

Redes de computadores: Apuntes oficiales IV

Escrito por Profesores de redes de computadores de la Facultad de Informática de la UPM.

Editado por Marta Sepúlveda Municio y Pau Arlandis Martínez.

Redes de área extensa (WAN)

Introducción y objetivos

Hoy en día existen distintas posibilidades de comunicación entre computadoras y usuarios: por un lado aparece Internet, y por otro la telefonía, ya sea fija o móvil. La industria de telecomunicaciones propone tres tipos de redes, que actualmente ofrecen solución a cualquier demanda por parte de los consumidores, sean cuales sean sus necesidades de comunicación (sobre todo en cuanto al área a cubrir):

- Existen redes destinadas a dar cobertura a entornos locales, es decir, a diferentes departamentos de una misma compañía, un edificio o conjunto de estos, denominadas Redes de Área Local (LAN, del inglés Local Area Network)
- Demandando una solución totalmente opuesta existen organizaciones e incluso conjuntos de ellas que necesitan mantener contacto permanente con otras o con ellas mismas si están dispersas geográficamente. Pensando en ellas, la industria ha desarrollado las denominadas Redes de Área Amplia (WAN, del inglés Wide Area Network)

Además, como paso intermedio o nexo de unión entre las dos anteriores, se han comercializado las Redes de Área Metropolitana (MAN, del inglés Metropolitan Area Network), las cuales unen edificios dentro de una misma área urbana, y que apenas han adquirido relevancia, debido a que no aportan demasiadas novedades tecnológicas relevantes a las soluciones anteriores.

Este tema se centra en explicar las Redes de Área Amplia (WAN), también denominadas Redes de Área Extensa, que ofrecen servicios de transporte de información entre zonas geográficamente distantes, generalmente utilizadas en el ámbito empresarial.

Este tema pretende entender y dar una visión global de las tecnologías de interconexión posibles para la comunicación de oficinas empresariales dispersas, cuáles son las características, elementos y funcionalidades de este tipo de redes. Para ello se analizan algunos ejemplos concretos de redes WAN existentes más utilizados en la actualidad, estudiando en detalle las redes móviles, Internet como gran red de datos universal y redes de datos orientadas al ámbito empresarial como IP-MPLS.

El tema comienza dando una visión global de las redes WAN y qué funcionalidades ofrecen este tipo de redes. En este apartado se detallan conceptos típicos de una red WAN, conceptos que se ven reflejados en los siguientes apartados, que describen diferentes tipos de redes WAN. En concreto, el segundo apartado describe las redes móviles, no sólo como redes de telefonía inalámbrica, sino como redes de datos. A continuación se detalla el funcionamiento de la mayor red de ordenadores, Internet, desde el punto de vista de las funcionalidades WAN que ofrece. Finalmente se describe la tecnología MPLS, que se ha convertido en la tecnología más interesante para construir redes WAN basadas en tecnología IP.

Funcionalidades de las redes WAN

Introducción

Las redes WAN deben cumplir una serie de funcionalidades necesarias para poder satisfacer las necesidades de comunicación de las empresas y compañías que las utilizan. Estas funcionalidades se van a tratar detenidamente en este capítulo.

Los servicios de comunicaciones disponibles con los que cuenta un determinado usuario dependen de su ámbito o contexto, de forma que existen diferentes soluciones dependiendo de si se trata de un usuario final desde en un sector residencial o de un cliente empresarial que requiere diferentes servicios de comunicación, generalmente demandando niveles de calidad de servicio superiores.

Los servicios de comunicaciones propios del sector residencial son:

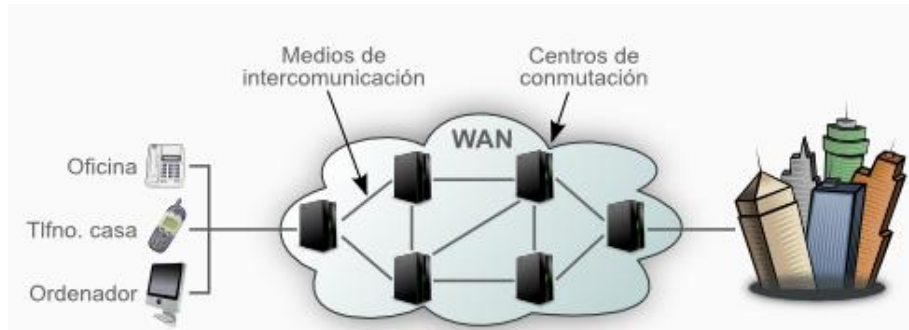
- Telefonía
- Acceso a Internet
- Tv de pago por medio terrestre

Por su parte, las empresas cuentan con servicios de comunicaciones más costosos, pero a su vez con mayores capacidades de transmisión, mayor rapidez, fiabilidad, etc., como son:

- Circuitos alquilados: recurso que une dos terminales distantes, de forma que a menudo distintos operadores o empresas alquilan medios físicos a telefónica, siendo el CMT el organismo regulador de dicho alquiler.
- Red Privada Virtual: Intranet con QoS, empleando la tecnología propia de Internet para unir oficinas pero añadiendo control y gestión de retardos, latencia, adaptación al caudal, recuperación de pérdidas, etc. A su vez puede contar con servicios de comunicaciones diversos:
 - Telefonía
 - Videoconferencias
 - Datos críticos (ej. vídeo, datos de sensores y movimientos del cirujano en una operación quirúrgica realizada en remoto)
 - Mensajería electrónica
 - Acceso a Internet

Elementos constituyentes

Una red conmutada está formada por nodos de conmutación y enlaces de comunicación entre los nodos. Este esquema se complementa con una red de acceso que conecta la red conmutada con los clientes.



Toda red está constituida por los siguientes elementos:

- **Red de acceso:** Constituye la interconexión entre el extremo y la central
 - Cable de pares: utilización del bucle de abonado de telefonía para transmitir datos
 - Cable coaxial: de mayor ancho de banda que el cable de pares
 - Fibra óptica: actualmente es el medio más rápido y eficaz
 - Radio
- **Nodos de conmutación**
 - Circuitos: se establece un camino, por ejemplo mediante señalización (pulsación de teclas en un terminal). El camino se reserva en exclusiva para dicha comunicación, aunque no se transmita en todo momento.
 - Paquetes: emplean routers, como en Internet, para reenviar paquetes a través de una red. Estos paquetes son encaminados en cada uno de los routers hasta llegar a su destino. Esta opción mejora la eficiencia de la red porque una comunicación sólo consume la cantidad de datos que ocupan sus paquetes, los cuales se envían junto a los de otras múltiples comunicaciones.
 - Tramas: es el sistema empleado en Ethernet, mediante el empleo de switches. El mecanismo de direccionamiento aprende automáticamente, no se hará manualmente, y en unos años puede instaurarse en entornos mayores a una LAN.
- **Enlaces de transmisión**
 - Jerarquía MIC ó Jerarquía Digital Pleisócrona (JDP): consiste en multiplexar muchas comunicaciones en el mismo medio, algo que es poco flexible para circuitos alquilados
 - Jerarquía Digital Síncrona (JDS)

Estos elementos se pueden encontrar fácilmente en ejemplos de redes WAN como la Red Telefónica Conmutada (RTC) y una red IP de un operador. En la RTC los nodos de conmutación son las centrales de tránsito, los enlaces de transmisión son las conexiones de fibra óptica que emplean JDS para transitar las diferentes llamadas entre las centrales de tránsito, y la red de acceso está compuesta por los pares de cobre ó bucles de abonado que conectan cada usuario

con su central local. En una red de datos IP, los nodos de conmutación son los diferentes routers IP de la red, los enlaces de transmisión pueden estar basados en JDS, ATM, Ethernet, etc, y la red de acceso la forma la conexión de las instalaciones del cliente con la red.

Funcionalidades

Existe un conjunto común de funcionalidades que comparten las redes WAN. En los siguientes apartados se detallan cada una de estas funcionalidades.

Direccionamiento

El direccionamiento consiste en un esquema o mecanismo para identificar a cada terminal que se conecta a la red de forma unívoca. En cada tecnología existe un mecanismo distinto para asignar **direcciones de red**:

- Redes Telefónicas: Existe un esquema de direccionamiento denominado E.164, que especifica que un número de teléfono a nivel global está compuesto por un código de país estandarizado, seguido de un número de ámbito nacional.
- Redes Ethernet. Los sistemas se identifican mediante direcciones planas de 6 octetos, que suelen escribirse usando 6 pares de dígitos hexadecimales. Aunque las direcciones pueden ser únicas a nivel global, no hay forma de direccionar cualquier equipo Ethernet a través de su dirección MAC, sólo tienen sentido dentro de una red local.
- Internet y redes de paquetes
 - Direcciones IPv4: 4 octetos, ya sean direcciones públicas o privadas. Ya se sabe que los routers de Internet no encaminan direcciones privadas (por ejemplo 10.X...)
 - Direcciones IPv6: 16 octetos, surgió en 1996 para permitir dar direcciones a todos los terminales del mundo y a su vez aumentar la velocidad de procesamiento en los routers.

Además de poder direccionar las entidades que forman una red, es necesario disponer de un mecanismo de **Interfuncionamiento entre redes**. toda red tiene un rango limitado, y para abarcar un área mayor ha de intercomunicarse con otras redes. De esta forma, se da acceso a sistemas que se encuentran fuera de la propia red. En telefonía surgen las centrales, mientras que en Internet se dispone de los protocolos IP, BGP para actualizar información e encaminamiento y DNS.

Finalmente, también puede ser necesario un sistema que permita obtener la dirección de red de alguno de sus elementos. Existen múltiples ejemplos:

- Guías de teléfono
- DNS para Internet, que permite obtener la dirección IP a partir de un nombre simbólico, mucho más fácil de recordar.
- Protocolo ARP

Escalabilidad

Es la facilidad que tiene la red para soportar el crecimiento sin tener que realizar cambios en su infraestructura. Para ello, su diseño ha de permitir aumentar el número de clientes o su

dispersión afectando únicamente al nivel de acceso. La escalabilidad afecta a factores como el tráfico a soportar, y a otros más intangibles como la estructura de direccionamiento utilizada.

Planificación de red

La planificación de red se refiere al diseño de la red necesaria para manejar un determinado tráfico. Este diseño afecta a la topología de la red, decidiendo los nodos que se utilizarán y dimensionando los enlaces que los unirán. La planificación de red se realiza antes de su despliegue, y actualmente es improbable que se desplieguen nuevas redes, por lo que es una tarea poco frecuente.

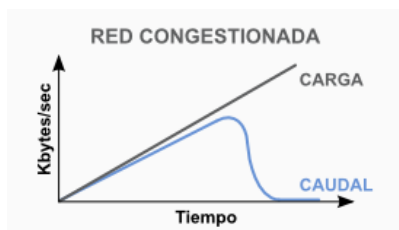
Ingeniería de tráfico

La ingeniería de tráfico consiste en la distribución del tráfico por la topología de la red. Para una topología fija y un determinado tráfico, la ingeniería de tráfico calcula el mejor conjunto de rutas explícitas que ofrecen las mejores prestaciones globales de la red.

Cabe destacar que existe una importante diferencia entre la ingeniería de tráfico y la planificación de red. Mientras que la planificación de red consiste en el diseño de los componentes de la red y su dimensionamiento, la ingeniería de tráfico trata de sacar el mejor partido de la red una vez desplegada y en funcionamiento.

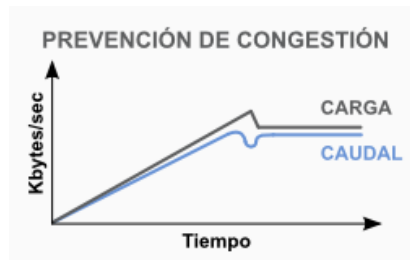
Control de congestión

La congestión en una red se produce cuando la demanda conjunta de los clientes excede de la capacidad disponible en la red. En las redes de conmutación de circuitos, la congestión se manifiesta por la imposibilidad de establecer nuevas comunicaciones, mientras que en las redes de conmutación de paquetes, se produce una reducción significativa del tráfico cursado por la red, mayor latencia pérdida de paquetes.



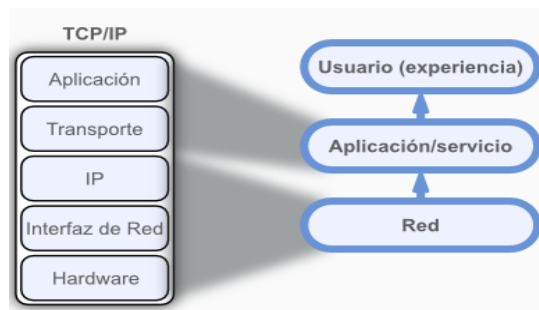
En una red de conmutación de paquetes congestionada los routers descartan paquetes antes de que lleguen a los buffers de salida, generalmente aplicando políticas de priorización de tráfico.

Una prevención adecuada es un mecanismo eficaz para evitar la congestión. Esta prevención supone discernir entre los distintos tipos de comunicación para descartar paquetes a la entrada de la red (por ejemplo manteniendo los paquetes con mayores prioridades como los de comunicaciones en tiempo real). En general los clientes contratan unos mínimos que se controlan y verifican a la entrada de la red.



Calidad de Servicio

La calidad de servicio (expresada QoS por las siglas de Quality of Service) se define como el efecto colectivo de las prestaciones de un servicio que determina el grado de satisfacción del usuario del mismo. En un sistema de comunicaciones la calidad de servicio se puede ofrecer a diferentes niveles, aunque este tema se centra en el nivel de red, que es el que afecta a la infraestructura de la red.

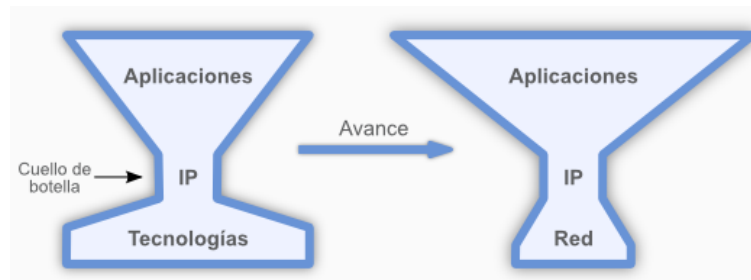


A nivel de usuario, se centra en la atención al cliente, la resolución de las averías. A nivel de aplicación, cuando las comunicaciones se realizan a través de Internet que no tiene QoS es posible realizar adaptaciones de caudal monitorizando los retardos y la pérdida de paquetes.

Un ejemplo representativo de calidad de servicio a través de Internet es Skype, que usa nodos suyos en la propia Internet para asegurar la calidad de las videollamadas. Si hay mala QoS toma distintos nodos intermedios suyos y si falla el protocolo UDP emplea en sus comunicaciones TCP. Es un ejemplo de uso red sin QoS en el que se añade dicho servicio a nivel de aplicación.

La Calidad de Servicio a nivel de red se define como la capacidad de predecir el comportamiento en la red de comunicaciones. El mecanismo para ofrecer QoS en situaciones de congestión consiste en particularizar el proceso que se le aplica a los paquetes en función del tipo de tráfico.

Esto requiere cambios en la red, sin embargo, se intenta mantener el nivel IP lo más sencillo posible, que es en parte lo que ha propiciado el auge de las redes IP. Si estudiamos la evolución tecnológica de la pila de Internet, se puede observar el siguiente progreso:



A la hora de plantearse la interconexión entre oficinas de una empresa, es habitual recurrir a Internet, pero no hay QoS, y contratar dicho servicio a los operadores es muy caro. Una opción alternativa es emplear Internet, proteger los datos con una Red Privada Virtual que cifre datos mediante un protocolo adicional sobre IP y mantener QoS a nivel de aplicación.

El protocolo IP ofrece ciertas funcionalidades para implementar QoS. En concreto, el campo DSCP permite categorizar el tráfico, aunque no en todas las redes basadas en IP se ofrece QoS. En Internet no se ofrece ningún tipo de QoS, porque se intenta ofrecer un servicio muy eficiente, y ofrecer QoS incrementaría sensiblemente los costes. Sin embargo, en intranets corporativas o en redes de operadores con servicios de pago sí se dispone de ciertas prestaciones de calidad de servicio.

Parámetros de Calidad de Servicio

Los parámetros de Calidad de Servicio sirven para especificar y medir los diferentes niveles de QoS. Estos parámetros son:

- **Latencia ó retardo:** es el tiempo de transferencia en la red, el tiempo que tarda un paquete en ser transmitido por la red hasta su destino o la salida de la red.
- **Caudal:** es la capacidad o ancho de banda ofrecido por la red en un determinado flujo. Es el parámetro básico de QoS y, en muchos casos como las líneas ADSL, el único que se ofrece.
- **Jitter:** son las fluctuaciones del retardo, la diferencia entre los retardos máximos y mínimos que puede sufrir un determinado flujo. El jitter es muy crítico en servicios de comunicaciones de tiempo real, ya que si el retardo de espera en las colas intermedias varía, puede provocar desordenación de paquetes, que afectan a las transmisiones de voz y video. La solución más adecuada es el empleo de un buffer en la recepción, así como el empleo de protocolos como Real Time Protocol (RTP) que guarda un sello de tiempo por cada paquete y así puede ordenar la muestra. Cuanto mayor es el jitter, mayor es el buffer que se ha de utilizar para conseguir una entrega ordenada de los paquetes, y un buffer mayor implica incrementar el retardo global.
- **Pérdida:** es el porcentaje o probabilidad de datagramas que no llegan al destino en un intervalo determinado.

Otro parámetro de calidad de servicio es la disponibilidad, definida según la siguiente expresión:

$$T_{\text{medio entre fallos}} / T_{\text{medio entre fallos}} + T_{\text{reparación}} = 99.999\% \text{ (5 nueves).}$$

En el caso de una red telefónica, la disponibilidad se estima en el 99.999% (5 nueves).

Protección y restauración de rutas

Las rutas de encaminamiento en un sistema autónomo se crean mediante protocolos de actualización y distribución de información de encaminamiento RIP u OSPF, mientras que entre distintos sistemas autónomos se realiza mediante el protocolo BGP. Estos protocolos también se utilizan para recuperar una ruta cuando se produce un fallo en un nodo o un enlace de transmisión. Para recuperar una ruta existen dos estrategias diferentes:

- **Restauración de rutas:** consiste en construir una nueva ruta en tiempo real al producirse un fallo. Este es el mecanismo disponible en Internet mediante la utilización de los protocolos RIP u OSPF.
- **Protección de rutas:** consiste en disponer de rutas alternativas de backup que se utilizarán en caso de producirse un fallo. En este caso no hay que esperar a que se ejecute el protocolo de actualización de encaminamiento correspondiente, sino que se dispone de una ruta o rutas alternativas. Es el mecanismo que se utiliza en redes JDS de telefonía, en las que un fallo en un enlace se soluciona redirigiendo el tráfico por un enlace alternativo en menos de 50 ms, imperceptibles en una comunicación de voz.

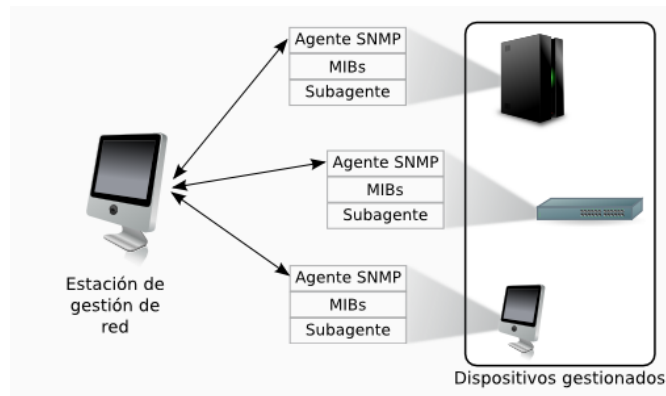
Gestión de Red

La gestión de una red supone la monitorización particularizada de fallos, de rendimiento, de configuración, de contabilidad, de seguridad y de cambios. La gestión de red está organizada en diferentes áreas funcionales:

- **Gestión de fallos:** detección y recuperación frente a fallos y problemas en la red
- **Gestión de rendimiento:** medición del rendimiento y disponibilidad de la red
- **Gestión de configuración:** gestión de los diferentes recursos físicos que conforman la red
- **Gestión de contabilidad:** control de costes y cargos de los servicios que ofrece la red
- **Gestión de seguridad:** todas las tareas de seguridad en un entorno de red, como son la autenticación, el control de accesos, la confidencialidad de las comunicaciones, la integridad de la información transmitida y el no repudio, necesario para operaciones comerciales.
- **Gestión de cambios:** planificación de los cambios en la red.

Simple Network Management Protocol

Simple Network Management Protocol (SNMP) es un protocolo que se utiliza para gestionar los diferentes elementos que forman una red, como routers, switches, ordenadores, impresoras, etc. SNMP funciona mediante un proceso agente en cada uno de los elementos gestionados, que actualice sus variables de estado y recibe los cambios de configuración, y un proceso gestor que realiza consultas periódicas a los diferentes procesos agentes.



Redes Móviles

Introducción

Las necesidades de telecomunicación empresarial no siempre se ciñen a la necesidad de interconectar oficinas dispersas entre sí. Otro reto de las redes WAN consiste en mantener cierta conectividad entre la empresa y los empleados de la misma, de forma que puedan estar conectados en todo momento y lugar a las redes empresariales, ya sea mediante comunicaciones de voz o conexiones de datos para acceder a Internet o las propias aplicaciones empresariales. En el entorno residencial también existen necesidades de conexión de datos que no pueden cubrirse con líneas ADSL por el coste de llegar a zonas despobladas o la necesidad de los usuarios de estar conectados en todo momento.

Estas necesidades pueden cubrirse mediante redes móviles, que han supuesto una evolución sobre las redes de telefonía fija. Estas redes son muy cómodas, permitiendo que usuarios puedan comunicarse (vía voz o datos) con otros usuarios o sistemas empresariales. No obstante, su coste es elevado, a pesar de que el uso de la telefonía móvil está muy extendido desde hace una década, y del énfasis que está logrando la Internet móvil.

Es precisamente el acceso a Internet en movilidad el uso que más auge ha tenido en los últimos años, llegando a competir con las conexiones de datos residenciales como ADSL. Frente a este tipo de soluciones, en las que el usuario sólo dispone de conectividad en su domicilio, las conexiones móviles tienen una gran ventaja, aunque el precio y la velocidad no se han podido igualar. Mientras que ADSL ofrece como mínimo 1 Mbps, la tecnología móvil ha evolucionado lentamente, y sólo las últimas evoluciones de la tecnología 3G consiguen ofrecer unas prestaciones similares de acceso en movilidad.

Los primeros sistemas de telefonía móvil que alcanzan un desarrollo comercial significativo aparecen en los años 80. Estos sistemas utilizaban una interfaz de radio analógica, daban cobertura nacional y no ofrecían compatibilidad entre ellos. En España sólo Telefónica los ofrecía bajo la marca MovilLine.

Para solucionar las graves deficiencias y el alto coste de estas redes, los operadores de Telecomunicaciones, fabricantes de equipos y organismos de normalización, establecieron las bases para el desarrollo de un nuevo sistema de comunicaciones móviles paneuropeo denominado *GSM (Global System for Mobile Communication)*. El sistema *GSM* es un sistema de acceso celular de segunda generación que utiliza una combinación de *TDMA*

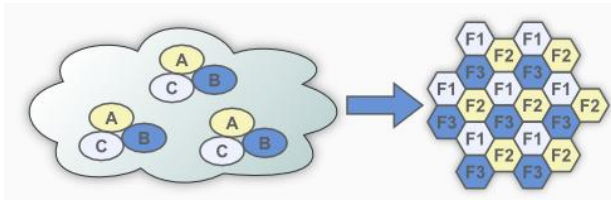
(multiplexación por división en el tiempo) y FDMA (multiplexación por división en frecuencia). La información entre el terminal y la central se cifra (algo que no ocurría en las redes de primera generación) y es muy lenta. Las conexiones de datos sólo ofrecían 9600bps lo que supone una gran carencia. Esta limitación se trató de solucionar mediante una tecnología llamada WAP (que sólo terminó triunfando en Japón) y posteriormente surgió GPRS como mejora de las comunicaciones de datos sobre redes GSM, que emplea el mismo interfaz de red que éstas pero usando conmutación de paquetes frente a la conmutación de circuitos. Esta tecnología es conocida como 2,5G.

Las redes UMTS (3G) suponen un cambio de interfaz de acceso a la red, y permiten lograr velocidades de 2 Mbps. El siguiente paso a lograr sería una hipotética 4G, que ofrecería unos 100 Mbps y que está comenzando a explotarse comercialmente en diversos países. Hoy en día la tecnología en España se encuentra posicionada en 3,5G y se ofrece mediante HSDPA/HSUPA o LTE (unos 50Mbps).

A continuación se muestra la evolución que han tenido las redes móviles en los últimos años.. Como se puede apreciar la mejora de las prestaciones de los mismos en cuanto a velocidad para transmisión de datos son muy importantes y pueden competir con las redes fijas.

Sistema	Velocidad	Tecnología	Año de funcionamiento
GSM	9,6 kbps	Conmutación de circuitos	1996
HSCSD	115,8 kbps	Conmutación de circuitos	2000 (2S)
GPRS	171,2 kbps	Conmutación de paquetes	2001 (1S)
EDGE	384 kbps	Conmutación de paquetes	2001 (S2)
UMTS	384-2000 kbps	Conmutación de circuitos/paquetes	2002 (S2)
HSPA	14 Mbps	Conmutación de circuitos/paquetes	2006
HSPA+	84 Mbps	Conmutación de circuitos/paquetes	2008
LTE / WIMAX	50-100 Mbps	Conmutación de paquetes	2010

El fundamento de los sistemas de acceso radio celulares se basan en subdividir la superficie total a cubrir por el servicio en zonas más pequeñas o celdas a las que proporciona acceso radio una *Estación Base (EB)* con un cierto número de frecuencias y canales. Una celda, por tanto, se define como el área cubierta por una estación base.



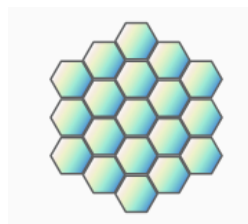
En la telefonía celular de segunda generación, las celdas adyacentes no pueden compartir frecuencias, por lo que el conjunto de frecuencias disponible se divide y en una única celda sólo se utiliza una parte de dicho rango. El mismo juego o conjunto de frecuencias puede reutilizarse sistemáticamente en celdas que no sean adyacentes, separadas por una distancia suficiente como para evitar interferencias.

Variando el nivel de potencia de la *EB*, se puede variar el tamaño de una celda, y así disponer mayor o menor número de celdas para adaptarse a la densidad de tráfico. Al poder moverse los usuarios, de una celda a otra durante una comunicación, se debe realizar un traspaso de la llamada a la *EB* de la celda adyacente sin que se interrumpa la comunicación.

Como se explicará en siguientes apartados, la telefonía de segunda generación utiliza una combinación de multiplexación por división en frecuencias (FDMA) para asignar frecuencias a las diferentes celdas, y multiplexación por división en el tiempo (TDMA) para dividir el ancho de banda de un rango de frecuencias entre los diferentes usuarios.

El estado concede frecuencias por todo el territorio nacional a los distintos operadores. En España existen 3 operadores con interfaz de radio FDMA y TDMA (para GSM y GPRS): Movistar, Vodafone y Orange y algunos comparten infraestructura. En cada celda aparecen varias portadoras, y cada una es usada a su vez por varios usuarios.

La telefonía de tercera generación no utiliza el esquema de celdas mostrado, sino que se basa en multiplexación por división por código (CDMA) para dividir el ancho de banda disponible. En este caso las frecuencias utilizadas por celdas adyacentes se solapan, utilizando diferentes códigos para separar los diferentes clientes. De esta forma la planificación de la red es más sencilla.



Conmutación de circuitos: GSM

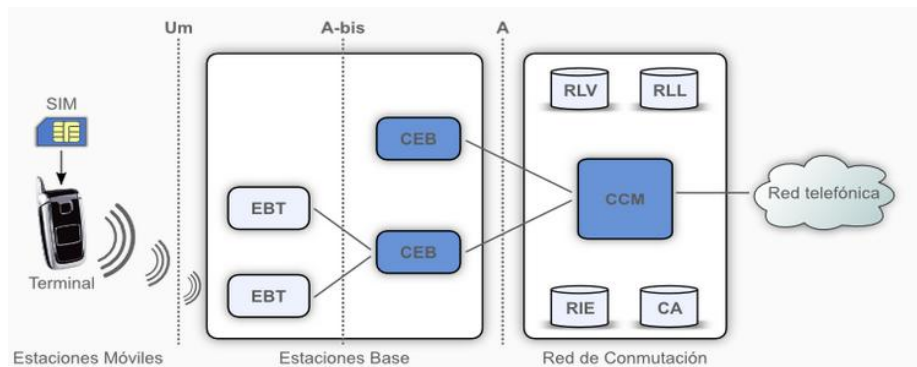
Los sistemas GSM, que se han convertido en un estándar mundial, proporcionan servicios de transmisión de voz y de datos mediante conmutación de circuitos. Los servicios de transmisión de datos sólo alcanzan velocidades de 9,6 Kbit/s, claramente inferior a las prestaciones de las redes fijas. Permiten también la transferencia de mensajes de hasta 160 octetos de móvil a móvil mediante el servicio de mensajes cortos (*Short Message Service, SMS*).

Las frecuencias asignadas al sistema GSM estaban en la banda de 900 MHz., posteriormente ante el crecimiento tan importante del número de usuarios se asignaron también frecuencias

en la banda de 1.800 MHz en Europa y en la banda de 1.900 MHz en Norteamérica. En las bandas de 1.800 y 1.900 la atenuación de las señales es mayor por lo que las celdas son de menores dimensiones, lo que permite reutilizar las frecuencias a menores distancia, y por tanto un aumento de la capacidad del sistema para cursar tráfico.

Arquitectura de GSM

La diferencia fundamental de las redes móviles GSM frente a las redes de telefonía fija radica en el acceso a la estación base, dado que a partir de ella la transmisión es cableada como en la red de telefonía fija, mediante ATM o la más moderna, IP-MPLS.



Una estación móvil está constituida por un terminal (equipo móvil) y una tarjeta de identificación de abonado denominada *SIM* (*Suscriber Identity Mobile*). La tarjeta *SIM* elimina la dependencia entre el equipo móvil y el usuario. La identidad del usuario va asociada a la *SIM* y no al equipo móvil. La identificación del equipo móvil (*IMEI*, *International Mobile Equipment Identity*) y la identificación de la tarjeta *SIM* (*IMSI*, *International Mobile Subscriber Identity*) son independientes. Un usuario puede utilizar diversos terminales insertando en los mismos su tarjeta *SIM*. La tarjeta *SIM* contiene además una clave secreta para autenticación y los algoritmos y claves de cifrado.

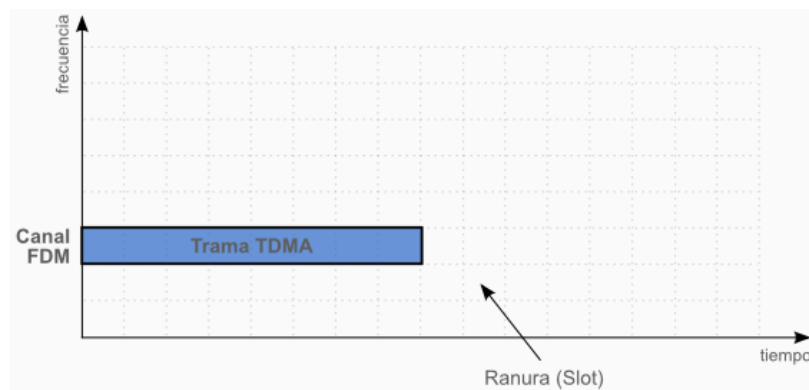
El *Sistema de Estaciones Base* está constituido por las **Estaciones Base Transceptoras (EBT)** y los **Controladores de las Estaciones Base (CEB)**. La función principal de una Estación Base Transceptora es proporcionar un número de canales radio en la zona a la que da servicio. Un Controlador de Estación Base maneja varias Estaciones Base y su función principal es el mantenimiento de la llamada, así como la adaptación de la velocidad del enlace radio al estándar de 64 Kbps. utilizado por la red. Una **Central de Conmutación Móvil (CCM)** se encarga de las funciones de señalización y conmutación en un área geográfica, incluyendo los mecanismos de cambio de célula para una Estación Móvil. El sistema GSM se complementa con diversas bases de datos necesarias para su funcionamiento:

- **Registro de Localización Local:** base de datos con los abonados móviles.
- **Registro de Localización de Visitantes:** base de datos con los abonados de otra compañía que se están conectando en la modalidad de roaming.
- **Registro de Identidad de Equipos:** contiene los identificadores internacionales de equipos móviles (IMEI).
- **Centro de Autenticación:** contiene los mecanismos para identificar al abonado y poder cifrar la comunicación inalámbrica.

Estos sistemas se utilizan tanto para ofrecer servicios de voz como de datos, servicios que se ofrecen ambos en GSM mediante la técnica de conmutación de circuitos.

Funcionamiento de GSM

El espectro asignado a los sistemas GSM está localizado en las bandas de 900 Hz y 1.800 Hz en Europa y en la banda de 1.900 Hz en Norteamérica. El interfaz radio de GSM utiliza una combinación de *Acceso Múltiple por División en Frecuencia (FDMA)* y *Acceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA)*:



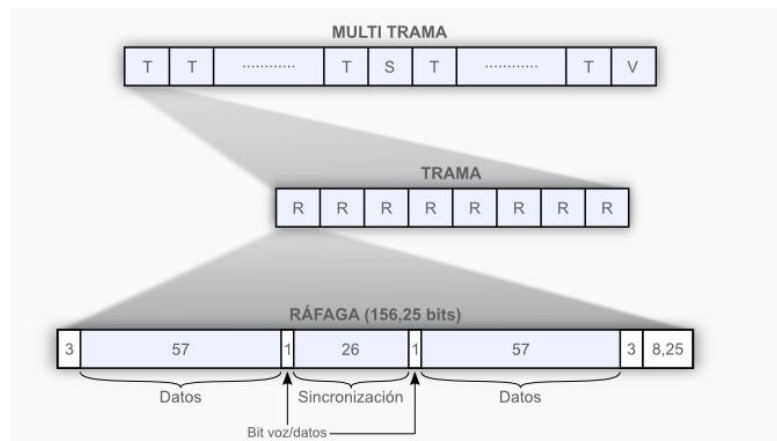
- FDMA: el espectro se divide en portadoras separadas por 200 kHz y con 25 kHz de ancho de banda. Existen unas portadoras dedicadas a las transmisiones del terminal al puesto base y otras en sentido contrario.
- TDMA: cada portadora se divide en 8 ranuras y en cada una puede hablar un usuario. Por lo tanto, por cada portadora de 25 kHz en una celda se puede dar servicio a 8 clientes simultáneos.

Una vez que un usuario ha competido y ha accedido a una ranura, se le reserva dicho espacio.

La velocidad física en la interfaz inalámbrica es de unos 270 kbps, aunque cada conexión transmite de manera efectiva 13 kbps si es de voz, o 9,6 kbps si es de datos. La diferencia está en la redundancia utilizada para codificar los datos, puesto que son más sensibles a los errores de transmisión que la voz. Esta velocidad es muy reducida para ofrecer acceso a Internet, y sólo se utilizó para aplicaciones con requisitos muy escasos de ancho de banda. Es posible acelerar la tecnología si no se emplea redundancia ni bits de control, alcanzando 20 kbps como máximo.

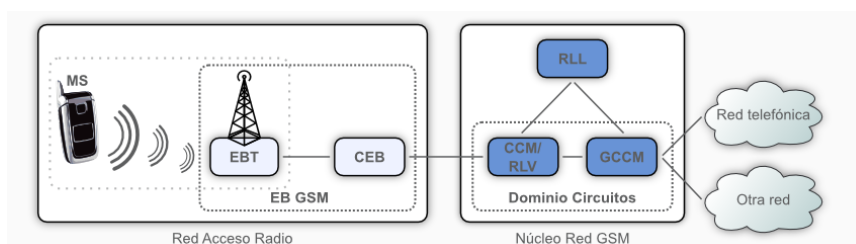
La división TDMA se realiza descomponiendo la transmisión en multitramas, tramas y ranuras de la siguiente forma. 8 ranuras, cada una correspondiendo a la conexión de un cliente, se organizan en una trama. Con 26 tramas se forma una multitrama, siendo 24 tramas de tráfico, una de control y una vacía. Se transmite una multitrama en 120 ms.

A continuación se muestra la estructura de la ráfaga, que consta de: 6 bits de colas de arranque y parada (3 + 3), 26 bits de secuencias de entrenamiento (para sincronización del receptor y otros fines), 2 bits indicadores que indican el tipo de mensaje, 8,25 bits son de guarda y los restantes 114 bits (57 + 57) son de datos.



Una conexión de voz transmite la voz digitalizada en bloques de 260 bits cada 20 ms, lo que equivale a 13 kbps. Los 260 bits de voz a transmitir se clasifican en tres clases distintas: los más sensibles a error (50 bits), los moderadamente sensibles a error (132 bits) y los menos sensibles a error (78 bits). Para los de primera clase (50 bits) se usa un Código de Redundancia Cíclica (CRC) de 3 bits para la detección de errores. De manera que se obtienen 53 bits (50 bits + 3 bits de CRC). Así, si se ha detectado un error y la trama está demasiado dañada, ésta se descarta. Después, estos 53 bits, junto con los 132 de segunda clase, más una secuencia de cola de 4 bits (total 189 bits) se pasan a un codificador convolucional, que codifica cada bit de entrada en 2 bits de salida, según una combinación de los 4 bits anteriores. La salida de este codificador es, entonces, de 378 bits, los cuales, junto a los 78 de tercera clase que quedan sin protección, dan una respuesta de 456 bits cada 20 ms que equivale a 22,8 Kbit/s. Estos 456 bits se dividen en 8 bloques de 57 bits con un determinado esquema de interpolación y se distribuyen en la parte de datos de las ráfagas.

Por último, se muestra a continuación la arquitectura propuesta por la tecnología GSM. Las conexiones de datos no son transferidas por la Central de Conmutación Móvil a la red de telefonía, sino que son transferidas a otra red fija hacia un ISP que ofrezca conexión de datos o acceso a Internet. Para ello se utiliza el Gateway de la Central de Conmutación Móvil, que hace de pasarela con otra red fija (PLMN).



Esta tecnología ha quedado prácticamente obsoleta si se pretende aumentar la velocidad de transmisión. La solución pasaría por ofrecer varias ranuras a una misma comunicación, con lo que se podrían dar hasta 8 slots por interconexión. La asignación de varias ranuras y el empleo de conmutación de paquetes es precisamente la aproximación ofrecida en GPRS, aunque tiene el inconveniente de disponer de menos ranuras para otros clientes.

Conmutación de paquetes: GPRS

El sistema *GPRS (General Packet Radio Service)* o *Servicio General de Paquetes por Radio*, incorpora a las redes *GSM* facilidades de conmutación de paquetes utilizando la misma interfaz radio. La finalidad es ofrecer servicios de transmisión de datos a mayores velocidades que el sistema *GSM*.

A la arquitectura de *GSM* se le añade a un nodo de conmutación de paquetes *SGSN (Serving GPRS Support Node)* que maneja el tráfico de paquetes. Se dispone así de una red de conmutación de circuitos para el tráfico de voz y una red de conmutación de paquetes para el tráfico de datos, ambas accesibles a través de la interfaz de radio estándar de los sistemas *GSM*.

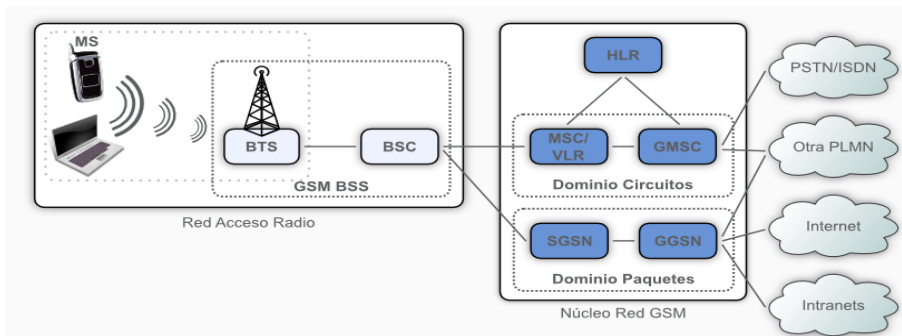
La idea principal al ofrecer servicios de conmutación de paquetes es asignar los recursos del espectro de radio de forma dinámica en función de la demanda de tráfico. Los terminales de paquetes pueden estar conectados de forma permanente y solamente se les asignan canales de radio, cuando envíen y/o reciban tráfico.

GPRS utiliza el mismo interfaz aire que *GSM* pero con un nuevo canal físico llamado *multitrama-52* compuesto por dos *multitramas TDMA*. Esta *multitrama-52* consta de 52 tramas, de las cuales 48 se utilizan para transportar los canales lógicos de los paquetes, organizadas en 12 bloques de 4 tramas; y las 4 tramas restantes van vacías, y se utilizan para medir la potencia de las celdas vecinas.

La mejora de velocidad de GPRS viene de la utilización simultánea de múltiples ranuras (hasta 8 teóricamente, pero no se suelen asignar más de 4) y del uso de diferentes modulaciones y códigos convolucionales, utilizando 4 esquemas de codificación diferentes. Mediante GPRS se alcanzan unos 160 kbps (20 kbps de datos de usuario por ranura x 8 ranuras) pero los operadores no ofrecen más de 50 kbps para no colapsarse. En la siguiente tabla pueden verse las distintas codificaciones de canal ofertadas, con las características de cada una de ellas:

Esquema de codificación	Número de ranuras							
	1	2	3	4	5	6	7	8
CS-1	9.05 kbps	18.1 kbps	27.15 kbps	36.2 kbps	45.25 kbps	54.3 kbps	63.35 kbps	72.4 kbps
CS-2	13.4 kbps	26.8 kbps	40.2 kbps	53.6 kbps	67 kbps	80.4 kbps	93.8 kbps	107.2 kbps
CS-3	15.6 kbps	31.2 kbps	46.8 kbps	62.4 kbps	78 kbps	93.6 kbps	109.2 kbps	124.8 kbps
CS-4	21.4 kbps	42.8 kbps	64.2 kbps	85.6 kbps	107 kbps	128.4 kbps	149.8 kbps	171.2 kbps

A continuación se muestra un esquema de la arquitectura del sistema GPRS. Se incorporan a la red de conmutación dos elementos nuevos; el *SGSN* o nodo de conmutación de paquetes que es el elemento principal de la infraestructura GPRS y el nodo *GGSN (Gateway Support Node)* que actúa como una unidad de interfuncionamiento y que proporciona conexión a otras redes de datos.



Para que una red GSM proporcione servicios GPRS es necesario introducir modificaciones software en las estaciones base transceptoras (EBT), modificaciones de software y de hardware en los controladores de las estaciones base (CEB), y modificaciones de software en las centrales de conmutación móviles (CCM).

Por último, cabe mencionar que los sistemas EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) optimizan GPRS empleando más bits por símbolos y cambiando la modulación, aunque siguen sin considerarse redes de tercera generación.

Las redes EDGE se desplegaron principalmente en América, aunque Movistar ha actualizado parte de su red GPRS a EDGE para ofrecer mejores velocidades de conexión en entornos rurales, donde no llega su red 3G.

UMTS: Redes 3G

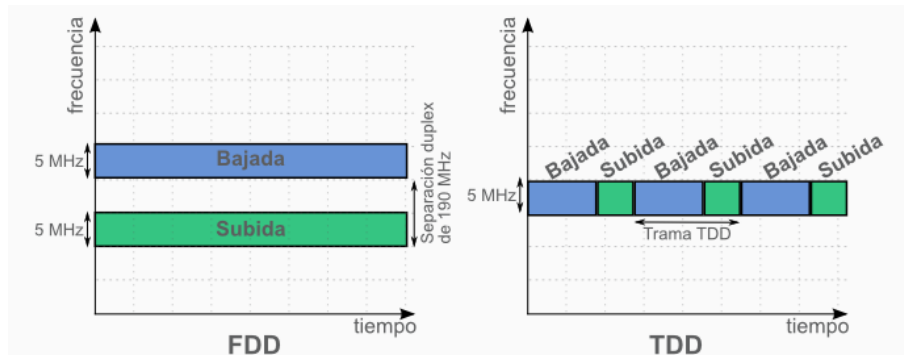
Las tecnologías GPRS y EDGE alcanzaron el límite permitido por el medio y la tecnología ideada para GSM. Toda evolución requeriría emplear otras frecuencias y tecnologías, y de esta manera surgió UMTS, que está pensado para garantizar el acceso a todos los servicios de telecomunicaciones, desde la simple telefonía vocal hasta los servicios multimedia de alta velocidad, independientemente de la ubicación física del usuario, a una velocidad de hasta 2 Mbps. En síntesis: globalización de las comunicaciones, *“acceso a internet para transferencias multimedia (voz, vídeo, datos, en tiempo real), para todo el mundo (sector residencial) en cualquier sitio y en cualquier momento”*.

Funcionamiento de UMTS: WCDMA

Para el *Acceso Radio Terrestre de UMTS (UMTS Terrestrial Radio Access, UTRA)* en Europa se utiliza un estándar basado en CDMA (*Code Division Multiple Access*) denominado WCDMA. En CDMA se pueden mantener diferentes conexiones en las mismas portadoras y en el mismo momento, diferenciándose mediante el uso de distintos códigos. WCDMA puede utilizar dos modos básicos para multiplexar los canales de subida y de bajada:

- FDD (Frequency Division Duplexing): Las transmisiones de los enlaces ascendentes y descendentes usan dos portadoras diferentes localizadas en bandas de frecuencia específicas. Los usuarios que usan el mismo juego de portadoras se distinguen por distintos códigos de dispersión. El modo FDD es idóneo para servicios simétricos, con una amplia gama de velocidades.
- TDD (Time Division Duplexing): Las transmisiones de los enlaces ascendentes y descendentes se transportan sobre las mismas portadoras usando intervalos de tiempo sincronizados. Las ranuras de tiempo están divididas en partes emisoras y

receptoras. La información se transmite alternativamente sobre el enlace ascendente y el enlace descendente. Además, los usuarios que comparten las mismas ranuras de tiempo y portadora están multiplexados en modo CDMA. El modo TDD resulta adecuado para servicios asimétricos en entornos de interiores y microcelulares.



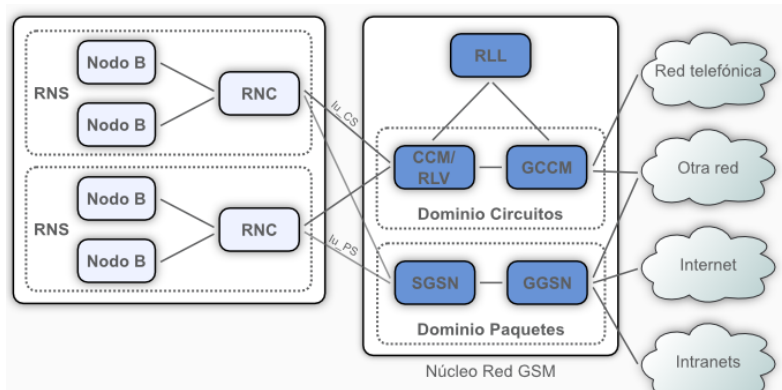
En función de la movilidad del usuario se contemplan tres velocidades de acceso:

- *Movilidad limitada:* Acceso a 2 Mbit/s en el interior de las dependencias de los usuarios (domicilios, oficinas, etc) y alrededores, contemplando velocidades de desplazamiento menores de 10 Km/hora (peatones).
- *Movilidad alta:* Acceso a 384 Kbit/s para velocidades de desplazamiento menores de 120 Km/hora en entornos urbanos.
- *Movilidad total:* Accesos a 144 Kbit/s para velocidades de desplazamiento mayores de 120 Km/hora y en entornos rurales.

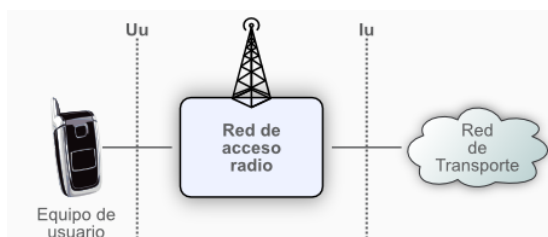
En cuanto a la televisión móvil, la información se transmite por frecuencias distintas para no saturar la red móvil. Si no, habría que complicar la red y realizar multicast para los canales.

Arquitectura de UMTS

Las redes UMTS utilizan la misma infraestructura en el núcleo pero cambiando el interfaz de acceso por radio, que pasa a ser *UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network)*. En la arquitectura UTRAN los Transceptores de las Estaciones Base se denominan *Nodos B*, y los controladores se denominan *Controladores de Red de Radio* ó *RNC (Radio Network Controller)*. Un mismo UTRAN puede contener múltiples subsistemas de radio (*RNS ó Radio Network Subsystem*), que agrupan varios *Nodos B* con su correspondiente controlador de radio *RNC*. El resto de la arquitectura es compartida con las redes GSM/GPRS, utilizándose el dominio de circuitos para transmitir las llamadas de voz, y el dominio de paquetes para las conexiones de datos.



La comunicación va cifrada hasta el nodo B (controlador de base) no sólo hasta el inicio de la estación base. A continuación se muestra un esquema de la arquitectura de red UMTS simplificada:



El punto de la referencia entre el equipo de usuario y la red se denomina "Uu" (UMTS interfaz radio).

En cuanto a la infraestructura de red se distingue entre red de acceso radio y red de transporte separadas por el interfaz Iu.

La red de acceso radio terrestre UTRAN requiere de la instalación nuevas *Estaciones Base* (denominadas *Nodos B*) y *Controladores de las Estaciones Base*, dado que el interfaz de radio es diferente al de los sistemas *GSM*, *GPRS* o *EDGE*. La red de transporte es una evolución de la red GPRS incluyendo un nuevo tipo de dispositivo Media Gateway, ya utilizado en la interconexión de las redes telefónicas y las redes IP.

La primera versión fue la *Release 99*, que fue ampliada posteriormente con la *Release 4*, *Release 5*, *Release 6*, *Release 7* y *Release 8*. En estas evoluciones se han introducido múltiples mejoras como la utilización de conmutación de paquetes en la transmisión de voz, HSDPA y HSUPA que se verán en el siguiente apartado, la utilización de múltiples antenas o mejoras en la codificación para alcanzar mayores velocidades de transmisión.

Redes 3,5G

La tecnología UMTS ha sido evolucionada para mejorar las velocidades de subida y bajada, así como la latencia. Se ha denominado comercialmente 3,5G a las evoluciones que representan la inclusión de las tecnologías HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) y HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*), denominadas conjuntamente HSPA (*High Speed Packet Access*).

HSDPA fue la primera mejora tecnológica introducida en las redes WCDMA, ofreciendo múltiples mejoras en la eficiencia del uso del canal compartido: mejora de la modulación, reducción de los intervalos de tiempo entre transmisiones y optimización del uso de potencia en las estaciones. HSDPA incrementa la velocidad de transmisión hacia los dispositivos móviles hasta velocidades de 7.2 ó 14 Mbps, aunque generalmente sólo en momentos puntuales y áreas muy restringidas. Esta evolución está orientada a mejorar la descarga de contenidos multimedia y la navegación en general, acercando el rendimiento al obtenido por una línea ADSL.

La mejora de la velocidad de subida se denomina HSUPA, y emplea evoluciones similares a HSDPA sobre el sentido de subida, obteniendo velocidades teóricas de hasta 5.8 Mbps. HSUPA viene a complementar a HSDPA para poder ofrecer un canal de subida de mayor ancho de

banda, útil en envíos de grandes cantidades de datos en movilidad o en la utilización de aplicaciones multimedia simétricas como VoIP.

En la mayoría de los casos HSDPA y HSUPA sólo han requerido actualizaciones software en los Nodos B, por lo que su expansión ha sido muy rápida en las zonas en las que ya se habían desplegado redes 3G.

La siguiente generación de HSPA, con mejoras de velocidades tanto de subida como de bajada se ha denominado HSPA+. Por último, existen iniciativas como LTE y WiMax, que se consideran pre-4G ó 3.9G, que pretenden ofrecer velocidades de hasta 100 Mbps, y que se están comenzando a desplegar.

Internet

Organización de Internet

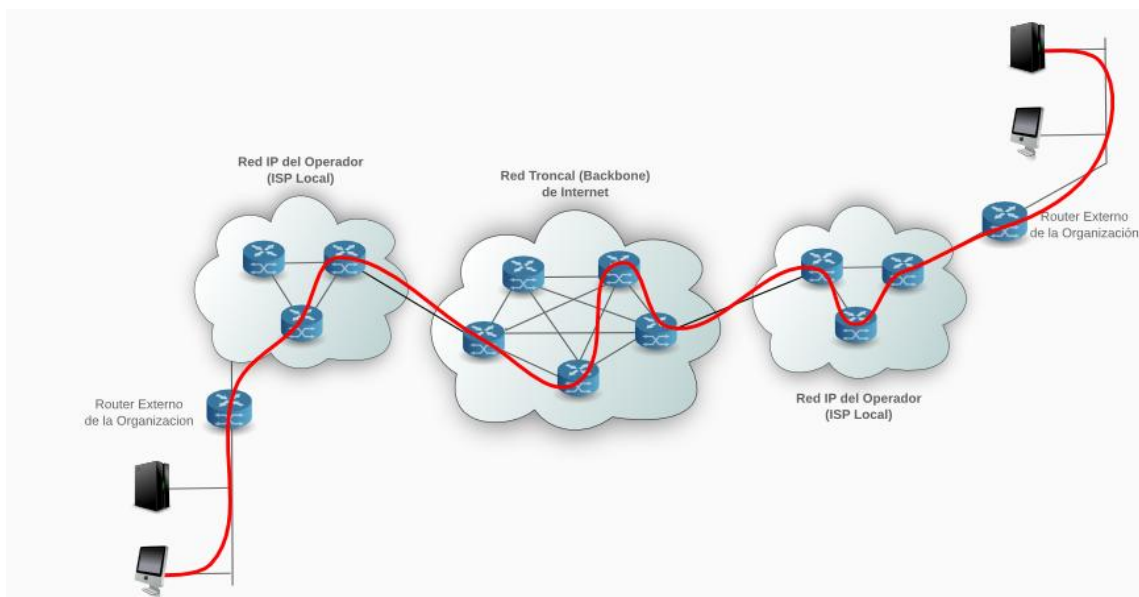
Internet es una gran red de computadores, una red formada por múltiples redes, basadas en la tecnología TCP/IP. Internet es, por tanto, una gran WAN que no tiene un único dueño ni gestor, sino que está formada por múltiples redes propiedad de otras tantas empresas e instituciones, no existiendo ningún organismo encargado de controlar la red en su totalidad. Para el correcto funcionamiento de esta compleja estructura de red, y coordinar los diferentes usuarios y proveedores de los servicios de conexión, existe una serie de centros responsables de la correcta administración y operación de Internet:

- **NIC (*Network Information Center*):** Centro encargado del registro de nombres simbólicos bajo el símbolo de cada país. El NIC español (<http://www.nic.es>) registra y delega autoridad para los subdominios bajo “.es”. La ICANN (Internet Corporation Assigned Names and Numbers) es la encargada de gestionar los nombres simbólicos de primer nivel.
- **NOC (*Network Operation Center*):** Es cualquier organización con soporte de conexión a Internet y que lleva a cabo las tareas operativas de configuración y gestión de máquinas y redes para dicho acceso. El NOC puede ser un ISP o conectarse a Internet a través de un ISP, pero cada ISP es a su vez un NOC. Por ejemplo, RedIRIS (<http://www.rediris.es>) es el NOC para el sector español de universidades y centros de investigación. Es decir, RedIRIS es NOC e ISP, por ejemplo, para la Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid. A su vez, la Facultad de Informática es sólo un NOC que permite conectarse a Internet a sus alumnos, profesores y personal de administración y servicios.
- **NCC (*Network Coordination Center*):** Lleva a cabo, de manera separada, las tareas de coordinación a nivel continental de los NIC y NOC en cada uno de los correspondientes países. Por ejemplo, en el contexto europeo lleva esta coordinación, el centro de control de las redes IP europeas, RIPE NCC (<http://www.ripe.net>), ubicado en Amsterdam y que es el pertinente registro delegado de Internet en Europa.

En un país hay un NIC y tantos NOC como organizaciones existan con soporte de conexión a Internet, los cuales tienen que tener una entidad delegada de Internet que los regule (NCC), y que marque ciertas políticas distribuidas como es el caso de la asignación de direcciones IP.

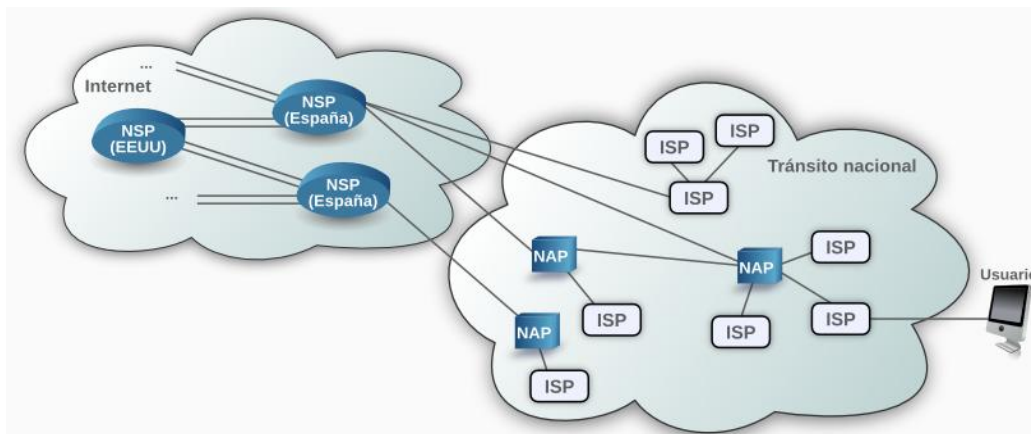
Estructura de Internet

La infraestructura de Internet puede entenderse como un núcleo central o backbone que conecta las redes de diferentes operadores, los cuales dan acceso a sus usuarios para que interactúen entre sí. El backbone se encarga de interconectar otras muchas redes, basándose en una serie de protocolos como IP, BGP o DNS. Los usuarios se encuentran conectados a un operador o proveedor denominado ISP (Internet Service Provider), que le ofrece el servicio de acceso a Internet



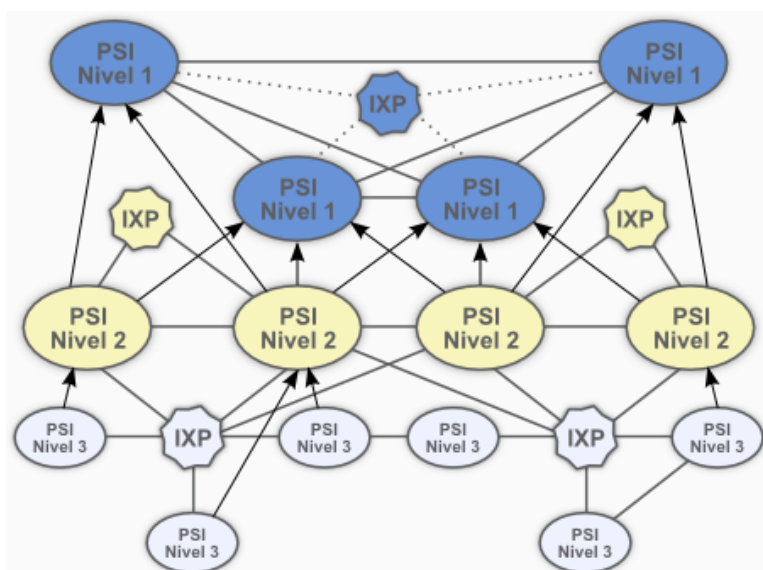
Para formar el backbone, los ISPs están conectados con otros ISPs que les dan acceso a otras redes. Esta estructura es jerárquica, y en ella ciertos ISPs (proveedores de Internet a bajo nivel que dan servicio a usuarios) se conectan a través de otros ISPs (de más alto nivel) o de los puntos neutros de intercambio (IXP ó NIX) . Los ISPs de alto nivel pueden realizar diferentes tareas, en función de las cuales pueden considerarse:

- **NSP (Network Service Provider):** Centro de tránsito internacional y juega un papel fundamental en la conexión entre máquinas de diferentes países. Es el proveedor troncal o de backbone de red o centro que provee el acceso real al núcleo de Internet. En cada país puede haber más de un NSP que permite la conexión a Internet con otros países. Por tanto, se consideran centros internacionales y componentes estructurales fundamentales de Internet.
- **NAP (Network Access Point):** Centro de tránsito nacional que conectan los ISPs entre sí ó con los NSPs. El tráfico se intercambia en los NAP públicos para permitir que los clientes de un proveedor (ISP) alcancen a los clientes conectados a otro proveedor. Los NAP han ido reemplazándose por implementaciones más modernas, denominadas puntos neutros de acceso a Internet (ó IXP del inglés Internet Exchange Point), que se utilizan para interconectar múltiples ISPs, aunque se suelen utilizar ambos términos.



Un NSP puede ser NAP e ISP de cara a un usuario final. Por ejemplo, en España, algunos operadores globales de telecomunicaciones son NSP, tal es el caso de: Grupo Telefónica (TDATA o Telefónica Data), RedIRIS, BT Telecomunicaciones, etc. Por tanto, un operador global de telecomunicaciones o proveedor de tránsito puede ser NSP, NAP e ISP; o NSP y NAP; o sólo NAP. En los dos últimos casos, el usuario se conecta a un ISP y éste al operador que hace de NSP y NAP o sólo de NAP.

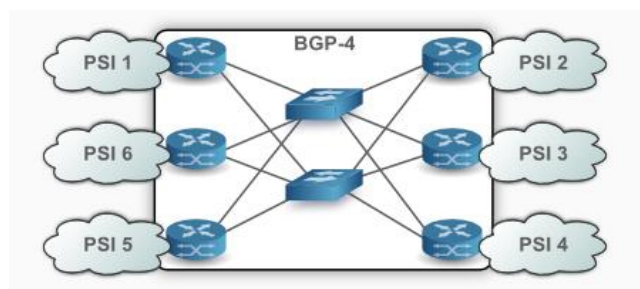
Los diferentes ISPs se organizan en niveles, unos se encargan de ofrecer acceso a Internet a usuarios finales, ya sean domésticos o empresariales, mientras que otras empresas se encargan de interconectar diferentes ISPs a más alto nivel. En la siguiente figura se puede ver cómo se forma una jerarquía de ISPs.



La interconexión entre los diferentes ISPs se realiza mediante acuerdos bilaterales entre ambos. Para facilitar su interconexión, sobre todo a nivel nacional, se crearon los puntos neutros de intercambio entre operadores. Los IXPs están compuestos por un par de switches de alto rendimiento, uno principal y otro de respaldo, a los que se conectan un router de cada uno de los ISPs interconectados. En estos IXPs, los operadores intercambian información de rutas mediante el protocolo BGP que se explica más adelante, así como tráfico entre ellos.

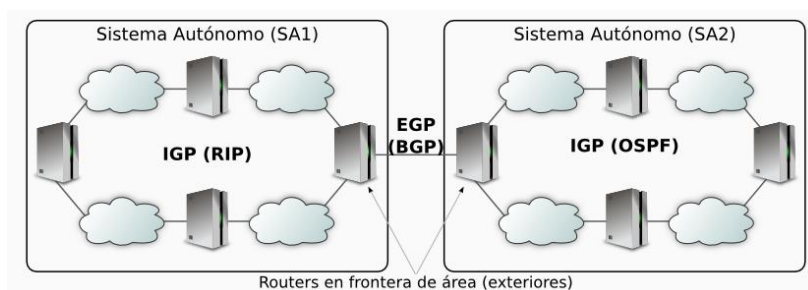
El primer IXP español se denomina ESPANIX, se encuentra en Madrid y se creó en 1997 para evitar que el tráfico entre diferentes ISPs españoles se intercambiara fuera de nuestras fronteras, generalmente en los EEUU, con el consiguiente retardo y coste extra.

Posteriormente se han ido añadiendo diferentes IXP más como son CATNIX, EUSKONIX, GALNIX Y MAD-IX.



Encaminamiento

La infraestructura de Internet se basa en la creación de sistemas autónomos. Los Sistemas Autónomos (SA ó AS, del inglés Autonomous Systems) son redes que están gestionadas por uno o varios operadores de red, y que comparten una única política de encaminamiento interna, o lo que es lo mismo, responden a una forma de manejar la responsabilidad de gestión de tráfico en parte de Internet. Cada SA, por tanto, gestiona el encaminamiento en su interior, y se coordina con otros SAs para intercambiar tráfico. Los protocolos utilizados para gestionar el encaminamiento dentro de un SA se denominan IGP (Interior Gateway Protocols), mientras que los protocolos utilizados para intercambiar rutas entre diferentes SAs se denominan de forma genérica EGP (Exterior Gateway Protocols), aunque hoy en día sólo se utiliza uno, denominado BGP. Los sistemas autónomos contienen redes gestionadas por algún IGP y se ponen en contacto con otros sistemas autónomos a través de routers frontera que negocian entre ellos mediante BGP.



Estrategias de Encaminamiento

Las estrategias de encaminamiento permiten distribuir y actualizar la información de encaminamiento entre los diferentes equipos que forman una red. Con ellas se construyen y actualizan sus tablas de encaminamiento.

El encaminamiento se puede definir de manera estática. Sin embargo éste apartado se centra en las estrategias dinámicas. Existen tres tipos diferentes de estrategias de encaminamiento dinámicas, que permiten adaptar dicho encaminamiento ante los posibles cambios en la topología de la red:

- **Vector-Distancia:** Estrategia que utiliza el Algoritmo de Bellman-Ford. En esta estrategia ningún nodo conoce la topología completa de la red, sino la distancia desde

el mismo a diferentes redes y el primer elemento en dicho camino (de ahí su nombre: vector-distancia). Esta estrategia consiste en difundir de forma cíclica esta información, actualizándola con la información recibida de los demás nodos, hasta que se estabiliza. Esta estrategia es sencilla, pero como contrapartida, tarda mucho en responder ante cambios en la topología de la red.

- **Estado del Enlace:** Los nodos conocen la topología completa de la red, y calculan la mejor ruta utilizando el camino más corto por medio del Algoritmo de Dijkstra. Los intercambios de información entre los nodos persiguen comunicar su topología, no las rutas de cada nodo.
- **Vector ruta:** Esta estrategia es similar a la estrategia del Vector-Distancia, salvo que en ésta los nodos no sólo almacenan el siguiente salto hacia un destino. Es la estrategia de encaminamiento utilizada en los protocolos EGP.

Dentro de un sistema autónomo, los protocolos de actualización de información de encaminamiento más comunes son:

- **RIP (Routing Information Protocol):** Es un protocolo que sigue la estrategia del Vector-Distancia, y por tanto pretende minimizar el número de saltos hacia cada destino. En él, cada router conoce, para cada posible prefijo de destino, el número de saltos y cuál es el siguiente salto. Cada router difunde su tabla al resto de routers, y actualiza su propia tabla si descubre una ruta más corta hacia un destino. RIP es un protocolo que opera a nivel de aplicación, utilizando el puerto UDP 520. Es un protocolo sólo apto para redes de pequeño tamaño, pero al ser muy sencillo sigue teniendo sentido.
- **OSPF (Open Shortest Path First):** Es un protocolo basado en el Estado del Enlace, utilizando el Algoritmo de Dijkstra para decidir el camino más corto a cada destino. Cada router tiene que conocer la topología completa, para lo cual todos los routers envían información de sus enlaces. Para minimizar el tránsito de esta información la red se puede dividir en áreas más pequeñas. OSPF envía sus mensajes encapsulados directamente en paquetes IP, y por tanto no usa UDP ni TCP. En OSPF se intercambia menos información, pero el cálculo de rutas es más complejo (se emplea un algoritmo de Dijkstra). OSPF puede utilizarse para redes de mayor tamaño que RIP.

Para interconectar dos sistemas autónomos se usa BGP (Border Gateway Protocol), que permite intercambiar rutas de operadores diferentes. De esa forma un operador conoce la cadena completa de SAs que hay que atravesar para llegar a un destino, y utiliza la ruta más corta. Los routers frontera de cada SA se informan de las redes destino y de la ruta para alcanzarlas. BGP funciona a nivel de aplicación, sobre el puerto TCP 179. Aunque BGP es adecuado para utilizarse entre SAs, también es posible utilizarlo dentro de los propios SAs, como un IGP.

Modelo de Calidad de Servicio en Internet

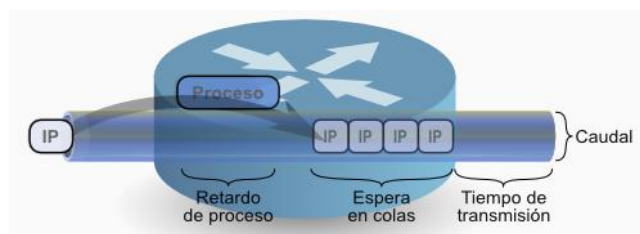
El funcionamiento de Internet se basa, además de en la descentralización de su organización, en la cooperación y gratuidad entre los diferentes actores que la forma. De esta manera, y a diferencia de otras redes comerciales, en Internet no hay facturación en función de la distancia recorrida por los datos, lo cual no significa que los ISPs no establezcan acuerdos comerciales de intercambio de tráfico. Para poder llevar a cabo este objetivo, los routers en Internet

ofrecen un servicio denominado best –effort , donde los nodos intermedios transmiten todo el tráfico que les es posible, sin ofrecer acuerdos de nivel de servicio ni priorizar el tráfico de ningún usuario.

Los routers tienen buffers FIFO, que almacenan los mensajes recibidos a la espera de poder ser enviados por la línea de salida correspondiente. En este escenario, no se adelantan paquetes, y los paquetes más largos ocupan durante más tiempo la línea de salida, por lo que perjudican el retardo de los paquetes cortos. En situaciones de baja carga éste modelo funciona muy bien y es muy eficiente, pero cuando la carga aumenta, las líneas de salida pueden no ser capaces de enviar todos los paquetes necesarios.



En Internet se producen 3 tipos de retardos en cuanto al tiempo total que un paquete pasa en un router:



- **Retardo de proceso:** depende de la velocidad de la máquina y procede del tiempo necesario para discernir cómo tramitar un paquete.
- **En cola:** depende de la velocidad del tráfico por una salida determinada. Por lo general, es el retardo que influye más en el retardo final, aunque en ciertos escenarios también es el que más se puede controlar. En Internet no se realiza ningún tipo de mejora, pero en redes propias de un operador se podría reducir el retardo de ciertas transmisiones más sensibles, como las de voz, estableciendo diferentes colas de salida por una línea, con diferentes prioridades.
- **De transmisión:** dependen de la longitud del paquete y de la velocidad de la línea por la que se va a transmitir.

Ante una situación de congestión, y dado que Internet es una red de conmutación de paquetes, un router puede decidir descartar paquetes. Esto puede realizarse porque decida no encolar (incluso no procesar) un paquete, o eliminar de una cola de salida ciertos paquetes porque han estado esperando demasiado tiempo y pueden no ser ya relevantes.

Ya sea por éste motivo o por un error, en Internet se pueden perder paquetes. En este caso es el nivel de transporte TCP quien recupera los errores y controla el flujo con ventanas deslizantes (empieza con transmisiones lentas y la velocidad se va incrementando) a partir del receptor. Mediante estos mecanismos es posible ofrecer un control de congestión, ya que si el transmisor pierde varios segmentos puede frenar la comunicación, gestionar la ventana, establecer los envíos a 0 y de nuevo ir recuperando la velocidad de forma incremental. Es por ello que se considera que si todo Internet funcionara con TCP como nivel de transporte, estaría

prácticamente exento de congestión. Sin embargo, el uso del protocolo UDP es cada vez mayor, y UDP no dispone de ningún mecanismo que ayude a evitar la congestión.

Aplicaciones interactivas en tiempo real

Las aplicaciones interactivas en tiempo real son aquellas en las que un usuario se comunica con un sistema u otro usuario que se encuentran remotos. En este tipo de aplicaciones el usuario no debe percibir el retardo introducido por la red de comunicaciones, o al menos dicho retardo tiene que ser lo menos molesto posible. En este tipo de aplicaciones, por tanto, el retardo de la red juega un papel fundamental en la experiencia del usuario, y mantener un retardo bajo es el principal objetivo. Puesto que no siempre se controlan todos los dispositivos de la red, como es en el caso de Internet, las soluciones existentes se encuentran sobre el nivel de internet, como el protocolo RTP que complementa el nivel de transporte.

RTP

RTP es un protocolo extremo a extremo que permite transmitir flujos de audio y video en tiempo real. El protocolo RTP se encapsula sobre UDP, de esta forma evita la sobrecarga introducida por TCP, encargándose él mismo de la detección de paquetes perdidos y del control del orden de los paquetes. En el destino se establece un buffer de reproducción que almacena los paquetes antes de reproducirlos, a la espera de paquetes que se reciban desordenados. Gracias a un sello de tiempo, los paquetes con excesivo retardo pueden ser descartados si exceden el tiempo máximo de espera, y ya no se entregan al nivel superior porque no tiene sentido reproducirlos.

RTP se utiliza para transmitir flujos de contenido multimedia, no archivos multimedia. La diferencia es que estos flujos están pensados para ser reproducidos según se reciben, con un pequeño retardo, no para ser transmitidos y almacenados en el destino.

En la pila de protocolos RTP se encuentra por encima de UDP, y da soporte a múltiples aplicaciones multimedia.

La cabecera de RTP está compuesta por 12 octetos, siendo los campos más significativos los siguientes:

- **Versión (2 bits):** Indica la versión del protocolo
- **Tipo de carga útil (7 bits):** Indica el tipo de la carga transportada, para que la aplicación sepa cómo interpretarlo.
- **Número de secuencia (16 bits):** permite que RTP lleve el control del orden o la pérdida de los paquetes. RTP no especifica la acción a realizar si se pierde un paquete, esa tarea la delega en la aplicación que sabrá cómo actuar ante un paquete perdido.
- **Marca de tiempo ó timestamp (32 bits):** permite que el receptor reproduzca la información de cada paquete en su momento adecuado.
- **SSRC (32 bits):** identifica el flujo al que pertenece un paquete. Dentro de una misma conexión no pueden existir dos identificadores iguales para diferentes flujos.

Voz sobre IP

Uno de los usos principales de RTP es el servicio denominado Voz sobre IP, simplificado como VoIP, que permite mantener conversaciones interactivas de voz sobre una red IP, como Internet.

Para transmitir voz sobre una red IP, ésta ha de ser previamente digitalizada mediante un códec. El códec genera una tasa constante de bits por segundo, que además es dividida en pequeños trozos que son enviados individualmente. Existen multitud de códecs, siendo los siguientes los más comunes:

- **G.711:** códec que genera un flujo de 64 kbps, que divide en bloques de 160 octetos. Cada 20 milisegundos se transmite un bloque (64 kbps son 8000 octetos/s, que partidos en bloques de 160 octetos se traducen en 50 paquetes por segundo, o lo que es lo mismo, un paquete cada 20 milisegundos).
- **G.729a:** códec que genera un flujo de 8 kbps, agrupándolos en bloques de 10 octetos que se envían cada 10 milisegundos.

Las aplicaciones de voz funcionan sobre RTP, haciendo uso de las funcionalidades de control de paquetes perdidos o desordenados de RTP. Por ello, cada uno de los bloques en que se divide la señal de voz digitalizada, es encapsulado en RTP, que a su vez se encapsula en un datagrama UDP. A estos datagramas se les añade la cabecera del protocolo IP, y la del nivel de enlace utilizado. Los octetos añadidos por dichas cabeceras pueden hacer que el paquete de voz codificada multiplique su tamaño.