Capa de Red y Protocolo IP

Mg. Gabriel H. Tolosa

tolosoft@unlu.edu.ar

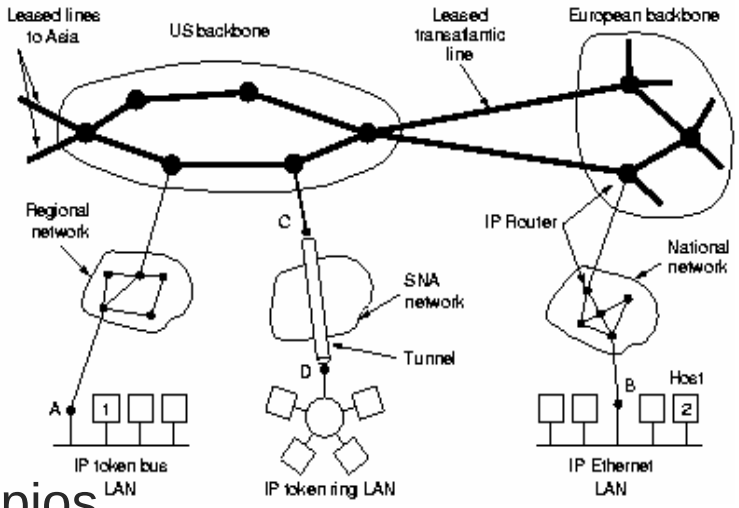
A name indicates what we seek. An address indicates where it is. A route indicates how we get there

Jon Postel

Capa de Red

Motivación

- Diferentes tecnologías de redes LAN y WAN, las cuales:
  - Diferentes medios
  - Diferentes métodos de acceso
  - Esquemas de direccionamiento propios
  - Formato de trama propio (y MTU)
  - Los protocolos definen temporizadores, utilizan técnicas de detección de errores y control de flujo y diferentes tipos de servicio (c/conexión, s/conexión)



- **Ninguna tecnología puede satisfacer todas las necesidades. La heterogeneidad es inevitable!!!**

Capa de Red

- “Aunque es altamente deseable un servicio universal, las incompatibilidades entre el hardware de red y el direccionamiento físico impiden a una organización construir una red con vinculada con puentes que incluya tecnologías arbitrarias”

Douglas Comer

Capa de Red

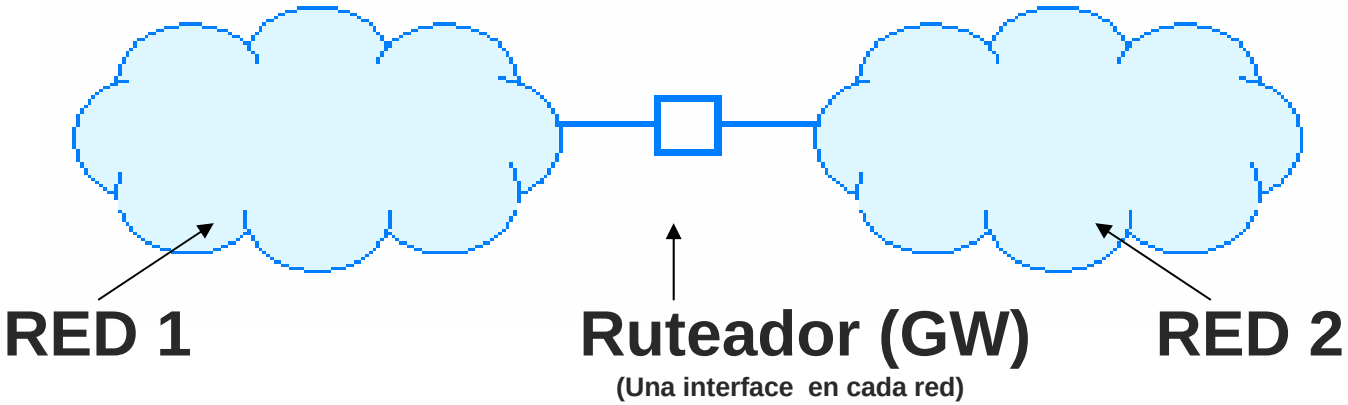
Funciones

- Proveer una abstracción de la tecnología subyacente, ocultando la heterogeneidad
- Crear una red “virtual” con:
  - Esquema de direccionamiento propio
  - Esquema de nombres (si hay) propio
- Pasar datos de una red a otra (encaminamiento o ruteo)
- Mantener información de estado y contabilidad (accounting)
- Gestionar las congestiones

Capa de Red – Internetworking

Interredes o Internets (Internetworks):

"Conjunto de redes heterogéneas conectadas mediante sistemas intermedios (ruteadoes/gateways)"



- Un ruteador puede interconectar redes con diferentes tecnologías de enlace, a través de la capa de red:
  - Se implementa por software
  - El sistema resultante aparece (y se comporta) como homogéneo.
  - Caso paradigmático: **Internet** (definida por TCP/IP)

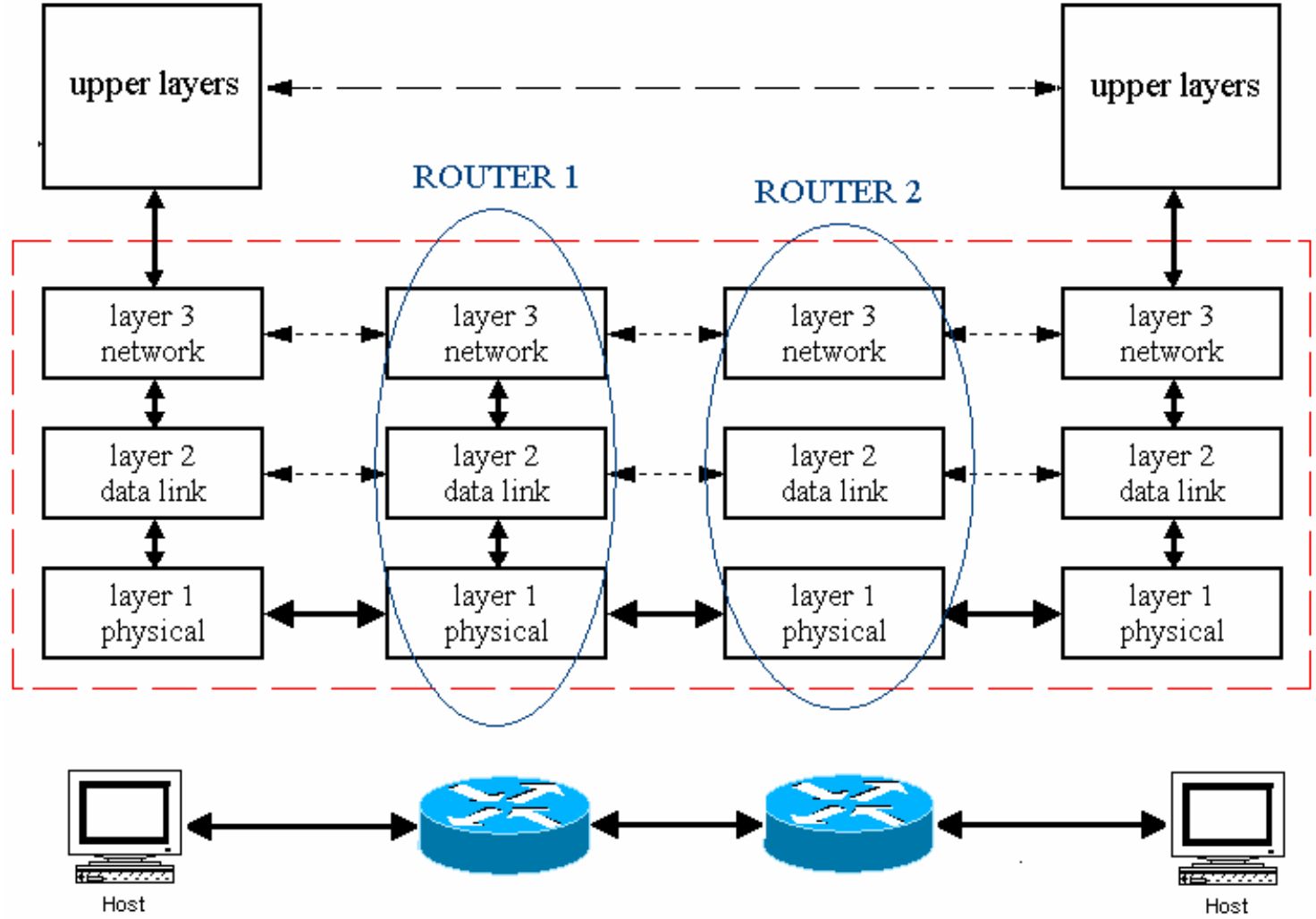
Capa de Red – Internetworking

- **Objetivo:** Construir un sistema de comunicaciones que:
  - Oculte la heterogeneidad (a las capas superiores, y especialmente al usuario)
  - Aparezca como único (sin “costuras“)
  - De propósito general (independiente de las aplicaciones)
  - De alcance global

- **Solución:** Crear una red “virtual” que:
  - Defina un esquema de direccionamiento global
  - Defina un esquema de nombres
  - Se implemente mediante software (en hosts y en ruteadores)

Capa de Red

En el Modelo OSI



Capa de Red – Protocolo IP

- Protocolo de capa red de la pila TCP/IP (RFC 791)

"Define una única red virtual sobre las diferentes clases de plataformas de comunicaciones subyacentes"

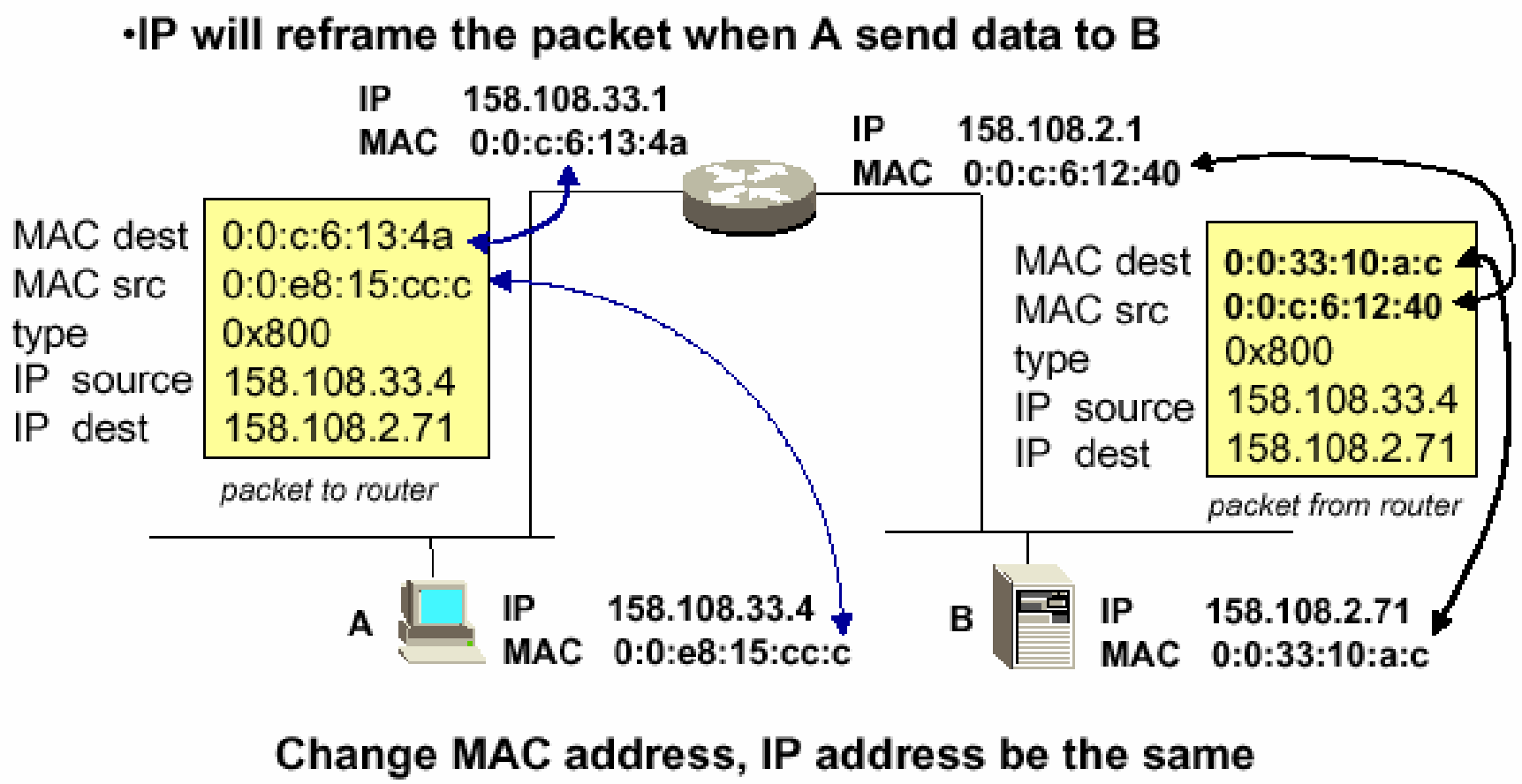
- Especifica
  - Esquema de direccionamiento
  - Formato de mensaje
  - Mecanismo de encaminamiento

Protocolo IP – Modelo de Servicio

- Basado en datagramas (no orientado a la conexión)
- Entrega basada en el “mejor esfuerzo” (servicio no confiable)
- Los datagramas se pueden perder
- Los datagramas son entregados fuera de orden
- Pueden entregarse duplicados
- Los datagramas se pueden demorar en la red
- Permite fragmentación (y ensamblado)
- Control de errores
  - Solo Checksum de la cabecera
  - Mensajes de error => ICMP
- End-to-end Argument
- Control de flujo => No hay
- Encaminamiento
  - Tablas de rutas en sistemas finales y sistemas intermedios
- Source routing y record routing

Protocolo IP

Encapsulamiento en PDU de Enlace



Protocolo IP – Direccionamiento

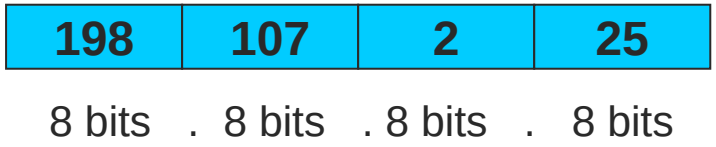
- **Conceptos (Ideas)**
- **Nombre (Name)**
  - Especifica cómo se llama algo/alguien (Identificador).
  - Independiente del origen y destino.
- **Dirección (Address)**
  - Especifica dónde se puede ubicar algo/alguien.
  - Es independiente del origen.
- **Ruta (Route)**
  - Especifica cómo ubicar algo/alguien.
  - Es dependiente del origen y del destino.

Protocolo IP – Direccionamiento

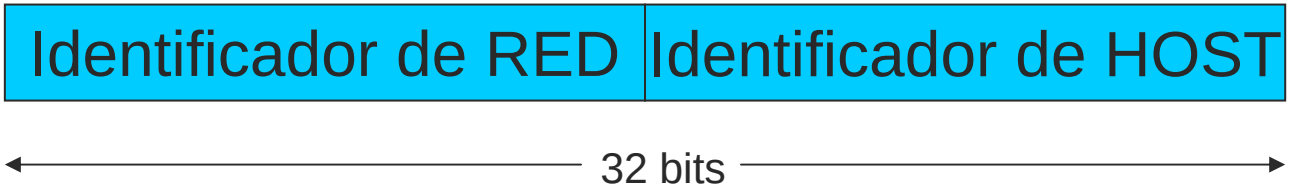
- **Niveles de Direccionamiento**
- **Nombre de Host (FQDN)**
  - www.unlu.edu.ar
  - pollito.tyr.unlu.edu.ar
- **Dirección IP**
  - 170.120. 44.12
  - 168.10. 44.240
- **Dirección física (de NIC)**
  - MAC Ethernet: 00:C4:06:13:4C:33

Protocolo IP – Direccionamiento

- **Direcciones IP (Versión 4)**
- **Direcciones de 32 bits (4 bytes)**
  - notadas con decimales separados por puntos,
  - por ej. 198.107.2.25

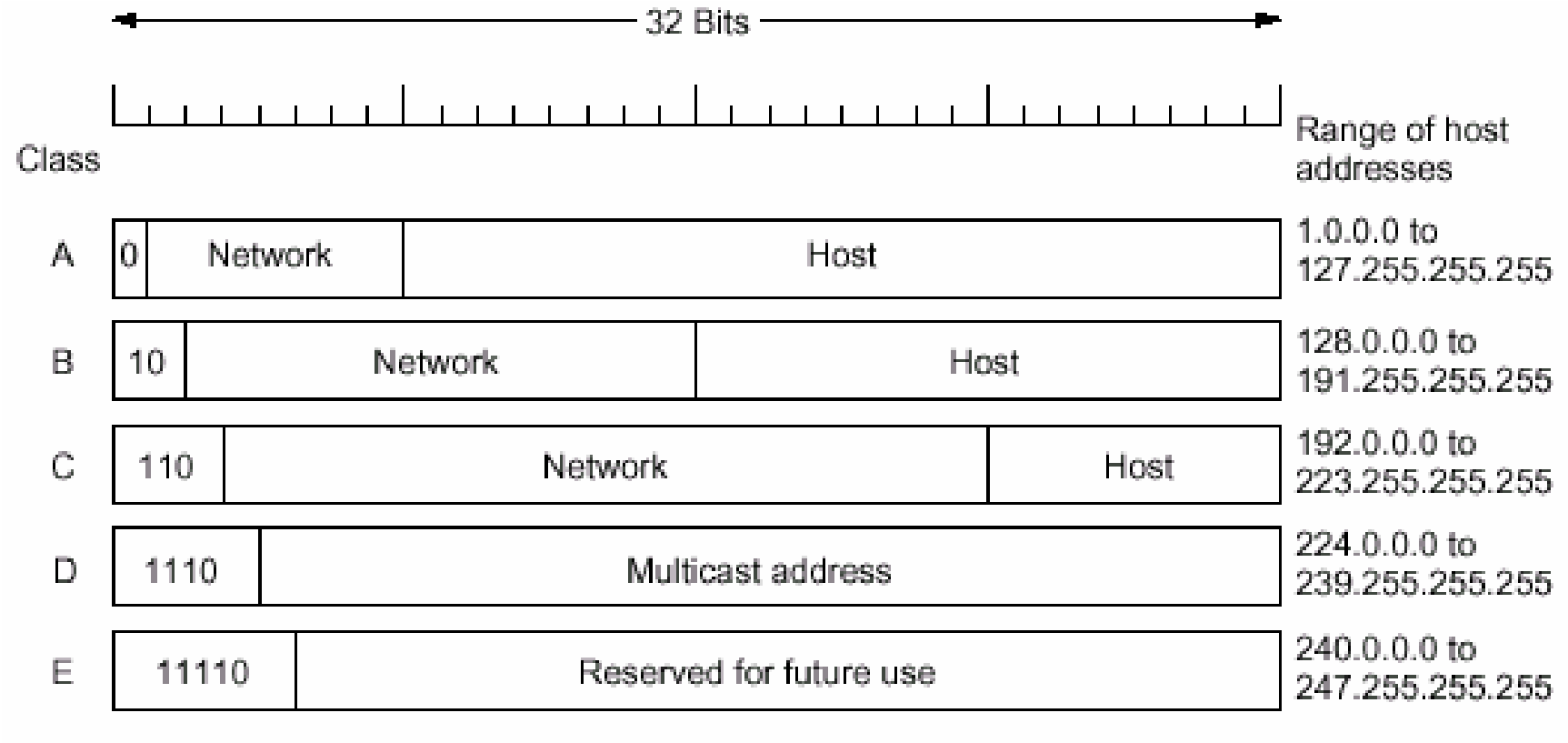


- **Dividida en dos partes**
  - identificador (dirección) de red (Información usada para ruteo)
  - identificador (dirección) de host (nodo específico dentro de una red)



Protocolo IP – Direccionamiento

Clases de Direcciones



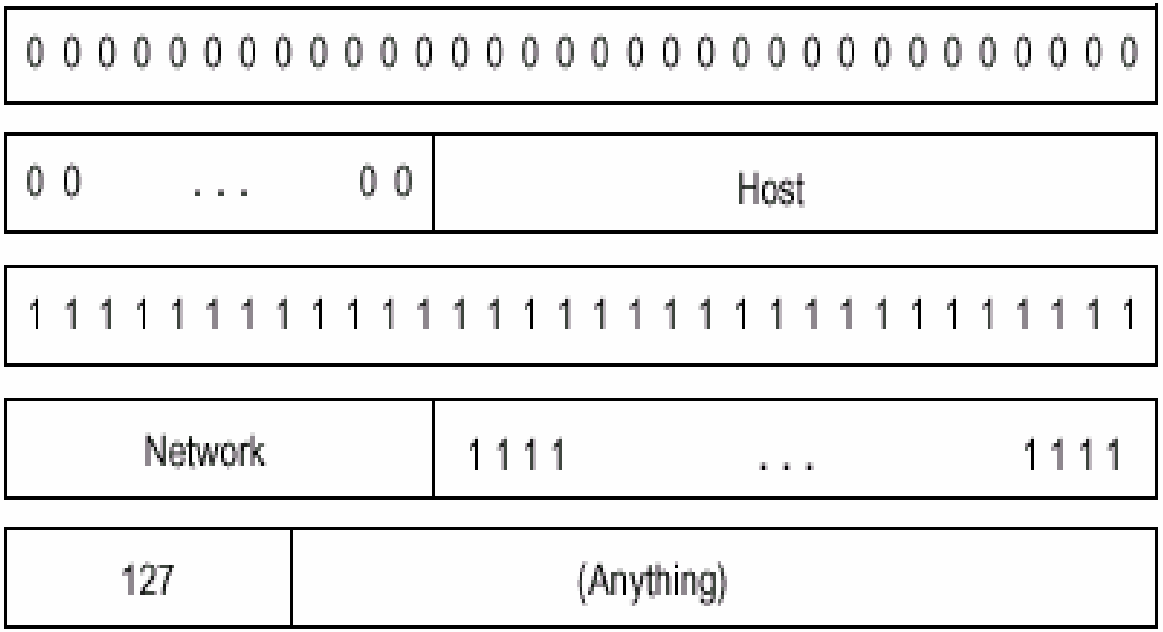
Protocolo IP – Direccionamiento

Espacio de Direcciones

Clase	Bits Iniciales	Bits Red	Bits Hosts	Espacio de Dir.	
A	0	7	24	2^24	16777216
B	10	14	16	2^16	65536
C	110	21	8	2^8	256
D	1110	28	-		
E	11110	27	-		

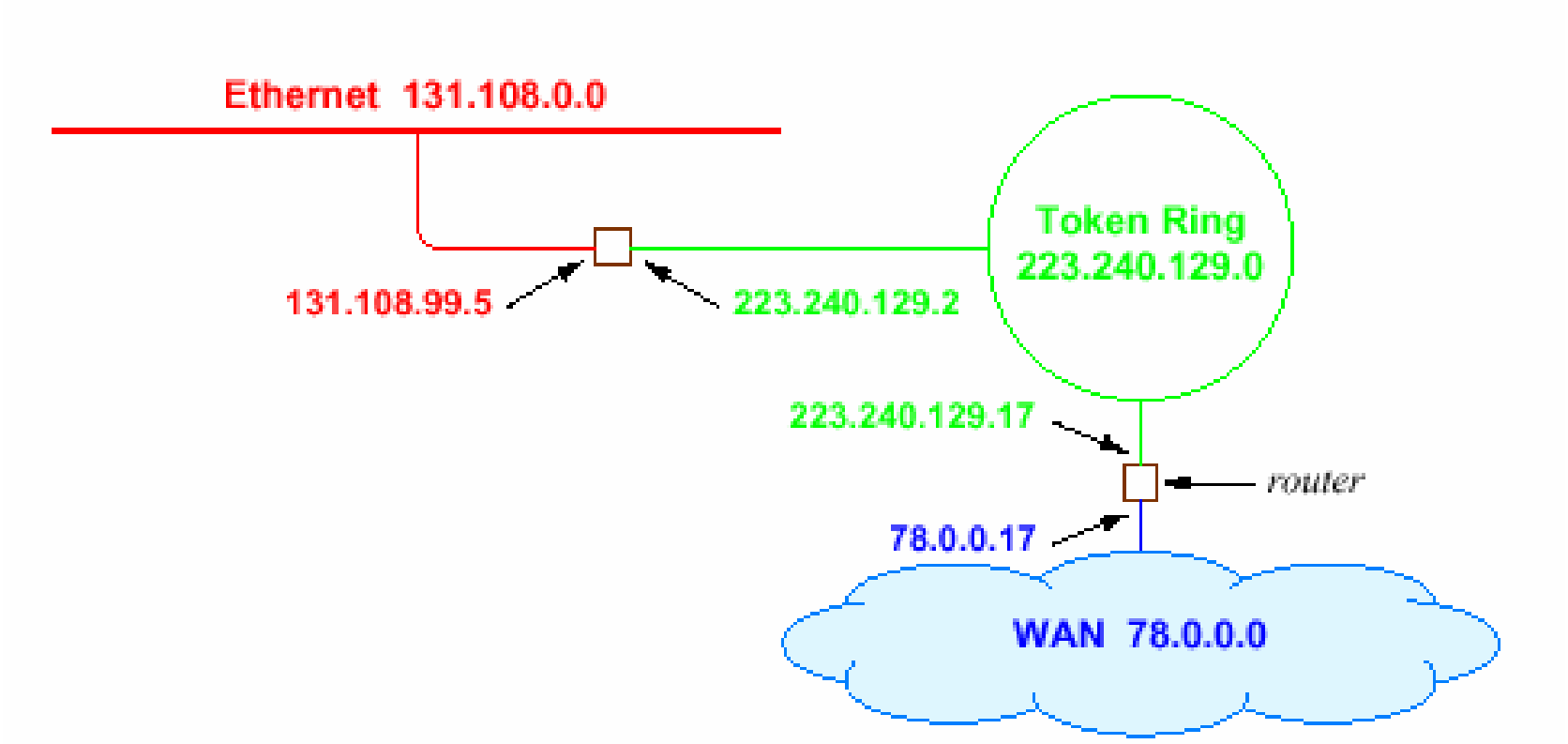
Protocolo IP – Direccionamiento

Direcciones Especiales



Protocolo IP – Direccionamiento

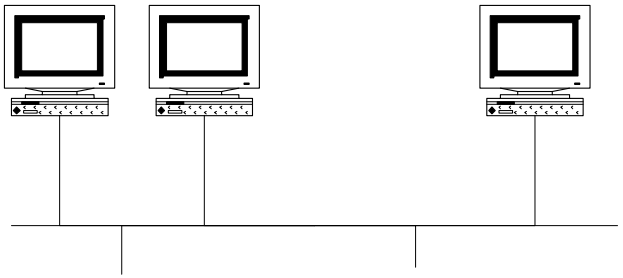
- Ejemplo



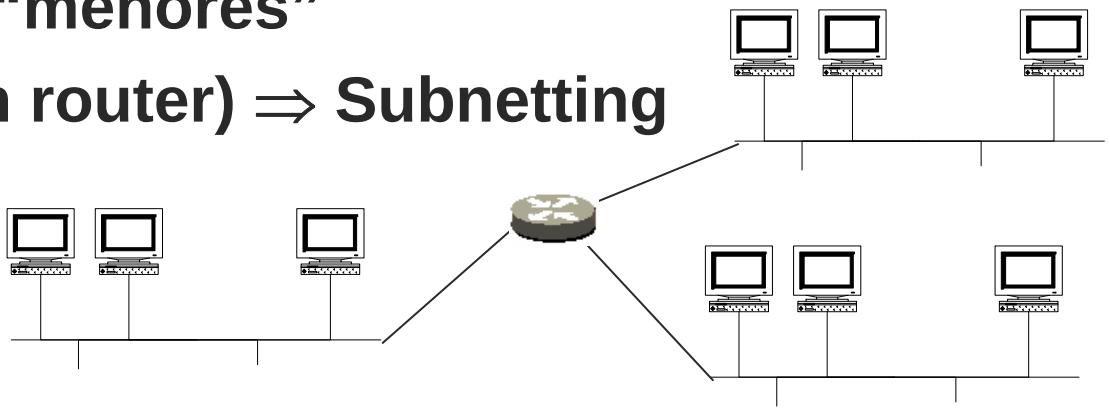
Protocolo IP – Direccionamiento

Algunos Problemas

- Redes (por ej.clase B “plana”) con un número muy grande de hosts
  - Administración?
  - Performance?
  - Espacio de direcciones limitado



- **División en redes “menores”**
- **(vinculadas por un router) ⇒ Subnetting**



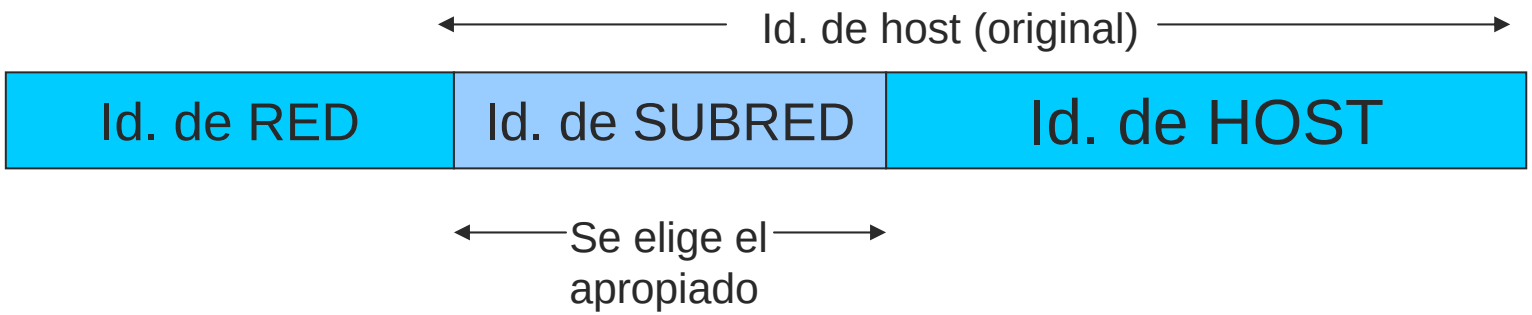
Protocolo IP – Direccionamiento

- **Subnetting**
  - Procedimiento descripto en el RFC 950
  - Permite dividir una red clase A, B ó C en subredes

- **Beneficios**
  - Permite una mejor distribución de direcciones ante la creciente demanda
  - Facilita el control del espacio de direcciones
  - Permite ocultar la estructura interna de la red
  - Reduce las tablas de rutas en routers

Protocolo IP – Subnetting

- **¿Cómo se asigna una subred?**
  - La dirección de host (original) se divide en dos



- Por ejemplo: la dirección clase B **160.102.0.0** puede ser dividida en subredes:
  - subred #1: **160.102.1.x** donde x es cada host
  - subred #2: **160.102.2.x** de la subred (1-254)

Protocolo IP – Subnetting

Máscara de Subred

- **Números de 32 bits** (notados en decimal separados por puntos)
  - indican qué parte de la dirección completa corresponde a red y (subred) y qué parte a host.
  - **Regla**: “Los bits en 1 cubren la porción de la dirección correspondiente a red y subred”

		red	subred	host
Dirección IP	130.5.5.25	10000010.00000101.	00000101.	00011001
Máscara	255.255.255.0	11111111.11111111.11111111.		00000000

- Una máscara de subred 255.255.255.0 para una dirección clase B la divide en 254 subredes 130.5.1.x a 130.5.244.x

Protocolo IP – Subnetting

- **Ejemplos**
- **Para una dirección clase B y máscara:**

255.255.0.0 (00000000. 00000000) ⇒ **0** subredes con **65534** hosts

255.255.192.0 (**11**000000. 00000000) ⇒ **2** subredes con **16382** hosts

255.255.255.0 (**11111111**. 00000000) ⇒ **254** subredes con **254** hosts

255.255.255.252 (**11111111**.**111111**00) ⇒ **16382** subredes con **2** hosts

- **Para una dirección clase C y máscara:**

255.255.255.0 (00000000) ⇒ **0** subredes con **254** hosts

255.255.255.224 (**111**00000) ⇒ **6** subredes con **30** hosts

255.255.255.240 (**1111**0000) ⇒ **14** subredes con **14** hosts

Protocolo IP – Subnetting

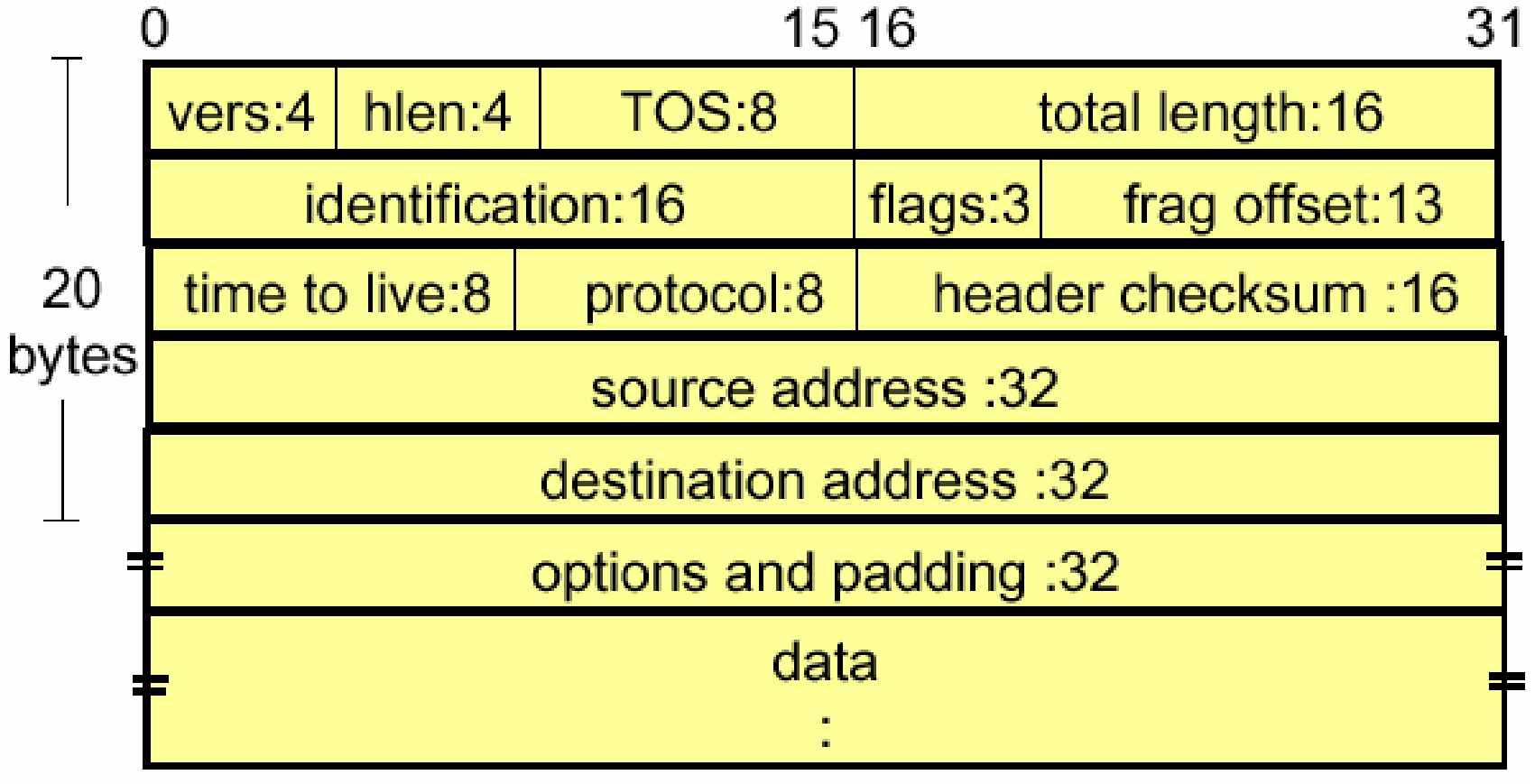
Ejemplos de Interpretación

Dirección IP	Máscara	
158.108.2.71	255.255.255.0	⇒ Host 71 de la subred 158.108.2.0
130.122.34.3	255.255.255.192	⇒ Host 3 de la subred 130.122.34.0
130.122.34.132	255.255.255.192	⇒ Host 4 de la subred 130.122.34.128
15.20.15.2	255.255.0.0	⇒ Host 15.2 de la subred 15.20.0.0

Protocolo IP – Subnetting

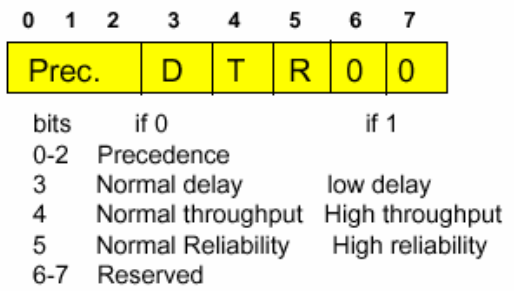
- **Tipos de Subnetting**
- **Estático**
  - Todas las subredes generadas utilizan la misma máscara de subred
    - Simple de implementar y mantener
    - No aprovecha el espacio de direcciones de la manera más óptima
- **De Máscara Variable (Variable Length Subnet Mask)**
  - Cada subred puede utilizar una máscara diferente
    - Un poco más complejo de implementar y mantener
    - Aprovecha el espacio de direcciones de la manera más óptima

Protocolo IP – Datagrama



Protocolo IP – Datagrama

- Hlen: Longitud de la cabecera, palabras de 32 bits (hlen = 5)
- TOS: Tipo de Servicio



- Total Length: Longitud total del datagrama (max. 64 kb, incluyendo header)
- Identification: ID del datagrama (usado en fragmentación/ensambado). OJO!, No es un número de secuencia.
- Flags: Banderas (usadas en fragmentación/ensambado)
- Frag.Offset: Desplazamiento del fragmento (fragment/ensamblado)
- Time to Live: Cantidad máxima de saltos
- Protocol: Código de protocolo de nivel superior (TCP=6)
- Header checksum: Checksum de la cabecera
- Options: Opciones (Source routing, record route)

Protocolo IP

Fragmentación y Ensamblado

- Cada red define su MTU (Ethernet: 1500 bytes, FDDI: 4500 bytes)
- Estrategia => Fragmentar cuando sea necesario (Datagrama > MTU)
- Los fragmentos son datagramas completos
- Fragmentan los sistemas intermedios
- Ensambla el sistema final
- Re-fragmentación es posible
- Banderas

R	| DF	| MF
Reservada	**0 – Puedo fragmentar**	**0 – Último fragmento**
	1 – No puedo fragmentar	**1 – Hay más fragmentos**

- Offset: Distancia del fragmento desde el comienzo del datagrama original, medida en unidades de octetos.

Protocolo IP

- **Fragmentación y Ensamblado**
- **Ejemplo:** **Datagrama de 1600 bytes (20 bytes header + 1400 bytes data). ID: 327**

3 fragmentos

- **Fragmento #1: 20 bytes header + 600 bytes data. ID: 327, Offset =0, MF=1**
- **Fragmento #2: 20 bytes header + 600 bytes data. ID: 327, Offset =75 (600/8), MF=1**
- **Fragmento #3: 20 bytes header + 600 bytes data. ID: 327, Offset =150 (1200/8), MF=0**

Problemas

- El reensamblado es un proceso relativamente costoso
- El destino no sabe cuántos fragmentos forman el datagrama original (buffer por si es de tamaño máximo)
- Si se pierde un fragmento no es posible recuperarse del error (Se genera un mensaje ICMP)

Protocolo ICMP

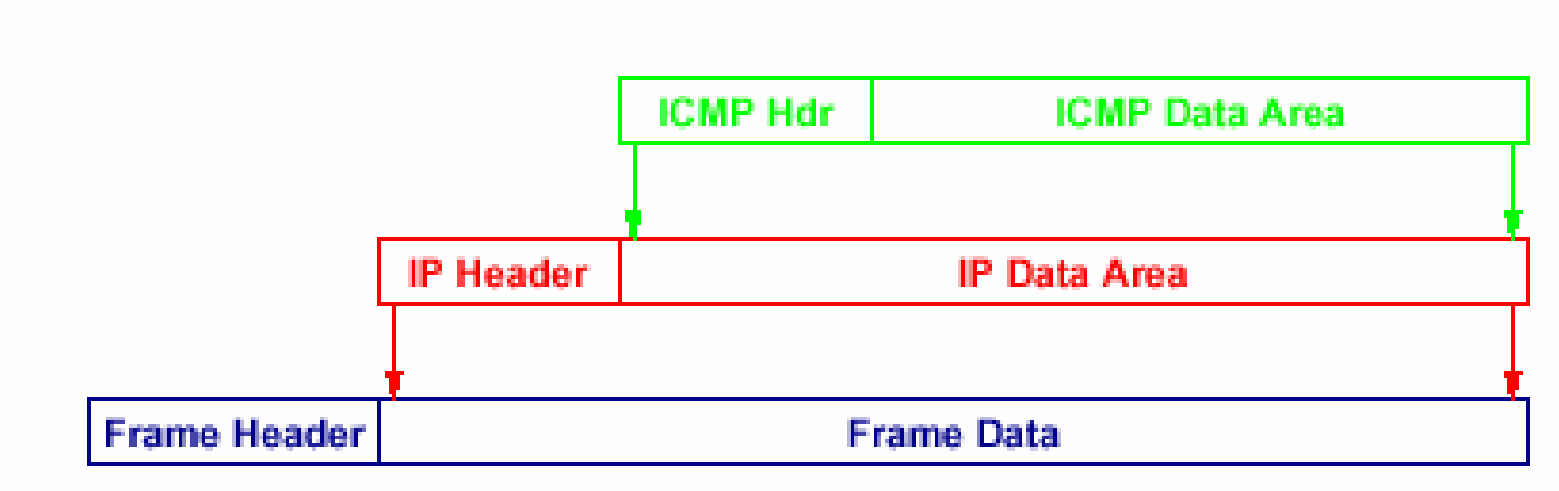
- IP es un protocolo de “Mejor esfuerzo”, por los tanto no se puede recuperar de situaciones de error.

- Puede detectar:
  - Bit corruptos
  - Direcciones ilegales
  - Loops en rutas
  - Pérdida de fragmentos

- Se auxilia del protocolo ICMP para reportar errores (Por ejemplo: ttl excedido, destino no alcanzable) e información de la red (ping, traceroute) al origen de un mensaje IP (sin embargo, NUNCA se generan mensajes ICMP por errores producidos por otro mensajes

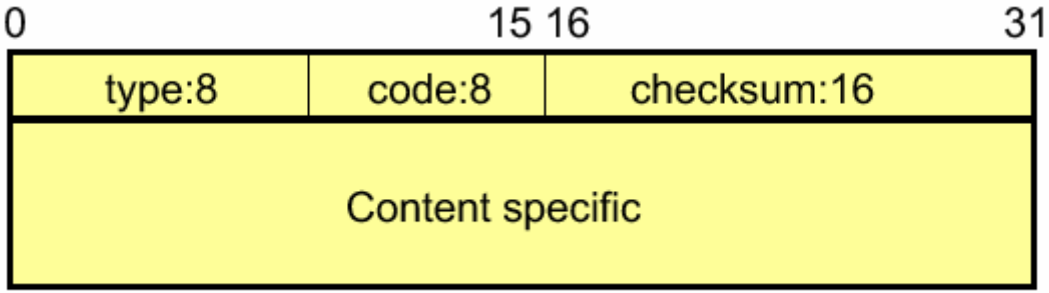
Protocolo ICMP

- Un mensaje ICMP se encapsula dentro de un datagrama IP.



Protocolo ICMP

Estructura de Datos



- type: Tipo de mensaje
- code: código de mensaje (información con más detalle)
- content: contenido específico
- Ejemplos:
  - type = 8, echo request y type = 0, echo reply (Utilizados en ping)
  - type = 3, destination unreachable (red o un host no se puede alcanzar)
  - type = 5, route change request (ICMP Redirect)
  - type = 11, Time Exceeded (TTL llegó a cero)

Protocolo ICMP

Ping

- Herramienta de depuración
- Información de RTT (Variación de la latencia entre origen y destino)
- Destino alcanzable (ruteable)
- La pila de protocolos es funcional
- Pérdida de paquetes
- Salida

```
tolosoft@s10:~$ ping www.google.com
PING www.google.akadns.net (64.233.171.104): 56 data bytes
64 bytes from 64.233.171.104: icmp_seq=0 ttl=236 time=205.0 ms
64 bytes from 64.233.171.104: icmp_seq=1 ttl=237 time=174.8 ms
64 bytes from 64.233.171.104: icmp_seq=2 ttl=238 time=201.7 ms
64 bytes from 64.233.171.104: icmp_seq=3 ttl=237 time=203.7 ms
64 bytes from 64.233.171.104: icmp_seq=4 ttl=239 time=196.7 ms
--- www.google.akadns.net ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max = 174.8/196.3/205.0 ms
```

Protocolo ICMP

Traceroute

- Determina la ruta activa a un destino. ¿Cómo? Utilizando mensajes ICMP.
- Se envía un mensaje a un puerto UDP no utilizado en destino con TTL = 1
- El primer router en la ruta decrementa el TTL, descarta el mensaje y retorna un mensaje ICMP Time Exceeded (con la info del router que lo descartó)
- Luego, se incrementa el TTL y se retransmite (un salto más)
- TTL++ hasta que el mensaje llega a destino
- El destino retorna un mensaje ICMP Service Unavailable
- Fin de la traza (para mejor comprensión, realice y analice una captura)

Protocolo ICMP

Traceroute

- Salida

```
tolosoft@s10:~$ traceroute www.google.com
Traza a la dirección www.google.akadns.net [64.233.161.104] máx de 30 saltos:
 1   <10 ms   <10 ms   <10 ms  s10.ch.unlu.edu.ar [192.168.1.1]
 2     *       10 ms    10 ms  10.10.10.1
 3    10 ms    10 ms    10 ms  int-200-68-249-129.bellsouth.net.ar [200.68.249.129]
 4   421 ms    60 ms     *     172.30.249.221
 5    30 ms    30 ms    10 ms  172.30.67.253
 6   260 ms   171 ms   170 ms  at-5-0-0-3596.ipa1.Atlanta1.Level3.net[166.90.192.9]
 7   160 ms   170 ms   161 ms  ge-5-0-8.hsa2.Atlanta1.Level3.net [209.244.24.102]
 8   161 ms   160 ms   160 ms  ge-6-0-1.bbr1.Atlanta1.Level3.net [64.159.1.253]
 9   180 ms     *        *     as-2-0.bbr1.Washington1.Level3.net [64.159.1.2]
10   200 ms   231 ms   190 ms  ge-7-2.ipcolo2.Washington1.Level3.net [4.68.121.140]
11   170 ms   370 ms   171 ms  unknown.Level3.net [166.90.148.174]
12   170 ms   201 ms   170 ms  216.239.47.158
13   200 ms   180 ms   271 ms  216.239.49.214
14   281 ms   180 ms   180 ms  64.233.161.104
```

Protocolo IP – Encaminamiento

¿Qué es el encaminamiento o ruteo?

- El ruteo es un proceso de elección de un camino por el cual enviar un datagrama a partir de información contenida en una tabla (tabla de rutas) y de verificar el prefijo de red de la dirección IP del destinatario. El ruteo ocurre en capa 3 y lo realiza el protocolo IP.
- Todos los dispositivos IP realizan ruteo pero:
- Un host (o multihomed host) solo puede rutear datagramas propios
- Un ruteador puede rutear datagramas propios y de terceros (históricamente llamados gateways

Concepto fundamental: *"La dirección IP destino en un datagrama simpre se refiere al último destino (final). Cuando un dispositivo entrega un datagrama a otro (próximo salto), esta dirección no forma parte del destinatario en el datagrama"*

Protocolo IP – Encaminamiento

Tablas de Rutas

- Contienen información acerca de próximos saltos en una ruta (es decir, a dónde enviar un datagrama)

```
s10:~# route
Kernel IP routing table
Destination     Gateway         Genmask         Flags Metric Ref    Use Iface
192.168.3.0     *               255.255.255.0   U     0      0        0 eth2
192.168.2.0     *               255.255.255.0   U     0      0        0 eth1
192.168.1.0     *               255.255.255.0   U     0      0        0 eth1
10.10.10.0      *               255.255.255.0   U     0      0        0 eth0
default         10.10.10.1      0.0.0.0         UG    0      0        0 eth0
```

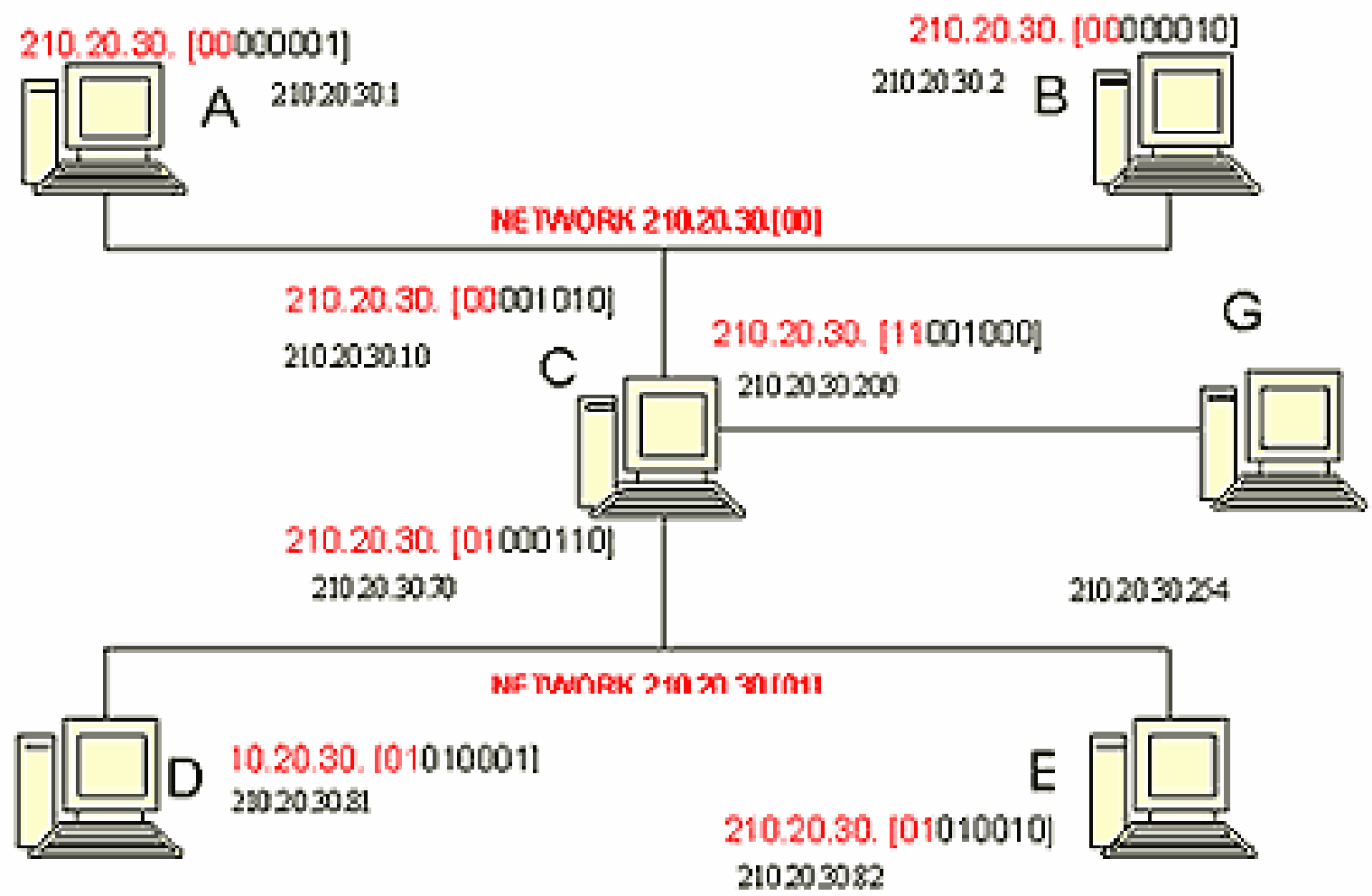
Protocolo IP – Encaminamiento

- **Las tablas de rutas se completan:**
  - A mano – rutas estáticas
  - route add –net 200.10.15.0 netmask 255.255.255.0 gw 170.210.96.99 eth2
  - Protocolos de ruteo – rutas dinámicas (RIP, OSPF)
  - Por mensajes ICMP redirect

- **IP busca tablas de rutas por:**
  - la dirección del host destino
  - la dirección de la red destino
  - una entrada por defecto (default gateway)

(si existe más de una ruta para el mismo destino, se evalúa la métrica para comparar las rutas. Pueden expresar distancia, throughput, retardo, error rate, costo)

Protocolo IP – Encaminamiento



Protocolo IP – Encaminamiento

- **Encaminamiento**
  - Todos los dispositivos IP rutean (Host < > Router)
- **Entrega directa**
  - El destinatario del mensaje se encuentra dentro de la misma red que el emisor, entonces se debe enviar el datagrama (en una PDU de enlace) directamente al destinatario. En el ejemplo anterior, si el equipo A (210.20.30.1) quiere enviar un mensaje al equipo B (210.20.30.2), realiza Entrega Directa
- **Entrega indirecta**
  - El destinatario del mensaje no se encuentra dentro de la misma red que el emisor, entonces se debe enviar el datagrama (en una PDU de enlace) al gateway. En el ejemplo anterior, si el equipo A (210.20.30.1) quiere enviar un mensaje al equipo E (210.20.30.82), realiza Entrega Indirecta a través de C