Comunicaciones y servicios en Internet de banda ancha

Jordi Domingo i Pascual
Universitat Politècnica de Catalunya.
Departament d'Arquitectura de Computadors.
Grup de Comunicacions Integrades de Banda Ampla.
Campus Nord. Mòdul D6. Jordi Girona 1-3. 08034 Barcelona.
Jordi.Domingo@ac.upc.es

RESUMEN

El papel de Internet como la red de redes de comunicación en la denominada Sociedad de la Información depende en gran medida de las tecnologías que dan o darán soporte a los servicios de red, de los nuevos servicios de red, y de la capilaridad con que se desarrolle e impulse el acceso de todos los ciudadanos a la red.
Este artículo se centra en los aspectos tecnológicos de las comunicaciones y de los servicios de la red. En primer lugar se presenta una descripción de lo que podríamos considerar como la primera etapa de Internet, tanto desde el punto de vista de la comunicaciones (red troncal y redes de acceso) como de los servicios de red típicos. Se destaca la importancia del protocolo IP y su papel en la interconexión de redes heterogéneas.
La segunda etapa de Internet viene marcada por la popularización a raíz de la introducción del WWW ("World Wide Web"). Se describen los cambios más significativos que se han producido y los que se están produciendo en la infraestructura de la red (redes de banda ancha, nuevas redes de acceso) y en los servicios de red (nuevos protocolos).
Finalmente se presentan las líneas de evolución en un futuro inmediato: servicio multipunto para soportar aplicaciones distribuidas a gran escala y movilidad en el acceso de usuario.

Introducción

Internet se ha convertido hoy por hoy en el eje alrededor del cual se estructura la denominada Sociedad de la Información. Sin embargo, no se debe olvidar que existen otras tecnologías que están en pugna para adjudicarse también este papel predominante, o bien para compartirlo con Internet.
Desde que se empezó a hablar de las Autopistas de la Información dos infraestructuras de comunicaciones se mostraron candidatas naturales: la red de televisión por cable (con una cobertura muy extendida en los EEUU) con el equipo de televisión como terminal, y la red de computadores Internet con un terminal tipo PC o compatible.
Dos factores decidieron a favor de Internet en esta primera etapa: las redes de distribución de TV son unidireccionales y los protocolos de Internet tenían en aquel momento una experiencia de más de 20 años.
El hecho de que la red de distribución por cable sea sólo capaz de transmitir señales en un sentido (hacia el usuario) limita la interactividad que requiere cualquier aplicación donde el usuario no sea un receptor pasivo de información. Además, al añadir el denominado canal de retorno para la información de control desde el usuario a la cabecera de distribución aparecen problemas de gestión y control de las comunicaciones.
Es precisamente en el control de las comunicaciones donde los protocolos de Internet están perfectamente avalados por años de experiencia y mejoras sucesivas. Además el computador es de forma natural un terminal interactivo (la información fluye en ambos sentidos), capaz de procesar la información recibida y de generar información para ser transmitida. Otra característica propia de Internet aporta la diferencia decisiva: la red no tiene una gestión ni un control centralizado (se trata en realidad de una interconexión de redes con el buen entendimiento de los administradores de cada una de las subredes) con unos protocolos de comunicación que permiten interconectar redes heterogéneas de forma sencilla y transparente. En definitiva, la forma natural de funcionamiento de los protocolos TCP/IP permiten conectar redes más allá de las fronteras políticas y administrativas.
El artículo está estructurado identificando diversas etapas del desarrollo de Internet y analizando brevemente las características técnicas más destacadas en cada etapa así como los protocolos y servicios de comunicación más relevantes.
La primera sección presenta un visión general de Internet antes de su popularización. Las secciones siguientes siguen de algún modo las tres olas de crecimiento de Internet [1]: la expansión a raíz de aparición del WWW ("World Wide Web"), la aparición de aplicaciones basadas en voz i vídeo en Internet, y la popularización de aplicaciones interactivas distribuidas entre grupos dispersos de usuarios. En este punto destaca el proyecto Internet 2, la Internet de banda ancha, puesto en marcha por un grupo de universidades y empresas de los EEUU [2]. Para finalizar, la última sección presenta las tendencias de futuro: la red de banda ancha y la movilidad en el acceso de usuario.

1. Estructura y servicios de comunicación básicos de Internet. Primera etapa de desarrollo.

Siguiendo la concepción original la estructura de Internet corresponde a la que resulta de la interconexión de redes heterogéneas (redes locales, "Ethernet" o "Token Ring", redes de conmutación de paquetes X.25, líneas punto a punto, redes de conmutación de circuitos). El elemento clave es el nodo de la red, es decir, el denominado encaminador o "router", el cual es capaz de procesar los paquetes de información. Simplificando podemos decir que la red troncal está formada por los nodos ("routers") que interconectan redes distintas (con distintas tecnologías y sistemas de transmisión).

La red de acceso de usuario presenta características distintas dependiendo del entorno: usuarios en una red corporativa y usuarios particulares con acceso en casa.

En el caso de una red corporativa el acceso a la red troncal suele ser una línea dedicada con una capacidad de relativamente alta (típicamente desde 9'6 Kbits/s, pasando por 128 Kbits/s y hasta 2 Mbits/s) mientras que el terminal de usuario está conectado a una red local (LAN) con una velocidad de acceso superior (típicamente, 10 ó 16 Mbits/s).

El acceso disponible para un usuario particular es el acceso a través de la red telefónica conmutada convencional (RTC) vía módem con velocidades de transmisión de 9600 bits/s a 14400 bits/s. Hay que tener en cuenta que las capacidades que se consideran en este apartado corresponden a la primera fase de desarrollo de Internet antes de la aparición del WWW y la popularización de Internet.

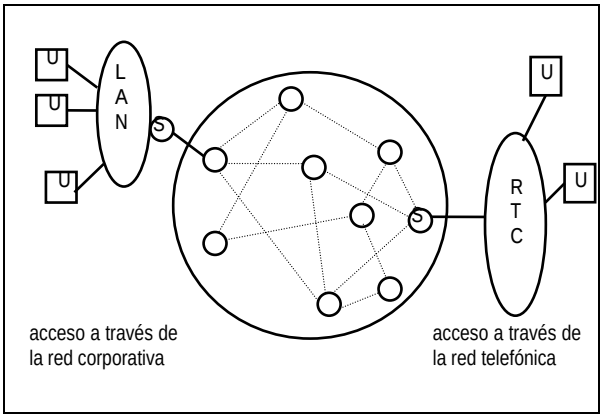

Figura 1.

La figura 1 muestra un esquema simplificado de las distintas redes de acceso del usuario. Los círculos representan los nodos de Internet que interconectan distintas redes ("routers").

En cuanto a los servicios de comunicaciones se pueden distinguir dos conjuntos: aquellos propios de la red (son transparentes al usuario) y aquellos servicios básicos que el usuario ve como aplicaciones. Entre los primeros tenemos el protocolo IP ("Internet Protocol") [3] con todos sus protocolos asociados ARP, ICMP, GGP, EGP, etc. Esta enumeración no es exhaustiva. Es de especial importancia el protocolo ARP que se encarga de resolver las relaciones entre las direcciones IP (direcciones Internet, por ejemplo, 147.83.32.49) y las direcciones físicas del terminal de usuario (por ejemplo A7.38.4A.6F.50.0B, si se trata de la dirección Ethernet del computador o estación de trabajo).

Es esta primera fase el acceso a través de módem se realiza mediante un emulador de terminal remoto de una máquina conectada a Internet.

Los servicios típicos para el usuario son: el correo electrónico (basado en el protocolo smtp, 1971), la transferencia de ficheros (ftp), servicio de noticias (news), y de terminal remoto (telnet). Con el tiempo aparecen servicios específicos para facilitar la localización de documentos y de información (gopher 1991, archie). Todos estos servicios están soportados sobre el protocolo de transporte TCP [4], el cual, a su vez, se apoya en el protocolo IP. De ahí que desde el punto de vista de protocolos de comunicación se denomine TCP/IP.

El protocolo IP está presente en todos los nodos de la red y se encarga de encontrar un camino entre los terminales que dan servicio a los usuarios (nodos S en la figura). El protocolo TCP es un protocolo entre los terminales que dan servicio a los usuarios (es un protocolo extremo a extremo).

2. El WWW en Internet. Segunda etapa de desarrollo de Internet.

La aparición de Mosaic (ideado en el CERN en Suiza el año 1992) marca un cambio radical en el papel de Internet en la sociedad. Es el concepto cliente-servidor llevado a Internet donde el usuario es el cliente (navegador o "browser") y los nodos que contienen información son los servidores del WWW. La idea de agrupar todos los servicios básicos de comunicación bajo un único interfaz gráfico de fácil manejo es la clave del éxito. Desde el punto de vista del usuario el WWW es como Windows respecto al MS DOS.

La aceptación de esta nueva herramienta es incondicional; en poco tiempo aparecen las versiones comerciales como Netscape y Explorer.

Las repercusiones de este éxito no se hacen esperar: el número de usuarios crece a un ritmo desbordante, el número de servidores de información también, el volumen de tráfico por la red sobrepasa frecuentemente la capacidad de los enlaces y de los nodos ("routers"), florecen rápidamente nuevos servicios en la red, etc. Internet deja de ser una herramienta usada durante muchos años solamente por la comunidad científica (universidades y centros de investigación) y llega al gran público como una nueva herramienta de comunicación (ya sea para obtener información o como entretenimiento) y al entorno empresarial como

herramienta para la obtención y difusión de información (incluyendo la publicidad).
El número de servidores de información conectados a Internet (servidores de WWW) crece de forma espectacular a partir de 1993. Es significativo que el mayor número de servidores se concentra en el dominio comercial; por ejemplo, en EEUU los servidores en el dominio comercial *.com* representaba un 1'5% del total de servidores en Junio de 1993, mientras que en Enero de 1996 representa un 50'2%. Otro dato significativo es que en 1993 había un servidor de WWW por cada 13.000 ordenadores conectados a Internet; a principios de 1996 esta relación es de 1 a 100. Incluso son muchos los particulares o pequeñas organizaciones que ponen en marcha su propio servidor de WWW.
Esta rápida evolución genera una serie de problemas más o menos graves y acarrea muchos cambios importantes tanto en la estructura de la red como en los servicios de comunicaciones y en las aplicaciones que se desarrollan, basadas en el WWW. A continuación se detallan de forma breve los cambios más significativos y sus repercusiones más importantes.

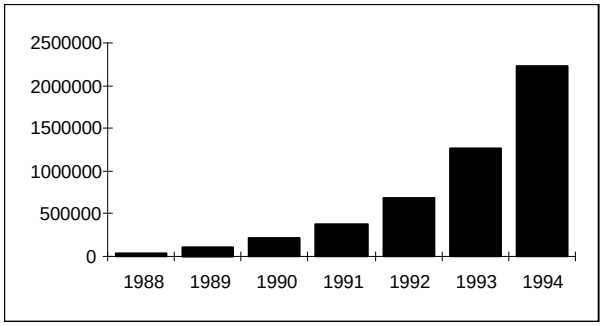

Figura 2. Crecimiento de Internet:
Número de máquinas ("hosts") conectadas

El rápido crecimiento del número de usuarios plantea los siguientes problemas: la capacidad del acceso de usuario es insuficiente, las redes de acceso no tienen capacidad suficiente y se han de poner al día, el espacio de direcciones de Internet se agota (prácticamente todas las direcciones IP están asignadas) y la red troncal sufre problemas importantes de congestión debido al incremento de tráfico.
Para el acceso de usuario particular, la aparición de módems de alta velocidad (hasta 33800 bits/s a un precio razonable) alivia un poco la transferencia de ficheros y el acceso al servidor de correo electrónico. Pero es el acceso RDSI (Red Digital de Servicios Integrados) la solución más adecuada mientras no se disponga de las infraestructuras de acceso a alta velocidad. El acceso RDSI proporciona dos canales de 64 Kbits/s, que pueden llegar a utilizarse conjuntamente dando una capacidad de acceso de 128 Kbits/s. La tendencia que se sigue es que cada terminal de usuario tenga una dirección IP y ello provoca una gran demanda de asignación de direcciones. El protocolo PPP [5], además del control de la comunicación para el acceso a través de la red telefónica proporciona una gestión de direcciones IP de manera que éstas se asignan al iniciar la comunicación y luego se liberan y se pueden volver a utilizar.

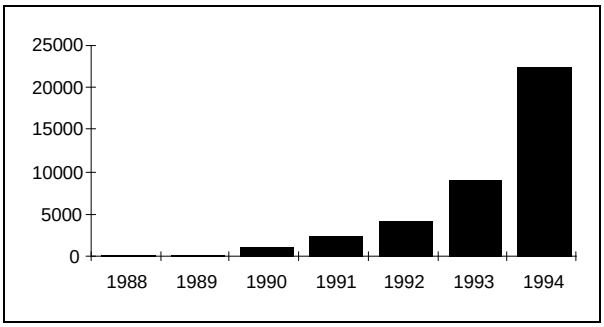

Figura 3. Crecimiento de Internet:
Número de redes conectadas

Para el usuario en una red corporativa los problemas de falta de capacidad y de congestión se hallan en la red troncal. Los problemas de capacidad en la red local se pueden solucionar con redes de alta velocidad (tipo Fast Ethernet), o con redes locales conmutadas.
El crecimiento del número de usuarios que demanda conexión a Internet conlleva a la aparición de multitud de proveedores de servicios Internet ("Internet Services Provider", ISP). Asociada a esta expansión surgen las denominadas redes ciudadanas y las "free nets" con el objetivo de proporcionar acceso a Internet a todo el mundo, ya sea de forma gratuita o con cuotas muy inferiores a las de los proveedores comerciales de servicios de acceso a Internet.

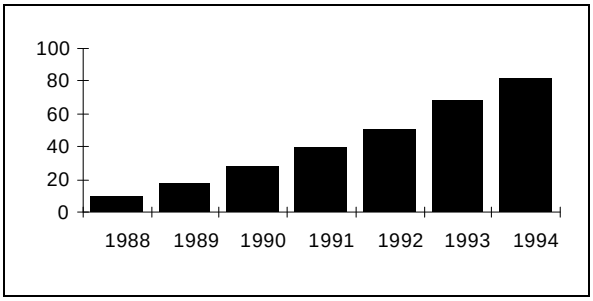

Figura 4. Crecimiento de Internet:
Número de paises conectados

Durante esta fase de crecimiento acelerado los problemas de congestión de la red troncal se agravan día a día. Tiene lugar una auténtica carrera entre el aumento de la capacidad de la red y el aumento del tráfico que circula a través de ella. Para aumentar la capacidad de la red no es suficiente aumentar la capacidad de los enlaces; los nodos de la red tienen una capacidad para procesar un determinado número de paquetes por segundo. Por lo tanto es necesario disponer de nodos más rápidos o de poner más nodos, con la complejidad adicional que ello supone.

Por otra parte, una cantidad nada despreciable del tráfico a través de la red troncal es tráfico de tránsito entre dominios distintos debido a la organización jerárquica de las direcciones de Internet. Por ejemplo, un mensaje entre dos usuarios de Barcelona que pertenecen a dos proveedores de servicios de acceso a Internet distintos (con dominios distintos) puede pasar por Madrid, Londres, New York, San Francisco, Boston, Amsterdam, Madrid y Barcelona. Este tipo de situaciones es claramente no deseable y se ha de procurar evitar, aunque no es sencillo. Acuerdos entre empresas de transporte de tráfico de Internet y entre proveedores de acceso facilitan la puesta en marcha de los denominados "puntos neutros" evitando de esta forma gran parte de este tráfico de tránsito.

De todas formas, gran parte de los problemas que experimenta el usuario final (retardos a la hora de recibir la información solicitada, tiempo para copiar un fichero, etc.) muchas de las veces no se deben ni a la saturación de la red troncal ni a la velocidad de acceso (en el caso de acceso vía módem), sino que son provocados por la capacidad de proceso de los servidores; tanto de los servidores de comunicaciones del proveedor de servicio como de los servidores de información. Servidores muy solicitados han de soportar miles de peticiones de información por segundo. La puesta en funcionamiento de servidores "mirror", que contienen una copia actualizada de la información del servidor original, y de "proxy servers", que almacenan una copia de las informaciones más solicitadas, contribuye a aliviar el problema de la insuficiencia de capacidad de los enlaces, nodos y servidores. De todas formas, nuevas aplicaciones, como las charlas interactivas entre grupos de usuarios ("chat") introducen un volumen de tráfico adicional muy significativo sobrecargando los nodos con la gestión y duplicación de paquetes de tamaño reducido.

3. La voz y el vídeo en Internet

Siguiendo la evolución en las aplicaciones basadas en el WWW aparecen, sin solución de continuidad, aplicaciones con distribución de sonido (voz, música) y de vídeo (secuencias de imágenes de vídeo a baja velocidad). Si bien es difícil determinar cuando empieza esta etapa podemos considerar que su difusión y popularización empieza en 1995, al menos en Europa, y continua en 1997.

Por una parte se desarrollan aplicaciones basadas en servidores de WWW de voz o de vídeo, como por ejemplo RealAudio [6], con transmisión en diferido y en directo (con algunos segundos de retardo). Desde el punto de vista de las comunicaciones se trata de conexiones punto a punto entre el servidor y cada cliente.

Aunque sea un entorno experimental las aplicaciones denominadas "multicast" representan una aportación realmente interesante y un reto desde el punto de vista de los servicios de comunicaciones de la red. Las direcciones IP multicast no corresponden a una máquina (servidor o cliente), como las direcciones IP clásicas, sino que se asocian a una sesión o conferencia. De esta forma, todos los participantes en una sesión transmiten y reciben la información utilizando la misma dirección multicast. El conjunto de nodos de la red que son capaces de procesar este tipo de direcciones y de ejecutar los protocolos asociados para el control de las sesiones se denominan "multicast routers" y constituyen como una red superpuesta a Internet denominada Mbone ("multicast backbone") [7].

Son muy conocidas y utilizadas en todo el mundo las aplicaciones Mbone: vic, vat, sdr, wb, y variaciones de las mismas. También existe una versión multicast de Mosaic (Mmosaic).

Tipo de información	Sensibilidad pérdidas	Sensibilidad retardo	Ejemplo
vídeo interactivo en tiempo real	alta	alta	videoconferen-cia (CU-SeeMe)
vídeo grabado	alta	baja	VoD Vídeo WWW
imagen fija	alta	baja	imagen (foto) en WWW
fax	baja	baja	copia remota
voz interactiva	baja	alta	teléfono
voz grabada	baja	baja	voz en WWW
datos a alta velocidad e interactivos	alta	alta	control
datos a baja velocidad e interactivos	alta	media	terminal remoto (telnet)
datos no interactivos	alta	baja	correo electrónico

Tabla 1. Requisitos de calidad de servicio para información multimedia

En la Tabla 1 se muestran las características principales de distintos flujos de información multimedia. El problema principal radica en que Internet está pensada para la transmisión de datos y no proporciona ninguna calidad de servicio ni ninguna garantía acerca de la transmisión (son los terminales de usuario los que se encargan de detectar los errores y las pérdidas de paquetes de información y de recuperarlos). Además, para flujos continuos (voz y vídeo en tiempo real) el retardo introducido por la red puede afectar negativamente la calidad de la información recibida.

Analizando con más detalle los requisitos que se imponen a la red se pueden distinguir dos aspectos: el soporte de flujos continuos (voz y vídeo), y el soporte de interactividad (respuesta en tiempo real). Cuando se trata de aplicaciones interactivas con voz y vídeo los requisitos a satisfacer en conjunto son un todo un reto.

Los servicios de comunicación que dan soporte a los flujos continuos (audio y vídeo) se basan en los

protocolos RTP y RTCP (“Real Time Protocol” y “Real Time Control Protocol”). Este protocolo permite poner una marca a cada paquete de información con el instante de tiempo en que se debe reproducir en el receptor. Esto permite la sincronización de distintos flujos en el receptor.

En la siguiente tabla se muestran las características de aplicaciones de datos interactivas. La segunda columna indica el tiempo máximo de respuesta para que el usuario perciba la aplicación como realmente interactiva [8].

Aplicaciones	retardo máximo	longitud media	capaciad mínima
Web (típico)	100 ms.	3 Kbytes	240 Kbits/s
Web (objetos grandes)	100 ms.	20 Kbytes	1’6 Mits/s
Transferencia ficheros	1 min.	10 Mbytes	1’3 Mbits/s
Juegos	50 ms.	500 bytes	80 Kbits/s
Chat	1 s.	100 bytes	0’8 Kbits/s

Tabla 2. Ejemplos de las características de las aplicaciones de datos interactivas

La capacidad mínima que se presenta en la tercera columna de la tabla implica no sólo una capacidad de acceso de usuario superior a la velocidad de transmisión indicada sino también una capacidad de proceso de los nodos de la red (“routers”) suficiente para despachar los paquetes por segundo correspondientes.

En esta etapa de desarrollo de Internet su comportamiento, desde el punto de vista del usuario, es muy desigual, quedando a la merced del tráfico global y del nivel de saturación de los enlaces y nodos de la red. Ya en Diciembre de 1995, Bob Metclafe predijo un colapso de Internet. Algunos lo interpretaron como la profecía de la muerte de la red. Según sus propias palabras esta predicción no significa la muerte de Internet sino que pretende describir el comportamiento que iba a experimentar en un futuro próximo: catástrofe, recuperación, nuevo colapso, recuperación, y así sucesivamente ... hasta que se solucionen todos los problemas mencionados. De hecho, algo de esto ha sucedido. En Agosto de 1996 Netcom sufrió un colapso: 400.000 usuarios no pudieron acceder a Internet durante 13 horas. También en Agosto del mismo año, America Online (AOL) tuvo a 6’2 millones de usuarios sin acceso durante 19 horas [9].

La puesta al día de la red troncal es compleja ya que cada red ha de evolucionar por su cuenta. Tener un buen acceso implica tener una conexión a una red troncal de alta capacidad. Como ya se ha comentado anteriormente, no basta disponer de enlaces de más capacidad, es necesario que los nodos de encaminamiento sean capaces de enrutar todos los paquetes (“routers” de alta velocidad).

Desde el punto de vista tecnológico las redes troncales están aumentando su capacidad a centenares de Mbits/s. Las soluciones más comunes son: IP sobre SONET o SDH (“Synchronous Digital Hierarchy”), e IP sobre ATM (“Asynchronous Transfer Mode”). Por ejemplo, en Abril de 1997 se ha puesto en marcha la red académica europea TEN34, a la que están conectadas todas las redes académicas de Europa occidental, con tecnología ATM y con una capacidad de 34 Mbits/s con posibilidad de pasar a 150 Mbits/s en breve plazo.

Para redes troncales que requieren menos capacidad, o bien para el acceso a las redes troncales, la tecnología Frame Relay proporciona una buena alternativa hasta 2 Mbits/s. Por ejemplo, la red académica española (RedIRIS) dispone de una red troncal de alta velocidad con enlaces ATM y Frame Relay con las distintas comunidades autónomas, dependiendo de la capacidad necesaria. Está prevista la migración completa a ATM y el aumento de la velocidad de los circuitos a 34 Mbits/s y a 150 Mbits/s cuando el volumen de tráfico en la red lo requiera.

En esta tercera etapa de evolución de Internet, las redes de acceso de usuarios siguen basándose en la red telefónica y en la RDSI (para los usuarios particulares). Ello ha provocado un aumento notable de demanda de nuevas líneas de teléfono, altas de una segunda línea de teléfono, y demanda de líneas RDSI.

En el caso particular de Telefónica de España, el servicio de conexión InfoVía supone un paso importante que facilita la construcción de la red de acceso. Lo más importante de este servicio no es la tarificación como llamada local (esto es lo que ve y lo que le importa al usuario particular) sino la desviación de las llamadas al 055 hacia una red de datos en conmutación de paquetes. De esta forma, los proveedores de servicios y de servicios de conexión a Internet disponen de un único enlace (típicamente Frame Relay) de alta capacidad por donde circulan multiplexadas todas las conexiones de los usuarios, en lugar de disponer de una línea de teléfono por usuario conectado. Ello permite utilizar mucho mejor los recursos y sacar provecho de las características estadísticas del tráfico de datos. Evidentemente, si este acceso de alta capacidad no está dimensionado de acuerdo con el número de usuarios a los que se desea dar servicio aparece el problema de la congestión.

Hoy por hoy este es el mayor escollo a superar para pasar a la siguiente etapa de desarrollo [9]: la capacidad del acceso de usuario ha de ser mucho mayor que la que aporta RDSI (incluso con los dos canales multiplexados: 128 Kbits/s) si se desea disfrutar de aplicaciones multimedia con vídeo en tiempo real (ver la tabla 2).

4. Internet de Banda Ancha: Aplicaciones multimedia interactivas en Internet

La siguiente etapa del desarrollo de Internet es la Banda Ancha. Con esta denominación se incluye no

sólo el concepto de red de alta velocidad (autopistas de la información) sino también los servicios de comunicación básicos para soportar aplicaciones multimedia distribuidas de forma masiva y con un alto grado de interactividad. Es decir, la red que soluciona todos los problemas que se han planteado en las secciones anteriores.

Como ya se ha mencionado anteriormente se puede diferenciar la red troncal (la cual interconecta a su vez subredes troncales), la red de acceso (por ejemplo la red propia de un ISP), y el acceso de usuario (la conexión propia del usuario o lo que es el bucle de abonado en telefonía). Siguiendo el hilo de la exposición de los apartados anteriores, esta sección pretende presentar un resumen con las tendencias de evolución actuales, tanto en los tres ámbitos de la infraestructura mencionados, como en los servicios de comunicaciones asociados a la red de banda ancha.

Conceptualmente las propiedades de la red de banda ancha se resumen en: transparencia (el usuario final es ajeno a los protocolos que se emplean, tecnologías, etc.), independencia del medio utilizado (cable de pares, coaxial, fibra óptica), acceso universal (interfaz de usuario único), independencia de los proveedores de servicios y de contenidos, y garantía de calidad de servicio en función del coste [10]. Una definición menos técnica pero que sitúa mejor el alcance y la repercusión en la sociedad la dió Al Gore (1994) hablando de la denominada "National Information Infrastructure" (NII): "esta tela de araña de redes de comunicaciones que incluye computadores, televisores, teléfonos y satélites va a cambiar de una vez para siempre la manera en que vivimos, aprendemos, trabajamos y nos comunicamos, tanto en los EEUU como en el resto del mundo".

4.1 La red troncal de banda ancha.

En la actualidad parece que no se discute que la tecnología de la red troncal de banda ancha va a ser ATM. Todas las redes tienen en marcha su plan para evolucionar hacia ATM a medida que vayan creciendo las demandas de ancho de banda y aumente el tráfico de las aplicaciones multimedia. ATM puede proporcionar elevados anchos de banda que están muy por encima de los que puede proporcionar RDSI, Frame Relay y redes metropolitanas y redes locales de alta velocidad. ATM puede transportar de forma natural, y en un único medio, voz, vídeo y datos, con una variación del retardo baja (muy importante para el tráfico en tiempo real), con retardos pequeños (importante para las aplicaciones interactivas), con garantías de calidad de servicio por conexión, y todo ello con un aprovechamiento óptimo de los recursos [11].

De todas formas el problema más urgente a resolver en la actualidad para la futura Internet de banda ancha está en la capacidad de los nodos de encaminamiento ("routers"). Se están anunciando los denominados "Gigabit Routers" capaces de soportar los flujos de alta velocidad de ATM y de procesar los millones de paquetes por segundo que circulan a través de cada una de sus interfaces. La alternativa más novedosa es la denominada "IP Switching" ya que combina las ventajas de la conmutación ATM con las funciones propias del protocolo IP [12]. Todos los demás fabricantes ofrecen alternativas para procesar grandes cantidades de paquetes IP a alta velocidad.

Con el crecimiento acelerado de Internet el protocolo IP [3] ha cumplido su papel y ha puesto de manifiesto una serie de deficiencias. El campo de direcciones (con sus 32 bits), resulta insuficiente, no da soporte a flujos de tráfico en tiempo real (como la voz y el vídeo), y tiene muy pocas prestaciones desde el punto de vista de seguridad (uno de los aspectos más polémicos de Internet). Por todo ello en 1992 el IETF ("Internet Engineering Task Force") puso en marcha los trabajos para elaborar un nuevo protocolo IP, denominado "IP next generation", o IPv6 [13], [14].

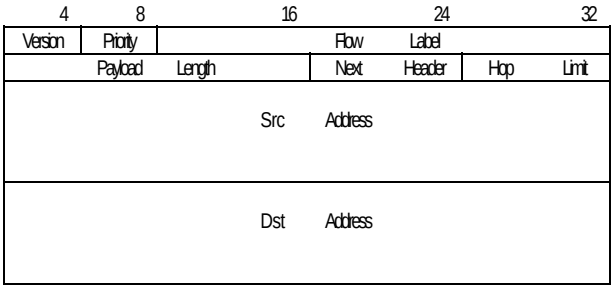

Figura 5. Cabecera de los paquetes IPv6.

En [13] se definen los criterios básicos de diseño de nuevo protocolo: escalabilidad, flexibilidad topológica (protocolo de encaminamiento adaptable a distintos tipos de redes), transición sencilla desde la versión actual de IP (v4), independencia del medio y de la tecnología de la red, seguridad a nivel de red, configuración automática de los routers, movilidad (debe prever futuras necesidades como la movilidad del terminal de usuario).

Las novedades más significativas que aporta IPv6 se resumen a continuación. La estructura de las direcciones pasa a 128 bits (en lugar de los 32 que se usan actualmente) con un esquema que permite identificar direcciones "unicast" para comunicaciones punto a punto, direcciones "anycast" para comunicar con el equipo más cercano de un grupo de dispositivos, y las direcciones "multicast" para comunicar grupos de usuarios entre sí. Con ello el tamaño mínimo del paquete pasa de 48 octetos a 576 octetos, y aunque las direcciones son 4 veces más largas (de 32 a 128 bits) la longitud total de la cabecera sólo se ha duplicado (de 20 octetos a 40) ya que se ha simplificado las funciones de la misma.

La configuración automática es otra de las aportaciones. Los nuevos nodos de la red obtienen sus

direcciones y parámetros directamente del servidor de direcciones. Esto simplifica notablemente la gestión de la red descentralizada.
El soporte de tráfico multimedia y de tiempo real se realiza mediante la identificación de los distintos flujos de información. Esta identificación de flujos de paquetes entre dos direcciones específicas junto con la prioridad asignada a los paquetes permites realizar una gestión eficaz de los mismos en los nodos de la red. Para garantizar una determinada cantidad de recursos a lo largo del trayecto el protocolo RSVP ("Resource Reservation Protocol") se encarga de ello.
En cuanto a la seguridad IPv6 integra funciones de seguridad a nivel de núcleo (IP-Sec) permitiendo la autenticación usando la cabecera de autenticación (extensión de la cabecera normal) y la codificación de la información.
Todos los fabricantes de "routers" están trabajando en la nueva versión. De hecho ya existe una red experimental mundial denominada "6bone" para realizar pruebas antes de empezar con la comercialización [15], [16].

4.2 Internet 2

Para ilustrar la importancia que tiene hoy en día actualizar la capacidad de la red troncal y poder disponer de una red de banda ancha es interesante resumir brevemente el proyecto Internet 2 [17], [2].
El proyecto se puso en marcha a finales de 1996 como un esfuerzo conjunto de 40 Universidades americanas junto con algunos centros de investigación y algunos organismos federales y empresas privadas del sector. El objetivo común: diseñar la Internet de Banda Ancha.
Desde un punto de vista técnico se presentan varios objetivos: a) mantener un nuevo servicio portador común capaz de soportar todas las nuevas aplicaciones; b) pasar del modo de funcionamiento típico (denominado "best effort") a un modo de funcionamiento que proporcione distintos servicios de comunicación; c) capacidad de ajustar el servicio de comunicación que da la red a los requerimientos de las aplicaciones; y d) experimentar una infraestructura de comunicaciones avanzadas de banda ancha para la comunidad científica.
Los requisitos necesarios para poder soportar las aplicaciones distribuidas, multimedia e interactivas son, a parte del ancho de banda elevado (sobretodo si se piensa en la transmisión de vídeo), la posibilidad de asignar una calidad de servicio a cada comunicación (en términos de retardo máximo admisible, variación del retardo aceptable, probabilidad de pérdida de paquetes aceptable o requerida), y la posibilidad de establecer y de gestionar de forma sencilla conexiones punto - multipunto (uno a muchos) y multipunto - multipunto (comunicaciones entre grupos de usuarios). En concreto se está pensando en aplicaciones de trabajo cooperativo, con compartición de recursos, tele-educación, tele-reunión, etc. todo en alta definición y sin limitación del número de participantes ni de la localización de los mismos. En este punto es importante dejar constancia del esfuerzo de normalización para los servicios de videoconferencia y de trabajo cooperativo. La tabla siguiente resume las recomendaciones relacionadas [18].

	H.320	H.321	H.322	H.323	H.324	H.310
red	RDSI p * 64	BISDN	CP con QoS	CP sin QoS	RTC POTS PSTN	BISDN ATM
vídeo	H.261 H.262 H.263	H.261 H.262 H.263	H.261 H.263	H.261 H.262 H.263	H.261 H.263	H.261 H.262 MPEG2
audio	G.711 G.722 G.728	(G.711 G.722 G.728)	G.711 G.722 G.728	G.711 G.722 G.728 G.723	G.711 G.723	MPEG2 (G.711 G.722 G.728)
trama transp.	H.221	H.222.0	H.221	(H.225.0)	H.223	H.220.0 H.222.1 (MPEG)
control	H.320 H.242	H.242	H.242 H.230	H.245	H.245	H.245

Tabla 3. Recomendaciones de la UIT para conferencias multimedia

El flujo de datos multimedia está definido en la Recomendación T.120, los protocolos de transporte en la T.123, el control de la conferencia en la T.124 y la T.130, la función de transferencia de ficheros en la T.127, y el control de la pizarra compartida en la T.126.
El conjunto de protocolos IPv6, RSVP, RTP, RTCP se consideran como el punto de partida para que la red pueda efectivamente proporcionar la variedad de servicios (calidades de servicio) que se prevé serán necesarias. Todos estos protocolos van a ser probados a fondo a lo largo del proyecto. Son muy importantes todos los aspectos relacionados con la aplicación y con la interoperatibilidad de estos protocolos, la gestión de las comunicaciones y de la calidad de servicio, la gestión de la red y de los puntos de acceso a la misma y la gestión de los costes de las comunicaciones.
Desde el punto de vista de la arquitectura de la red destaca el concepto de GigaPOP. Se trata del punto de interconexión y de acceso al servicio de una o más instituciones (administradores de red). La conexión típica de una institución será un enlace ATM o SONET (SDH) a muy alta velocidad sobre fibra óptica. Parece que la opción más común será ATM sobre SONET (SDH). La innovación que introduce el concepto del GigaPOP es que mientras se da un conjunto de servicios diferenciados hacia el exterior, internamente todo se basa en un único servicio portador común.
En resumen, el resultado del proyecto I2 será de vital importancia y determinará la infraestructura de las redes troncales de la Internet de Banda Ancha.

4.3 La red de acceso y el acceso de usuario

Precisamente en los dos últimos años las tecnologías alternativas para dar soporte a la red de acceso y al acceso de usuario han evolucionado mucho. Antes de presentar brevemente las características de algunas de ellas es importante recordar los requisitos necesarios para dar soporte a aplicaciones multimedia en tiempo real, al menos por lo que se refiere al ancho de banda necesario. Un punto a tener en cuenta es la naturaleza asimétrica del tráfico en muchas de las aplicaciones; es decir, el ancho de banda necesario para suministrar la información al usuario es mucho mayor que el ancho de banda necesario en sentido contrario. En las tablas 3 y 4 se resumen los requisitos de ancho de banda para audio y vídeo [8].

Aplicación	Servidor a Usuario	Usuario a Servidor
CD estéreo 10-20KHz.	256 Kbits/s	
Calidad radio	64-56-48 Kbits/s	
Teléfono (PCM,G.711)	64 Kbits/s	64 Kbits/s
Teléfono baja calidad	6'4-5'3 Kbits/s	6'4-5'3 Kbits/s

Tabla 3. Requisitos de ancho de banda para aplicaciones de audio interactivas

Aplicación	Servidor a Usuario	Usuario a Servidor
HDTV	aprox. 20 Mbits/s	
VoD MPEG2	aprox. 4 - 5 Mbits/s	
VoD MPEG1	1 - 2 Mbits/s	
Videoconferencia ISDN p x 64 (H.261)	64 Kbits/s a 2 Mbits/s	64 Kbits/s a 2 Mbits/s
Videoconferencia lenta H.263	28'8 Kbits/s 64 - 128 Kbits/s	28'8 Kbits/s 64 - 128 Kbits/s
VoD MPEG4	64 - 128 Kbits/s	

Tabla 4. Requisitos de ancho de banda para aplicaciones de vídeo interactivas

Esquemáticamente se distinguen cinco tecnologías distintas para la red de distribución y acceso de usuario: la red telefónica convencional, la RDSI, la red de televisión por cable, distribución vía satélite, y red móvil (acceso sin hilos).

La red telefónica convencional está soportada por pares de cobre; desde el punto de vista económico no es viable llevar fibra óptica a todas partes. Una solución de compromiso está en poner fibra hasta el nodo más cercano al usuario y mantener el par de cobre desde el nodo al domicilio del usuario. Esta alternativa se conoce con el nombre de "Fibre To The Curb" (FTTC). La distancia entre el nodo distribuidor y el acceso de usuario oscila entre 10 y 200 metros, y las velocidades de transmisión que se pueden alcanzar por ahora están alrededor de 51 Mbits/s hacia el usuario y 19 Mbits/s hacia el nodo distribuidor.

Otra tecnología muy prometedora es ADSL ("Asymmetric Digital Subscriber Line") ya que utiliza por completo el par de cobre. La información digital se transmite en frecuencias superiores a las de la voz por lo que coexiste con el teléfono. ADSL-1 ofrece una velocidad de transmisión hacia el usuario de 1'5 Mbits/s y de 16 Kbits/s en sentido contrario. ADSL-4 llega hasta 9 Mbits/s hacia el usuario y 640 Kbits/s en sentido contrario.

La tecnología HDSL ("High-speed Digital Subscriber Line") proporciona una capacidad de acceso simétrica (hacia y desde el usuario) a costa de no poder coexistir con el servicio de telefonía convencional. HDSL proporciona 1'5 Mbits/s sobre 2 líneas de par trenzado y 2 Mbits/s sobre tres líneas de par trenzado.

Por último, VDSL ("Very high data rate DSL") está pensada para TV de alta definición (HDTV) y proporciona velocidades de 13 a 52 Mbits/s hacia el usuario y de 1'5 a 2'3 Mbits/s hacia la cabecera de distribución. También puede proporcionar un acceso simétrico sobre líneas mucho más cortas.

El papel de la RDSI como acceso de usuario viene dado por la disponibilidad el servicio en cualquier punto. Las demás tecnologías, excepto el acceso telefónico convencional, no están todavía en fase de comercialización. Un acceso básico RDSI proporciona dos canales de 64 Kbits/s los cuales pueden emplearse conjuntamente dando una velocidad de acceso de 128 Kbits/s. Para videoconferencia de baja resolución es suficiente pero no para vídeo a la carta, por ejemplo. En cambio para aplicaciones de datos (correo electrónico, acceso a www, transferencia de ficheros) puede ser más que suficiente hoy día. En un futuro próximo con la comercialización de nuevos servicios con más capacidad, probablemente RDSI quedará desplazado. Un acceso primario (30 canales de 64 Kbits/s) da una capacidad de acceso conjunta de 2 Mbits/s aunque el coste de la conexión es prohibitivo para un usuario particular.

La tercera alternativa es la red de distribución de televisión por cable. La tecnología se denomina HFC ("Hybrid Fibre Coax") y utiliza en parte la red de televisión por cable ("CAble TV"). Es la forma natural por la que las empresas de TV por cable pueden entrar a dar servicios de acceso a Internet aunque el problema principal es que la red de distribución es unidireccional (sólo envía señales hacia el usuario). Para conseguir un acceso bidireccional se emplean los denominados módems de cable ("cable modems").

La fibra óptica llega hasta un nodo de distribución donde se realiza la conversión electro-óptica. A partir de allí cables coaxiales (cables de TV) distribuyen la señal a cada usuario. La topología de la red de cable coaxial es en estructura de árbol. Típicamente, cada nodo da servicio a unas 500 casas. El nodo de distribución debe combinar los flujos de información que van desde el usuario a la cabecera de distribución. La instalación de estos nodos es costosa por la complejidad de los mismos y la cantidad de funciones que realizan. Se pueden encontrar módems de cable de la primera generación que proporcionan unos 42

Mbits/s hacia el usuario y entre 256 Kbits/s y 2 Mbits/s en sentido contrario.
La cuarta alternativa mencionada es la red de distribución de señales digitales vía satélite ("Digital Broadcast Satellites", DBS). Para los servicios unidireccionales presenta una fuerte competencia a las redes de cable. El problema que queda pendiente por resolver es el canal de retorno para poder dar soporte a aplicaciones multimedia interactivas.
Finalmente, las redes de acceso sin hilos ("Wireless Local Loop") es la tecnología más novedosa. Se distinguen dos tendencias: las basadas en redes locales inalámbricas ("Wireless Local Area Networks") y las basadas en radiotelefonía celular. La primera va dirigida a sustituir las redes locales convencionales por WLANs ("Wireless Local Area Networks"). En realidad no se puede considerar como una red de acceso de usuario sino más bien una distribución interna de este acceso dentro de un mismo local.
Los sistemas móviles tipo GSM ("Global System for Mobile Communications") pueden proporcionar una cobertura mucho mayor y se pueden interconectar con la red fija. La comunicación es bidireccional pero a baja velocidad ya que actualmente el servicio está diseñado para telefonía y datos a baja velocidad. Sin duda la evolución de esta tecnología hacia la banda ancha será el próximo paso.

Hoy día se está trabajando para poder disponer de los servicios de vídeo en redes de banda ancha también en Internet. La organización internacional DAVIC se encarga de proponer una especificación de los interfaces y de los servicios para vídeo en redes de banda ancha, incluyendo redes híbridas con fibra y coaxial, enlaces vía satélite y xDSL.

5. Hacia el futuro de la Internet de Banda Ancha

Dentro de la actividad para desarrollar nuevas tecnologías para la Internet de Banda Ancha se pueden distinguir algunas tendencias comunes a todas ellas. Por lo que se refiere a la infraestructura de la red troncal ATM es la tecnología que se considera capaz de soportar las aplicaciones y comunicaciones de banda ancha.
En cuanto a la red de acceso y el acceso de usuario, si bien no está claro cuál de las alternativas comentadas va a tener un papel predominante, tres tendencias comunes se perfilan: ATM, movilidad y comunicaciones móviles de banda ancha. ATM se está considerando para el acceso porque es una tecnología basada en la conmutación de paquetes y de forma natural puede mantener distintas comunicaciones sobre el mismo acceso físico y puede dar garantías de calidad de servicio. De hecho se está trabajando en la tecnología de "Cells in Frame" para transportar ATM en tramas Frame Relay o tramas de redes locales de alta velocidad (tipo Ethernet o Fast Ethernet). También se está trabajando en "Wireless ATM" y en ATM en redes de cable.
La movilidad se refiere a la posibilidad de conectar un terminal de usuario en cualquier punto. El terminal de usuario puede ser un PC, un Network Computer, o lo que sea. La idea de fondo es lo que se ha denominado "Nomadic Computing". De momento Mobile IP es el punto de partida para dar soporte a esta movilidad. Todavía quedan problemas por resolver.
El tercer aspecto, comunicaciones móviles de banda ancha, es distinto del anterior. Se refiere a la capacidad de las redes de terminales móviles de soportar velocidades de acceso mucho más altas como para poder transmitir vídeo interactivo, y en proporcionar de algún modo una calidad de servicio mínima requerida por las aplicaciones multimedia.

Referencias

[1] "The State of the Net: The Internet's growing pains". Round table at INET'96, Montreal, June 1996. IEEE Spectrum. September 1996. pp. 46-55.
[2] "Internet2 o la próxima generación de Internet". Novática números: 127 (Mayo-Junio 1997) y 128 (Julio-Agosto 1997).
[3] RFC 791. Internet Protocol. 1983.
[4] RFC 793. Transmission Control Protocol. 1983.
[5] RFC 1331. The Point-to-Point Protocol for the Transmission of Multi-Protocol Datagrams Over Point-to-Point Links.
[6] http://www.RealAudio.com
[7] http://www.mbone.com/
[8] "Residential Broadband Internet Services and Applications Requirements". Tomothy C. Kwok. IEEE Communications. June 1997. Vol.35. No.6, pp. 76-83.
[9] "What's Wrong with the Internet". Bob Metcalfe. IEEE Internet Computing. Vol. 1, number 2, March-April 1997, pp. 6-17.
[10] "Elements of the Emerging Broadband Information Highway". H. Akimaru, M. R. Finley, Z. Niu. IEEE Communications Magazine. June 1997. Vol. 35 No. 6, pp. 84-94.
[11] "ATM i Internet". Jordi Domingo i Pascual. INET CAT'96. Barcelona, 28 de noviembre - 2 de diciembre, 1996.
[12] http://www.ipsilon.com
[13] RFC 1752. "Recommendation for IP Next Generation Protocol".
[14] RFC 1726. "Technical Criteria for Choosing IP Next Generation".
[15] http://www.ipv6.nas.nasa.gov
[16] http://www.6bone.com
[17] http://www.internet2.edu

[18] “Putting Data into the Picture”. Phil Keenan. Telecommunications, pp. 55-56, June 1996.
[19] ANSI T1.413-1995. “Telecommunications - Network and Customer Installation Interfaces - Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) Metallic Interface. 1995.
[20] Digital Audio-Visual Council (DAVIC) V1.0 Specification.1995.