

Redes basadas en el protocolo Internet: Tarificación de los servicios de telecomunicaciones

UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones



Informe final

Redes basadas en el protocolo Internet:

Tarificación de los servicios de telecomunicaciones

Programa 4.1, Actividad 4335 del Plan Operacional del VAP de 2002

Unidad de mercado, economía y finanzas

Enero de 2003

Un estudio para la UIT/BDT

ÍNDICE

	Página
Lista de figuras.....	iv
Lista de cuadros	iv
Resumen analítico	1
1 Introducción.....	2
2 Panorama general de la Internet y el protocolo Internet (IP).....	4
2.1 Capas de red.....	4
2.2 La estructura de la conectividad en Internet	5
2.3 Direccionamiento de Internet	7
3 Calidad de servicio: aspectos tecnológicos.....	8
3.1 Calidad de servicio en las redes IP	8
3.2 Categorías de calidad de servicio	10
3.2.1 Calidad de servicio (QoS).....	11
3.2.2 ToS y CoS.....	11
3.2.3 Grado de servicio (GoS)	12
3.3 Categorías de calidad de servicio	12
3.3.1 IntServ.....	13
3.3.2 DiffServ	14
3.3.3 QoS y modo de transferencia asíncrono (ATM).....	16
3.4 Problemas técnicos que limitan el desarrollo de los servicios de QoS y CoS.....	17
3.4.1 Problemas de QoS en los bordes de Internet y el interior de las redes	17
3.4.2 Problemas de QoS en las fronteras	18
4 Calidad de servicio: tarificación y congestión.....	20
4.1 Internet no es un "bien público" económico	20
4.2 Estructura de los precios y de los costos	21
4.3 Tarificación en función de la clase de servicio.....	26
4.4 Tarificación y QoS entre ISP y su proveedor de tránsito	28
4.4.1 La estructura de los precios de liquidación.....	28
4.4.2 Garantías de QoS para el tránsito	30
4.5 La QoS e Internet de próxima generación.....	31
4.6 Conclusiones relativas a la QoS y las CoS	34
5 Presente y futuro de los servicios IP en "tiempo real"	35
5.1 El VoIP actual.....	35

Redes basadas en el protocolo Internet: Tarificación de los servicios de telecomunicaciones

	Página
5.1.1 Telefonía IP pública por redes IP patentadas	36
5.1.2 Evitación de tasas de distribución internacionales	38
5.1.3 La telefonía IP privada en redes IP empresariales	41
5.1.4 Tecnología de encaminamiento IP patentada	41
5.2 El futuro de las redes IP "en tiempo real"	41
5.2.1 Aspectos tecnológicos	41
5.2.2 Fijación de precios y liquidación.....	42
6 Análisis de la investigación sobre la fijación de precios en los servicios de Internet..	43
7 Problemas de reglamentación IP	45
7.1 La reglamentación y los ISP.....	46
7.2 Reglamentación y operadores de la RTPC tradicionales.....	48
7.3 La reglamentación y los operadores móviles de próxima generación.....	49
Referencias	50
Glosario	51
Anexo I: Calidad de servicio y limitaciones de la anchura de banda menos costosa	55
Anexo II: Estudios de investigación sobre tarificación y clase de servicio	58
Anexo III: Propiedades de calidad de servicio de las redes ATM.....	62

Lista de Figuras

	Página
Figura 2-1 – La OSI y la pila de protocolos de Internet	4
Figura 2-2 – Interconexión vertical y jerárquica en Internet	6
Figura 2-3 – La dirección IPv4 expresada en notación decimal de puntos	10
Figura 3-1 – Requisitos de QoS de distintas aplicaciones en cuanto a la pérdida y la variación del retardo	10
Figura 3-2 – Precedencia IP del campo ToS contenido en un encabezamiento IPv4	11
Figura 3-3 – Los tres niveles de la QoS de extremo a extremo son: el servicio del mejor esfuerzo, el servicio diferenciado y el servicio garantizado	14
Figura 3-4 – Coordinación y calidad de servicio superior de extremo a extremo	19
Figura 4-1 – Desagregación de la demanda de servicios de Internet.....	27
Figura 4-2 – Ajuste de las CoS a los requisitos de servicio de QoS	33
Figura 5-1 – El VoIP internacional con una red de área extensa Ethernet	37
Figura 5-2 – Evitación de las llamadas internacionales a través del VoIP	39
Figura 6-1 – Interrelación gráfica de ideas económicas aplicadas al diseño de redes informáticas	44

Lista de Cuadros

Cuadro 4-1 – Jerarquías de tráfico en las redes de próxima generación.....	33
Cuadro 0-1 – Idoneidad de categorías de servicio del Foro ATM para las aplicaciones.....	62

Resumen analítico

En el presente estudio se abordan la tarificación y las distintas categorías de calidad de servicio ofrecidas a través de las redes IP, con miras a la prestación de servicios IP en tiempo real. Además de proporcionarse información sobre el tema, en el Informe se analiza la aportación de varios estudios académicos (facilitados por la UIT) a esta cuestión, y se explica la justificación económica del soslaye que representan las redes IP a nivel internacional.

El punto en el cual debe insistirse es que las tecnologías que proporcionan distintas clases de servicio no están totalmente perfeccionadas ni se encuentran ampliamente extendidas en la Internet pública, ya que su utilización se limita sobre todo a un pequeño número de redes universitarias. Además, actualmente no existe ningún sistema de tarificación por categoría de servicio (o por clase de servicio). Tampoco se han desarrollado programas informáticos de contabilidad, facturación o de interfaz de usuario que permitan ofrecer este servicio. Por ello, el análisis de las opciones existentes en cuanto a la clase de servicio ofrecido se reserva habitualmente a las publicaciones académicas.

Los **estudios de investigación** que se examinan en el presente Informe no tienen por el momento aplicación práctica para las redes reales basadas en el IP, pues consisten en ejercicios de formulación de modelos matemáticos, lo que puede parecer sorprendente a los lectores que no estén muy familiarizados con Internet, ya que existe una gran cantidad de publicaciones en las cuales se abordan la clase y el grado de servicio ofrecidos a través de las redes IP, incluida Internet. Sin embargo, la mayor parte de dichas publicaciones tienen carácter técnico o proceden de empresas interesadas en comercializar soluciones internas que satisfagan las necesidades de comunicación de los consorcios. En estos casos, es fácil gestionar la calidad de servicio (QoS), pero sin olvidar que, actualmente, las Intranet pueden aportar soluciones que incluyan voz, datos y vídeo. Con todo, en dichas redes no existe tarificación aplicable al usuario final.

En aquellos casos en que el VoIP funciona fuera de las Intranet de las empresas, éste suele consistir principalmente en un servicio internacional de baja calidad que se utiliza **para evitar pagar tasas de distribución** y se limita en gran parte a las redes de proveedores de servicios de Internet (ISP) de tránsito simple. Por lo general, las llamadas de teléfono a teléfono pasan por dispositivos de pasarela que empaquetan los datos recibidos desde las líneas telefónicas de la RTPC y los envían a una red IP. Al llegar al extremo final, se invierte el empaquetamiento. Este tipo de servicio se encuentra en una fase inicial de desarrollo.

En las redes IP no se mantiene abierto ningún circuito especializado mientras dura la comunicación, tal como ocurre con la RTPC, sino que la información se digitaliza, se coloca en paquetes y se envía en modo aleatorio junto con otros paquetes procedentes de distintas fuentes para que, en último término, éstos lleguen a sus destinos. Este modo aleatorio hace que se dé la misma prioridad a todos los paquetes, se trate de un paquete procedente de una conversación vocal o de un correo electrónico. En caso de que se produzca una congestión, los paquetes que se encuentran al principio de la cola serán enviados en primer lugar; así, por ejemplo, aquellos paquetes que contengan datos de voz tendrán que esperar a todo paquete que no sea urgente y ocupe un puesto anterior en la cola. Por regla general, la fiabilidad y la calidad de las conexiones "virtuales" en Internet son muy inferiores a las que puede proporcionar la RTPC.

Por consiguiente, una gestión de las redes que permita controlar la congestión es un elemento clave para garantizar la calidad de servicio en tiempo real en las redes IP, incluida Internet. Desde un punto de vista tecnológico, se han consagrado grandes esfuerzos a abordar los problemas de congestión, aunque éstos sólo podrán resolverse de forma generalizada mediante una gestión de la demanda.

La gestión de la demanda tiene que ver sobre todo con la tarificación, y a menudo la **estructura de los precios** es más importante que su nivel. La eficiencia económica exige que la estructura de los precios propuestos a los usuarios corresponda a la estructura de los costos generados por los usuarios, lo que significa que la forma según la cual se producen los costos debería quedar reflejada en los gastos en que incurre el cliente. Hoy en día, la tarificación de Internet no se lleva a cabo de esta manera, ya que los usuarios pagan una cuota de abono periódica y, salvo que sean clientes de los servicios por conexión telefónica, quienes pagan una tasa por minuto, no se les impone un precio adicional por enviar paquetes de más, incluso en momentos de máxima demanda.

Cabe considerar que la principal herramienta de tarificación que se requiere para disponer de un servicio IP fiable que funcione en tiempo real es un **precio de congestión**, esto es, un precio que varíe para que todas las personas que solicitan un servicio en tiempo real a dicho precio y durante un periodo de máxima demanda puedan disfrutar de ese servicio. Un sistema de tarificación de este tipo permitiría asimismo conocer el nivel óptimo de inversión en capacidad de red. De utilizarse junto con un sistema en el que los usuarios puedan elegir la calidad de servicio que desean (por ejemplo, la clase de servicio {CoS}), haría posible la convergencia de las redes IP y de Internet con otras plataformas tales como la RTPC y las redes CATV (televisión por cable).

Parece que aún tendrán que transcurrir muchos años antes de que los usuarios de Internet dispongan de un acceso generalizado a distintas opciones de calidad de servicio, a las que se aplique, por otra parte, una tarificación más compleja de la que caracteriza a los actuales servicios de Internet. La ausencia de un sistema de tarificación perfeccionado y de opciones de QoS obedece a motivos técnicos, principalmente a los problemas de soporte físico y lógico que existen entre los ISP, debido a los cuales la interoperabilidad entre tales proveedores dista de ser perfecta.

Aparte de los problemas de calidad de servicio que surgen en las fronteras de la red, se plantean otras dificultades que será necesario resolver antes de establecer una tarificación perfeccionada y opciones de QoS; nos referimos a los problemas de gestión de la congestión que se producen en las redes IP, principalmente aquellos que tienen que ver con la tarificación de los servicios (tal como se indicó anteriormente); a la ausencia de sistemas de información contable que permitan efectuar las mediciones y las facturaciones necesarias, por ejemplo, los que se requerirían para garantizar distintos niveles de calidad de servicio entre los cuales los abonados podrían elegir dependiendo del tipo de servicio de comunicaciones que contratasen; y a la inexistencia de una interfaz con los usuarios finales que haga posible elegir entre distintas calidades de servicio y resulte así útil para los usuarios.

1 Introducción

De acuerdo con el mandato que he recibido, el presente estudio abordó la función de la tarificación aplicable a las distintas categorías de calidad de servicio ofrecidas a través de redes IP, con miras a determinar la viabilidad comercial de los servicios basados en el protocolo Internet y suministrados en tiempo real. Aparte de proporcionar información sobre el tema, analiza las aportaciones de varios estudios académicos (facilitados por la UIT) y propongo ejemplos sobre la justificación económica del soslaye internacional que permite Internet (y posiblemente otras redes transfronterizas basadas en el IP).

Al examinar el servicio suministrado en tiempo real a través de redes IP, no puedo dejar de abordar los aspectos relativos a la calidad de servicio. Para proporcionar un servicio en tiempo real por medio del protocolo Internet es necesario ofrecer una serie de características de calidad de servicio que suponen un problema para las redes IP, en particular para una red pública como Internet. El enfoque adoptado en mi Informe es bastante ambicioso, ya que expongo los motivos estructurales y

técnicos que explican por qué es difícil garantizar una calidad de servicio en las redes IP y, al mismo tiempo, describo los distintos grados, categorías y clases de calidad de servicio que pueden ofrecerse en dichas redes dentro de un entorno controlado.

En la práctica, las opciones de calidad de servicio no están muy extendidas en Internet, si bien algunas de ellas comienzan a entrecruzarse en redes IP privadas y redes universitarias. Sin embargo, no existe ningún sistema de pago o contabilidad que permita a los usuarios pagar por una QoS superior, dependiendo de la utilización o del caudal de paquetes. Queda, pues, mucho por hacer para que los futuros avances en materia de calidad de servicio (oferta) vayan unidos a la introducción de opciones de tarificación (gestión de la demanda).

Para que los servicios prestados en tiempo real sean viables, el principal problema que debe resolverse en cuanto a la calidad de servicio es el que concierne a la congestión. En este Informe se abordan los problemas de congestión y se explica que, cuando los paquetes que requieren una calidad de servicio en tiempo real son distribuidos aleatoriamente junto con otros paquetes, tal como ocurre en Internet, es necesario que todos los paquetes beneficien de la calidad de servicio en tiempo real o identifiquen los paquetes que tienen mayor prioridad, a fin de darles un tratamiento diferenciado.

Además de un sistema gracias al cual la admisión a la red se realice en función de la prioridad, hoy en día pueden utilizarse básicamente dos métodos para mejorar la calidad de servicio en Internet; a saber:

- 1) Reservar capacidad en las conexiones entre las cuales se requiere una QoS superior o
- 2) Establecer un dispositivo que permita marcar los paquetes (etiquetas) convenientemente para que éstos puedan recibir un trato prioritario.

En la actualidad, ninguno de estos dos métodos está lo suficientemente extendido en las aplicaciones VoIP de Internet o en cualquier otro servicio suministrado en tiempo real como para convertirse en un serio rival del servicio RTPC. Aunque las razones que explican esta situación son técnicamente complejas, parecen ser suficientemente importantes como para poder descartar que, en los próximos años, se registre un auge generalizado de los servicios ofrecidos en tiempo real a través de Internet. Sin embargo, en muchos países que siguen aplicando elevadas tasas de distribución a las llamadas RTPC internacionales, los servicios vocales de VoIP internacional están experimentando un rápido aumento. Es probable que estos servicios se constituyan en torno a redes ISP de tránsito simple y, en ese sentido, puede decirse que representan poco más que voz transmitida a través del servicio público de Internet. La calidad de este servicio será relativamente baja. Con el actual desarrollo de las tecnologías de red de área extensa (WAN), a escala internacional, es probable que este tipo de servicio siga extendiéndose, sobre todo en aquellas regiones del mundo que intentan conservar el antiguo sistema de tasas de distribución.

Para que el concepto de interconexión de "cualquiera a cualquiera" pueda aplicarse a Internet, habrá que disponer de una tarificación adaptada a las características de calidad de servicio, a fin de alentar a los proveedores a que desarrollen un servicio cuyos costos serán, sin duda, relativamente elevados. Sin embargo, parece que está lejana en el tiempo la creación de los soportes físicos y lógicos necesarios, sobre todo teniendo en cuenta que no se ha encontrado una solución a los problemas tecnológicos que se plantearían en caso de ofrecerse opciones diferenciadas de calidad de servicio; nos referimos, entre otras cosas, a las dificultades de tarificar por clase y grado de servicio. Como estas opciones de calidad de servicio no se han integrado aún en una tecnología comercialmente viable, no es sorprendente que tampoco se hayan elaborado modelos de tarificación más complejos para que los usuarios puedan pagar por la calidad de servicio deseada.

El presente Informe se ha estructurado como sigue. En el Capítulo 2 se traza un panorama general de las redes IP y, en particular, de Internet. Asimismo, se detallan las capas de los programas informáticos que hacen posible que Internet funcione y se describe la forma en que la conectividad entre ISP contribuye a la estructuración de la Internet. En el Capítulo 3 se aborda el tema de las categorías de calidad de servicio y los problemas técnicos que impiden el desarrollo de múltiples categorías de calidad de servicio en Internet. En el Capítulo 4 se examinan los aspectos económicos de la gestión de la congestión, principalmente el recurso a una tarificación que permita gestionar la demanda máxima de manera rentable y contribuya a mejorar el bienestar económico de la sociedad. En el Capítulo 5 se pasa revista a los servicios IP ofrecidos en "tiempo real", incluido el sistema que se utiliza para soslayar el pago de tasas de distribución: el Protocolo de transmisión de la voz por Internet (VoIP). En el Capítulo 6 se habla de los estudios académicos de investigación facilitados por la UIT, y el Capítulo 7 se reserva a los aspectos de reglamentación relacionados con el protocolo Internet, en especial los que conciernen la los servicios prestados en tiempo real.

2 Panorama general de la Internet y el protocolo Internet (IP)¹

2.1 Capas de red

Internet está integrada por más de 100 000 redes que proporcionan distintas soluciones de soporte físico y lógico, así como de los protocolos TCP/IP. Esta diversidad, que puede considerarse una ventaja, es también inconveniente, pues, por el lado positivo, permite a las redes que utilizan equipos no normalizados y que funcionan con programas informáticos no normalizados o diferentes conectarse y comunicarse entre sí a través de Internet, y, por el negativo, esta diversidad hace que sea difícil allanar los obstáculos técnicos (soporte físico y lógico) que se interponen en el camino de una interoperabilidad perfecta entre las redes.

Figura 2-1 – La OSI y la pila de protocolos de Internet

Aplicaciones y servicios	Capa 7 – Aplicación Capa 6 – Presentación Capa 5 – Sesión
TCP o UDP	Capa 4 – Transporte
IP	Capa 3 – Red
Capa 2 - Enlace de datos	Capa 2 - Enlace de datos
Capa 1 - Física	Capa 1 – Física

Fuente: *Smith and Collins(2002)*

¹ En distintas partes de este Informe me he basado en gran medida en un Informe que el Dr. Elixmann y yo redactamos para la Comisión Europea. Este Informe se ha incluido en las referencias como WIK (2002). El asesoramiento técnico que Alberto E. García y Klaus Hackbarth me brindaron mientras realicé el estudio me ha resultado muy útil para prepararlo, aunque debe quedar patente que corro a cargo de los errores técnicos o de otra índole que puedan haberse deslizado.

Uno de los principales motivos de esta falta de homogeneidad se indica en la Figura 2-1, en la cual se muestra la pila de protocolos de siete capas que constituye la estructura de Internet, pila denominada interconexión de sistemas abiertos (OSI)². El protocolo Internet opera en el tercer nivel, mientras que los protocolos de aplicaciones y servicios lo hacen en las capas superiores 5 a 7.^{3, 4}

Para que Internet pueda converger con otras plataformas tales como las redes RTPC y CATV, deberán vencerse los obstáculos técnicos que impiden lograr una interoperabilidad perfecta. Asimismo, para que la Internet convergente de la próxima generación se convierta en una realidad, deberán encontrarse soluciones que mejoren la calidad y la fiabilidad de la conectividad, así como el ancho de banda y la calidad de servicio (QoS) ofrecidos al usuario final. Actualmente, hay interoperabilidad entre distintas redes basadas en el protocolo Internet, aunque ésta no sea totalmente perfecta. Por lo demás, tampoco se conserva la funcionalidad entre las redes.

2.2 La estructura de la conectividad en Internet

Internet está organizada como una amplia jerarquía de entidades, que incluye dispositivos de comunicaciones IP tales como computadores personales, estaciones de trabajo y servidores (a los que también se denomina anfitriones) en los extremos distantes, conectados a redes de área local (LAN)⁵, las cuales a su vez están conectadas a uno o varios ISP que operan a nivel regional (denominados ISP locales). Por lo general, los ISP locales están conectados a ISP nacionales, que por su parte, están conectados a ISP internacionales. En lo alto de esta amplia jerarquía se encuentran los ISP centrales, a los que también se conoce por proveedores principales de Internet (IBP), o ISP de Nivel 1. En algunos casos, un ISP puede atravesar dos o más de estos amplios niveles jerárquicos. En la Figura 2-2 se representa esquemáticamente esta estructura jerárquica.

Si bien hasta mediados de los años 90 sólo los grandes ISP se interconectaban con otros ISP, actualmente hay un gran número de ISP regionales que se conectan a otros ISP regionales (conectividad horizontal). Asimismo, muchos ISP se conectan a más de un proveedor de tránsito (conectividad vertical).

La interconexión horizontal se conoce con el nombre de *intercambio entre pares*, pero cuando dicha interconexión se produce entre ISP que no son proveedores principales de redes dorsales, suele denominarse *intercambio secundario entre pares*. Un proveedor par sólo acepta el tráfico procedente de otros proveedores pares que vaya a terminarse en su propia red. Los acuerdos entre pares hacen que se abandonen los paquetes enviados con una dirección que la red receptora del ISP no reconozca. Salvo en contadas ocasiones, las relaciones entre pares no conllevan un pago entre

² La OSI describe cómo la información procedente de una aplicación informática de un computador se desplaza a través de un medio de la red hasta una aplicación informática de otro computador. Se trata de uno de los principales modelos arquitectónicos para la comunicación entre computadores.

³ En la forma combinada que hemos indicado, TCP/IP corresponde a una serie de más de 100 protocolos que desempeñan funciones de nivel inferior. Sin embargo, los protocolos IP (protocolo Internet) y TCP (protocolo de control de transmisión) soportan la mayor parte de la carga de trabajo en la capa 3.

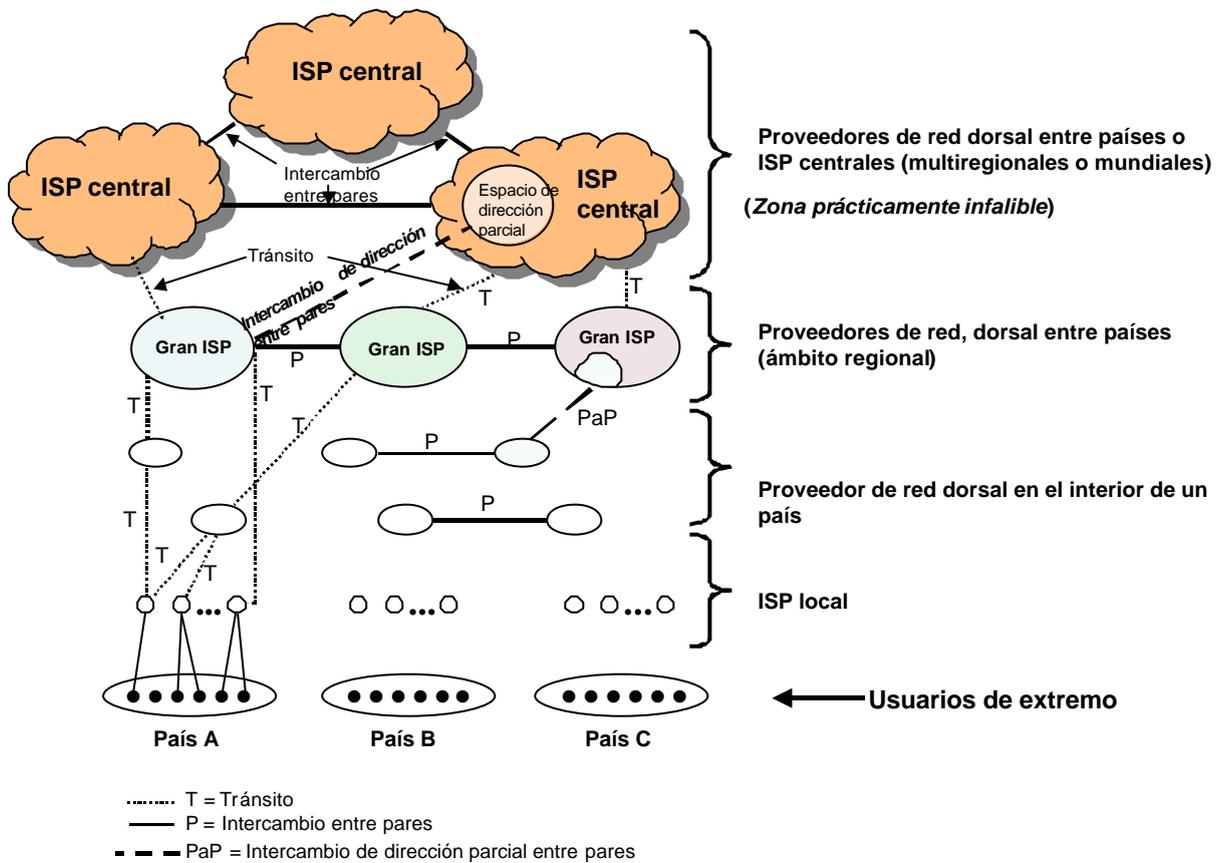
⁴ Las capas 1 y 2 están formadas por múltiples y distintas redes de enlace fijo (tales como la RDSI, las LAN, las redes ATM, las redes SDH y la DWDM que pueden transportar tráfico IP. El protocolo Internet (IP) de la tercera capa es absolutamente independiente de los niveles inferiores.

⁵ Las LAN reúnen varios dispositivos de comunicaciones IP conectados entre sí.

los asociados. El precio cobrado por cada uno de estos asociados para la terminación del tráfico procedente del otro asociado corresponde simplemente al costo estipulado en el acuerdo recíproco, es decir, en el acuerdo de interconexión de *retención íntegra de tasas en origen de que se trate*.

Aunque no suele ser muy usual, aquellos ISP que son dispares en lo que al tamaño se refiere (se trata de kilómetros de red o del espacio de dirección reservado a los clientes) pueden decidir concertar un acuerdo entre pares, si bien en ese caso el ISP más grande sólo accederá a proporcionar al asociado más pequeño una parte de su espacio total de dirección que, en general, comprenderá aproximadamente el mismo número de direcciones que el ISP más pequeño pueda proporcionar al ISP más grande, fenómeno que he denominado *intercambio de dirección parcial entre pares*.

Figura 2-2 – Interconexión vertical y jerárquica en Internet



Fuente: Extraído de WIK 2002

La interconexión vertical es la jerarquía contemplada en los contratos de tránsito. En este caso, los ISP pagan por el tránsito. A diferencia de lo que ocurre en una relación entre pares, el ISP que vende los servicios de tránsito aceptará el tráfico que no termine en su red (por ejemplo, los datagramas cuyas direcciones no sean reconocidas por los cuadros de encaminamiento del ISP de mayor tamaño) y encaminará ese tráfico de tránsito a sus asociados pares, o adquirirá el mismo tránsito cuando no se reconozca la dirección de terminación. El acuerdo de tránsito permite ofrecer una conexión a Internet a todos los usuarios finales, lo que es mucho más de lo que puede proporcionarse con un acuerdo entre pares. A partir de finales de los años 90, muchos ISP de menor

tamaño comenzaron a firmar contratos de tránsito con más de un proveedor de tránsito⁶. Esto es lo que se conoce por *multidireccionamiento*. Los principales motivos por los que un ISP puede optar por el multidireccionamiento son:

- la elasticidad de los flujos ascendentes de servicio, y
- una mayor optimización de los flujos de tráfico.⁷

Existen otras formas de conectividad que reemplazan los intercambios entre pares y los contratos de tránsito, y que se conocen con los nombres de *Hosting* (alojamiento), *Caching* (almacenamiento temporal), *Mirroring* (duplicación) y *Content Delivery Networks* o CDN (redes de distribución de contenidos). Todas ellas tienen una finalidad similar, a saber, la de albergar los contenidos (por ejemplo, las páginas web) más cerca de los bordes de Internet, lo que permite reducir los costos de tránsito de los ISP y mejorar los tiempos de respuesta a las peticiones de información. Estas modalidades son otras tantas pequeñas variantes al torno al tema de la conectividad.

2.3 Direccionamiento de Internet

La jerarquía de Internet es bastante flexible, lo cual constituye una característica intrínseca de dicha red, y permite evitar que cada ISP tenga que interconectarse con todos los demás ISP. Dicha interconexión global sería muy poco práctica ya que, entre otras cosas, exigiría que todos los ISP mantuvieran cuadros completos de direcciones en sus encaminadores de contorno, en cuyo caso toda la Internet tendría que estar engranada, estructura que es a todas luces imposible habida cuenta del número y la dispersión geográfica actual de los ISP.

Por dichos motivos, Internet emplea un sistema de encaminamiento y direccionamiento jerárquicos. Los datagramas IP se inician en los bordes distantes. En el encabezamiento de cada datagrama, figura una dirección en forma de número IP. Por regla general, los ISP sólo registrarán, en sus cuadros de encaminamiento, las direcciones (números IP) de sus propios clientes o de los clientes del ISP con el cual mantienen una *relación entre pares*. Si la dirección no se encuentra en esa lista, tal como suele suceder con los ISP más pequeños, el datagrama se enviará al ISP más grande de los niveles superiores de la jerarquía con el cual el ISP de menor tamaño haya firmado un contrato de servicio de tránsito. Este procedimiento se seguirá aplicando hasta que se encuentre una red en la cual se reconozca al destinatario, en cuyo caso el paquete se enviará para su terminación.

⁶ Entre los principales motivos que explican el aumento de la conectividad entre los ISP cabe citar el desarrollo de protocolos de encaminamiento que permiten ofrecer opciones de gestión de redes y equipos a bajo costo, gracias a las cuales los ISP más pequeños pueden elegir entre diferentes rutas y proveedores de tránsito para enviar el tráfico a los niveles superiores de la jerarquía; la disminución de los costos de la infraestructura arrendada, y el aumento de la infraestructura subyacente. En lo que respecta a los ISP de pequeño y mediano tamaño, el desarrollo del protocolo BGP4 y, ulteriormente, de equipos de encaminamiento baratos y fáciles de utilizar que emplean dicho protocolo hizo que el multidireccionamiento fuera económicamente viable. Véase, por ejemplo, BoardWatch Magazine, julio de 1999.

⁷ Véase Huston (2001a).

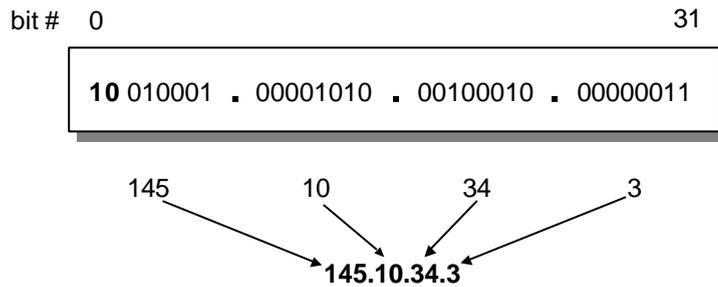


Figura 2-3 - La dirección IPv4 expresada en notación decimal de puntos

Fuente: Semeria (1996)

Las direcciones IP o, para ser más precisos, los números IP, se adjuntan a cada paquete IP. Una vez que la información digitalizada se ha empaquetado en la cabida útil del datagrama y, hasta el momento de su entrega al destinatario, el encabezamiento será la única parte del datagrama que se examine. Desde principios de los años 80, el datagrama IP empleado ha sido la versión 4 del protocolo Internet (IPv4). Este datagrama tiene una dirección IP de 32 bits, que se divide en campos de ocho bits, cada uno de éstos expresados en números decimales y separados por un punto. En la Figura 2-3 se da un ejemplo de la notación decimal de puntos.

En la práctica, el direccionamiento no está tan desorganizado como da a entender el párrafo anterior, ya que los encaminadores de los ISP intercambian información con otros encaminadores acerca de la ruta más indicada para enviar datagramas, información que queda almacenada en cuadros de encaminamiento, los cuales se actualizan periódicamente. La elección del trayecto que recorrerán los datagramas hasta llegar a su dirección de terminación también la realizan los protocolos de encaminamiento, que pueden ser manejados por el administrador de red⁸.

3 Calidad de servicio: aspectos tecnológicos

3.1 Calidad de servicio en las redes IP

Las redes IP se basan en tecnologías de conmutación de paquetes. La información se digitaliza, se coloca en paquetes y se envía aleatoriamente junto con otros paquetes procedentes de distintas fuentes para que, en última instancia, éstos lleguen a sus destinos. Este trato aleatorio de los paquetes supone que se dé la misma prioridad a todos los paquetes, sea un paquete procedente de una conversación de voz, o un correo electrónico. En caso de que se produzca una congestión, los paquetes que se encuentran al principio de la cola serán enviados en primer lugar (por ejemplo, aquellos paquetes que contengan datos de voz tendrán que esperar a todo paquete que no sea urgente y ocupe en puesto anterior en la cola).

⁸ Un grupo de encaminadores que se encuentra bajo el control administrativo de una sola organización constituye un *sistema autónomo* (AS), al que también se denomina *dominio de encaminamiento*.

En las redes IP no existe ningún circuito especializado que se mantenga abierto mientras dure la comunicación, tal como ocurre con la RTPC⁹. Además de la capacidad de interfuncionamiento con diversos sistemas, uno de los motivos por los cuales las redes de paquetes tales como el protocolo Internet resultan atractivas, en comparación con las redes con conmutación de circuitos, es que proporcionan un nivel de flexibilidad mucho mayor para atender a las necesidades de anchura de banda de las conexiones, y resultan más eficaces en cuanto a la utilización de la capacidad disponible. Asimismo, apuntan a la posibilidad de integrar los servicios, lo cual no caracteriza a la RTPC.

Por lo general, la fiabilidad y la calidad de las conexiones "virtuales" a Internet son muy inferiores a las que pueden garantizarse en la RTPC. Sin embargo, la diferencia de calidad existente entre las dos plataformas se ha reducido considerablemente, ya que la potencia de los procesadores y la capacidad de transporte de datos de las redes han mejorado de forma espectacular. Aun así, la diferencia de calidad de servicio sigue siendo muy evidente, toda vez que pueden ofrecerse servicios de voz por Internet, pero sólo en virtud de acuerdos técnicos bastante específicos y con una gran variación de la calidad de servicio para los usuarios¹⁰. En general, y dejando de lado las Intranet privadas más modernas, la experiencia de los usuarios con respecto al VoIP es la de un servicio de calidad inferior y variable, que se presta principalmente a través de enlaces internacionales y fuera de los países en los que el precio de las llamadas RTPC se fija a niveles muy altos, por lo que puede considerarse un servicio internacional opcional¹¹.

Desde el punto de vista de la calidad de servicio, la mayoría de los elementos relativos al tráfico de Internet son inciertos y deben definirse en términos de probabilidades. Sin embargo, los paquetes no reciben, en sentido estricto, un trato igual en Internet, ya que se seleccionan aleatoriamente con independencia de que incluyan datos de voz, correos electrónicos o tengan alguna otra finalidad, por lo que en ese sentido no puede decirse que ningún paquete sea objeto de un trato superior.

Huelga decir que pueden ofrecerse muchos tipos de servicio a través de Internet, entre los que cabe citar la WWW, el flujo continuo de vídeo, la transferencia de ficheros, el correo electrónico y los servicios vocales en tiempo real. Todos estos productos tienen distintas exigencias en cuanto a la calidad de servicio. Se dice que el VoIP tolera un determinado nivel de latencia (retardo), fluctuación (variación del retardo) y anchura de banda. El flujo continuo de vídeo requiere una anchura de banda mayor, si bien puede tolerar un poco más de latencia y fluctuación que el VoIP. Como las aplicaciones "en tiempo real" pueden ajustar el tiempo de reproducción¹², los valores de latencia y fluctuación requeridos por la red serán, en consecuencia, inferiores. Si bien en el caso del flujo continuo de vídeo es posible ajustar los tiempos de reproducción, no sucede lo mismo con el VoIP.

En la Figura 3-1 se muestran los parámetros de variación de la pérdida y el retardo correspondientes a distintas aplicaciones. Debe quedar claro que si se desea ofrecer cada uno de estos servicios por Internet con una calidad que pueda equipararse a la de las plataformas que tradicionalmente han

⁹ En el caso de las llamadas de larga distancia, la convergencia tecnológica ha tenido como resultado que todo el tráfico se envíe a través de los mismos circuitos ópticos e infraestructuras subyacentes. Ello significa que, incluso actualmente, los circuitos RTPC son más virtuales que reales.

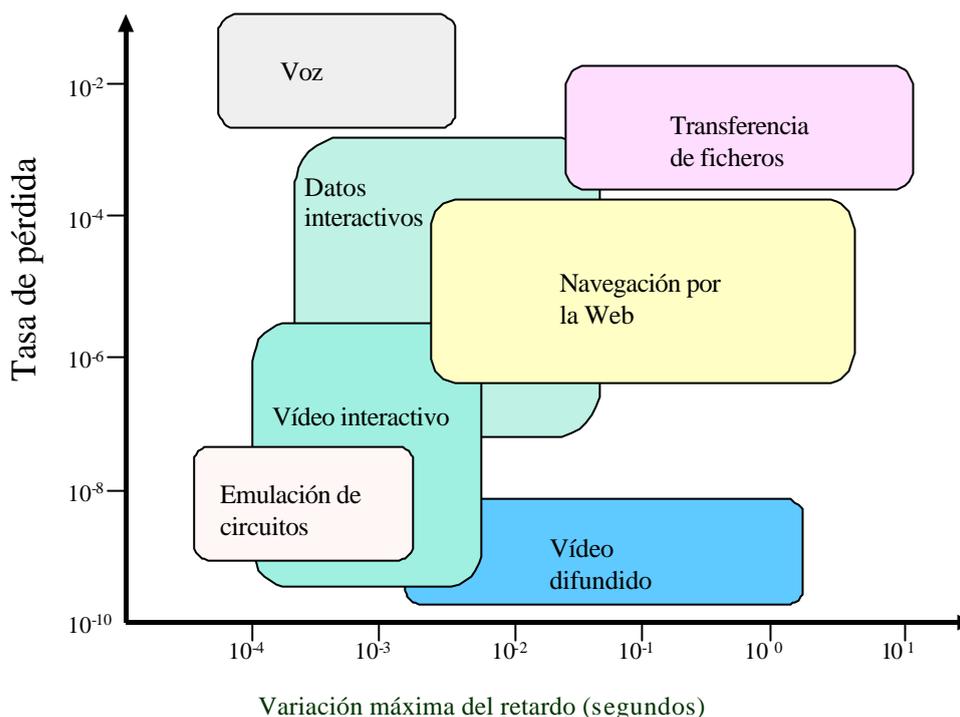
¹⁰ No es infrecuente que se requiera un tiempo de memorización intermedia de un segundo.

¹¹ En el Capítulo 6 ya se habló del modelo internacional alternativo basado en el protocolo Internet.

¹² Este ajuste se realiza mediante el almacenamiento temporal de los datos, lo que significa que los paquetes se guardan en memoria durante periodos de tiempo muy breves hasta que puedan reproducirse en el orden correcto en un plazo apenas perceptible.

proporcionado el servicio (por ejemplo, la RTPC, el CATV o la radiodifusión de libre acceso), todos los datagramas deberán beneficiar de una QoS superior, sin que se produzcan pérdidas de paquetes o colas de espera importantes en los nodos, o los paquetes deberán tratarse de un modo distinto, en función de la calidad de servicio requerida por la aplicación (por ejemplo, si un usuario de extremo desea utilizar Internet para mantener una conversación telefónica IP en tiempo real, habrá de contratar un servicio en el cual los plazos de entrega de datagramas sean muy breves).

Figura 3-1: Requisitos de QoS de distintas aplicaciones en cuanto a la pérdida y la variación del retardo



Fuente: McDysan (2000)

Internet no se concibió con estas características en mente, y se diseñó para proporcionar un servicio de entrega de datos de bajo costo, en el cual la QoS y la gestión de las colas de espera que debían admitirse en la prestación del servicio (lo que se denomina grado de servicio {GoS}, y se examinará más adelante) no eran atributos importantes. Como señalamos anteriormente, los datagramas procedentes de distintas fuentes comparten los mismos conductos de transporte, canales (unidireccionales) o circuitos (bidireccionales). Ello forma parte de la función de gestión del tráfico en redes IP, y se conoce con el nombre de *multiplexación estadística*, proceso mediante el cual se agregan los datos procedentes de distintas fuentes con el fin de optimizar la utilización de los recursos de red.

3.2 Categorías de calidad de servicio

En sentido amplio, el término *calidad de servicio* (QoS) abarca características que van más allá de las incluidas en su definición técnica. A menudo, cuando los analistas de Internet emplean dicho término, se están refiriendo a aspectos relacionados con el servicio del que se benefician los

usuarios finales. A los efectos del presente Informe, se identificarán tres aspectos distintos de la calidad de servicio, entendida ésta según la conciben los especialistas de Internet. Dichos aspectos son:

- La calidad de servicio (QoS).
- El campo tipo de servicio (ToS) y, dentro del mismo, la clase de servicio (CoS).
- El grado de servicio (GoS).

3.2.1 Calidad de servicio (QoS)

Como en el marco de la QoS se da mucha información sobre el funcionamiento de Internet, esta cuestión se tratará de forma más detallada que los otros dos aspectos mencionados. La QoS se define mediante un conjunto de parámetros que describen un flujo de paquetes o células (llamémoslos datagramas) generado por una sesión de Internet. Ello puede abarcar servicios punto a punto, multipunto, de multidifusión y de radiodifusión. Los parámetros más importantes en cuanto a la QoS de las redes con conmutación de paquetes/células son:

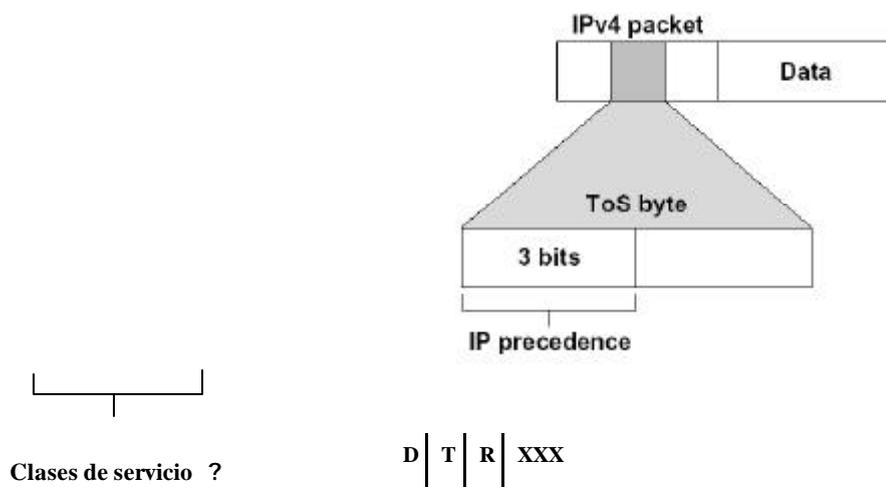
- la latencia, a saber, el tiempo que tardan los paquetes o células en ir del emisor al receptor;
- la fluctuación, esto es, la variación de la latencia;
- la tasa de pérdida de paquetes o células o las llegadas demasiado tardías para ser útiles;
- los errores de etiquetado/direccionamiento.

En conjunto, estas estadísticas describen la calidad de servicio de un determinado flujo de datagramas. Es importante que dichas estadísticas sobre la QoS se mantengan, desde el lugar de origen hasta el destino final, dentro de los límites necesarios para proporcionar un servicio VoIP de suficiente calidad para atraer a un número de consumidores que garantice que el servicio sea viable.

3.2.2 ToS y CoS

El tipo de servicio (ToS) remite al campo tipo de servicio existente en los datagramas IP para una clase de servicio (CoS) especificada con respecto a cada paquete. Los encabezamientos IPv4 proporcionan 3 bits que en la práctica permiten especificar actualmente cuatro clases de servicio distintas en el campo ToS. En la Figura 3-2 se muestra el campo ToS contenido en un encabezamiento de paquete IPv4.

Figura 3-2: Precedencia IP del campo ToS contenido en un encabezamiento IPv4



Fuente: Black (1998), y Cisco Systems

Leyenda de la figura: 1) Paquete IPv4, 2) Datos, 3) byte ToS, 4) Precedencia IP

En la figura 3-2, la letra D se ha utilizado para precisar si el datagrama puede ser retardado, la letra T corresponde a la prioridad de caudal, la letra R indica si se requiere una subred fiable y las letras "XXX" se reservan para un uso futuro.

Este campo puede emplearse para soportar la CoS, siempre y cuando los encaminadores hayan sido programados para ello, cosa que no sucede por el momento. En su lugar, una arquitectura denominada servicio diferenciado (*DiffServ*) utiliza este campo, aunque de forma ligeramente modificada, con respecto a la que se ha bautizado con el nombre de *campo de servicios diferenciados*. El servicio diferenciado se aborda en el punto 3.3.2.

3.2.3 Grado de servicio (GoS)

Mientras que la QoS está relacionada con las propiedades estadísticas de un flujo, el grado de servicio (GoS) se refiere a las estadísticas que describen la probabilidad de que los paquetes de un usuario sean admitidos en primer lugar. En un entorno RTPC, esta propiedad se conoce por *bloqueo*. Para poder describir la calidad de servicio existente entre dos puntos que están "virtualmente" conectados por medio de una o varias redes IP, es necesario conocer tanto el GoS como la QoS. Por consiguiente, debe añadirse un parámetro de GoS a los parámetros de QoS anteriormente mencionados:

- La probabilidad de que el servicio (descrito según los parámetros de QoS) esté disponible.

3.3 Categorías de calidad de servicio

En los últimos años se han registrado numerosos cambios tecnológicos gracias a los cuales la calidad de servicio puede gestionarse de forma más eficaz en una red IP, si bien entre las redes siguen planteándose problemas de QoS. También en estos últimos años se han debatido mucho dos enfoques encaminados a proporcionar una categoría de servicio superior. Se trata de las tecnologías *IntServ* y *DiffServ*. En lo que queda de este punto examinaré ambas contribuciones e identificaré algunas características arquitectónicas de Internet que revisten bastante importancia para la calidad de servicio. Más adelante, en el punto 3.4, analizaré los problemas de QoS que impiden una amplia difusión de los servicios en tiempo real en la Internet pública, así como el desarrollo de distintas categorías de calidad de servicio.

Internet ofrece dos medios principales para gestionar el tráfico con un criterio selectivo de calidad de servicio; a saber:

- 1) marcar los paquetes con prioridades distintas (rotulado), o
- 2) reservar capacidad, con carácter periódico, en aquellas conexiones para las cuales se requiere un nivel más elevado de QoS.

En el primer caso se otorga un trato preferente a los paquetes convenientemente marcados. Este enfoque de calidad de servicio debe aplicarse a todos los encaminadores por los cuales puedan pasar paquetes. Se establecen distintas colas para los paquetes prioritarios (rotulados) y no prioritarios, realizándose la selección del siguiente paquete que deba salir por medio de un algoritmo de ponderación de la cola. Este enfoque no garantiza unos valores fijos para la QoS, y permite únicamente que dicha calidad se analice probabilísticamente, esto es, en términos de estadísticas de QoS que, de algún modo, son superiores a los datos habituales. Para ello, deberán utilizarse circuitos virtuales (VC) o trayectos virtuales (VP), en lugar de tipos de servicios de usuario de extremo. El enfoque mencionado se aplica mediante el protocolo de transporte en tiempo real (RTP) y se complementa con el correspondiente protocolo de control, denominado protocolo de control en tiempo real (RTCP), que controla la conexión virtual utilizada por esta tecnología.¹³

¹³ Véase RFC1889 y RFC1890.

En el segundo caso, se introduce un cierto tipo de señalización mediante el cual se procura garantizarse un valor mínimo de capacidad para aquellos flujos de paquetes que requieran una QoS superior a la habitual. A continuación, procedo a un breve examen de estas tecnologías.

3.3.1 IntServ

La tecnología indicada en el inciso 1 *supra* se conoce con el nombre de *IntServ* (para los servicios integrados). Al igual que el RSVP (protocolo de reserva de recursos), *IntServ* funciona mediante un control de admisión. Durante los periodos de gran utilización, las distintas peticiones de flujo sólo se aceptarán en caso de que no desplacen a otros flujos ya admitidos. Los paquetes no etiquetados como prioritarios constituirán el grupo del cual se abandonarán paquetes cuando la congestión de la red llega a un punto que constituya una amenaza para las estadísticas de QoS que se han mencionado.

En el año 2000 el modelo *IntServ* ofrecía dos clases de servicio, basadas en las normas definidas por el Grupo de Trabajo de Servicios Integrados del IETF:

- i) la clase de servicio de carga controlada,
- ii) la clase de QoS garantizada.

La QoS ofrecida por la primera clase de servicio durante los periodos en los cuales la red experimenta una gran demanda es similar a la proporcionada por una red no cargada que no emplea la tecnología *IntServ*, y puede parangonarse con la que se suministra actualmente en una red dorsal durante los periodos en los cuales no hay congestión. Para que esta opción sea eficaz, debe proporcionarse a la red una estimación de las exigencias generadas por el tráfico de los usuarios a fin de poder poner a disposición los recursos necesarios.

La clase de QoS garantizada se basa en unos retardos mínimos en las colas y una anchura de banda garantizada. Esta opción no viene acompañada de un mecanismo o medio para identificar los flujos de tráfico, motivo por el cual debe utilizarse junto con el RSVP¹⁴. El receptor de los paquetes ha de conocer la especificación del tráfico que se está enviando a fin de poder realizar las reservas necesarias, para lo cual es necesario saber qué trayecto seguirán los paquetes entre el emisor y el receptor. Cuando la petición llega a los primeros encaminadores del trayecto, se comprueba la disponibilidad de este último y, en caso de confirmarse, dicha petición se transmite al siguiente encaminador. Si no hay ningún encaminador en el trayecto que disponga de la capacidad suficiente, se emitirá un mensaje de error, en cuyo caso el receptor tendrá que volver a cursar la petición de reserva una vez transcurrido un breve intervalo de tiempo.

La tecnología *IntServ* no utiliza el campo ToS contenido en los paquetes IP, y se aplica con circuitos virtuales (VC) emulados.

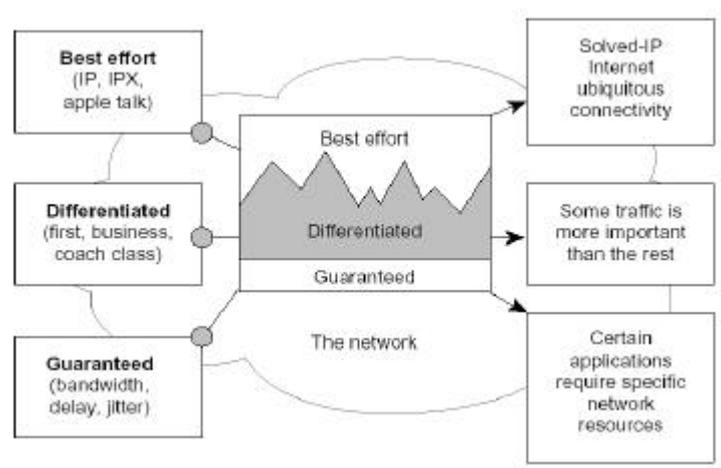
¹⁴ El RSVP es un protocolo de control que no transporta datagramas. Eso hace que, los datagramas se transporten una vez cumplimentados los procedimientos de reserva por medio del RTP. El RSVP necesita también protocolos de señalización para realizar estas reservas (tema del que se hablará más adelante). Sin embargo, sólo será posible efectuar la reserva si todos los encaminadores que participan en la transmisión soportan el RSVP. El RSVP utiliza un algoritmo de colector de testigos. Los testigos son recogidos por un colector lógico de testigos, lo que permite controlar la velocidad de transmisión y la duración de la ráfaga. El algoritmo simple de colector de testigos depende de dos parámetros, a saber, la velocidad media de transmisión y la profundidad del colector lógico. Los paquetes son controlados a su llegada con objeto de verificar si su longitud es inferior a la de los testigos del colector.

Aunque en Internet puede utilizarse el modelo *IntServ*/RSVP, en la práctica existen problemas de talla que lo impiden:

- existen considerables obstáculos a la escalabilidad, que no puede utilizarse en redes de gran tamaño,
- el modelo *IntServ* sólo es una solución técnica y, al diseñarlo, no se tuvo en cuenta la necesidad de fijar las tarifas de este servicio para poder gestionar la oferta y la demanda.

Actualmente, el uso de *IntServ* está restringido a las redes IP privadas.

Figura 3-3: Los tres niveles de la QoS de extremo a extremo son: el servicio del mejor esfuerzo, el servicio diferenciado y el servicio garantizado



Fuente: Cisco Systems

Leyenda de la figura:

- 1) Servicio del mejor esfuerzo (IP, IPX, apple talk)
- 2) Servicio diferenciado (primera clase, clase preferente, clase económica)
- 3) Servicio garantizado (anchura de banda, retardo, fluctuación)
- 4) Servicio del mejor esfuerzo
- 5) Servicio diferenciado
- 6) Servicio garantizado
- 7) La red
- 8) Ubicuidad de la conectividad de Internet resuelta por IP
- 9) Cierta tráfico es más importante que el resto
- 10) Determinadas aplicaciones requieren recursos de red específicos

3.3.2 DiffServ

La arquitectura *DiffServ* (servicio diferenciado) está diseñada para operar en los extremos de las redes en función de la *congestión prevista*, en lugar de la congestión real existente a lo largo de los trayectos. De esta descripción se desprende que no existe una QoS garantizada con respecto a un flujo determinado. Tal como ocurre con la Internet estándar, la tecnología *DiffServ* sigue basándose en el suministro de una anchura de banda estadística. La finalidad de la tecnología *DiffServ* es recopilar estadísticas de QoS para aquellos paquetes convenientemente marcados.

DiffServ puede admitir distintas normas de QoS en el campo ToS del encabezamiento de paquete IPv4 ligeramente modificado. Su forma levemente modificada se designa con el nombre de punto de código de servicio diferenciado (DSCP).¹⁵ Por lo general, la marcación del DSCP sólo se hará una vez, ya sea en la frontera de una red de servicio diferenciado o en la red del usuario. Todo control, conformación de los datos e información por flujo se producen en los extremos de la red. Ello supone que *DiffServ* tiene ventajas considerables, derivadas de la aplicación de un factor de escala, con respecto a *IntServ*¹⁶

La flexibilidad del sistema permite a los proveedores de servicios ajustar la QoS prevista a los niveles de calidad de funcionamiento previstos, lo cual permite, en principio, proporcionar las cifras correspondientes a los distintos niveles de calidad de funcionamiento (así como a los precios). Sin embargo, no existen normas específicas que permitan detallar los perfiles de capacidad previstos, función que se deja al libre albedrío de los ISP a fin de que éstos puedan determinar su propia oferta de servicios. El inconveniente de este método es que, al no existir un acuerdo ni haber transparencia en lo que respecta a la calidad de funcionamiento entre redes, el servicio sólo se daría "dentro de la red", es decir, que no podría prestarse en grado alguno en Internet. Por consiguiente, *DiffServ* no se ha desarrollado como una arquitectura de Internet. Además, su uso parece estar principalmente restringido a las redes IP privadas, aunque algunos ISP regionales de gran tamaño afirman estar utilizando esta tecnología en ciertas partes de sus redes.

Para que los proveedores de servicios puedan construir una cadena de valor, es necesario establecer sistemas de tarificación, contabilidad y facturación que puedan utilizarse conjuntamente con *DiffServ*. Actualmente, se están creando sistemas de contabilidad que sirvan de apoyo a la gestión de los recursos de Internet, sistemas que también permitirán fijar los precios y llevar la contabilidad de los distintos niveles y clases de servicio.¹⁷ Los aspectos que quedan por examinar son de índole

¹⁵ En la versión 6 del protocolo Internet (IPv6), *DiffServ* no puede aplicar el campo ToS, ya que éste no figura en el encabezamiento básico. Sin embargo, este campo podrá aplicarse mediante una extensión del encabezamiento básico.

¹⁶ *DiffServ* exige definir un perfil de servicio para cada usuario, cuya tarificación se determinará entre el ISP y el usuario de extremo. Seguidamente, se asigna al abonado un colector de testigos virtual que se llena a intervalos de tiempo fijos y sólo puede acumular testigos hasta que el colector esté lleno. A medida que llegan los paquetes destinados al usuario, se retiran los testigos. Con todo, los paquetes, etiquetados o no, no llegan en un orden determinado (tal como ocurre con la actual Internet). En caso de producirse una congestión, mientras el usuario disponga de un saldo positivo de testigos, todos sus paquetes se marcarán con la etiqueta "dentro del perfil", y los paquetes no etiquetados de este modo constituirán el grupo del cual éstos se abandonarán en situación de congestión. De no obrar así, los encaminadores no podrían distinguir los paquetes. Se dice que esta característica hace que sea mucho más fácil aplicar el sistema, comparado con *IntServ*.

¹⁷ Las tecnologías intermedias tales como la multidifusión IP perfeccionada ofrecen una nueva gama de aplicaciones de comunicación. Véase Grupo Especial sobre Ingeniería de Internet: <http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.html>. Recientemente, Hwang et al (2000) han propuesto un modelo de gestión de la anchura de banda para redes *DiffServ*, basado en el mercado en el cual se utilizan corredores de anchura de banda.

técnica y estratégica.¹⁸ Durante los dos últimos años, el IETF ha pasado revista a los sistemas de contabilidad y facturación.

Los diseñadores de redes parecen estar buscando tecnologías distintas de *DiffServ* como solución a largo plazo que hagan posible resolver el problema que representa proporcionar una QoS en tiempo real en Internet. Se diría que el interés de los investigadores ha pasado a centrarse en facilitar la convergencia entre las capas de red óptica y de datos (capas 2 y 3) en virtud del concepto paquete por SONET (PoS) (véase la Figura 2.1).

3.3.3 QoS y modo de transferencia asíncrono (ATM)

A principios de 2002 la mayor parte de los principales ISP empleaban el ATM para transportar datagramas IP.¹⁹ Los datagramas IP se cargan en células ATM para ser transportados.²⁰

El IP por ATM es un modelo de superposición en el cual intervienen dos arquitecturas de protocolo distintas que, inicialmente, no fueron concebidas para funcionar conjuntamente. Sin embargo, el encaminamiento ATM del protocolo Internet ha supuesto una gran mejora del precio y de la calidad de funcionamiento en comparación con el encaminamiento IP, aunque, con el progreso tecnológico, puede que esta ventaja no se mantenga a medio plazo.²¹ ²² Entre otros motivos por los cuales se emplea el ATM, cabe citar el de sus ventajas a nivel de QoS.²³

Para poder conectar con los protocolos de las capas superiores, el ATM necesita la capa de adaptación de ATM (AAL) (véase el esquema de la ISO - Figura 2-1). La AAL convierte los paquetes en células ATM y, en el extremo de entrega, lleva a cabo el proceso inverso. Los datos llegan a la pila de protocolos y se les asigna un encabezamiento AAL que encaja en la cabida útil

¹⁸ Algunos ejemplos de estos aspectos técnicos son el tipo de sistemas de contabilidad que deberían desarrollarse para la próxima generación de Internet o el tipo de componentes intermedios necesarios. Entre los aspectos estratégicos cabe citar la evolución de la cartera de servicios de Internet; la influencia de las distintas tecnologías y arquitecturas en lo que se refiere a las oportunidades brindadas a los actores existentes y los nuevos participantes; la importancia estratégica de las tecnologías; y la constitución de alianzas.

¹⁹ Algunos ISP han comenzado a utilizar la MPLS o una tecnología similar, aunque es probable que la mayoría siga utilizando el ATM como tecnología básica de "transporte".

²⁰ El ATM emplea el encaminamiento en los bordes y la conmutación en la parte central, lo que es coherente con el enfoque moderno del diseño de redes, caracterizado por un solo encaminamiento y varias conmutaciones.

²¹ Los encabezamientos de paquetes IP contienen la información que permitirá reenviarlos a través de la red. El encaminamiento IP se realiza en función del destino del paquete, decidiéndose la ruta definitiva "salto por salto". En cada encaminador, el paquete se reenvía según la carga de la red, lo que explica que el siguiente salto no se conoce con certeza antes de que cada encaminador tome la correspondiente decisión. Ello puede hacer que los paquetes que encapsulan una determinada comunicación viajen por rutas distintas hasta un mismo destino. Este procedimiento entraña que los paquetes lleguen en un orden distinto del orden en el cual se envían, lo que, a su vez, requiere una memorización intermedia.

²² Mientras que el IP es una tecnología de índole flexible orientada a los paquetes (sin conexión) y situada en la capa 3 del esquema de la ISO, el ATM es una tecnología de carácter rígido orientada a las células (orientada a la conexión) y situada en la capa 2 del esquema de la ISO (véase la Figura 2-1).

²³ Esta parte se inspira principalmente en Black (1999), Marcus (1999), McDysen (2000) y Kercheval (1997).

ATM. De este modo, el ATM puede acomodar los requisitos de QoS especificados por el sistema de extremo.²⁴

Una característica del ATM es que las estadísticas de QoS son previsibles y mensurables, lo que permite a los proveedores de tránsito ofrecer acuerdos de nivel de servicio para aquellas conexiones que proporcionan una determinada calidad de servicio. Las clases soportadas por UNI 4.0 son: la velocidad binaria constante (CBR); la velocidad binaria variable en tiempo real (VBR-rt); la velocidad binaria variable en tiempo no real (VBR-nrt); la velocidad binaria disponible (ABR) y la velocidad binaria no especificada (UBR), recomendándose esta última para Internet.

En la práctica, los ISP no tienen un acceso inmediato a muchos de los atributos de QoS que ofrece el ATM, ya que dicho modo de transferencia debe utilizarse junto con otros protocolos integrados. Además, los protocolos que conectan las capas IP y ATM son complejos y no siempre hacen posible desplegar eficazmente los atributos de QoS del ATM a través del IP por ATM. El desarrollo de interfaces de programación de aplicaciones facilitaría la accesibilidad de los sistemas de extremo que utilizan el IP por ATM a los atributos de QoS del ATM. Ello incrementaría las posibilidades de que el IP por ATM proporcione características de QoS que sean útiles para el usuario de extremo, tal como ocurre cuando el ATM funciona de computador de mesa a computador de mesa.

Si bien hace cuatro o cinco años muchos opinaban que el ATM era el medio gracias al cual la Internet de próxima generación se convertiría en una realidad, éste se encuentra en una fase avanzada del ciclo de vida del producto, por lo que se prevé una disminución de su popularidad entre los grandes ISP. Algunos ISP de gran tamaño ya han adoptado la MPLS, aunque es probable que sigan utilizando el ATM para el transporte de paquetes IP.

3.4 Problemas técnicos que limitan el desarrollo de los servicios de QoS y CoS

3.4.1 Problemas de QoS en los bordes de Internet y el interior de las redes

Muchos problemas que tienen que ver con la calidad de servicio surgen en puntos de congestión de las redes del proveedor de tránsito, así como en las fronteras con otras redes. Sin embargo, estos problemas también pueden plantearse en los bordes distantes de Internet. Cabe considerar que las principales dificultades son:

- la velocidad relativamente lenta que proporcionan la mayor parte de las líneas de acceso residencial;
- el estrangulamiento que se produce en la parte de la red de acceso (por ejemplo, en el acceso xDSL) o en la conexión virtual existente entre el DSLAM y el punto de la red dorsal, y
- los estrangulamientos que se producen en las LAN y los ISP de usuario final, así como en las WAIN y en los respectivos puntos de interconexión.

²⁴ Existen cuatro protocolos AAL, a saber, AAL1, AAL2, AAL3/4 y AAL5:

- AAL1: velocidad binaria constante (conveniente para vídeo y voz);
- AAL2: longitud variable, baja velocidad binaria, sensible al retardo (adaptado para la telefonía vocal y la parte fija de las redes GSM);
- AAL3/4: destinado al servicio sin conexión y de datos garantizados (se cree que no se ajusta bien a los casos de células perdidas o corruptas), y
- AAL5: destinado a servicios de datos no garantizados y **recomendado para el IP** (aunque pueden contratarse otros protocolos, se me ha hecho saber que ello no ocurre en el caso del IP).

De forma más general puede decirse que, varios factores frenan actualmente el avance de la convergencia de Internet con otras plataformas (tales como la RTPC). Estos factores pueden agruparse en varias categorías, las cuales se solapan unas con otras:

- la gestión de la congestión existente *en* las redes IP todavía no está plenamente perfeccionada y, a menudo, da lugar a una calidad de servicio que resulta inadecuada para algunos tipos de servicio, como el VoIP²⁵;
- la QoS superior o la oferta de varias categorías de servicios de distinta calidad no pueden mantenerse *entre* redes ISP por motivos técnicos, como la incompatibilidad del soporte lógico o incluso del soporte físico (el soporte lógico/físico del ISP puede no admitir las características de QoS proporcionadas por otro ISP);
- la ausencia de sistemas de información contable capaces de proporcionar la medición y facturación necesarias entre redes, por ejemplo, los que se requerirían para garantizar varios niveles de calidad de servicio entre los cuales los abonados podrían elegir según el tipo de servicio de comunicaciones que hubieran contratado;
- la inexistencia de una interfaz con los usuarios de extremo que permita elegir entre distintas CoS de un modo que aporte valor a los usuarios,
- la calidad actual de las redes de acceso no basta en general para que los usuarios de extremo se percaten de los problemas de QoS existentes entre redes dorsales.

Aunque todavía no se ha encontrado una solución a la mayor parte de estos problemas, se están realizando importantes esfuerzos para resolverlos.

3.4.2 Problemas de QoS en las fronteras

El tráfico intercambiado entre redes ISP se convierte en el denominado tráfico "fuera de red"²⁶, el cual plantea una serie de problemas de QoS.

Los principales problemas de QoS existentes fuera de la red pueden resumirse del siguiente modo:

- i) Cuando las redes de interconexión utilizan equipos de distintos vendedores y esos equipos no incluyen productos industriales plenamente normalizados, suelen surgir ciertos problemas que inciden en la QoS. Así, por ejemplo, se pierden estructuras del diseño de redes que mejoran la calidad de servicio, y no se utilizan sistemas de gestión normalizados.

²⁵ La limitación de los valores de QoS puede obedecer al procesamiento en el anfitrión, en la interfaz de acceso a la red o en la propia red. Por consiguiente, las conexiones de red deben proporcionar valores limitados en lo que se refiere a la tasa de pérdida, la tasa de inserción, el retardo y la variación del retardo a fin de satisfacer determinados parámetros de QoS. Por lo general, ello es válido incluso para el servicio "del mejor esfuerzo" (aunque éste no tenga que cumplir requisitos especiales de QoS), así como para una red a la que se haya dado las dimensiones correctas para evitar la congestión.

Según McDysan (2000), existen varios tipos de recursos que pueden provocar un estrangulamiento en una red de comunicaciones, entre los cuales cabe destacar: la capacidad del enlace de transmisión; la tasa de retransmisión de los paquetes por parte del encaminador; la disponibilidad de recursos especializados (por ejemplo, un receptor de tono); la tasa de procesamiento de llamadas, y la capacidad de la memoria intermedia.

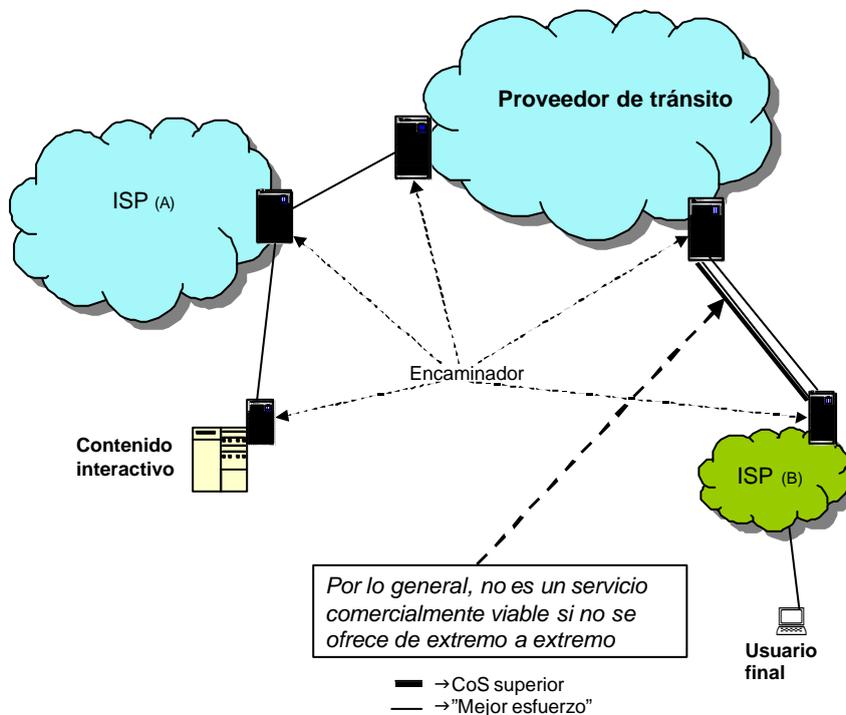
²⁶ Por tráfico "en la red" se entiende el tráfico intercambiado entre anfitriones conectados al mismo sistema autónomo (AS) y, por ende, encaminado con un protocolo de pasarela interior (IGP), a diferencia del tráfico "fuera de red", que se encamina entre los distintos AS por medio de un protocolo de pasarela exterior (EGP).

- ii) Cada uno de los acuerdos de nivel de servicio (SLA) ofrecidos por los proveedores de tránsito es específico. Las propiedades estadísticas de las redes ISP son distintas y, además, no son fácilmente comparables, ya que existen diferencias en cuanto al modo de recopilar los datos.
- iii) Algunas veces, las especificaciones del servicio de VBR del ATM (empleado para el tráfico de Internet) varían de una red a otra, por lo que la QoS no se mantiene cuando el tráfico cruza las fronteras.
- iv) Los equipos con dos o más años de antigüedad no suelen proporcionar las mismas capacidades de QoS que las ofrecidas por equipos más nuevos.

De lo anterior se desprende que la degradación de la calidad de servicio es muy frecuente en los extremos.

Por otra parte, existen motivos para sospechar que las posibles soluciones a estos problemas de QoS pueden verse aplazadas debido a un problema de coordinación. Todas las redes que manejan los datagramas enviados entre anfitriones comunicantes ("equipos terminales", en términos de RTPC) deben ser capaces de conservar los parámetros de QoS que proporciona la red de origen para que dichos parámetros puedan ser actualizados entre los anfitriones o las partes que establecen la comunicación. En otras palabras, si una de las redes del ISP encargadas de proporcionar la comunicación confiere a su parte de la red una calidad de servicio inferior a la ofrecida por otras redes, la QoS del flujo se verá reducida en consecuencia. Esta situación se ilustra en la Figura 3-4. En este contexto, las redes individuales pueden mostrarse renuentes a invertir en una QoS superior si no existe alguna forma de coordinar esta mejora con las demás partes de la cadena.

Figura 3-4: Coordinación y calidad de servicio superior de extremo a extremo



4 Calidad de servicio: tarificación y congestión

En esta sección se pasa revista a los factores económicos de QoS relevantes. Se examinan la medida en que la tarificación y la gestión de la demanda pueden contribuir a mejorar la calidad de servicio, así como los argumentos según los cuales los avances tecnológicos descartarán la necesidad de gestionar la demanda, especialmente, las afirmaciones de que una anchura de banda más económica y una mayor capacidad de procesamiento permitirán evitar la congestión (es decir, la escasez).

Los fundamentos de los argumentos esbozados en esta sección servirán para comprender los estudios de investigación que se analizan en el Anexo II.

4.1 Internet no es un "bien público" económico

En esta sección la discusión parte del supuesto de que una gestión satisfactoria de la congestión no puede lograrse únicamente gracias a la tecnología, por ejemplo, encontrando formas más rentables de utilizar la capacidad existente o resolviendo el problema con una mayor anchura de banda. En el Anexo I figura una apología general de esta condición, sobre todo en lo que respecta al sobredimensionamiento de Internet. Sin embargo, este enfoque plantea muchos problemas concretos que se examinan a continuación.

A la vista del supuesto mencionado, uno de los objetivos del desarrollo tecnológico de Internet debería ser el de contemplar la instauración de mecanismos a través de los cuales pueda gestionarse la demanda. Sin entrar en detalles, ello podría lograrse incrementando el precio de los servicios durante los periodos de congestión (por ejemplo, fijando un precio en función de los bits de caudal). Asimismo, este método podría ofrecer aún más ventajas si se aplicara a distintas CoS. Las tecnologías actuales no permiten proceder a una tarificación de la congestión o de la CoS. Tal como se indicó anteriormente, cabe considerar que uno de los principales motivos que explican esta situación es que, a menudo, la QoS no se mantiene cuando el tráfico pasa de una red a otra, lo que dificulta el desarrollo de sistemas de contabilidad y facturación, así como de programas de interfaz de cliente que soporten la tarificación de la congestión o un sistema con distintas categorías de calidad de servicio.

Dadas las actuales tecnologías de Internet, los paquetes son aceptados por redes conectadas sin que por ello se dé una garantía específica (aunque, por lo general, los SLA ofrecen una compensación en caso de incumplimiento de las "garantías" estadísticas) y basada fundamentalmente en el criterio del "mejor esfuerzo". Por ello, se trata del mismo modo a los paquetes que transportan correos electrónicos que a los paquetes que transportan conversaciones en curso²⁷. Desde el punto de vista de la gestión de la demanda, el hecho de considerar del mismo modo a los paquetes según el criterio del mejor esfuerzo plantea, como mínimo, dos tipos de problemas:

- 1) No se alienta a las redes a ofrecer servicios en tiempo real, ya que no se ha ideado ningún modelo que combine los aspectos comerciales y técnicos y permita hacer frente a los elevados costos que supone suministrar una calidad de servicio en tiempo real.
- 2) No se toman en consideración las diversas exigencias de los usuarios finales con respecto a la calidad de servicio, ya que, incluso para un mismo tipo de aplicación (por ejemplo, la videoconferencia), los clientes tendrán necesidades muy distintas en un momento determinado.

²⁷ Tras la adopción del ATM por parte de las grandes redes dorsales IP, éstas pudieron ofrecer estadísticas de QoS en sus contratos de tránsito.

Ambos problemas pueden resolverse, en parte, mediante la *tarificación de la congestión*. En lo que queda de la presente sección examinaremos con más detenimiento las consecuencias que podría acarrear no disponer de una tarificación de la congestión para el desarrollo futuro de Internet, así como sus repercusiones en materia de políticas, en caso de haberlas. En la siguiente sección pasaré revista a las categorías optativas de calidad de servicio (CoS).

4.2 Estructura de los precios y de los costos

Para ser rentable, lo ideal sería que la estructura de los precios propuestos a los usuarios coincidiera con la estructura de los costos ocasionados por los usuarios, es decir que la forma según la cual se generan dichos costos debería quedar reflejada en la cantidad que debería abonar el cliente.

A continuación se describen las principales clases de costos que intervienen en la prestación de servicios de Internet:

- i) La construcción de una interred supone unos costos fijos que no varían en función de la utilización de la red. También cabe citar los costos de desarrollo, que no se incrementan para un cliente dado (como los costos de desarrollo de programas informáticos). La tarificación a tanto alzado es una forma eficaz de recuperar estos costos. Sin embargo, no puede decirse que dichos costos aumenten para un único cliente, por lo que una de las modalidades más eficaces de tarificación a tanto alzado sería cobrar un precio distinto a cada abonado (los abonados que hagan un mayor uso de los servicios pagarían más que aquellos abonados que los utilizan en menor grado)²⁸. En este caso la idea es que nadie quede excluido por una fijación de precios orientada a recuperar los costos de suministro de la red y de los programas informáticos básicos²⁹.

En la práctica, estos precios no suelen variar, que es lo que deberían hacer si se desea atender a aquellos clientes que hacen poco uso de los servicios. Esto explica que dichos clientes deban encontrar otras formas de acceso a Internet.

- ii) Existe asimismo un costo inicial que se origina cuando un ISP conecta a un cliente a Internet. Se trata esencialmente de gastos administrativos que se producen con carácter excepcional, por lo que deben cobrarse de igual manera para que la tarificación sea lo más eficaz posible.

Como existe un costo incremental positivo correspondiente al abono de cada particular, ello se traducirá en una cuota de conexión única por abonado, junto con el rendimiento de todo capital incremental asociado a dichos costos.

²⁸ En efecto, en caso de ponerse un tope a los precios totales del vendedor para que éste obtenga únicamente un rendimiento moderado de sus inversiones, los precios de acceso más rentables se logran fijando los precios en función de la elasticidad inversa de la demanda de cada abonado, a condición de que ninguna persona tenga que pagar una cuota de abono que sea superior a lo que está dispuesta a desembolsar. Por motivos obvios, ello tiene una aplicación bastante más teórica que práctica. Este tipo de tarificación se conoce habitualmente por tarificación de Ramsey y se examina detenidamente en Brown y Sibley (1986).

²⁹ Cabe recordar que el costo de acceso del cliente (el bucle local) debería quedar cubierto únicamente con las cuotas de conexión y de abono percibidas por el operador de acceso. La utilización de líneas arrendadas o xDSL dará lugar a algunos costos adicionales ocasionados por el abonado.

iii) A medida que aumenta la congestión en Internet, se incurre en un costo marginal al enviar paquetes adicionales, costo que refleja el retardo experimentado por el conjunto de los usuarios en ese momento. Para evitar los costos externos derivados de la congestión, una tarificación realizada en función del costo marginal debería tener las siguientes características:

- a) Alentar a los usuarios cuya demanda es relativamente moderada durante los periodos de congestión (por ejemplo, a aquellos usuarios que se muestran poco dispuestos a pagar) a trasladar su demanda a los periodos en que no exista.
- b) Enviar una señal a los ISP, en forma de ingresos marginales adicionales para que éstos inviertan en una mayor capacidad al producirse una congestión importante.³⁰

Si puede imponerse un precio superior al costo marginal del retardo, éste se utilizará normalmente para pagar el aumento de capacidad de la red.³¹

Actualmente, la estructura de los precios pagados por los abonados a Internet guarda escasa relación con la forma en que se originan los costos. Hoy en día, para poder beneficiarse del servicio de Internet es necesario pagar uno o varios de estos elementos:

- una cuota periódica de abono que puede incluir un tope superior con arreglo a los Gbit proporcionados por mes, antes de que dicha cuota pase a un nivel superior;
- un cánón de instalación de la DSL/línea arrendada;
- línea arrendada/alquiler de DSL;
- una tasa por minuto/segundo aplicable a las llamadas de conexión con el ISP, percibida por el proveedor de la red de acceso (por lo general, el operador tradicional de telecomunicaciones).

Es evidente que el último punto es el único que entraña costos marginales de utilización para los usuarios de Internet.³²

En muchos países se han ejercido presiones políticas para proporcionar un acceso a Internet que no conlleve tasas marginales de utilización. En la actualidad, dos tipos de servicio ofrecen esta característica; me refiero a los servicios de banda ancha (principalmente la ADSL) y FRIACO. Algunos gobiernos ya han invertido sumas considerables para ampliar la disponibilidad de los servicios ADSL. En términos de cifras absolutas o del porcentaje de abonados a Internet, es probable

³⁰ Evidentemente, ello depende de las estructuras de tarificación existentes entre los ISP, cuestión que, hasta ahora, hemos supuesto no plantea ningún problema.

³¹ Como las inversiones en capacidad suelen ser "indivisibles", esta regla suele acompañarse de la siguiente consideración: los ingresos incrementales percibidos deben ser superiores al costo de obtener un determinado incremento de la capacidad.

³² Por lo general, los ISP sólo cobran una cuota de abono los usuarios de extremo de Internet, aunque en algunos casos, éstos no lo hacen, sino que comparten con el proveedor de acceso los ingresos por llamada/minuto obtenidos de las sesiones de conexión, esto es, los derivados del precio cobrado a los clientes por las llamadas telefónicas al ISP. En algunas ocasiones se ha denominado a este sistema modelo comercial de ISP "gratuito". El motivo por el cual el ISP puede compartir estos ingresos es que el precio de la llamada excede los costos que el proveedor de acceso tiene que cubrir para ofrecer este servicio, ingresos que en promedio son inferiores a los de una llamada telefónica normal, si bien el servicio se cobra al mismo precio.

que el uso no tasado de Internet se generalice cada vez más en el futuro.³³ Durante los periodos de congestión de Internet, esto es precisamente lo contrario de lo que se requiere si se desea que Internet converja con las plataformas tradicionales, tales como la RTPC, la televisión por antena colectiva (CATV) y la televisión de libre acceso (FTATV).³⁴ La adopción de la ADSL por parte de las pequeñas empresas y los hogares, una tecnología a la cual no se aplica una tarificación que varíe en función de la utilización³⁵, provocará un aumento del tráfico en la conexión de acceso ATM, así como en Internet, y es probable que, *ceteris paribus*, también contribuya a intensificar la congestión en Internet.³⁶⁻³⁷

Aunque no existen limitaciones en cuanto al número de abonados y los usuarios no vengan obligados a hacer frente a costos marginales de utilización, la Internet se está considerando de forma muy semejante a bien público. Los bienes públicos puros no se agotan con la utilización (es decir, que el uso que yo haga de un bien no impide que otras personas disfruten del mismo). Es evidente que no sucede lo mismo con Internet, por lo que cabe suponer que esta red presentará problemas similares a los que afectan a aquellos servicios que se consideran como bienes públicos pero que, de hecho, no lo son. A estos problemas suele darse el nombre de "tragedia de las tierras comunales" el cual permite un incidente que se produjo al permitirse el libre acceso de los ganaderos a las tierras comunales para el pastoreo de sus animales. Los ganaderos aprovecharon esta oportunidad, sin ser conscientes de las consecuencias que podía tener el pastoreo de sus animales (en apariencia libre), habida cuenta de la posibilidad de que los demás hicieran lo

³³ Las empresas que tienen un acceso por línea arrendada a su ISP procuran ya fijar los precios en función de la utilización.

³⁴ El módem ADSL divide la información en voz y datos, permitiéndose sólo a la primera la entrada al conmutador del proveedor de acceso. Generalmente, los datos de Internet se encaminan al ISP a través de una conexión de acceso ATM existente entre la parte moderna "DSLAM" de la ADSL y el primer punto de presencia (PoP) de Internet. En este sentido, la ADSL proporciona un servicio ininterrumpido de acceso a Internet.

³⁵ Algunos ISP desempeñan una función intermedia en cuanto a los precios cobrados entre dos o más niveles de utilización (por ejemplo, bits por mes), si bien en las distintas categorías el nivel de utilización es tan elevado que, para la inmensa mayoría de los usuarios, no existen costos marginales de utilización.

³⁶ El núcleo de Internet queda protegido de las sobrecargas debido a las restricciones aplicadas a las conexiones de acceso ATM, en las cuales la mayor parte de los operadores regionales no garantizan más del 10% de la capacidad máxima de la velocidad ADSL. Ello significa que, cuantos más usuarios compartan la conexión de acceso ATM, menor será la capacidad real de la que éstos se beneficiarán.

³⁷ En el marco de estos sistemas de tarificación es habitual que los usuarios de extremo se agrupen, lo que hace que los "pequeños" usuarios suelen subvencionar a los "grandes" usuarios.

mismo.³⁸ El resultado fue un pastoreo excesivo que condujo al agotamiento de las tierras comunales, agotamiento que las hizo inservibles para la ganadería.³⁹⁻⁴⁰

Tratándose de Internet, el hecho de que no exista un mecanismo económico para gestionar la congestión provoca una degradación de la calidad de servicio para todos. Sin embargo, la modernización del soporte lógico y físico y la reducción del costo de capacidad nos han proporcionado, en lo que respecta a los servicios tradicionales de Internet una calidad aceptable en la mayoría de los casos. Ahora bien, al aplicar los mismos recursos de red a todos los paquetes, las redes de Internet no pueden proporcionar servicios en tiempo real por Internet que se aproximen a la calidad necesaria para atender a la enorme demanda del mercado.

En principio, la tarificación basada en la utilización puede estar concebida para desplazar una parte de la demanda a periodos de menor sobrecarga e indicar a los ISP si la demanda es suficientemente elevada como para que les resulte rentable aumentar la capacidad de sus redes. La idea es que los usuarios racionen su propia utilización durante los periodos de congestión en función de la intensidad de la demanda de cada usuario. Los usuarios cuya demanda sea escasa (es decir, los que estén dispuestos a pagar por el servicio durante un periodo de congestión cero, siempre y cuando puedan utilizarlo durante los periodos des congestionados sin tener que pagar un costo marginal) obtienen pocos beneficios en comparación con los costos que se les imponen. Sin embargo, en los periodos de congestión, el costo de enviar paquetes de más incluiría el retardo adicional, la pérdida de paquetes y la degradación de QoS impuesta a otros usuarios⁴¹.

Cuando Internet está des congestionada, la tarificación basada en la utilización no resulta útil en modo alguno; de hecho, perjudica al bienestar económico. En esos momentos, el costo de enviar un número adicional de paquetes es prácticamente cero. Se suele decir que el costo marginal de utilización es cero y, en estas circunstancias, aplicar un precio que dependa de la utilización resulta ineficaz -reduce el bienestar económico- y la tarificación a tanto alzado es óptima, afirmaciones éstas que constituyen axiomas económicos.

Con la red telefónica, se ha empezado a utilizar el sistema de franjas horarias como una modalidad de tarificación. Las tasas de abono son a tanto alzado y la utilización se cobra por minuto (o por segundo), normalmente en función del momento del día. El sistema de tarificación con arreglo a las

³⁸ Este fenómeno se denomina también externalidad. La tragedia de las tierras comunales es la forma más común de disfuncionamiento del mercado. Entre otras cosas, explica la contaminación, el calentamiento del planeta y el agotamiento de los recursos naturales.

³⁹ Se ha planteado un problema similar con el calentamiento de la Tierra, la disminución de la diversidad biológica y el agotamiento de recursos naturales tales como las poblaciones de peces. Si sigue permitiéndose un uso ilimitado y los recursos pueden agotarse o utilizarse en exceso la regla a seguir es que, o bien se limita el número de usuarios, o bien se restringe la utilización total para que estos recursos sigan siendo viables.

⁴⁰ El enfoque de los contingentes es una forma común de abordar este tipo de problemas y, en aquellos casos en que éstos pueden negociarse, suele aumentar la eficiencia de la industria. Desgraciadamente, en general es difícil controlarlos, lo que da pie a una utilización abusiva e ilícita. Asimismo, puede hacerse un uso abusivo de los contingentes por sistema cuando éstos no se fijan en función de datos científicos, sino que dependen de un compromiso político.

⁴¹ Por otra parte, en los casos en que no existe un sistema que permita a los usuarios de extremo comprar la QoS que exigen, se podría alegar que también existe el costo derivado de la ausencia de un mercado de servicios en tiempo real, ya que éstos se crearían si se estableciera un sistema de tarificación con arreglo a los costos marginales.

franjas horarias tiene por objeto disuadir de utilizar el teléfono a los llamantes cuya demanda es reducida durante el periodo de mayor congestión y alentarlos a usarlo en momentos en que las tasas por minuto son mucho menores. Este método resulta óptimo porque los costos de inversión en capacidad que es necesario sufragar para hacer frente al tráfico de los abonados cuya demanda es reducida durante los momentos de máxima utilización son más elevados que el valor real de su disposición a pagar (WTP) por la capacidad necesaria para responder a esta demanda.

Las tasas basadas en las franjas horarias y las calculadas por minuto/segundo parecen ser menos apropiadas en Internet que para la RTPC. Un motivo de ello es que la utilización de Internet en momentos de máxima demanda se considera menos estable en el tiempo, especialmente con respecto a los ISP de usuario final, y, por tanto, quizá la tarificación basada en las franjas horarias no sea una manera plenamente eficaz de gestionar la congestión. Cabe indicar que un intento de aumentar los precios por sesión o utilización en un determinado momento del día, cuando Internet registra su máxima congestión, puede evitar periodos de congestión.

Otro problema que plantea la tarificación en función de la franja horaria es que Internet está formada por numerosas redes e incluso en la misma franja horaria se puede registrar una utilización máxima en distintos momentos y lugares. Además, un ISP que proporciona tránsito a diferentes ISP, algunos de los cuales registran distintos momentos de máxima utilización, indica que se aplicarían distintos precios en la misma franja horaria a los ISP que se encuentran en el mismo mercado compitiendo (en el margen) con otros ISP, incluso si sus modelos de tráfico/tiempo no son los mismos. Esto puede suscitar inquietudes respecto de la neutralidad de la competencia.

Otro problema es que, a diferencia de un circuito de conmutación, que alquila exclusivamente la parte pagadora por la duración de la llamada, los paquetes de datos en Internet comparten capacidad con otros paquetes, de modo que los costos guardan más relación con los paquetes que con el tiempo. Esto se podría tener en cuenta al tarificar por anchura de banda la utilización de Internet en base al tiempo. En comparación con un sistema de tarificación marginal basada en paquetes, un modelo de medida indirecta de los costos basado en los precios en función del momento de utilización y el acceso a la anchura de banda reduciría significativamente las ventajas de eficacia correspondientes a un sistema de tarificación marginal basado en paquetes.

MacKie-Mason y Varian (1995) (M-V) han descrito una solución elegante y posiblemente muy eficaz para resolver el problema de la tarificación con arreglo a los costos marginales en Internet, solución denominada "mercado inteligente". Desde nuestro punto de vista, la característica principal de la contribución de M-V es su valor pedagógico ya que permite exponer los problemas económicos planteados, en parte gracias a la solución que proponen, la cual se asemeja más a una descripción de una solución casi ideal que a una solución práctica del problema de la gestión de la congestión (al menos no es práctica en el marco de la tecnología actual)⁴². Además, se trata de una solución que se estudia para una CoS, pero podría funcionar para tantas CoS como se quiera.

El sistema de M-V obligaría a imponer un precio de congestión durante los periodos congestionados, calculado mediante una *subasta Vickrey* efectuada en tiempo real. De este modo, los usuarios de extremo tendrían que comunicar un precio de oferta por sus paquetes justo antes de iniciar su sesión. El modelo de la subasta Vickrey es conocido por ofrecer un gran incentivo a todos los usuarios de extremo para que éstos comuniquen su máxima disposición de pago por el objeto de mandado, (en este caso, paquetes de salida y, aún más importantes, de llegada), es decir,

⁴² La solución ideal entrañaría una fijación de precios dinámica, precios que diferirían entre los abonados y cambiarían continuamente para reflejar el "estado del sistema". En el Anexo II se estudia el tema de la tarificación óptima y casi óptima.

proporciona "los incentivos conducentes a una *revelación de los auténticos motivos*"⁴³. Éste se debe a que, según el modelo de subasta de Vickrey, el precio real que se cobra a los usuarios finales no es el que ofertan éstos, sino el precio que oferta el usuario marginal (el último cliente a quien se concede acceso a Internet en virtud de la restricción por congestión), es decir, el precio de equilibrio del mercado⁴⁴. Todos los usuarios admitidos a Internet durante este periodo pagan el mismo precio. Los usuarios finales que tienen una disposición al pago menor que el precio de equilibrio del mercado no obtendrían acceso en ese momento y deberían intentar acceder más tarde. Cuando Internet está descongestionada, se admite a todos los postores y el precio de entrada equivale a cero.

Otro atractivo del "mercado inteligente" es que, en condiciones de competencia, da señales económicas correctas a los ISP para que aumenten su capacidad. Esto ocurre cuando los ingresos marginales derivados de la admisión de más usuarios en un momento de máxima utilización son mayores que el costo marginal correspondiente a la ampliación de capacidad, lo que se traduce en una oportunidad de inversión rentable. La capacidad de red se mantiene y el ingreso marginal es equivalente al costo marginal, lográndose así un nivel óptimo de eficiencia económica.

Aunque el mercado inteligente puede ser algo simplemente teórico, la comunidad que diseña redes de Internet ha de entender sus virtudes económicas a fin de tomar decisiones basadas en los principios de la economía para optar entre distintas alternativas tecnológicas.

La solución de M-V se publicó a mediados del decenio de 1990 y, si bien este tipo de subasta sigue siendo importante para gestionar la congestión en Internet, se han logrado numerosos progresos técnicos que han reducido el interés en la solución que representa el mercado inteligente. Tal vez lo más significativo sea que los progresos tecnológicos permitirán que se traten los paquetes de manera diferente, lo que puede conducir a crear distintas Internet virtuales, cada una con distintos atributos de QoS, en las que los paquetes cuenten con distintas etiquetas en función de la clase de servicio (CoS) que reciban.

4.3 Tarificación en función de la clase de servicio

Si bien M-V no examinan diferentes CoS, su análisis se puede aplicar al ámbito de la CoS. Los usuarios tan sólo tendrían que especificar una CoS además de su precio de oferta. Los ofertantes pueden especificar otras condiciones para controlar el paso de la demanda de una CoS a otra, si prefieren disponer de una CoS menor en el caso de que su oferta para recibir el servicio con determinadas características de QoS sea inferior al precio de equilibrio del mercado. Esto puede obligar a los usuarios a incluir un par de parámetros adicionales, caso de que deseen beneficiar de otras categorías de CoS.

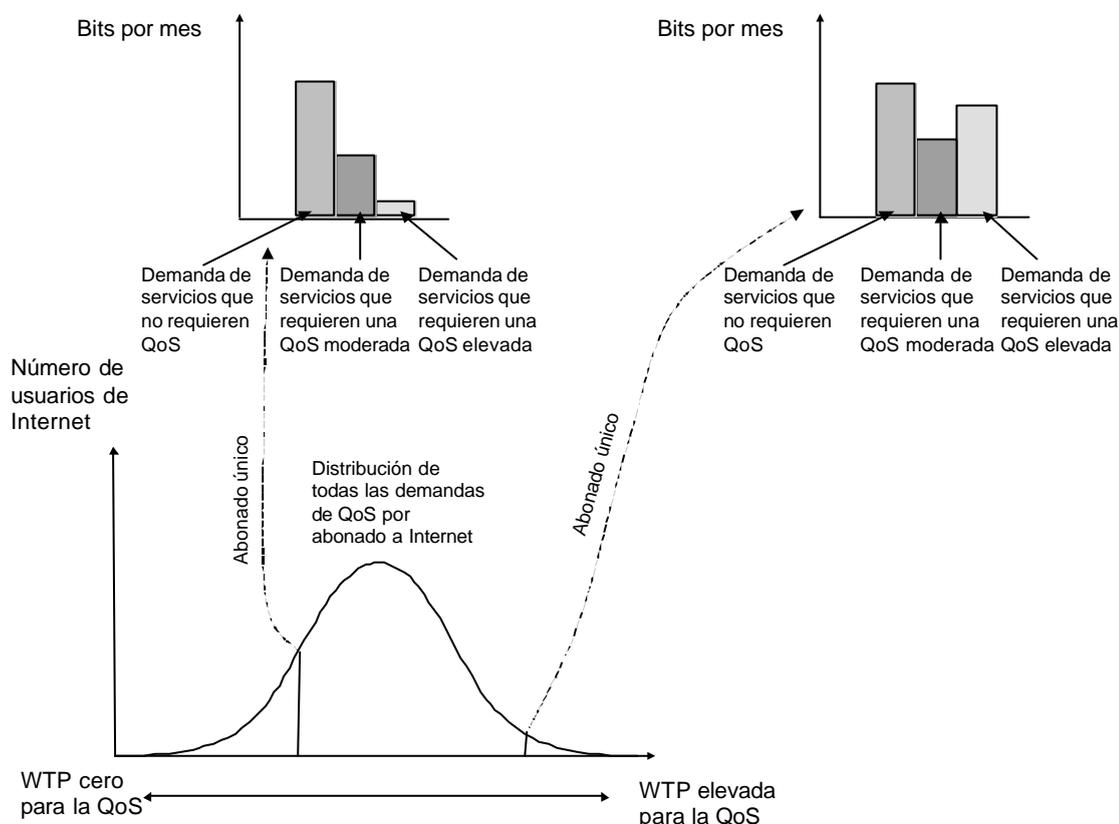
En un mundo de Internet basado en CoS, los ISP pueden etiquetar los paquetes en función de la CoS que piden sus clientes. Un sistema que permita a los usuarios de extremo elegir entre muy distintas CoS para sus datagramas de sesión obligaría a su ISP a cobrarles en función de los números y tipos de paquetes etiquetados enviados. Un sistema de este tipo no sería el ideal si obligase a los ISP a seguir trabajando sin precios de costo marginal. Un abonado puede pagar un recargo para utilizar la CoS más elevada, quizás basado en los bits de utilización, así como una inscripción mensual, pero en ese caso podría enviar todos sus paquetes durante el momento de máxima utilización o tal vez en otros momentos, y el precio que debería pagar no cambiaría. Esto significa

⁴³ En 1996, William Vickrey recibió el Premio Nobel de Economía por el trabajo que realizó a principios del decenio de 1960 sobre la teoría económica de los incentivos en contextos de información asimétrica.

⁴⁴ La única excepción a esta afirmación es el usuario marginal cuya WTP equivale al precio de liberación del mercado.

que para cada CoS no existiría un mecanismo explícito para adaptar la demanda de servicio en los periodos congestionados a los incentivos de los ISP, de modo que éstos invirtieran en capacidad, lo que dificultaría que los ISP evitasen la congestión, a pesar de que los ingresos medios correspondientes a dicha red puedan ser más que suficientes para sufragar los costos medios. En tanto en cuanto el servicio de mejor CoS se vendería con recargo como un servicio de calidad superior en tiempo real, existiría un incentivo para mantener dicha calidad, pero el sobreabastecimiento seguiría siendo necesario debido a la falta de señalización por precios de costo marginal. Por consiguiente, estas soluciones al problema de congestión no serían óptimas, pese a que pueden ofrecer una mejora suficiente para el desarrollo de la CoS y la prestación generalizada de servicios en tiempo real por Internet.

Figura 4-1: Desagregación de la demanda de servicios de Internet



Notas: WTP → disposición al pago.

Fuente: WIK-Consult.

El grueso de los ingresos que genera Internet procede de los usuarios finales (organizaciones y hogares). Aunque para determinados fines de comunicación sólo se ofrece una clase de servicio, todas las demandas se tratan equitativamente. Pero, en realidad, cada demanda de usuario extremo está integrada por demandas inexploradas de distintas clases de servicio, dependiendo de elementos como el objeto de la comunicación, la aplicación solicitada y las preferencias que tal vez sólo conozca cada usuario final. Una cosa es cierta, y es que la demanda de múltiples clases de servicio se obtendrá de las demandas de los usuarios finales. Los ISP tendrán esto presente a medida que se progrese en cuanto a las clases de servicio.

Este caso se ilustra en la Figura 4-1. La curva de distribución indicada abajo en la figura remite a todos los clientes de Internet, desde las organizaciones especializadas que necesitan servicios importantes que requieren tanto una probabilidad de admisión como valores de QoS elevados, así

como servicios tradicionales de correo electrónico y búsqueda de información, hasta las organizaciones que sólo utilizan Internet para enviar mensajes no urgentes. Sin embargo, se considera que la mayoría de los clientes que integran esta curva de distribución utiliza Internet con diferentes propósitos y recibe distintos servicios, como el correo electrónico, la transferencia de archivos, www y la transmisión de vídeo. Las diferencias entre las demandas de QoS que solicitan los particulares responden, en parte, a la aplicación y al objeto de la comunicación, como se indica en los gráficos de barras de la Figura 4-1.

Actualmente, el principal problema que suscitan los servicios VoIP y los servicios interactivos en tiempo real no es que las redes no puedan proporcionar las estadísticas de QoS necesarias, sino que, al parecer sólo un número limitado las comunican y éstas suelen ser redes IP privadas, es decir, Intranet. Los ISP que prestan servicios públicos de Internet reciben pocos incentivos para desarrollar servicios VoIP, especialmente si los paquetes que contienen conversaciones de voz pasan a través de otras redes.

4.4 Tarificación y QoS entre ISP y su proveedor de tránsito

La tarificación entre el proveedor de tránsito de un ISP que presta servicios a un proveedor local de VoIP es un factor esencial para definir la tarificación entre el ISP y el proveedor de VoIP, y la tarificación entre los proveedores de VoIP y sus clientes. El nivel de precios y la estructura de los precios que cobra un ISP de tránsito tenderán a reflejarse en los precios que cobran los demás. En esta sección, examinaremos las estructuras de los precios de tránsito y las QoS garantizadas contraídas por los proveedores de tránsito.

4.4.1 La estructura de los precios de liquidación

Como ya se ha mencionado, la liquidación de interconexión entre los ISP que han concertado acuerdos entre redes pares no conlleva pago alguno, salvo en contadas ocasiones. El modelo de liquidación es un acuerdo de retención íntegra de tasas en origen. Los acuerdos entre redes pares existen en toda la jerarquía de Internet, pero la mayoría de los acuerdos concertados entre los ISP dan lugar a una proporción mucho menor de tráfico interconectado que de tránsito.

Como en el caso de los acuerdos entre redes pares, los contratos de tránsito son confidenciales. No obstante, hablando con personas en puestos de relativa importancia en varios ISP, se ha obtenido suficiente información para trazar un panorama de la estructura de los precios de liquidación por concepto de tránsito, pese a que esa información es previsiblemente un tanto general y no aporte datos acerca de los niveles de precios⁴⁵.

Se pueden concertar varios tipos de acuerdo de precios por el tránsito: el ISP de usuario final (o proveedores de servicios en línea - OSP) puede pagar en cuanto receptor de tráfico de tránsito, el ISP anfitrión (la empresa que envía la información solicitada) también puede pagar, o ambos ISP pueden pagar al proveedor de tránsito.

En la práctica, el tránsito suele tarifarse en función del *tráfico de retorno*, es decir, el tráfico que vuelve al ISP cuyo cliente solicita la información. Los ISP que proporcionan servicios de tránsito (sobre todo, ISP e IBP importantes) cobran en función de los flujos de tráfico que se dirigen hacia sus clientes ISP. Los proveedores de tránsito no pagan nada a sus clientes ISP a pesar de que reciben tráfico de ellos, tráfico que es mucho menor que el que fluye de los proveedores de tránsito a los clientes. Si bien a primera vista esto puede parecer poco equitativo, los actuales acuerdos de precios de tránsito tienen algunas ventajas económicas. No menos importante es que el mayor flujo

⁴⁵ Los ISP con los que me puse en contacto son los siguientes: MCI/WorldCom, Cable & Wireless, y Genuity.

es el que tiende a dictar la capacidad de red necesaria, especialmente en los puntos de interconexión. Debido a que los paquetes más transitados fluyen de los ISP anfitriones, a través del tránsito a otro ISP, hacia proveedores de servicios en línea, este tráfico es el que parece provocar la congestión y determina las necesidades de inversión de los ISP que proporcionan tránsito.

Conviene analizar los acuerdos de tarificación de tránsito en términos de la calidad de los estímulos económicos que suponen los precios para las partes interesadas, especialmente respecto de la inversión, la gestión de la congestión, la utilización y la competencia entre proveedores de tránsito. Sin embargo, en la práctica, dicho análisis resulta difícil y se suele incurrir en errores, ya que la información no es pública y se proporciona oralmente, por lo que, en general, es un tanto general.

La información disponible indica que no existe un modelo de industria aceptado que rijan la estructura de estos precios. Algunos ISP importantes son capaces de negociar una estructura de precios con el proveedor de tránsito, mientras que otros la eligen de un abanico de propuestas. Parecen existir tres factores básicos en torno a los cuales se estructuran las ofertas de precio de tránsito, a saber:

- una tasa fija por un determinado número de bits por mes;
- una tasa variable por el exceso de bits respecto de esta cantidad;
- una tasa basada en el rendimiento máximo, que puede abarcar:
 - el tamaño del conducto, que representa la mejor *opción* en el caso del caudal máximo,
 - cierta medida del caudal real máximo *real* ("ráfagas").

Dos medias tarifas parecen ser la norma cuando la tasa fija es relativamente reducida por bit en comparación con el componente variable⁴⁶. En la medida en que los ISP pueden calcular con exactitud la utilización mensual futura, estos acuerdos permiten a los ISP pagar tasas de tránsito en forma de un cánón mensual predeterminado, con arreglo a la cual los bits adicionales se cobran como un recargo. Los recargos pueden ser elevados pero suelen ser conformes a los costos de los proveedores de tránsito, ya que permiten poner a disposición esta capacidad complementaria en caso de demanda máxima.

Con todo, se da por sentado que algunos compradores de tránsito prefieren pagar sólo un precio a tanto alzado. La razón de ser de esta opción es que proporciona seguridad a los clientes de redes que cuentan con un presupuesto anual para invertir en comunicaciones y prefieren optar por el poco riesgo que supone pagar una determinada cantidad conocida por anticipado para cubrir todas sus necesidades de tráfico. Se supone que, para estos clientes, los costos globales de tránsito son mayores que si abonan una tarifa en dos partes, puesto que rechazan tajantemente todo componente tarifario que limite su demanda máxima.

Los clientes importantes suelen negociar detalles específicos en función de sus propias necesidades. Los grandes proveedores de contenido que mantienen su propio encaminador y numerosos ISP (todos los cuales actúan de manera similar) suelen concertar acuerdos de interconexión con más de un proveedor de tránsito.

Aunque el costo de no utilización constituye una proporción reducida de la factura mensual de tránsito de un ISP, la estructura de precios precitada puede permitir a los compradores de tránsito negociar condiciones mejores con los proveedores de tránsito. Este tipo de tarificación puede hacer que la tecnología multipuerto ("multi-homing") sea una política más eficaz para los ISP y los grandes proveedores de contenido, puesto que sólo pagan, además de una reducida tasa basada en el

⁴⁶ Los encaminadores llevan un registro de las estadísticas de tráfico, es decir, existen contadores en el encaminador (puerto).

tamaño del conducto, los paquetes que envían a su proveedor de tránsito IBP. Por consiguiente, el ISP podría decidir enviar todo su tráfico a través del proveedor de tránsito que ofrece la mejor relación precio/QoS, pero sigue teniendo la *posibilidad* de enviar su tráfico a otro IBP que le ofrezca una relación precio/QoS superior o en el caso de que se produjera una interrupción en la red del IBP que utiliza el ISP para realizar su tránsito. En resumen, este acuerdo parece ofrecer una valiosa oportunidad para optar entre IBP cuyos ISP de multipuerto o proveedores de contenido no estén pagando⁴⁷.

Esto explica que, la estructura de precios a tanto alzado sea un acuerdo de tarificación basado en el principio "consumir o pagar", lo cual resta interés a la posibilidad que tendrían los ISP y los proveedores de contenido de oponer entre sí a los ISP que venden tránsito durante el periodo de validez del contrato. Sin embargo, en el caso de algunas empresas que optan por aplicar precios a tanto alzado, este método puede responder a su necesidad de asegurar sus ingresos durante el periodo del contrato.

El autor considera que hay motivos por los que los ISP que venden tránsito prefieren con mucho una política de precios dependiente de la carga básica y una capacidad opcional de tráfico, si ésta incluye también una modalidad de pago para la opción de capacidad máxima, como la que supone el método basado en el tamaño del conducto. Un precio que se calcule también tomando en consideración la variabilidad del caudal de tráfico permitiría a los compradores de tránsito que envían una cantidad de bits relativamente constante obtener un precio menor, dado que su dependencia de la capacidad de carga básica es relativamente mayor que con respecto a la capacidad de carga máxima⁴⁸.

No disponemos de indicios acerca de la tarificación de la CoS porque estos servicios no parecen brindarse a través de la zona pública de Internet, tema éste que abordamos con más detenimiento en lo que sigue.

4.4.2 Garantías de QoS para el tránsito

En general, los ISP que venden tráfico ofrecen garantías de QoS que suelen cubrir tres aspectos de la QoS: latencia, pérdida de paquetes y disponibilidad de servicio. Los ISP que venden tránsito llevan un registro de los datos estadísticos necesarios para controlar su propia QoS y proporcionar informes periódicos a los clientes. Cualquier incumplimiento de los parámetros de QoS debe confirmarse recurriendo a los datos del proveedor de tránsito. Cabe suponer que hoy en día suele ser habitual que en los contratos se exija la plena disponibilidad, debido a la competencia, a pesar de que, evidentemente, no se cumplen en la práctica, por lo cual muy pocas veces los proveedores de tránsito se ven obligados a pagar la compensación acordada en caso de interrupción del tránsito.

La capacidad de los proveedores de tránsito para empezar a ofrecer acuerdos de nivel de servicio (SLA) con parámetros de QoS indicados coincidió con el uso por parte de los operadores del ATM en sus redes de transporte. Con esta tecnología, los correspondientes paquetes IP se transmiten a través de distintos "tubos virtuales", denominados trayectos virtuales (VP) en la terminología del ATM. Sin embargo, las garantías de QoS sólo se aplican si el flujo de células recibidas es conforme

⁴⁷ En numerosos mercados, estas opciones se adquieren directamente. De hecho, en algunos mercados, son objeto de compraventa.

⁴⁸ En una entrevista, un ISP europeo afirmó que los precios de tránsito habían descendido en un 90% en tres años hasta marzo de 2000. Otro afirmó que, en Europa oriental, habían descendido en un 50% entre marzo y octubre de 2001.

a los parámetros de tráfico que se han negociado. Estas condiciones exigen que las redes configuren su propio tráfico en la frontera de la red, es decir, justo antes de que pase al proveedor de tránsito⁴⁹.

Los motivos por los que los servicios de tránsito no incluyen opciones de CoS son los siguientes:

- Actualmente no existe un modelo comercial práctico que permita a los usuarios finales seleccionar distintas CoS en función de la aplicación que deseen utilizar o, más generalmente, de su propia demanda de distintas QoS.
- No existen sistemas de facturación que permitan cobrar precios más elevados por ofrecer mayores opciones de CoS.
- Hay en las fronteras de la red problemas de QoS, tales como los causados por las normas, los equipos y los interfaces de gestión que limitan la posibilidad de que las opciones de CoS se ofrezcan en distintas redes.

4.5 La QoS e Internet de próxima generación

Actualmente, Internet ofrece distintos servicios a los usuarios de extremo y parece probable que, en el futuro, la gama de servicios aumente. Internet está convergiendo con plataformas tradicionales a través de las cuales se proporcionan servicios como, por ejemplo, de telecomunicaciones de punto a punto, de conferencia de punto a multipunto, y de distribución multidifusión y de radiodifusión como la transmisión de flujo continuo de vídeo y televisión. Cabe señalar que las redes de CATV bidireccionales ya están facilitando la integración de los servicios tradicionales de llamada de punto a punto como la telefonía vocal con servicios de distribución de radiodifusión de televisión y de vídeo de pago por programa y servicios clásicos de Internet como el correo electrónico y el acceso a www.

En una red IP toda esta información puede organizarse en paquetes o células (datagramas) y transmitirse por Internet, pese a que, ello hace que los clientes opinen, debido a su experiencia, que al menos algunos de estos servicios suelen ser de calidad relativamente baja en comparación con la calidad de servicio proporcionada por las correspondientes plataformas tradicionales.⁵⁰

Se considera que la prestación de distintas CoS es uno de los factores fundamentales que se requieren para hacer realidad la Internet de próxima generación. Por esto se entiende la capacidad de proporcionar las necesarias velocidad y fiabilidad en el envío de paquetes para los servicios VoIP e interactivos, a fin de proporcionarlos por Internet con una calidad que dé lugar a una respuesta contundente en el mercado. De hecho, la Internet de próxima generación se define como una red de redes integrada por un gran número de servicios que compite en distintos mercados a nivel de telefonía, radiodifusión en tiempo real y datos y vídeos interactivos, aparte de los servicios que suministran habitualmente los ISP.

Aunque aún no se han desarrollado plenamente muchas de las tecnologías específicas que se examinan en el presente informe, varias de ellas ofrecen la posibilidad de que se presten a mediano plazo servicios de gran calidad en tiempo real por Internet. De hecho, aún han de idearse soluciones comerciales reales y detalladas basadas en estas tecnologías⁵¹, debido, en parte, a la naturaleza

⁴⁹ En el Anexo III se describen los tributos de QoS de redes ATM.

⁵⁰ Existen excepciones, como las Intranet, en las que los diseñadores de redes están en mejores condiciones de ocuparse de la QoS de extremo a extremo.

⁵¹ Véanse los distintos artículos que figuran en el número especial "Next Generation Now" de *Alcatel Telecommunication Review* (2001).

sumamente variada de Internet, así como a los problemas de calidad de servicio y falta de continuidad que se han estudiado anteriormente en el informe⁵².

Antes de poder pronunciarse sobre la existencia de convergencia, se pasará por un periodo de transición en el que los servicios en tiempo real como la VoIP empezarán a ejercer una presión de competencia en los proveedores de la RTPC y, a este respecto, será interesante comprobar de qué forma la QoS en esta Internet de transición será distinta de la que se proporciona actualmente.

Uno de los principales problemas que planteará la transición durante los próximos años tal vez tenga menos que ver con la calidad de las sesiones en tiempo real que con el control de admisión de servicio, control que puede permitir evitar la sobrecarga de paquetes en la red IP de datagrama durante los periodos congestionados. En las redes tradicionales, como la RTPC o las redes conmutadas de retransmisión de tramas, en las que la capacidad se asigna durante la fase de admisión a la conexión, la probabilidad de bloqueo de un servicio queda determinada por probabilidades conocidas, las cuales definen el GoS que recibirán los clientes. Como el embotellamiento de la red se produce sobre todo en la parte de acceso a la misma, es probable que el control de admisión al servicio se aplique esencialmente a esta zona.

En redes multiservicios el control de admisión de servicio a la NGI con arreglo a los valores del GoS, no se describe de la misma manera que en el caso de las redes tradicionales, sino mediante modelos y algoritmos más sofisticados⁵³. Por ello, si no se gestiona eficazmente la demanda, habrá que proceder a una prestación excesiva, si se desea que un gran número de usuarios de servicios en tiempo real (especialmente VoIP) no se vean afectados por casos de no disponibilidad en la red que resulten inaceptables por su frecuencia. En el periodo de transición de Internet es posible que los abonados sensibles a la disponibilidad de servicio sigan en la RTPC durante más tiempo que los abonados que reaccionan más a los precios y a quienes no les importa la apreciable probabilidad de que se les deniegue el acceso cuando quieran realizar una llamada y tengan que intentarlo más tarde.

En la actualidad, existen distintas posibilidades para prestar QoS a través de redes IP, entre las que figuran la MPLS, *DiffServ* y la versión 6 de IP o, tal vez más fácilmente, el octeto de ToS en el encabezamiento de la versión 4 de IP para la definición y el reconocimiento de una jerarquía de tráfico. En el Cuadro 4-1 se muestran los cinco niveles de tráfico previstos para la Internet de próxima generación.

⁵² Para obtener información más detallada, véase Keagy (2000). Sin embargo, se han logrado avances ingeniosos que sacan provecho de la situación actual de la QoS de Internet. Por ejemplo, ITXC presta servicios de VoIP utilizando programas informáticos que le permiten buscar las distintas redes ISP que ofrecen la mejor QoS del momento. Cuando no se ofrece ninguna QoS aceptable, las llamadas se encaminan a través de la RTPC. Véase <http://www.itxc.com/>.

⁵³ Véase Ross (1995).

Cuadro 4-1 – Jerarquías de tráfico en las redes de próxima generación

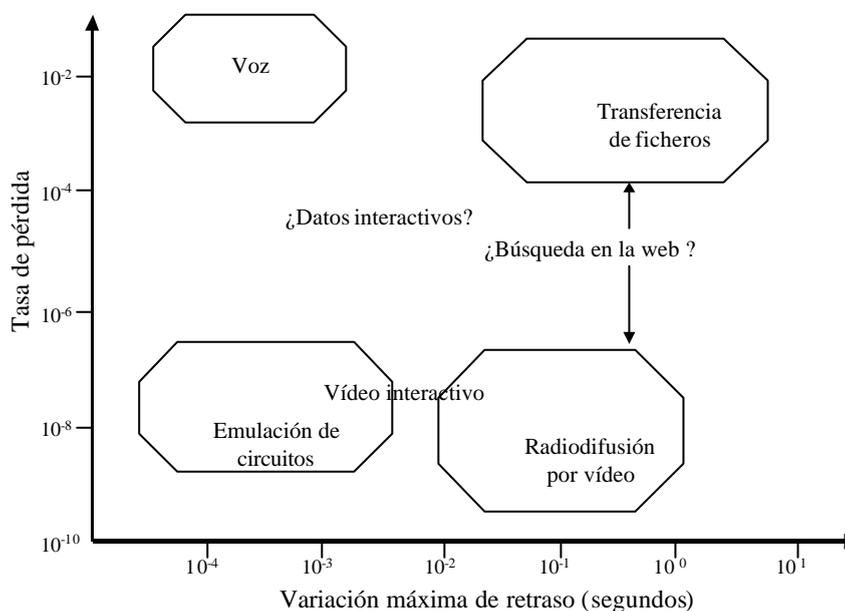
Nivel de tráfico	Tipo de tráfico	Ejemplo de servicio
NJ4	Tráfico para funciones de OAM y señalización	Control de red o conexión
NJ3	Tráfico bidireccional en tiempo real	Comunicación vocal y vídeo
NJ2	Tráfico unidireccional en tiempo real	Transmisión de flujo continuo audio y vídeo, distribución de televisión
NJ1	Tráfico de datos garantizado	Servicios de recuperación
NJ0	Tráfico de datos no garantizado	Servicio de información sin garantías

Fuente: Melian et. al. (2002)

Con la excepción del nivel NJ4, que está concebido para su utilización en redes internas, las cuatro QoS que figuran en el Cuadro 4-1 deberían permitir a todos los servicios que se señalan en la Figura 3-1 adaptarse relativamente bien al menos a cada una de las cuatro opciones de QoS mostradas. En la Figura 4-2 se indica a qué pueden asemejarse estas opciones.

Según las opciones señaladas en el Cuadro 4-1, cuando un usuario inicia una sesión ha de pagar la tarifa que corresponde a la clase de servicio que utiliza. El precio disminuye del nivel NJ3 al NJ0. En los casos en que la red no tiene capacidad suficiente para prestar el servicio solicitado, el usuario puede escoger, por defecto, una CoS menor.

Figura 4-2 – Ajuste de las CoS a los requisitos de servicio de QoS



4.6 Conclusiones relativas a la QoS y las CoS

Hoy en día existen diversos factores que impiden que Internet se convierta en una red de servicios integrados y se pueden agrupar en categorías que se solapan⁵⁴:

- la gestión de la congestión *sobre* redes IP no está muy desarrollada y, a menudo, da lugar a una calidad de servicio inadecuada en lo que se refiere a algunos tipos de servicio como, por ejemplo, la VoIP⁵⁵;
- a menudo, los atributos de QoS *entre* ISP no se mantienen por motivos técnicos, como la incompatibilidad entre el soporte lógico e incluso físico (el soporte lógico y físico de un ISP puede no ser compatible con las características de QoS proporcionadas por otro ISP);
- faltan sistemas de información sobre contabilidad capaces de proporcionar la evaluación y facturación necesarios entre redes;
- no existe una interfaz entre los usuarios de extremo que permita escoger distintas CoS para aportar valor a los usuarios; y
- en muchos casos, la calidad de las redes de acceso no resulta suficiente para prestar servicios de Internet de próxima generación.

Estos problemas siguen, en gran medida, sin resolverse, a pesar de que se están desplegando esfuerzos considerables para solucionarlos⁵⁶.

Incluso entre ISP, la tarificación de la interconexión no está configurada de modo que sirva para gestionar la congestión. Los acuerdos entre redes pares no abarcan la tarificación explícita, por lo que no puede haber precios de congestión o precios que reflejen los costos marginales. La interconexión de tránsito, supone una menor ineficacia, ya que los precios que se ofrecen suelen constar de distintos elementos:

- una tasa fija para un determinado número de bit por mes;
- una tasa variable por el exceso de bits respecto de esta cantidad; y
- tal vez también una cantidad correspondiente al caudal máximo.

⁵⁴ Debido a que el presente estudio versa sobre la red medular de Internet, no abordo aquí las cuestiones relativas al acceso de los clientes.

⁵⁵ Según McDysan (2000), varios tipos de recursos pueden congestionar una red de comunicaciones, entre los cuales figuran los siguientes: la capacidad de enlaces de transmisión, la velocidad de transmisión hacia delante de paquetes en el encaminador, la disponibilidad de recursos especializados (por ejemplo, receptor de tono), la velocidad de procesamiento de la llamada y la capacidad de memoria intermedia.

⁵⁶ Cabe señalar que la fluctuación de fase es el principal elemento que impide transmitir VoIP por Internet. Una llamada típica de VoIP por Internet atravesaría numerosas redes, con una latencia y gestión de la QoS muy variadas. Como resultado de ello, la VoIP por la zona pública de Internet resulta de una calidad muy baja y los vendedores de VoIP lo suelen desaconsejar. Sin embargo, numerosas aplicaciones informáticas proporcionan servicios gratuitos de voz por Internet. La característica común de estos sistemas de voz por Internet es que cuentan con una gran memoria intermedia para la recepción de datos, lo cual añade más de 1 segundo de retraso a las llamadas de voz. Los servicios gratuitos de voz son atractivos pero, para los usuarios comerciales, la baja calidad hace que estos sistemas sean inútiles. Sin embargo, algunos usuarios privados los consideran adecuados, especialmente para evitar el pago de tasas de llamadas internacionales.

Esta estructura de precios ayudará a los ISP de tránsito a tomar decisiones acerca del nivel de inversión necesaria en capacidad de red, a fin de evitar mayores problemas de congestión. Sin embargo, los precios estructurados de esta manera no permiten utilizar la tarificación como un instrumento más activo para gestionar la congestión, lo que quiere decir que los consumidores serán libres de utilizar Internet en el periodo más congestionado sin pagar un *costo adicional*.

5 Presente y futuro de los servicios IP en "tiempo real"

5.1 El VoIP actual

Actualmente existen empresas que ofrecen servicios VoIP. En general, la calidad es poco satisfactoria y el servicio no es digno de confianza. No obstante, en algunas ocasiones se puede obtener una calidad razonable y, cuando es así, los proveedores de VoIP podrían utilizar una combinación de los siguientes elementos:

- interoperabilidad con la RTPC a través de terminales SIP y H.323 y grupos de protocolo, así como tecnologías de compresión⁵⁷;
- métodos técnicos que mantienen datagramas en la red;
- evaluación dinámica de la QoS en distintas partes de una red ISP de tránsito o, acaso, evaluación de QoS en varias redes de tránsito con las que han firmado contratos el proveedor de servicios VoIP, de modo que las llamadas se encaminen por donde la QoS sea mejor en el momento considerado; y
- para el VoIP de computador a teléfono, ordenadores conectados a través de la RTPC a puertos UDP, que generan algunas diferencias de QoS en comparación con el TCP (mayor pérdida de paquetes pero tiempos medios de entrega más reducidos), lo cual resulta ventajoso para el VoIP.

En primer lugar, examinaré los actuales servicios IP en tiempo real, sobre todo, el VoIP⁵⁸. En términos generales, cabe decir que existen tres categorías de empresas interesadas, a saber:

- 1) Las que venden una solución IP integrada que responde a las necesidades internas de comunicación electrónica de distintas empresas.
- 2) Las que venden servicios VoIP de teléfono a teléfono al público.
- 3) Las que venden servicios VoIP de ordenador a teléfono al público.

⁵⁷ Un terminal H.323 es un dispositivo de comunicaciones del usuario de extremo que permite establecer comunicaciones en tiempo real con otros puntos extremos H.323. Una pasarela proporciona la interconexión entre una red H.323 y otros tipos de redes tales como la RTPC. En 1999, el IETF creó el SIP. Este protocolo tiene por objeto establecer, encaminar, modificar y terminar sesiones de comunicaciones por redes IP.

⁵⁸ Cabe señalar que el sistema de vídeo en secuencias continuas exige a los usuarios de extremo tener acceso a anchuras de banda mucho mayores que las que se ponen a disposición de la mayoría de los abonados. Además, el vídeo puede quedar almacenado en memoria intermedia sin repercutir significativamente en la calidad de servicio y, por tanto, tiene menos requisitos que la QoS en tiempo real.

El primer punto no parece guardar relación directa con los temas que nos interesan. Cabe mencionar que no se aplican precios a estos servicios para los usuarios finales⁵⁹. En consecuencia, el análisis que se expone a continuación tiene que ver con la segunda y tercera opciones.

Empezaremos examinando el mecanismo de los servicios VoIP y, a continuación, pasaré a considerar el caso comercial que es, básicamente, un servicio internacional de tasas de soslayo de distribución.

La mayoría de mi análisis y documentación acerca de los servicios IP en tiempo real tiene que ver con la primera de estas dos categorías y que se examina sólo de pasada la segunda categoría.

5.1.1 Telefonía IP pública por redes IP patentadas

Los ISP que prestan servicios de tránsito para comunicaciones IP suelen atravesar fronteras internacionales; dicho de otro modo, no están definidos por fronteras nacionales como suele ocurrir en el caso de los operadores RTPC tradicionales. Las redes de los ISP no se basan en una configuración tradicional de RTPC en la que los operadores nacionales de un determinado país se conectan al mundo exterior por medio de "tierras de nadie" internacionales, esto es, utilizando los conceptos del medio circuito. Esto permite que un ISP de un país A, digamos, Sprint, se conecte directamente a través de una pasarela con la RTPC del país B, que se encuentra, por ejemplo, en África. De este modo, el ISP puede explotar una red de área extensa (WAN) entre dos países o, debido a problemas de costo y fiabilidad, es posible instalar una red de área extensa Ethernet. Gracias a la instalación de dispositivos de interfaz y soporte lógico⁶⁰ en los países A y B, los cuales transforman los mensajes originados a través de la RTPC en IP y, en el caso de los mensajes entrantes, reconvierten la información IP en una forma que puede manejar la RTPC, el ISP puede ofrecer con el tiempo un servicio VoIP de teléfono a teléfono. En la Figura 5-1 se ilustra este caso con diagramas.

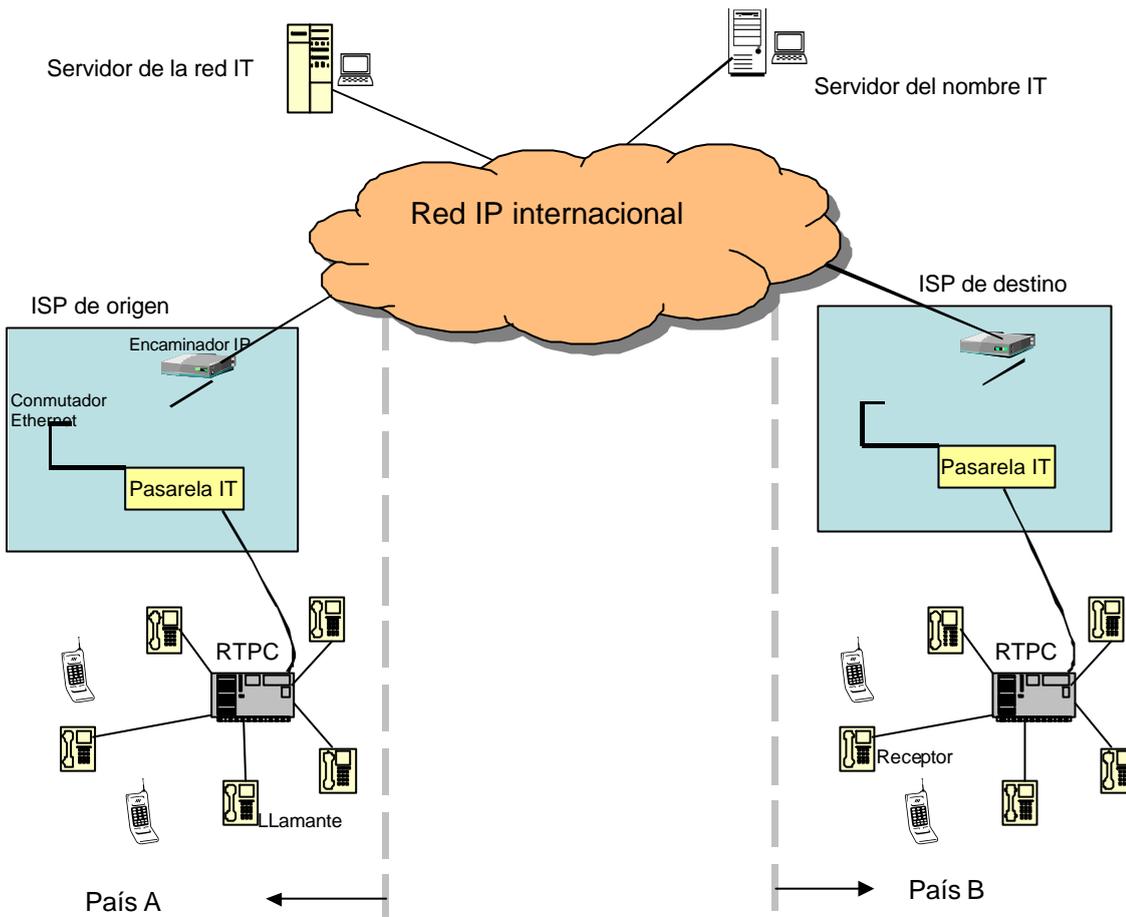
Cabe sostener que este servicio es un tanto insuficiente en comparación con lo que podríamos denominar "protocolo de transmisión de voz por la red *pública* de Internet", ya que es muy probable que exista sólo una red IP entre dos países a través de la cual se entable la conversación. Asimismo, una empresa puede arrendar partes de la red configuradas para proporcionar a la empresa arrendataria su propia red virtual. Como ya se ha explicado, cuando los paquetes IP atraviesan distintas redes, la insuficiente calidad del servicio hace que no se pueda prestar satisfactoriamente un servicio VoIP, por ejemplo, pérdida de paquetes y retraso. El resultado es que la mayoría del VoIP se proporciona utilizando una red ISP de tránsito simple.

El tipo de configuración técnica que se indica en la Figura 5-1 se conoce por el nombre de área extensa Ethernet. Cabe señalar que la invención de tales configuraciones es de fecha reciente. En casos en que se utilice este modelo IP, habría que suponer que atiende a un gran número de personas principalmente urbanizas ya que pueden acceder a pasarelas ISP sin tener que realizar llamadas onerosas a larga distancia.

⁵⁹ En lo que se refiere a los servicios integrados, los equipos terminales rápidos de las intranet pueden solicitar recursos de red en todo momento durante su utilización. Los teléfonos IP solicitarán recursos en tiempo real sin que intervenga el usuario final.

⁶⁰ Los dispositivos de pasarela son computadores y soporte lógico muy especializados que conectan llamadas RTPC a y desde una red IP. El soporte lógico codifica y comprime las llamadas procedentes de la RTPC, lo que permite que la voz pase de manera más eficaz que a través de una red RTPC.

Figura 5-1 – El VoIP internacional con una red de área extensa Ethernet



Una variante de esta estructura es que el extremo de origen sea un PC y no un teléfono. En este caso, si bien no se necesita la pasarela IT situada en el país A, la conexión entre el llamante y el ISP puede seguir necesitando a la RTPC.

5.1.2 Evitación de tasas de distribución internacionales

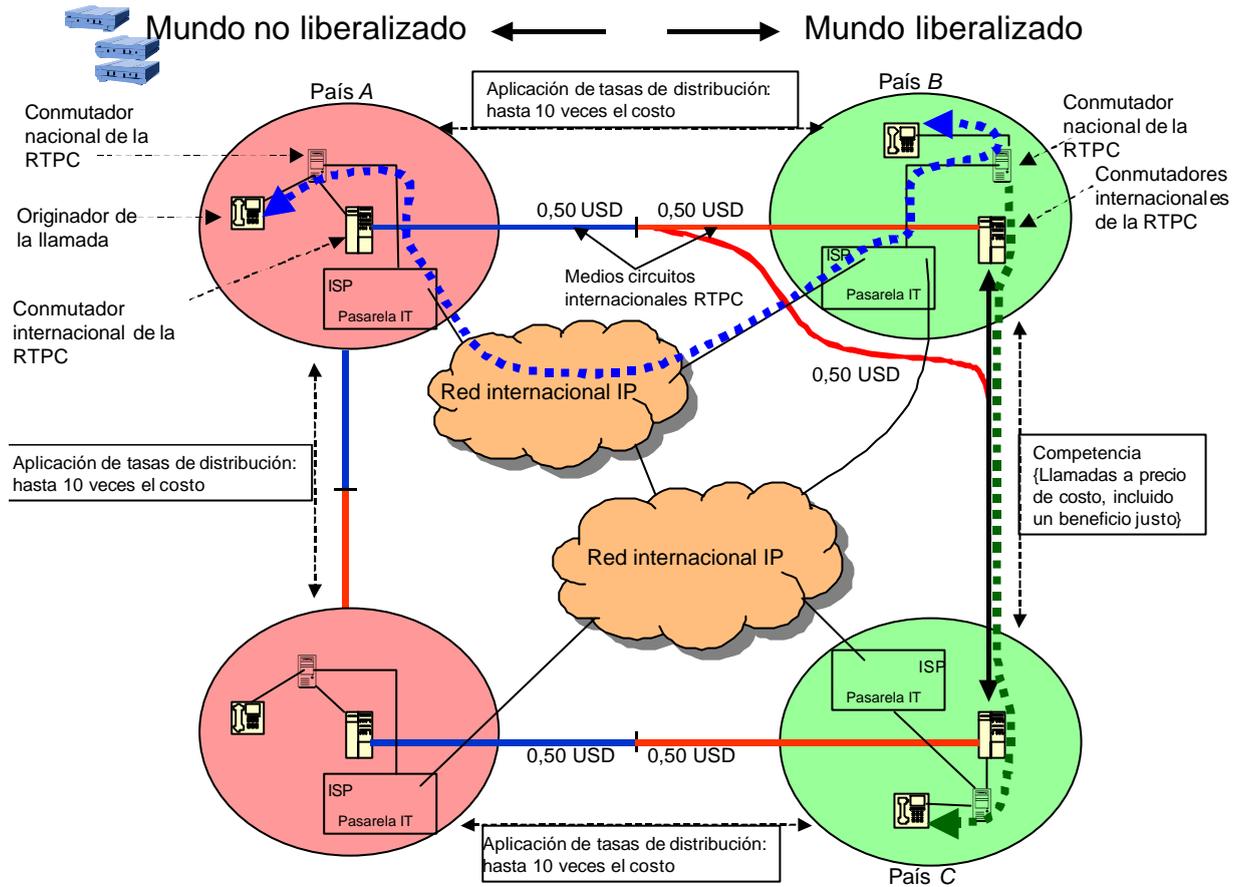
En el caso anterior, el ISP de tránsito y el proveedor de servicios permiten que los llamantes de origen eviten pasar por el operador tradicional y, en consecuencia, soslayan el sistema de tasas de distribución⁶¹. Debido a la mala calidad del servicio, el VoIP internacional es básicamente un servicio de evitación de las tasas de distribución y resulta más atractivo en países cuyas tasas de distribución son elevadas. En términos generales, cabe decir que estos países constituyen el mundo no liberalizado. Una vez en el país *B*, por ejemplo, Estados Unidos, la llamada pasa a través de la pasarela de los ISP y hacia la RTPC. A partir de ahí, la llamada se termina, ya sea en Estados Unidos o, posiblemente, en otro país. Por consiguiente, en cualquier extremo de una llamada VoIP, es posible cubrir distancias bastante largas en la RTPC, entre servidores de pasarela y teléfonos.

En la Figura 5-2 se ejemplifica este caso en forma de diagramas. El llamante de origen que se encuentra en el país *A* puede realizar una llamada internacional por la RTPC a una persona que se encuentra en el país *B*, pero el precio por minuto de dicha llamada incluirá una tasa de liquidación de 0,50 USD por minuto (es decir, la mitad del importe correspondiente a la tasa de distribución) y, por otra parte, el operador tradicional en el país *A* cobrará una cantidad adicional por haber originado la llamada. Normalmente, esta cuantía incluye la otra mitad del importe correspondiente a la tasa de liquidación así como un margen de beneficio al detalle, por lo cual el precio de la llamada por minuto sobrepasará con mucho 1 USD por minuto.

⁶¹ El *sistema de tasas de distribución* se creó hace muchos años, cuando la mayoría de los operadores de telecomunicaciones eran monopolios públicos que se autorreglamentaban en un mundo en que no había competencia para originar o terminar llamadas internacionales. Originalmente, las tasas de distribución tenían por objeto remunerar los costos totales de las llamadas internacionales desde el origen hasta el destino. La tasa de liquidación corresponde casi siempre a la mitad del importe de la tasa de distribución y entraña la distribución de los "costos" de las llamadas entre los dos países.

El operador del país desde el que se origina la llamada (país *A*) recibe el importe correspondiente a una tasa de percepción (la anunciada que se paga por realizar una llamada a un determinado país) y paga al operador del país que recibe y termina la llamada (país *B*) la cantidad que corresponde a lo que se denomina tasa de liquidación, que se calcula por minuto de tráfico. Periódicamente, los operadores de los países *A* y *B* saldarán sus cuentas, de modo que el operador que registre el mayor número de tiempo de llamadas salientes que entrantes deberá realizar el pago que represente la diferencia.

Figura 5-2 – Evitación de las llamadas internacionales a través del VoIP



La línea gruesa azul de puntos indica el recorrido que hace una llamada VoIP desde un llamante que se encuentra en el país A hasta un receptor que se encuentra en el país B.

En el caso de las llamadas realizadas al país C, y debido a que esta red internacional IP no está conectada directamente al país C, una llamada VoIP puede entrar por la RTPC del país B y ser recibida por el abonado de destino en el país C a través de su RTPC. Como los sistemas de reglamentación en los países B y C están liberalizados (no hay tasas de distribución, lo que permite que los precios de servicio se ajusten en mayor medida a los costos de servicio), el costo adicional correspondiente a la conexión del país B al C asciende sólo a unos cuantos centavos. Esto significa que, en relación con las llamadas RTPC realizadas del país A al C, esta opción supone también para los llamantes que se encuentran en el país A un ahorro considerable. La línea gruesa verde de puntos indica el recorrido de dicha llamada.

Recuadro 1: Evitación de tasas de distribución recurriendo a servicios tradicionales

Es posible soslayar en cierta medida las tasas de distribución, si las empresas tienen redes privadas internacionales tradicionales. La ruptura en un solo extremo ocurre cuando el receptor o el originador de la llamada se conecta a la red privada a través de la RTPC. En la práctica, el nivel de soslaye resultante de dichas llamadas es mínimo.

La ruptura en ambos extremos ocurre cuando tanto el llamante como el receptor se conectan a la red privada internacional a través de la RTPC. Esto se conoce también como Reventa Simple Internacional (ISR) y suele ser ilegal excepto en los países plenamente liberalizados, e incluso en esos países es a veces ilegal en las rutas no liberalizadas⁶².

El VoIP internacional también es un servicio de evitación de las tasas de distribución internacionales. Como en el caso de la ISR, permite soslayar los conmutadores internacionales de la RTPC y, por ende, evitar contraer obligaciones en materia de tasa de distribución. Puesto que el costo, además del margen de beneficio de competencia, de este servicio suele ser sólo un porcentaje del precio que cuesta realizar llamadas a través de la RTPC desde países no liberalizados que cobran tasas de distribución internacionales por realizar llamadas a destinos similares, los proveedores de servicios de evitación pueden cobrar precios menos que los que impone el operador tradicional y obtener, sin embargo, grandes beneficios.

Cabe señalar que si un operador RTPC eficaz que se encuentra en *A* puede pagar la terminación en régimen de competencia a el país *B* sin que se le exija pagar 0,50 USD por minuto -tal vez abonando 0,10 USD o menos-, podría obtener una buena cantidad de beneficios cobrando únicamente un porcentaje del precio actual al detalle (también conocido como tasa de percepción)⁶³. Sin embargo, el país *B* no permite al operador RTPC que se encuentra en el país *A* pagar en condiciones de competencia la terminación en *B*. Esto se debe a que los operadores en *B* no pueden obtener precios de competencia para terminar el tráfico en *A*. De hecho, *A* insiste en que las llamadas de *B* se pague a una tasa de terminación de 0,50 USD por minuto (es decir, la tasa de liquidación). Si bien, en general el país *B* tiene un sistema telefónico liberalizado, impone una reglamentación a sus operadores internacionales que les exige cobrar el mismo precio de terminación al operador de *A* que el operador de *A* cobra a los que se encuentran en *B*.

Aunque las cifras mencionadas anteriormente no representan medias de costos o precios reales, en la práctica son habituales, diferencias de precios y costos de esta magnitud. Estas diferencias se prestan en gran medida a que los particulares intenten encontrar la forma de evitar pagar tasas de distribución. En ello reside actualmente la motivación comercial de los servicios internacionales de VoIP.

⁶² El servicio de llamada por intermediario no es un servicio de evitación de tasas de distribución; lo que permite es invertir el sentido de la llamada. Véase, M. Scalan, (1998), "Using call-back to demonstrate the discriminatory nature of the proportionate return rule", *Telecommunications Policy*, Vol 22, 11 de diciembre {la versión corregida se editó en el siguiente número}.

⁶³ En Europa un operador cobra las llamadas a Nueva Zelanda, que se encuentra a una distancia de 20 000 km, entre 0,05 USD (fuera de las horas punta) y 0,06 USD (en las horas punta) por minuto, y es evidente que prevé que este servicio sea rentable.

5.1.3 La telefonía IP privada en redes IP empresariales

Se prevé que, durante los próximos años, uno de los principales sectores de crecimiento en lo que se refiere a la telefonía IP serán las intranet empresariales. Las redes IP empresariales no tienen los problemas de calidad de servicio red-red que se han señalado en el Capítulo 3. Además, los problemas de congestión que tienden a limitar el VoIP a través de redes IP que utiliza el público⁶⁴, tienen soluciones más fáciles en las intranet privadas. De hecho, para las intranet de servicios integrados es esencial reducir al mínimo la congestión puesto que, en general, el precio es menos importante para las empresas que la calidad de servicio.

La mayoría de las soluciones VoIP que se están examinando actualmente desde el punto de vista comercial parece guardar relación con la incorporación de la telefonía IP en redes IP empresariales, las cuales no prestan al público servicios VoIP.

5.1.4 Tecnología de encaminamiento IP patentada

Otro sistema de transmisión de voz por Internet consiste en que el proveedor de servicios utilice soporte lógico especializado para encaminar paquetes de sesión a través de las partes de Internet que registren los mejores resultados en un momento dado. En caso de no existir en ese momento ningún encaminador que reúna los requisitos de calidad de servicio necesarios, las llamadas se encaminan a través de la RTPC. Dicha solución se considera una solución "híbrida". El llamante no puede controlar esta selección. La opción de la RTPC parece necesaria debido a la exigencia formulada por los consumidores de que los servicios estén disponibles cuando lo requieran. Dado que en determinados momentos no está disponible la transmisión de voz por Internet, ni siquiera con ayuda del soporte lógico especializado en evitar la congestión, podría ser necesario optar por pasar a la RTPC para lograr que el servicio sea comercialmente viable.

El servicio parecería exigir que existan entornos de reglamentación relativamente liberalizados en cada extremo de las llamadas internacionales. Esto es lo que propone el proveedor de servicios capaz de originar y encaminar llamadas a través de la RTPC en caso de que ninguna red IP pueda proporcionar el servicio en el momento que se considere. Como hay numerosas economías en desarrollo que no se ajustan a esta descripción, tal vez no se pueda aplicar este modelo de VoIP a muchos países en desarrollo. Es probable que esta solución sea viable si se dispone de una red de área extensa Ethernet, como se indicó en la sección 5.1.1.

5.2 El futuro de las redes IP "en tiempo real"

5.2.1 Aspectos tecnológicos

La MPLS parece señalar el camino para resolver en el futuro ciertos problemas de QoS fuera de red y la prestación de múltiples clases de servicio por Internet. Actualmente, muchos servicios de Internet utilizan el ATM de capa 2 para transportar datos IP en el nivel 3. Estas dos capas funcionan de manera independiente. Para estar en condiciones de proporcionar opciones de clase de servicio, utilizando IP a través del ATM, han de configurarse distintos VC de extremo a extremo para cada clase de servicio y la VPN. Es poco probable que este enfoque permita de escala y entraña una utilización ineficaz de los recursos de red⁶⁵.

⁶⁴ Como ya se ha dicho, esto obedece en gran medida a la ausencia de un mecanismo de tarificación capaz de atender a las necesidades de los particulares con distintas calidades de servicio.

⁶⁵ Dijimos antes que, siempre que se emplea el ATM, Internet funciona utilizando un único tipo de canal.

Por otra parte, en el caso de la MPLS, existe una incorporación parcial de las dos capas, de modo que la capa 2 cobra conocimiento de la capa 3. A este respecto, hay que señalar que la MPLS brinda la posibilidad de cambiar de escala y presenta ventajas de eficacia en el recurso de red en comparación con el ATM; no es necesario que se configuren los VC de extremo a extremo para cada clase de servicio. Esta ventaja es muy apreciable cuando se desea integrar el soporte de la clase de servicio de la MPLS y un servicio VPN MPLS. Este método funciona a través de un encaminador de conmutación por etiquetas.

La MPLS proporciona dos mecanismos que funcionan cuando los paquetes atraviesan un encaminador o un conmutador, los cuales permiten, a su vez, evaluar la QoS, a saber:

- La clasificación de paquetes en distintas clases de servicio.
- El control de las características QoS (por ejemplo, fluctuación, pérdida de paquetes y anchura de banda) que ha de aplicarse a determinados paquetes.

De este modo, resulta fácil determinar qué paquetes pertenecen a una clase en particular después de clasificarlos la primera vez. En la primera clasificación se utiliza información llevada en la capa de la red o en encabezamientos de capas superiores (por ejemplo, en el campo ToS). De ser así, es posible aplicar al paquete una etiqueta que corresponda a la clase resultante. Los encaminadores de conmutación por etiquetas pueden manejar paquetes etiquetados que han de reclasificarse.

La MPLS no ofrece una solución a todos los problemas de QoS, pero abre vías para examinar algunos de los problemas existentes, incluidos los problemas que plantea la QoS fuera de la red.

Al permitir definir más ampliamente el etiquetado, la MPLS puede aplicarse a longitudes de onda que actúan como etiquetas propias. Los protocolos ampliados de la MPLS se denominan MPLS o MPLS generalizadas⁶⁶.

Asimismo, habrá que realizar otros avances, por ejemplo, llegar a una contabilidad y facturación basadas en elementos como los precios de congestión. Se necesitarán también interfaces de usuario de extremo que permitan a los usuarios escoger la clase de servicio que recibirán los paquetes de una determinada sesión. Aún no se ha creado ninguno de estos sistemas. Es probable que se requiera cierta coordinación entre todas estas esferas, en el entendimiento de que Internet de próxima generación -la que hará posible la convergencia con otras plataformas- tardará varios años en desarrollarse. De hecho, no existen garantías de que evolucione en los próximos 10 años, a pesar de que, durante largo tiempo se hicieron rápidos progresos.

5.2.2 Fijación de precios y liquidación

Como hemos visto anteriormente, existen tres tipos básicos de costos para prestar servicios de red, y lo ideal sería que esta misma estructura quede reflejada en la estructura de precios al detalle y al por mayor.

Esta estructura de precios abarca lo siguiente:

- un canon único de conexión a Internet;
- un canon de suscripción periódica (mensual);
- costos de utilización elevados durante el periodo de mayor demanda.

Es posible que en el futuro varios ISP ofrezcan libremente una estructura de precios distinta, pero es de prever que los particulares que acepten esta oferta tendrán que pagar al ISP para cubrir los

⁶⁶ El Foro sobre gestión de redes ópticas ha ampliado varios elementos GMPLS y ha definido explícitamente una serie de protocolos UNI. Los protocolos se conocen con el nombre de *Interfaz Óptica de red para usuarios* (O-UNI).

riesgos y los costos de eficacia que traen consigo estructuras tarifarias que difieren de las estructuras de costos. Para los ISP de usuario final que adopten estructuras tarifarias para usuarios finales que difieran en gran medida del precio al por mayor que deban pagar al proveedor de tránsito, esa actuación supondrá riesgos adicionales y, por lo general, sólo aceptarán proceder así cuando puedan recuperar una proporción "gestionable" de sus costos de tráfico totales y, por supuesto, obtener un mayor beneficio.

Cuando existan varias clases de servicio, la situación puede resultar mucho más compleja, sobre todo si se busca la tarifa realmente *óptima*⁶⁷. Sin embargo, lo más probable es que el sistema de fijación de precios se mantenga relativamente simple y estable, y que se aplique la misma estructura tarifaria a cada clase de servicio, pese a que a medida que las características de las clases de servicio se irá modificando también el nivel de precios.

Estos cambios pueden aplicarse a los servicios tanto al detalle como al por mayor y, a largo plazo, es posible que no sobrevivan los acuerdos concertados entre redes pares en cuanto a la retención íntegra de las tasas en origen.

Si bien la fijación de precios no resultará totalmente óptima en lo que concierne a la gestión de la red, las segundas mejores soluciones pueden ser bastante eficaces, como lo han demostrado las redes de telecomunicaciones RTPC tradicionales.

6 Análisis de la investigación sobre la fijación de precios en los servicios de Internet

La característica principal de los documentos de investigación que se examinan en esta sección (y se analizan más detenidamente en el Anexo II) es que abordan las cuestiones de tarificación como un elemento de la gestión de la red. Ésta es una característica que define actualmente a las redes IP y parece que aún transcurrirá cierto tiempo antes de que se disponga de manera operativa de un sistema autónomo de este tipo. Así pues, los documentos de investigación son principalmente académicos. En ellos se abordan modelos matemáticos de redes en los que se incluyen módulos de tarificación y demanda. Dichos modelos se establecen con arreglo a las siguientes consideraciones:

- las relaciones entre las variables que los autores consideran más importantes, en función de los temas que quieren abordar,
- las hipótesis escogidas que permiten que el modelo se centre en temas de investigación específicos.

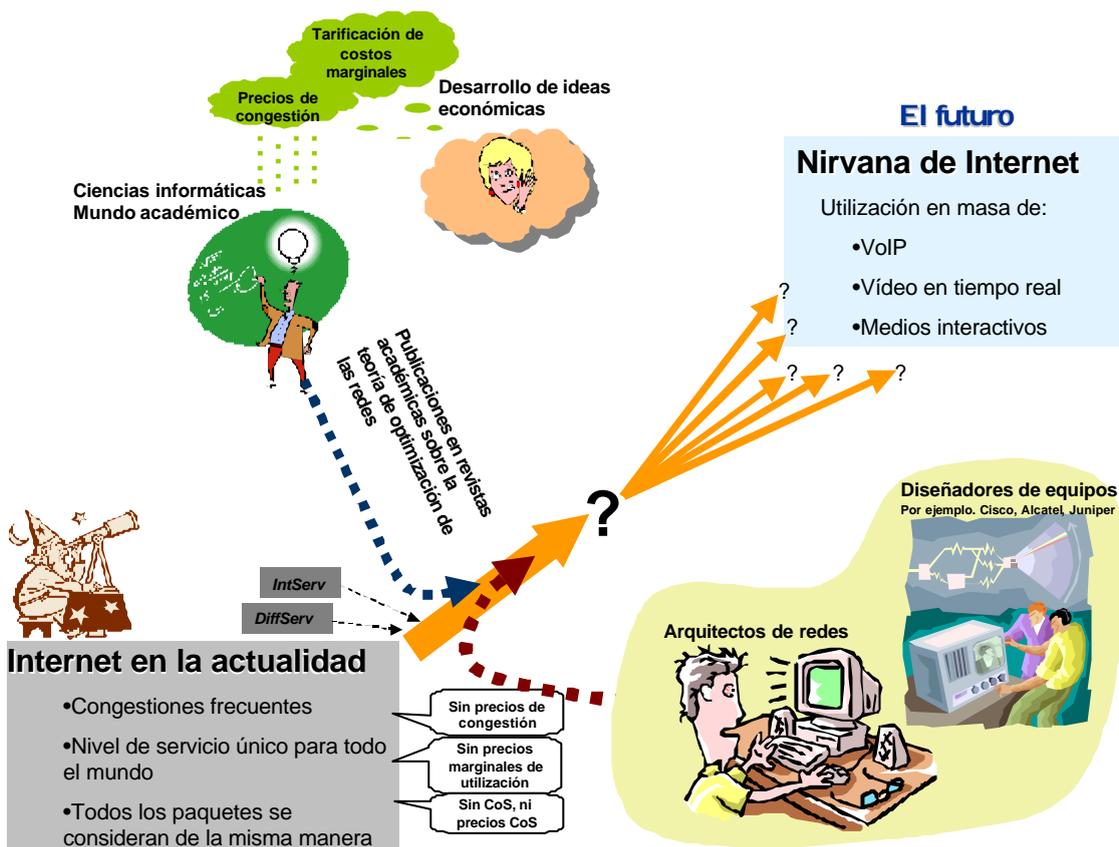
Los criterios indicados anteriormente son práctica habitual en todos los ámbitos de la investigación científica. Las personas encargadas de evaluar los documentos de investigación que se presentan a las revistas académicas para su publicación comprueban que la lógica matemática es correcta y que el diseño del modelo y la elección de las hipótesis se prestan a llevar a cabo investigaciones que resultan importantes para entender el ámbito de la investigación y, si se utilizan técnicas empíricas (no figuran en los documentos evaluados), verificar si las técnicas escogidas son las adecuadas y que los datos confirmen las conclusiones⁶⁸.

⁶⁷ La fijación óptima de precios a cambio de servicios prestados en una red de ordenadores es el tema que se estudia en los documentos académicos que se examinan en el Anexo 2.

⁶⁸ Las personas encargadas de evaluar estos documentos deberán ser colegas de los autores (por ejemplo, otros expertos en el ámbito de la investigación de que se trata) que decidan si se deben publicar los documentos de investigación en la forma presentada, si se han de modificar antes de su publicación o, tal vez, no recomendar que se acepte su publicación.

Los problemas que se plantean en los modelos a los que nos referimos en esta sección y procuramos examinar son complejos. El diseño de ingeniería, plantea dificultades como las que dan lugar a la relación causal de los costos, suele haber más de una clase de servicio y clases que con frecuencia suponen relaciones entre el precio y la demanda en el modelo. Hay que señalar muy especialmente con respecto a la optimización dinámica, que algunos tipos de problemas son insolubles desde el punto de vista informático, y deben adoptarse algunas hipótesis de simplificación. Los documentos de investigación que se examinan en el Anexo II abonan directa o indirectamente estos problemas.

En cuanto a las clases de servicio múltiples, en todos los documentos se destaca la tarificación como un elemento activo en la gestión de red. Sin embargo, la investigación tiene por objeto examinar la relación entre la tarificación óptima y más de una clase de servicio. No resulta evidente el hecho de que estos documentos tengan efectos prácticos directos en lo que respecta a la introducción y el diseño futuros de arquitecturas de clases de servicio (características que pueden llegar a formar parte del Internet). Ahora bien, es probable que esta investigación sirva de ayuda para formar a los arquitectos de redes informáticas que buscan soluciones prácticas en lo que respecta a la falta de opciones de clases de servicio y a la tarificación de dichas opciones en Internet. En la Figura 6-1 se indica gráficamente la difusión de ideas económicas entre los ingenieros de Internet en su búsqueda de soluciones que darán lugar a la Internet de la próxima generación.



Fuente: El autor

Figura 6-1 – Interrelación gráfica de ideas económicas aplicadas al diseño de redes informáticas

Todos los artículos de investigación tienen en común el reconocimiento de que los precios pueden y deben utilizarse para controlar la congestión y mejorar la calidad de servicio en Internet. Cuando los servicios en tiempo real constituyen el grueso de los servicios disponibles, los problemas de optimización se vuelven muy complejos, lo que obliga a adoptar medidas dinámicas de tarificación que reflejen en cierto modo el estado del sistema, es decir, que los precios evolucionan continuamente, a fin de gestionar (optimizar) la demanda de servicios de red (por ejemplo, la entrada de datagramas). Dicha optimización de recursos de red requiere que los precios varíen en cada punto de entrada y se modifiquen constantemente una vez terminado el periodo de sesión de cada usuario. A no ser que el modelo sea muy sencillo, los modelos que tienen por objeto optimizar plenamente la red son difíciles de aplicar desde el punto de vista informático. Así pues, los investigadores suelen realizar ajustes de simplificación que permitan la mayor optimización posible pero, al mismo tiempo, que se puedan aplicar informáticamente.

Desde el punto de vista económico, el aspecto alentador de estos artículos es que en todos ellos se reconoce que la gestión de la demanda debería formar parte de la planificación de inversión en redes y de la optimización del tráfico. Esto no ha ocurrido siempre así entre los diseñadores de redes informáticas. De hecho, algunos expertos en la industria de Internet siguen oponiéndose a esta idea en sus artículos y en las conferencias en que participan⁶⁹. (Estos temas se examinan en la Sección 4 y en el Anexo I.)

A medida que transcurre el tiempo, las instituciones que no forman parte de la comunidad de economistas aprenden cada vez más sobre economía y un número creciente de personas que no son economistas abordan cuestiones económicas. Esto forma parte de los procesos de construcción de instituciones y conocimientos, y ocurre en las administraciones de los gobiernos, en otras profesiones, como el derecho y la contabilidad, así como en el mundo académico, es decir, en disciplinas muy diversas. De hecho, el mundo académico suele ser el primer ámbito en el que se produce esta *interrelación creativa*⁷⁰.

Los artículos académicos de investigación se examinan más detenidamente en el Anexo II.

7 Problemas de reglamentación IP

Los futuros problemas de reglamentación en el campo de las redes que utilizan IP parecen limitarse principalmente a los ISP, los organismos denominados actualmente operadores tradicionales de telecomunicaciones y los operadores móviles de próxima generación⁷¹.

La reglamentación de contenido como, por ejemplo la referente a la ética, la seguridad y la propiedad intelectual, no se examina en el presente Informe.

⁶⁹ Como hemos señalado anteriormente, al parecer los arquitectos de *IntServ* desconocían los problemas relativos a los incentivos económicos que se plantearían si esta arquitectura estuviera al alcance de los usuarios de Internet de forma generalizada.

⁷⁰ Las diferencias entre los países, en lo que concierne al ritmo al que progresan sus instituciones a la hora de adquirir conocimientos e ideas, permiten explicar incluso por qué algunos países lo logran en menor medida que otros.

⁷¹ En el presente Informe no se estudia la reglamentación de contenido ni las cuestiones relativas a la privacidad.

7.1 La reglamentación y los ISP

Los problemas relativos al disfuncionamiento del mercado en relación con la posible reglamentación de los ISP residen en el poder del mercado y los factores externos. Si bien el modelo ISP tiende a ser eficaz en términos de competencia, pueden registrarse dos tipos de problemas básicos, a saber:

- 1) En algunas regiones, puede existir poca competencia entre los ISP proveedores de tránsito, de modo que se exige a los ISP de usuario final que abonen precios abusivos para poder utilizar dicho tránsito o reciben una QoS inferior a la proporcionada en entornos sujetos a la libre competencia. Entre los principales motivos de la falta de competencia cabe mencionar los siguientes:
 - i) bajos niveles de demanda (capacidad de pago), como puede suceder en las economías en desarrollo, que pueden dar lugar a un tránsito muy reducido siempre y cuando exista un ISP proveedor de servicios en la región;
 - ii) regímenes de licencias onerosos en virtud de los cuales:
 - se limita innecesariamente el número de competidores, o bien
 - se cobran tasas demasiado elevadas o se imponen otras obligaciones costosas que ponen freno a la participación en los mismos;
 - iii) existen otros problemas de reglamentación que hacen de la inversión una operación arriesgada; el principal de ellos es el escaso desarrollo de ciertos organismos de reglamentación cuyo resultado coincide con el indicado en el punto i), y
 - iv) el operador tradicional impone a los ISP precios excesivos de acceso a su red y/o impide el acceso a su red.

Éstas son algunas de las inquietudes que la reglamentación despierta en los países. En los casos ii) y iii), no existe una solución reglamentaria *ex ante* a estos problemas. De hecho, cuando se plantean problemas, la reglamentación puede ser la causa en lugar de la solución. Lo que se recomienda es un sistema más liberal, aunque puede llevar muchos años crear instituciones capaces de aplicarlo.

En cuanto a lo mencionado en el punto iv), esos problemas, que incumben a la reglamentación del operador tradicional, se examinarán detenidamente más adelante.

- 2) Otro posible tipo de problemas reside en los ISP principales que, aunque son cinco o seis, más de uno tiene actualmente dificultades financieras. Los ISP principales (también denominados ISP de nivel 1) son los únicos que casi han completado cuadros de encaminamiento. Están situados en la cúspide de una jerarquía indefinida denominada Internet. Intercambian datos entre sí y, prácticamente, con nadie más⁷². Los ISP principales compiten con los ISP de niveles 2 y 3, así como con empresas que ofrecen sustitutos de tránsito, principalmente las que almacenan contenidos cerca de los bordes de Internet. Las empresas más conocidas tal vez sean las que proporcionan servicios *de almacenamiento temporal*. La posibilidad de que se planteen problemas de competencia en relación con los ISP principales es un *asunto de carácter internacional* que, al parecer, las autoridades estadounidenses y europeas encargadas de la legislación en materia de competencia están tratando adecuadamente en especial mediante normas que impiden a las empresas el dominio del mercado a través de fusiones o adquisiciones. Por lo tanto, este problema no se volverá a examinar en el presente Informe.

⁷² Para un examen más detallado sobre intercambio de datos, véase la sección 2.2 (incluida la Figura 2.2).

- 3) Otro posible ámbito de interés en materia de reglamentación guarda relación con la denominación, la numeración y el direccionamiento respecto de Internet. Los números pueden ser un recurso escaso debido, principalmente, a los costos resultantes de los cambios que deben efectuarse en un plan de numeración cuando los números se agotan. Esto ocurrirá cuando se sustituya IPv4 por IPv6, lo que será probablemente necesario en los próximos cuatro a siete años. Al parecer, algunos países están exigiendo a los ISP que adopten IPv6 en un plazo determinado. Otros países, como los que forman la Unión Europea, están reclamando que se pase cuanto antes a IPv6 y para ello invierten grandes sumas de dinero procedente de fondos públicos. Con todo, la comunidad de Internet está examinando de cerca este asunto y es discutible si una administración debe hacer algo más que observar los progresos logrados en esta etapa. No obstante, puesto que la gestión de la numeración IP no es un problema específico de un país, este asunto no se volverá a examinar en el presente Informe.

El acceso a nombres, números y direcciones es una cuestión afín que ha revestido interés en materia de reglamentación debido a la necesidad de que redes con distintos sistemas de direccionamiento (por ejemplo, con números de teléfonos y con números y nombres IP) puedan interfuncionar cuando ambas prestan el mismo servicio. El principal ejemplo se observa al plantearse la necesidad de que los proveedores de VoIP y las redes RTPC puedan terminar las llamadas en la otra red. Las cuestiones normativas se centran en el debate acerca del ENUM⁷³, en el que se distinguen dos grupos, a saber: los que están a favor de que la UIT desempeñe una función en el establecimiento de determinadas normas y los que alegan que no se necesita contar con ninguna administración centralizada ni elaborar normas. Debido a que este problema de reglamentación no afecta a ningún país en particular, no se volverá a examinar en el presente Informe.

La disponibilidad de datos numéricos y direcciones es esencial para los competidores a fin de favorecer la competencia entre plataformas rivales, razón por la cual los países necesitarán mantenerse al corriente de los progresos y asegurarse de que los competidores no quedan fuera de juego debido a su incapacidad de acceder a las bases de datos necesarias.

- 4) La **normalización** o la falta de ella en Internet es otro ámbito de interés para las autoridades de reglamentación, en particular debido a los problemas de QoS fuera de red mencionados en el presente Informe. Este problema es sumamente complejo ya que está relacionado con el desarrollo tecnológico y supone costos y beneficios incalculables. Sin embargo, este tema no se volverá a examinar en el presente Informe, dado que la normalización no es un problema que afecte a países determinados⁷⁴.

Internet no se rige por una reglamentación directa. Su carácter internacional y estructura carente de fronteras dificultarían enormemente la aplicación de normas reglamentarias. Por regla general, cuando las redes de Internet y otras empresas empiezan a competir entre ellas y no reciben el mismo trato desde el punto de vista reglamentario, se recomienda que las autoridades en la materia afronten ese problema estudiando, en primer lugar, la manera de suprimir las normas aplicadas a la RTPC a fin de lograr la neutralidad de la competencia, en lugar de estudiar de qué manera regular Internet o los ISP para mantener o restablecer dicha neutralidad.

⁷³ ENUM es un sistema mundial de direccionamiento, cuya normalización llevó a cabo el IETF en septiembre de 2000, que vincula las redes RTPC y las redes con IP.

⁷⁴ Para consultar un estudio general sobre las cuestiones económicas, véase David y Greenstein (1990).

7.2 Reglamentación y operadores de la RTPC tradicionales

Para las autoridades reguladoras nacionales (NRA) la mayoría de los problemas de reglamentación vinculados a Internet guardan relación con los operadores tradicionales de telecomunicaciones.

Dada la convergencia entre la RTPC, el sistema CATV y las redes IP -alámbricas e inalámbricas-, se debe revisar la reglamentación para asegurarse de que las empresas en régimen de competencia reciban el mismo trato ante la ley, es decir, que la reglamentación no favorezca a una tecnología o a una clase de prestación de servicios en detrimento de la otra. El principio cardinal que debería aplicarse es la igualdad de oportunidades. Al parecer, varios ámbitos en los que a veces se aplica la reglamentación a los operadores de la RTPC necesitarán una reforma en los próximos años a fin de mantener la **neutralidad de la competencia**. Es probable que el operador tradicional sea el principal organismo más afectado si no examinan estas cuestiones. Podría decirse que los principales problemas son los que se enumeran brevemente a continuación.

- *Limitación de precios en RPI-X o CPI-X*

Una parte importante del sistema de limitación de precios consiste en prever el nivel de competencia que ocasionarán los servicios durante el periodo en que se les aplican precios máximos. Es probable que la previsión de la tasa de convergencia de Internet con la RTPC conlleve errores considerables con respecto al ritmo de convergencia real.

- *Estructura y unidades de los precios al por menor*

La tarificación de los servicios de llamada por la RTPC al por menor se efectúan en segundos o minutos según el momento del día en que se realiza la llamada. No siempre será necesario que los precios de los servicios VoIP se calculen en función del número de sesiones, aunque si así se hiciera, tendría que calcularse el tiempo con relación a la anchura de banda. En cualquier caso, es poco probable que se registre el mismo gradiente entre las tasas aplicadas durante las horas pico y fuera de ellas.

- *El nivel de los precios - Evitación internacional*

Numerosos operadores, especialmente en los países en que no se ha llevado a cabo la plena liberalización, siguen obteniendo grandes beneficios gracias a las llamadas internacionales. Muchos de ellos ya sufren las consecuencias de importantes faltas de pago a causa del VoIP. Es necesario reformar el sistema de tarificación, aunque puede resultar difícil debido a la oposición política.

- *Precios de interconexión y estructuras de precios*

Los costos de interconexión están relacionados con la capacidad. El uso del minuto como unidad de tarificación del tráfico de interconexión ha favorecido el aumento de la competencia en la prestación de servicios RTPC, puesto que se han mantenido bajos los costos de acceso para los nuevos operadores; es decir, han podido arrendar minutos de circuito en lugar de comprar la capacidad necesaria para terminar las llamadas en la red del operador tradicional. La necesidad de imponer tasas de interconexión por minuto se explica por el hecho de que mientras dura una llamada telefónica los circuitos están dedicados exclusivamente a esa llamada y nadie más los puede utilizar. Esto no sucede con las llamadas VoIP en las que se aplica la multiplexión estadística, de modo que los costos de uso en las horas pico están en función de los bits cursados. Ya se han indicado brevemente las posibles dificultades de cobrar el uso de Internet por minuto⁷⁵. Para que los operadores de la RTPC no se perjudiquen debido a la reglamentación, tal vez sea necesario revisar, a corto o medio plazo, la estructura de los precios reglamentados de las tarifas de interconexión de la RTPC, cuyo resultado podría ser que los precios de interconexión de la

⁷⁵ Véase la sección 7.2.2.

RTPC se cobraran en términos de costos de capacidad "en la hora cargada". Puesto que, en principio, los precios por minuto se basan en costos de la capacidad, puede decirse que ya se ha realizado parte del trabajo necesario para aplicar dichos cambios⁷⁶.

- *El cobro de impuestos especiales*

El cobro de impuestos especiales incluye las contribuciones al servicio universal. Si bien se basan en alguna medición de la parte del mercado, estos impuestos tienden a incrementar los costos operativos de las entidades gravadas. Es evidente que cuando estos impuestos son significativos y su pago se exige a algunos competidores (por ejemplo, operadores RTPC) y no a otros (por ejemplo, operadores VoIP), puede dar lugar a la falta de neutralidad de la competencia⁷⁷.

7.3 La reglamentación y los operadores móviles de próxima generación

Se van a crear redes móviles de próxima generación que funcionen con IP. Aunque de hecho ya tiene un nombre -UTRAN: red de acceso radioterrestre para UMTS (sistema de telecomunicaciones móviles universales)- esta tecnología no ha traspasado aún las puertas del laboratorio. Si bien la gran mayoría de los operadores de redes móviles no están reglamentados (como sucede en el caso de los ISP), cada vez compiten más con las redes RTPC de los operadores tradicionales.

Actualmente, las redes GSM complementan las redes RTPC y aumentan considerablemente su rentabilidad. Aunque los efectos de esta complementariedad son sumamente importantes, a medida que aparecen operadores de UTRAN se producen efectos de sustitución que pueden resultar cada vez más evidentes cuando empiezan a prestar servicios⁷⁸. Del mismo modo que la convergencia con redes fijas alámbricas de datos ofrece un motivo para que los reguladores revisen la estructura y las unidades de medida de los precios reglamentados en el marco de las redes alámbricas fijas (por ejemplo, interconexión), la convergencia también abarca a los operadores de redes móviles. Por lo

⁷⁶ Otros ámbitos de posible disfuncionamiento del mercado debido a la reglamentación son menos obvios aunque pueden ser importantes, e incluyen niveles reducidos de capacidad de acceso al mercado, competencia e inversión, causados por la reticencia de los inversores ante la incertidumbre y el riesgo de oportunismo en materia de reglamentación. Se trata no obstante, de verdaderos problemas planteados especialmente en las industrias públicas donde, a causa de decisiones reglamentarias o políticas, se reduce el rendimiento de las prolongadas inversiones realizadas. (Por ejemplo, debido a los aranceles que Estados Unidos aplica a las importaciones de acero, los activos de los inversores pierden valor en países donde los productores de acero exportan a Estados Unidos.) No estudiamos este tipo de disfuncionamiento del mercado en el presente documento pero remitimos a los lectores al estudio que realizamos conjuntamente con un asociado: Cullen International & WIK (2001), "Universal service in the Accession Countries", especialmente las páginas 82-96 del Informe Principal y las páginas 8-13 del Informe por País. http://europa.eu.int/information_society/topics/telecoms/international/news/index_en.htm

⁷⁷ Se puede consultar un análisis sobre cuestiones fiscales en WIK (2000) y en Scanlan y Neu (2001). De hecho, en algunos países se han recuperado los costos netos de obligación del servicio universal gracias a las tasas de interconexión. En el Capítulo 3 de WIK (2000) figura un análisis detallado de los motivos por los que no es aconsejable este método de recuperación de los costos. En Scanlan y Neu (2002) se analizan los problemas que se plantean al tratar de recuperar subsidios de acceso de una manera similar.

⁷⁸ La naturaleza complementaria de las redes GSM se manifiesta en el aumento del número de llamadas originadas en las redes alámbricas fijas del operador tradicional y en el aumento de los ingresos de interconexión por las llamadas originadas en las redes GSM y que terminan en la red alámbrica fija del operador tradicional.

tanto, los argumentos que se esgrimen para las redes UTRAN son muy similares a los citados en la sección relativa a los ISP.

Referencias

- Alcatel Telecommunication Review (2001), número especial "Next Generation Now", vol. 2.
- Anania, L., and R. Solomon, (1997), "The Minimalist Price", en L. McKnight and J Bailey (eds.) (1997), *Internet Economics*, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Brown, S. and D. Sibley (1986), *The Theory of Public Utility Pricing*. Cambridge University Press.
- David, P. and S. Greenstein (1990), "The economics of compatibility standards: An introduction to recent research", *Econ. Innov. New techn*, (1): 3-41.
- Gupta, A., D. O. Stahl and A.B. Whinston, (1995) "A stochastic equilibrium model of Internet pricing", Mimeo, Universidad de Texas (Austin).
- Hwang, J., Weiss, M. and S.J. Shin (2000), "Dynamic Bandwidth Provisioning Economy of A Marked- Based IP QoS Interconnection: IntServ - DiffServ", documento presentado ante la 28ª Conferencia sobre investigación en materia de política de las telecomunicaciones, 23-25 de septiembre, Alexandria, Virginia.
- Kercheval, K. (1997), "TCP/IP over ATM", Prentice Hall PTR.
- Korilis, Y.A., T.A. Varvarigou, and S.R. Ahuja, (sin fecha), "Incentive-compatible pricing strategies in non-cooperative networks", Mimeo, Bell Laboratories.
- Marbach, P., (sin fecha), "Pricing priority classes in a differentiated services network", Mimeo, Universidad de Cambridge.
- Marcus, J. S. (1999) *Designing wide area networks and Internetworks – A practical guide*, Addison-Wesley, Reading (Mass.).
- McDysan, D. (2000), *QoS and Traffic Management in IP and ATM Networks*, McGraw-Hill.
- McKnight, L. W. and J.P. Bailey (eds.) (1997), *Internet economics*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Odlyzko, A. (1998), "The economics of the Internet: Utility, utilisation, pricing, and quality of service", mimeo, AT&T Labs – Research.
- Paschalidis, I.Ch., and J.N. Tsitsiklis, (2000), "Congestion dependent pricing of network services", *IEEE/ACM Transactions on Networking*: Vol 8, 2, páginas 171-184.
- Ross, (1995), *Multi service loss models for Broadband Telecommunication Networks*, Springer Berlin.
- Scanlan, M. and Neu, W. (2002, de próxima aparición), "Universal service policies and institutions in emerging economies", Diskussionsbeitrag Nr. 120, *Wissenschaftliches Institut fuer Kommunikationsdienste*.
- Semeria, C. (1996), "Understanding IP addressing: Everything you ever wanted to know", <http://www.3com.com/nsc/501302html>.
- Smith, C. and D. Collins (2002), *3G Wireless Networks*, McGraw-Hill Telecom Professional, Nueva York.
- Squire, Sanders & Dempsey LLP and WIK (2002), "Market definitions and regulatory obligations in communications markets", Un estudio para la Comisión Europea.
- Wang, Q., Peha, J.M. and M.A. Sirbu (1997), "Optimal pricing for integrated service networks", en: McKnight and Bailey (1997), páginas 353-376).

- Wang, Q., Peha, J.M. and M.A. Sirbu (1995), "The design of an optimal pricing scheme for ATM Integrated-Service networks", documento presentado en el Taller del MIT sobre los aspectos económicos de Internet (marzo).
- WIK (2002), *The economics of IP networks: market, technical and public policy issues relating to internet traffic exchange*. Un estudio para la Comisión Europea.
- WIK (2000), *Study on the re-examination of the scope of universal service in the telecommunications sector of the European Union, in the context of the 1999 Review*. Un estudio para la Comisión Europea.
- Yuen, C. and W. Tjioe, (sin fecha), "Modeling and verifying a price model for congestion control in computer networks using PROMELA/SPIN", Universidad de Toronto.

Glosario

AAL	Capa de adaptación de ATM (<i>ATM adaptation layer</i>)
ABR	Velocidad binaria disponible (<i>available bit rate</i>)
AS	Sistema autónomo (<i>autonomous system</i>)
ATM	Modo de transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>)
CATV	Sistema de televisión por antena colectiva (<i>cable TV</i>)
CBR	Velocidad binaria constante (<i>constant bit rate</i>)
CDN	Red de distribución de contenido (<i>content delivery network</i>)
CDV	Variación de retardo de célula (<i>cell delay variation</i>)
CER	Tasa de errores en las células (<i>cell error ratio</i>)
<i>Ceteris paribus</i>	En igualdad de circunstancias (<i>all other things being equal</i>)
CLR	Tasa de pérdida de células (<i>cell loss ratio</i>)
CMR	Tasa de inserción errónea de células (<i>cell misinsertion ratio</i>)
CoS	Clase de servicio (<i>class of service</i>)
CTD	Retardo de transferencia de células (<i>cell time delay</i>)
<i>DiffServ</i>	Servicios diferenciados (protocolos) (<i>differentiated services (protocols)</i>)
DNS	Sistema de nombres de dominio (<i>domain name system</i>)
DSCP	Punto de código de servicio diferenciado (<i>differentiated services code point</i>)
DSL	Línea de abonado digital (<i>digital subscriber line</i>)
DSLAM	Multiplexador de acceso a la línea digital de abonado (<i>digital subscriber line access multiplexer</i>)

DWDM	Multiplexión por división de onda densa (<i>dense wave division multiplexing</i>)
ECI	Indicador explícito de congestión (<i>explicit congestion indicator</i>)
ENUM	Numeración ampliada para el DNS de Internet (<i>extended numbering internet DNS</i>)
FRIACO	Originación a precio fijo de llamadas en Internet (<i>flat rate internet call origination</i>)
FTP	Protocolo de transferencia de ficheros (<i>file transfer protocol</i>)
GMPLS	Conmutación generalizada por etiquetas multiprotocolo (<i>generalised MPLS</i>)
GoS	Grado de servicio (<i>grade of service</i>)
GSM	Sistema mundial para comunicaciones móviles (<i>global system for mobile communications</i>)
IBP	Proveedor medular de Internet (<i>internet backbone provider</i>)
IETF	Grupo de Tareas Especiales de ingeniería en Internet (<i>internet engineering task force</i>)
<i>IntServ</i>	Servicios integrados (protocolos) (<i>integrated services (protocols)</i>)
IP	Protocolo Internet (<i>internet protocol</i>)
ISO	Organización Internacional de Normalización (<i>international organisation for standardisation</i>)
ISP	Proveedor de servicios de Internet (<i>internet service provider</i>)
LAIN	Red de área local basada en IP (<i>local area IP network</i>)
LAN	Red de área local (<i>local area network</i>)
LSP	Trayecto conmutado por etiquetas (<i>label switched path</i>)
MC	Costo marginal (<i>marginal cost</i>)
MinCR	Velocidad de células mínima (<i>minimum cell rate</i>)
MPLS	Conmutación por etiquetas multiprotocolo (<i>multi protocol label switching</i>)
MPOA	Multiprotocolo por ATM (<i>multi protocol over ATM</i>)
NAP	Punto de acceso a la red (<i>network access point</i>)
ND	No disponible
NGI	Internet de próxima generación (<i>next generation internet</i>)
nrt	en tiempo casi real (<i>near real-time</i>)
OAM	Operación, administración y mantenimiento (<i>operation, administration and maintenance</i>)

OC	Portadora óptica (<i>optical carrier</i>)
OSI	Interconexión de sistemas abiertos (<i>open systems interconnection</i>)
PCR	Velocidad de células de cresta (<i>peak cell rate</i>)
PIR	Tasa de invención de paquetes o células (<i>packet or cell invention ratio</i>)
PLR	Tasa de pérdida de paquetes o células (<i>packet or cell-loss ratio</i>)
PoP	Punto de presencia (<i>point of presence</i>)
PoS	Paquete por SONET (<i>packet over SONET</i>)
QoS	Calidad de servicio (<i>quality of service</i>)
RDSI	Red digital de servicios integrados
RFC	Petición de comentarios (<i>request for comments</i>)
RSVP	Protocolo de reserva de recursos (<i>reserve reservation protocol</i>)
rt	en tiempo real (<i>real time</i>)
RTCP	Protocolo de control en tiempo real (<i>real-time control protocol</i>)
RTP	Protocolo de transporte en tiempo real (<i>real-time transport protocol</i>)
RTPC	Red telefónica pública conmutada
SCR	Velocidad sustancial de células (<i>substantial cellrate</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SECBR	Tasa de bloques de células con muchos errores (<i>severely errored cell block ratio</i>)
SIP	Protocolo de iniciación de sesión (<i>session initiation protocol</i>)
SLA	Acuerdo de nivel de servicio (<i>service level agreement</i>)
SONET	Red óptica síncrona (<i>synchronous optical network</i>)
TCP	Protocolo de control de transmisión (<i>transfer control protocol</i>)
UBR	Velocidad binaria no especificada (<i>unspecified bit rate</i>)
UDP	Protocolo de datagrama de usuario (<i>user datagram protocol</i>)
UMTS	Sistema de telecomunicaciones móviles universales (<i>universal mobile telecommunications system</i>)
VBR	Velocidad binaria variable (<i>variable bit rate</i>)
VC	Circuito, canal o conexión virtual (<i>virtual circuit, channel or connection</i>)

VLSM	Enmascaramiento subred de longitud variable (<i>variable length subnet masking</i>)
VoIP	Protocolo de transmisión de la voz por Internet (<i>voice over IP</i>)
VP	Trayecto virtual (<i>virtual path</i>)
VPIP	Red IP privada virtual (<i>virtual private IP network</i>)
WAIN	Red IP de área extensa (<i>wide area IP network</i>)
WAN	Red de área extensa (<i>wide area network</i>)
WDM	Multiplexión por división de longitud de onda (<i>wave division multiplexing</i>)
WIK	Wissenschaftliches institut für kommunikationsdienste
WTP	Disposición al pago (<i>willingness to pay</i>)

Anexo I:

Calidad de servicio y limitaciones de la anchura de banda menos costosa⁷⁹

En los últimos años, varias personas han señalado que con la rápida reducción del costo de anchura de banda y el rápido aumento de la capacidad de tratamiento, el incremento de la anchura de banda en casos de congestión puede ser una manera de solucionar a menor costo los problemas de QoS⁸⁰. De hecho, se ha afirmado que esta opción invalida las propuestas de introducir mecanismos de tarificación (por ejemplo, opciones de clase de servicio) para controlar la congestión, y tal vez también el riesgo de invalidar las propuestas encaminadas a proporcionar ante todo medios técnicos para hacer una distinción entre paquetes de alta y baja prioridad, como las arquitecturas *IntServ* y *DiffServ* que hemos estudiado anteriormente. Debido principalmente a la caída de los costos de transmisión y tratamiento, y al rápido aumento de la capacidad de tratamiento, se estima que la congestión en Internet es un fenómeno transitorio y no es necesario por tanto modificar la estructura actual de los precios.

Los defensores de la solución de aumentar la anchura de banda para evitar la congestión facilitan información que muestra que la anchura de banda ha aumentado a un ritmo mucho mayor que el volumen de tráfico⁸¹, con lo cual se concluye que dentro de varios años poco importará que la prioridad del tratamiento de paquetes por Internet respete el orden de llegada, y que los mensajes de correo electrónico de baja prioridad tengan la misma QoS que los paquetes VoIP, puesto que la QoS de todos los paquetes será tan elevada que la retención de mensajes donde la calidad de servicio es muy vulnerable a la latencia e inestabilidad de la imagen no tendrá repercusiones materiales en la QoS reciba por los usuarios finales. En general, este argumento se basa en que debido a la rápida disminución de los costos de anchura de banda y tratamiento, el incremento de la anchura de banda será la solución más económicamente viable de resolver los problemas de QoS. En resumen, esta solución apunta a que todos los servicios reciban una QoS óptima.

Si bien el autor del Informe tiende a conceder que, en muchas ocasiones, el aparente sobredimensionamiento de sistemas podría ser una opción adecuada, no consideramos que, en general, incrementar la anchura de banda para solucionar problemas de congestión sea la manera más rentable de resolver los problemas de QoS que impiden el buen funcionamiento del servicio VoIP y de otras aplicaciones, cuyos requisitos en materia de calidad de servicio son estrictos. De hecho, incluso si se dejara de lado la cuestión de la oportunidad de este método en términos financieros tenemos dudas de que se pueda con él solucionar suficientemente el problema de congestión como para que todos los servicios de Internet puedan competir eficazmente con otras plataformas como, por ejemplo, la RTPC. Uno de los motivos de ello es que la demanda de anchura de banda puede aumentar enormemente debido a los siguientes factores:

- las velocidades de acceso para los usuarios finales (por ejemplo, xDSL) aumentarán a corto y medio plazo (y serán varias veces superiores a las velocidades efectivas xDSL que se registrarán en los próximos 10 a 20 años);

⁷⁹ El presente Anexo está extraído de WIK (2002)

⁸⁰ Véanse, por ejemplo, las publicaciones Ferguson y Huston (1998), Odlyzko (1998), y Anania y Solomon (1997), donde la afirmación es menos explícita.

⁸¹ Véase Odlyzko (1998).

- si el grado de calidad de servicio permite ofrecer un servicio VoIP de gran calidad, es muy probable que numerosos clientes (tal vez la mayoría de los abonados a la RTPC) opten por los servicios de voz a través de Internet, puesto que, en muchos casos, tendrán probablemente precios más ventajosos;
- cuando las velocidades de acceso de los clientes alcancen niveles que permitan el acceso al flujo continuo de vídeo de calidad HDT, habrá convergencia entre Internet, el sistema CATV y la radiodifusión, y es probable que la demanda de contenido (incluso la proveniente de distintas partes del mundo) aumente enormemente el volumen de tráfico de Internet; y
- el acceso móvil a Internet 3G y 4G también puede aumentar en gran medida la demanda de Internet, ya sea para servicios vocales, de navegación por la www, de correo electrónico, de transferencia de archivos o de videotransmisión.

En la sección 3 del presente documento hemos indicado que, sin un mecanismo de tarificación en función del costo marginal, no existe una manera totalmente precisa de incentivar a los ISP para que inviertan a tiempo en la modernización de sus capacidades. Ese mecanismo es ideal para vincular los incentivos a la inversión con la demanda. En el universo de Internet basado en una tarificación fija y donde los costos marginales de congestión están lejos de ser nulos, no se aplica por el momento ningún mecanismo de tarificación de este tipo.

Sin embargo, tal vez lo más importante no sea saber si es posible solucionar los problemas de QoS para los servicios en tiempo real a través del incremento de la anchura de banda, sino determinar si existe una solución más eficaz en términos de costos como la combinación de precios fijos y el sobredimensionamiento de Internet. Si existe esta opción, queda por saber si prevé un mecanismo de tarificación que tenga más posibilidades de responder a los objetivos fijados (que permitan armonizar mejor los costos marginales del aumento de capacidad con los ingresos marginales, cuando disminuye la QoS debido a la congestión).

En opinión del autor, es muy poco probable que un "servicio Internet para todos" a precio fijo sea la solución para introducir la próxima generación de servicios Internet, tras la "convergencia" es decir, cuando la relación calidad/precio de los servicios prestados por Internet (navegación por la www, videotransmisión, transferencia de archivos, correo electrónico y servicios vocales) sea tal que estos servicios puedan ser fácilmente sustituidos por los ofrecidos en otras plataformas existentes. En resumen, no consideramos que la reducción de los costos de capacidad permita a Internet evitar la "tragedia de las tierras comunales"⁸², es decir, que la oferta sea en la práctica superior a la demanda. Esto no corresponde a lo que hemos podido observar con respecto a ciertas políticas que condujeron a la distribución gratuita de bienes que no son exclusivamente de dominio público⁸³. La experiencia muestra en esos casos que suelen producirse problemas de congestión debido al exceso de utilización.

⁸² La "tragedia de las tierras comunales" es un problema de disfuncionamiento del mercado que examinaremos más adelante.

⁸³ Cuando los usuarios deben pagar cuotas de abono pero no costos de uso marginales, los resultados son notablemente mejores. No obstante, en ausencia de un aumento considerable de las inversiones en capacidad, siguen registrándose ciertos problemas de congestión.

El exceso de suministro exige la reconstrucción de redes que puedan funcionar en condiciones previstas de demanda máxima⁸⁴. Esto tiende a reducir los niveles de utilización media de la red y, por ende, aumentar el costo medio por bit. Como todos sabemos, el tráfico en Internet tiende a registrar numerosas "ráfagas" (demandas de gran anchura de banda en periodos cortos). En las redes ISP más importantes, las "ráfagas" de la demanda de los usuarios finales tienden a aflojar debido a que un gran número de ellas se dispersa en torno a un valor medio⁸⁵. Para evitar que la congestión afecte seriamente la calidad de los servicios durante los periodos de gran uso tal vez convendría aplicar a las redes troncales tasas medias de utilización de cresta de aproximadamente el 50%, y valores de utilización mucho menores si se promedian a lo largo de un periodo de 24 horas.

En los últimos 3 ó 4 años se han realizado avances en la elaboración de normas para redes IP que permiten resolver problemas relativos a la QoS, por ejemplo, el protocolo en tiempo real (RTP), el protocolo de reserva de recursos (RSVP), *DiffServ* e *IntServ*. En general, los servicios proporcionados por estos protocolos aún no están disponibles en Internet pero se pueden utilizar en los encaminadores de algunas redes empresariales o universitarias como TEN 155, e incluso en ciertas redes de ISP importantes, aunque entre este último tipo de redes todavía no se dispone de esos servicios.

⁸⁴ En la práctica, incluso en la RTPC se registran bloqueos durante los periodos de congestión. En Internet, los bloqueos se pueden evitar con algoritmos de control de admisión.

⁸⁵ Este efecto, denominado multiplexión estocástica, debe tratarse con mucho cuidado. Según algunos estudios realizados sobre el tráfico en Internet, la longitud de las páginas web y el tiempo correspondiente de tratamiento y transmisión no siguen una curva de distribución exponencial, sino una distribución caracterizada por una gran varianza, por ejemplo, una distribución de Weibull. Algunos autores han señalado que la distribución de Pareto está dando lugar a una varianza casi infinita y anula todo efecto de multiplexión estocástica. Con todo, estos estudios suelen basarse en el tráfico de datos de redes teóricas, que no son representativas del tráfico comercial por Internet.

Anexo II

Estudios de investigación sobre tarificación y clase de servicio

Cabe señalar que los documentos de investigación que se examinan en el presente Anexo no tienen actualmente una aplicación práctica manifiesta en Internet o en las redes IP. Los documentos son de naturaleza académica y examinan sobre todo problemas informáticos y de modelización en relación con la optimización del diseño de red.

En la práctica, los usuarios de redes IP no disponen actualmente de un sistema de tarificación de la clase de servicio (CoS) y habrá que resolver numerosos problemas antes de diseñar y aplicar un sistema factible.

Gupta, Stahl y Whinston (1995)

El estudio de investigación elaborado por Gupta *et al* se basa en un mercado al contado con colas de prioridad, donde los paquetes de sesión reciben distintas prioridades en función de la clase de prioridad que compran los consumidores. Se trata de un modelo basado en expectativas y valores estocásticos (es decir, valores que no se conocen con certeza). Existen clases K de servicio sin interrupción en las que los usuarios se sitúan en función de la fuerza de su demanda. El precio de $k=1$ (la clase de mayor prioridad) corresponde a la congestión menor y al precio más elevado. Este modelo permite descentralizar los precios y cobrar "por cada máquina conectada a Internet". Los precios de alquiler se ajustan para lograr el mejor equilibrio posible entre la transmisión de datos el tiempo de espera. Los costos de servicio para los usuarios dependen del volumen de tráfico previsto por la utilización de esos servicios⁸⁶, la clase de servicio elegida y el costo de las máquinas (que podemos considerar, en general, como el costo de inversión de los elementos de red utilizados según la demanda del usuario). Los precios por sesión son el resultado de los precios de prioridad K facturados para cada ordenador conectado a la red, basado en unidades previstas para el trabajo de tratamiento. Los precios de las clases se ajustan iterativamente a fin de modificar las esferas de tráfico teniendo en cuenta los datos aportados por la experiencia (por ejemplo, los retrasos). Para los usuarios, los costos dependen del precio y los retrasos.

Se asigna a los clientes una clase de servicio en función del precio de arrendamiento que pagan, el cual depende del costo de retraso y puede variar de un cliente a otro. Los que pagan costos más elevados pueden esperar recibir servicios en tiempo real prácticamente en todo momento. Uno de los atractivos del presente estudio reside en la utilización de *expectativas adaptables*. En este documento se valoran en gran medida ciertos conceptos de la teoría económica.

Marbach (sin fecha)

Marbach desarrolla dos modelos en su estudio de investigación. El primero es un juego no cooperativo, en el que los precios que pagan los usuarios difieren según la prioridad escogida. En ese modelo, todos los paquetes aceptados en la red reciben el mismo tratamiento, de tal forma que el grado de prioridad elegido regula las expectativas del emisor acerca de la probabilidad de que sus paquetes sean aceptados. Este modelo es curioso porque, normalmente, los juegos no cooperativos suelen utilizarse cuando los participantes son capaces de ejercer cierta influencia en los resultados, de modo que, si bien no es realista para la mayoría de los usuarios de Internet, es evidente la

⁸⁶ Es decir, el modelo se basa en los costos de tratamiento y no en los paquetes de datos.

importancia de este método de modelización en las redes más pequeñas. Este modelo también permite que el proveedor se beneficie de una parte más importante del exceso de consumidores gracias a una discriminación de los precios. Los consumidores escogen las prioridades que otorgan a sus paquetes y así controlan la QoS en la medida en que funcionan distintos modelos de CoS.

Los precios pagados por los usuarios se basan en el número de paquetes. Este modelo tiene más propiedades incentivas que el basado en la carga de trabajo (correspondiente al modelo de Gupta *et al*), según el cual la capacidad de tratamiento aumenta rápidamente y la carga de trabajo es, hasta cierto punto, una decisión endógena de cada diseñador de redes.

Cuando la capacidad disponible se asigna por orden de clases de prioridad, siempre hay una clase de prioridad para la cual no se pueden enviar todos los paquetes, es decir, para la cual la demanda es superior a la capacidad. De modo que ciertos paquetes de esta clase se perderán. Todos los paquetes marcados con un grado de prioridad superior al de esta clase se enviarán con éxito. Cuando no existe más que una QoS para enviar todos los paquetes, el modelo prevé un precio de congestión u^* similar al precio de equilibrio del mercado que figura en el modelo de subasta de M-V. A través de un enlace de control, se ofrece información destinada a ayudar a los usuarios a llevar a cabo su elección (un canal de señalización que contiene datos "inteligentes" de red).

El segundo modelo de Marbach amplía este primer modelo en un modelo de tarificación en caso de congestión. Esta tarificación se basa en el número de paquetes y se aplica cuando se dispone de varias clases de calidad de servicio y se tiene la certeza de que se van a distribuir los paquetes. En este caso, hay un valor de u^* distinto para cada CoS. Se facilita un precio por el que la red puede asimilar el tráfico registrado sin reducir la QoS, pero un precio más reducido puede dar lugar a una degradación de la QoS (pérdida de paquetes) debido al aumento de la demanda.

Yuen y Tjioe (sin fecha)

El estudio de investigación elaborado por Yuen y Tjioe incluye un informe sobre la utilización de simulaciones a partir de un modelo informático para examinar las propiedades del modelo de Marbach. Como sucede en el caso de M-V, el modelo parte del principio de que los usuarios modificarán su comportamiento en función de los precios que deben pagar. El modelo abarca distintas clases de servicio, entre ellas la analizada por Yuen y Tjioe ("clase de máxima prioridad") y la "clase sin garantías". La transmisión de todos los paquetes que pertenece a la clase de máxima prioridad está garantizada. El primer servicio prestado es un canal de señalización, a través del cual se informa a cada usuario sobre la probabilidad de transmisión basada en el número total de demandas de los usuarios. Si la demanda supera la capacidad, la probabilidad de transmisión es inferior a 1. La probabilidad de transmisión se fija hasta el siguiente ciclo y es menos exacta a medida que transcurre el tiempo. Yuen y Tjioe añaden a su modelo un proceso de administrador, que controla periódicamente la utilización de la red y ajusta los precios a fin de proporcionar una gestión dinámica de los recursos de red.

Korilis, Varvarigou y Ahuja (sin fecha)

Korilis *et al* se interesan por la gestión óptima de una red de un determinado tamaño utilizada por un número limitado de usuarios que tienen algunos conocimientos sobre el comportamiento de otros usuarios. El instrumento utilizado para este fin es la tarificación, por la cual los usuarios pagan en términos de unidad de flujo, cuyo precio varía en función de los enlaces a fin de gestionar la congestión en la red. El modelo es pues un juego no cooperativo en el que cada usuario adapta su estrategia en función de las decisiones de encaminamiento de otros usuarios. La "optimización" se obtiene inicialmente de enlace a enlace y los consumidores (usuarios) hacen lo que pueden teniendo en cuenta sus demandas, los recursos de red disponibles y los precios.

Los autores amplían el modelo para permitir una determinación endógena de los precios de cada enlace en función del caudal de datos. Utilizan un mercado WWW en tiempo real en el que los usuarios tratan de adquirir capacidad de recursos necesarios. La información que se proporciona al usuario es la capacidad residual y el precio de cada recurso. En este caso, el objetivo es utilizar la tarificación para reducir al mínimo la congestión media del sistema.

No se estudia el comportamiento del proveedor de red en lo que se refiere al dimensionamiento de la red, es decir, la evolución de la oferta. Este modelo podría proporcionar los medios para que un proveedor en situación de monopolio aproveche al máximo sus beneficios, o se podría utilizar para potenciar al máximo el bienestar social. El proceso de adaptación del modelo en el que interviene un solo proveedor para convertirlo en modelo con un número limitado de proveedores en régimen de competencia (es decir, cada uno suministra el tráfico solicitado) puede proporcionar ideas útiles para gestionar una red de redes.

Paschalidis y Tsitsiklis (2000)

El modelo de Paschalidis y Tsitsiklis (P&T) se basa en un proveedor de servicios que fija la capacidad (es decir, la tarificación no tiene en cuenta la necesidad de aumentar la capacidad de una red en rápida expansión). Si bien los autores estudian principalmente la tarificación como modo de potenciar al máximo los ingresos, también proporcionan un breve análisis sobre la manera de aumentar al máximo el bienestar social cuando la facturación de los proveedores de servicios se efectúa en función del volumen y el tiempo.

Los autores de este modelo comparan lo que denominan la tarificación dinámica casi óptima con tarificación estática. La tarificación dinámica corresponde a un ajuste constante de los precios para reflejar el estado del sistema (es decir, la carga que soporta la red). El sistema de tarificación dinámica óptima debe basarse en el estado de la red y los precios se determinan en tiempo real en cada uno de los nodos. Aunque los autores incluyen varias clases de servicio, a este respecto el modelo es bastante restrictivo en el sentido de que se presume que las clases tienen características idénticas. Según este sistema, el objetivo es que la red distinga a los consumidores en función de sus distintos grados de demanda y les cobre distintos precios. Este mecanismo se denomina discriminación tarifaria y, si bien puede mejorar el bienestar colectivo, no sucede lo mismo con el modelo propuesto por P&T.

El cálculo para la optimización dinámica de los precios se vuelve incontrolable a medida que aumentan el número de clases y la capacidad. Por lo tanto, una tarificación plenamente dinámica carece de sentido práctico y P&T examinan si los precios estáticos (es decir, los que se aplican durante un periodo de tiempo significativo y no reflejan exactamente el estado de la red) constituyen una alternativa satisfactoria, y en qué condiciones. La política de tarificación en examen es constante durante el transcurso de la sesión, pero varía periódicamente entre dos sesiones.

Si bien el estudio de P&T nos muestra que la modelización estática de los precios puede ser satisfactoria, es probable que sean necesarios otros estudios que utilicen concepciones de modelo ligeramente distintas e hipótesis menos rígidas (tales como clases de servicio no idénticas), a fin de permitir a los consumidores cambiar de clase, y prestando más atención a las implicaciones en materia de bienestar. Aunque nos interesa la aplicabilidad de este trabajo para comprender de qué manera funciona la tarificación en Internet, también es necesario disponer de estudios de econometría a fin de obtener datos acerca de la demanda de servicios de Internet.

Wang, Peha y Sirbu (1995)

En el estudio elaborado por Wang *et al* se aborda la tarificación en una red ATM con dos clases de servicio, un servicio garantizado relativo a determinadas QoS especificadas previamente (niveles de calidad que no son absolutos, sino estocásticos) y una clase de servicio sin garantías.

Las redes ATM aplican una *política de gestión del tráfico* a fin de controlar la admisión de células en la red con arreglo a una serie de parámetros determinados previamente, resultado de un acuerdo contractual con cada cliente. Las redes ATM no reconocen los marcadores del campo ToS de los encabezamientos de paquetes IP. Por lo tanto, antes de aplicar la política mencionada, las redes reconfiguran el tráfico enviado para que corresponda al perfil de su cliente. Además, si el IP opera en uno de los extremos de la red ATM, los paquetes IP deberían ser separados antes de llegar a la red ATM y canalizados en un VC de ATM, según la clase de servicio que ha de proporcionarse.

En general, no se asegura este nivel de interfuncionamiento entre ATM e IP (capas 2 y 3 de la ISO⁸⁷) ni los usuarios finales pueden controlar dicho proceso. Por lo tanto, como ocurre con otros estudios de investigación, el estudio de Wang *et al* no tiene por objeto ofrecer una solución práctica a los problemas existentes de Internet, sino que constituye una investigación teórica que se añadirá al conjunto de conocimientos sobre tarificación y gestión de la red, y podrá servir para diseñar soluciones prácticas al problema de la tarificación y la calidad de servicio en el futuro.

En un servicio sin garantías, los clientes reciben una factura basada en el número de células. Teniendo en cuenta la información sobre la demanda, la capacidad de red y el tamaño de la memoria intermedia, se determina un precio límite, y se eliminan las células cuyo precio es superior al que están dispuestos a pagar los clientes. La manera en que se determina este precio es un aspecto fundamental del estudio de Wang *et al*, junto con la determinación de los precios para las clases de servicio con garantía.

Este estudio aborda la tarificación como forma de lograr una maximización de los beneficios y no del bienestar social. Se ocupa de describir un procedimiento en tres fases para obtener una aproximación de la maximización ideal, que es matemáticamente inextricable. Estas fases son las siguientes: la decisión de invertir, la tarificación óptima para los servicios garantizados y la tarificación puntual para los servicios sin garantías. Este procedimiento se repite hasta que se obtiene una situación estable.

⁸⁷ Véase la Figura 2-1.

Anexo III

Propiedades de calidad de servicio de las redes ATM

En las redes ATM, las células de llegada ocupan un hueco lógico que "pierde" en función de los parámetros específicos del tráfico, los cuales constituyen la base de los contratos QoS. Entre estos parámetros figuran los siguientes: tasa de pérdida de células (CLR), retardo de transferencia de células (CTD), variación de retardo de células (CDV), velocidad de células de cresta (PCR), velocidad sustancial de células (SCR), velocidad de células mínima (MinCR), e indicador explícito de congestión (ECI).

Recientemente, los operadores han empezado a aplicar una forma de arquitectura WAN IP conmutada con arreglo a la conmutación por etiquetas multiprotocolo (MPLS). La adopción de esta tecnología introducirá algunos cambios en los SLA que los ISP tienen con su proveedor de tránsito. La MPLS se examina en la sección 3.5.

Cuadro 0-1 – Idoneidad de categorías de servicio del Foro ATM para las aplicaciones

Aplicaciones	CBR	VBR-rt	VBR-nrt	ABR	UBR
Datos esenciales	Bueno	Regular	Óptimo	Regular	No
Interconexión LAN	Regular	Regular	Bueno	Óptimo	Bueno
Transporte de datos WAN	Regular	Regular	Bueno	Óptimo	Bueno
Emulación de circuitos	Óptimo	Bueno	No	No	No
Telefonía	Óptimo	Bueno	No	No	No
Videoconferencia	Óptimo	Bueno	Regular	Regular	Deficiente
Audio comprimido	Regular	Mejor	Bueno	Bueno	Deficiente
Distribución de vídeo	Óptimo	Bueno	Regular	No	No
Multimedios interactivos	Óptimo	Óptimo	Bueno	Bueno	Deficiente

Fuente: McDyson (2000)

CBR: velocidad binaria constante,

VBR-rt: velocidad binaria variable, en tiempo real,

VBR-nrt: velocidad binaria variable, en tiempo no real,

ABR: velocidad binaria disponible, y

UBR: velocidad binaria no especificada.

En el Cuadro 0-1 se muestra la idoneidad de las categorías de servicio ATM para las aplicaciones. Para los servicios que requieren características de calidad de servicio más elevadas (voz en tiempo real, datos y vídeo interactivos), las redes ATM pueden configurarse a fin de proporcionar una anchura de banda constante y una latencia e inestabilidad de la imagen reducidas, para que aparezca como un circuito especializado.

Cabe señalar que en el caso del tráfico de tránsito en Internet, se aplican las garantías de calidad de servicio, pero únicamente con respecto a un servicio normalizado. Fuera de las redes privadas (es decir, en la Internet pública), las garantías QoS son las mismas que están asociadas a la capa AAL5 y a UBR, y no las que permitirían ofrecer una calidad de servicio fiable en tiempo real. Las redes ATM pueden prestar otras clases de servicio (capa AA1 y CBR o la VBR-rt), no mencionadas al parecer, por las redes ISP.

Cuando las redes emisoras o receptoras utilizan paquetes de arquitecturas *IntServ* o *DiffServ* un sistema CoS puede funcionar fuera de la red aunque, en la práctica, sucede en raras ocasiones o nunca.
