepción de informes sobre fallas en el servicio se realiza en cualquiera de los centros de atención al cliente en los horarios que se estipulan más adelante. La empresa se compromete a solucionar el 85% de las fallas

en un periodo inferior a 6 horas después de la notificación y el 95% en un periodo inferior a 12 horas.

- **Atención al cliente.** La disponibilidad de los centros de contacto con el cliente es de 24 horas al día, 7 días a la semana (esencial para empresas como los bancos). Establecimiento de reuniones periódicas para el intercambio de información.
- **Facturación.** Especificación detallada de los mecanismos para realizar el cobro por el servicio.
- **Costos.** Especificación detallada de los costos del servicio. Generalmente las empresas grandes están dispuestas a pagar un costo alto por un servicio de calidad.

## SERVICIO DE DATOS

El servicio de datos se refiere a la provisión de acceso a Internet y en general, a las capacidades de transporte IP del proveedor para la interconexión de sedes remotas. En este último caso sí es posible que el proveedor garantice la Calidad de Servicio extremo a extremo.

- **Naturaleza del servicio.** El acuerdo cubre el servicio de provisión de acceso a Internet y la interconexión de sedes remotas.
- **Nivel de Servicio.** El proveedor se compromete a entregar un nivel de servicio *Premium*, con los parámetros y valores específicos que se detallan a continuación:
  - ✓ Disponibilidad del servicio de 99.9999% del tiempo.
  - ✓ Velocidad mínima de acceso a nivel IP: 2 Mbps para cada sede.
  - ✓ Tasa de pérdida de paquetes máxima de 3%, inclusive durante periodos de congestión.
  - ✓ Latencia máxima de 400 ms.
- **Obligaciones adicionales del proveedor**
  - ✓ El operador se compromete a proporcionar una interfaz entre la Red de Área Local (LAN, *Local Area Network*) del usuario y la red de acceso.
  - ✓ El operador realizará la instalación y configuración de todos los dispositivos necesarios para la prestación del servicio.
- **Mantenimiento y gestión de fallas.** Igual que lo estipulado para el servicio de voz.
- **Atención al cliente.** Igual que lo estipulado para el servicio de voz.
- **Facturación.** Igual que lo estipulado para el servicio de voz.

- **Costos.** Especificación detallada de los costos del servicio. Para este servicio se deben incluir cláusulas que especifiquen los sobrecostos si el cliente desea mejorar cualquiera de los parámetros del servicio por un periodo determinado de tiempo, al igual que los procedimientos para que esto se realice.

## SERVICIO DE TELECONFERENCIA

- **Naturaleza del servicio.** El acuerdo cubre el servicio de Teleconferencia.
- **Nivel de Servicio.** El proveedor se compromete a entregar un nivel de servicio llamado *Video en Tiempo Real*. Este nivel tiene los siguientes parámetros y valores:
  - ✓ Disponibilidad del servicio de 99% del tiempo.
  - ✓ Ancho de banda mínimo de 384 Kbps a nivel IP (en un sentido), suficiente para soportar la mayoría de las aplicaciones y códecs de video.
  - ✓ Latencia máxima en un sentido de 100 ms.
  - ✓ Variación de latencia máxima de 1 ms.
  - ✓ Tasa de pérdida de paquetes máxima de 1%.
  - ✓ Tasa de intentos de conexión fallidos de 1 en 100.
- **Obligaciones adicionales del proveedor.** Igual que lo estipulado para el servicio de voz.
- **Mantenimiento y gestión de fallas.** Igual que lo estipulado para el servicio de voz.
- **Atención al cliente.** Igual que lo estipulado para el servicio de voz.
- **Facturación.** Igual que lo estipulado para el servicio de voz.
- **Costos.** Igual que lo estipulado para el servicio de voz.

### 6.2.1.3 Planeación Técnica de la Red

Una vez establecidos los SLAs, se debe garantizar que la red soporte los niveles de calidad pactados. Para ello se debe especificar la correspondencia entre los Niveles de Servicio ofrecidos y las Clases de Servicio de las tecnologías de red que se utilicen, además de establecer los objetivos de desempeño para los parámetros.

En los capítulos anteriores se describieron las tecnologías IntServ y DiffServ como las principales arquitecturas de Calidad de Servicio que implementan los mecanismos de Reservación de Recursos y Marcación de Tráfico, respectivamente. De acuerdo a esto, se propone un ejemplo en el que se utilizan estas tecnologías conjuntamente en la red, con el fin de brindar Calidad de Servicio extremo a extremo, aprovechando las ventajas de cada una y sus roles complementarios. En el Nivel de Proveedor de Red se describirá de una forma más completa la operación conjunta de estas arquitecturas. A continuación se

presentan las Clases de Servicio adicionales a la *Best Effort* que ofrecen IntServ y DiffServ.

En el caso de DiffServ se tienen dos Comportamientos por Saltos (PHBs, *Per Hop Behaviors*):

- **Reenvío Expedito (EF, *Expedited Forwarding*)**. Este PHB se puede utilizar para construir un servicio de ancho de banda asegurado, baja latencia, bajo jitter y baja pérdida de paquetes a través de dominios DiffServ. Este tendrá la apariencia de una conexión dedicada punto a punto para los extremos [11].
- **Reenvío Asegurado (AF, *Assured Forwarding*)**. Este PHB entrega paquetes IP en cuatro clases de reenvío independientes. Dentro de cada una de ellas, a cada paquete se le pueden asignar tres diferentes probabilidades de descarte (*Drop Precedences*). Este PHB permite ofrecer diferentes niveles de aseguramiento para que los paquetes se reenvíen hasta su destino, lo cual brinda una alta probabilidad de entrega si el tráfico cumple con las características contratadas [38].

Para IntServ se definen dos Clases de Servicio:

- **Servicio Garantizado (GS, *Guaranteed Service*)**. Ofrece las garantías necesarias para soportar servicios que requieran ancho de banda y latencia aseguradas [39].
- **Carga Controlada (CL, *Controlled Load*)**. Proporciona un servicio muy aproximado al que se experimenta cuando no hay carga en un elemento de red (no se atiende más tráfico), aún en periodos de congestión [40].

Adicionalmente, se requieren métodos para asegurar Calidad de Servicio en el Nivel de Enlace. Para ello se ofrecen como ejemplo las tecnologías 802.1p y 802.11e, las cuales proporcionan ocho niveles de prioridad para el tráfico en redes LAN Ethernet y WLAN. Estos niveles de prioridad se marcan en las tramas (nivel 2) y determinan el tratamiento a nivel de encolamiento y planificación en los switches y puntos de acceso inalámbricos. La Tabla 4 muestra la correspondencia entre los tipos de tráfico y los niveles de prioridad de 802.1p / 802.11e.

Para lograr un funcionamiento armónico de estas tecnologías, se necesita establecer de forma clara la correspondencia entre las diferentes CoS que provee cada una de ellas. Esto se realiza con base en lo estipulado en [29] para la operación IntServ / DiffServ y en [30] para IntServ / 802.1p. La planeación técnica se debe llevar a la configuración de dispositivos, lo cual depende de los mecanismos de gestión de red que se implementen y se tratará posteriormente en este capítulo.

La Tabla 5 muestra los niveles de servicio que se establecieron en los ejemplos anteriores y su correspondencia con las CoS de las tecnologías de red que se ofrecen como ejemplo. Se muestran solamente los parámetros técnicos más importantes.

**Tabla 4.** Tipos de tráfico y sus prioridades para 802.1p / 802.11e [41].

Prioridad (Primero la más baja)	Tipo de Tráfico
1	Background (Transferencias de gran volumen que se permiten pero no deben afectar a otros usuarios o aplicaciones)
2	Disponible
0 (Por defecto)	Best Effort
3	Excellent Effort (Servicio Best Effort para los usuarios más importantes)
4	Controlled Load (Aplicaciones importantes con ciertos requerimientos de QoS)
5	Video
6	Voz
7	Tráfico de control de red

**Tabla 5.** Planeación técnica. Niveles, clases de servicio y parámetros asociados.

Nivel de Servicio	Voz Básica	Voz Alta Calidad	Datos Premium	Datos Oro	Datos Plata	Datos Bronce	Video Teleconf.
Ancho de Banda	24 Kbps	80 Kbps	2 Mbps	512 Kbps	256 Kbps	128 Kbps	384 Kbps
Disponibilidad	99.99 %	99.9999 %	99.9999 %	99.9 %	99.9 %	99.9 %	99.9999 %
Latencia máxima	150 ms	100 ms	400 ms	-	-	-	100 ms
Jitter	1 ms	1 ms	-	-	-	-	1 ms
Tasa de pérdida de paquetes	3 %	3 %	3 %	5 %	5 %	5 %	1 %
PHB DiffServ	EF	EF	AF1	AF2	AF3	AF4	EF
CoS IntServ	GS	GS	CL	CL	CL	CL	GS
Prioridad 802.1p	6	6	4	4	3	3	5

#### 6.2.1.4 CRM

La implementación de procedimientos basados en CRM requiere de un sistema de información de apoyo, que permita automatizar las actividades y ofrecer un mejor soporte para el personal de la empresa. Existen varias soluciones de código abierto que ofrecen estas características, entre las cuales se destaca SugarCRM [42]. Esta herramienta proporciona apoyo para las funciones de gestión de ventas, gestión de cuentas, gestión de información publicitaria, apoyo para los puntos de contacto con el cliente, generación de reportes y manejo de funciones administrativas. Además, su naturaleza de código abierto permite que cualquier empresa la adapte para su entorno y necesidades particulares.

En cuanto al manual de procedimientos CRM que se describe en el Capítulo 4, se presentan a manera de ejemplo algunos de los objetivos para los parámetros no relacionados con la red a los que se refiere el manual, con base en los SLAs presentados anteriormente.

- **Tiempo máximo para la provisión del servicio:** 24 horas a partir de la firma del contrato para los clientes residenciales, 72 horas para los clientes corporativos.
- **Número máximo de quejas o reclamos mensuales:** parámetro que depende del número de usuarios y se clasifica de acuerdo a su naturaleza (contabilidad, fallas técnicas, etc.). 1 por cada 100 usuarios.
- **Tiempo medio de solución fallas:** 12 horas.
- **Nota Media de Opinión para los centros de atención al cliente:** 4 puntos.
- **Disponibilidad de los centros de atención al cliente:** 24 horas para los clientes corporativos, 8 horas para los residenciales.

### **6.2.2 Calidad de Servicio Alcanzada**

La medición de los parámetros técnicos de la red es un elemento fácil de implementar, debido a la gran cantidad de fabricantes que ofrecen dispositivos y software para este propósito. Entre las empresas que ofrecen sistemas especializados en medición de parámetros de Calidad de Servicio se encuentran: Micromuse, Visual Networks, Netscout, Infovista, Sitara Networks, Netcom Systems, Lightspeed Systems y CrossKeys Systems [51].

La obtención de criterios no relacionados con la red se puede basar en el Sistema de información CRM, el cual permite realizar todo tipo de reportes sobre las actividades empresariales y los contactos con los usuarios. También es importante realizar un proceso de realimentación basado en los resultados obtenidos para la Calidad de Servicio Percibida y Evaluada.

Las mediciones de los parámetros de calidad están sujetas a los procedimientos de verificación de objetivos, los cuales influenciarán la planeación empresarial y la determinación de cambios en los servicios.

### **6.3 NIVEL DE PROVEEDOR DE RED**

Actualmente existen todas las tecnologías que soportan las funciones propuestas para el Nivel de Proveedor de Red. Al implementarse conjuntamente, se puede garantizar la Calidad de Servicio extremo a extremo. Para realizar la descripción de la implementación de los mecanismos intrínsecos de QoS, se presenta un modelo de red de referencia (Figura 26) que permite establecer ejemplos de la aplicación de este nivel del marco conceptual.

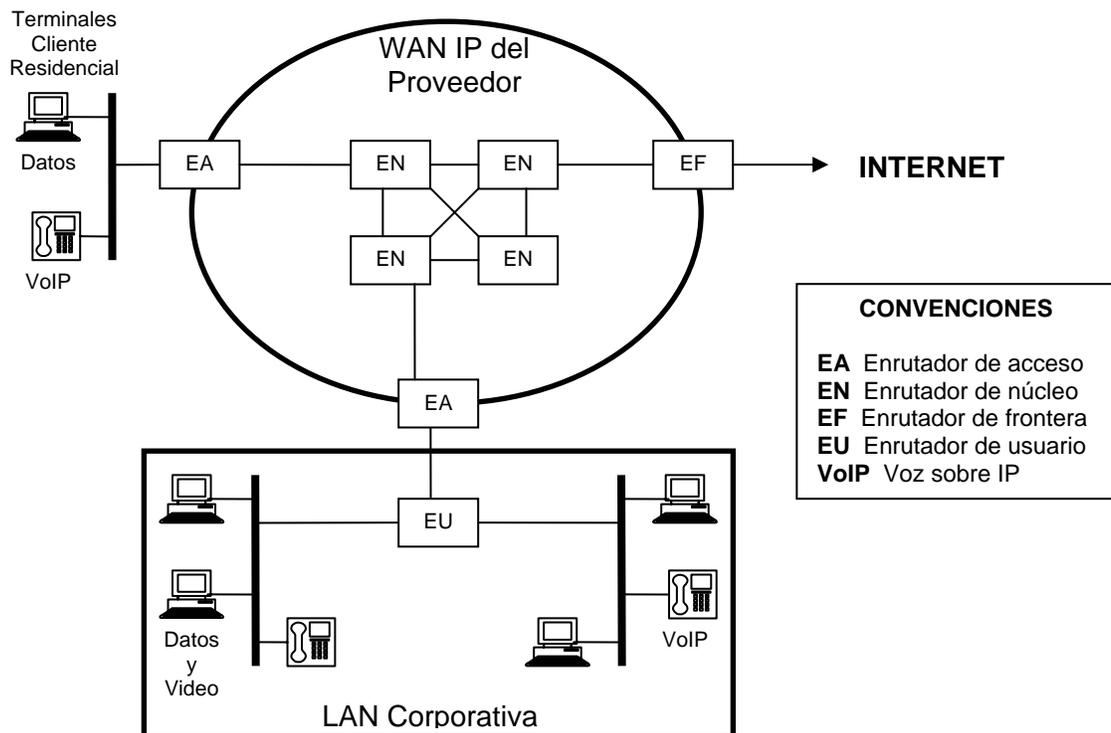
Esta red de referencia cuenta con un núcleo IP, clientes residenciales conectados a través de un enrutador de acceso y clientes corporativos (quienes tienen su propia LAN y

enrutadores). Los servicios básicos que se manejan para esta red son voz, datos (acceso a Internet e interconexión de sedes remotas) y video (teleconferencia).

### 6.3.1 Funciones en el borde de la red

Para empezar, se describirán las funciones asociadas al borde de la red. Éstas se llevan a cabo en el enrutador de acceso (o se pueden trasladar hasta el enrutador del usuario) y comprenden los procedimientos de control de admisión, control de los atributos de tráfico, clasificación y marcación, todos ellos se ejecutan siguiendo la secuencia que se especifica en el Capítulo 4. Para que estas funciones se puedan llevar a cabo, se necesita un mecanismo que permita utilizar la información sobre el SLA de cada cliente para aplicarla en el borde de la red, de manera que esté disponible cada vez que los enrutadores de acceso la necesiten. Esto se puede implementar mediante un servicio de políticas (de acuerdo a lo descrito en el Capítulo 3) que implemente un servidor en el que se almacene toda la información sobre los SLA y la planeación técnica de la red, y una comunicación con los dispositivos en el borde de la red por medio del protocolo COPS [25].

**Figura 26.** Red de referencia para la implementación del marco conceptual.



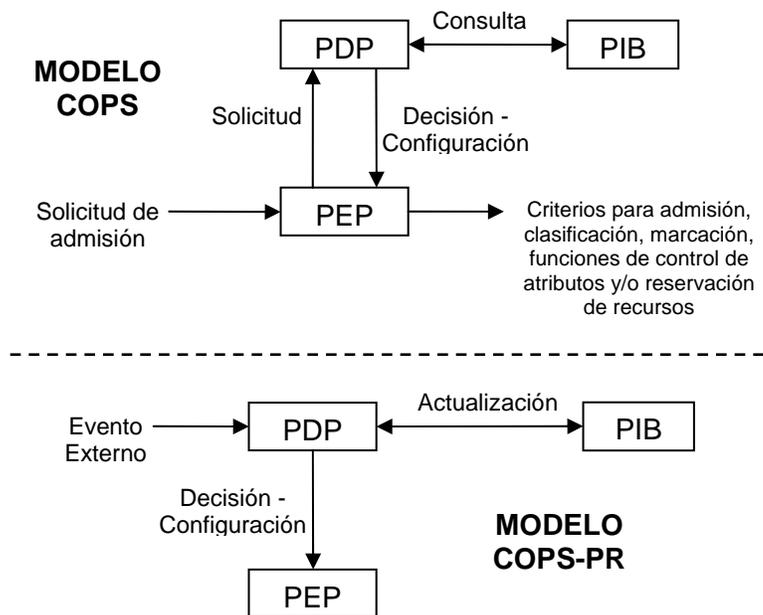
Cuando el tráfico generado por el cliente llega al enrutador de acceso, éste se comunica con el punto de decisión (PDP), el cual consulta su Base de Información de Políticas (PIB, *Policy Information Base*) y proporciona los criterios para la admisión, clasificación,

marcación, control de atributos de tráfico y reservación de recursos, incluso se puede utilizar para manejar información de facturación.

Las funciones del borde de la red controladas por un servicio de políticas permiten simplificar los procedimientos y facilitan la provisión de servicios, ya que las modificaciones a los SLA (o su creación) se llevan rápidamente a la configuración de los dispositivos de la red, simplemente actualizando la información almacenada en el servidor. Este modelo también presenta una extensión llamada Modelo de Provisión (COPS-PR, *COPS Usage for Policy Provisioning*) [43] que permite realizar configuración de dispositivos sin necesidad de que haya una petición de admisión. COPS soporta tecnologías como RSVP [44] y la marcación de tráfico para DiffServ. Además es el mecanismo que se utiliza actualmente en el QBone (un proyecto que busca evaluar y desplegar mecanismos de Calidad de Servicio en el entorno de Internet 2 [45]). La Figura 27 ilustra la operación de este mecanismo.

Una vez definida la provisión de criterios para las funciones que se realizan en el borde de la red, se realizará un análisis sobre la utilización conjunta de los mecanismos de marcación de tráfico y reservación de recursos. Para el núcleo de la red es inevitable la utilización de DiffServ, ya que es la única arquitectura de QoS que ofrece escalabilidad. Sin embargo, para la red de acceso (por ejemplo, una LAN corporativa) se puede utilizar IntServ, ya que los recursos en este segmento no son tan limitados. En este contexto, es posible utilizar las dos arquitecturas conjuntamente, pero surgen algunas dificultades que se deben superar, por ejemplo la necesidad de interacción entre RSVP y la marcación de paquetes, y la correspondencia que debe existir entre las Clases de Servicio que ofrecen las dos tecnologías.

**Figura 27.** Operación de COPS y COPS-PR.



En primer lugar, los criterios para la reservación de recursos y la marcación de paquetes se pueden proveer mediante COPS. Las solicitudes de reservación pasan en forma transparente a través del núcleo DiffServ y se dirigen hacia el otro extremo. Cada solicitud se consulta al PDP con el fin de que proporcione información sobre la reservación y la marcación que se debe aplicar al tráfico. Esta tarea se puede realizar en el enrutador de acceso a la red, pero la información se puede enviar hacia otros dispositivos utilizando RSVP como protocolo de señalización.

La correspondencia entre las Clases de Servicio de IntServ y DiffServ se debe especificar en la planeación técnica de la red y existen varios métodos estandarizados para ello [29]. De la misma manera se definen los métodos de mapeo para la red de acceso (entre IntServ y 802.1p/802.11e), tema ya tratado anteriormente.

La implementación de los mecanismos de control de los atributos de tráfico (conformación y vigilancia) se puede realizar utilizando los algoritmos *leaky bucket* y *token bucket* descritos en el Capítulo 3.

En cuanto al enrutamiento QoS, existen pocas implementaciones y la mayoría se encuentra en etapa experimental. Hasta el momento, las extensiones del protocolo de enrutamiento OSPF para el soporte de Calidad de Servicio (Q-OSPF) definidas en [46], son la implementación más importante debido a la amplia difusión que tiene la versión básica de este protocolo.

### **6.3.2 Funciones de control de recursos**

Los mecanismos de puesta en cola y planificación permiten ejercer control sobre el ancho de banda en cada enlace. En el caso de la red de acceso, la utilización de 802.1p y 802.11e obliga a la implementación de Puesta en cola por Prioridad (PQ) en los switches y puntos de acceso, tecnología que también pueden utilizar los enrutadores de ese dominio, dado que en este segmento se tiene generalmente una buena capacidad.

Para los enrutadores de la WAN del proveedor, se necesitan otras disciplinas de servicio que permitan un óptimo aprovechamiento de recursos y un alto grado de especificación en el tratamiento que debe recibir el tráfico. Esto es especialmente importante en el enrutador de acceso, para el cual se propone utilizar obligatoriamente Puesta en cola Justa Ponderada (WFQ) que ofrece todas las características mencionadas anteriormente. Otra opción similar para los enrutadores de núcleo es *Round Robin* Ponderado (WRR). En [47] se presenta un análisis sobre las disciplinas de servicio que se pueden utilizar.

En cuanto a la gestión de buffer, la tecnología que se impone actualmente es la de WRED, la cual se implementa en la mayoría de enrutadores. También se propone la utilización de la Notificación Explícita de Congestión (ECN) como mecanismo de prevención, lo cual obliga a una modificación en WRED para que no elimine los paquetes cuando se presente congestión sino que los marque (el esquema obliga a una

modificación en los encabezados de IP y TCP) [22]. En la actualidad el esquema ECN se está desplegando con éxito y muchos dispositivos lo soportan.

### **6.3.3 Funciones de reestablecimiento de tráfico**

Para estas funciones se propone la utilización de esquemas basados en Clases de Servicio, tal como el que se presenta en [31], los cuales permiten optimizar la utilización de la capacidad de la red en situaciones de falla, al mismo tiempo que se mantiene la disponibilidad para el tráfico de alta prioridad. Si ocurre una falla en el trayecto ya establecido, este tipo de soluciones permiten encontrar otro que soporte los mismos requerimientos de QoS, dando prioridad al reestablecimiento del tráfico de tiempo real.

### **6.3.4 Conmutación de Etiquetas Multi-Protocolo (MPLS, *MultiProtocol Label Switching*)**

MPLS [48] es una tecnología que permite reducir el tiempo que toma el reenvío de paquetes en los enrutadores IP. Se basa en adicionar una etiqueta de longitud fija a los paquetes, de manera que cada dispositivo la utiliza para buscar en una tabla corta el siguiente salto y la nueva etiqueta con que debe salir. Esto permite disminuir el tiempo de procesamiento requerido para el reenvío.

MPLS en su forma básica es particularmente útil para ingeniería de tráfico, sin embargo puede contribuir a la Calidad de Servicio, especialmente si se tienen en cuenta algunas interacciones desarrolladas con las arquitecturas IntServ y DiffServ.

Para IntServ se ha descrito un método que permite la distribución de etiquetas por medio de RSVP [49], con el fin de contribuir a que cada trayecto (LSP, *Label Switched Path*) garantice los requerimientos de QoS de los flujos. Originalmente esta operación se realiza por medio del Protocolo de Distribución de Etiquetas (LDP, *Label Distribution Protocol*). También se definen métodos para ofrecer los diferentes tratamientos de DiffServ en MPLS [50], utilizando un conjunto de etiquetas predeterminado para cada PHB ó mediante marcación explícita en el campo EXP.

Con estas extensiones, la implementación de MPLS en el núcleo de la red (conjuntamente con DiffServ) proporciona una disminución en el tiempo de tránsito de los paquetes, lo cual contribuye a la provisión de Calidad de Servicio.

El resumen de las tecnologías que implementan los mecanismos del Nivel de Proveedor de Red se presenta en la Tabla 6. Es importante señalar que a nivel de aplicación en los terminales de usuario, se deben implementar las funciones de petición de reservación y mitigación de jitter, las cuales se describen en el Capítulo 3 de este documento.

**Tabla 6.** Resumen de las tecnologías en el Nivel de Proveedor de Red.

Mecanismo	Segmento de la red en el cual se aplica	Tecnología
Control de admisión	Enrutador de acceso ó enrutador de borde del usuario.	Control de admisión basado en políticas, COPS, COPS-PR.
Reservación de recursos	Red de acceso	IntServ, RSVP.
Enrutamiento QoS	Toda la red	Q-OSPF
Marcación de tráfico	WAN del proveedor	DiffServ
Funciones de control de atributos del tráfico	Enrutador de acceso	Algoritmos <i>leaky bucket</i> y <i>token bucket</i> .
Puesta en cola y planificación	Enrutador de acceso	WFQ
	Núcleo de la red	WFQ ó WRR
	Switches y enrutadores de la red de acceso	PQ
Gestión de buffer	Toda la red	WRED con soporte para ECN.
Prevención de congestión	Toda la red	ECN
Reestablecimiento	Toda la red	Esquemas basados en clases de servicio.
Adaptaciones del nivel de aplicación	Terminales	Esquemas de mitigación de jitter y soporte para RSVP.

### 6.3.5 Aplicación de políticas y procesos de mapeo

Esta sección ofrece un ejemplo sobre el proceso que ocurre en la red para la prestación de un servicio. Se tomará como referencia el tráfico simultáneo de VoIP y datos FTP entre dos sedes bancarias, las cuales han establecido SLAs basados en los ejemplos presentados anteriormente.

El primer paso es la definición de políticas, las cuales son un conjunto de reglas especificadas en un lenguaje de alto nivel, que definen el comportamiento que la red debe tener ante el tráfico. En el caso de COPS, estas políticas tienen una sintaxis basada en sentencias 'Si', 'Qué', 'Cuándo' y 'Entonces'. En el escenario planteado, la definición sería la siguiente:

- Si:** El usuario pertenece al dominio del Banco Sede X.  
**Qué:** La aplicación es VoIP.  
**Cuándo:** Cualquier hora del día.  
**Entonces:** El usuario debe recibir un nivel de servicio Voz de Alta Calidad, que brinda una velocidad de 80 Kbps, tasa de pérdida de paquetes inferior a 3%,

latencia máxima de 100 ms y una variación de latencia máxima de 1 ms. Este tráfico debe recibir un tratamiento GS y un PHB EF (DSCP = 101110).

- Si:** El usuario pertenece al dominio del Banco Sede X.  
**Qué:** La aplicación es FTP.  
**Cuándo:** Cualquier hora del día.  
**Entonces:** El usuario debe recibir un nivel de servicio Datos Premium, que brinda una velocidad de 2 Mbps, tasa de pérdida de paquetes inferior a 3%, y una latencia máxima de 400 ms. Este tráfico debe recibir un tratamiento CL y un PHB AF1 con la probabilidad de descarte más baja (es decir, AF11 DSCP = 001010).

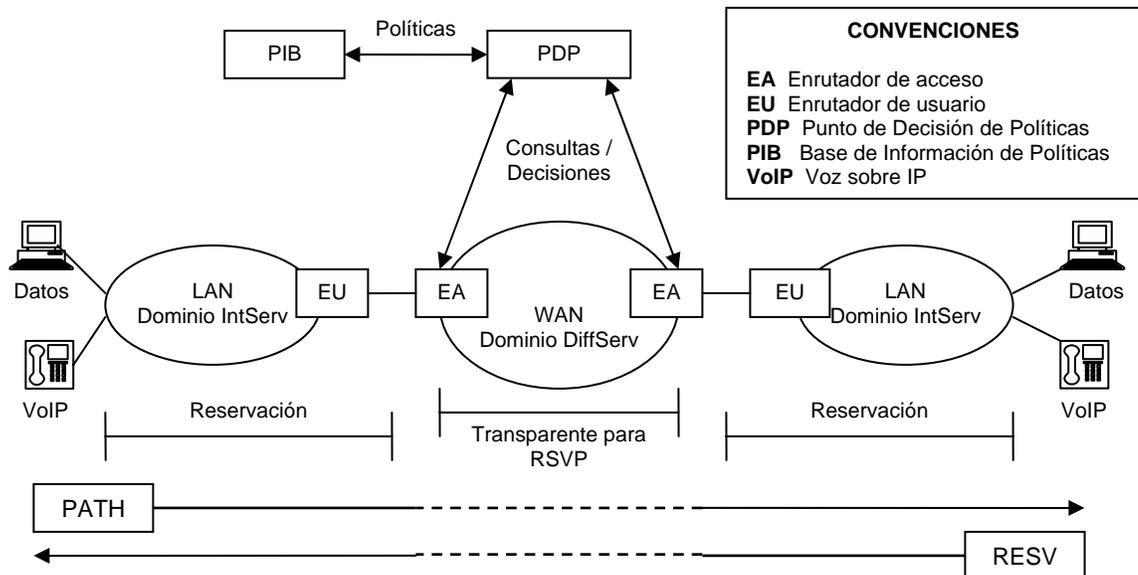
Una vez definidas estas políticas en la PIB, se realiza la modificación en las capacidades de la red para la provisión del servicio. Ahora, suponiendo que se utilizan los servicios de VoIP y FTP, se describirá el proceso que se lleva a cabo en la red para soportar QoS.

En primer lugar, los terminales generan una petición RSVP de reservación de recursos (mensaje PATH) que se dirige hasta el otro extremo de la comunicación. El mensaje pasa por la red local hasta llegar al enrutador acceso de la red WAN del proveedor. En este lugar se lleva a cabo la consulta al PDP, el cual proporciona los criterios para el control de admisión, reservación de recursos, clasificación y marcación de tráfico. Una vez se admita la petición, el mensaje atraviesa el dominio DiffServ de forma transparente, hasta llegar a la red local en la que se encuentre el destino. Entonces, el terminal receptor genera un mensaje RESV que confirma la reservación y viaja en sentido contrario hasta el origen, actuando sobre cada uno de los enrutadores de la red de acceso (también pasa de forma transparente sobre el núcleo DiffServ). En el mensaje que confirma la reservación, también se puede incluir (opcionalmente) información de señalización sobre la marca DSCP que se debe aplicar al tráfico. La Figura 28 muestra este proceso.

En el momento que se inicia la transmisión, se aplica la marca de prioridad a las tramas (de acuerdo a los criterios establecidos para la red local) y, opcionalmente, el DSCP en el paquete IP. De esta manera, las tramas del tráfico de voz se marcan con 6 en el campo *user\_priority*, mientras que las de datos reciben la prioridad 4 (no existe diferencia entre los campos de prioridad de Ethernet y WLAN). El tratamiento que recibe el tráfico en los enrutadores de la red local se basa en la clase GS de IntServ para VoIP y en CL para FTP, de acuerdo a los parámetros especificados en el mensaje PATH.

Al llegar al enrutador de acceso al dominio DiffServ, se aplica la marcación DSCP indicada por el PDP (si el paquete no se marcó en el origen) conforme a las políticas descritas anteriormente. Adicionalmente, si se utiliza MPLS, existen dos métodos para especificar el PHB que se empleará en el LSP. El primer método consiste en la asignación de un conjunto de etiquetas único, que contiene en sí mismo la información del PHB a aplicar. El segundo método es una marca explícita en el campo EXP de la etiqueta MPLS.

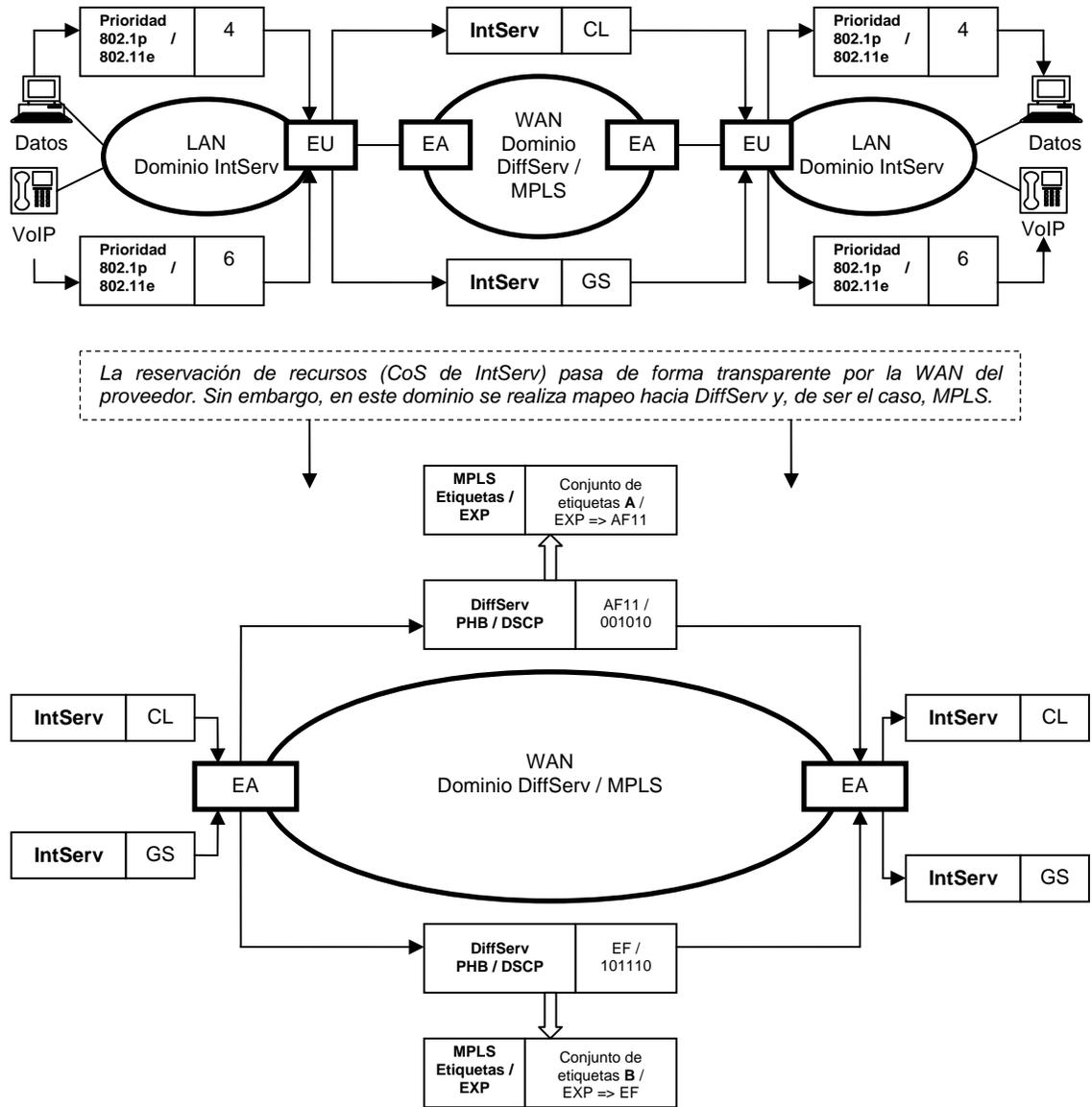
**Figura 28.** Señalización RSVP y su interacción con el dominio DiffServ.



Una vez el tráfico atraviese el dominio DiffServ, retoma nuevamente una red local de destino con los recursos reservados anteriormente. El enrutador de usuario debe realizar nuevamente la marca de prioridad en su interfaz interna Ethernet. La Figura 29 muestra los procesos de mapeo en las diferentes partes de la red.

Este capítulo presentó un panorama tecnológico sobre los mecanismos de Calidad de Servicio incluidos en la Visión Multinivel. Se identificaron las tecnologías que permiten implementar todos los elementos del marco conceptual y se ofrecieron ejemplos que facilitan la comprensión de los resultados obtenidos con la realización de este trabajo.

**Figura 29.** Procedimientos de mapeo en el ejemplo propuesto.



## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El desarrollo de este trabajo permitió conocer los principales aspectos relacionados con la Calidad de Servicio: los conceptos fundamentales, las aproximaciones realizadas por los organismos de estandarización más importantes a nivel mundial, los parámetros y los mecanismos de provisión. Esto ofrece una perspectiva general sobre el concepto de Calidad de Servicio y cómo se trabaja en distintos niveles de una arquitectura de comunicaciones.
- Al considerar las aproximaciones de UIT-T, ETSI e IETF, se realizó un análisis de los elementos que ellas abarcan y se encontraron algunas falencias. Se observa que los diversos trabajos mencionados carecen de una orientación común, es decir, abarcan diversos temas (desde los mecanismos para proveer QoS en redes IP hasta el punto de vista de los usuarios) sin que exista un marco común que relacione los trabajos. Además, las visiones han surgido de manera independiente en cada organización lo cual ha dificultado la estandarización y el surgimiento de un modelo que logre involucrar todos los aspectos relacionados con la Calidad de Servicio.
- Se presentó un estudio de los parámetros y mecanismos de Calidad de Servicio que operan en diferentes niveles, lo cual ofrece una perspectiva de las tecnologías disponibles actualmente. Esto facilitó la clasificación y la definición de relaciones entre estos mecanismos.
- El conocimiento del estado del arte en el tema, determinado con el estudio de los elementos mencionados anteriormente, permitió realizar un acercamiento al problema e identificar la necesidad de establecer una nueva Visión de Calidad de Servicio que brinda una primera aproximación para solucionar las falencias que se encontraron.
- En este contexto, se realizó un Análisis Multinivel que permitió identificar, clasificar y relacionar los distintos elementos, mecanismos y aspectos asociados con la provisión de Calidad de Servicio. Como resultado de este análisis, se desarrolló un marco conceptual dividido en tres niveles que involucran tanto a los usuarios como a los proveedores, desde un enfoque técnico hasta uno de negocio, especificando las relaciones entre niveles que permiten brindar un efecto global de calidad. El marco conceptual define las relaciones e interacciones entre los mecanismos estudiados y se constituye en una guía para la implementación de Calidad de Servicio en una red de telecomunicaciones, tanto en lo relacionado con los procedimientos de negocio como en lo concerniente a la operación técnica de la red.
- Una de los resultados más importantes de este trabajo es el descubrimiento de relaciones entre la arquitectura funcional de TMN y la Visión Multinivel. Se logró definir el aporte que los mecanismos de gestión (a partir de la Arquitectura Lógica por Capas) ofrecen a elementos específicos de Calidad de Servicio en diferentes niveles del marco conceptual.

- Se encontró que actualmente existe todo el soporte tecnológico necesario para implementar los mecanismos descritos en el marco conceptual y se brindaron ejemplos sobre la provisión de Calidad de Servicio extremo a extremo en una red.
- Al estudiar los mecanismos intrínsecos para el soporte de Calidad de Servicio, se encontró una amplia variedad de trabajos y tecnologías orientadas hacia las redes basadas en IPv4. Sin embargo, el surgimiento y la creciente acogida de IPv6 pone en evidencia la falta de investigación sobre los métodos para soportar QoS sobre esta tecnología. Es por esto que se recomienda un análisis de este problema, enfocado en la comparación con los métodos existentes para IPv4.
- El análisis de los mecanismos de prevención de congestión permitió conocer las generalidades del esquema de Notificación Explícita de Congestión (ECN), el cual se está desplegando actualmente de una forma lenta. Esta tecnología tiene poca difusión pero presenta varias ventajas, por lo cual se recomienda su análisis y comparación con los mecanismos actuales.
- Con el desarrollo de este trabajo, se establecieron los mecanismos de reservación de recursos y marcación de tráfico como los principales para garantizar un tratamiento adecuado a los flujos. Aunque en este documento se definieron algunos criterios para decidir sobre la utilización de estos mecanismos (individualmente o conjuntamente), se recomienda un análisis sobre este problema, en el cual se estudien escenarios que permitan realizar una comparación y especificar criterios de utilización.
- Dada la existencia de proyectos que buscan analizar y evaluar las disciplinas de servicio en redes de paquetes, se considera que es igualmente importante realizar este tipo de estudios con los mecanismos de gestión de buffer, teniendo en cuenta su relación con el control de congestión.
- Se considera necesaria la profundización en el conocimiento del mecanismo de enrutamiento QoS, el cual es muy importante para garantizar Calidad de Servicio en aplicaciones interdominio e Internet.
- Teniendo en cuenta que los mecanismos actuales para reestablecimiento y protección de la red no tienen en cuenta la Calidad de Servicio que requiere el tráfico perjudicado por una falla, se recomienda el estudio de este problema con el fin de proponer soluciones para diversos tipos de tecnologías.

## 8. REFERENCIAS

- [1] ISO 8402, "Quality Management and Quality Assurance - Vocabulary", 1994.
- [2] ETSI ETR003, "Network Aspects (NA); General aspects of Quality of Service (QoS) and Network Performance (NP)", Segunda Edición, Octubre de 1994.
- [3] Carme Urbano, María Fernández, "Gestión de una VPN como servicio de RI bajo la perspectiva de TMN – Anexo D: Gestión de servicios", Trabajo de Grado, Universidad del Cauca, 1999.
- [4] R. Braden, D. Clark, y S. Shenker, "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview," IETF RFC 1633, Junio de 1994.
- [5] UIT-T Rec. E.800, "Terms and Definitions Related to Quality of Service and Network Performance Including Dependability", Agosto de 1994.
- [6] E. Crawley et al., "A Framework for QoS-Based Routing in the Internet," IETF RFC 2386, Agosto de 1998.
- [7] Janusz Gozdecki et al., "Quality of Service terminology in IP networks", IEEE Communications Magazine, Pág. 153-159, Marzo de 2003.
- [8] Alberto Leon García et al., "Communication Networks: Fundamental concepts and key architectures", Pág. 717-722, Mc Graw Hill, 2004.
- [9] S. Blake et al., "An Architecture for Differentiated Services", IETF RFC 2475, Diciembre de 1998.
- [10] K. Nichols et al., "Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers", IETF RFC 2474, Diciembre de 1998.
- [11] V. Jacobson et al., "An Expedited Forwarding PHB", IETF RFC 2598, Junio de 1999.
- [12] UIT-T Rec. G.1000, "Calidad de Servicio en las comunicaciones: marco y definiciones", Noviembre de 2001.
- [13] UIT-T Rec. Y.1540, "Parámetros de desempeño para la transferencia de paquetes IP y la disponibilidad", Diciembre de 2002.
- [14] UIT-T Rec. Y.1541, "Objetivos de desempeño de red para servicios IP", Febrero de 2006.

- [15] UIT-T Rec. Y.1291, "Marco arquitectural para el soporte de calidad de servicio en redes de paquetes", Mayo de 2004.
- [16] W. C. Hardy, "*Measurement and Evaluation of Telecommunications Quality of Service*", Wiley, 2001.
- [17] R. Yavatkar et al., "A Framework for Policy-based Admission Control", IETF RFC 2753, Enero de 2000.
- [18] IEEE Std. 802.1p, "Traffic class expediting and dynamic multicast filtering", Noviembre de 2005.
- [19] IEEE Std. 802.11e, "Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements", Noviembre de 2005.
- [20] Sanjay Jha, Mahbub Hassan, "Engineering Internet QoS". Artech House, Agosto de 2002.
- [21] Ed R. Braden et al., "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) -- Version 1 Functional Specification", IETF RFC 2205, Septiembre de 1997.
- [22] K. Ramakrishnan et al., "The Addition of Explicit Congestion Notification (ECN) to IP", IETF RFC 3168, Septiembre de 2001.
- [23] A. Westerinen et al., "Terminology for Policy-Based Management", IETF RFC 3198, Noviembre de 2001.
- [24] Emmanuel Marilly et al., "Service Level Agreements: A Main Challenge for Next Generation Networks", IEEE White Paper, 2002.
- [25] Ed D. Dirham et al., "The COPS (Common Open Policy Service) Protocol", IETF RFC 2748, Enero de 2000.
- [26] Enrique Dans, "CRM, Customer Relationship Management", White Paper, UCLA, Febrero de 2001.
- [27] R. Mülle, A. Faulkner, "Planning for a customer responsive network", White Paper, Journal of Operations Research, Agosto de 1998.
- [28] Luis Bellido Triana, "Contribución a las metodologías para la evaluación de Calidad de Servicio en redes heterogéneas", Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
- [29] Y. Bernet et al., "A Framework for Integrated Services Operation over Diffserv Networks", IETF RFC 2998, Noviembre de 2000.

- [30]** M. Seaman et al., "Integrated Service Mappings on IEEE 802 Networks", IETF RFC 2815, Mayo de 2000.
- [31]** Achim Autenrieth, Andreas Kirstädter, "Engineering End-to-End IP Resilience Using Resilience-Differentiated QoS", IEEE Communications Magazine, Enero de 2002, Pág. 50-57.
- [32]** UIT-T Rec. M.3010, "Principios para una Red de Gestión de las Telecomunicaciones", 2000.
- [33]** UIT-T Rec. M.3400, "Funciones de Gestión de la Red de Gestión de las Telecomunicaciones", Mayo de 2004.
- [34]** International Engineering Consortium, "Telecommunications Management Network", Tutorial, 2000.
- [35]** International Engineering Consortium, "Service Level Management", Tutorial, 2000.
- [36]** UIT-T Rec. G.1010, "End-user multimedia QoS categories", Noviembre de 2001.
- [37]** Mónica Lombana, Juan Carlos González, "Prototipo experimental de VoIP sobre WLAN para entornos empresariales", Trabajo de Grado, Universidad del Cauca, 2005.
- [38]** J. Heinanen et al., "Assured Forwarding PHB Group", IETF RFC 2592, Junio de 1999.
- [39]** S. Shenker et al., "Specification of Guaranteed Quality of Service", IETF RFC 2212, Septiembre de 1997.
- [40]** J. Wroclawski, "Specification of the Controlled-Load Network Element Service", IETF RFC 2211, Septiembre de 1997.
- [41]** IEEE Std. 802.11D, "Media Access Control (MAC) Bridges – User priorities and traffic classes", 2004.
- [42]** SugarCRM - Commercial Open Source Customer Relationship Management, [www.sugarcrm.com](http://www.sugarcrm.com).
- [43]** K. Chan et al., "COPS Usage for Policy Provisioning (COPS-PR)", IETF RFC 3084, Marzo de 2001.
- [44]** Ed S. Herzog et al., "COPS usage for RSVP", IETF RFC 2749, Enero de 2000.

- [45]** QBone Project Home Page, [qbone.internet2.edu](http://qbone.internet2.edu).
- [46]** G. Apostolopoulos et al., "QoS Routing Mechanisms and OSPF Extensions", IETF RFC 2676, Agosto de 1999.
- [47]** Bibiana Vega, José Mario Ramos, "Análisis y evaluación de disciplinas de servicio en redes de paquetes", Trabajo de Grado, Universidad del Cauca, 2006.
- [48]** E. Rosen et al., "Multi-Protocol Label Switching Architecture", IETF RFC 3031, Enero de 2001.
- [49]** D. Awduche et al., "RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP tunnels", IETF RFC 3209, Diciembre de 2001.
- [50]** F. Le Faucheur et al., "Multi-Protocol Label Switching (MPLS) Support of Differentiated Services", IETF RFC 3270, Mayo de 2002.
- [51]** Amitava Dutta-Roy, "The cost of quality in Internet-style networks", IEEE Spectrum Magazine, Septiembre de 2000, Pág. 57-62.