

**QoS EN REDES DE TELECOMUNICACIONES**

**ALEXANDER AGUDELO CARDENAS  
HENRY JAVIER SOCARRAS CASADO**

**Monografía de grado presentada como requisito para optar al título de  
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR  
MINOR DE TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA  
CARTAGENA  
2005**

**QoS EN REDES DE TELECOMUNICACIONES**

**ALEXANDER AGUDELO CARDENAS  
HENRY JAVIER SOCARRAS CASADO**

**MONOGRAFÍA**

**Director**

**ING. EDUARDO GÓMEZ VÁSQUEZ. M.SC.**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR  
MINOR DE TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA  
CARTAGENA**

**2005**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Cartagena de Indias, Junio 24 de 2005**

## DEDICATORIA

*A Dios, puesto a que por su infinita misericordia pude obtener una segunda oportunidad en la vida y lograr los objetivos propuestos.*

*A mis padres, Gustavo y Mari luz, quienes me han brindado todo su apoyo y comprensión en todas las etapas de mi vida.*

*A mis hermanos, Gustavo y Lorena por todo el soporte que he sentido con ellos a lo largo de mi carrera.*

ALEXANDER

*A mis padres, Augusto José y Santiago, que me han dado las bases de respeto, responsabilidad y amor hacia los demás para seguir adelante y así ser una persona de bien y ser un buen ejemplo para los demás.*

*A mi hermano Rodrigo David, que desde el cielo me ilumina y me muestra el camino que debo seguir.*

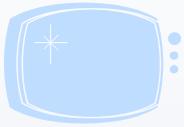
*A mis hermanas Jannellee y Grase, por su apoyo incondicional.*

HENRY JAVIER

## **AGRADECIMIENTOS**

*A la Universidad Tecnológica de Bolívar porque fue uno de los pilares importantes en nuestro proceso de aprendizaje.*

*Al asesor de monografía, **Ingeniero EDUARDO GÓMEZ VÁSQUEZ. M.SC.** porque gracias a su ayuda, esfuerzo y paciencia logramos terminar satisfactoriamente este trabajo.*



# CONTENIDO

## 1

### CONCEPTOS BÁSICOS DE REDES DE TELECOMUNICACIONES.

#### INTRODUCCIÓN

1.1	Redes de Computadores	2
1.1.1	Redes de Area Local (LAN).	3
1.1.2	Redes de Area Metropolitana (MAN).	3
1.1.3	Redes de Area Extensa (WAN).	4
1.2	Modelo OSI.	5
1.3	TCP/IP	7
1.4	Redes de Banda Ancha	9
1.5	Tecnologías de Redes	10
1.5.1	Ethernet	10
1.5.1.1	Ethernet frente a IEEE 802.3	12
1.5.2	Fast Ethernet	12
1.5.2.1	100 Base – TX	13
1.5.2.2	100 Base – T4	14
1.5.2.3	100 Base – FX	14
1.5.3	Gigabit Ethernet	15
1.5.3.1	IEEE 802.3z: Gigabit Ethernet sobre fibra.	16
1.5.3.2	IEEE 802.3ab: Gigabit Ethernet sobre cobre	17
1.5.4	Frame Relay	17
1.5.4.1	Principios Básicos de Frame Relay	18
1.5.4.2	Estructura y Transmisión de Tramas	20

# 2

## QoS EN REDES

1.5.4.3	Situación Actual y Tendencias	22
1.5.5	ATM ("ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE")	23
1.5.5.1	Modelo de Referencia ATM.	25
1.5.5.2	Tamaño de la Celda ATM.	27
1.5.5.3	Transmisión de Celdas.	29
1.5.5.4	Recepción de Celdas.	30

2.1	Análisis de QoS En Redes IP	34
2.1.1	DiffServ y MPLS	34
2.1.2	Protocolo de Gestión De Políticas (COPS)	36
2.2	MPLS Y Diffserv En Redes MAN Ethernet	37
2.2.1	Redes Metropolitanas Ethernet	39
2.2.2	MPLS Metropolitano	40
2.3	DiffServ & MPLS	43
2.4	Calidad De Servicio En Frame Relay	46
2.5	Clases de Servicios ATM	47
2.6	Parámetros de Calidad de Servicio	57
2.7	Relaciones Calidad De Servicio Y Clases De Servicio ATM	59
2.8	Soporte de Calidad de Servicio En Internet sobre Redes ATM	63
2.9	IPv6 sobre ATM	63
2.10	QoS en redes móviles de cuarta generación	65
2.10.1	Soporte de QoS en redes 4G	67
2.10.2	Interacción QoS-AAA	68
2.10.3	Interacción QoS-Movilidad	69
2.11	QoS en redes adhoc	70
2.11.1	Modelo de QoS	71
2.11.2	Señalización para la reserva de QoS	71

# 3

## ANALISIS DE ANCHO DE BANDA PARA UNA MEJOR PRESTACION DE SERVICIO

3.1	El Valor de la Banda Ancha.	74
3.1.1	Corea del Sur: Caso de éxito	75
3.2	Situación del sector de las telecomunicaciones en el nivel mundial en los últimos años.	79
3.3	La situación del sector en Colombia	81
3.4	Desarrollo de la Banda Ancha en Colombia	85
3.5	Modelos de Negocio	86
3.5.1	ISP y Operadores Alternativos	90
3.5.2	Operadores Incumbentes de Fija	90
3.5.3	Operadores de Cable.	91
3.5.4	Proveedores de Contenido y Aplicaciones.	92
3.5.5	Desarrollo y Sostenibilidad de los Modelos de Negocio.	93

# 4

## ANALIZADOR EN TIEMPO REAL DE CALIDAD DE SERVICIO EN REDES IP

4.1	Arquitectura	96
4.2	Sincronización de Sondas	97
4.3	Captura Pasiva	98
4.4	Filtrado	99
4.5	Representación de los Flujos	99
4.6	Hardware/Software	100

### CONCLUSIONES

### BIBLIOGRAFIA

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b>	Esquema General de una Red de Computadoras.	2
<b>FIGURA 2</b>	Redes de Área Local	3
<b>FIGURA 3</b>	Redes de Área Metropolitana	4
<b>FIGURA 4</b>	Encapsulamiento de Datos	6
<b>FIGURA 5</b>	Especificación 10 Base – T Para Fast – Ethernet	13
<b>FIGURA 6</b>	Gigabit Ethernet Sobre Fibra	16
<b>FIGURA 7</b>	Estructura y Transmisión de Tramas	20
<b>FIGURA 8</b>	Modo de Transferencia Asincrono	23
<b>FIGURA 9</b>	Modelo de Referencia ATM	25
<b>FIGURA 10</b>	Transmisión de Celdas	29
<b>FIGURA 11</b>	Modelo COPS	37
<b>FIGURA 12</b>	Red Multiservicios Convergentes	40
<b>FIGURA 13</b>	Convergencia de Servicios	42
<b>FIGURA 14</b>	Interoperatividad de Redes y Servicios	45
<b>FIGURA 15</b>	Constant Bit Rate	54
<b>FIGURA 16</b>	Real Time-Variable Bit Rate	54
<b>FIGURA 17</b>	Unspecified Bit Rate	55
<b>FIGURA 18</b>	Available Bit Rate	56
<b>FIGURA 19</b>	Arquitectura de red de 4ª Generación	67
<b>FIGURA 20</b>	Penetración Global de Banda Ancha	76
<b>FIGURA 21</b>	Precio del Acceso de una Línea DSL	77

<b>FIGURA 22</b>	Fuente DNP-DANE	82
<b>FIGURA 23</b>	Fuente OMSYC 2005	83
<b>FIGURA 24</b>	Situacion de Colombia en el Desarrollo de la Banda Ancha	85
<b>FIGURA 25</b>	Cadena de Valor de la Banda Ancha	86
<b>FIGURA 26</b>	Distribucion del sistema PLC	88
<b>FIGURA 27</b>	One-way delay REaltime NETwork Analyzer	96
<b>FIGURA 28</b>	Sonda – Marca de Tiempo	98
<b>FIGURA 29</b>	Medidas de QoS en Tiempo Real	100

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 1</b>	Clases de Servicios, Servicios y Características	52
<b>TABLA 2</b>	Características de las Clases de Servicios ATM	57
<b>TABLA 3</b>	Parámetros de Tráfico y QoS	59
<b>TABLA 4</b>	Mapeo entre CoS y QoS	62
<b>TABLA 5</b>	Ingresos Estimados del Sector de las Telecomunicaciones	84



## INTRODUCCIÓN

---

La red de Internet se ha convertido en una de las mejores herramientas para el desarrollo tecnológico al incluir desde la investigación pura hasta las aplicaciones de negocios. Ello ha generado un nuevo tipo de requerimientos en protocolos y tecnologías para soportar las necesidades de los usuarios actuales. Dentro de las demandas más importantes encontramos las concernientes a Calidad de Servicio (QoS) y ancho de banda. Gracias a estas necesidades, se han desarrollado toda una gama de esquemas de solución permitiendo la satisfacción del usuario y un rápido retorno de inversión para los proveedores de servicios.

Entre las soluciones actuales tenemos (en lo concerniente al ancho de banda) los grandes esfuerzos del grupo de trabajo 802.3, permitiendo extender el dominio de Ethernet más allá de las redes de área local sin modificar de manera significativa sus características. Con ésta solución es posible contar con una única tecnología cubriendo distancias físicas de 40 Km. con velocidades de hasta 10 Gbps.

Con respecto a los esquemas de QoS tenemos DiffServ (Differentiated Services) el cual es un protocolo de capa de

red, que a diferencia de IntServ (Integrated Services), agrupa los requerimientos de QoS de una manera relativamente simple utilizando métodos para categorizar el tráfico en clases, que posteriormente reciben los parámetros de calidad de servicio necesarios. Para lograr el aseguramiento de calidad de servicio requerido es necesario contar con protocolos de señalización (RSVP) y el análisis de colas (FIFO, WFQ, PQ, RED, WRED) para encontrar la mejor solución basándose en la demanda de sus aplicaciones.

Quizás uno de los esquemas que puede ofrecer velocidad, escalabilidad, QoS e Ingeniería de Tráfico (TE) es MPLS (Multiprotocol Label Switching). Este desarrollo representa un nuevo escalón en la evolución de los estándares actuales, permitiendo la combinación de las tecnologías de capa dos y tecnologías de enrutamiento (capa tres).

El protocolo de Internet (IP), que ha sido utilizado en las redes de computadoras durante las tres últimas décadas para el intercambio de información entre ordenadores, ha terminado imponiéndose como el protocolo más usado. Actualmente el desarrollo de estas redes de datos se está enfocando hacia la provisión de Calidad de Servicio (QoS), la cual se requiere para permitir asegurar determinadas características de calidad en la transmisión de información. El objetivo es evitar que la congestión de determinados nodos de la red afecte a algunas aplicaciones que requieran un especial caudal o retardo, como pueden ser aplicaciones de videoconferencia. Para solucionar este problema existen dos tendencias bien distintas:

Sobredimensionar adecuadamente la red de transporte, lo que implica aumentar cuando resulten necesarios los equipos de conmutación así como el ancho de banda disponible en los canales. Este método se basa en el abaratamiento de los sistemas de conmutación y transporte, si bien provoca una gestión ineficiente por definición de los recursos disponibles.

Gestionar de forma inteligente los recursos disponibles, compartiéndolo de manera desigual entre los diferentes flujos de tráfico. Sin embargo, las actuales redes de datos no distinguen entre las diferentes aplicaciones que transportan: no pueden diferenciar entre una videoconferencia con determinados requisitos de ancho de banda y la navegación web de características completamente diferentes. Esto requiere que de alguna manera las funciones de calidad de servicio sean capaces de reconocer las aplicaciones para reservarles unos determinados recursos en la red.

Con los anteriores antecedentes, el presente texto muestra una panorámica de cómo podrían aplicarse la QoS en las redes de telecomunicaciones, así como los beneficios que se lograrían: bajo retardo, variación de retardo (jitter) y pérdidas de paquetes al contar con una sola tecnología extremo a extremo, además conocer las tendencias de la banda ancha en los últimos años.

# 1

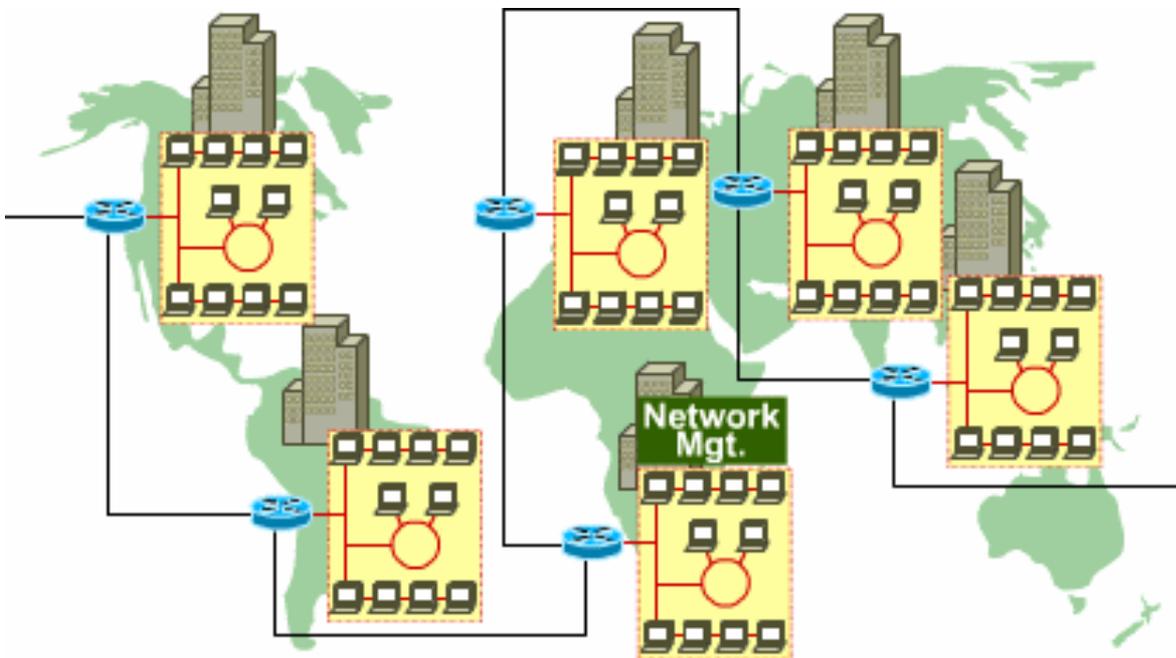
## CONCEPTOS BÁSICOS DE REDES DE TELECOMUNICACIONES

---

Para tener una clara idea de lo que queremos transmitir en este documento es necesario que el lector tenga cierto conocimiento básico acerca de las redes de telecomunicaciones, por esta razón este capítulo está encaminado netamente a conceptos básicos en las redes. Este capítulo ofrece una visión de los diversos temas relativos a la comunicación entre computadoras y redes. Muchos de los conceptos presentados aquí están tratados desde una perspectiva general. Comenzamos con una definición formal de redes de computadoras junto con una descripción de varios términos relativos a esta definición, así como información sobre algunas tecnologías de redes utilizadas actualmente como Frame Relay y ATM.

## 1.1 Redes de Computadoras

Una red de computadores es una colección interconectada de computadores autónomos, las redes se han convertido no solo en una parte fundamental, sino la más importante, de los actuales sistemas de información. Constituyen el pilar en el uso compartido de la información en empresas así como en grupos gubernamentales y científicos. Esta información puede adoptar distintas formas, sea como documentos, datos a ser procesados por otro ordenador, ficheros enviados a colegas, e incluso formas más exóticas de datos.



*Figura 1 Esquema general de una red de computadoras*

Un criterio para clasificar redes de ordenadores es el que se basa en su extensión geográfica, es en este sentido en el que hablamos de redes LAN, MAN y WAN. En la figura 1 se observa distintos tipos de tecnologías que pueden ser usadas en estas redes pero de esto se hablara mas adelante.

### 1.1.1 Redes de área local (LAN)

Son redes de propiedad privada, hasta hace poco de unos cuantos kilómetros de extensión. Por ejemplo una oficina o un centro educativo, pero hoy en día este tipo de redes ha evolucionado de manera sustancial ampliando así las distancias que manejan. Se usan para conectar computadoras personales o estaciones de trabajo, con objeto de compartir recursos e intercambiar información.

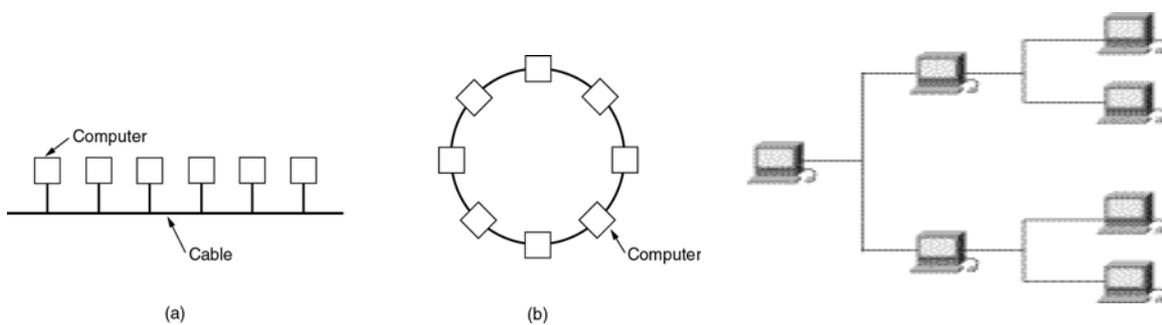


Figura 2 redes de área local

La figura 2 muestra las tres topologías más comunes en este tipo de redes, debido a su corta distancia este tipo de redes tienen bajo retardo y experimentan pocos errores.

Dentro de este tipo de red podemos nombrar a INTRANET<sup>1</sup>, una red privada que utiliza herramientas tipo internet, pero disponible solamente dentro de la organización IEEE. 802.3 (Ethernet), IEEE 802.4 (Token Bus), IEEE 802.5 (Token Ring).

### 1.1.2 Redes de área metropolitana (MAN)

Es una versión de mayor tamaño de la red local como se muestra en la figura 3. Puede ser pública o privada. Una MAN puede soportar tanto voz como datos. Una MAN tiene uno o dos cables y no tiene elementos de intercambio de paquetes o conmutadores, lo cual simplifica bastante el diseño. La razón principal para distinguirla de otro tipo de redes, es

<sup>1</sup> <http://www.monografias.com/trabajos12/porquein/porquein.shtml>

que para las MAN's se ha adoptado un estándar llamado DQDB (Distributed Queue Dual Bus) o IEEE 802.6. Utiliza medios de difusión al igual que las Redes de Área Local.

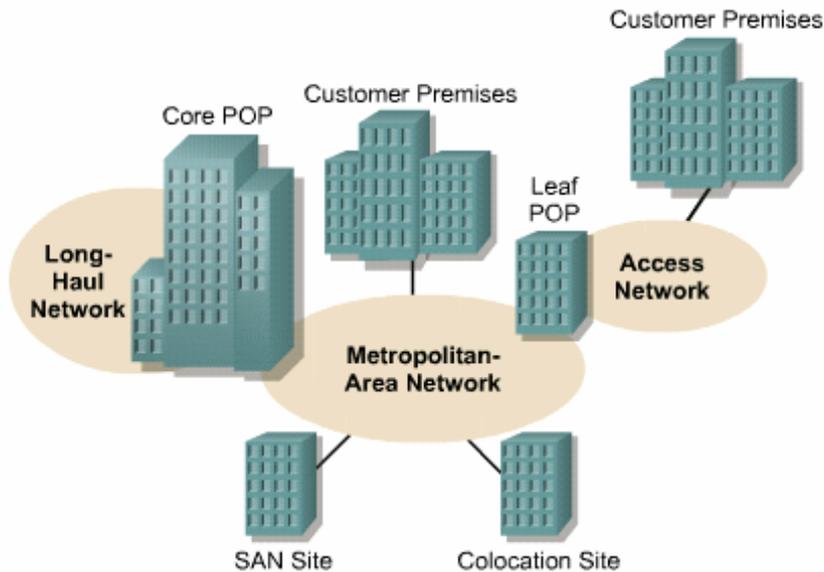


Figura 3 redes de área metropolitana

### 1.1.3 Redes de Área Amplia (WAN)

Son redes que cubren una amplia región geográfica, a menudo un país o un continente.

Cuando se llega a un cierto punto, deja de ser poco práctico seguir ampliando una LAN. A veces esto viene impuesto por limitaciones físicas, aunque suele haber formas más adecuadas o económicas de ampliar una red de computadoras. Dos de los componentes importantes de cualquier red son la red de teléfono y la de datos. Son enlaces para grandes distancias que amplían la LAN hasta convertirla en una red de área amplia (WAN). Casi todos los operadores de redes nacionales (como DBP en Alemania, British Telecom en Inglaterra o la Telefónica en España) ofrecen servicios para interconectar redes de computadoras, que van desde los enlaces de datos sencillos y a baja velocidad que funcionan basándose en la red pública de telefonía hasta los complejos servicios de alta velocidad (como frame relay y

SMDS-Synchronous Multimegabit Data Service) adecuados para la interconexión de las LAN. Estos servicios de datos a alta velocidad se suelen denominar conexiones de banda ancha. Se prevé que proporcionen los enlaces necesarios entre LAN para hacer posible lo que han dado en llamarse autopistas de la información.

## 1.2 Modelo OSI

Una de las necesidades fundamentales de los sistemas de comunicación es el establecimiento de estándares, sin ellos sólo podrían comunicarse entre sí equipos del mismo fabricante y que usaran la misma tecnología.

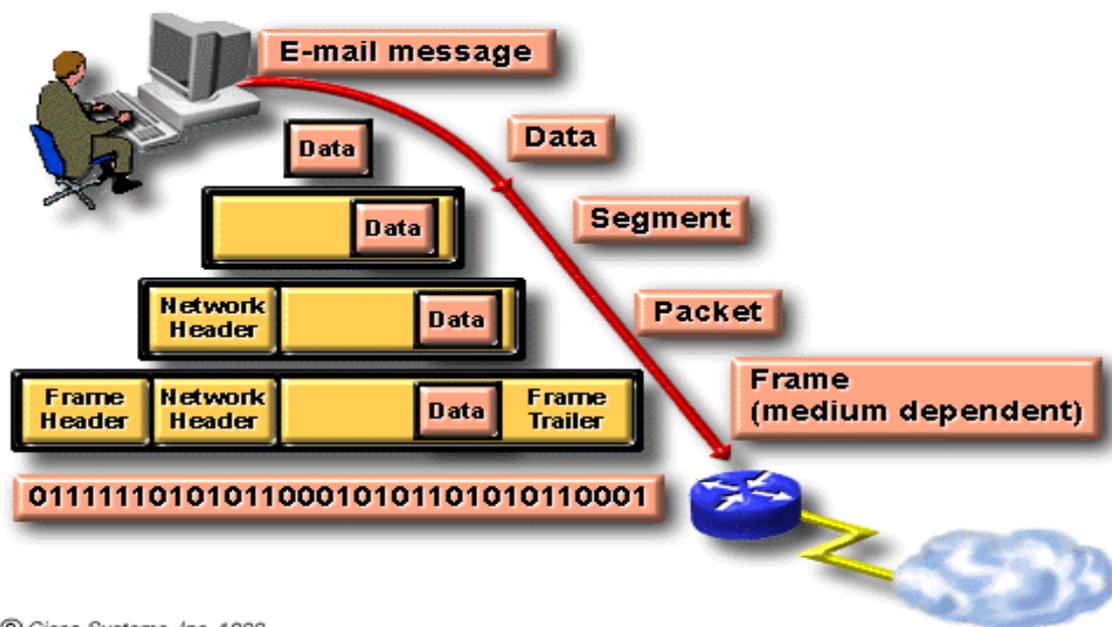
La ISO (International Organisation for Standardisation) ha generado una gran variedad de estándares, siendo uno de ellos la norma ISO-7494 que define el modelo OSI, este modelo nos ayudará a comprender mejor el funcionamiento de las redes de ordenadores.

El modelo OSI describe siete niveles para facilitar las interfaces de conexión entre sistemas abiertos los cuales son:

- **Nivel 1.- Físico** - Se ocupa de la transmisión del flujo de bits a través del medio. - Cables, tarjetas y repetidores (hub). RS-232, X.21.
- **Nivel 2 - Enlace** - Divide el flujo de bits en unidades con formato (tramas) intercambiando estas unidades mediante el empleo de protocolos. - Puentes (bridges). HDLC y LLC.
- **Nivel 3 - Red** - Establece las comunicaciones y determina el camino que tomarán los datos en la red. - Encaminador(router). IP, IPX.
- **Nivel 4 - Transporte** - La función de este nivel es asegurar que el receptor reciba exactamente la misma información que ha querido enviar el emisor, y a veces asegura al emisor que el receptor ha recibido la información que le ha sido enviada. Envía de nuevo lo que no haya llegado correctamente. - Pasarela (gateway). UDP, TCP, SPX.

- **Nivel 5 - Sesión** - Establece la comunicación entre las aplicaciones, la mantiene y la finaliza en el momento adecuado. Proporciona los pasos necesarios para entrar en un sistema utilizando otro. Permite a un mismo usuario, realizar y mantener diferentes conexiones a la vez (sesiones). - Pasarela
- **Nivel 6 – Presentación** - Conversión entre distintas representaciones de datos y entre terminales y organizaciones de sistemas de ficheros con características diferentes. - Pasarela. Compresión, encriptado, VT100.
- **Nivel 7 – Aplicación** - Este nivel proporciona unos servicios estandarizados para poder realizar unas funciones específicas en la red. Las personas que utilizan las aplicaciones hacen una petición de un servicio (por ejemplo un envío de un fichero). Esta aplicación utiliza un servicio que le ofrece el nivel de aplicación para poder realizar el trabajo que se le ha encomendado (enviar el fichero). - X400

## Data Encapsulation Example



© Cisco Systems, Inc. 1999

Figura 4 Encapsulamiento de datos

La comunicación según el modelo OSI siempre se realizará entre dos sistemas. Supongamos que la información se genera en el nivel 7 de uno de ellos, y desciende por el resto de los niveles hasta llegar al nivel 1, que es el correspondiente al medio de transmisión (por ejemplo el cable de red) y llega hasta el nivel 1 del otro sistema, donde va ascendiendo hasta alcanzar el nivel 7 (ver figura 4). En este proceso, cada uno de los niveles va añadiendo a los datos a transmitir la información de control relativa a su nivel, de forma que los datos originales van siendo recubiertos por capas de datos de control.

De forma análoga, al ser recibido dicho paquete en el otro sistema, según va ascendiendo del nivel 1 al 7, va dejando en cada nivel los datos añadidos por el nivel equivalente del otro sistema, hasta quedar únicamente los datos a transmitir. La forma, pues de enviar información en el modelo OSI tiene una cierta similitud con enviar un paquete de regalo a una persona, donde se ponen una serie de papeles de envoltorio, una o más cajas, hasta llegar al regalo en sí.

### **1.3 TCP/IP**

El Internet no es un nuevo tipo de red física, sino un conjunto de tecnologías que permiten interconectar redes muy distintas entre sí. Internet no es dependiente de la máquina ni del sistema operativo utilizado.

De esta manera, podemos transmitir información entre un servidor Unix<sup>2</sup> y un computador que utilice Windows ó entre plataformas completamente distintas como Macintosh, Alpha o Intel. Es más, entre una máquina y otra generalmente existirán redes distintas: redes Ethernet, redes Token Ring e incluso enlaces vía satélite. Como vemos, está claro que no podemos utilizar ningún protocolo que dependa de una arquitectura en particular.

Lo que se busca es un método de interconexión general que sea válido para cualquier plataforma, sistema operativo y tipo de red. La familia de protocolos que

---

<sup>2</sup> <http://www.ibm.com/ar/products/servers/pseries>

se eligieron para permitir que Internet sea una Red de redes es TCP/IP. Nótese aquí que hablamos de familia de protocolos ya que son muchos los protocolos que la integran, aunque en ocasiones para simplificar hablemos sencillamente del protocolo TCP/IP.

El protocolo TCP/IP tiene que estar a un nivel superior del tipo de red empleado y funcionar de forma transparente en cualquier tipo de red y a un nivel inferior de los programas de aplicación (páginas WEB, correo electrónico...) particulares de cada sistema operativo.

Todo esto sugiere el siguiente modelo de referencia:

El nivel más bajo es **la capa física**. Aquí nos referimos al medio físico por el cual se transmite la información. Generalmente será un cable aunque no se descarta cualquier otro medio de transmisión como ondas o enlaces vía satélite.

**La capa de acceso** a la red determina la manera en que las estaciones (computadores) envían y reciben la información a través del soporte físico proporcionado por la capa anterior. Es decir, una vez que tenemos un cable, ¿cómo se transmite la información por ese cable? ¿Cuándo puede una estación transmitir? ¿Tiene que esperar algún turno o transmite sin más? ¿Cómo sabe una estación que un mensaje es para ella? Pues bien, son todas estas cuestiones las que resuelve esta capa.

**La capa de red** define la forma en que un mensaje se transmite a través de distintos tipos de redes hasta llegar a su destino. El principal protocolo de esta capa es el IP aunque también se encuentran a este nivel los protocolos ARP, ICMP e IGMP. Esta capa proporciona el direccionamiento IP y determina la ruta óptima a través de los encaminadores (routers) que debe seguir un paquete desde el origen al destino.

**La capa de transporte** (protocolos TCP y UDP) ya no se preocupa de la ruta que siguen los mensajes hasta llegar a su destino. Sencillamente, considera que la comunicación extremo a extremo está establecida y la utiliza.

Una vez que se tiene establecida la comunicación desde el origen al destino queda lo más importante, ¿qué podemos transmitir?

**La capa de aplicación** nos proporciona los distintos servicios de Internet: correo electrónico, páginas Web, FTP, TELNET.

#### 1.4 Redes De Banda Ancha

El término **banda ancha** se ha introducido inevitablemente en el lenguaje cotidiano. La alta capacidad o velocidad de transmisión es un concepto relativo que evoluciona en el tiempo hacia demandas de mayores velocidades, y que varía significativamente de país a país. En un primer momento se denominó banda ancha a aquellas conexiones a Internet que poseen una capacidad mayor que las conexiones telefónicas tradicionales o dial-up y surgieron diversas definiciones como Conjunto amplio de tecnologías que han sido desarrolladas para soportar la prestación de **servicios interactivos innovadores**, con la característica del **siempre en línea** (*always on*), permitiendo el **uso simultáneo de servicios de voz y datos**, y proporcionando unas velocidades de transmisión que **evolucionan** con el tiempo, partiendo de los 128Kb de velocidad en sentido descendente que puede considerarse actualmente el mínimo para la denominación de Banda Ancha.

#### 1.5 Tecnologías En Redes De Telecomunicaciones

Las tecnologías utilizadas en las redes de telecomunicaciones son de vital importancia en este capítulo, debido a que ellas nos indican hasta que punto se hace posible llegar un buen servicio, debido a que cada tecnología tiene una serie de restricciones que afectan el QoS. Los sistemas de telecomunicaciones necesitan de redes que permitan la comunicación entre aplicaciones satisfaciendo

restricciones de desempeño. Las nuevas tecnologías de redes hacen posible implementar diferentes tipos de Sistemas Distribuidos o centralizados sobre una infraestructura que puede ser utilizada sin limitaciones por los usuarios, que tiene una capacidad alta de transferencia de información y que ofrece diferentes calidades de servicio CoS.

Finalmente, las redes en la actualidad permiten diferenciar entre diferentes categorías de tráfico para proporcionar calidades de servicio dependientes de la aplicación; el uso de VLANs<sup>3</sup>, MPLS, RSVP y diffserv, por ejemplo, hace posible ofrecer una calidad de servicio específica a los mensajes intercambiados en los Sistemas Distribuidos.

Las nuevas tecnologías que permiten a las redes tener una mayor alcance, una mayor capacidad y un mayor número de clases de servicio.

Debido al amplio alcance de este tema y como no es el tema central de este documento, solo resaltaremos algunas tecnologías como la familia IEEE 802.3, Frame Relay y ATM

### **1.5.1 Ethernet**

Ethernet es un protocolo de red de área local desarrollado por Xerox, Intel y Digital Equipment Corporation (DEC) en el centro de investigaciones Xerox en Palo Alto (PARC) a mediados de los años 70. Fue diseñado como una tecnología que permitiese la interconexión de dispositivos de oficina. El nombre Ethernet se deriva de la vieja sustancia teórica electromagnética llamada *luminiferous ether*, lo cual se creía antiguamente que era un elemento universal invisible que mantenía unido al universo entero y todas sus partes asociadas. Así, una red "ether" es una red que conecta todas las componentes unidas a la red.

Si bien el concepto de Ethernet fue desarrollado en PARC la génesis tuvo lugar con

---

<sup>3</sup> Redes de comunicaciones. Alberto León García. Indra Widjaja. Ed. Mc Graw Hill.

Norman Abramson, de la universidad de Hawaii, a fines de lo 60 y principio de los 70. Abramson desarrolló una red llamada ALOHA, que se usó para conectar el campus principal de Oahu con otros siete campus en cuatro de las islas de Hawaii.

Las principales diferencias entre la red ALOHA y la Ethernet son que ALOHA permitió que cualquier nodo pudiera transmitir datos en cualquier momento, no tomó medidas que permitiera a un nodo detectar si otro nodo estaba enviando datos, y no tenía un procedimiento para tratar con lo que llegaría a conocerse como *colisiones*.

Las colisiones ocurren cuando dos o más nodos intentan transmitir datos de forma simultánea. Por otra parte, la Ethernet fue diseñada con la capacidad tanto de ser sensible a la portadora como la detección de colisiones.

Por medio de un consorcio organizado a principio de los años 80, Xerox, Intel y DEC, publicaron un estándar de proveedor ahora conocido como el Ethernet Blue Book. Este libro describía los métodos cómo la ethernet podía ser implementada y desarrollada. El trabajo sobre este estándar continuó, y culminó con la publicación en 1982 de un estándar cooperativo titulado *Ethernet Versión 2*.

#### **1.5.1.1 Ethernet frente a IEEE 802.3**

Aunque el consorcio Xerox, Intel y DEC desarrolló y produjo un estándar ethernet (V2.0), éste no fue un estándar aceptable nacional o internacionalmente para la tecnología LAN. En consecuencia, el IEEE formó el subcomité 802.3 y produjo un estándar IEEE para una tecnología muy similar a la especificación Ethernet V2.0.

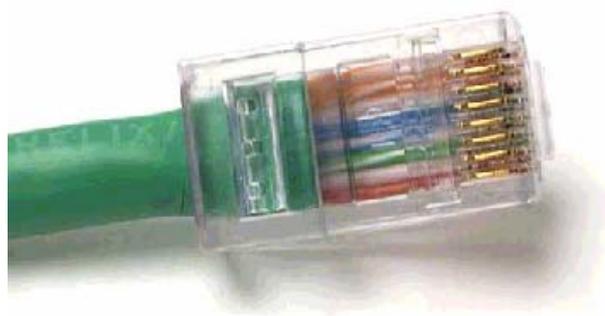
Las dos especificaciones Ethernet, V2.0 e IEEE 802.3, son similares porque el IEEE usó los detalles tecnológicos de Ethernet V2.0 como base para el estándar 802.3. Sin embargo, fueron introducidas varias diferencias técnicas en la versión IEEE que hacen incompatibles a los dos estándares. Éstas incluyen diferencias en el tamaño del cable, la función del transceptor, y la topología.

- **Diferencias en cables**

En el estándar V2.0, el cable Ethernet (Coaxial grueso) es prescrito con un diámetro de 0.395 pulgadas. En la especificación IEEE, el diámetro del cable fue incrementado a 0.405 pulgadas. La razón del IEEE para incrementar el diámetro del cable, fue que un diámetro mayor proporciona mejores características eléctricas.

### 1.5.2 Fast Ethernet

Para iniciar al IEEE a adoptar la tecnología Fast Ethernet como un estándar se formó en Agosto de 1993 una organización llamada Alianza Ethernet Rápida (FEA). En el transcurso de 2 años la membresía de FEA creció a más de 80 vendedores, incluyendo 3Com, Cabletron, Intel, Dec y MicroSystem. En junio de 1995 esta nueva tecnología se volvió el estándar 802.3u del IEEE y se le dio la especificación 100BASE-T. La FEA concluyó sus actividades en septiembre de 1996, una vez que lograron sus metas.



*Figura 5 Especificación 10 Base – T para Fast - Ethernet*

La 100BASE-T evolucionó de 10BASE-T específicamente y en general de la Ethernet convencional. En la capa física la 100BASE-T emplea una tecnología emplea una topología en estrella y soporta cable de par torcido y de fibra óptica.

Sin embargo, a diferencia de la 10BASE-T, la fast Ethernet tiene 3 especificaciones diferentes de medio: 100BASE-TX 100BASE-T4 100BASE-FX. Las primeras 2 usan cable de par torcido, y la tercera usa cable de fibra óptica.

#### **1.5.2.1 100BASE-TX**

Transmite y recibe datos sobre dos pares de cable compatibles con EIA/TIA 568 categoría 5 UTP o dos pares de cable STP tipo 1 de la IBM. Usa un sistema de señalamiento Full-Duplex basado en una subcapa que depende de un medio físico de par torcido (TP-PDU) de la FDDI, que es un estándar ANSI que define la manera en que los datos son codificados, decodificados y transmitidos. Las redes basadas en el estándar 100BASE-TX deben ser compatibles por completo con la categoría 5, incluidos alambres, conectores, paneles de empalme y bloques perforados.

#### **1.5.2.2 100BASE-T4**

Usa un sistema de señalamiento Half-Duplex para recibir y transmitir datos sobre cuatro pares de cable UTP categoría 3, 4 o 5 o cuatro pares de cable STP tipo 1 IBM. Un par de alambres se usa exclusivamente para transmitir datos y un par de alambres se usa exclusivamente para recibir datos y detectar colisiones y los restantes dos pares se usan para transmisión o recepción. La ventaja de la 100BASE-T4 sobre la 100BASE-TX es que la primera puede ser usada en instalaciones de alambrado categoría 3 o 4. Así, las organizaciones pueden escalar sus redes ethernet a 10Mbps a 100Mbps sin modificar sus plantas de cable existentes, o pueden optar por instalar alambre categoría 3 que es menos caro que el alambre de grado superior categoría 5, y aun obtener provecho de la Ethernet a 100Mbps.

#### **1.5.2.3 100BASE-FX**

Soporta una operación Ethernet a 100Mbps sobre dos torones de cable de fibra óptica multimodo de 62.5/125 micrones (un toron para transmitir datos y un toron

para recibir datos). Comparte el mismo sistema de señalamiento que el de 100BASE-TX con la excepción que usa una subcapa que depende de medios físicos de fibra de la FDDI<sup>4</sup>. A diferencia del 100BASE-TX o del 100BASE-T4, los segmentos del 100BASE-FX son conocidos formalmente como *segmentos de enlace*, que son diseñados para conectar solo dos nodos en una topología punto a punto. La aplicación primaria del 100BASE-FX.

El IEEE 802.3u también define dos clases de repetidores. Los *repetidores clase I* soportan ambos esquemas de señalamiento de la Fast Ethernet (100BASE-T4 y 100BASE-TX /FX), y los *repetidores clase II* soportan solo un esquema de señalamiento (100BASE-T4 o 100BASE-TX/FX, pero no ambos).

Las redes no son triviales y la Fast Ethernet no es la excepción. Los administradores de redes que consideran implementar la Fast Ethernet como parte de una nueva instalación LAN o integrarla a una LAN Ethernet a 10 Mbps ya existe, deben darle atención seria a las diferentes limitaciones físicas, restricciones y temas de diseño relacionados con la 100BASE-T.

### **1.5.3 Gigabit Ethernet.**

No pasó mucho tiempo la evolución del estándar Fast ethernet, cuando en marzo de 1996 el IEEE comisionó al Grupo de Estudio de Alta Velocidad (HSSG) para investigar la posibilidad de incrementar 10 veces la velocidad de transmisión de datos de la Fast ethernet a 1000Mbps. Para soportar los esfuerzos de los estándares del IEEE y enseñar a los clientes y a la industria de redes esta nueva tecnología fue formada la alianza Gigabit Ethernet (GEA) en mayo de 1996. En Julio de 1996, el IEEE aprobó dos fuerzas separadas de trabajo para definir estándares para *Gigabit Ethernet*. Una fuerza de trabajo, la IEEE 802.3z fue creada por Gigabit Ethernet sobre fibra; la segunda fuerza de trabajo la IEEE 802.3ab fue creada para Gigabit Ethernet sobre cobre.

---

<sup>4</sup> Comunicación entre computadoras y tecnología de redes. Michael A. Gallo. William M. Hancock. Edit. THOMSON

### 1.5.3.1 IEEE 802.3z: Gigabit Ethernet sobre fibra

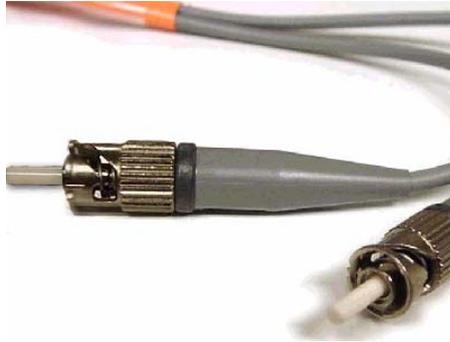


Figura 6 Gigabit Ethernet sobre fibra

En la capa física, el IEEE 802.3z soporta 3 especificaciones: 1000BASE-SX (fibra de longitud de onda corta). 1000BASE-LX (fibra de longitud de onda larga) y 1000BASE-CX (cobre quebradizo).

Para tener una idea clara de esto es necesario comparar la Gigabit Ethernet con Fast Ethernet convencional (véase anexo 1). En la capa de enlace, la Gigabit Ethernet usa el mismo formato de bloque 802.3, soporta conexiones full-dúplex y conmutadas, mantienen la misma abertura entre bloques de 96 bits, y tiene un tamaño mínimo de 64 bytes.

La Gigabit Ethernet también soporta el mismo método de acceso CSMA/CD en modo dúplex, pero usa una versión ligeramente modificada en modo Half-dúplex; la portadora mínima CSMA/CD y los tiempos de ranuras son 512 bytes en vez de 64 bytes. Esta modificación fue necesaria para mantener un diámetro de colisión de 200m en Half-dúplex. Si no se hubiera hecho esto, entonces el diámetro máximo sería de un décimo el tamaño de una LAN de Fast Ethernet (25m), porque cuando usted incrementa la velocidad de los bits, el dominio de colisión y el diámetro total disminuye. Un diámetro máximo de red de 25m no es muy práctico.

### **1.5.3.2 IEEE 802.3ab: Gigabit Ethernet sobre cobre**

El estándar IEEE 802.3ab tiene una especificación de capa física: 1000BASE-T que define a la Gigabit Ethernet el uso sobre cable de categoría 5 a distancia hasta de 100m. Esta restricción de distancia es equivalente a la de Fast Ethernet. Sin embargo, a diferencia de la Fast Ethernet, todos los cuatros pares UTP de categoría 5 deben ser usados.

### **1.5.4 FRAME RELAY**

Frame Relay comenzó como un movimiento a partir del mismo grupo de normalización que dio lugar a X.25 y RDSI: El ITU (entonces CCITT). Sus especificaciones fueron definidas por ANSI, fundamentalmente como medida para superar la lentitud de X.25, eliminando la función de los conmutadores, en cada "salto" de la red. X.25 tiene el grave inconveniente de su importante "overhead" producido por los mecanismos de control de errores y de flujo.

Hasta hace relativamente poco tiempo, X.25 se ha venido utilizando como medio de comunicación para datos a través de redes telefónicas con infraestructuras analógicas, en las que la norma ha sido la baja calidad de los medios de transmisión, con una alta tasa de errores. Esto justificaba los abundantes controles de errores y sus redundantes mecanismos para el control de flujo, junto al pequeño tamaño de los paquetes. En resumen, se trataba de facilitar las retransmisiones para obtener una comunicación segura.

Frame Relay, por el contrario, maximiza la eficacia, aprovechándose para ello de las modernas infraestructuras, de mucha mayor calidad y con muy bajos índices de error, y además permite mayores flujos de información.

Frame Relay se define, oficialmente, como un servicio portador RDSI de banda estrecha en modo de paquetes, y ha sido especialmente adaptado para velocidades de hasta 2,048 Mbps, Aunque nada le impide superarlas.

Frame Relay proporciona conexiones entre usuarios a través de una red pública, del mismo modo que lo haría una red privada con circuitos punto a punto. De hecho, su gran ventaja es la de reemplazar las líneas privadas por un sólo enlace a la red. El uso de conexiones implica que los nodos de la red son conmutadores, y las tramas deben de llegar ordenadas al destinatario, ya que todas siguen el mismo camino a través de la red.

#### **1.5.4.1 Principios Basicos de Frame Relay**

Frame Relay es una tecnología de conmutación rápida de tramas, basada en estándares internacionales, que puede utilizarse como un protocolo de transporte y como un protocolo de acceso en redes públicas o privadas proporcionando servicios de comunicaciones.

A partir de algunos principios básicos sobre la tecnología y el entorno de conectividad en el que se utiliza, Frame Relay puede eliminar grupos completos de funciones y obtiene sus principales ventajas. El protocolo Frame Relay se basa en los tres principios siguientes:

- El medio de transmisión y las líneas de acceso están prácticamente libres de errores.
- La corrección de errores se proporciona por los niveles superiores de los protocolos de las aplicaciones de usuario.
- La red, en estado normal de operación, no está congestionada, y existen mecanismos estándares de prevención y tratamiento de la congestión.

**Primer principio básico:** muchos de los protocolos más antiguos, tales como X.25, se diseñaron para operar a través de circuitos analógicos con errores. Esto exigía al protocolo de comunicación el uso de procedimientos complejos de control de errores y confirmación de información transmitida y recibida correctamente. Con la aparición de líneas de transmisión digitales, se redujo considerablemente la necesidad de estos procedimientos.

Esto permite el **segundo principio básico** de Frame Relay. Se requiere menos carga de proceso en la red para asegurar que los datos se transportan de manera fiable. Por tanto, es lógico el uso de procedimientos simplificados como los de Frame Relay. Esta tecnología ofrece mejor velocidad y rendimiento, porque realiza solamente un mínimo control de errores. Si se produce un error, el protocolo se limita a desechar los datos. Cuando Frame Relay desecha datos erróneos, puede hacerlo sin comprometer la fiabilidad de los datos de usuario, porque los niveles superiores de los protocolos transportados sobre FR proporcionarán la corrección de errores.

El **tercer principio básico** de Frame Relay es que existe una congestión limitada dentro de la red. Frame Relay supone que existe una cantidad ilimitada de ancho de banda disponible. Si se produce una congestión, el protocolo desecha los datos e incluye mecanismos para "notificar explícitamente" al usuario final la presencia de congestión, y confía en que reaccionará ante estas notificaciones explícitas.

Estructura y transmisión de tramas, parámetros de dimensionamiento de CVP (CIR, Bc, Be) que se analizarán mas adelante, señalización de líneas y CVP (Circuito Virtual Permanente), gestión y prevención de la congestión.

### 1.5.4.2 Estructura y transmisión de tramas

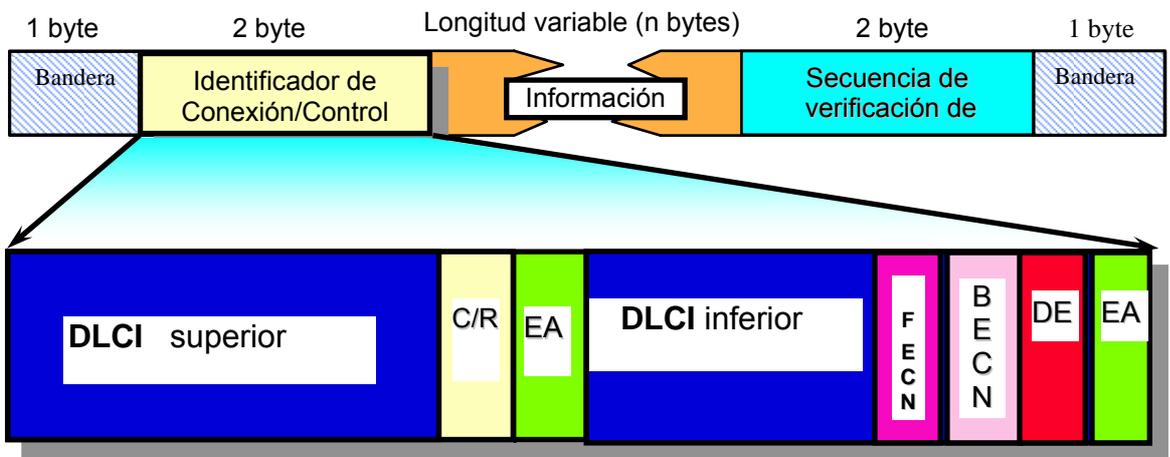


Figura 7 Estructura y transmisión de tramas

La red Frame Relay obtiene datos de los usuarios en las tramas recibidas, comprueba que sean válidas, y las enruta hacia el destino, indicado en el DLCI del campo "dirección". Si la red detecta errores en las tramas entrantes, o si el DLCI no es válido, la trama se descarta.

El "flag" es la secuencia de comienzo y fin de trama. El campo de "dirección" contiene el DLCI y otros bits de congestión. Los datos de los usuarios se introducen en el campo "Información",

Las redes Frame Relay se construyen partiendo de un equipamiento de usuario que se encarga de empaquetar todas las tramas de los protocolos existentes en una única trama Frame Relay. También incorporan los nodos que conmutan las tramas Frame Relay en función del identificador de conexión, a través de la ruta establecida para la conexión en la red.

Las tramas y cabeceras de Frame Relay pueden tener diferentes longitudes, la información transmitida en una trama Frame Relay puede oscilar entre 1 y 8.250 bytes, aunque por defecto es de 1.600 bytes.

Lo más increíble de todo, es que, a pesar del gran número de formas y tamaños Frame Relay funciona perfectamente, y ha demostrado un muy alto grado de interoperabilidad entre diferentes fabricantes de equipos y redes. Ello es debido a que, sean las que sean las opciones empleadas por una determinada implementación de red o equipamiento, siempre existe la posibilidad de "convertir" los formatos de Frame Relay a uno común, intercambiando así las tramas en dicho formato.

A continuación se añaden otros campos que tienen funciones muy especiales en las redes Frame Relay (ver figura 7). Ello se debe a que los nodos conmutadores Frame Relay carecen de una estructura de paquetes en la capa 3, que por lo general es empleada para implementar funciones como el control de flujo y de la congestión de la red, y que estas funciones son imprescindibles para el adecuado funcionamiento de cualquier red.

Los tres más esenciales son DE o "elegible para ser rechazada" (Discard Eligibility), FECN o "notificación de congestión explícita de envío" (Forward Explicit Congestion Notification), y BECN o "notificación de congestión explícita de reenvío" (Backward Explicit Congestion Notification). El bit DE es usado para identificar tramas que pueden ser rechazadas en la red en caso de congestión. FECN es usado con protocolos de sistema final que controlan el flujo de datos entre emisor y el receptor, como el mecanismo "windowing" de TCP/IP; en teoría, el receptor puede ajustar su tamaño de "ventana" en respuesta a las tramas que llegan con el bit FECN activado. BECN, como es lógico, puede ser usado con protocolos que controlan el flujo de los datos extremo a extremo en el propio emisor.

Según esto, la red es capaz de detectar errores, pero no de corregirlos (en algunos casos podría llegar tan solo a eliminar tramas).

No se ha normalizado la implementación de las acciones de los nodos de la red ni del emisor/receptor, para generar y/o interpretar estos tres bits. Por ejemplo, TCP/IP no tiene ningún mecanismo que le permita ser alertado de que la red Frame Relay esta generando bits FECN ni de como actuar para responder a dicha situación. Las acciones y funcionamiento de las redes empleando estos bits son temas de altísimo interés y actividad en el "Frame Relay Forum" (equivalente en su misión y composición al "ATM Forum").

#### **1.5.4.3 Situación actual y tendencias:**

La clave para que Frame Relay sea aceptado con facilidad, al igual que ocurrió con X.25, y también ocurre ahora con RDSI<sup>5</sup>, es su gran facilidad, como tecnología, para ser incorporado a equipos ya existentes: encaminadores (routers), ordenadores, conmutadores, multiplexores, etc., y que estos pueden, con Frame Relay, realizar sus funciones de un modo más eficiente.

Por ello, Frame Relay es una solución ampliamente aceptada, especialmente para evitar la necesidad de construir mallas de redes entre encaminadores (routers), y

---

<sup>5</sup> [http://www.uswest.com/products/data/dsl/fast\\_facts](http://www.uswest.com/products/data/dsl/fast_facts).

en su lugar multiplexando muchas conexiones a lugares remotos a través de un solo enlace de acceso a la red Frame Relay.

Su ventaja, como servicio público es evidente. Sin embargo, el hecho de ser un servicio público también llegar a ser un inconveniente, desde el punto de vista de la percepción que el usuario puede tener de otros servicios como X.25, y que han llevado, en los últimos años, a las grandes compañías, a crear sus propias redes, con sus propios dispositivos (fundamentalmente multiplexores, conmutadores y encaminadores) y circuitos alquilados.

Frame Relay permite una mayor velocidad y prestaciones, además de permitir que un mismo circuito sirva a varias conexiones, reduciendo, obviamente, el número de puertos y circuitos precisos, y por tanto el coste total.

El futuro de Frame Relay aparece como brillante, especialmente si lo comparamos con otras tecnologías no estandarizadas. En Frame Relay todo son ventajas: puede ser implementado en software (por ejemplo en un encaminador), y por tanto puede ser mucho más barato; Frame Relay esta orientado a conexiones, como la mayoría de las WAN's; Frame Relay puede "empaquetar" tramas de datos de cualquier protocolo de longitud variable; la "carga del protocolo" (overhead) de Frame Relay es menor de un 5%. Como desventaja tendríamos que mencionar que Frame Relay sólo ha sido definido para velocidades de hasta 1,544/2,048 Mbps. (T1/E1), aunque esto sin duda es algo temporal. Además, Frame Relay no soporta aplicaciones sensibles al tiempo, al menos de forma estándar.

Pero Frame Relay sigue siendo una tecnología antigua, ya que no inventa nuevos protocolos ni mejora los dispositivos de la red, sino que se limita a eliminar parte de la carga de protocolo y funciones de X.25, logrando mejorar su velocidad. El resultado es una red más rápida, pero no una red integrada.

### 1.5.5 ATM ("ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE")

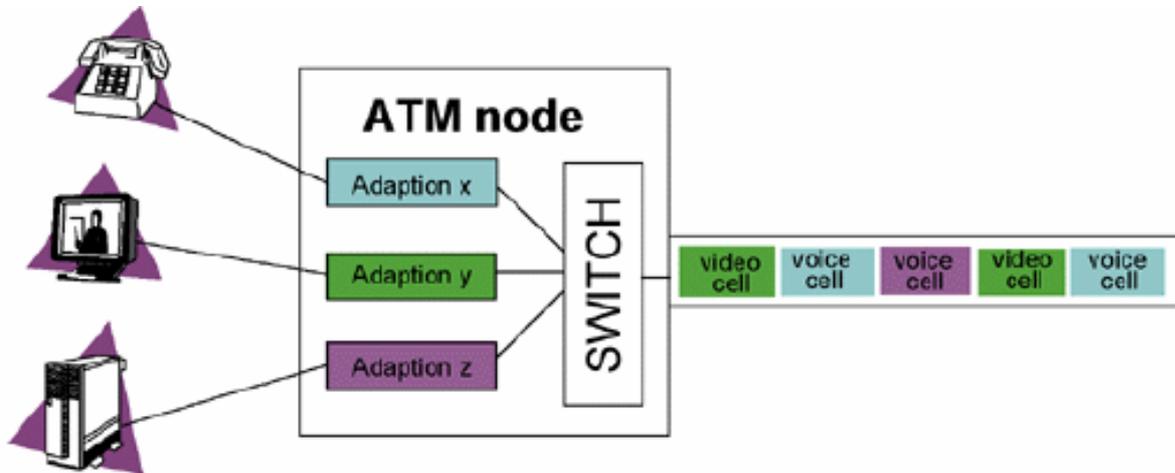


Figura 8 Modo de transferencia asincrono

Las letras ATM se repiten cada vez más en estos días en los ambientes Informáticos y de Telecomunicaciones. La tecnología llamada *Asynchronous Transfer Mode* (ATM) Modo de Transferencia Asíncrona es el corazón de los servicios digitales integrados que ofrecerán las nuevas redes digitales de servicios integrados de Banda Ancha (B-ISDN)<sup>6</sup>, hoy en día los operadores de redes públicas y privadas se ven obligados a ofrecer demanda de anchos de banda mayores y flexibles con soluciones robustas. La versatilidad de la conmutación de paquetes de longitud fija, denominadas celdas ATM, son las más calificadas para soportar el rápido crecimiento de internet y la mayor demanda de ancho de banda.

La tecnología ATM se proyecta para diferentes necesidades en términos de volúmenes de datos, flexibilidad de conmutación y facilidades para el operador.

Los conmutadores ATM aseguran que el tráfico de grandes volúmenes es flexiblemente conmutado al destino correcto. Los usuarios aprecian ambas cosas, ya que se cansan de esperar los datos y las pantallas de llegada a sus terminales. Estas necesidades cuadran de maravilla para los proveedores de servicios públicos de salud, con requerimientos de videoconferencias médicas, redes financieras interconectadas con los entes de intermediación y validación, o con las exigencias

<sup>6</sup> <http://www.monografias/redes/tecnologiasDSL.html>

que pronto serán familiares como vídeo en demanda para nuestros hogares con alta definición de imágenes y calidad de sonido de un CD.

Una de las fortalezas de ATM es que usted paga solamente por la carga de celdas que es efectivamente transportada y conmutada para usted. Además la demanda por acceso a Internet ha tomado a la industria de telecomunicaciones como una tormenta. Hoy día los accesos conmutados a Internet están creando "Cuellos de Botella" en la infraestructura. Para copar este problema los fabricantes no solo han desarrollado sistemas de acceso sino aplicaciones para soluciones de fin a fin con conmutadores ATM, con solventes sistemas de administración de la red (Network Management).

La tecnología ATM ha sido definida tanto por el ANSI como por el CCITT a través de sus respectivos comités ANSI T1, UIT SG XVIII, como la tecnología de transporte para la B-ISDN (Broad Band Integrated Services Digital Network), la RDSI de banda ancha. En este contexto "transporte" se refiere al uso de técnicas de conmutación y multiplexación en la capa de enlace (Capa 2 del modelo OSI) el

#### 1.5.5.1 MODELO DE REFERENCIA ATM

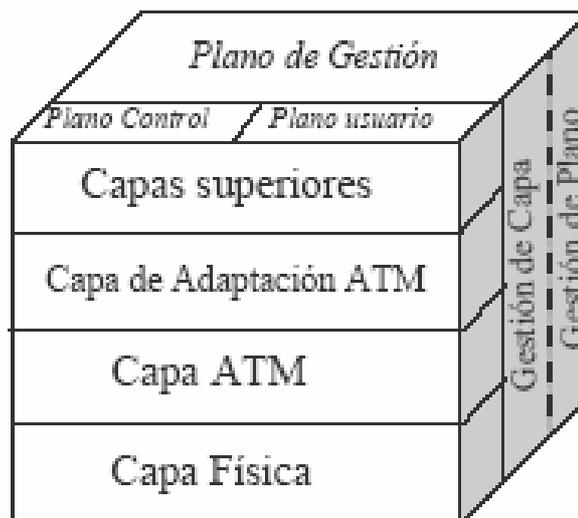


Figura 9 Modelo de referencia ATM

**La primera capa llamada capa física (Physical Layer)**, define las interfases físicas con los medios de transmisión y el protocolo de trama para la red ATM es responsable de la correcta transmisión y recepción de los bits en el medio físico apropiado. A diferencia de muchas tecnologías LAN como Ethernet, que especifica ciertos medios de transmisión, (10 base T, 10 base 5, etc.) ATM es independiente del transporte físico. Las celdas ATM pueden ser transportadas en redes SONET (Synchronous Optical Network), SDH (Synchronous Digital Hierarchy), T3/E3, TI/EI o aún en modems de 9600 bps. Hay dos subcapas en la capa física que separan el medio físico de transmisión y la extracción de los datos:

**La subcapa PMD (Physical Medium Dependent)** tiene que ver con los detalles que se especifican para velocidades de transmisión, tipos de conectores físicos, extracción de reloj, etc., Por ejemplo, la tasa de datos SONET que se usa, es parte del PMD.

**La subcapa TC (Transmission Convergence)** tiene que ver con la extracción de información contenida desde la misma capa física. Esto incluye la generación y el chequeo del Header Error Corrección (HEC), extrayendo celdas desde el flujo de bits de entrada y el procesamiento de celdas "idles" y el reconocimiento del límite de la celda. Otra función importante es intercambiar información de operación y mantenimiento (OAM) con el plano de administración.

**La segunda capa es la capa ATM.** Esta capa define la estructura de la celda y cómo las celdas fluyen sobre las conexiones lógicas en una red ATM, esta capa es independiente del servicio. El formato de una celda ATM es muy simple. Consiste de 5 bytes de cabecera y 48 bytes para información.

Las celdas son transmitidas serialmente y se propagan en estricta secuencia numérica a través de la red. El tamaño de la celda ha sido escogido como un compromiso entre una larga celda, que es muy eficiente para transmitir largas tramas de datos y longitudes de celdas cortas que minimizan el retardo de

procesamiento de extremo a extremo, que son buenas para voz, vídeo y protocolos sensibles al retardo.

**La tercer capa es la ATM Adaptation Layer (AAL)**<sup>7</sup>. La AAL juega un rol clave en el manejo de múltiples tipos de tráfico para usar la red ATM, y es dependiente del servicio. Específicamente, su trabajo es adaptar los servicios dados por la capa ATM a aquellos servicios que son requeridos por las capas más altas, tales como emulación de circuitos, (circuit emulation), vídeo, audio, frame relay, etc. La AAL recibe los datos de varias fuentes o aplicaciones y las convierte en los segmentos de 48 bytes.

La capa de adaptación se divide en dos subcapas:

- **Capa de convergencia (convergence sublayer (CS)):** En esta capa se calculan los valores que debe llevar la cabecera y los payloads del mensaje. La información en la cabecera y en el payload depende de la clase de información que va a ser transportada.
  
- **Capa de Segmentación y reensamblaje (segmentation and reassembly (SAR)):** Esta capa recibe los datos de la capa de convergencia y los divide en trozos formando los paquetes de ATM. Agrega la cabecera que llevara la información necesaria para el reensamblaje en el destino.

#### 1.5.5.2 Tamaño de la celda ATM.

La información como voz, imágenes, vídeo, datos, etc. se transporta a través de la red en bloques muy pequeños (48 bytes de datos más una cabecera de 5 bytes) llamados celdas.

---

<sup>7</sup> Comunicación entre computadoras y tecnología de redes. Michael A. Gallo, William M. Hancock. Ed. Thomson

Merece la pena detenernos un momento a comentar la forma como se llegó a la decisión sobre el tamaño de las celdas ATM, ya que refleja el mecanismo que a menudo se sigue en la elaboración de estándares internacionales en materia de comunicaciones.

En el comité de la CCITT que elaboraba los estándares ATM existían dos grupos claramente diferenciados. Por un lado estaban los fabricantes de ordenadores y las empresas y organismos interesados en usar ATM para transmitir datos; estos eran reacios a utilizar un tamaño de celda pequeño, ya que esto introduce un elevado costo de proceso y una pérdida considerable de capacidad debido a las cabeceras que necesariamente ha de llevar cada celda. Este grupo proponía un tamaño de celda de 128 bytes.

En la postura contraria se encontraban las PTTs europeas, cuyo objetivo era utilizar ATM para transmitir conversaciones telefónicas. Además de utilizar la técnica habitual PCM para digitalizar una conversación telefónica en un canal de 64 Kb/s, en ATM es bastante frecuente utilizar técnicas de compresión (por ejemplo la denominada ADPCM) que permiten meter el canal habitual en tan solo 32, o incluso 24 Kb/s. De esta forma es posible aprovechar aun más la capacidad disponible.

Las PTTs proponían utilizar celdas de 16 bytes, ya que así una conversación podría generar una celda cada 2 ms si se usaba PCM, o cada 4 o 6 ms si se empleaba ADPCM. Con celdas de 128 bytes como proponían los fabricantes de ordenadores costaría 16 ms llenar una celda con una conversación PCM, y 32 o 48 ms con ADPCM; desde el punto de vista de los operadores europeos esto planteaba un problema importante, ya que el tiempo de llenado de la celda aumenta el retardo en la comunicación; cuando el retardo total extremo a extremo es mayor de 20 ms el efecto del eco producido es perceptible, ya que el retardo es equivalente al de una conexión de larga distancia; por tanto es preciso instalar costosos equipos de cancelación de eco.

Las compañías telefónicas estadounidenses no tenían ningún problema con la utilización de celdas de 128 bytes, ya que con distancias de miles de kilómetros y retardos de más de 30 ms en las comunicaciones costa a costa estaban ya acostumbrados desde hacía tiempo a instalar canceladores de eco en sus líneas. Pero las PTTs europeas, al trabajar con distancias menores de 2.000 Km, no han instalado canceladores de eco y en caso de haber optado por celdas de 128 bytes se habrían visto obligadas a hacer costosas inversiones, o a renunciar a la posibilidad de utilizar sistemas de compresión para transmitir la voz.

Después de muchas negociaciones cada bando cedió un poco en sus pretensiones. Las PTT accedieron a subir a 32 bytes el tamaño de celda, mientras que los fabricantes de ordenadores bajaron a 64 bytes. En ese momento la CCITT decidió zanjar la discusión partiendo la diferencia y fijando la celda en 48 bytes (más cabecera). Así utilizando ADPCM a 24 Kb/s el retardo puede llegar a ser de 18ms, que está muy cerca del límite de 20 ms para que se produzca el eco (hay que tomar en cuenta que además habrá alguna longitud de cable cuyo retardo también influye).

### 1.5.5.3 Transmisión de celdas

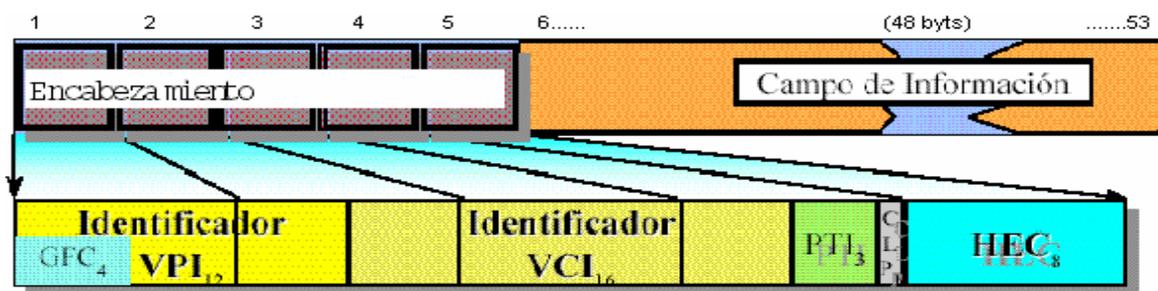


Figura 10 Transmisión de celdas

**VPI:** Virtual Path Identifier.

**VCI:** Virtual Channel Identifier.

**GFC:** General Flow Control.

**PTI:** Payload Type Identifier.

**CLP:** Cell Loss Priority.

**HEC:** Header Error Check

Cada celda ATM tiene 5 bytes de cabecera, el último de los cuales es un checksum de los otros cuatro. Este campo checksum se denomina HEC (Header Error Control).

La razón de hacer checksum de la cabecera únicamente es acelerar el proceso de cálculo; se supone que los niveles superiores harán corrección de errores si lo consideran apropiado (algunas aplicaciones, como el vídeo o audio, pueden soportar sin problemas una pequeña tasa de errores). También debemos tomar en cuenta el hecho de que ATM se diseñó pensando en las fibras ópticas, que son un medio de transmisión altamente fiable. Hay estudios que demuestran que la gran mayoría de los (ya pocos) errores que se producen en fibras ópticas son errores simples. El HEC detecta todos los errores simples y el 90% de los errores múltiples.

Una vez está en su sitio el HEC la celda está lista para transmisión. Existen dos tipos de medios de transmisión, los asíncronos y los síncronos. Los asíncronos simplemente transmiten cada celda cuando está preparada. Los síncronos por el contrario tienen que transmitir celdas con una periodicidad fija, y en caso de no haber celdas útiles preparadas envían celdas de relleno o inútiles (también llamadas 'idle' cells).

Otro tipo de celdas 'anormales' (es decir, sin datos) son las denominadas celdas OAM (Operation And Maintenance). Estas son utilizadas por los conmutadores ATM para intercambiar información de control sobre la red, con la que es posible hacer labores de mantenimiento, tales como gestión de averías y de rendimiento. Sirven también para transmitir información del estado de la red, por ejemplo del grado de congestión. También se utilizan celdas OAM para 'saltar' el espacio ocupado por la información de control de una trama SONET/SDH.

#### 1.5.5.4 Recepción de celdas

El lado receptor se encarga de localizar el principio y final de cada celda, verificar el HEC (y descartar las celdas inválidas), procesar las celdas OAM y las celdas inútiles, y pasar a la capa ATM las celdas de datos.

La detección del principio y final de cada celda se hace por mecanismos completamente distintos a los utilizados en HDLC. No existe ninguna secuencia de bits característica del principio y final de cada celda, pero si se sabe que cada celda ocupa exactamente  $53 \times 8 = 424$  bits, por lo que una vez localizada una será fácil encontrar las siguientes. La clave para encontrar la primera celda está en el HEC: en recepción la subcapa TC captura 40 bits de la secuencia de entrada y parte de la hipótesis de que sea un principio de celda válido; para comprobarlo calcula el HEC aplicando el polinomio  $x^8 + x^2 + x + 1$  sobre los cuatro primeros bytes y comparando el resultado con el quinto; si el cálculo no es correcto desplaza la secuencia un bit y repite el cálculo; repitiendo este proceso como máximo 424 veces el TC localiza finalmente el principio de una celda, y a partir de ella todas las que le siguen.

Con un HEC de tan solo 8 bits la probabilidad de que un conjunto de bits elegido al azar resulte ser un HEC válido es de  $1/256$ , lo cual no es despreciable. Por ello el receptor cuando localiza un HEC válido, para asegurarse de que el resultado no ha sido fruto de la casualidad, repite el cálculo con el HEC siguiente (53 bytes después); haciendo esta comprobación con varias celdas sucesivas se puede reducir a un nivel despreciable la probabilidad de que el acierto haya sido pura casualidad. Por ejemplo si el HEC obtenido es correcto en cinco celdas consecutivas la probabilidad de que esto sea fruto de la casualidad es de  $1/256^5$ , o sea  $10^{-12}$  aproximadamente.

Una vez localizado el principio de una celda el receptor ya puede sin problemas localizar todas las demás por su posición relativa, siempre que se mantenga el sincronismo. Podría ocurrir que como consecuencia de un error se introdujera o eliminara un bit en la secuencia, con lo que el receptor perdería el sincronismo. En

tal caso el primer síntoma sería un HEC erróneo, pero un HEC erróneo también puede producirse por un bit erróneo, cosa más normal que un bit de más o de menos. Por esto cuando la TC detecta un HEC erróneo no supone inmediatamente que ha perdido el sincronismo; en principio considera que ha sido un bit erróneo, y se pone alerta ante la posibilidad de que la siguiente celda dé también un HEC erróneo, en cuyo caso la sospecha de pérdida de sincronismo crece. Si varias celdas consecutivas tienen un HEC erróneo la subcapa TC supone que ha perdido el sincronismo y empieza de nuevo el proceso antes descrito de detección de principio de celda.

Cabe pensar en la posibilidad de que un usuario genere, con o sin intención, flujos de datos con secuencias de 5 bytes que al incluirlos en celdas ATM contuvieran sistemáticamente HECs válidos; Entonces la TC podría interpretar erróneamente la cabecera de celdas, y por tanto los datos. Para evitar esta posibilidad se altera el orden de los datos a enviar antes de transmitirlos de acuerdo con un patrón preestablecido; en el lado del receptor se aplica a los datos recibidos un patrón simétrico de reordenación, de forma que los datos se regeneran en el mismo orden en el que el usuario los envió. Este proceso, denominado 'scrambling' se realiza de forma que sea transparente y no afecte a los datos enviados por el usuario.

# 2

## QoS EN REDES

---

La calidad de servicio consiste en la capacidad de la red para reservar algunos de los recursos disponibles para un tráfico concreto con la intención de proporcionar un determinado servicio. Debemos tener en cuenta que en la red se pueden utilizar diferentes tecnologías de transporte (como pueden ser Frame Relay, X.25, SDH, ATM, etc) de manera que la gestión de QoS implica la interacción con estas tecnologías y con los equipos de conmutación, que son los que finalmente determinarán el nivel de QoS alcanzado.

En este momento existen principalmente dos tipos de tecnologías que proporcionan calidad de servicio. La primera se basa en la **reserva**, y asigna recursos basándose en flujos de tráfico. Alternativamente, un segundo tipo de calidad de servicio se caracteriza por la **priorización** de determinado tipo de tráfico. Veremos más adelante que los flujos de datos individuales se van agrupando en grandes agregados de tráfico de acuerdo a la “clase de servicio” a la que pertenezcan, y dependiendo de esa clase de servicio recibirán un distinto trato en los diferentes elementos de la red.

## 2.1 ANÁLISIS DE QoS EN REDES IP

Se han definido dos modelos básicos para ofrecer calidad de servicio: Servicios Integrados (IntServ) y Servicios Diferenciados (DiffServ). En IntServ, la QoS se proporciona mediante la reserva de recursos a lo largo del camino mediante RSVP. Aunque IntServ junto con RSVP puedan ser útiles para ofrecer QoS, se trata de un modelo complejo de implementar, ya que no es escalable para gestionar grandes cantidades de tráfico, debido a la cantidad de señalización que requiere para gestionar la disponibilidad de QoS y mantenimiento de los diferentes flujos en cada router. Además, conforme aumenta el tráfico en las redes así como la variedad de servicios y aplicaciones, surge la necesidad de proporcionar niveles diferenciados de QoS a diferentes flujos de tráfico. DiffServ es más versátil, de más simplicidad y funciona de forma más eficiente, por lo que tanto en IPv4, y sobre todo en IPv6, se apuesta más por este último modelo. Sin embargo, con DiffServ no se solucionan todos los problemas de calidad que pueden aparecer en una red, como por ejemplo, el comportamiento ante caídas de enlaces. En estas situaciones una opción sería aprovechar las ventajas que ofrecen las redes basadas en MPLS, que además de una rápida conmutación de paquetes, proporcionan QoS e ingeniería de tráfico.

### 2.1.1 DiffServ y MPLS

El **Modelo Intserv** esta basado en la utilización de algún protocolo de reserva (RSVP, ReSerVation Protocol) que permite la reserva de recursos a lo largo de los routers implicados en la comunicación. El principal problema de este modelo es la necesidad de mantener información sobre cada flujo en todos los routers de la red, lo cual lleva a problemas de escalabilidad.

El **Modelo Diffserv** se basa en la división del tráfico en diferentes clases [6],[7] y en la asignación de prioridades a estos agregados. Utiliza diferente información de la cabecera de los paquetes (por ejemplo, DSCP – Diffserv Code Point) para distinguir

clasificar los paquetes y conocer el tratamiento que debe recibir el tráfico en los nodos de la red Diffserv.

Los servicios diferenciados (Diffserv) proporcionan mecanismos de calidad de servicio para reducir la carga en dispositivos de la red a través de un mapeo entre flujos de tráfico y niveles de servicio. Los paquetes que pertenecen a una determinada clase se marcan con un código específico (DSCP – Diffserv CodePoint). Este código es todo lo que necesitamos para identificar una clase de tráfico. La diferenciación de servicios se logra mediante la definición de comportamientos específicos para cada clase de tráfico entre dispositivos de interconexión, hecho conocido como PHB (Per Hop Behavior).

Dentro del grupo de trabajo de Diffserv de la IETF<sup>8</sup>, define el campo DS (Differentiated Services) donde se especificarán las prioridades de los paquetes. En el subcampo DSCP (Differentiated Setvice CodePoint) se especifica la prioridad de cada paquete. Estos campos son validos tanto para IPv4 como IPv6.

En la arquitectura definida por Diffserv aparece nodos extremos DS de entrada y salida, así como nodos DS internos. Este conjunto de nodos definen el dominio Diffserv y presenta un tipo de políticas y grupos de comportamiento por salto (PHB - Per Hop Behavior) que determinarán el tratamiento de los paquetes en la red.

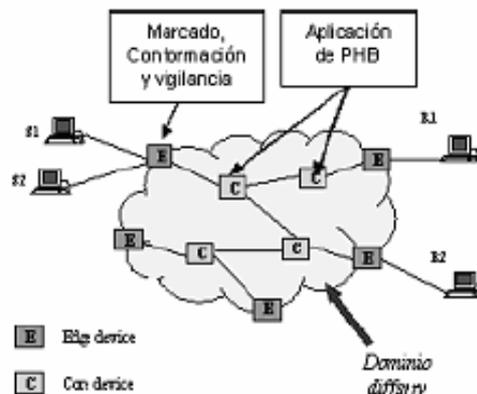


Figura 11 Arquitectura Diffserv

<sup>8</sup> K. Nichols, S. Blake, F. Baker, D. Black. "Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers", RFC 2474, December 1998.

Debemos tener en cuenta que un dominio Diffserv puede estar formado por más de una red, de manera que el administrador será responsable de repartir adecuadamente los recursos de acuerdo con el contrato de servicio (SLA – Service Level Agreement) entre el cliente y el proveedor del servicio.

### **3.1.2 PROTOCOLO DE GESTIÓN DE POLÍTICAS (COPS)**

Dentro de este escenario que define Diffserv necesitamos algún modo de comunicación para distribuir las políticas de calidad de servicio entre los elementos de red que las necesiten. Existe un protocolo creado para tal efecto que nos permitirá resolver este problema de comunicación.

El protocolo COPS (Common Open Policy Service) define un modelo sencillo de cliente-servidor que proporciona control de políticas para protocolos con señalización de calidad de servicio. El modelo descrito no hace ninguna suposición acerca de los procedimientos utilizados en el servidor de políticas, sino que se basa en un servidor que devuelve decisiones a las peticiones realizadas por los clientes. La definición del protocolo es bastante abierta para que sea extensible y poder soportar los distintos tipos de clientes que pudieran aparecer en el futuro.

El protocolo COPS se basa en sencillos mensajes de petición y respuesta utilizados para intercambiar información acerca de políticas de tráfico entre un servidor de políticas (**PDP**, Policy Decision Point) y distintos tipos de clientes (**PEPs**, Policy Enforcement Points). Un ejemplo de cliente COPS podría ser un router RSVP o Diffserv que deba realizar funciones de control de admisión en base a determinada política. Por otro lado, el modelo supone que existe al menos un servidor de políticas en cada dominio administrativo.

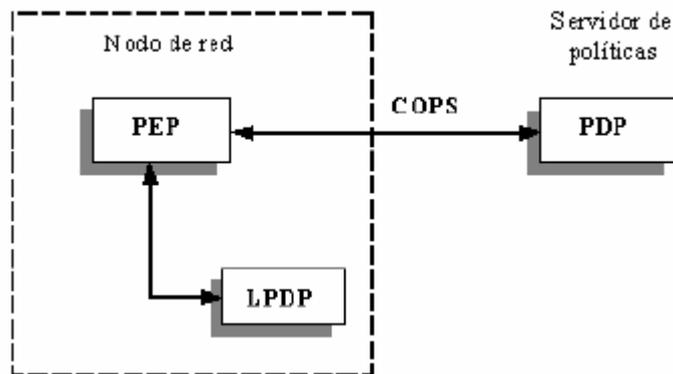


Figura 12 Modelo COPS

La figura anterior muestra la disposición de diferentes componentes en un ejemplo COPS típico. En este modelo, el protocolo COPS se utiliza para comunicar la información sobre las políticas de la red entre los puntos de aplicación de políticas (PEPs) y un servidor de políticas remoto (PDP). Dentro del nodo de red puede existir un PDP local que puede ser utilizado para tomar decisiones locales en ausencia de un PDP.

El PEP puede tener también la capacidad de tomar decisiones de política localmente, a través de su LPDP (Local Policy Decision Point), aunque el PDP sigue manteniendo la autoridad en cuanto a las decisiones. Esto quiere decir que cualquier decisión local relevante debe enviarse al PDP. Asimismo, el PDP debe tener acceso a toda la información para poder tomar una decisión final. Para ello, el PEP debe enviar las decisiones locales al PDP a través de un objeto LPDP Decision, y posteriormente atenerse a la decisión que tome el PDP.

### 3.2 MPLS Y DIFFSERV EN REDES METROPOLITANAS ETHERNET

El gran desarrollo de las tecnologías de Internet ha permitido avanzar a ritmo acelerado en la convergencia de redes y servicios. Las redes ATM (Asynchronous Transfer Mode) fueron creadas para resolver la integración de aplicaciones con ciertas garantías de tráfico en las redes, no obstante su aceptación, aún se puede considerar como una solución de alto costo y compleja de administrar. Con estos antecedentes y con la aparición de nuevas aplicaciones demandantes de ancho de

banda para su óptimo funcionamiento, aparece la necesidad de ofrecer Calidad de Servicio (QoS) y cómo poder ofrecer éstas garantías extremo a extremo (e2e) en las actuales infraestructuras de Internet o Intranets.

Inicialmente, las redes IP (Internet Protocol) fueron creadas sin considerar mecanismos de QoS debido a que la red de Internet no fue planeada para proveer voz o cualquier otro servicio con requerimientos estrictos de ancho de banda, retardo y jitter. La primera solución que emplearon los Proveedores de Servicios (SP's) fue añadir más ancho de banda para reducir los niveles de congestión conforme el volumen de tráfico de Internet aumentaba. Dicha solución, comenzó a representar pérdidas económicas significantes para los SP's debido a que los incrementos de ancho de banda realizados para solventar las necesidades de las aplicaciones, no fueron directamente proporcionales a las ganancias por los servicios prestados en la red, lo cual originó un modelo de negocios desventajoso para las empresas.

Posteriormente, los ISP's comenzaron a desarrollar de manera conjunta con los grupos de trabajo de la IETF e IEEE, mecanismos y esquemas para controlar de forma diferencial los servicios en las redes de datos. Los motivos fueron muy claros: solucionar la congestión agregando sólo ancho de banda no era suficiente, los cambios en la distribución del tráfico por fallas en los enlaces se convertían de nuevo en congestión (generalmente los "cuellos de botella" suceden en las redes de acceso), los ISP's comenzaron a prestar nuevos servicios de valor agregado para retener a sus clientes y finalmente nuestro punto de análisis: convergencia de voz, video y datos en redes metropolitanas.

Actualmente existen una gamma de soluciones para la convergencia de redes y servicios. Sin embargo nos enfocaremos en analizar los esquemas de DiffServ y MPLS dentro del ámbito metropolitano para los ISP's e Intranets interesados en ampliar sus puntos de presencia empleando la familia 802.3.

### **3.2.1 Redes Metropolitanas Ethernet**

Desde su inserción en los noventa, los servicios Ethernet han llegado a un grado de madurez como red de transporte en esquemas LAN y actualmente en el mundo de las redes Metropolitanas. Con la aprobación del estándar 802.3ae, los Proveedores de Servicios y las empresas de Telecomunicaciones tienen un gran interés en generar servicios de valor agregado para garantizar a largo plazo, los beneficios económicos que traerán consigo ampliar ó desarrollar nuevos puntos de acceso Ethernet.

Implementar 10 Gigabit Ethernet como red de transporte para los ISP's resulta más económico que continuar creciendo con las tecnologías actuales (SONET, Frame Relay y ATM), lo cual esta permitiendo llevar hasta el usuario final variaciones de ancho de banda desde 256 Kbps hasta 1 Gigabit Ethernet, contar con una disponibilidad del 99.999% de acceso a la red y servicios incluyendo VPN, VLAN's y RSTP.

Para lograr los beneficios deseados, éstos nuevos servicios requieren una arquitectura de red subyacente que brinde las capacidades de diferenciación de tráfico, manejo y monitoreo para reforzar las demandas de las actuales SLA's (Service Level Agreement) implementadas. Si tenemos el ancho de banda de 10 Gbps, sería factible pensar que una infraestructura de red Ethernet con esta capacidad no necesitaría algún esquema de QoS, sin embargo no olvidemos que lo mismo se pensó cuando se instalaron los primeros enlaces de alta velocidad dentro de las redes metropolitanas. Considerando lo anterior, debemos tener en cuenta que las actuales aplicaciones y servicios agregados que ofrecen la gran mayoría de los ISP's, requieren y necesitarán un diferenciamiento especial contra aquellas que no sean sensibles a los retardos inherentes en la red de transporte. Por lo tanto, DiffServ y MPLS tienen que analizarse de manera conjunta con la familia 802.3 con la finalidad de "cubrir" las pequeñas deficiencias de una tecnología que incursiona hoy mismo en los ambientes metropolitanos.

### 3.2.2 MPLS Metropolitano

Las fortalezas de las familias Ethernet son muy conocidas, sin embargo hay que ser honestos y reconocer algunas de las limitaciones existentes en ésta tecnología:

*Ingeniería de tráfico (TE)*. En su forma nativa, el 802.3 no tiene la capacidad de asegurar que bajo cierto ancho de banda éste sea compartido justamente. Esta situación se convierte en un punto crítico cuando deseamos contar con una red multiservicios convergentes como la mostrada en la figura 13.

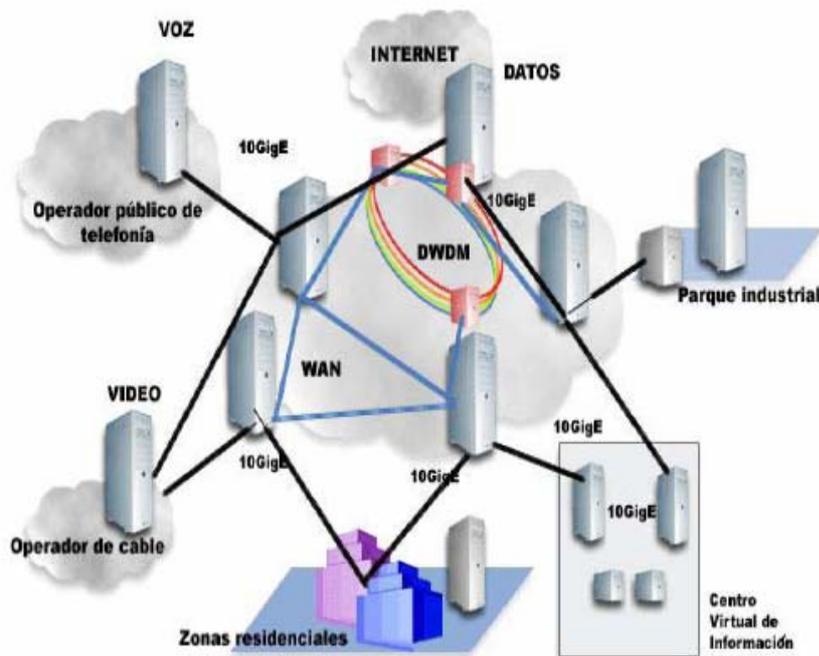


Figura 13 Red multiservicios convergentes

*Recuperación a fallos (Network Resiliency)*. Los protocolos naturales de Ethernet como los 802.1d y 802.1w, previenen ciclos y recuperación en caso de fallas en sus enlaces, sin embargo, el tiempo que requiere para complementar esta actividad va desde los 30 segundos hasta varios minutos. Por lo cual la disponibilidad de acceso a la red no le permitiría garantizar la distribución equitativa de ancho de banda requerido por las aplicaciones convergentes. MPLS permite contar con LSP's de respaldo con un grado de recuperación, de tal manera que una falla en los enlaces de nuestra red metropolitana Ethernet podría restablecerse en no más de 50

milisegundos. Con ésta velocidad de recuperación, se puede mantener transparente la disponibilidad de la red para el usuario final, incluso con miles de servicios ejecutándose de manera simultánea en el momento de la falla del enlace. Realizando una comparación real, la solución Ethernet/MPLS permite contar con una velocidad de recuperación a fallos cien veces mayor a la ofrecida por los esquemas de puentes (Bridge) 802.3.

*Escalabilidad de Servicios.* Con la finalidad de disminuir gastos de instalación y operación, se requiere una arquitectura de redes que siga creciendo de manera proporcional al número de usuarios. Para ello es primordial hacer la distinción de los tráficos de todos los usuarios sin importar el número de redes de acceso o cantidad de nodos conectados simultáneamente. La forma tradicional de Ethernet para afrontar esta problemática es utilizar redes locales virtuales (VLAN). Las VLAN o IEEE 802.1q, tienen la desventaja de sólo direccionar hasta 4,094 etiquetas, las cuales deben ser una por conexión, impidiendo un crecimiento a futuro en la red metropolitana.

Por el contrario, las redes metropolitanas basadas en MPLS encapsulan las etiquetas del 802.1q, de tal forma que sólo tienen significado local debido a que mapean cada etiqueta con un respectivo LSP permitiendo la diferenciación de tráficos de manera eficiente. Con el uso de MPLS no existe una limitante geográfica para el envío de paquetes pertenecientes a una VLAN, lo cual permite al operador de la red metropolitana incrementar sus servicios para cubrir las demandas de los usuarios sin importar su localización o topología de red a la cual pertenece<sup>9</sup>.

*Convergencia de Servicios con QoS.* Con el binomio IP/MPLS en el corazón de la red metropolitana se tiene mucho que ganar si consideramos la red de acceso metropolitano Ethernet como parte indispensable de una red extremo a extremo (e2e). El uso de MPLS facilita la entrega de servicios al proveer la misma

---

<sup>9</sup> Alcatel, "Enabling Profitable Metro Ethernet Services: The Next Step in Metro Networking," in *Alcatel Technology White Paper*: Alcatel, 2004.

conectividad y niveles de seguridad e2e al interoperar con otros protocolos de capa dos como Frame Relay, ATM, SONET, RPR y DWDM (figura 3.2). Empleando MPLS en la red metropolitana, permite crear nuevos puntos de servicio Ethernet sin tener la necesidad de migrar los servicios e infraestructuras de red existentes y continuar disfrutando de VPN o VLAN como si todos los usuarios se encontraran en la misma red local.

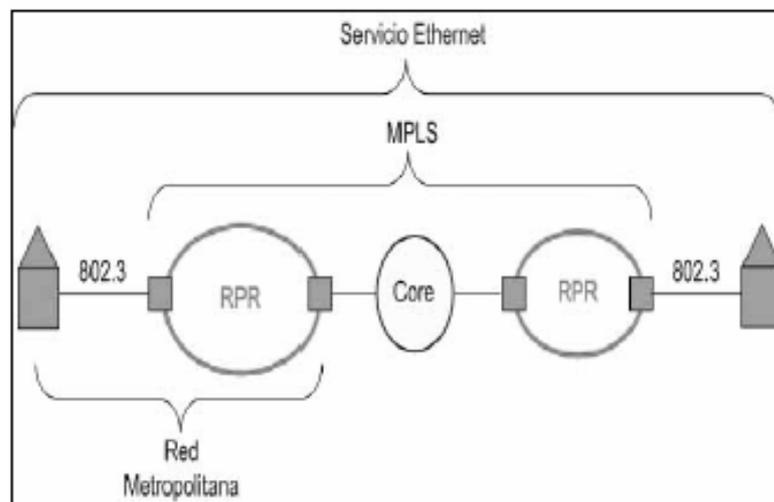


Figura 14 convergencia de servicios

La contribución de MPLS a QoS en las redes metropolitanas Ethernet se basa primordialmente en el manejo de sus etiquetas. La conmutación de etiquetas MPLS es una excelente herramienta para combatir la latencia y el jitter debido a la rapidez con la cual se logra analizar el destino en los paquetes procesados. Con esta simple operación se logra disminuir la latencia en la red, lo cual mejora en mucho el jitter final, no obstante ello, la conmutación de etiquetas no representa la solución real para aquellas aplicaciones sensibles al retardo. Si tenemos una conexión de bajo ancho de banda, MPLS no provee más ancho de banda, pero mejora de manera significativa los problemas de retardo inherente en las redes actuales.

Si reunimos las características más importantes que brinda MPLS metropolitano, se podrían resumir en las siguientes:

- Ingeniería de tráfico.
- VPN.
- Eficiente transporte de capa dos.
- Eliminación de múltiples capas.
- Transforma direcciones IP a etiquetas.
- Soporte para RSVP y protocolos de ruteo.
- Evita overhead.
- Incrementa la escalabilidad de redes y servicios.

No obstante dichas características, la demanda de nuevas aplicaciones plantea un reto cotidiano a MPLS, uno de ellos es cómo interoperar con DiffServ en el ambiente metropolitano.

### **3.3 DiffServ & MPLS**

DiffServ y MPLS resuelven gran parte de los problemas de QoS en las redes IP. DiffServ se apoya del campo Tipo de Servicio (ToS) clasificando los tráficos en diferentes clases en los nodos de ingreso al dominio DiffServ. MPLS realiza en cierta manera una clasificación similar a DiffServ, sólo que éste los clasifica y agrupa en FEC (Forwarding Equivalence Class) para garantizar QoS Ambos emplean etiquetas, en DiffServ son conocidas como DiffServ Code Point (DSCP) y etiqueta MPLS en ésta última.

La etiqueta MPLS determina la ruta que un paquete tomará, lo cual permite optimizar el ruteo dentro de una red. Además es factible aplicar la Ingeniería de Tráfico, la cual garantiza la asignación de circuitos virtuales con ciertas garantías de ancho de banda para igual número de etiquetas que lo requieran. Por otro lado, el valor DSCP determina el comportamiento de los nodos de acuerdo a esquemas de colas (Queuing).

Al emplear esquemas de Calidad de Servicio metropolitano con DiffServ y MPLS, es muy importante tener en cuenta un adecuado esquema de colas<sup>10</sup>. El seleccionar erróneamente uno de estos esquemas, podría ser la causa principal de bajo desempeño en nuestras aplicaciones sensibles a retardo.

Los esquemas de colas son parte importante al seleccionar alguno de los dos protocolos en mención. Su adecuada selección permitirá aprovechar al máximo las habilidades ya expuestas. En un futuro no muy lejano, los esquemas de QoS serán más demandantes y deberán ser mejor definidos. La ingeniería de tráfico dejará de ser opcional debido al crecimiento desmedido de Internet, lo cual provocará que MPLS sea redefinida y extendida para cubrir nuevos requerimientos de QoS en lugar de crear nuevos y complejos protocolos. Muestra de este avance en MPLS es su inserción en las redes ópticas. Multiprotocol Lambda Switching (MP $\lambda$ S) o Generalizad Multiprotocol Label Switching (GMPLS) están resultando ser la solución que faltaba para integrar los beneficios de la conmutación de etiquetas a conmutación de Lambdas, permitiendo integrar muchas de las características deseables aún no muy bien soportadas en redes de conmutación de paquetes: la capacidad de integrar redes de conmutación de circuitos en redes de paquetes, logrando con ello la deseada interoperatividad de redes y servicios como se observa en la figura 15

---

<sup>10</sup> W. Sun and K. Shin, "End-to-End Delay Bounds for Traffic Aggregates under Guaranteed-Rate Scheduling Algorithms," University of Michigan, 2003.

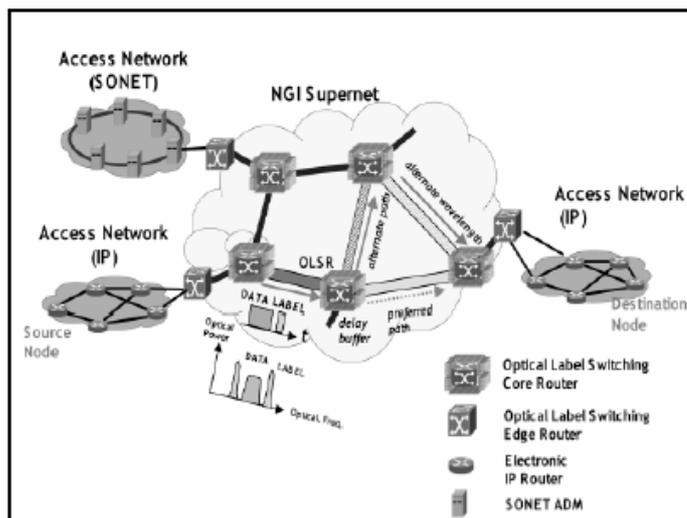


Figura 15 interoperatividad de redes y servicios

Aún no contamos con la solución final para entregar Calidad de Servicio en redes metropolitanas Ethernet, mucho menos cuando integramos un punto de acceso 802.3 a redes ópticas como las mencionadas. No obstante ello, sí tenemos la capacidad de planificar y diseñar algoritmos en simuladores de redes con la firme y seria intención de acercarnos cada día a una red metropolitana convergente Ethernet, sin confiarnos por disponer de anchos de banda del orden de los 10 Gbps. Consideramos que MPLS y sus adecuaciones continuarán siendo la forma más ideal para mejorar el desempeño de las redes, sin olvidar una adecuada selección de colas de acuerdo a los tráficos esperados.

## 2.4 Calidad De Servicio En Frame Relay

Para seguir el ritmo de las nuevas fuerzas directrices del mercado, la tecnología Frame Relay está evolucionando hacia la provisión de calidad de servicio (Quality of Service –QoS–). El objetivo no es otro que proporcionar a los operadores un medio para ofrecer servicios diferenciados específicos para ciertas aplicaciones a diferentes precios, como Frame Relay para LAN, Internet, intranet, SNA y voz.

Las nuevas QoS que permiten servicios Frame Relay avanzados incluyen:

- Real Time Variable Frame Rate (velocidad de trama variable en tiempo real). Garantiza un cierto nivel de ancho de banda, bajo retardo, variación de retardo y pérdida de tramas. Permite a los usuarios definir acuerdos de nivel de servicio (SLA) con características específicas de entrega para tráfico sensible a los retardos.
- Non-Real Time Variable Frame Rate (velocidad de trama variable en tiempo real). Permite asegurar un cierto ancho de banda, un retardo moderado y una baja pérdida de tramas. Hace posible proporcionar servicios de LAN a LAN y de acceso a Internet/intranet para empresas.
- Available/Unspecified Frame Rate (velocidad de trama disponible/sin especificar). Garantiza el mejor servicio posible utilizando cualquier ancho de banda disponible. Permite correo electrónico, transferencia de archivos y servicios de acceso a Internet para el segmento residencial.

Ofrecer estas nuevas clases de servicio supone el fin de la oferta Frame Relay convencional que se limitaba a garantizar un cierto CIR (Committed Information Rate). Los operadores se están dando cuenta de que lo que realmente desean los clientes es poder elegir entre diversas opciones el nivel de servicio que mejor se adapta a sus necesidades.

Como respuesta, los operadores están reestructurando sus ofertas con servicios específicos dirigidos a tareas concretas como interconexión SNA y voz sobre datos, entre otros, comercializándolos en función de los problemas que resuelven. Estas nuevas posibilidades amplían el mercado y permiten a los operadores crear una amplia gama de paquetes que responda mejor a la forma en que los clientes desean consumir los servicios.

## **2.5 CLASES DE SERVICIOS ATM**

La característica orientada a la conexión de ATM es uno más de los aspectos diferenciadores con otras tecnologías claramente implantadas como las redes IP. El hecho de ser una tecnología orientada a conexión hace que las transferencias se

realicen a través de circuitos virtuales (VPI/VCI) establecidos extremo – a extremo, y los cuáles se mantienen abiertos durante todo el tiempo que dura la comunicación. Estos circuitos virtuales son creados en la fase de establecimiento de la conexión que es cuando el usuario de la red puede especificar los parámetros de tráfico que va a generar, o los recursos de red que va a requerir. Así, el usuario negocia la calidad del servicio que espera recibir, de forma que la propia red dispone de mecanismos de gestión de recursos como la función CAC (Control de Admisión de la Comunicación), y como la función UPC (Control de Parámetros de Uso). La función CAC, usada para la negociación de la conexión, actúa a modo de control de flujo impidiendo la entrada de usuarios para los que la red no dispone de recursos, y evitar la sobrecarga de ésta. La función UPC se encarga de velar, durante la comunicación, por el buen cumplimiento del contrato de tráfico que los usuarios han negociado con la función CAC en el establecimiento de la conexión. La tecnología *ATM* fue diseñada y desarrollada para soportar e integrar varias clases de servicio como los datos y la información multimedia, generada o no, en tiempo real.

Una conexión es establecida como resultado de la negociación entre el usuario y la red donde se estipula la Clase de Servicio (CoS) a adoptar. La clase de servicio es definida por los parámetros de tráfico de la conexión y por sus parámetros de Calidad de Servicio (QoS). La ITU-T ha propuesto [3,4] varias CoS, definidas como ATC (ATM Transfer Capability), en función de las capacidades de transferencia de información ATM. Cada ATC especifica un conjunto de parámetros y procedimientos de capa ATM para sustentar un modelo de servicio y un conjunto de valores de QoS asociados. Cada ATC es especificada en términos de un modelo de servicio, un descriptor de tráfico, unos procedimientos específicos, una definición de conformidad y los compromisos de QoS demandados por cada conexión, los cuáles la red se compromete a cumplir. Así, ITU-T propone las siguientes ATC:

- **DBR (Deterministic Bit Rate).** La velocidad de conexión en la fuente es constante y la tolerancia CDV (Cell Delay Variation) es reducida. Esta clase

de servicio se emplea en aplicaciones de tiempo real, voz, audio y vídeo. La capacidad de transferencia determinística está pensada para tráfico CBR (Constant Bit Rate) y, por tanto, para responder a compromisos de QoS en términos de pérdidas de células, retardo de transferencia de células y variación del retardo adaptados a CBR. De todos modos, DBR no se limita exclusivamente a aplicaciones CBR y puede usarse en combinación con requisitos de QoS menos rigurosos.

- · **SBR (Statistic Bit Rate)**. En este caso la velocidad de conexión es variable y hasta esporádica, y la tolerancia CDV puede ser elevada. La capacidad de transferencia de velocidad binaria estadística usa velocidad de células sostenible y la tolerancia propia de las ráfagas y también la velocidad de células de cresta. SBR es adecuada para aplicaciones en las que existe un conocimiento anterior a las características de tráfico. La QoS se expresa en términos de tasas de pérdidas.
  
- · **ABR (Available Bit Rate)**. Es una clase de servicio especialmente adaptada a los servicios de datos. La velocidad instantánea varía entre un valor máximo PCR (Peak Cell Rate) y un mínimo MCR (Minimum Cell Rate). Cuando la red no dispone de los recursos necesarios se activa un control de flujo para reducir la velocidad de la fuente pero sin caer por debajo del valor MCR que debe estar garantizado. Esta capacidad de transferencia de velocidad binaria disponible está pensada para aplicaciones elásticas en tiempo no real que sean capaces de adaptarse a la anchura de banda instantánea disponible en la red. ABR emplea parámetros estáticos declarados al establecerse la conexión, y parámetros dinámicos renegociables mediante procedimientos de gestión de recursos basados en células RM (Resource Management). El usuario interroga regularmente a la red sobre la anchura de banda disponible en ese momento enviando células RM que transmitan a la red la velocidad solicitada. Existen dos modos de funcionamiento, el de velocidad de células explícita y el modo binario.

- · **ABT (ATM Block Transfer).** Transferencia de bloques ATM es una capacidad destinada a las aplicaciones que pueden adaptar bloque a bloque su velocidad pico de células. Un bloque ATM es un grupo de células delimitado por células RM. ABT emplea parámetros estáticos declarados al establecer la conexión, y parámetros dinámicos renegociables en bloques ATM mediante procedimientos de gestión de recursos usando células RM. Existen dos variantes de transferencia ABT. En ABT/DT (Transmisión retardada), la fuente sólo empezará a transmitir un bloque ATM cuando haya recibido un acuse de recibo positivo de la red a través de una célula RM. En la versión de transmisión inmediata, ABT/IT, la fuente inicia la transmisión de las células de usuario después de la célula RM de petición, y la transferencia del bloque ATM sólo se realiza si la red dispone de los recursos solicitados para ese bloque. Si no dispone de recursos, el bloque será descartado. En las dos versiones de ABT la petición de BCR (Block Cell Rate) puede ser elástica, por lo que la red puede decidir seleccionar una BCR menor que la solicitada por la fuente.

A las cuatro anteriores, y ya clásicas ATC normalizadas en la Rec. I.371, se ha añadido una nueva propuesta como CCT (Controlled Cell Transfer), denominada después CT (Controlled Transfer), desarrollada para soportar servicios de LAN. CT aporta la posibilidad de que todas las ventajas de la red ATM, como la QoS y la integración de aplicaciones puedan ser extractadas. Esta clase de servicio se apoya en un mecanismo de control de flujo basado en créditos y en el empleo de VP y VC. Para el nivel VP el control de flujo se realiza por medio de un clásico mecanismo de ventana variable.

En el nivel VC el control de flujo empleado es el de mensajes BECN (Backward Explicit Congestion Notification). En ambos casos de control de flujo se emplean las células RM para ofrecer realimentación con el emisor. Deben especificarse las direcciones de flujo ya que un nodo puede actuar como emisor y como receptor. La dirección de control de las células RM va siempre desde el receptor al emisor en el

caso punto-punto y, en el caso punto-multipunto, la dirección va desde las hojas hasta la raíz. Como no todos los nodos pueden soportar CT, se permite el uso de túneles DBR para unir los puntos en que CT no esté soportado.

Es necesaria la existencia de métodos y capacidades por las cuáles el tráfico de MAN y LAN pueda ser llevado eficientemente a través de redes ATM evitando la formación de islas. Una forma de conseguir esto es disponer de una capacidad de transferencia que sea capaz de ofrecer un servicio de LAN sobre área extensa. Para ofrecer servicios tipo LAN deben cubrirse los requerimientos de LAN habituales como que éstas operan sobre enlaces dedicados de baja latencia y con transferencias de mensajes de longitud variable. La comunicación entre nodos de una LAN es a ráfagas y se producen pocos errores por los mecanismos de control empleados en los protocolos, por lo que se esperan pérdidas mínimas. Pues bien, trasladar todos estos requerimientos en ATM sobre WAN implica la existencia de la capacidad de soportar conexiones permanentes y semipermanentes, manipular las ráfagas de datos amigablemente y ofrecer soporte para entrega de mensajes de longitud variable con bajo retardo. El retardo extremo-extremo en WAN limita la efectividad de las retransmisiones para corregir las pérdidas.

Una aplicación importante para CT es el soporte de conexiones multipunto en LANs virtuales. Para esto lo que se requiere es la posibilidad de que la red ofrezca ancho de banda dinámicamente compartido y la conexión deberá tener garantía en el ancho de banda que se le asigne.

SBR y DBR no pueden compartir ancho de banda eficientemente, ya que si se está en una conexión multipunto-multipunto (mp-mp) no se puede controlar el acceso a la conexión por parte de clientes individuales. DBR y SBR sólo permiten asignar ciertos ratios por cada acceso de cliente, pero si sólo transmiten unos pocos clientes, la conexión puede estar siendo usada a medias. Por otro lado, ABR no garantiza el ancho de banda y realiza, además, un excesivo control. CT sin embargo, permite compartir eficientemente los recursos de red y puede garantizar el ancho de banda.

La ITU-T, propone una sexta ATC llamada GFR (Guaranteed Frame Rate) que es también estandarizada por el ATM Forum. GFR, como CT, surge porque bastantes aplicaciones no se caracterizan adecuadamente con las ATC existentes. Esto fuerza a que bastantes de estas aplicaciones sean caracterizadas por las clases de servicios DBR, SBR, ABR o ABT, cuando tienen sus propios parámetros de tráfico. Por ejemplo, la notificación de congestión TCP es implícita y basada en el descenso de paquetes, lo que no puede realizarse mediante la realimentación explícita propuesta en ABR. Otro ejemplo lo podemos encontrar cuando los extremos de la conexión ATM no coinciden con los extremos de la aplicación que está usando la red ATM, es decir, routers que interconectan LANs sobre ATM. Ante esta situación se propone una nueva ATC para aplicaciones que necesitan organizar las células en tramas que son delineadas en la capa AAL. Algunas de estas aplicaciones pueden beneficiarse de una mínima velocidad de tramas garantizada. GFR está pensada para soportar aplicaciones de tiempo no-real con parámetros de tráfico como PCR (Peak Cell Rate), MCR (Minimum Cell Rate), MBS (Maximum Burst Size) y MFS (Maximum Frame Size). La red puede tirar tramas y la QoS no se especifica, aunque existen dos variantes de GFR:

- GFR1, donde la red transporta el bit CLP de forma transparente para las tramas, lo que consiste en que todas las células llevan los bits CLP = 1 ó CLP = 0. La red no puede aplicar etiquetado a las tramas.
- GFR2, donde la red puede etiquetar las tramas marcando todas las células de una trama que no pueden pasar el test del algoritmo F-GCRA (Frame-based Generic Cell Rate Algorithm). Esto indica que el bit CLP viaja por la red de forma no transparente y puede ser usado en las situaciones de congestión para rechazar tramas.

La recomendación I.362 especifica una serie de 4 clases de servicio (A, B, C y D) generales relacionadas con servicios concretos. La *Tabla 1 muestra* algunas de las características de estas CoS.

**TABLA 1**  
CLASES DE SERVICIOS, SERVICIOS Y CARACTERISTICAS

	<b>Clase A</b>	<b>Clase B</b>	<b>Clase C</b>	<b>Clase D</b>
<b>Ejemplo de servicio</b>	Emulación de circuitos, voz y video a velocidad constante	Velocidad variable, voz y video comprimido	Servicios con conexión, transferencia de datos	Datagramas, transferencia de datos
<b>Relación con usuarios</b>	Sincronizada	Sincronizada	No Sincronizada	No Sincronizada
<b>Velocidad de acceso</b>	Constante	Variable	Variable	Variable
<b>Modo de conexión</b>	Orientada a conexión	Orientada a conexión	Orientada a conexión	Sin conexión

Además de las clases de servicio recomendadas por la ITU-T, el ATM Forum especifica un conjunto de categorías de servicio y, para cada una de ellas, se presenta un conjunto de parámetros que describen el tráfico existente en la red y la QoS que se requiere en ella para cada categoría de servicio.

Algunas de las categorías de servicio del ATM Forum son equivalentes a las capacidades de transferencia de ATM descritas por ITU-T en la Rec. I.371, aunque se usan diferentes nombres: CBR es llamada DBR por ITU-T y VBR se denomina como SBR. En general, la relación entre las categorías de servicio de ATM Forum y las capacidades de transferencia de ITU son:

- ATM Forum distingue entre rt-VBR y nrt-VBR, mientras la Rec. I.371 especifica non-real-time SBR y deja la real-time SBR para estudios futuros.
- La categoría de servicio VBR del ATM Forum no tiene equivalencia en las capacidades de transferencia de I.371.
- En I.371 se especifica parcialmente una capacidad de transferencia ATM llamada ABT que no tiene equivalencia en ATM Forum.
- ABR está completamente especificada por ATM Forum pero sólo lo está parcialmente para ITU-T que la mantiene bajo estudio.

- CT es sólo propuesta por la ITU-T como ATC de flujo controlado a través de créditos de retorno. El ATM-Forum mantiene la decisión de considerar sólo ABR como esquema de velocidad basado en control de flujo.
- Tanto ITU-T como ATM-Forum estandarizan GFR como una forma de dar servicio a aplicaciones que necesita transferir tramas.

A continuación se definen brevemente las cinco categorías de servicio enunciadas por el ATM Forum:

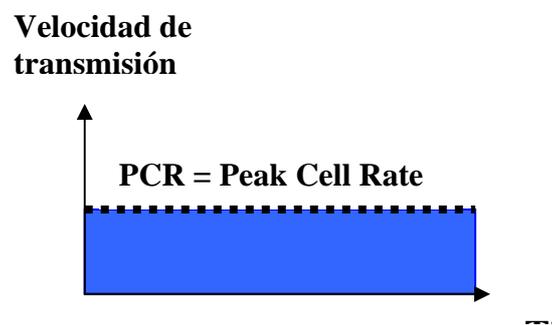


Figura 16

- **CBR (Constant Bit Rate):** Se emplea para las conexiones que solicitan un tamaño de ancho de banda estático que deberá estar completamente disponible para la aplicación durante todo el tiempo que dure la conexión. El tamaño del ancho de banda se caracteriza por el valor PCR (Peak Cell Ratio). Esta categoría de servicio puede emplearse, tanto para VPCs como para VCCs. El servicio CBR está pensado para soportar aplicaciones en tiempo real con pequeñas variaciones de retardo (voz, vídeo, emulación de circuitos) pero no queda únicamente restringida a estas aplicaciones.

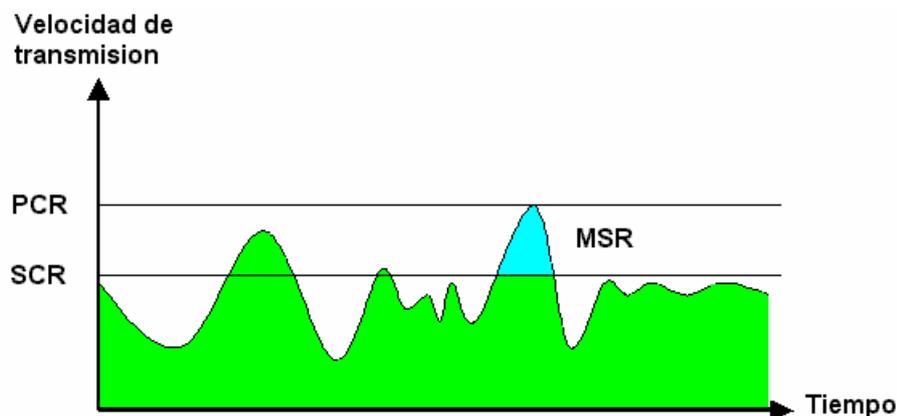


Figura 17

- **rt-VBR (real time-Variable Bit Rate)** pensada para aplicaciones de tiempo real que requieren mínimo retardo y mínimas variaciones de retardo, apropiadas para aplicaciones de voz y vídeo. Sus fuentes de información pueden entenderse como ráfagas y se espera que transmitan ratios distintos a lo largo del tiempo. Las conexiones de este tipo se caracterizan por los valores PCR, SCR (Sustainable Cell Rate) y MBS (Maximum Burst Size).
- **nrt-VBR (non-real-time-Variable Bit Rate)** pensada para aplicaciones sin requerimientos de tiempo real y con tráfico a ráfagas. La aplicación tiene un ratio bajo de pérdidas de células y no existen límites de retardo.

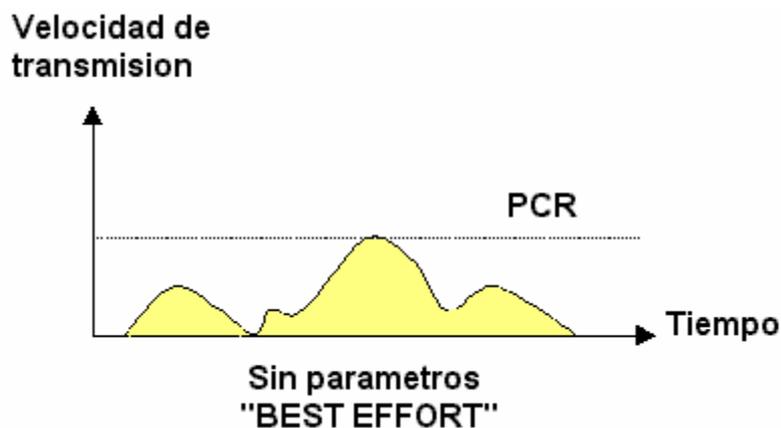


Figura 18

- **UBR (Unspecified Bit Rate)** pensada para aplicaciones sin necesidades de tiempo real ni de bajo retardo ni variaciones de retardo. Son aplicaciones típicas de esta categoría de servicio la transferencia de ficheros y el correo electrónico. Los servicios UBR no permiten especificar ninguna garantía de servicio a sus tráficos de información.

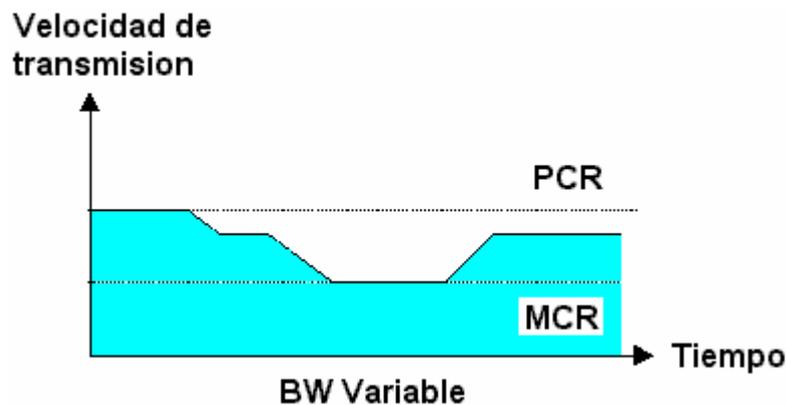


Figura 19

- **ABR (Available Bit Rate).** En esta categoría de servicio las características de la capa de transferencia ATM, que han sido ofrecidas por la red, pueden cambiar después de establecida la conexión. Se especifican mecanismos de control de flujo que soportan varios tipos de realimentación para controlar el ratio de la fuente en respuesta a los cambios de las características de transferencia de la capa ATM. La realimentación es convenida en la fuente a través de las células específicas de control llamadas RM. Se espera que un sistema final sea capaz de adaptar su tráfico según la realimentación, alcanzando así un bajo ratio de pérdidas y conseguir compartir justamente el ancho de banda de acuerdo a la política de asignación especificada. ABR no está pensada para soportar aplicaciones en tiempo real y por eso no requiere límite de retardo ni variaciones en el retardo. En el establecimiento de la conexión el sistema final especifica a la red el máximo ancho de banda que necesita (PCR) y el mínimo ancho de banda utilizable (MCR). El ancho de banda disponible en la red puede cambiar con el tiempo, pero no será menor al valor de MCR.

La *Tabla 2* muestra algunas de las características principales de las CoS definidas por el ATM-Forum.

**TABLA 2**  
CARACTERÍSTICAS DE LAS CLASES DE SERVICIOS ATM

<b>Características</b>	<b>CBR</b>	<b>RT-VBR</b>	<b>NRT-VBR</b>	<b>ABR</b>	<b>UBR</b>
<b>Ancho de Banda</b>	Si	SI	SI	Opcional	No
<b>Garantizado</b>					
<b>Adecuado para</b>	Si	SI	No	No	No
<b>trafico tiempo real</b>					
<b>Adecuado trafico</b>	No	No	Si	Si	Si
<b>a ráfagas</b>					
<b>Realimentación en</b>	No	No	No	Si	No
<b>congestión</b>					

## 2.6 PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO

Se puede definir la QoS como la habilidad para definir o predecir el rendimiento de una red y ofrecer mejores servicios a una CoS específica.

La QoS puede ser configurada con un elemento de red que incluya sistema de colas, planificación y caracterización del tráfico. Varias son las técnicas de señalización usadas para coordinar la QoS extremoextremo entre diferentes redes o elementos de una red. También es destacable el que los criterios de QoS son muy diferentes para cada uno de los tipos de tráfico posibles en ATM, por ejemplo, la QoS para el tráfico multimedia es muy diferente que para el tráfico de datos, voz o vídeo. Incluso, en el caso de tráfico de datos la QoS es diferente para las diversas clases de tráfico de datos. Además, los parámetros de QoS son dependientes del tipo de red: la QoS en una red local no es la misma que en una WAN, ni tampoco son iguales para una red fija o para una red inalámbrica.

En esta sección queremos centrarnos en los parámetros generales de QoS de la tecnología ATM, para pasar luego a particularizarlos en cada una de las CoS descritas en la sección anterior.

Tanto en el caso del tráfico de datos, como en el de las aplicaciones multimedia, la noción de QoS es muy importante y está definida como un conjunto de parámetros que representan las propiedades del tráfico. En general, existen los siguientes cuatro parámetros básicos de QoS:

- El rendimiento (throughput) es el parámetro más importante y especifica cuántos datos (máximo o en media) son transferidos a través de la red. En general, no es suficiente especificar el ratio en términos de bits por segundo, sino también en unidades de paquetes, ya que el esquema de calidad de servicio debe ser aplicable a varias redes y sistemas de propósito general.
- El parámetro retardo (delay) expresa el máximo retardo observado por una unidad de datos en una transmisión extremo-extremo.
- La variabilidad (jitter) expresa la variación experimentada entre retardos consecutivos durante la transmisión y procesamiento de datos. El jitter puede amortiguarse con técnicas de *buffering* en los receptores lo que, a su vez, incrementa el retardo extremo-extremo.
- Por otro lado, la fiabilidad (reliability) está referida a las pérdidas y corrupciones de datos durante las transferencias.

En realidad, estos cuatro parámetros de QoS aportan a ATM grandes ventajas con respecto a otras tecnologías, sin embargo, existen una extensa serie de parámetros que están directamente relacionados con la QoS. La *Tabla 3* muestra algunos de estos parámetros que se usan para caracterizar el tráfico que genera cada una de las fuentes, los cuáles están directamente relacionados con cada una de las CoS ya comentadas.

TABLA 3  
PARAMETROS DE TRAFICO Y DE QoS

PARAMETRO	SIGNIFICADO
<b>PCR</b> Peak Cell Rate	Máxima velocidad a la que se envían células
<b>SCR</b> Sustained Cell Rate	Velocidad media de células a largo plazo
<b>MCR</b> Minimum Cell Rate	Velocidad de células mínima
<b>CDVT</b> Cell Delay Variation Tolerance	Máxima fluctuación de retardo de células
<b>CLR</b> Cell Loss Ratio	Tasa de células perdidas o entregadas con retardo
<b>CTD</b> Cell Transfer Delay	Tiempo que tarda una célula en llegar extremo-extremo
<b>CDV</b> Cell Delay Variation	Variación entre los retardos de llegada de células
<b>CER</b> Cell Error Ratio	Porcentaje de células erróneas que llegan al destino
<b>SECBR</b> Severely-Errored Cell Block Ratio	Porcentaje de tramas que contienen células erróneas
<b>CMR</b> Cell Missinsertion Rate	Células entregadas a destino erróneo por errores en cabecera
<b>MBS</b> Maximum Burst Size	Máximo tamaño de ráfaga permitido
<b>MFS</b> Maximum Frame Size	Máximo tamaño de trama permitido
<b>IBT</b> Intrinsic Burst Tolerance	Tolerancia a la aparición de ráfagas
<b>ACR</b> Allowed Cell Rate	Velocidad máxima de células autorizada a la fuente
<b>ECR</b> Explicit Cell Rate	Velocidad máxima de células explícitas autorizada a la fuente
<b>BCR</b> Block Cell Rate	Velocidad pico de célula de bloques

## 2.7 RELACIONES CALIDAD DE SERVICIO Y CLASES DE SERVICIO ATM

En esta sección queremos realizar una exposición del resto de parámetros de QoS no comentados en el punto anterior, relacionándolos con cada una de las CoS de ATM.

Las categorías de servicio ATM suelen definirse en general usando los tres siguientes parámetros de QoS que se negocian entre los extremos de cada comunicación en el proceso de establecimiento de la conexión, que describen características de la red y se miden en los receptores:

- Máximo retardo en las transferencias de células (maxCTD), mide el tiempo medio de propagación de células entre el emisor y el receptor.
- Variación en el retardo de células pico-a-pico (peak-to-peak CDV o jitter), expresa la uniformidad con que el nodo emisor entrega las células al

receptor. Los retardos son debidos al tiempo de propagación, al de conmutación y a las congestiones de los conmutadores.

- Ratio de pérdida de células CLR (Cell Loss Ratio), mide la tasa de células perdidas por la red.

Por otro lado, los tres siguientes parámetros de QoS también especifican características de la red y no suelen ser negociables:

- CER (Cell Error Ratio), expresa la tasa de células que llegan al receptor con uno o más bits erróneos.
- SECBR (Severely Errored Cell Block Ratio), es un parámetro relacionado con la transferencia de paquetes que contienen un número  $n$  de células entre las cuales existe un número de  $x$  células con errores.
- CMR (Cell missinsertion Rate), mide el número de células por segundo que se entregan a destinatarios erróneos debido a errores producidos y no detectados en las cabeceras de las células.

Respecto a la anterior clasificación se han definido las siguientes clases de QoS para cada clase de servicio:

- QoS específica clase 1: Soporta QoS con requerimientos de Clase de servicio A. Está pensada para las actuales líneas digitales privadas.
- QoS específica clase 2: Para QoS de Clase de servicio B. Esta QoS está pensada para empaquetar vídeo y audio en aplicaciones de teleconferencia y multimedia.
- QoS específica clase 3: Para Clases de servicio C. QoS pensada para interconectar protocolos orientados a la conexión como Frame Relay.
- QoS específica clase 4: Para Clase de servicio D y pensada para protocolos no orientados a la conexión como IP y SMDS.

La *Tabla 4* muestra las relaciones entre las CoS de ITU-T y los diferentes parámetros de QoS. Cada  $X$  indica que un parámetro de tráfico es soportado por una CoS determinada. La tabla muestra también las CoS que emplean células RM

(Resource Management) como mecanismo de realimentación que genera células informativas en los dos sentidos de la comunicación para conocer el estado de la red.

**TABLA 4**  
**MAPEO ENTE CoS Y QoS**

Parametro	DBR	SBR	ABT	ABR	GFR	CT
<b>RM</b> s			X	X		X
<b>PCR</b>	X	X	X	X	X	X
<b>CDV</b>	X	X	X	X	X	X
<b>CLR</b>	X		X	X		X
<b>SCR</b>		X	X			
<b>MBS</b>		X			X	
<b>BCR</b>			X			
<b>MCR</b>				X	X	
<b>ECR</b>				X		
<b>ACR</b>				X		
<b>MFS</b>					X	
<b>IBT</b>					X	

## 2.8 Soporte de Calidad de Servicio en Internet sobre Redes ATM

Una de las principales propuestas que se contemplan a la hora de definir marcos integrados de provisión de QoS propone la utilización de IP sobre ATM, de manera que se aprovechen tanto el control sobre los parámetros de QoS que proporciona ATM, como la gran expansión y conectividad de que goza IP.

Para proveer una mejor QoS se debería implementar como base tecnológica una versión mas avanzada de IP como es el caso de IPv6 junto con ATM.

En general, la utilización del protocolo IP sobre redes ATM es ciertamente compleja, debido a las importantes diferencias de diseño que existen entre ambos.

La naturaleza orientada a conexión de las redes ATM no constituye el entorno ideal para un protocolo no orientado a conexión como IP.

Habitualmente, la configuración de las redes ATM, tanto en entornos WAN como en redes de acceso basadas en tecnologías xDSL (sus dos ámbitos tradicionales), es estática, basada en el uso exclusivo de circuitos permanentes (PVC) preconfigurados. El uso de PVC simplifica significativamente la utilización conjunta de IP y ATM. Sin embargo, tiene importantes inconvenientes como no permite la realización de reservas de QoS dinámicas –que deben traducirse en el establecimiento dinámico de circuitos ATM (SVC)–, ni el aprovechamiento del servicio multipunto ATM para soportar tráfico multicast IP.

Las soluciones basadas en SVCs tienen como contrapartida una mayor complejidad, debido principalmente al importante número de circuitos ATM a gestionar, lo cual redundaba en una mayor dificultad de implementación y problemas de escalabilidad.

## 2.9 IPv6 sobre ATM

La solución inicial planteada para llevar datagramas IP sobre SVC se especificó siguiendo el modelo clásico de IP, que se basa en definir cómo un datagrama IP viaja sobre una determinada subred. Dicha solución, denominada CLIP (*Classical IP over ATM*), engloba dos entidades: el servidor de ATMARP<sup>11</sup> y el servidor MARS<sup>12</sup> (*Multicast Address Resolution Server*).

El primero se encarga de la resolución de direcciones IP a ATM. Esta función, que se resuelve de una forma sencilla en las redes locales utilizando sus mecanismos de difusión, ha de realizarse de forma centralizada en ATM. Todos los clientes mantienen una conexión con el servidor, y a él dirigen sus preguntas cuando necesitan obtener la dirección ATM que corresponde a una determinada dirección IP.

---

<sup>11</sup> M. Laubach, "Classical IP and ARP over ATM", RFC 1577, January 1994.

<sup>12</sup> G. Armitage, "Support for Multicast over UNI 3.0/3.1 based ATM Networks.", RFC 2022, November 1996.

El segundo –servidor MARS– se encarga de la gestión de los grupos multicast. A diferencia de lo que sucede en las redes locales, la correspondencia directa entre direcciones IP multicast y direcciones ATM no es posible, puesto que en ATM no existen direcciones multicast asignables dinámicamente. La solución pasa por gestionar la correspondencia entre direcciones IP multicast y el conjunto de las direcciones ATM de los clientes que en cada momento desean recibir el tráfico dirigido a dicha dirección de grupo. Ésta es precisamente la función del servidor de MARS.

A la hora de enviar tráfico multicast, el estándar MARS define dos posibles escenarios. El centralizado está basado en la existencia de un servidor de multicast (*MultiCast Server*, MCS), y todos los emisores que envían tráfico a un grupo multicast establecen una conexión con una misma máquina, que es raíz de un único circuito multipunto compartido hacia los miembros del grupo. El segundo escenario es el distribuido (*VC mesh*), donde cada emisor realiza una consulta al servidor de MARS para obtener las direcciones ATM de los miembros del grupo, abriendo posteriormente un circuito multipunto directamente con ellos.

En el caso de la nueva versión del protocolo IP -IPv6-, la solución planteada para su funcionamiento sobre ATM es similar. Sin embargo, existen algunos cambios de importancia. El modelo empleado para la resolución de direcciones en IPv6 –basado en el protocolo *Neighbour Discovery (ND)*– se ha definido de forma genérica, independiente de subred, y se ha obligado a que toda subred ofrezca servicio de multicast. La consecuencia es que en IPv6 no es necesaria la existencia del servidor de ATMARP, utilizando un solo protocolo, ND, para resolver direcciones de cualquier tipo de subred (a diferencia de lo que sucede en IPv4 con la utilización de dos protocolos: ARP para redes locales y ATMARP para ATM). Sin embargo, esta solución implica la obligatoriedad de soportar multicast, que se plantea como opcional en IPv4.

## **2.10 QoS en redes móviles de cuarta generación**

Esta nueva arquitectura basada en conmutación de paquetes, requiere la incorporación de técnicas que soporten mecanismos de calidad de servicio (QoS), movilidad, seguridad y contabilidad basados en IP. Este apartado se centra en la descripción de soluciones basadas en QoS y en su interacción con los módulos de AAA (Autorización, Autenticación y Accounting) y movilidad.

### **Descripción de la Arquitectura de Red**

La principal característica de las propuestas de redes móviles 4G es la utilización de tecnologías IP en el núcleo y en las redes de acceso, para soportar todos los servicios. Mientras en redes 3G coexistirá un núcleo IP para la red de datos con otro núcleo basado en conmutación de circuitos para la prestación de servicios de voz, en las redes 4G sólo existirá un núcleo IP sobre el que se transportará todo el tráfico.

Una de las características deseables en las redes 4G sería que el núcleo fuese IPv6, con lo que quedarían resueltos problemas como el espacio de direcciones, vital para el despliegue de una nueva red donde sería deseable el uso de direcciones públicas, igualmente dispondríamos de Mobile IP, así como de posibilidades Multihoming. Concretamente el escenario implementado dentro del proyecto Mobydick es IPv6 nativo.

Existen diferentes tecnologías de acceso que aparecerán en un escenario 4G. No se trata de tecnologías complementarias, de manera que todas podrán coexistir, y en función de las necesidades del cliente podrá optar por alguna de las siguientes:

- WCDMA (UMTS): se trataría del medio de acceso más caro (infraestructura y consumo del terminal) pero con mayor capacidad de movilidad. En un principio ofrecería un ancho de banda algo reducido comparándolo con el

resto de tecnologías, pero proporciona una cobertura y movilidad prácticamente ilimitadas.

- Wireless LAN 802.11: la cobertura vendría limitada por la situación de los puntos de acceso. De manera que resulta adecuada para cubrir determinadas zonas (aeropuertos, salas de reunión), de forma barata y con un ancho de banda considerable.
- Ethernet: con esta tecnología perdemos toda movilidad, pero podemos alcanzar el mayor ancho de banda. Resulta adecuado para zonas de acceso bien identificadas (zonas de reunión, laboratorios de trabajo) con grandes requisitos de ancho de banda.

En la figura 1 se representan los elementos funcionales de los que se compone una red 4G.

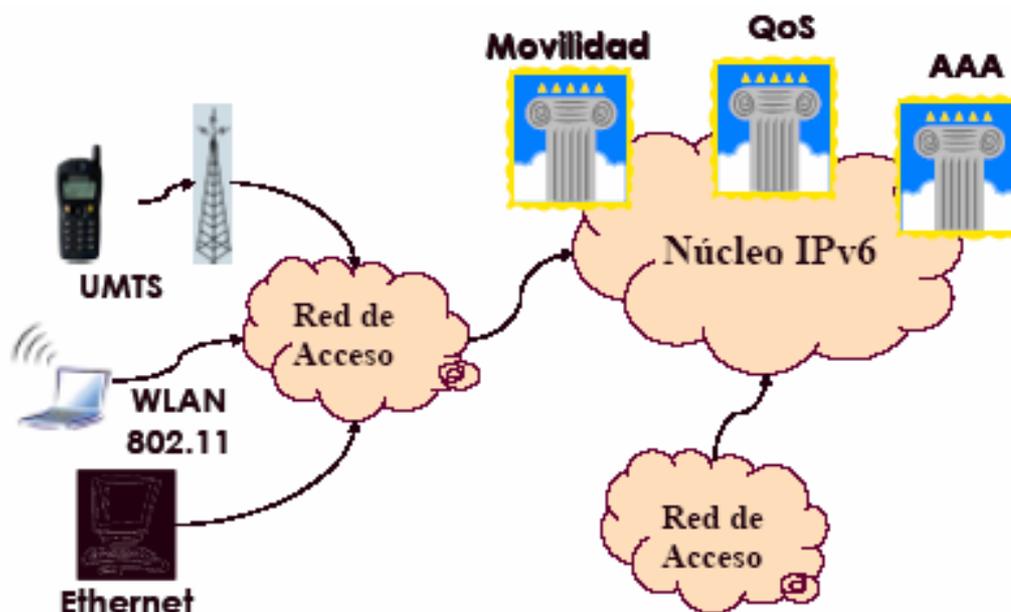


Figura Arquitectura de red de 4ª generación

### 2.10.1 Soporte de QoS en redes 4G

Existen diferentes iniciativas para proporcionar QoS en una red IP. El IETF divide sus esfuerzos en dos grupos Intserv y Diffserv. La implementación de la tecnología Intserv presenta problemas de escalabilidad. La tendencia es el uso de Diffserv en el núcleo combinado con Intserv como solución en la red de acceso.

Como los principales problemas de recursos aparecen normalmente en la red de acceso, y dado que sobredimensionar el núcleo es relativamente sencillo y barato, el uso combinado de Intserv y Diffserv en el acceso y núcleo respectivamente proporciona un buen compromiso entre coste y eficiencia. Sin embargo esta solución como técnica de QoS presenta algunas limitaciones:

- En Diffserv, al no existir una reserva extremo a extremo, la QoS no está garantizada al 100%. Lo más que podremos alcanzar es una alta probabilidad de obtener el nivel de calidad de servicio deseado, si bien un buen dimensionado de la capa de transporte asegurará un buen servicio.
- Las reservas realizadas por el usuario se traducirán en un código (DSCP<sup>13</sup>) presente en los paquetes que éste envíe, que determinará el tratamiento de nuestro tráfico. El número de códigos es limitado y será el proveedor el encargado de definir éstos así como su implementación. Aparece entonces la posibilidad de que un mismo código DSCP no tenga el mismo significado para diferentes proveedores de servicio, de manera que la calidad de servicio final vendrá determinada por la relación entre los diferentes proveedores que se atraviesen.

---

<sup>13</sup> K. Nichols, S. Blake, F. Baker, D. Black. "Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers", RFC 2474, December 1998.

### **2.10.2 Interacción QoS-AAA**

Como hemos visto, los sistemas QoS priorizan unos paquetes sobre otros, es decir dan prioridad al tráfico de unos usuarios sobre otros, usuarios que, por tanto, necesitarán controlar. Por otra parte, los sistemas AAA de control de usuarios deben tener muy en cuenta la QoS ya que ésta es un atributo fundamental para diferenciar los servicios ofrecidos. La mejor solución es especializar a los sistemas QoS en el control de recursos de la red y a los sistemas AAA en el control de usuarios, y definir la necesaria interacción entre ambos tipos de sistemas.

La interacción entre AAA y QoS se puede realizar por distintos motivos, pero al menos se requiere en dos casos: cuando el usuario se registra en la red, tal y como se ha indicado en el proceso de registro, y cuando la abandona (o es expulsado por falta de crédito).

### **2.10.3 Interacción QoS-Movilidad**

La movilidad del usuario implica ciertas restricciones al sistema de QoS, además de forzar la transmisión del perfil de usuario a los componentes AAA y QoS del nuevo dominio.

En primer lugar, ante una petición de handover, es necesario comprobar si dispondremos de recursos suficientes en la nueva red de acceso, para ello es necesaria una negociación entre QoSBrokers. Por otro lado, la petición de handover puede implicar un retardo excesivo que incumpla las condiciones QoS que teníamos contratadas para el tráfico. En consecuencia, será necesario realizar un estudio sobre técnicas de Fast Handovers<sup>14</sup> para caracterizar un handover en cuestión de QoS. Las técnicas de Fast Handover tratan de mejorar el tiempo de transición duplicando la conexión durante el breve periodo que dura el handover. Cuando se detecta que el nivel de señal disminuye notablemente antes de realizar

---

<sup>14</sup> G. Dommetty, ed. "Fast Handovers in Mobile IPv6", Internet Draft, work in progress,

el handover, se configura adecuadamente el enlace final, de manera que no se cancela la conexión inicial hasta que se comienza a transmitir por la nueva. Durante un breve periodo de tiempo tenemos una conexión doble, de forma que recibimos la información por ambos canales.

Por otro lado es necesario tener en cuenta que ante un handover debemos transmitir parte del perfil de usuario a los nuevos elementos de red para poder seguir manejando y tarifando el tráfico generado por el usuario de forma adecuada.

## **2.11 QoS en Redes Adhoc**

La llegada de nuevas aplicaciones multimedia, o aplicaciones de gestión con ciertos requisitos en cuanto a ancho de banda o retardo, han conseguido que desde hace algunos años la provisión de cierto nivel de calidad de servicio en la red sea un objetivo de vital importancia. Sin embargo este problema lleva siendo estudiado largo tiempo, y han surgido diferentes iniciativas para resolverlo. Desde el IETF, dos grupos de trabajo han dado diferentes frutos: Intserv y Diffserv.

Las redes móviles ad-hoc, debido a sus especiales características, hacen que la provisión de QoS sea un tema especialmente complicado. En la actualidad diferentes iniciativas han surgido dentro del propio grupo de trabajo sobre redes ad-hoc del IETF<sup>15</sup>, sin embargo ninguno de ellos presenta especiales ventajas sobre los demás.

En primer lugar es necesario tener en cuenta las principales características que presentan las redes ad-hoc a la hora de proveer QoS. Principalmente la topología dinámica, que modifica los nodos vecinos constantemente, así como el estado de los enlaces, modificando de esta forma el ancho de banda disponibles, así como el

---

<sup>15</sup> <http://www.ietf.org/html.charters/manetcharter.html>, manet@ietf.org

retardo presente en los enlaces, conducen a que la provisión de QoS sea poco menos que una locura en este tipo de redes. En consecuencia, muchas de las iniciativas que comentaremos se basarán en la suposición de cierto estacionamiento entre los nodos de la red, pudiendo distinguir entre nodos con gran movilidad, y otros con menor movilidad.

### **2.11.1 Modelo de QoS**

En el mundo Internet las propuestas de QoS con mayor impacto son las estudiadas por el IETF a través de dos grupos de trabajo: Intserv y Diffserv. La principal idea de la solución Intserv es la reserva de recursos en la red por flujos. La reserva se realiza para cada flujo entre fuente y destino, indicando los recursos que resultarán necesarios (ancho de banda, retardo, jitter, etc.). Para la provisión del servicio cada router del núcleo de la red debe mantener una tabla con el estado de reserva por flujo. La principal limitación de este modelo es la gran cantidad de información que es necesario almacenar en cada nodo intermedio, lo cual hace que la solución no sea escalable a situaciones comunes con gran cantidad de flujos entre usuarios finales.

Por otro lado la solución Diffserv propone la agregación de flujos para la provisión de calidad de servicio, solucionando de esta forma los problemas de escalabilidad de Intserv. Diffserv define un campo Diffserv Code Point (DSCP) asociado a la cabecera IP (ya sea IPv4 o IPv6), de manera que el tratamiento de este tráfico en los nodos intermedios de la red vendrá determinado por el valor asociado a este campo. De esta forma se logra la agregación de flujos, consiguiendo un tratamiento especial para cada servicio en función del código DSCP.

### **2.11.2 Señalización para la reserva de QoS**

El mecanismo de señalización será el encargado de realizar la reserva y liberación de recursos en la red, así como el establecimiento de flujos en la red. Los diversos mecanismos de señalización se dividen entre aquellos que incorporan la

información de control dentro de los paquetes de datos, y los que utilizan mensajes expresos de control.

Uno de los mecanismos de señalización más extendidos es el protocolo RSVP<sup>16</sup>, definido por el IETF. Se trata de un mecanismo fuera de banda, outof-band signalling, que permite la reserva de recursos de red extremo a extremo para tráfico unicast y multicast. Se basa en la utilización de dos mensajes PATH y RESV que recorren el camino estableciendo una reserva en los nodos intermedios. Sin embargo este mecanismo de señalización podría no resultar muy adecuado para una red móvil ad-hoc debido a la excesiva sobrecarga del protocolo y a la falta de adaptación a la topología dinámica.

---

<sup>16</sup> R. Braden et al., "Integrated Services in the Internet Architecture – an Overview", IETF RFC 1663, June 1994

# 3

## ANÁLISIS DE ANCHO DE BANDA PARA UNA MEJOR PRESTACIÓN DEL SERVICIO

---

La banda ancha es un factor clave tanto en los aspectos de prosperidad económica y bienestar social, como en la competitividad y creación de empleo. Por esta razón es importante realizar un análisis que permita a los Proveedores de servicio una mejor prestación de este.

Para una mejor prestación de servicio con banda ancha a los usuarios, es conveniente que los operadores tengan planteado un modelo de negocio que le permita evolucionar en el mundo de las telecomunicaciones, en este capítulo se resaltan algunas comparaciones con países que en la actualidad son potencias en lo referente a la banda ancha, y muestran algunos modelos de negocios que pueden servir de referencia para el sostenimiento económico a mediano y largo plazo de operadores de banda ancha.

### **3.1 El valor de la banda ancha.**

Los operadores evolucionarán desde una pura prestación de servicios de conectividad a un posicionamiento en contenidos y aplicaciones de banda ancha. Esta evolución se plantea con disminución de precios, retener a los clientes y aumentar el valor del servicio. Algunas compañías pueden aprovechar su posición de fortaleza en contenidos y aplicaciones para convertirse en operadores de telecomunicaciones de banda ancha.

Los modelos de negocio pasarán de una oferta de acceso a Internet, a la oferta dual-play: banda ancha y voz, posibilitada por la tecnología VoIP y/o una oferta triple-play, que añade una oferta de televisión. Esta situación genera simultáneamente una posibilidad de incremento de mercado para los operadores establecidos, y de pérdida de su negocio tradicional de voz.

La oferta triple-play de los operadores de cable, que constituía la gran ventaja diferencial en sus modelos de negocio, se verá replicada por otros agentes que precisan menos recursos para llegar a los usuarios. La capacidad para incorporar clientes que se suscriban a más de un servicio (voz + banda ancha + TV) se constituye en el factor de éxito.

El modelo de negocio basado en la desagregación de bucle (Véase en anexo 1), combinado con una oferta dual o triple-play se configura como el modelo más atractivo para los operadores entrantes a corto plazo. A medio plazo, las nuevas tecnologías (UMTS, WMAN, PLC, TDT) están llamadas a jugar un papel relevante.

El crecimiento y desarrollo de los negocios de banda ancha se tienen que generar por ofertas de claro valor y utilidad para los potenciales clientes, junto con márgenes atractivos para los agentes del mercado. Estas condiciones deben garantizar la sostenibilidad de los modelos de negocio de banda ancha a medio y largo plazo.

La VoIP se considera actualmente un servicio sobre la banda ancha. Ningún país del mundo (con la excepción de Finlandia) lo considera un producto sustitutivo de la telefonía tradicional, y por tanto sujeto a sus exigencias (calidad, números de emergencia, numeración geográfica, servicio universal,...). Una revisión de este planteamiento tendría sin duda una incidencia muy importante en los modelos de negocio que se están poniendo en marcha.

Las acciones de alfabetización digital, la incorporación de las nuevas tecnologías en el proceso educativo y la administración electrónica deben constituirse en las prioridades del ministerio de telecomunicaciones para impulsar el desarrollo de la banda ancha en Colombia.

Por último, debemos destacar que la banda ancha posee un valor añadido que trasciende el sector de las telecomunicaciones. La banda ancha promueve un beneficio inherente al cambio en el modo de consumo y uso de información, así como en el tipo de contenidos accesibles. La utilidad de la banda ancha reside en facilitar acceso a nuevos contenidos y aplicaciones.

### **3.1.1 Corea del Sur: caso de éxito**

Corea del Sur con una penetración de Internet a comienzos de 2004 del 62% y la mayor penetración de banda ancha del mundo. Cuando se observa la evolución de la penetración de los servicios de banda ancha en el mundo, mostrada en la figura 20, llama la atención su alta penetración en Corea, en contraste con países como los europeos o aun los Estados Unidos, en los cuales la penetración recientemente se está dando. Sin duda el ingreso per cápita es un factor importante a considerar, pero Corea del Sur no encabeza la lista de países con ingreso elevado, de hecho está clasificado como un país de ingreso medio alto, según el Banco Mundial<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> <http://www.worldbank.org/data/countryclass/classgroups.htm>

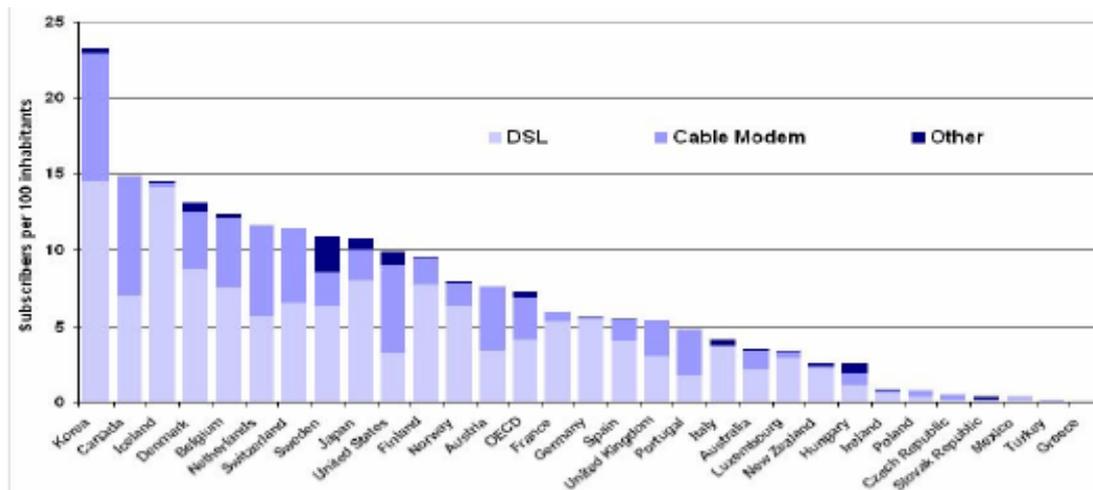


Figura 20. Penetración global de banda ancha a Diciembre de 2003. Usuarios por cada 100 habitantes

Otra posible causa de este comportamiento es la tarifa del servicio. En efecto así es, la tarifa de acceso banda ancha es de las más bajas del mundo<sup>18</sup>.

En la figura 21 se observa que Korea Telecom (KT), operador establecido en Corea, ofrece uno de los precios más bajos. Cabe preguntarse si el marco regulatorio en Corea ha influido y que tipo de estrategia se ha empleado, para propiciar una adopción exitosa de la banda ancha.

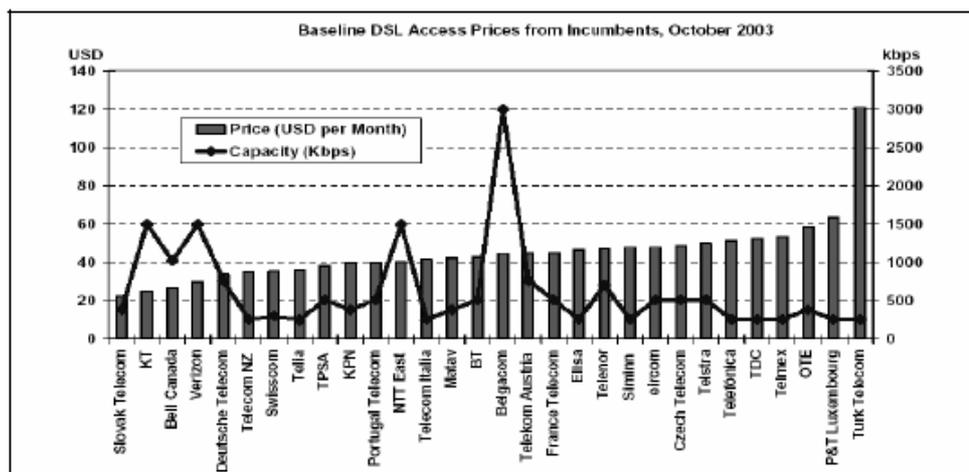


Figura 21. Precio del acceso de una línea DSL de operadores establecidos a Octubre de 2003.

<sup>18</sup> Kelly, Tim, Gray, Vanessa, Minges, Michel. BroadBand Korea: Internet Case Study. Marzo 2003. <http://www.itu.int/ITU-D/ict/cs/>

Los ingredientes del éxito Coreano no han sido otros que el buen hacer de gobierno, industria y ciudadanos, unido a unas sin duda condiciones sociodemográficas muy favorables.

El **gobierno coreano** asumió un papel activo en el fomento de la banda ancha. Entre otras iniciativas cabe citar el Proyecto Nacional de Gestión del Conocimiento, las ciberuniversidades o el destacado gobierno electrónico. También desde el gobierno se promovió una regulación efectiva con medidas en la línea de forzar un mercado mayorista a precios competitivos. Tras el KII, Cyber Corea 21 y *eCorea Vision* inciden en la creación de nuevos negocios y contenidos.

La **industria** también ha sido clave. En Corea el lanzamiento de la banda ancha se producía en 1996, dos años antes que en la mayoría de los mercados europeos. Sin duda la alta penetración de la televisión por cable y la gran iniciativa de los operadores de cable han sido claros facilitadores. En comparación con los accesos de banda estrecha la banda ancha se introdujo en el mercado con ofertas muy agresivas en precio y servicio de altas prestaciones, velocidad y fiabilidad. Además la fuerte promoción del ordenador personal que durante años han realizado los fabricantes de electrónica de consumo ha hecho que este equipo se encuentre presente en la mayoría de los hogares coreanos.

Por su parte los **ciudadanos** han contribuido al éxito utilizando de forma muy importante los servicios de gobierno electrónico y tele-educación y generando contenidos locales de interés que dan sustento a comunidades virtuales.

En Corea la demanda se ha generado de modo natural por la confluencia de una serie de factores:

- Cultura informática y uso del **ordenador** como plataforma de Sociedad de la Información, afición a los juegos, extensión del uso del ordenador y migración a los **juegos on line**. Generalización del vídeo bajo demanda por ordenador.

- **Rápida adopción tecnológica**, tanto de la población en general, como de las empresas, y desarrollo del comercio electrónico, unido al temprano lanzamiento de la banda ancha y los competitivos precios, fiabilidad y velocidad del servicio.

Las políticas públicas e iniciativas puestas en marcha, desde el lado de la oferta, se han visto favorecidas por el alto grado de **concentración urbana** de la población coreana (más del 80% de la población vive en centro urbanos -el 93% a menos de 4 km. de su central telefónica- y el 47% en edificios de apartamentos, que operan y son propietarios de la infraestructura de telecomunicaciones). Esta distribución de la población, facilita el despliegue de infraestructuras por parte de los operadores, y fomenta el éxito de sus modelos de negocio.

De todos los aspectos señalados en los párrafos anteriores que han llevado al éxito en la adopción de la banda ancha en Corea del Sur, debemos destacar dos: la importancia de las políticas públicas de alfabetización digital y la apuesta decidida del gobierno por servicios atractivos de administración electrónica.

### **3.2 Situación del sector de las telecomunicaciones en el nivel mundial en los últimos años**

La crisis del sector de las telecomunicaciones se encuentra tratando de salir de uno de los peores momentos de toda su historia. Las grandes pérdidas del sector no sólo han repercutido en la economía, sino en la sociedad como consecuencia de los numerosos despidos de personal a los que se han visto obligadas algunas empresas del sector, en especial fabricantes y los nuevos operadores entrantes.

El auge del sector, que marcó el periodo 1996-2001, se sustenta en tres variables: La demanda creciente de la telefonía móvil, el crecimiento del uso de Internet,

provocando que el tráfico de datos cursado por las redes superara el de voz<sup>19</sup> y la liberalización del sector, que implicó la aparición de nuevos operadores en el mundo, pasando de 500 a 5000.

Pero este auge de las telecomunicaciones terminó a mediados de 2000, con plena crisis en el 2001. Las tasas de crecimiento reales no fueron las esperadas, los plazos presupuestados para recuperar la inversión no se cumplieron, así como la demanda esperada no respondió a las expectativas de los inversionistas. De otro lado, la regulación en algunos casos resultó un freno para el desarrollo. Como consecuencia, la deuda del sector ronda alrededor de 1.805 billones de dólares, siendo los principales afectados los que ayudaron a la financiación del sector, es decir, bancos y accionistas.

Los efectos de la crisis también han golpeado fuertemente a los operadores establecidos y han hecho replantear sus estrategias. Algunos ejemplos de esta situación son:

**WorldCom**, uno de los mayores operadores de los Estados Unidos, se declaró en banca rota.

**British Telecom** redujo su deuda vendiendo parte de su unidad de telefonía móvil.

Alianzas entre diferentes operadores para proteger su mercado.

Según algunos analistas<sup>20</sup>, un escenario que se está consolidando para dar salidas al sector parecen volver a la consolidación de operadores establecidos:

Los gobiernos como Alemania y Francia no pueden permitirse la desaparición de los operadores establecidos del mercado.

---

<sup>19</sup> [http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/at\\_glance/top15\\_broad.html](http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/at_glance/top15_broad.html)

<sup>20</sup> AHCIEET. Visión de las Telecomunicaciones 2003-2006: Evolución Tecnológica e Impacto en el Negocio.

Las Babys Bells, empresas locales de acceso de Estados Unidos, pueden volver a operar el mercado de larga distancia, permitiendo la FCC que adquieran parte de los activos de transmisión de WorldCom.

Se pretende que la regulación sea menos restrictiva para los operadores que propendan por el desarrollo de la banda ancha y potencien el desarrollo de la Sociedad de la Información.

Se requiere empresas con capacidad financiera capaces de efectuar las inversiones necesarias para recuperar el sector. Los mejores preparados para este reto son los operadores establecidos.

Un cambio importante es que el mercado pasó de un modelo de oferta a un modelo de demanda, dado que con el sobre-exceso de capacidad y precios decrecientes, el cliente pasa a ser quien decide lo que realmente quiere adquirir. Mientras los servicios de voz y banda estrecha tenían un crecimiento y rentabilidad limitados, las esperanzas del sector se cifraron en el desarrollo de los servicios de banda ancha. Sin embargo, la banda ancha local ha sufrido dificultades en el despliegue debido a que el acceso a Internet de alta velocidad aun no genera los ingresos suficientes.

La recuperación incipiente del sector en la segunda parte de 2002 pasa por ajustes de las compañías que tratan de sobrevivir, tanto proveedores como operadores. Las soluciones que proponen los proveedores apuntan a establecer entre otras acciones, modelos regulatorios que propendan por el aumento de la demanda, preservando el tejido empresarial y la competitividad del país. Los operadores por su parte, propenden por un modelo regulador estable y predecible, además de un apoyo decidido de las Administraciones Públicas para garantizar el avance de la Sociedad de la Información, como es el caso de Corea del Sur.

### **3.3 La situación del sector en Colombia**

La industria de telecomunicaciones en Colombia afronto una serie de cambios y modificaciones impensables hace apenas 5 años. El 2004 fue el año de la telefonía móvil, principal motor de crecimiento del sector en el país. Durante este año los operadores móviles compitieron fundamentalmente por el mercado de voz e incrementaron su participación en los servicios de datos y aplicaciones, como consecuencia de la masificación del uso de los mensajes de texto (SMS) y las actividades complementarias que han generado este tipo de aplicaciones tecnológicas.

Durante el año 2004 también se presentaron avances significativos en el servicio de Internet móvil y en los medios de acceso inalámbricos. En este contexto comenzaron a ser familiares términos como Wi-Fi, Wi-MAX acceso a Internet a través de las redes móviles y otra serie de aplicaciones que van a ser determinantes para la industria como para el desarrollo del país.

El año 2004 marco la ruptura entre la telefonía fija y la móvil. En este año los abonados móviles superaron a los fijos en más de tres millones de usuarios activados, se consolidaron nuevas aplicaciones de datos y se perfiló la telefonía móvil como el servicio líder del sector.

De acuerdo con la información reportada por el DANE<sup>21</sup>, se destacaron como sectores con mayor crecimiento el de la construcción (10%), transporte y comunicaciones (5.05%) e industria manufacturera (4.77%), sectores que se han beneficiado con el entorno macroeconómico actual en el que se desenvuelve la economía colombiana.

---

<sup>21</sup> [www.crt.gov.co](http://www.crt.gov.co); Informe sectorial de telecomunicaciones

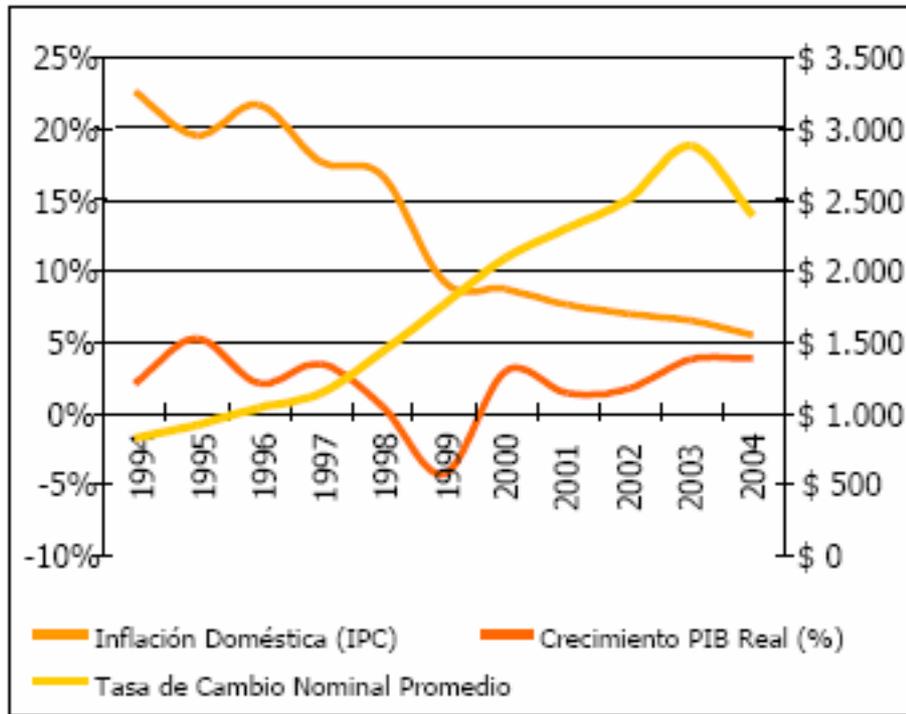


Figura Fuente DNP-DANE

En el 2004, continuo la tendencia hacia la baja de la inflación, la estabilidad en los intereses yen los papeles de deuda del gobierno. Asimismo el mercado accionista continuo con la tendencia alcista de los últimos años. Producto de esta estabilidad en el comportamiento de la economía colombiana se mantiene la confianza de los inversionistas tanto nacionales como extranjeros.

En el año 2004 el mercado mundial de telecomunicaciones alcanzo US\$1.361 billones, con los cuales US\$200 billones equivalen a ventas de equipos y US\$1.161 billones a ventas de servicios.

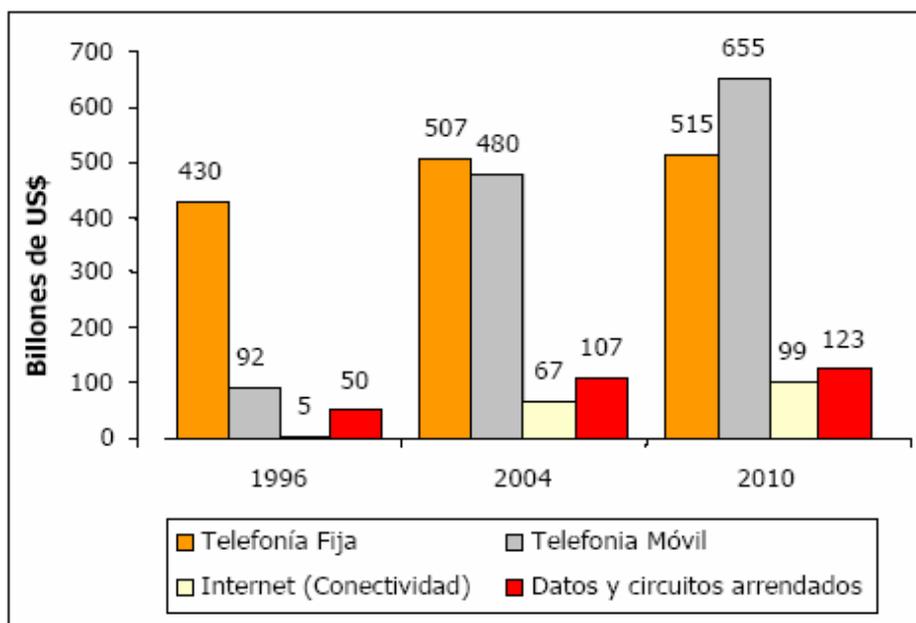


Figura Fuente OMSYC 2005

El dinamismo del sector en Colombia se analiza cuando se aprecian los ingresos por las ventas de servicios de telecomunicaciones

Subsector	2003	2004
Telefonía Local	\$ 1.793	\$ 2.030
Telefonía Local Extendida	\$ 562	\$ 742
Telefonía Móvil Rural	\$ 19	\$ 22
Interconexión*	\$ 895	\$ 688
Otros servicios de TPBC	\$ 522	\$ 578
Valor Agregado	\$ 670	\$ 831
Portador	\$ 136	\$ 122
Larga Distancia Nacional	\$ 1.111	\$ 892
Larga Distancia Internacional	\$ 389	\$ 409
Telefonía Móvil	\$ 2.319	\$ 3.685
Trunking	\$ 141	\$ 155
Radio y Televisión	\$ 1.073	\$ 1.202
Otros**	\$ 1.006	\$ 1.107
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 10.637</b>	<b>\$ 12.463</b>

Tabla Ingresos estimados del sector  
Cifras en miles de millones de pesos corrientes

En cuanto al desarrollo de Internet y de los servicios de banda ancha en el país, se presenta un crecimiento en el acceso a Internet llegando a una penetración del 6.9 %. Los accesos conmutados son del orden del 69,2% de todos los accesos a Internet, siendo los accesos dedicados del orden del 30%, una cifra que muestra una importante incorporación de la banda ancha dentro de los usuarios de internet. Sin embargo ambas cifras son muy pobres y en efecto muestra un rezago frente a los países de América Latina

### 3.4 Desarrollo de la Banda Ancha en Colombia

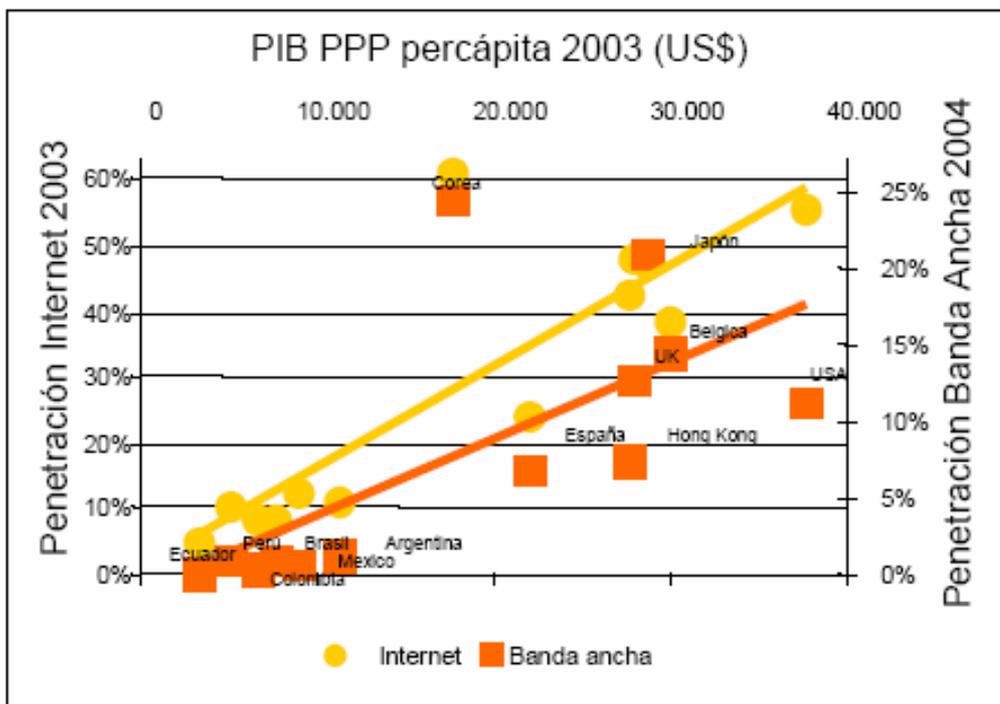


Figura Situación de Colombia en el desarrollo de la banda ancha

Si se compara la situación de Colombia con otros países en cuanto a la penetración de los accesos de banda ancha, se puede observar que en relación con otros países latinoamericanos, el país tiene una penetración diez veces menor a la de Chile y aproximadamente tres veces menor a la de Brasil y Argentina. En relación con los mercados más desarrollados, la diferencia es aun mayor, sin embargo, aun cuando el ingreso per. Cápita es menor al de estos países, es evidente que existe un alto potencial de desarrollo de los servicios de telecomunicaciones a través de

accesos de banda ancha en el país, y para ello, la CRT considera conveniente generar las medidas regulatorias que promueven el desarrollo de estos servicios con altos niveles de calidad, tomando la experiencia de otros reguladores en cuanto a la efectiva implementación de redes.

### 3.5 Modelos De Negocio

El sector de las telecomunicaciones camina hacia una nueva cadena de valor marcada por el desarrollo de la banda ancha. La banda ancha soporta la convergencia del contenido, las redes, las plataformas tecnológicas y los terminales, permitiendo la creación y prestación de aplicaciones y contenidos multimedia a través de diferentes plataformas.

A medida que ha aumentado la penetración de la banda ancha, ha proliferado el número de agentes que operan en el mercado, destacando, los operadores de comunicaciones fijas y móviles, proveedores de infraestructura, proveedores de acceso a Internet (ISP, WISP), fabricantes de equipos, proveedores de contenidos, desarrolladores software, y los proveedores de soluciones de soporte operación y negocio (DRM y otros).

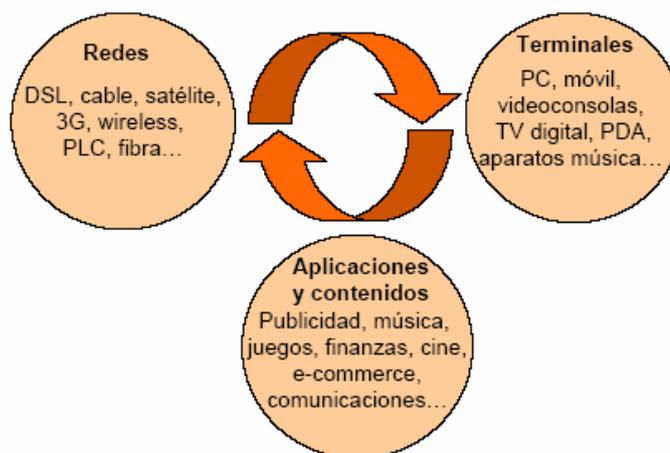


Figura 4.3 Cadena de valor de la banda ancha

Los modelos de negocio que existen en la actualidad en el mercado de la banda ancha se centran en la provisión de servicios de conectividad.

El mercado de banda ancha se encuentra aún en una situación incipiente. En un lapso de 3-4 años, pueden predecirse importantes cambios en la estructura del mercado, motivados fundamentalmente por el éxito en el desarrollo de alguna de las tecnologías o modelos que actualmente aún se encuentran en estado inicial: el avance en el uso del modelo del bucle desagregado, la tecnología PLC, las tecnologías inalámbricas WMAN y la televisión digital terrestre, Sin embargo, La desagregación del bucle de abonado no está claramente definida como un mecanismo determinante que impulse el desarrollo de la banda ancha en Colombia, por lo cual se deberá adelantar un estudio de su conveniencia o no para el país.

### **Bucle desagregado**

El avance en la tecnología de los DSLAM<sup>22</sup> vivido en los últimos años, donde la tecnología ATM ha sido sustituida por la tecnología IP, ha posibilitado el desarrollo de productos DSLAM-IP que suponen una reducción muy importante en la infraestructura de equipos necesaria para que los operadores entrantes puedan usar el modelo de bucle desagregado.

### **PLC**

Diferentes compañías eléctricas han iniciado su despliegue en varios países europeos. Esta tecnología lleva apuntándose como alternativa desde hace algunos años y tendrá que probar en el próximo trienio si es una opción real como infraestructura de banda ancha. Su principal barrera será conseguir alcanzar rápidamente unos niveles de demanda, que le permitan lograr una economía de escala que conduzca a la rápida reducción en los precios de los equipamientos de forma que sean competitivos con los actuales precios de los equipos de cable y ADSL. Si el PLC llega a alcanzar esta condición, se convertirá en una nueva infraestructura alternativa que puede alcanzar gran proyección.

---

<sup>22</sup> <http://www.newedgenetworks.com>

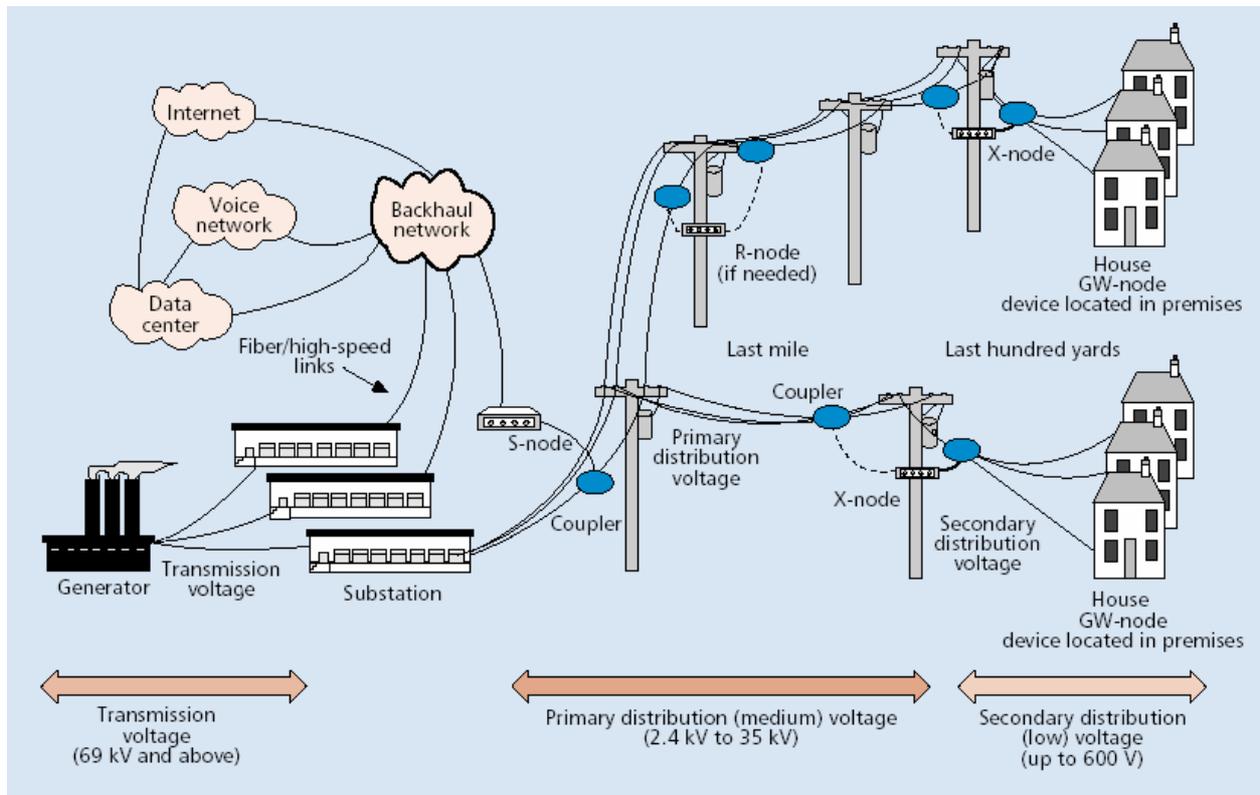


Figura distribución del sistema PLC

## WMAN

Han sido varios los intentos realizados en los últimos años para posicionar las tecnologías inalámbricas fijas como alternativas en acceso de banda ancha al cableado tradicional.

Ninguna de estas iniciativas ha conseguido encontrar el hueco y estructura de costes adecuado en el mercado. El éxito de la tecnología Wi-Fi en el modelo de *hot-spot* ha vuelto a traer al primer plano las posibilidades de estas tecnologías. WMAN, y en particular WiMAX, como esfuerzo de diferentes agentes por emular el éxito de Wi-Fi (y alcanzar sus economías de escala) con coberturas y alcances más amplios abrirán en 2005 y en 2006 nuevas posibilidades. Sin duda, el éxito de una tecnología inalámbrica WMAN supondrá cambios muy importantes en la estructura del mercado de la banda ancha.

## **UMTS**

La tercera generación de telefonía móvil es ya una realidad. La capacidad de proporcionar anchos de banda de hasta 2 Mbps, unida a la casi universal difusión de los terminales de telefonía móvil puede jugar un papel importante en la generalización de la banda ancha. El precio y la cobertura acomodarán la oferta de acceso a banda ancha mediante UMTS, junto a las restantes tecnologías disponibles, facilitando la mejor elección a los usuarios.

## **Televisión Digital Terrestre**

La televisión digital terrestre, como infraestructura de banda ancha lleva varios años posicionándose como una alternativa con posibilidades. Su gran ventaja es sin duda el terminal. La expectativa de que el televisor, un terminal mucho más extendido y de más fácil manejo que el PC, se constituya en una alternativa de acceso a la Sociedad de la Información ha despertado gran interés, también por su capacidad de eliminar barreras asociadas a la dificultad de uso del PC.

Sin duda, el gran desafío de los diferentes agentes, es encontrar el modelo de negocio adecuado para conseguir la rentabilidad de los negocios, y la sostenibilidad de los mismos a medio y largo plazo.

Aún es difícil identificar el modelo de negocio de éxito. Son muchas las iniciativas y alternativas que han puesto en marchas diferentes agentes en el mundo y diferentes los grados de éxito alcanzados por cada una de ellas. En los apartados siguientes, reflejamos algunas de las iniciativas que pueden considerarse de interés por su nivel de diferenciación y grado de éxito alcanzado.

#### **4.2.1 ISP y operadores alternativos**

La distinción tradicional entre operadores de telecomunicaciones alternativos, orientados inicialmente al negocio de la voz, y los proveedores de acceso a Internet (ISP), orientados inicialmente a la conexión a Internet de banda estrecha, se hace cada vez más difusa. Los ISP, al pasar de acceso de banda estrecha a banda ancha, han modificado sustancialmente su modelo de negocio. Muchos están acometiendo inversiones (desagregación del bucle) para optar a un modelo de venta del servicio ADSL con un mayor margen. La tecnología VoIP está permitiendo a los ISP incorporar a su oferta el servicio de voz. Los operadores alternativos habían apostado ya por el negocio de la banda ancha, y muchos se encuentran actualmente en la encrucijada de continuar con su modelo de negocio de voz tradicional, o apostar por el nuevo modelo de negocio alrededor de la banda ancha y la VoIP.

Los modelos de negocio de este grupo de agentes, giran alrededor de la oferta dual-Play: banda ancha y voz, posibilitada por la tecnología VoIP. En bastantes casos, a estos dos productos se incorpora oferta de televisión constituyendo una oferta triple-play, que en muchos mercados se ha mostrado como una opción de notable éxito. La posibilidad de optar a un modelo de negocio triple-play, hasta ahora sólo al alcance de un operador de cable, mediante las modalidades de desagregación del bucle supondrá movimientos importantes de estos agentes.

#### **4.2.2 Operadores incumbentes de fija**

Si centramos el análisis en los operadores de telecomunicaciones de telefonía fija, cabe destacar que la banda ancha se ha convertido en una nueva y estratégica línea de negocio. Los principales retos a los que se enfrentan son:

- En relación con los ingresos que perciben por la prestación de servicios de conectividad, mantener el ARPU (ingresos/usuario), el valor para el cliente, y

los márgenes del negocio asumiendo una tendencia de aumento de la penetración y disminución de los precios.

- En un escenario de consolidación de los modelos de negocio basados en los contenidos y aplicaciones, se tendrá que clarificar el posicionamiento de los operadores de telecomunicaciones: desde la estrategia integradora (posicionamiento en redes y contenido, caso de operadores de cable), hasta una estrategia basada en el reparto del valor entre los diferentes agentes de la cadena valor, destacando las alianzas con los proveedores de contenido digital.

Los operadores establecidos de telefonía fija afrontan un nuevo escenario que genera simultáneamente una oportunidad de incremento de mercado por el rápido crecimiento de los accesos de banda ancha, y una amenaza a su negocio tradicional de voz.

#### **4.2.3 Operadores de cable**

Los operadores de cable han realizado en los últimos años importantes inversiones para poder prestar servicios multimedia y de banda ancha a los usuarios finales. Estas inversiones se han dirigido, o bien a actualizar la red que tenían desplegada para la difusión de televisión analógica, o bien al despliegue de una nueva infraestructura de comunicaciones. Entre los operadores de cable encontramos situaciones empresariales y realidades muy distintas y por tanto estrategias diferentes ante la banda ancha, condicionadas fundamentalmente por su papel previo en la difusión de contenidos.

Los operadores de cable han apostado desde el comienzo de sus operaciones por la estrategia triple-play para conseguir rentabilizar sus inversiones en infraestructuras. Esta estructura multiservicio de la oferta supone para un operador de cable:

- Una estrategia de penetración en el mercado que le diferencie del operador incumbente.
- Un incentivo para captar clientes pues implica la venta automática de servicios adicionales (telefonía, televisión e Internet)

Sin embargo, los operadores de cable ven por primera vez que aparecen otros agentes con modelos de negocio basados en una oferta triple-play, que hasta ahora sólo ellos podían ofrecer. La respuesta comercial del cable ante las ofertas de este tipo que lancen los operadores ADSL, cobrará un papel muy relevante a corto-medio plazo.

#### **4.2.4 Proveedores de contenidos y aplicaciones**

Los contenidos y las aplicaciones son sin duda el principal impulsor del desarrollo de la banda ancha. En los países con mayor desarrollo de la Sociedad de la Información se está cambiando ya el foco del énfasis en la oferta de conectividad, al énfasis en la oferta de contenidos y aplicaciones. Son muchas las propuestas realizadas sobre el tipo de aplicaciones y contenidos que impulsarán la adopción masiva de la banda ancha en toda la sociedad. Los servicios de voz sobre banda ancha (VoBB/VoIP), la administración electrónica, la telemedicina, el vídeo bajo demanda, la descarga y audición de música, o el juego on-line, son diferentes opciones, en diferente grado de madurez, que deben en un futuro próximo materializarse en modelos de negocio sostenibles.

Algunas compañías pueden aprovechar su posición de fortaleza en contenidos y aplicaciones para convertirse en auténticos operadores de telecomunicaciones. Empresas como Microsoft están aprovechando su posición dominante en algunas aplicaciones para entrar de forma decidida en el mercado de servicios de mensajería o de juegos. Los 6 millones de usuarios activos de MSN Messenger en España, y los 130 millones en todo el mundo constituyen sin duda una base sólida para este planteamiento.

#### **4.2.5 Desarrollo y sostenibilidad de los modelos de negocio**

Cuando se analiza si el modelo de negocio de un agente es o no adecuado, no sólo hay que tener en cuenta si consigue alcanzar la rentabilidad o si tiene un ritmo de captación de clientes adecuado. Para el medio y largo plazo es importante valorar la sostenibilidad del modelo.

Cualquier modelo de negocio sostenible exige que el juego oferta/demanda, y por tanto la propuesta de valor al cliente, pueda soportar tanto los costes de producción marginales como las inversiones necesarias para su crecimiento. En este contexto, el desarrollo de los modelos de negocio que giran en torno a la banda ancha podrán encaminarse hacia dos escenarios alternativos: uno caracterizado por la sostenibilidad y otro caracterizado por la incertidumbre.

El escenario sostenible se caracteriza por una propuesta de valor clara y muy atractiva para el usuario final. En este escenario, en el que el usuario percibe un claro valor añadido por lo que recibe, se genera y mantiene una demanda en respuesta a una oferta atractiva y diferenciada de servicios que permite el desarrollo y fortalecimiento de la industria. Los agentes apuestan por la inversión en servicios innovadores y un fuerte impulso comercial, lo que redundará en una expansión de la demanda. Se trata pues de un círculo virtuoso cuyo máximo exponente en la actualidad es el negocio del móvil.

Por el contrario, en el escenario de incertidumbre, el círculo virtuoso anterior se transforma en círculo vicioso: el usuario no percibe una propuesta de valor y utilidad, por lo que el único atractivo para que se genere demanda es el precio. Si la única diferenciación de la oferta se centra en el precio, se produce un estrechamiento cada vez mayor de los márgenes con los que operan los agentes poniendo en peligro la innovación en los servicios e impidiendo la generación de ofertas de valor y utilidad para los usuarios. Esta dinámica de precios bajos conduce también, paradójicamente, a la concentración de los agentes, y por tanto a la falta de competencia.

Para que haya crecimiento y desarrollo de los negocios se tienen que generar ofertas de claro valor y utilidad para los potenciales clientes, junto con márgenes atractivos para los agentes del mercado.

# 4

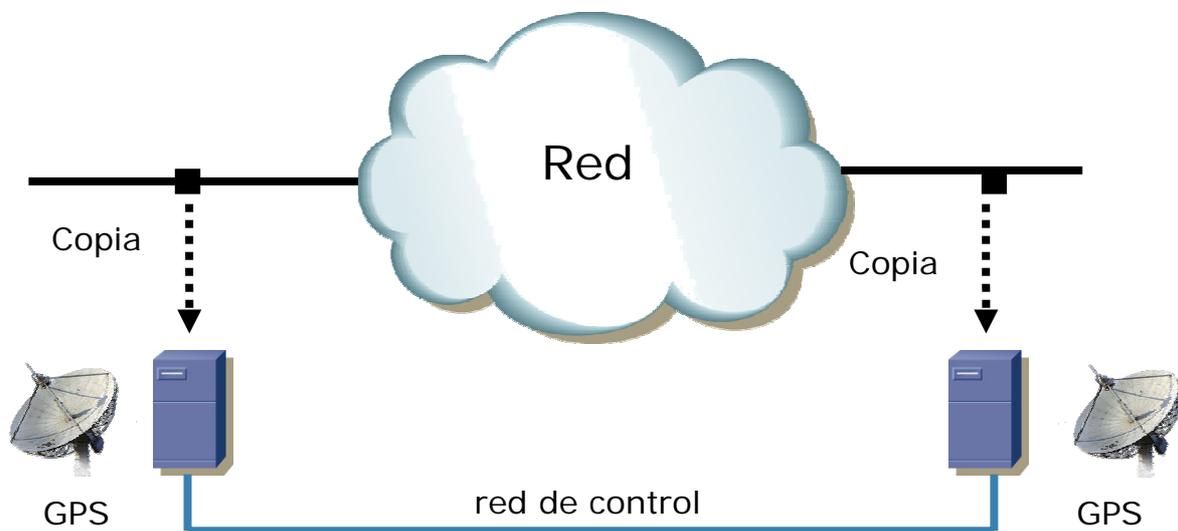
## Analizador en tiempo real de calidad de servicio en redes IP

---

Este capítulo se describe una herramienta para la medida de parámetros de calidad de servicio (QoS) en redes de comunicaciones. La plataforma de análisis ha sido bautizada como ORENETA (One-way delay REaltime NETwork Analyzer). El objetivo para el desarrollo de esta herramienta es la obtención de una utilidad capaz de visualizar en tiempo real medidas sobre los parámetros de CoS de los flujos que circulan en una red, en concreto el retardo extremo a extremo y sus variaciones, que es especialmente importante en aplicaciones interactivas y en tiempo real. Se pretende facilitar a los administradores de la red la comparación de diferentes políticas de gestión para evaluarlas al instante y de forma visual.

## 4.1 Arquitectura

ORENETA trabaja capturando el tráfico de la red en dos puntos distintos mediante dos sondas. Las sondas capturan el tráfico en modo pasivo, minimizando la interferencia con el tráfico analizado. Esto permite el análisis de tráfico 'real' aportando un valor añadido sobre las medidas de tráfico generado. Aun así es posible el análisis de tráfico generado mediante el uso de otras utilidades.



- Modelo Cliente / Servidor
  - Servidor: sondas
  - Cliente: analizador



Analizador

Figura 27 One-way delay REaltime NETwork Analyzer

Las capturas de tráfico son preprocesadas en las sondas y enviadas a un analizador. Éste es el elemento que hace los cálculos de las medidas con los datos obtenidos de las sondas y ofrece la interacción con el usuario. El analizador desglosa las medidas obtenidas en flujos unidireccionales, lo que permite observar de forma clara los parámetros y comportamiento de cada uno de ellos. Esto a su vez permite la caracterización del tráfico. El control de las sondas se realiza desde

el analizador. El sistema funciona según la arquitectura cliente/servidor, siendo el cliente el analizador y las sondas los servidores.

Esta herramienta hace especial hincapié en el cálculo de medidas en un sentido, como el “one-way delay”, el “ip delay variation” o el “one-way packet loss”, propuestas por el grupo de trabajo IP Performance Metrics. Las medidas en un sentido no se pueden deducir de las medidas “round-trip”, ya que la composición de las redes de comunicaciones, y sobretodo con QoS, puede hacer que tenga diferentes comportamientos en cada uno de los sentidos de la comunicación. Mediante estos parámetros se puede saber con mayor precisión de qué forma se comporta la red y evaluar el impacto de diferentes políticas de QoS.

#### **4.2 Sincronización de las sondas**

Para el cálculo de los valores en un sentido se necesita que las sondas estén sincronizadas entre sí. ORENETA se basa en la utilización del protocolo NTP<sup>23</sup> como método de sincronización. Este protocolo no es suficiente cuando las distancias, en tiempo, son cortas entre las sondas, dado que no obtiene una gran precisión. En estos casos se hace necesaria una fuente de sincronización externa, como GPS, para dotar a la plataforma de la máxima precisión. Aun así, la herramienta permite la comparación de otras medidas, como el rendimiento, sin que ambas sondas estén sincronizadas.

Existen dos momentos donde se puede realizar la marca de tiempo en un paquete IP. Uno es el *Wire-Time* y el otro el *User-Time*. El primero consiste en marcar el paquete en el momento que es visto por la tarjeta de red. Esto se consigue con hardware específico para realizar esta tarea a un coste muy elevado. En ORENETA los paquetes se marcan en el *User-Time*, es decir, el sistema operativo subyacente es el que realiza la marca, introduciendo cierta variabilidad en las medidas, que en la práctica resulta prácticamente despreciable por ser varios órdenes de magnitud inferior a los valores de las medidas.

---

<sup>23</sup> [www.uv.es/~montanan/redes/trabajos/ntp.doc](http://www.uv.es/~montanan/redes/trabajos/ntp.doc)

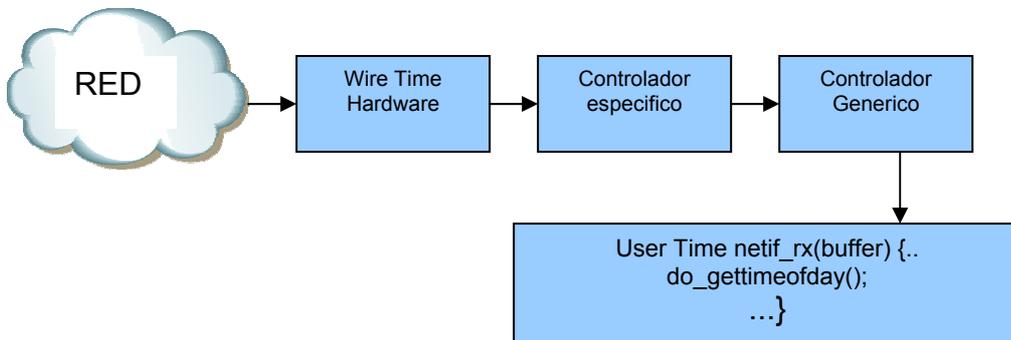


Figura 28 Sonda – Marca de tiempo

### 4.3 Captura pasiva

El hecho de capturar el tráfico de forma pasiva dificulta la tarea de identificar los paquetes de un flujo. En un sistema de medidas activas cada paquete se marca con un identificador generado artificialmente, mientras que en uno de capturas pasiva este identificador no existe. No se puede depender del campo “identificador” de las cabeceras IPv4 por dos motivos: es susceptible de alteración por motivos de seguridad y además no aparece en el protocolo IPv6. ORENETA implementa un sistema<sup>24</sup> para generar un identificador a partir de los campos invariables de las cabeceras IP así como 40 octetos de los datos.

Este identificador es generado mediante la función CRC-32, creando un identificador de 4 octetos que junto a las direcciones, puertos y marcas de tiempo configuran toda la información que se envía al analizador por cada paquete. Así, por cada paquete IPv4 se envían al analizador 28 octetos de datos por paquete y 42 octetos en el caso de IPv6, siempre de forma independiente al tamaño del paquete IP.

ORENETA es capaz de analizar flujos de datos IPv4 e IPv6, sin observarse ninguna diferencia en el rendimiento obtenido entre las dos versiones. De forma

<sup>24</sup> T. Zseby, S. Zander, G. Carle, “Evaluation of Building Blocks for Passive One-way-delay Measurements”, GMD FOKUS.

automática, cuando un flujo es visto en cada una de las sondas se reconoce como un flujo común, visualizándose como tal y empezando a almacenar de forma automática los cálculos de tráfico asociados. Estos datos se almacenan durante 300 segundos.

#### **4.4 Filtrado**

El tráfico que capturan las sondas puede ser de muy diversa índole. ORENETA permite el filtrado del tráfico no deseado. Dado que las sondas utilizan la librería *libpcap*, utilizan su sistema de filtros. Estos filtros se especifican mediante cadenas de texto que siguen la sintaxis de otros programas basados en esta librería, como *tcpdump* o *ethereal* y se aplican desde el analizador. La utilización de filtros permite no sólo una mejor claridad en la representación, sino que además reduce el cálculo necesario y por lo tanto mejora su eficiencia.

#### **4.5 Representación de los flujos**

Toda esta información se presenta en tiempo real en el analizador. Mediante gráficas dinámicas auto escalables donde se pueden ver los cambios en un flujo, comparar flujos activos entre sí o incluso comparar flujos activos con otros que se hayan almacenado previamente. Se puede entonces comparar las posibles diferencias existentes entre flujos analizados en diferentes horarios o en otros escenarios.

## 4.6 Hardware/Software

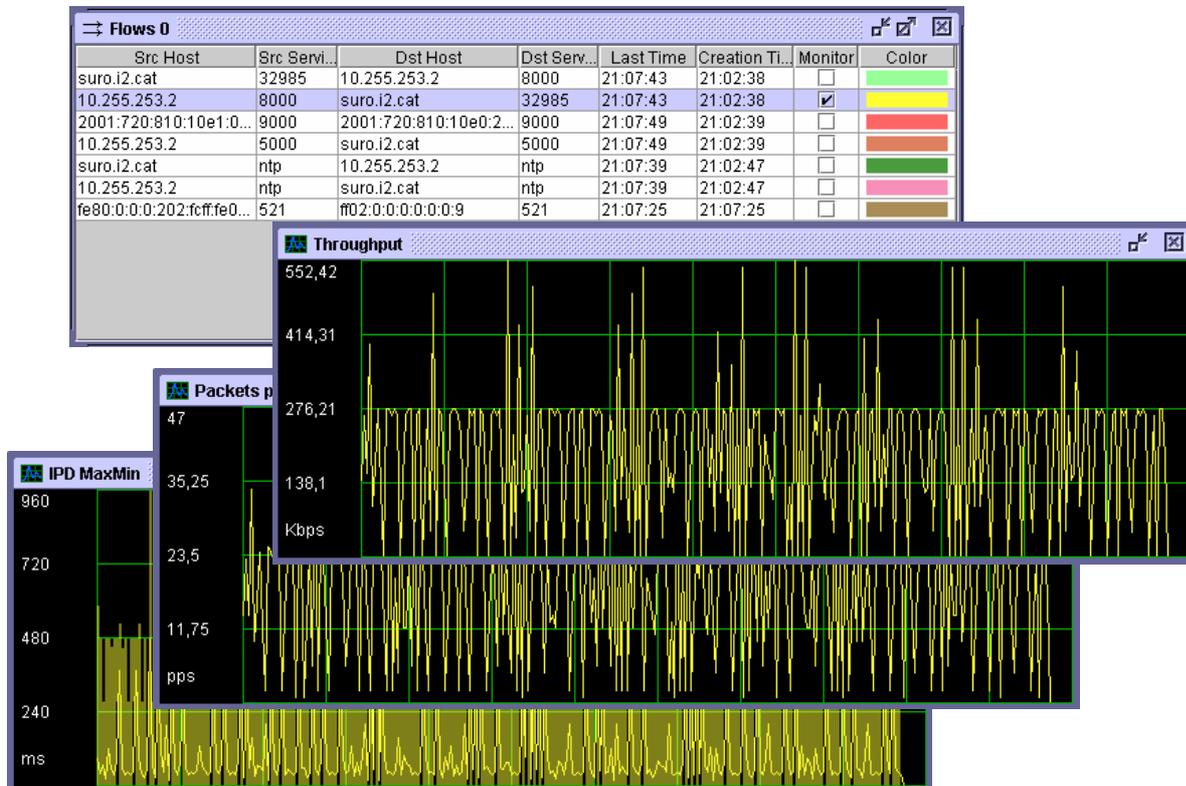


Figura 29 Medidas de QoS en tiempo real

No se ha utilizado hardware específico para la captura del tráfico en las sondas, bastan unas simples tarjetas de red Ethernet, aunque ORENETA<sup>25</sup> puede funcionar con otro tipo de tecnologías de red, como ATM y Wireless. De igual forma, los ordenadores utilizados no tienen ningún requerimiento especial. Para las pruebas se han utilizado Pentium III Celeron 600 en las sondas y un Pentium IV 2.4 para el analizador. Con estos equipos se puede conseguir una capacidad de análisis superior a los 25 Mbps. Teniendo en cuenta que un vídeo con calidad DVD-MPEG2 trabaja a 10 Mbps, queda patente su efectividad en el análisis de flujos individuales de tráfico multimedia.

<sup>25</sup> <http://oreneta.ccaba.upc.es>.

Las sondas se han desarrollado en C bajo Linux, funcionando en la mayoría de distribuciones actuales. El analizador está implementado en Java y se ha probado en varias plataformas con éxito. La plataforma se distribuye con licencia GNU-GPL.

## CONCLUSIONES

En los últimos años el desarrollo de las computadoras ha evolucionado de manera rápida, a tal punto que se ha venido creando nuevas formas de comunicación, donde cada vez son mas aceptadas por el mundo en la actualidad.

La red de Internet se ha convertido en una de las mejores herramientas para el desarrollo tecnológico, al incluir desde la investigación pura hasta aplicaciones de negocio, ello ha generado un nuevo tipo de requerimientos en protocolos y tecnologías para soportar las necesidades de los usuarios actuales. Dentro de las demandas más importantes encontramos las concernientes a Calidad de Servicio (QoS) y Ancho de Banda. Gracias a estas necesidades, se ha desarrollado toda una gama de esquemas de solución permitiendo la satisfacción del usuario y un rápido retorno de inversión para los proveedores de servicios.

Con respecto a los esquemas de QoS tenemos DiffServ (Diferénciated Services) el cual es un protocolo de capa de red, que ha diferencia de IntServ (Integrated Services), agrupa los requerimientos de QoS de una manera relativamente simple utilizando métodos para caracterizar el trafico en clases, que posteriormente reciben los parámetros de QoS necesarios.

## BIBLIOGRAFIA

- Redes de comunicaciones. Conceptos Fundamentales y Arquitecturas Básicas Alberto león garcía. Indra Widjaja. Ed. Mc Graw Hill.
- Quality of Service, Concepto, historia, evolución, y tendencias H.G. Anzola García 2004.
- Comunicación y Redes de Computadoras, William Stallings, Prentice Hall, Tecnologías de Redes
- Alta Velocidad y Calidad de Servicio en Redes IP, Jesús García Tomas, Víctor Rodrigo Raya, Alfa Omega.
- G. Armitage, "Support for Multicast over UNI 3.0/3.1 based ATM Networks.", RFC 2022, November 1996.
- Alcatel, "Enabling Profitable Metro Ethernet Services: The Next Step in Metro Networking," in *Alcatel Technology White Paper*. Alcatel, 2004.

- K. Nichols, S. Blake, F. Baker, D. Black. "Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers", RFC 2474, December 1998.
- <http://www.monografias.com/trabajos12/porquein/porquein.shtml> Redes de Computadoras
- [http://www.uswest.com/products/data/dsl/fast\\_facts](http://www.uswest.com/products/data/dsl/fast_facts) Tecnología Frame Relay y Tendencias
- <http://www.worldbank.org/data/countryclass/classgroups.htm> Estadística del banco mundial
- [http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/at\\_glance/top15\\_broad.html](http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/at_glance/top15_broad.html) Tráfico de Datos
- [www.crt.gov.co](http://www.crt.gov.co) Informe sectorial de telecomunicaciones

## ANEXOS 1

La tabla 2.1 compara la Gigabit Ethernet con Fast Ethernet convencional y la tabla 2.2 contiene información sobre medios y distancias específicas para cada especificación de Gigabit Ethernet.

**Tabla 2.1.**

### Ethernet convencional frente a Fast Ethernet frente a Gigabit Ethernet

	Ethernet convencional	Fast Ethernet	Gigabit Ethernet
<b>Velocidad de datos</b>	10Mbps	100Mbps	1000Mbps
<b>Longitudes Máximas de segmentos:</b>			
<b>UTP de categoría 5</b>	100m	100m	100m
<b>STP tipo 1 de la IBM</b>	500m	100m	25m
<b>Fibra Multimodo</b>	2Km	412m (half-dúplex) 2Km(full-dúplex)	260-550m
<b>Fibra de modo simple</b>	25Km	20Km	3Km

**TABLA 2.2**

### Comparaciones de medios y distancia máxima de una Gigabit Ethernet

	Medios	Distancia máxima
<b>1000BASE-SX</b>	62.5u $\mu$ m, fibra multimodo 50um, fibra multimodo	220-275m 500-550m
<b>1000BASE-LX</b>	62.5um, fibra multimodo 62.5u $\mu$ m, fibra multimodo 9 $\mu$ m, fibra de modo simple	550m 550m 5 Km.
<b>1000BASE-CX</b>	Coaxial	25m
<b>1000BASE-T</b>	UTP de categoría simple	100m

## GLOSARIO

**Ancho de banda** En comunicaciones análogas, la capacidad total de un canal de comunicaciones medida en herz (Hz). Es la diferencia entre las frecuencias mas alta y mas baja capaz de ser llevadas por un canal. En comunicaciones digitales y operaciones entre redes, el ancho de banda es la capacidad teórica de un canal de comunicación expresado en bits por segundos (bps), que se llama velocidad de datos.

**Capa de adaptación ATM (AAL)** Es una capa ATM que interpreta el tipo y formato de los mensajes de datos del usuario y luego traslada esos mensajes a un formato ATM empacándolos en la porción de carga útil de 48 bytes de una celda ATM.

**Circuito de canal virtual (VCC)** Un circuito virtual que proporciona una conexión lógica entre una fuente y destino ATM.

**Circuito virtual** Una conexión no dedicada a través de un medio compartido que da al usuario de alto nivel la apariencia de una conexión directa, dedicada del nodo fuente al nodo destino.

**Cliente** Un dispositivo de red que requiere recursos de un servidor.

**Cliente/servidor** Un modelo que describe servicios de red y los programas usados por usuarios finales para acceder a esos servicios. Del lado del cliente proporciona una interfaz al usuario para que este solicite servicios de la red, y el lado servidor es responsable de aceptar solicitudes de servicios del usuario y proveerles dichos servicios transparentemente.

**Colisión** Lo que sucede cuando dos a mas nodos intentan transmitir datos simultáneamente sobre una red Ethernet/802.3.

**Congestión** Una situación ñeque una red es consumida con un excesivo trafico de red resultando en una degradación del rendimiento.

**Dirección IP** una dirección en la red asignada a una interfaz de un nodo de la red y usada para identificar en forma única el nodo de la Internet.

**IEEE802.1** Estándar IEEE que define un panorama general arquitectónica de LAN

**IEEE802.3** Estándar IEEE que define método de *acceso múltiple de detección de portadora con detección de colisión (CSMA/CD)* comúnmente llamada Ethernet.

**IEEE802.11** Estándar IEEE que define estándares para especificaciones de control de acceso a medios inalámbricos y de capa física.

**Modo de transferencia Asíncrona (ATM)** una arquitectura de red orientada a conexión, full-dúplex, y punto a punto de celda conmutada de alta velocidad que fue creada a fines de los años 80 y principios de los 90 para aplicar conceptos de conmutación de circuito a redes de datos.

**X.25** Un primer protocolo de operación con redes que define la interfaz entre una red pública de datos con conmutación de paquetes y el dispositivo usados para acceder a esta red.

