

William Stallings

Comunicaciones y Redes de Computadores

Capítulo 15

Protocolos de interconexión de redes

Términos de interconexión entre redes

- Red de comunicación:
 - Sistema que proporciona un servicio de transferencia de datos.
- internet:
 - Colección de redes de comunicación interconectadas por puentes o dispositivos de encaminamiento.
- Internet (con mayúscula):
 - Colección global de miles de computadores y redes individuales.
- Intranet:
 - Una *internet* corporativa que opera dentro de una organización.
 - Utiliza tecnología de Internet (TCP/IP y http) para comunicar documentos y fuentes.

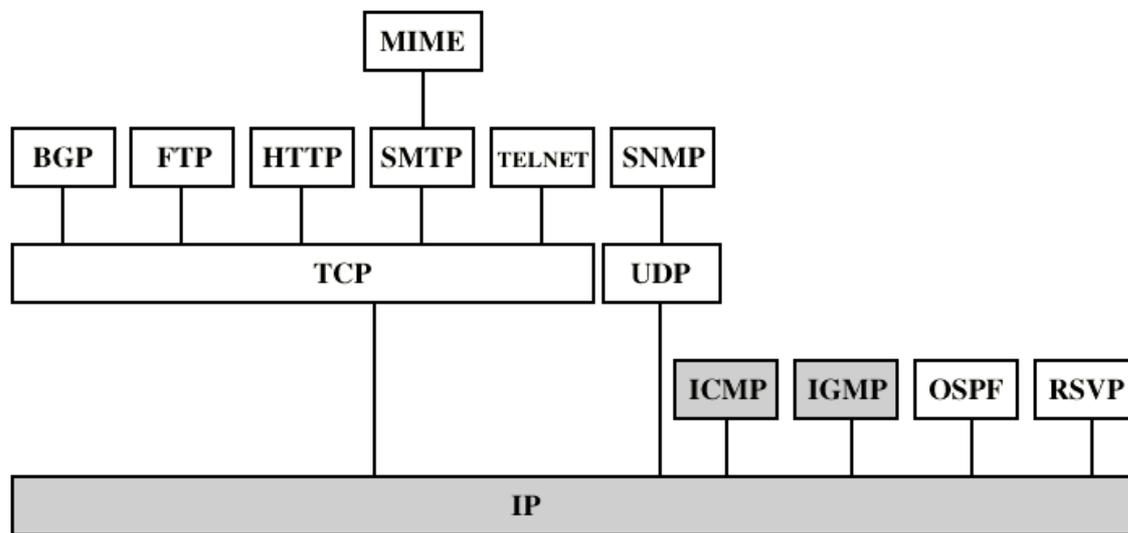
Términos de interconexión entre redes

- Sistema final (ES):
 - Dispositivo conectado a una de las redes de una *internet*.
 - Se utiliza para apoyar a las aplicaciones o servicios del usuario final.
- Sistema intermedio (IS):
 - Dispositivo utilizado para conectar dos redes.
 - Permite la comunicación entre sistemas finales conectados a diferentes redes.

Términos de interconexión entre redes

- Puente ("bridge"):
 - Un IS utilizado para conectar dos redes LAN que utilizan el mismo protocolo LAN.
 - Actúa como un filtro de direcciones, recogiendo paquetes de una LAN que van dirigidos a un destino en otra LAN y pasándolos hacia adelante.
 - Opera en la capa 2 del modelo OSI.
- Dispositivo de encaminamiento ("router"):
 - Conecta dos redes que pueden ser o no similares.
 - Utiliza un protocolo de *internet* presente en cada dispositivo de encaminamiento y en cada computador de la red.
 - Opera en la capa 3 del modelo OSI.

Protocolos de interconexión entre redes en contexto



Requisitos para el sistema de interconexión entre redes

- Proporcionar un enlace entre redes:
 - Como mínimo, se necesita una conexión física y de control del enlace.
- Proporcionar el encaminamiento y entrega de los datos entre procesos en diferentes redes.
- Proporcionar un servicio de contabilidad y de mantenimiento de la información.
- Independiente de la arquitecturas de redes.

Diferencias en las arquitecturas de red

- Direccionamiento.
- Tamaño de paquete.
- Mecanismos de acceso a la red.
- Expiración de los temporizadores.
- Recuperación de errores.
- Informes de estado.
- Encaminamiento.
- Control de acceso del usuario.
- Conexión, sin conexión.

Enfoque sobre la arquitectura

- Funcionamiento orientado a conexión.
- Funcionamiento sin conexión.

Funcionamiento orientado a conexión

- Se supone que cada red proporciona un servicio en la forma de conexión.
- Los IS conectan dos o más subredes:
 - Cada IS aparece como un DTE a cada una de las redes.
 - Conexión lógica entre los DTE:
 - Concatenación de una secuencia lógica de conexiones a través de subredes.
 - Las conexiones lógicas individuales dentro de una red están realizadas por varios IS.
- Puede requerir una mejora de los servicios de redes locales:
 - 802 o FDDI son servicios datagrama.

Funciones de los IS orientados a conexión

- Retransmisión.
- Encaminamiento.
- Ejemplo: X.75, utilizado para interconectar redes de conmutación de paquetes X.25.
- En la práctica, el enfoque orientado a conexión no se utiliza normalmente:
 - El enfoque dominante es el no orientado a conexión, utilizando IP.

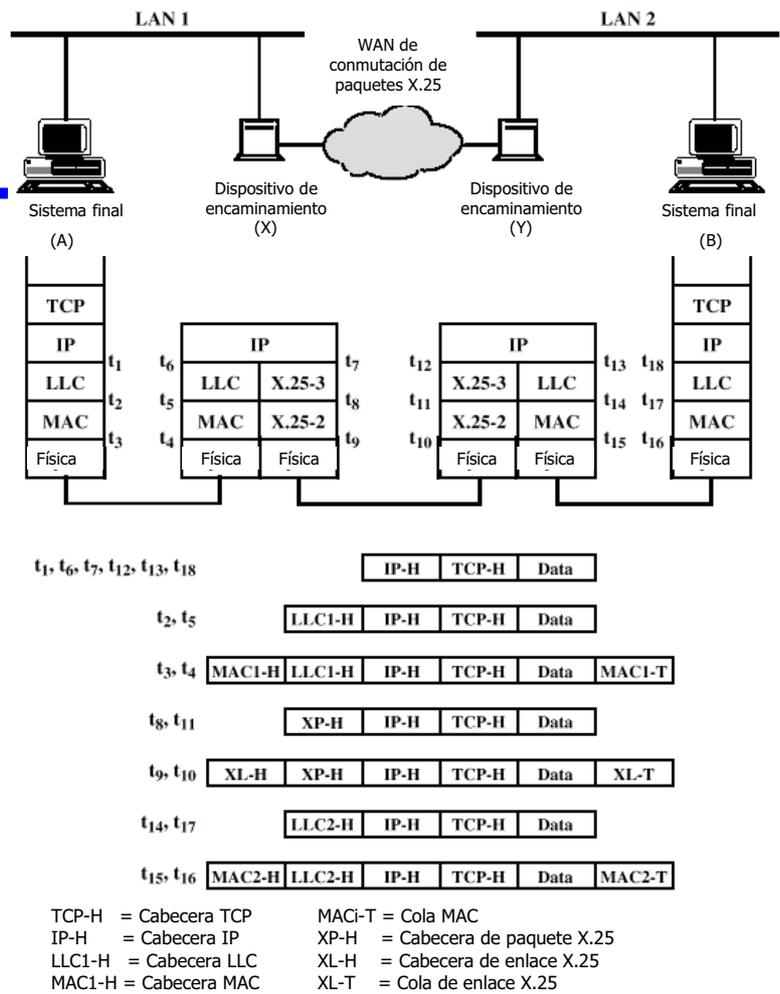
Funcionamiento sin conexión

- Se corresponde con un mecanismo de datagramas de una red de conmutación de paquetes.
- Cada unidad de datos del protocolo de red se trata independientemente.
- Protocolo de red común a todos los DTE y a todos los dispositivos de encaminamiento:
 - Conocido genéricamente como protocolo de Internet.
- Protocolo Internet:
 - Dentro del proyecto internet de DARPA.
 - RFC 791.
- Protocolo de capa inferior necesario para acceder a la red particular.

Interconexión entre redes sin conexión

- Ventajas:
 - Flexibilidad.
 - Robustez.
 - No impone información suplementaria innecesaria.
- Servicio no seguro:
 - No garantiza que todos los datos se entreguen al destino.
 - No garantiza que los datos que se entregan lleguen en el orden adecuado:
 - Los paquetes pueden seguir diferentes caminos.
 - La seguridad es responsabilidad de la capa superior (por ejemplo, TCP).

Funcionamiento del protocolo Internet



Cuestiones de diseño

- Encaminamiento.
- Tiempo de vida de los datagramas.
- Segmentación y reensamblado.
- Control de errores.
- Control de flujo.

Encaminamiento

- Los dispositivos de encaminamiento y los sistemas finales mantienen tablas de encaminamiento:
 - Indica el siguiente dispositivo de encaminamiento al que se deberá enviar el datagrama internet.
 - Estáticas:
 - Pueden contener rutas alternativas.
 - Dinámicas:
 - Más flexibles a la hora de enfrentarse a condiciones de error y congestión.
- Encaminamiento por la fuente:
 - La fuente especifica la ruta mediante la inclusión de una lista secuencial de dispositivos encaminados en el datagrama.
 - Seguridad.
 - Prioridad.
- Registro de la ruta.

Tiempo de vida de los datagramas

- Los datagramas pueden circular de forma indefinida:
 - Consumen recursos.
 - Un protocolo de transporte depende de la existencia de un límite en la vida de un datagrama.
- Datagrama marcado con un tiempo de vida:
 - Campo de tiempo de vida en IP.
 - Una vez que ha transcurrido este tiempo de vida, el datagrama se descarta.
 - Contador de saltos:
 - Cada vez que un datagrama pasa a través de un dispositivo de encaminamiento, se decrementa el contador.
 - Contador de tiempo:
 - Es necesario saber cuánto tiempo ha transcurrido desde que el datagrama cruzó por última vez un dispositivo de encaminamiento.

Segmentación y reensamblado

- Tamaños de paquetes diferentes.
- Dónde se deben reensamblar:
 - En el destino:
 - | Los fragmentos sólo se pueden hacer más pequeños a medida que los datos se mueven a través del conjunto de redes.
 - Reensamblaje intermedio:
 - | Se requieren grandes memorias temporales en los dispositivos de encaminamiento.
 - | Puede que la memoria temporal se use para almacenar fragmentos.
 - | Todos los fragmentos de los datagramas deben pasar a través del mismo dispositivo de encaminamiento:
 - Imposibilita el uso del encaminamiento dinámico.

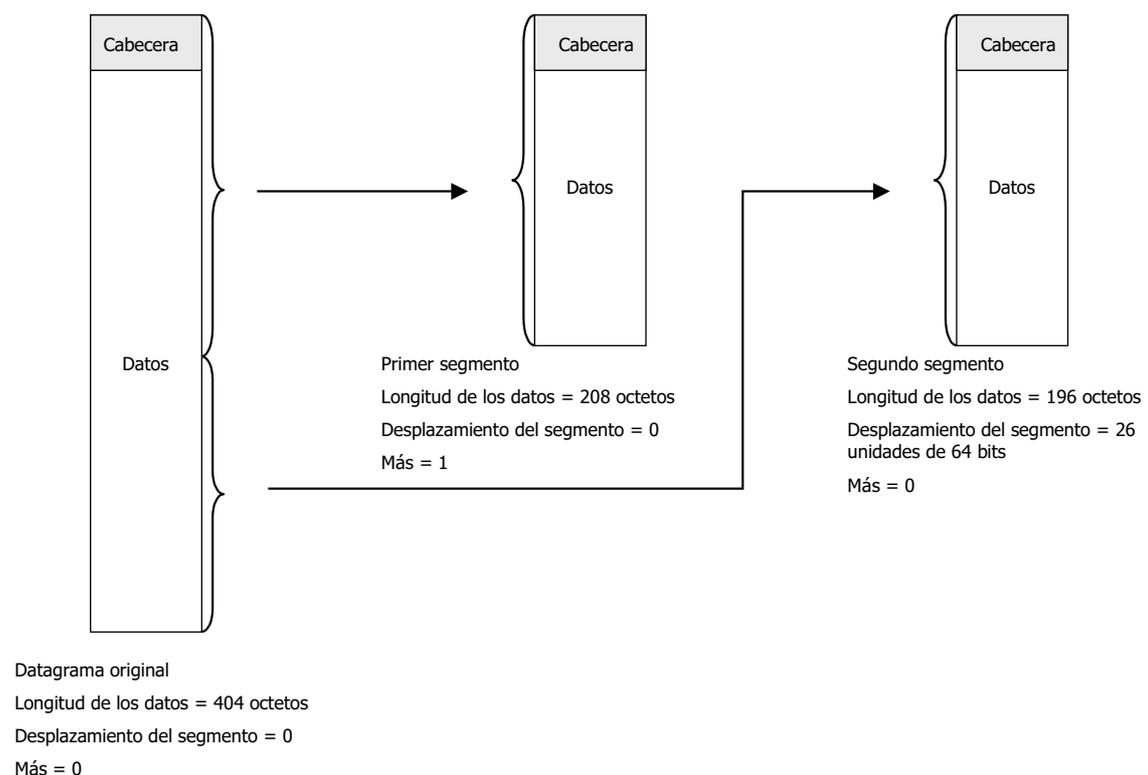
Segmentación de IP

- En IP, los fragmentos de un datagrama se reensamblan en el sistema final destino.
- Usa los siguientes campos en la cabecera IP:
 - Identificador de la unidad de datos (ID):
 - | Identifica un datagrama originado en un sistema final:
 - Direcciones fuente y destino.
 - Identificador del protocolo que genera los datos (por ejemplo, TCP).
 - Número de secuencia suministrado por el protocolo.
 - Longitud de los datos:
 - | Longitud del campo de datos de usuario expresado en octetos.

Segmentación de IP

- Desplazamiento:
 - | Posición de un fragmento de los datos de usuario en el campo de datos en el datagrama original.
 - | En múltiplos de 64 bits.
- Indicador de más datos:
 - | Indica que quedan más fragmentos.

Ejemplo de segmentación



Posibles fallos

- El reensamblado puede fallar si se pierden algunos fragmentos.
- Se necesita detectar el error.
- Asignación de un tiempo de vida de reensamblaje:
 - Se asigna al primer segmento que llega.
 - Si el tiempo expira antes de completar el reensamblaje, los fragmentos recibidos se descartan.
- Utilizar el tiempo de vida del datagrama:
 - Si el tiempo de vida expira antes de completar el reensamblaje, los fragmentos recibidos se descartan.

Control de errores

- No se garantiza la distribución.
- El dispositivo de encaminamiento debería intentar devolver alguna información al origen cuando se descarta un datagrama:
 - Ejemplo: expiración del tiempo de vida.
- El origen puede modificar su estrategia de transmisión.
- Puede notificarlo a las capas superiores.
- Se necesita algún medio de identificar datagramas.
- Véase ICMP.

Control de flujo

- Permite a los dispositivos de encaminamiento y/o las estaciones receptoras limitar la razón a la cual se reciben los datos.
- Limitado para un servicio del tipo sin conexión.
- Enviar paquetes de control de flujo:
 - Requiere una reducción del flujo de datos.
- Ejemplo: ICMP.

El protocolo de Internet (IP)

- Es parte del conjunto de protocolos TCP/IP:
 - Protocolo de interconexión entre redes más utilizado.
- Se especifica la interfaz con la capa superior:
 - Ejemplo: TCP.
- Se especifica el formato real del protocolo y los mecanismos asociados.

Servicios IP

■ Primitivas:

- Función que se va a ofrecer.
- La forma real de una primitiva depende de la implementación:
 - | Ejemplo: una llamada a subrutina.
- Send (envío):
 - | Solicitar la retransmisión de una unidad de datos.
- Deliver (entrega):
 - | Notificar a un usuario la llegada de una unidad de datos.

■ Parámetros:

- Se utilizan para pasar datos e información de control.

Parámetros

- Dirección origen.
- Dirección destino.
- Protocolo:
 - | Entidad de protocolo recipiente, por ejemplo TCP.
- Indicadores del tipo de servicio:
 - | Especifican el tratamiento de la unidad de datos en su transmisión a través de los componentes de las redes.
- Identificador:
 - | Direcciones origen y destino y el protocolo usuario.
 - | Identifica de forma única a la unidad de datos.
 - | Se necesita para reensamblar e informar de errores.
 - | Sólo envío.

Parámetros

- Indicador de no fragmentación:
 - Indica si IP puede segmentar los datos.
 - Si no es así, la entrega no será posible.
 - Sólo envío.
- Tiempo de vida:
 - Sólo envío.
- Longitud de los datos.
- Datos de opción.
- Datos.

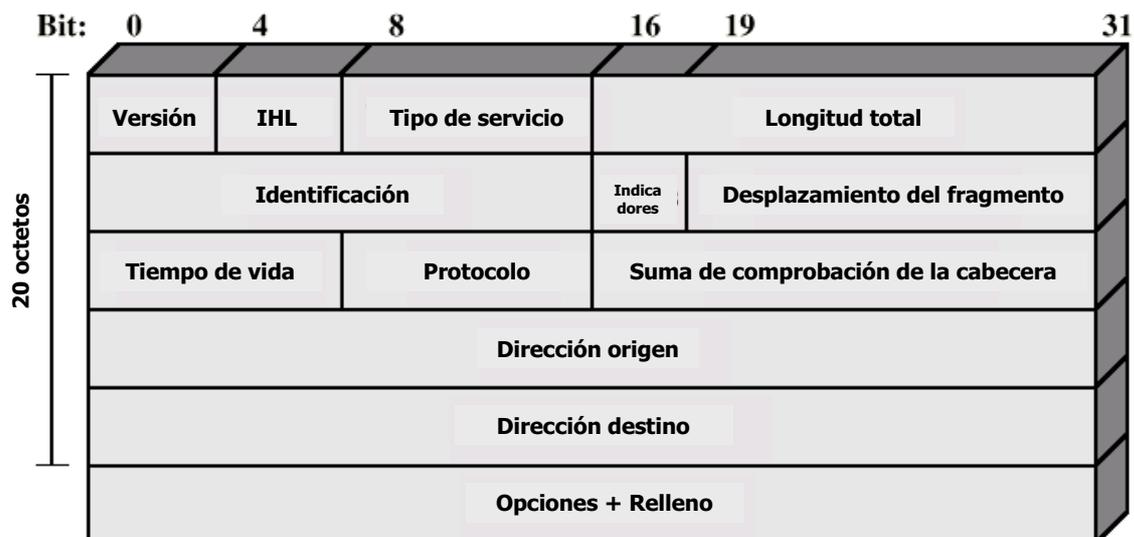
Tipo de servicio

- Precedencia:
 - Ocho niveles.
- Seguridad:
 - Normal o alto.
- Retardo:
 - Normal o bajo.
- Rendimiento:
 - Normal o alto.

Opciones

- Seguridad.
- Encaminamiento por la fuente.
- Registro de la ruta.
- Identificación de secuencia.
- Marcas de tiempo.

Protocolo IP



Campos de cabecera

- **Versión:**
 - 4 bits.
 - IP v6.
- **Longitud de la cabecera Internet:**
 - En palabras de 32 bits.
 - Incluye opciones.
- **Tipo de servicio.**
- **Longitud total:**
 - Del datagrama, en octetos.

Campos de cabecera

- **Identificador:**
 - Número de secuencia.
 - Se utiliza junto a la dirección origen y destino y el protocolo usuario para identificar de forma única un datagrama.
- **Indicadores:**
 - Bit "Más".
 - Bit de "no fragmentación".
- **Desplazamiento del fragmento.**
- **Tiempo de vida.**
- **Protocolo:**
 - La capa superior recibe el campo de datos en el destino.

Campos de cabecera

- Suma de comprobación de la cabecera:
 - Se verifica y se recalcula en cada dispositivo de encaminamiento.
 - Es la suma complemento a uno de todas las palabras de 16 bits en la cabecera.
 - Este campo se inicializa a sí mismo a un valor de todo cero.
- Dirección origen.
- Dirección destino.
- Opciones.
- Relleno:
 - Para asegurar que la cabecera del datagrama tiene una longitud múltiplo de 32 bits.

Campo de datos

- Transporta los datos de usuario desde la capa superior.
- Debe tener una longitud múltiplo de 8 bits.
- La máxima longitud de datagrama (campo de datos más cabecera) es de 65.535 octetos.

Direcciones IP - Clase A

- Dirección internet de 32 bits global.
- Identificador de red e identificador de computador.
- Clase A:
 - Empiezan con un 0 binario.
 - Las direcciones de red con el primer octeto puesto a 0 están reservadas.
 - Las direcciones 01111111 (127) están reservadas.
 - Entre 1.x.x.x y 126.x.x.x.
 - Todas están asignadas.

Direcciones IP - Clase B

- Comienzan con un número binario 10.
- Entre 128.x.x.x y 191.x.x.x.
- El segundo octeto también forma parte de la dirección de Clase B.
- $2^{14} = 16.384$ direcciones de Clase B.
- Todas están asignadas.

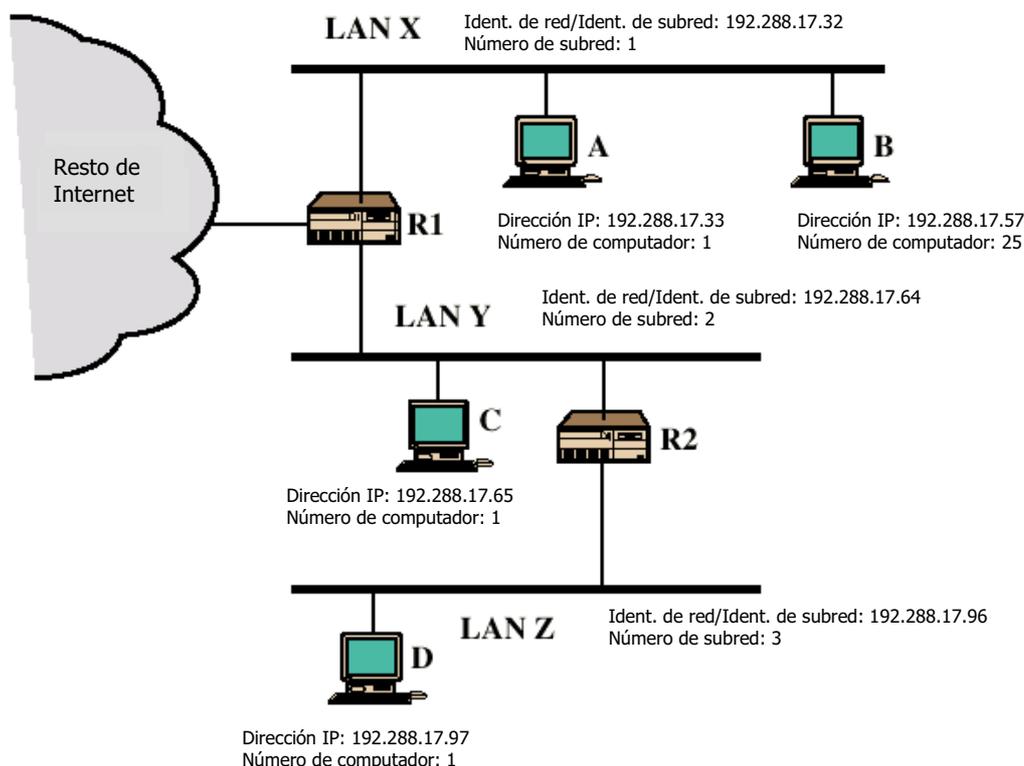
Direcciones IP - Clase C

- Comienzan con un número binario 110.
- Entre 192.x.x.x y 223.x.x.x.
- El segundo y el tercer octeto forman parte de la dirección de Clase C.
- $2^{21} = 2.097.152$ direcciones.
- Casi todas están asignadas:
 - Véase IPv6.

Subredes y máscaras de subred

- Permite una complejidad arbitraria de estructuras de LAN interconectadas dentro de la organización.
- Aisla al resto del conjunto de redes frente a un crecimiento explosivo en el número de redes y la complejidad en el encaminamiento.
- Existe una única red en ese sitio, lo cual simplifica el direccionamiento y el encaminamiento.
- A cada LAN se le asigna un número de subred.
- La parte de *computador* en la dirección internet se divide en un número de subred y un número de computador para acomodar este nuevo nivel de direccionamiento.
- Los dispositivos de encaminamiento locales deben encaminar sobre la base de un número de red extendido.
- La máscara de la subred indica que bits son números de subred y números de computador.

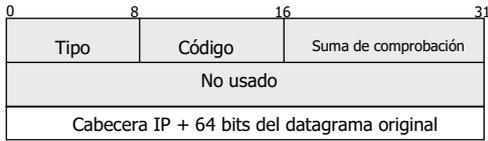
Utilización de subredes



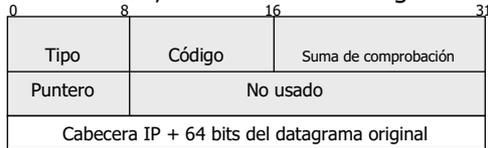
Protocolo de mensajes de control de internet (ICMP)

- RFC 792
- Medio para transferir mensajes de control desde los dispositivos de encaminamiento y otros computadores a un computador.
- Realimentación sobre problemas:
 - Ejemplo: expiración del tiempo de vida.
- Encapsulado en un datagrama IP:
 - Su uso no se puede considerar seguro.

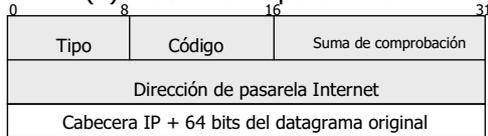
Formatos de mensajes ICMP



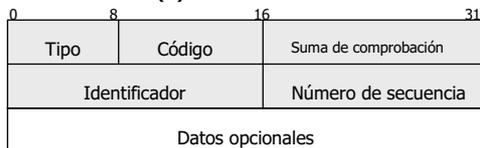
(a) Destino inalcanzable; tiempo excedido; ralentización del origen



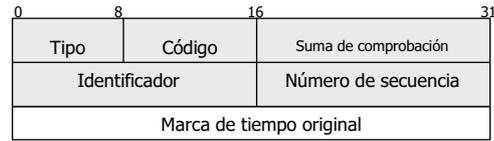
(b) Problema de parámetro



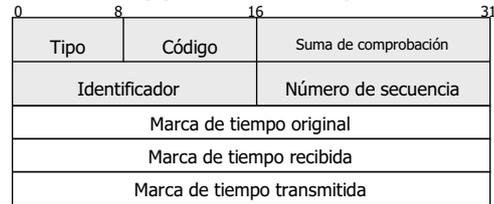
(c) Redirección



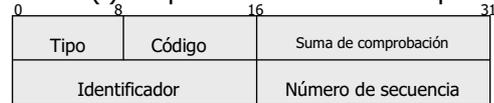
(d) Eco, respuesta de eco



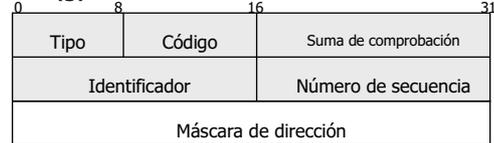
(e) Marca de tiempo



(f) Respuesta a marca de tiempo



(g) Petición de máscara de dirección



(h) Respuesta de máscara de dirección

IPv6

- IP versión 1-3: definidas y sustituidas.
- IP versión 4: versión actual.
- IP versión 5: número asignado al protocolo de flujo.
- IP versión 6: para reemplazar a IP versión 4.
 - Durante su desarrollo se llamó IPng.
 - De nueva generación.

Motivación para desarrollar una nueva versión de IP

- Limitación impuesta por el campo de dirección:
 - La estructura en dos niveles de la dirección IP (número de red y número de computador) ocupa demasiado espacio.
 - Requiere que se asigne un número de red único a cada red IP independientemente si la red está realmente conectada a Internet.
 - Las redes e Internet están proliferando rápidamente.
 - Uso creciente de TCP/IP.
 - Se asigna una dirección única a cada computador.
- Necesidad de nuevos tipos de servicio.

Recomendaciones para IPv6

- 1752: recomendación para el protocolo de nueva generación IP.
- 2460: especificación general.
- 2373: estructura de direccionamiento.
- Otras.

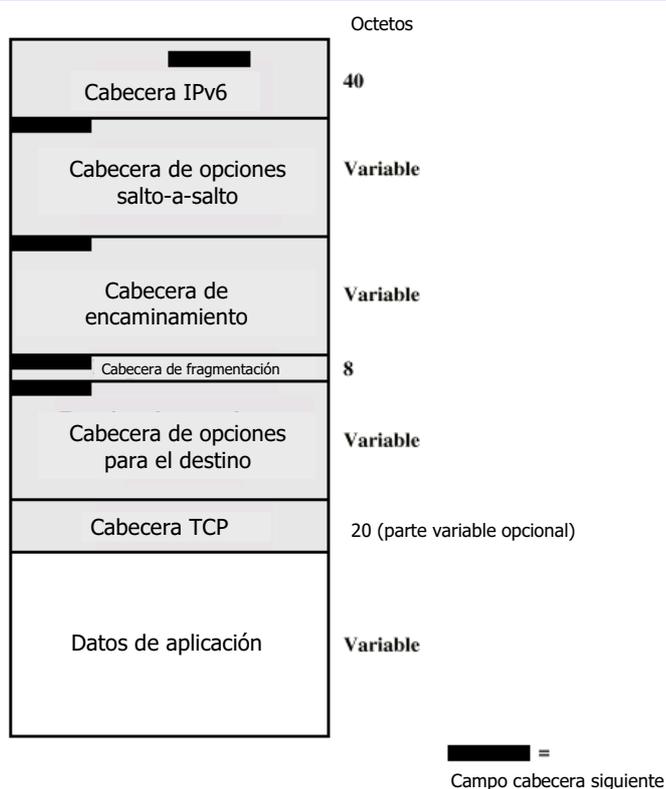
Mejoras de IPv6

- Espacio de direcciones ampliado:
 - 128 bits.
- Mecanismo de opciones mejorado:
 - Cabeceras opcionales separadas entre la cabecera Ipv6 y la cabecera de la capa de transporte.
 - La mayoría no se examinan ni procesan por ningún dispositivo de encaminamiento en la trayectoria de paquetes:
 - Simplifica y acelera el procesamiento.
 - Es más fácil incorporar opciones adicionales.
- Direcciones de autoconfiguración:
 - Asignación dinámica de direcciones.

Mejoras de IPv6

- Aumento de la flexibilidad en el direccionamiento:
 - Dirección monodistribución (anycast): un paquete se entrega sólo a un nodo seleccionado de entre un conjunto de nodos.
 - Se mejora la escalabilidad del encaminamiento multidistribución.
- Facilidad para la asignación de recursos:
 - Reemplaza el tipo de servicio.
 - Habilita el etiquetado de los paquetes como pertenecientes a un flujo de tráfico particular.
 - Permite un tratamiento especializado.
 - Ejemplo: vídeo en tiempo real.

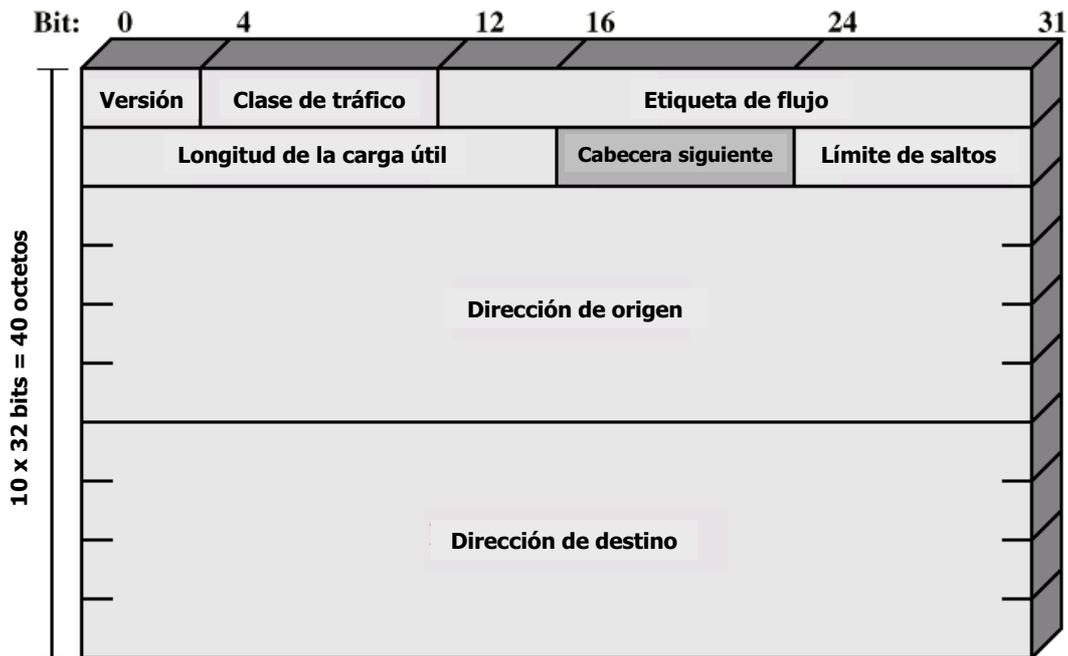
Estructura IPv6



Cabeceras de extensión

- Cabecera de opciones salto-a-salto:
 - Requiere procesamiento en cada salto.
- Cabecera de encaminamiento:
 - Similar al encaminamiento por la fuente de IPv4.
- Cabecera de fragmentación.
- Cabecera de autenticación.
- Cabecera de encapsulamiento de la carga de seguridad.
- Cabecera de opciones para el destino:
 - Para el nodo destino.

Cabecera IPv6



Campos de la cabecera IPv6

- Versión:
 - 6
- Clase de tráfico:
 - Clases o prioridades de paquete.
 - Todavía en estudio.
 - Véase RFC 2460.
- Etiqueta de flujo:
 - Utilizado por un computador para etiquetar aquellos paquetes para los que requiere un tratamiento especial.
- Longitud de la carga útil:
 - Representa la longitud total de todas las cabeceras de extensión más la PDU de la capa de transporte.

Campos de la cabecera IPv6

- Cabecera siguiente:
 - Identifica el tipo de cabecera:
 - Extensión o siguiente cabecera superior.
- Dirección origen.
- Dirección destino.

Direcciones IPv6

- Longitud de 128 bits.
- Se asignan a interfaces.
- Una única interfaz puede tener múltiples direcciones únicas.
- Tres tipos de direcciones.

Tipos de direcciones

- Unidistribución (unicast):
 - Interfaz individual.
- Monodistribución (anycast):
 - Conjunto de interfaces (normalmente pertenecientes a diferentes nodos).
 - Se entrega a una de las interfaces identificadas por esa dirección.
 - La "más cercana".
- Multidistribución (multicast):
 - Conjunto de interfaces.
 - Se entrega a todas las interfaces identificadas por esa dirección.

Cabecera de opciones salto-a-salto

- Cabecera siguiente.
- Longitud de la cabecera de extensión.
- Opciones:
 - Carga útil Jumbo:
 - Mayor de $2^{16} = 65.535$ octetos.
 - Alerta al dispositivo de encaminamiento:
 - Informa al dispositivo de encaminamiento que el contenido de este paquete es de interés para el dispositivo de encaminamiento.
 - Proporciona un apoyo al protocolo RSVP (descrito en el Capítulo 16).

Cabecera de fragmentación

- La fragmentación sólo puede ser realizada por el nodo origen.
- La fragmentación no puede ser realizada por los dispositivos de encaminamiento intermedios.
- Un nodo debe ejecutar un algoritmo de obtención de la ruta para conocer la mínima MTU de las redes intermedias.
- El nodo origen se fragmenta para concordar con MTU.
- El origen debe limitar todos los paquetes a 1.280 octetos.

Campos de la cabecera de fragmentación

- Cabecera siguiente.
- Reservado.
- Desplazamiento del fragmento.
- Reservado.
- Indicador M.
- Identificación.

Cabecera de encaminamiento

- Lista de uno o más nodos intermedios por los que se pasa en el camino del paquete a su destino.
- Cabecera siguiente.
- Longitud de la cabecera de extensión.
- Tipo de encaminamiento.
- Segmentos que quedan:
 - Número de nodos que se visitarán antes de alcanzar el destino.

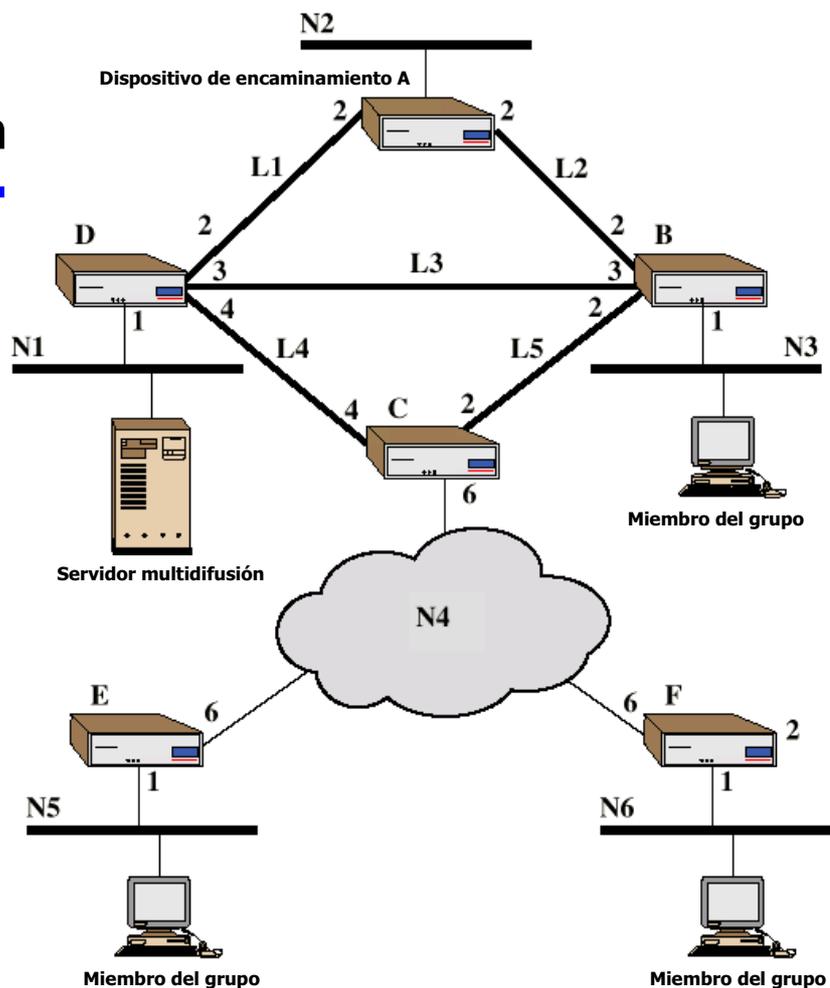
Cabecera de opciones para el destino

- El formato de esta cabecera es el mismo que la cabecera de opciones salto-a-salto.

Multidifusión

- Direcciones que hacen referencia a un grupo de computadores en una o más redes.
- Aplicaciones:
 - Multimedia.
 - Teleconferencia.
 - Bases de datos.
 - Computación distribuida.
 - Grupo de trabajo en tiempo real.

Ejemplo de configuración



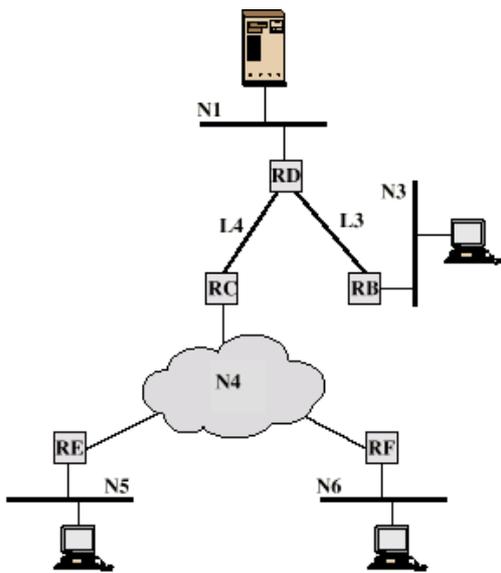
Difusión y monodistribución múltiple

- Difundir una copia de cada paquete en cada red:
 - Se necesitan un total de 13 copias del paquete.
- Monodistribución múltiple:
 - Solamente se envían los paquetes a aquellas redes que contienen los miembros del grupo.
 - Se necesitan 11 paquetes.

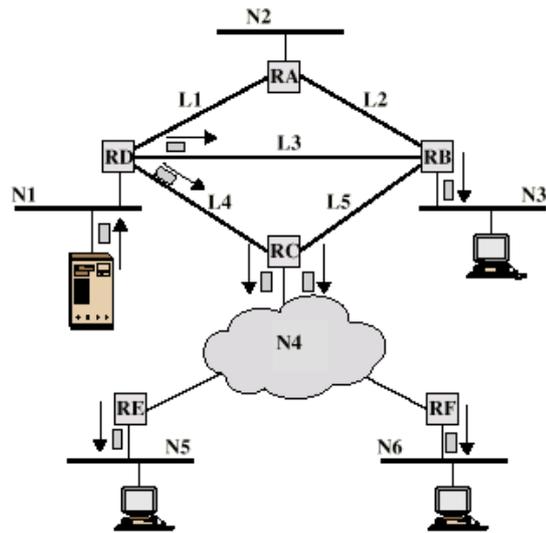
Multidifusión verdadera

- Se determina el camino de menor coste desde el origen a cada red que incluya miembros del grupo de multidifusión:
 - Da lugar a un árbol de expansión de la configuración que incluye sólo aquellas redes que contienen miembros del grupo.
- Transmite un único paquete a través del árbol de expansión.
- El paquete sólo se duplica por los dispositivos de encaminamiento en los puntos de bifurcación en el árbol de expansión.
- Sólo requiere 8 copias del paquete.

Ejemplo de transmisión multidifusión



(a) Árbol de expansión desde la fuente al grupo multidifusión



(b) Paquetes generados por la transmisión multidifusión

Requisitos para la multidifusión

- El dispositivo de encaminamiento podría tener que enviar más de una copia de un datagrama que le llega.
- Se necesita un convenio para identificar las direcciones de multidifusión:
 - IPv4 - Clase D - puestos a un valor de 1110 seguidos.
 - IPv6 - un prefijo de 8 bits todos 1, un campo de indicadores de 4 bits, un campo de ámbito de 4 bits y un identificador de grupo de 112 bits.
- Cada nodo debe traducir una dirección IP multidifusión a la lista de redes que contienen los miembros de este grupo.
- Un dispositivo de encaminamiento debe traducir una dirección IP multidifusión a una dirección multidifusión para poder entregar un datagrama IP multidifusión en la red destino.

Requisitos para la multidifusión

- Mecanismo por el que un computador individual informa al dispositivo de encaminamiento conectado en su misma red de una inclusión o exclusión de un grupo multidifusión.
- Los dispositivos de encaminamiento deben intercambiar información:
 - Necesitan saber qué redes incluyen miembros de un grupo determinado.
 - Necesitan suficiente información para calcular los caminos más cortos a cada red que contiene miembros del grupo.
 - Se necesita un algoritmo de encaminamiento para calcular los caminos más cortos a todos los miembros del grupo.
 - Cada dispositivo de encaminamiento debe determinar los caminos de encaminamiento multidifusión sobre la base de las direcciones de la fuente y el destino .

Protocolo de gestión de grupos de Internet (IGMP)

- RFC 1112
- Se utiliza tanto por los dispositivos de encaminamiento como por los computadores para intercambiar información de miembros de grupos multidifusión sobre una LAN.
- Hace uso de la naturaleza de difusión de una LAN para el intercambio de información entre múltiples computadores y dispositivos de encaminamiento.

Formato del mensaje IGMP



Campos del mensaje IGMP

- Versión:
 - 1
- Tipo:
 - 1: petición solicitada por un dispositivo de encaminamiento de multidifusión.
 - 0: especifica un informe enviado por un computador.
- Suma de comprobación.
- Dirección de grupo:
 - Valor cero en un mensaje de solicitud.
 - Dirección de grupo válida en un mensaje de informe.

Funcionamiento de IGMP

- Para unirse a un grupo, un computador envía un mensaje de informe:
 - La dirección de grupo es la dirección multidifusión del grupo.
 - Se envía en un datagrama IP con la misma dirección multidifusión destino.
 - Todos los computadores que son miembros actuales de este grupo de multidifusión reciben el mensaje.
 - Cada dispositivo de encaminamiento debe atender a todas las direcciones IP de multidifusión para poder recibir todos los informes.
- Los dispositivos de encaminamiento emiten periódicamente mensajes de petición:
 - Dirección de multidifusión *todos-los-computadores*.
 - Cada computador que quiere permanecer como miembro de uno o más grupos de multidifusión debe atender los datagramas con dirección todos-los -computadores y responder con un mensaje de informe para cada grupo al cual reclama su pertenencia .

Pertenencia a grupos en IPv6

- La función de IGMP se ha incorporado en la nueva versión de ICMPv6.
- Mensaje nuevo de terminación de la pertenencia a grupo para permitir que un computador anuncie que deja un grupo.

Lecturas recomendadas

- Stallings, W. *Comunicaciones y Redes de Computadores*, sexta edición. Madrid: Prentice Hall, 2000: Capítulo 15.
- Comer, S. *Internetworking with TCP/IP, Volume I: Principles, Protocols, and Architecture*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1995.
- Todas las referencias mencionadas en el libro y otras relacionadas con estos temas.
- Páginas Web sobre TCP/IP e IP versión 6.