



IP (Internet Protocol)

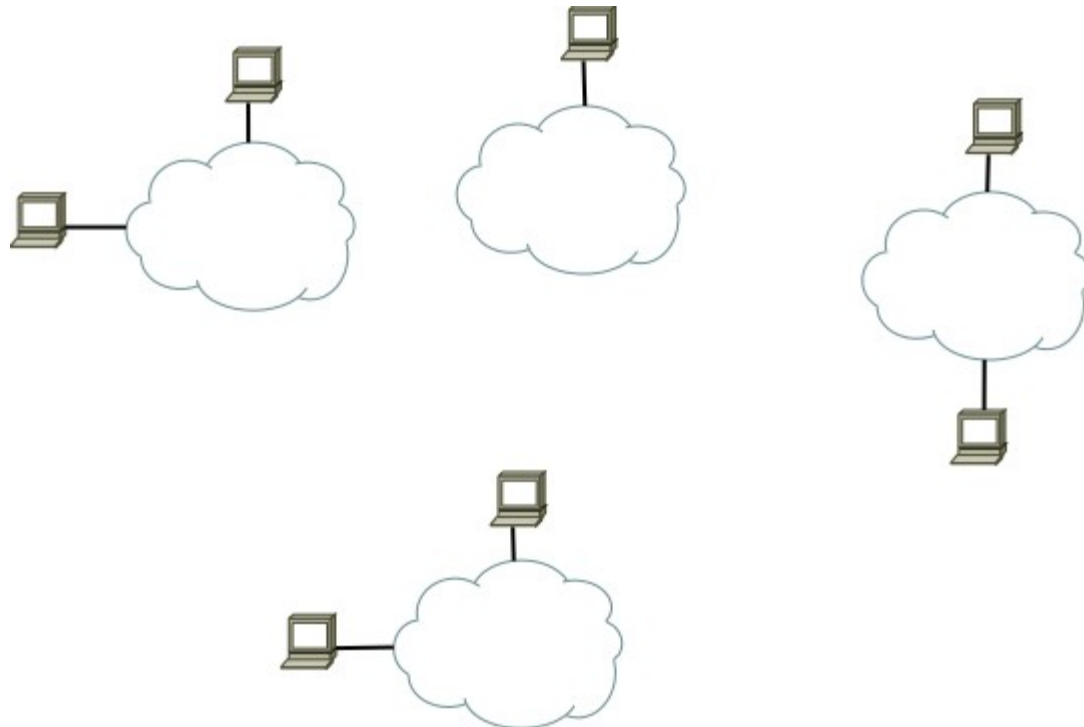


Contenido

- Introducción
- Direccionamiento IP
- Protocolo IP, estructura del mensaje
- Ruteo Estático IP
- Fragmentación

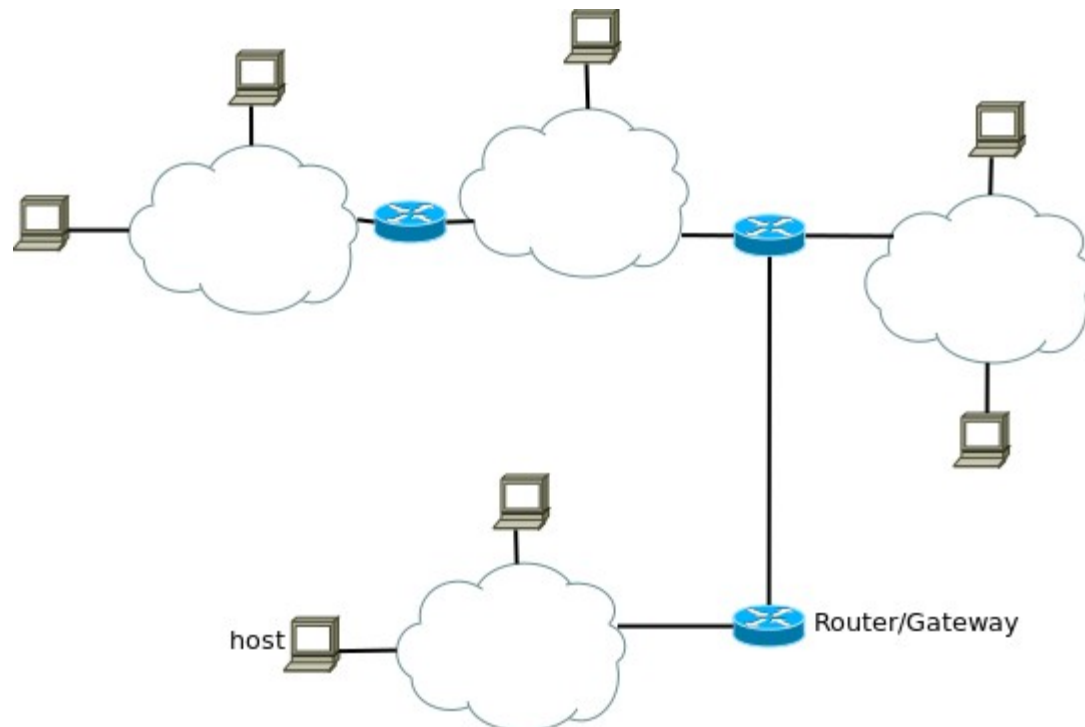
Estructura de Internet

- Conjunto de redes



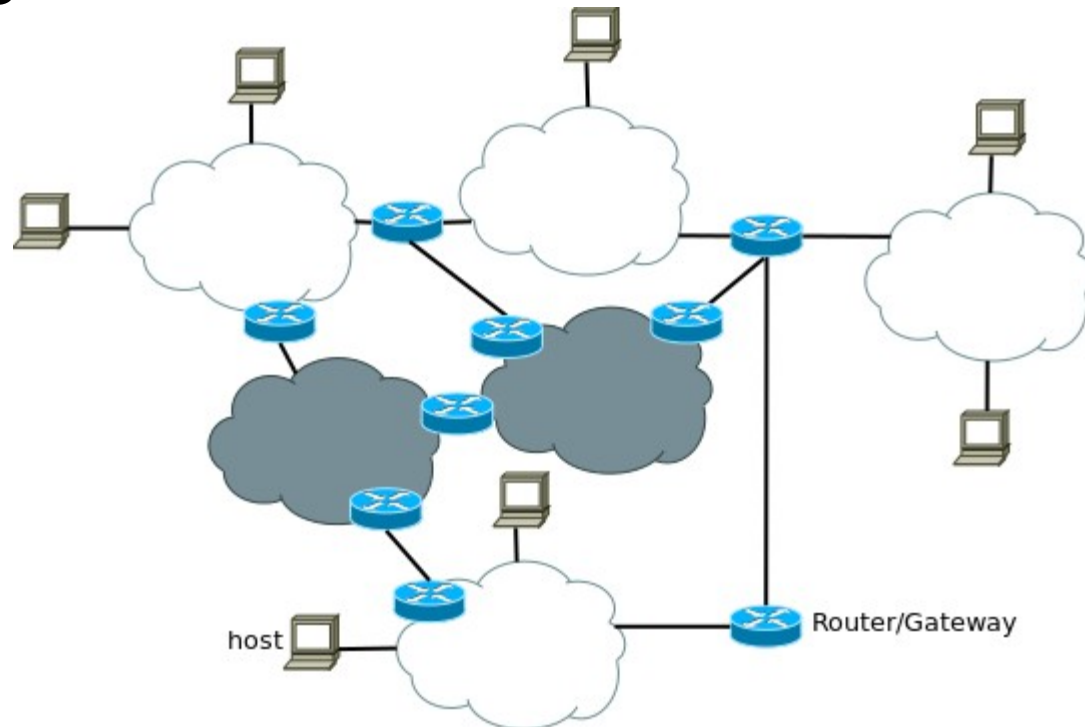
Estructura de Internet

- Conjunto de redes interconectadas



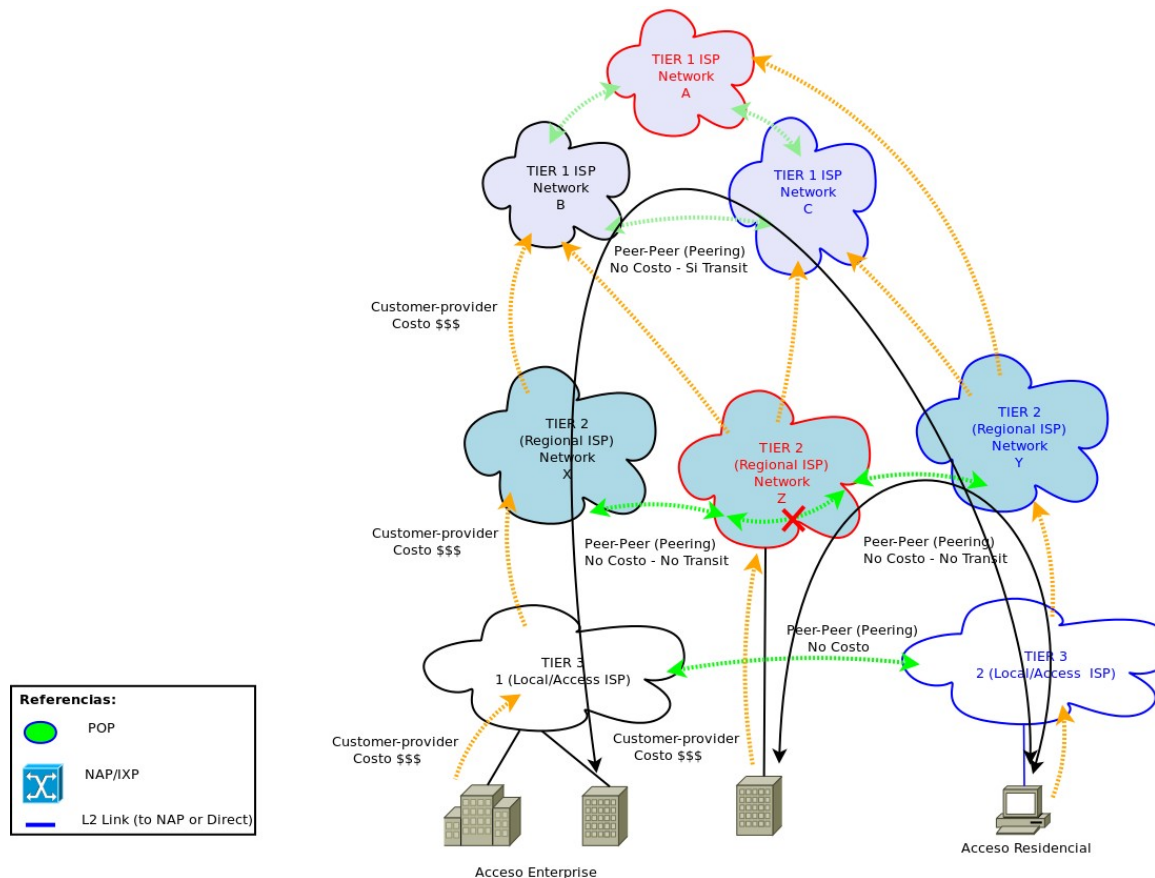
Estructura de Internet

- Conjunto de redes interconectadas y agregadas
- Red de redes
 - Acceso
 - Carrier/
Transporte
- Protocolo común: IP



Estructura de Internet

- Conjunto de redes interconectadas y agregadas de forma “jerárquica”



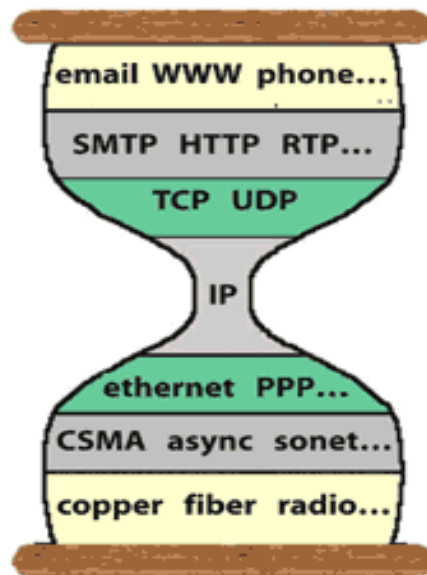


Estructura de Internet

- Net Neutrality (Neutralidad de la Red)
 - Tratamiento de todo el tráfico de forma equivalente por redes de ISP y carriers.
- Open Internet (Internet abierta)
- Accesibilidad de Internet.

Modelo de Internet

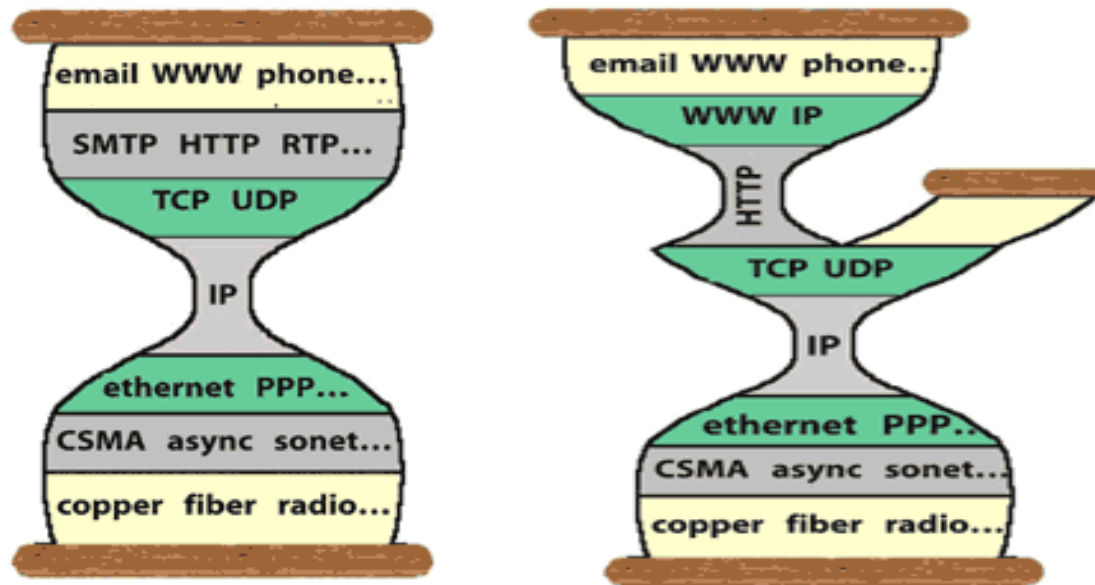
- Modelo de reloj de arena:



Fuente: <http://isoc.org/wp/ietfjournal/?p=454>

Modelo de Internet

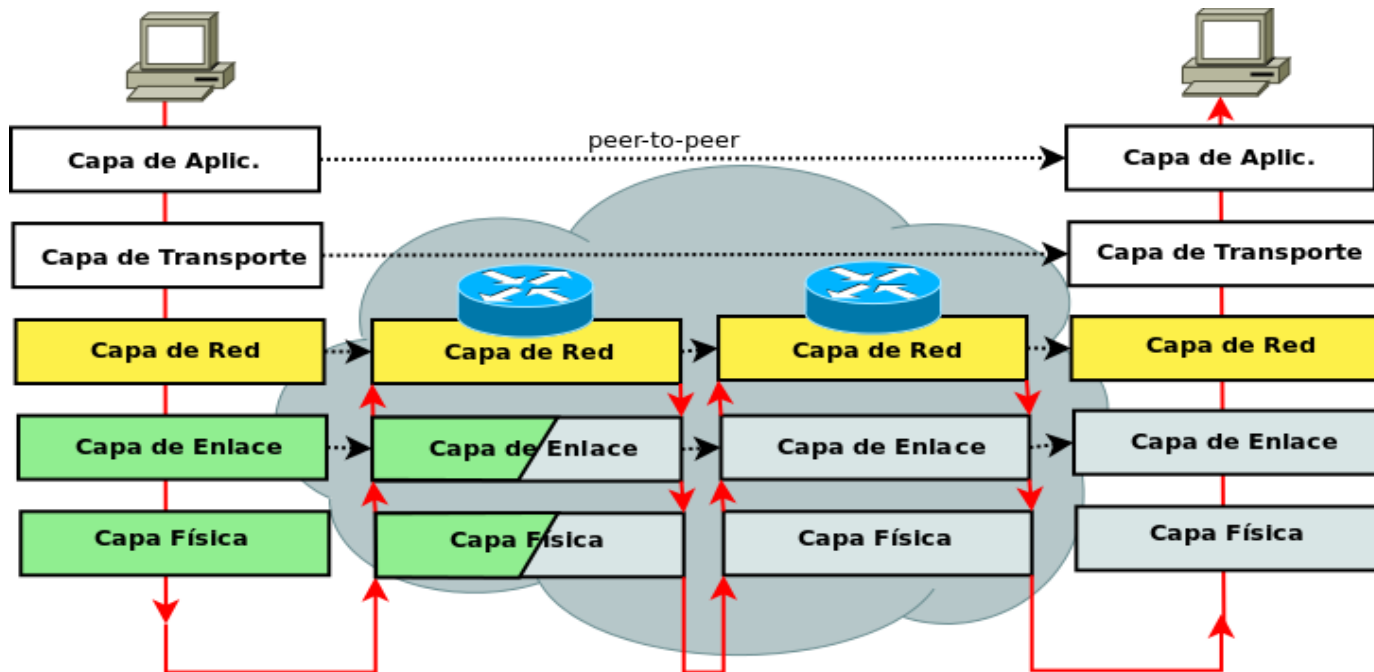
- Modelo de reloj de arena actual ?



Fuente: <http://isoc.org/wp/ietfjournal/?p=454>

Cómo trabaja IP

- End-to-End (Extremo-a-extremo)
- Ruteo se produce hop-by-hop (salto-a-salto)
- Cada nodo debe implementar IP





Protocolos IP actuales

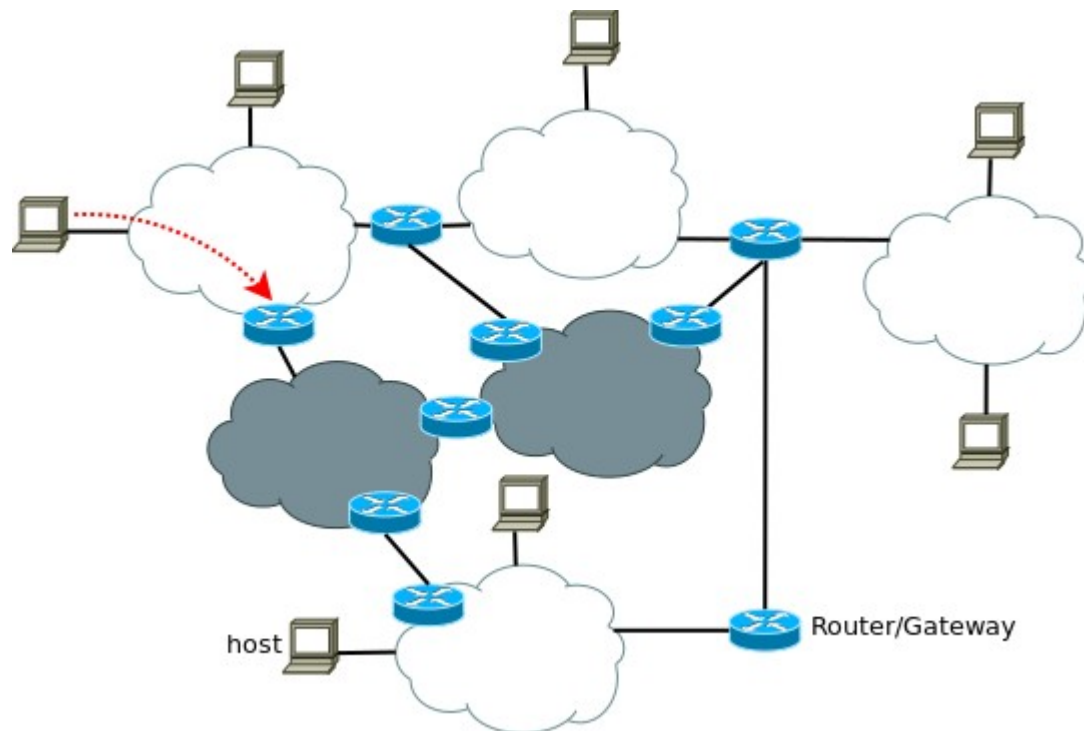
- Brinda servicios a Transporte.
- Usa servicios de Enlace.
- **IPv4**, comúnmente llamado IP.
- IPv6 llamado antiguamente IP-ng.
- No son versiones de uno mismo, no son compatibles.
- En este texto se comenzará a estudiar IPv4.

Características de IPv4

- Protocolo de Red no orientado a conexión.
- Protocolo de Mejor Esfuerzo: best-effort, no confiable (no asegura el arribo de los mensajes).
- PDU: datagrama o paquete.
- Definido RFC 791 (STD-5).
- Funcionalidad:
 - Direccionamiento.
 - Ruteo/Forwarding/Switching L3.
 - Mux/Demux de protocolos superiores.
 - Accesorias (Solucionar deficiencias del protocolo)
 - Fragmentación.
 - Otras: como evitar loops (TTL), detección de errores.

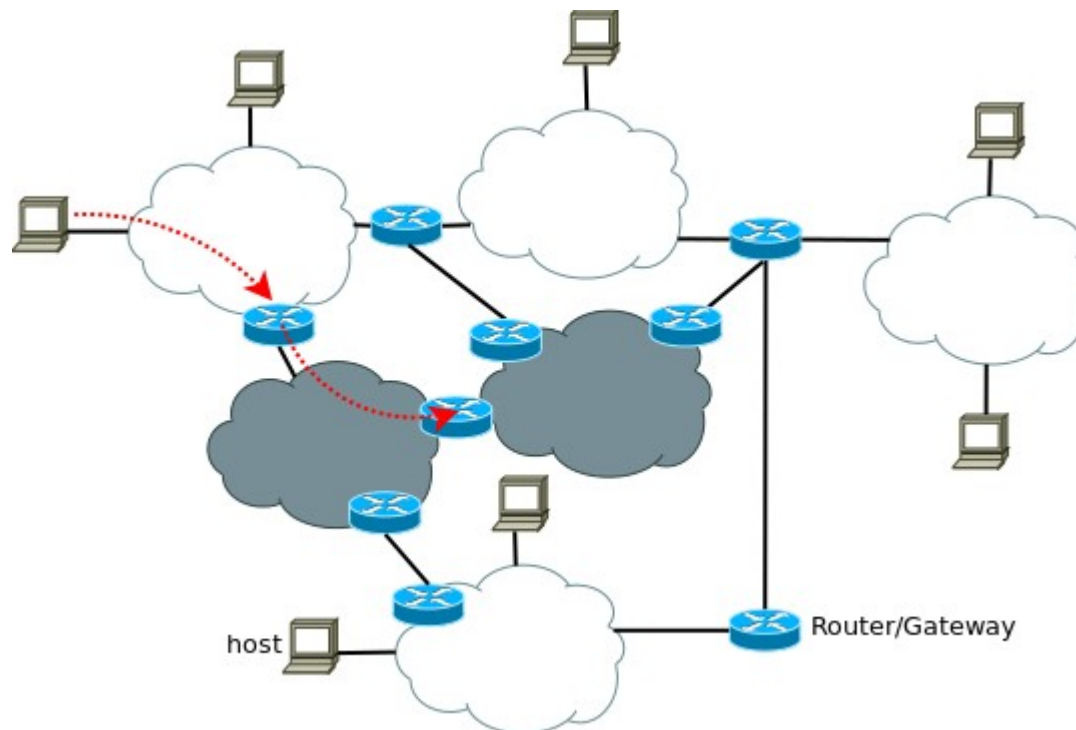
No orientado a conexión

- Protocolo de Red no orientado a conexión a diferencia de TCP u otros protocolos considerados de red X.25, ATM.



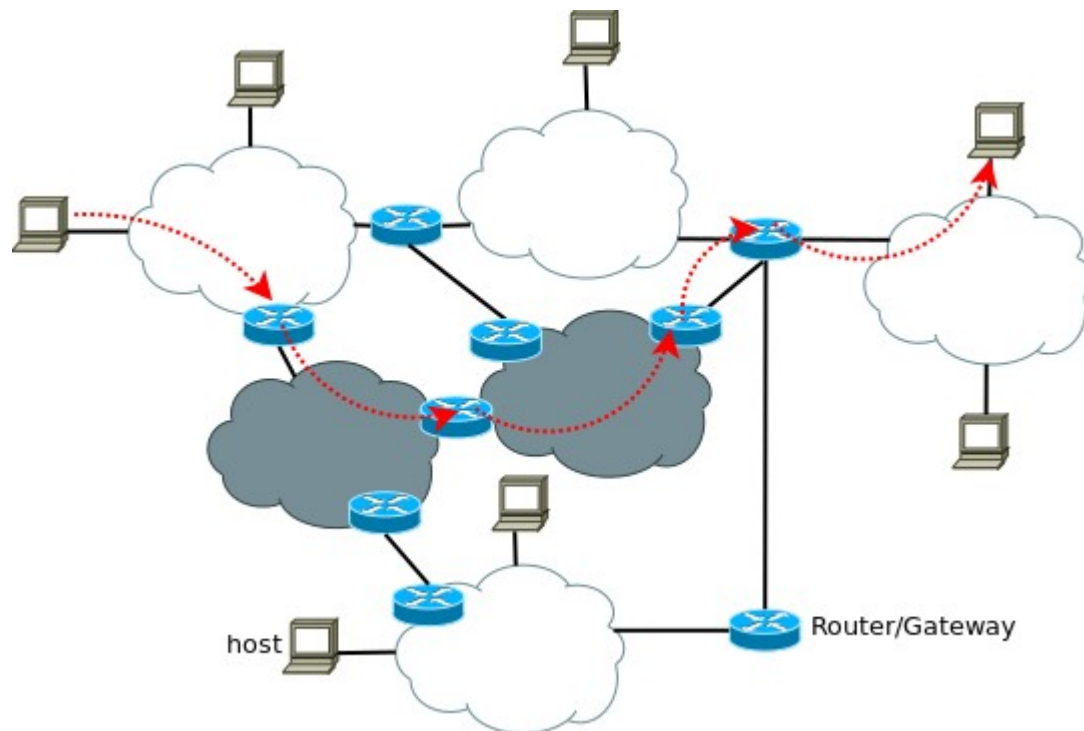
No orientado a conexión

- Protocolo de Red no orientado a conexión a diferencia de TCP u otros protocolos considerados de red X.25, ATM.



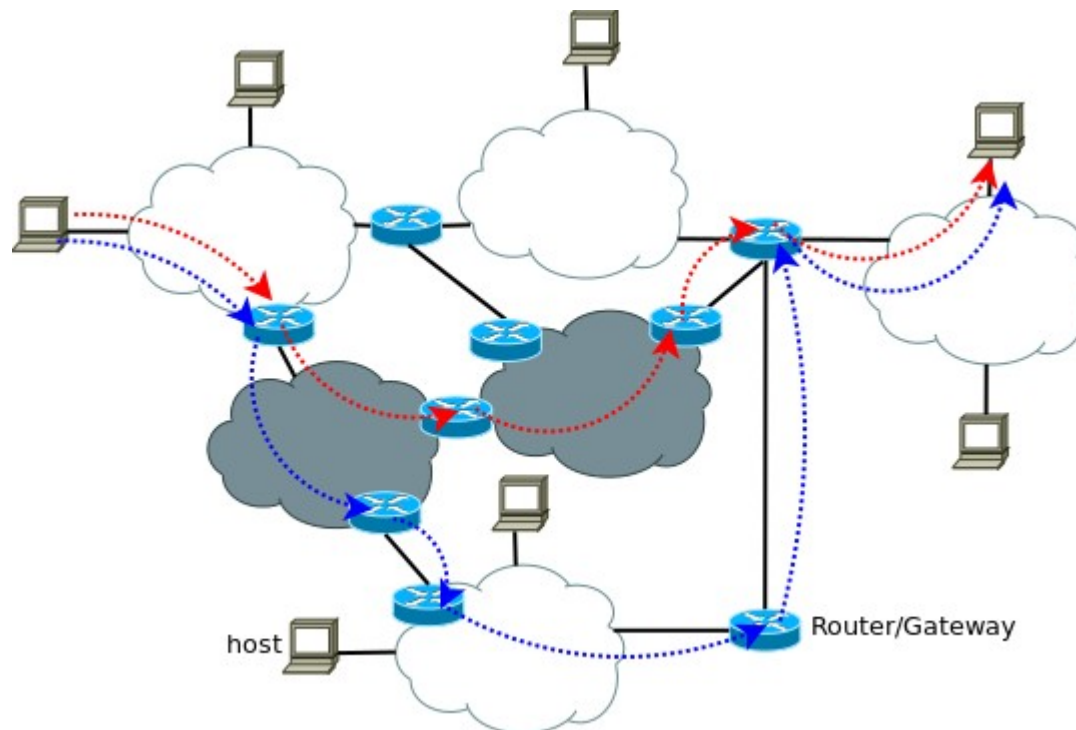
No orientado a conexión

- Protocolo de Red no orientado a conexión a diferencia de TCP u otros protocolos considerados de red X.25, ATM.



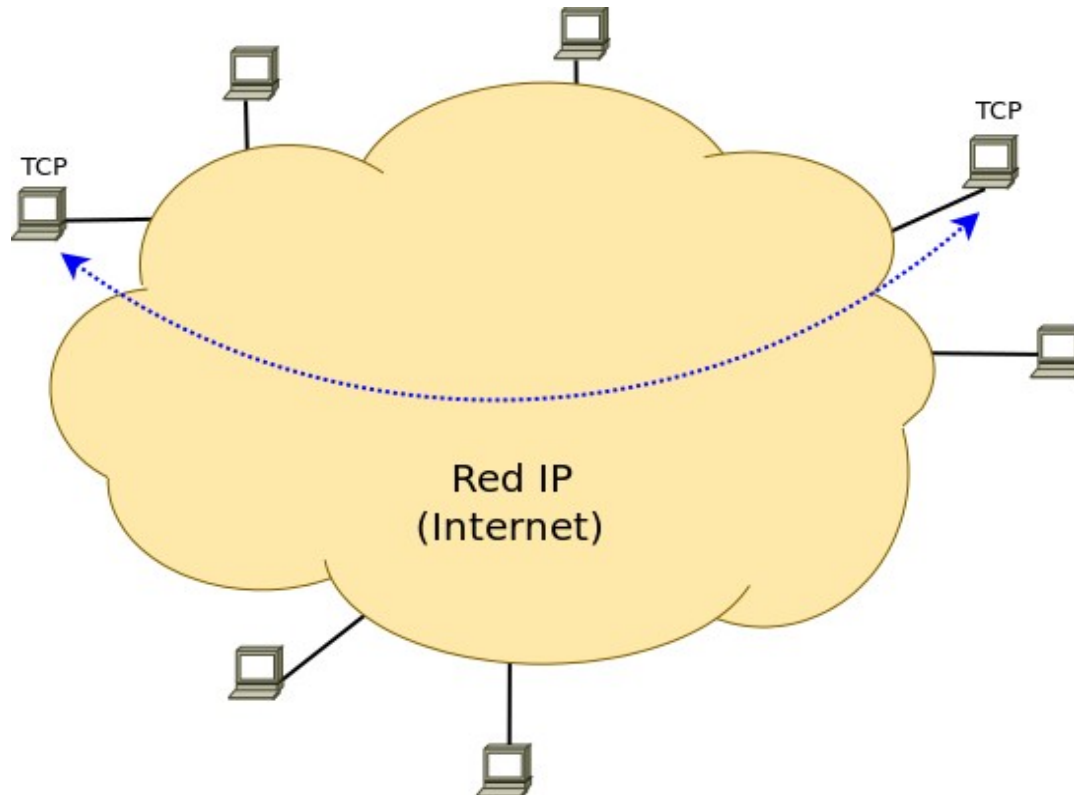
No orientado a conexión

- Protocolo de Red no orientado a conexión a diferencia de TCP u otros protocolos considerados de red X.25, ATM.



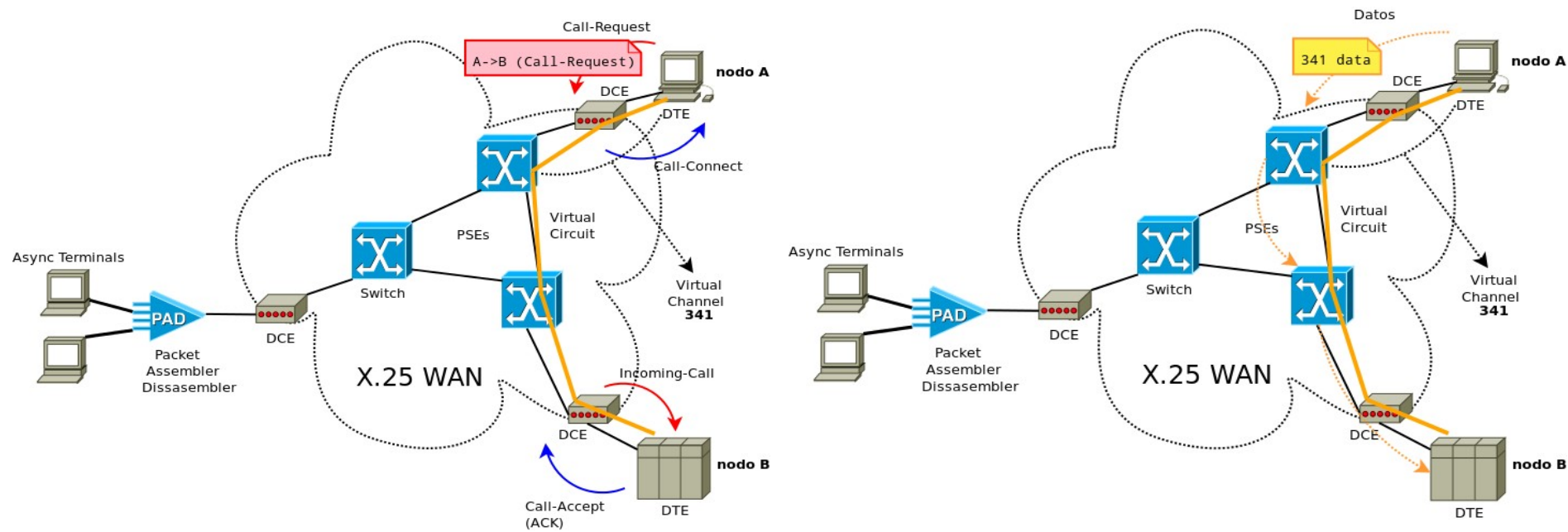
No orientado a conexión

- Protocolo de Red no orientado a conexión a diferencia de TCP u otros protocolos considerados de red X.25, ATM.

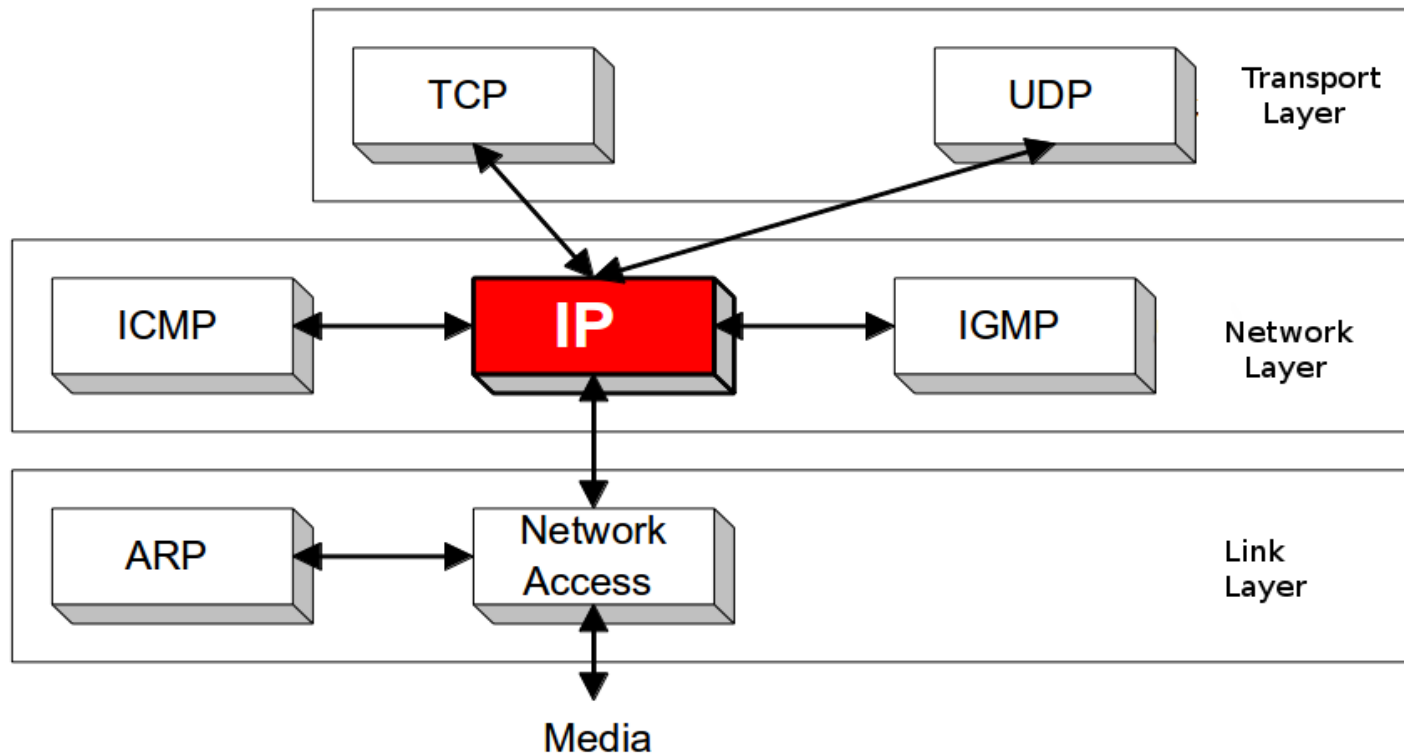


Versus orientado a conexión

- X.25, ATM usan Virtual Circuits (VC)



Esquema de IP en TCP/IP



- Es el núcleo de la Internet.
- Requiere protocolos “Helpers”.

Direccionamiento IP

Dir IP: identifica unívocamente un punto de acceso (interfaz) a la red.

- Un router o un host multi-homed tienen varias IPs. Cada interfaz un valor único. Puede tener varias Dir. IP una interfaz.
- Tienen un significado global en la Internet o privado (local).
- Globales: asignadas por autoridad central:
 - Principio: John Postel, InterNIC (Internet Network Information Center).
 - Hoy: el IANA (Internet Assigned Numbers Authority), responsable, el ICANN, delegando la asignación a los RIRs (Regional Internet. Registers), siendo para América Latina y parte del Caribe: LACNIC.

Direcciones IP

- Son números de 32 bits, expresados en notación decimal delimitada por puntos byte a byte (e.g. 163.10.45.77).
- Son 4G de direcciones (2^{32}) puras, que organizadas en forma jerárquica se reducen.
- Para facilidad de los usuarios, mapping con nombres de domino (DNS - Domain Name Server).
- Son necesarias para rutear la información por la Internet.
- Son direcciones lógicas.

Direcciones IP

- Codificadas en dos partes:
 - Red (Net).
 - Anfitrión (Host).

net. prefix	Hostid			
4	.16.4.21			
00000100	00010000	00000100	00010101	

- Hasta 1981, solo había pocas redes con mucho hosts disponibles. Sin clases. Redes 8 bits. (1979 RFC-758).
- En 1981: RFC-790 define **clases**.

Direcciones IP

- Cada Clase para diferentes tipos de redes:
 - Clases A, pocas redes grandes.
 - Clases B, más redes medianas.
 - Clases C, muchas redes chicas.

network prefix		Hostid	
172.16.		.4.21	
10101100	00010000	00000100	00010101

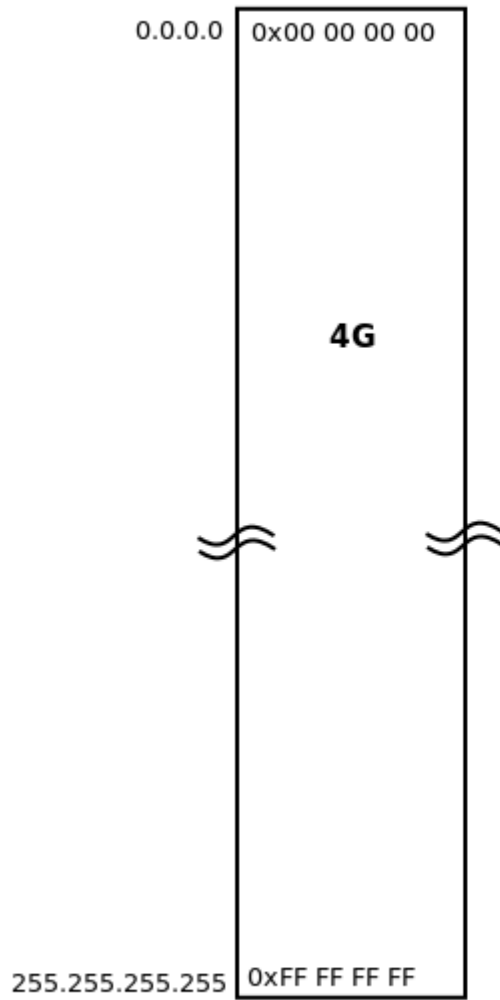
- En 1984 se agrega una tercer parte, **subred** y se requiere un máscara: RFC-917.

Clases de Direcciones IP

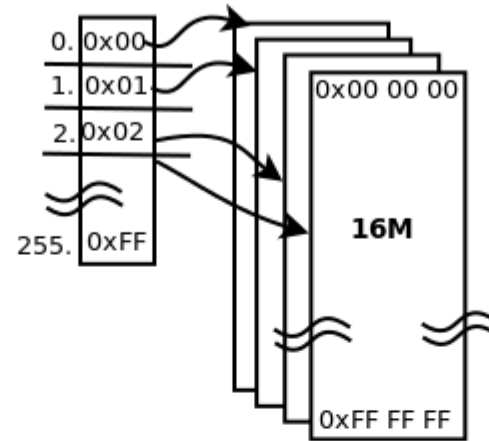
Class	First Octet Range	Max Hosts	Format
A	1-126	16M	<p>1 Octet 3 Octets</p>
B	128-191	64K	<p>2 Octets 2 Octets</p>
C	192-223	254	<p>3 Octets 1 Octet</p>
D	224-239	N/A	<p>Multicast Address</p>
E	240-255	N/A	<p>Experimental</p>

- Definidas en , RFC-790 (Assigned Numbers), RFC-796 (Address mapping).

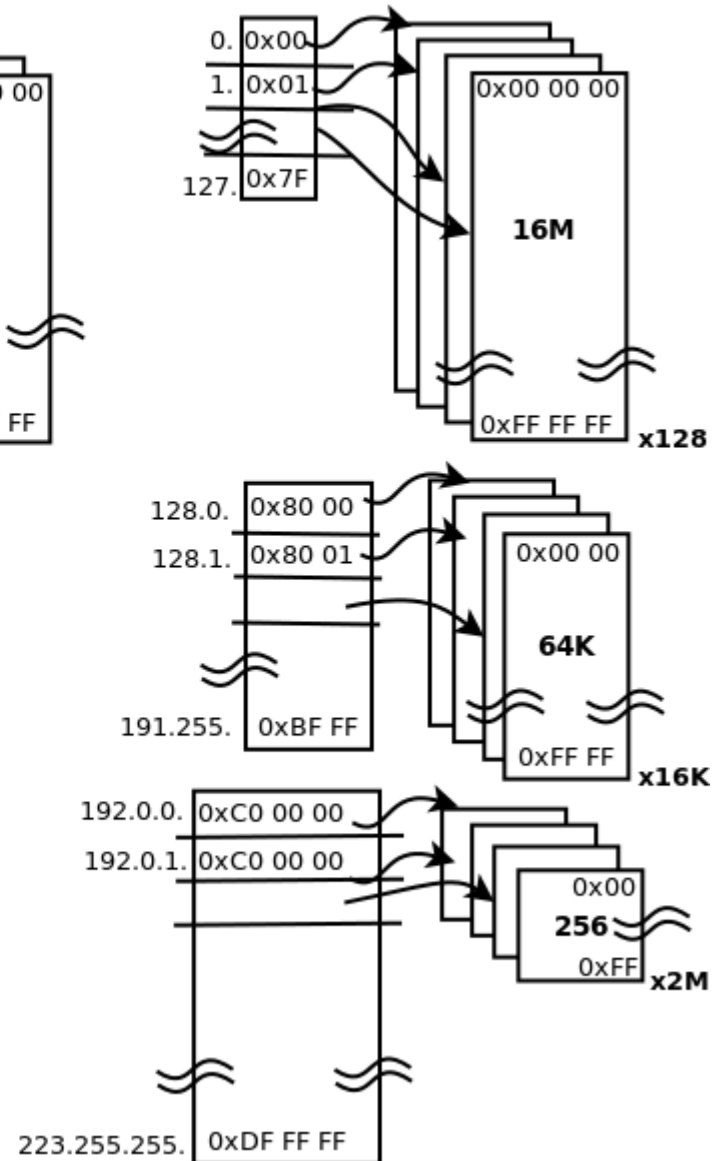
Esquema Plano



Esquema Jerárquico
1 sola clase



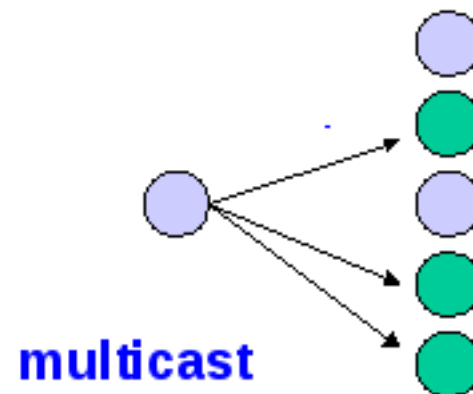
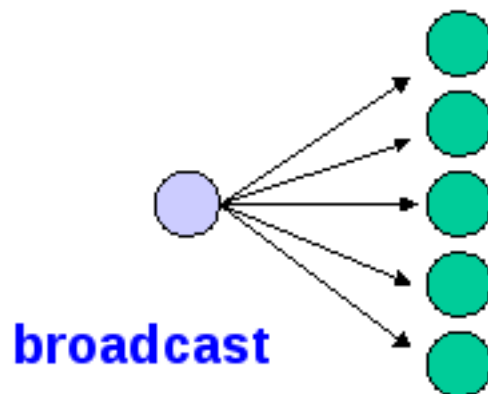
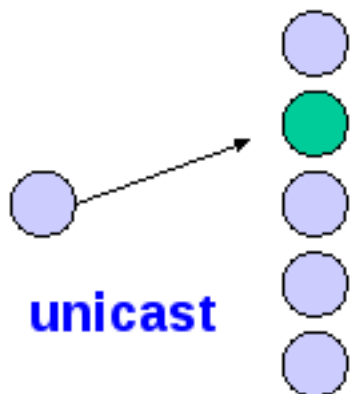
Esquema Jerárquico
3 clases, dif. tamaño



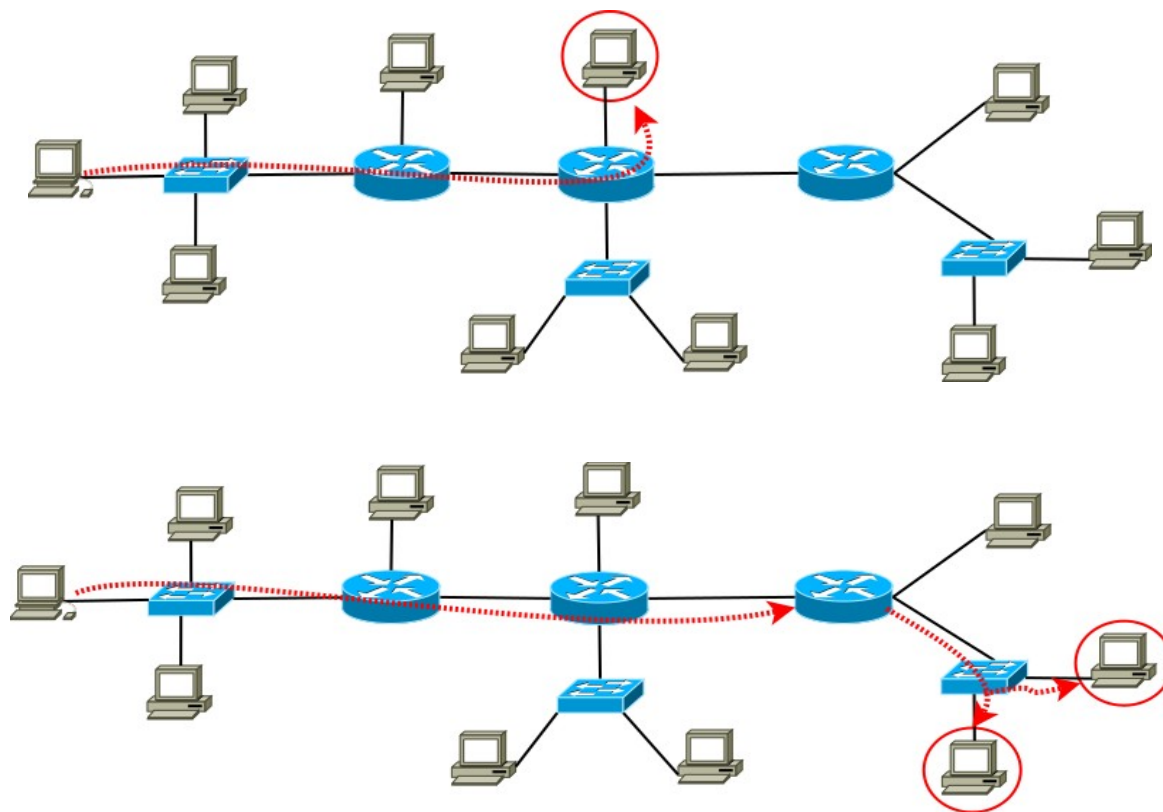
Tipos de Direcciones IP

- **Unicast**: destino a un host/interfaz en particular, son las más comunes.
 - e.g: 172.16.4.21
- **Broadcast**: destino a todos los hosts en una red.
- **Multicast**: destinada a un grupo de hosts en una red o varias redes. Clase D.
- **Anycast**: destinada al primero que resuelva. IPv4 no hay casos especiales.

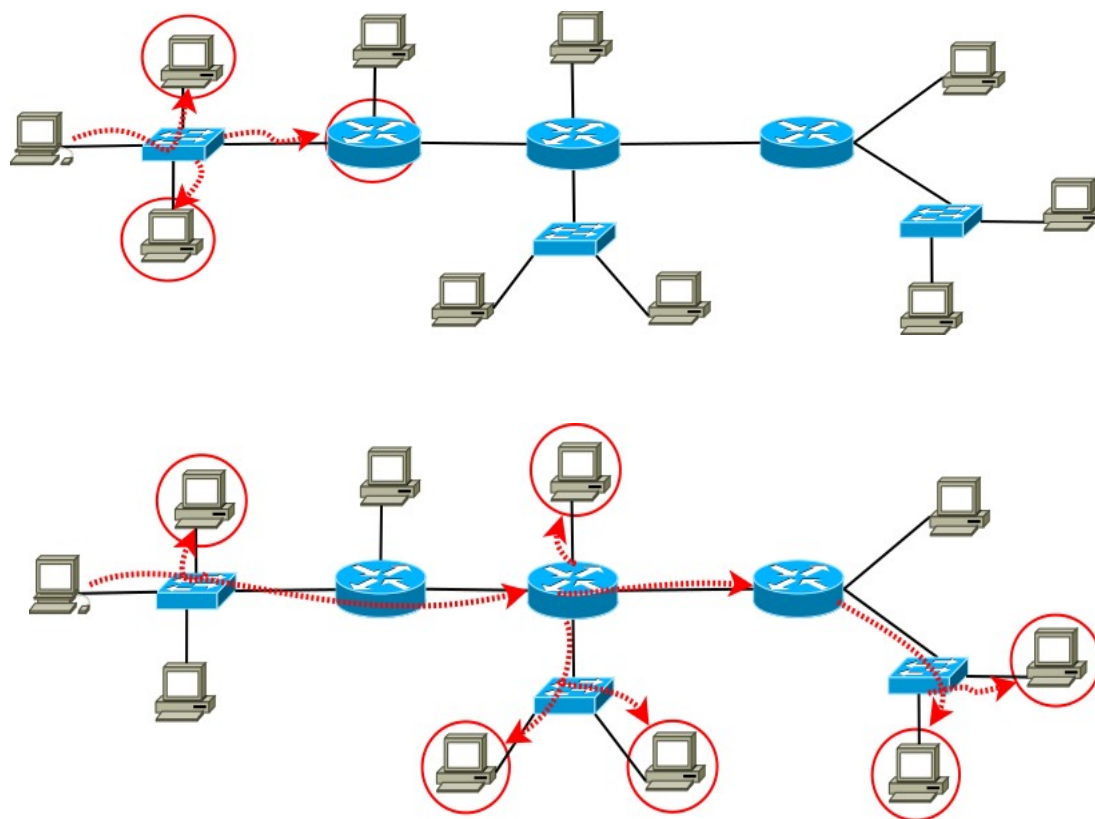
Tipos de Direcciones IP



Tipos de Direcciones IP



Tipos de Direcciones IP



Direcciones IP especiales

- loopback: unicast, red clase A. 127.0.0.1
 - La más utilizada: 127.0.0.1, localhost.
 - Aunque podría ser cualquier otra:
 - 127.10.0.1
 - 127.34.34.1, etc.
- Dirección de red: la primera (zero).
 - e.g. 172.16.0.0, 192.168.1.0.
- Dirección de broadcast:
 - Directed Broadcast: la última (ones).
 - e.g. 172.16.255.255, 192.168.1.255.

Direcciones IP especiales

- ☐ Limited Broadcast: (all ones).
- ☐ 255.255.255.255.
- “Este host”, cuando aún no tiene asignada una dirección:
 - ☐ 0.0.0.0
(Utilizada en BOOTP/DHCP)

Direcciones Privadas

- No tienen significado global no son únicas.
- Definidas en RFC-1918.
- Se utilizan en Intranets. Redes autónomas sin conexión a Internet.
- Para conectar a Internet requieren un proceso de transformación: NAT, RFC-1631.
- No deberían pasar a la Internet. Filtradas por routers de borde.
 - 10.0.0.0 – 10.255.255.255, 1 Clase A.
 - 172.16.0.0 – 172.31.255.255, 16 Clases B.
 - 192.168.0.0 – 192.168.255.255, 256 Clases C.

Direccionamiento Fijo (Ejemplo)

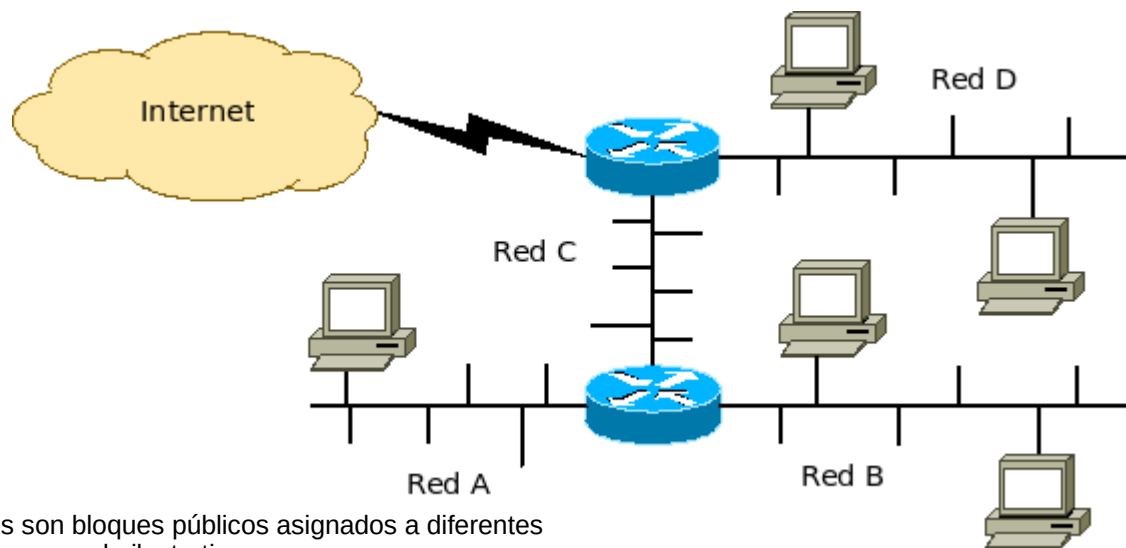
- 4 Redes físicas, requieren 4 redes IP:
 - Si cada red menos de 254 hosts, por ejemplo 25 c/red. se pueden utilizar 4 clases C:

Red A: 193.168.1.0*

Red B: 193.168.2.0

Red C: 193.168.3.0

Red D: 193.168.4.0



* Los bloques utilizados en los ejemplos son bloques públicos asignados a diferentes Instituciones por RIPE. Solo se muestran a modo ilustrativo.



Problemas con Dir. IP Fijo

- Prefijos de longitud fija por clase, provoca un uso ineficiente en el espacio de direcciones.
- Muchos equipos, produce escasez de direcciones.
- Crecimiento acelerado de la Internet, evidencia la falta de escalabilidad del esquema. Crecimiento de tablas de ruteo en el núcleo de la red.
- Codificar la red en la dirección IP implica que si un host cambia de red, cambiará su dirección (IP Mobility). Problema atacado en IPv4, mejor resuelto en IPv6.
- Soluciones IPv4: subnetting, CIDR, NAT, DHCP.
- Definitivamente solucionados en IPv6.

Subnetting IP

- Se toma una parte del **hostid**.
- Su utiliza para generar redes dentro de la red.
- Se agrega una “máscara” de bits.
- Para saber la subred se aplica un “AND” lógico.

network prefix		Subnet	Hostid
172.16.		.4	.21
10101100	00010000	00000100	00010101
11111111	11111111	11111111	00000000
172.16.4.			.0

Subnetting IP

- En 1984 se agrega una tercer parte y se requiere una “máscara” de subred: RFC-917, RFC-940, RFC-950.
- Agregar un nivel más en la estructura:
 - Red, Subred, Host.
 - Ejemplo usar un bloque clase B como 256 clases C:

network prefix		Subnet	Hostid
172.16.		.4	.21
10101100	00010000	00000100	00010101
11111111	11111111	11111111	00000000

Subnetting

- Las máscaras se escriben en notación decimal o hex.
 - 255.255.255.0 o 0xff ff ff 00.
- También pueden escribirse como longitud de prefijo: /24.
- Otros ejemplos:
 - 255.255.255.192 /26.
 - 255.224.0.0 /11.
 - 255.255.255.252 /30.
- Las máscaras defaults:
 - Clase A: 255.0.0.0.
 - Clase B: 255.255.0.0.
 - Clase C: 255.255.255.0.

Subnetting

- Valen los mismos conceptos para redes completas.
- Ejemplo para 172.16.4.21:
 - Dirección de broadcast: 172.16.4.255.
 - Dirección de red: 172.16.4.0.
 - Redes y hosts: (2^n) , $(2^{(32-(m+n))})$.
 - Ejemplo Clase B con /24: $n=8$, $m=16$.
 - Cantidad de hosts: (2^8) .
 - Cantidad de hosts útiles: $(2^8)-2$.
 - Cantidad de subredes: (2^8) .
 - Cantidad de subredes útiles: $(2^8)-2$.
 - Las 2 que se restan a las subredes se pueden utilizar: dando: 2^8 redes útiles.

Ejemplo Subnetting Fijo

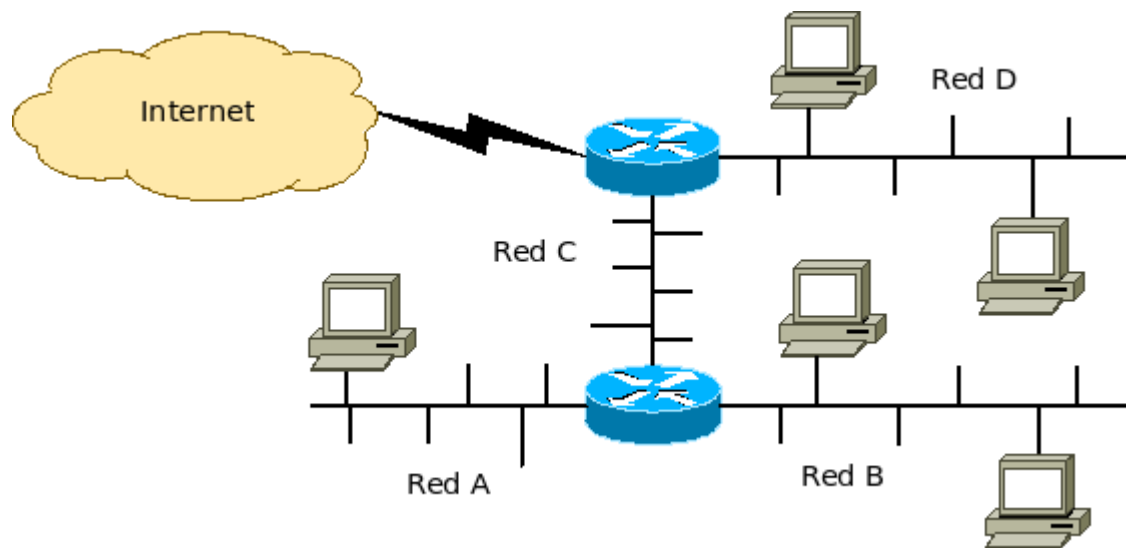
- Si cada red menos de 254 hosts, por ejemplo 25 c/red. Se pueden utilizar 1 clase C dividida en 4:

Red A: 193.168.4.0 255.255.255.192 o /26

Red B: 193.168.4.64 “

Red C: 193.168.4.128 “

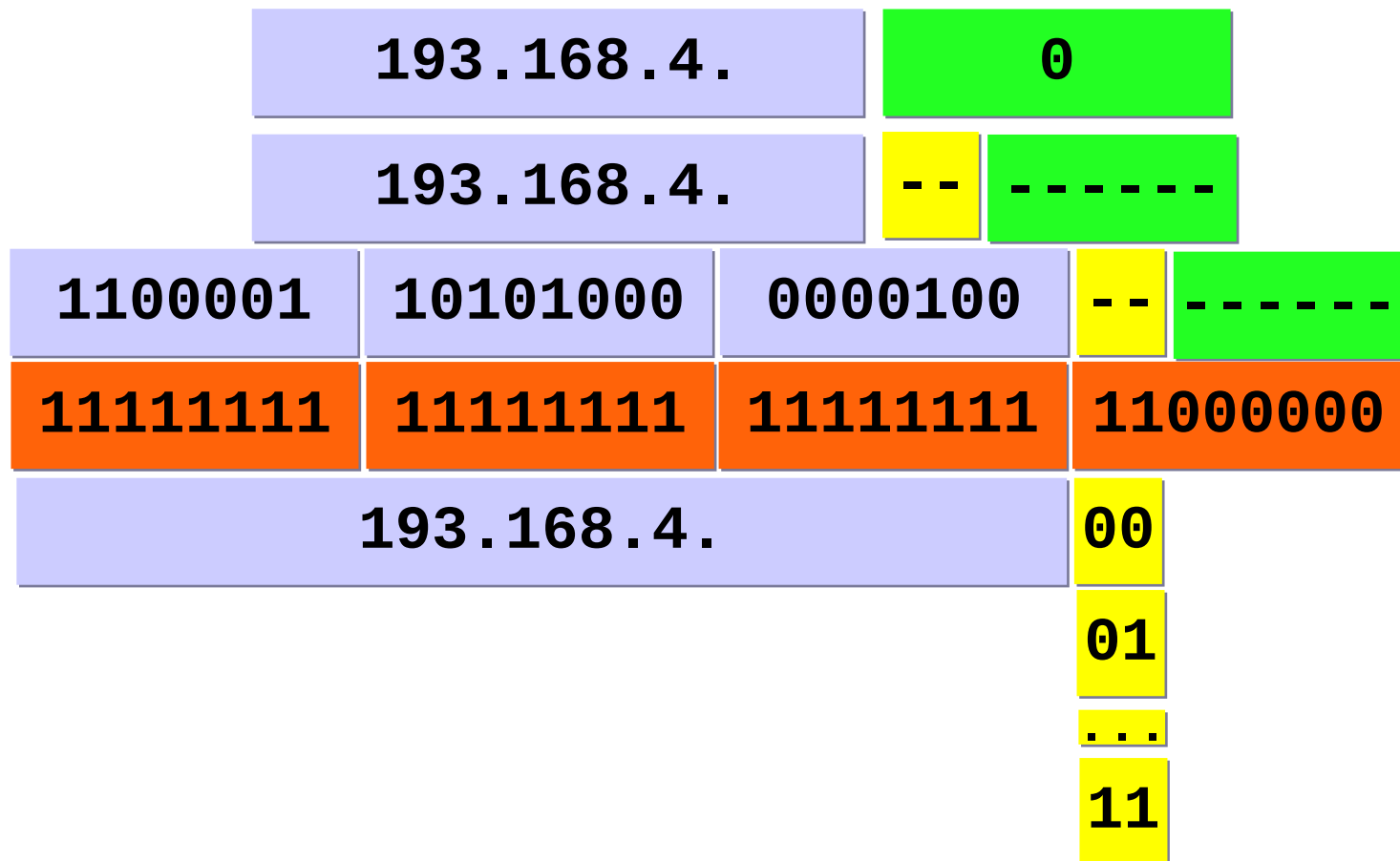
Red D: 193.168.4.192 “



Ejemplo Subnetting Fijo

■ 4 Redes físicas, pueden direccionarse con una red IP:

- 4 redes requieren 2 bits $2^2 = 4$.
- Si fuesen 6, se requieren $2^3 = 8 \sim 6$. Siempre potencias de 2.



Subnetting Fijo

- En un principio, por cuestiones de compatibilidad con viejos sistemas no se permitía utilizar la primera ni la última sub-red:

Red A: 193.168.4.0 Dir. de sub-red = Dir. De red.

Red D: 193.168.4.192 Dir. de “sub-bcast” = Dir de bcast de red.

- Se genera mucho desperdicio, en este caso el 50% de las direcciones.
- RFCs subsiguientes lo permiten, hoy completamente difundido.

VLSM Subnetting

- Variable Length Subnet Mask. RFC-1009, RFC-1878.
- La longitud de la máscara no tiene necesidad de ser para todas las subredes igual.
 - 193.168.4.0 /26
 - /26 00 193.168.4.0,
 - /26 01 193.168.4.64,
 - /26 10 193.168.4.128,
 - /26 11 193.168.4.192. 62 hosts max. c/u.
- ¿Qué sucede si se tienen diferentes cantidades de hosts en las subredes?
 - Por ejemplo la Red A: tiene 70 hosts, la Red B tiene 40 host y la C,D tienen 25 hosts.

VLSM Subnetting

- El siguiente esquema no sirve:
 - 193.168.4.0 /26
 - /26 00 193.168.4.0,
 - /26 01 193.168.4.64,
 - /26 10 193.168.4.128,
 - /26 11 193.168.4.192. 62 host c/u.
- Se deben agrupar o dividir redes del esquema fijo:
 - /25 000 193.168.4.0,
 - /26 100 193.168.4.128,
 - /27 110 193.168.4.192,
 - /27 111 193.168.4.224. 126, 62, 30, 30 hosts respectivamente.

VLSM Subnetting

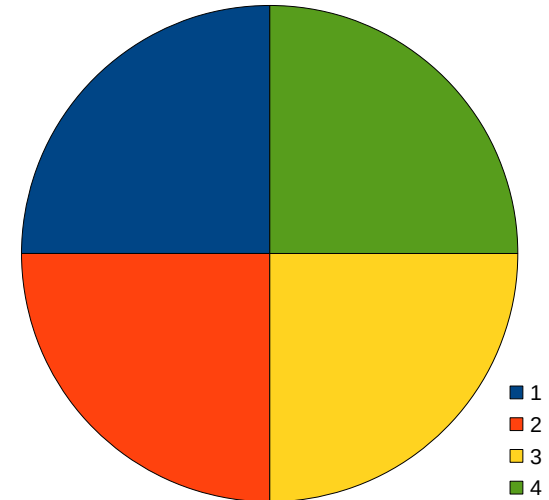
- Subredes iguales: /26

255.255.255.192

255.255.255.192

255.255.255.192

255.255.255.192



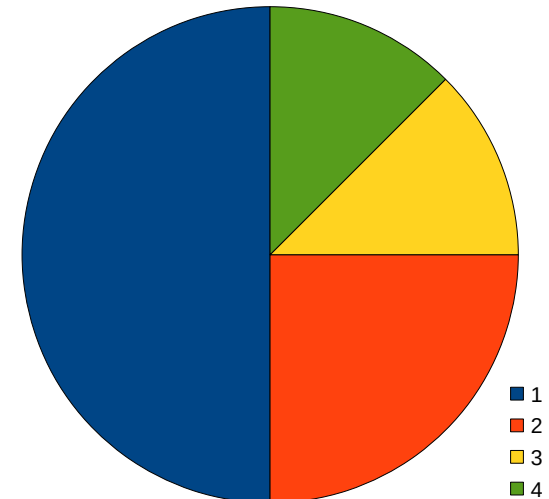
- VLSM: /25, /26, /27, /27:

255.255.255.128

255.255.255.192

255.255.255.224

255.255.255.224



VLSM Subnetting

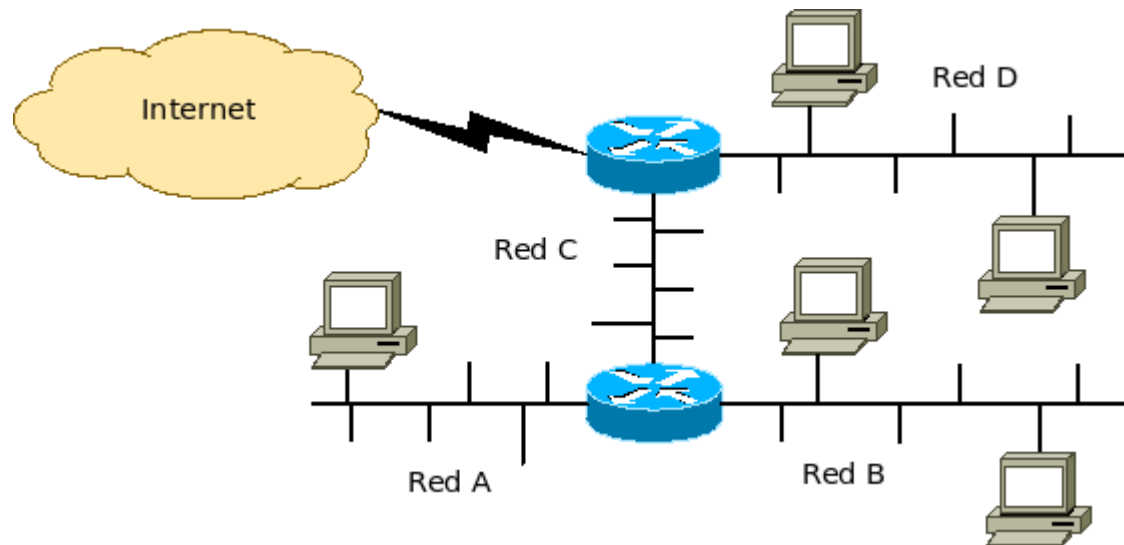
- VLSM: /25, /26, /27, /27:

Red A: 255.255.255.128

Red B: 255.255.255.192

Red C: 255.255.255.224

Red D: 255.255.255.224

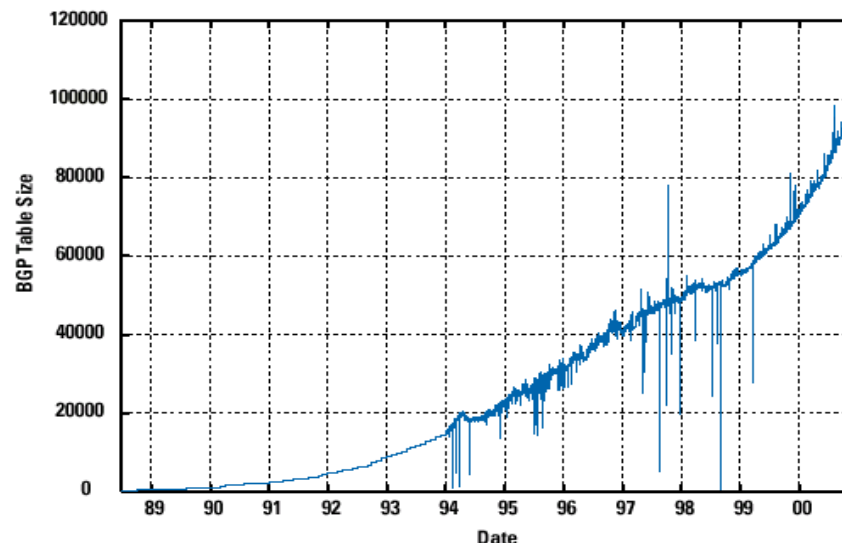


CIDR - Supernetting

- Classless Inter Domain Routing.
- Hasta 1993, se asumía, de acuerdo a la clase de la Dir. IP la máscara default.
- Los bits de la red definida por la clase eran fijos.
- El direccionamiento era Classful.
- Con CIDR, se sacan las clases: Classless y siempre debe haber una máscara o long. de Pref.
- RFC-1338, RFC-1517, RFC-1518, RFC-1519.
- Permite agrupar, reducen long. tablas de ruteo:
 - e.g. 193.168.0.0, 193.168.1.0, ... 193.168.3.0 /24
 - En 193.168.0.0/22 se agrupan 4 redes.

CIDR - Supernetting

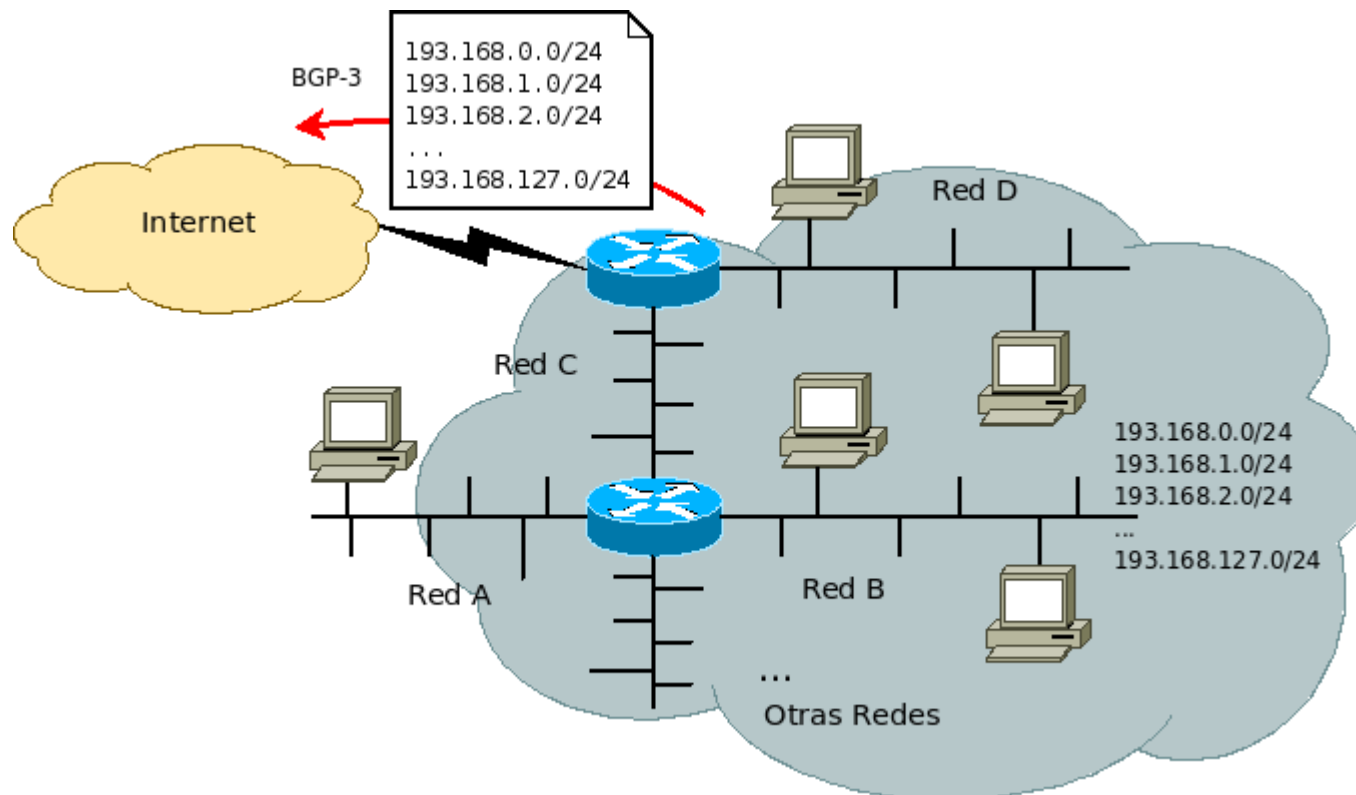
- En 1992 la RFC-1338 marca los problemas del crecimiento de las tablas de ruteo:
 - Las clases A y B el 50% asignadas, clases C solo el 2%.
 - Las clases C: 2^{21} redes aumentarían las tablas de ruteo notablemente.
 - Crecimiento de 1988 a 2000 de tablas de ruteo:



Fuente: <http://www.cisco.com>

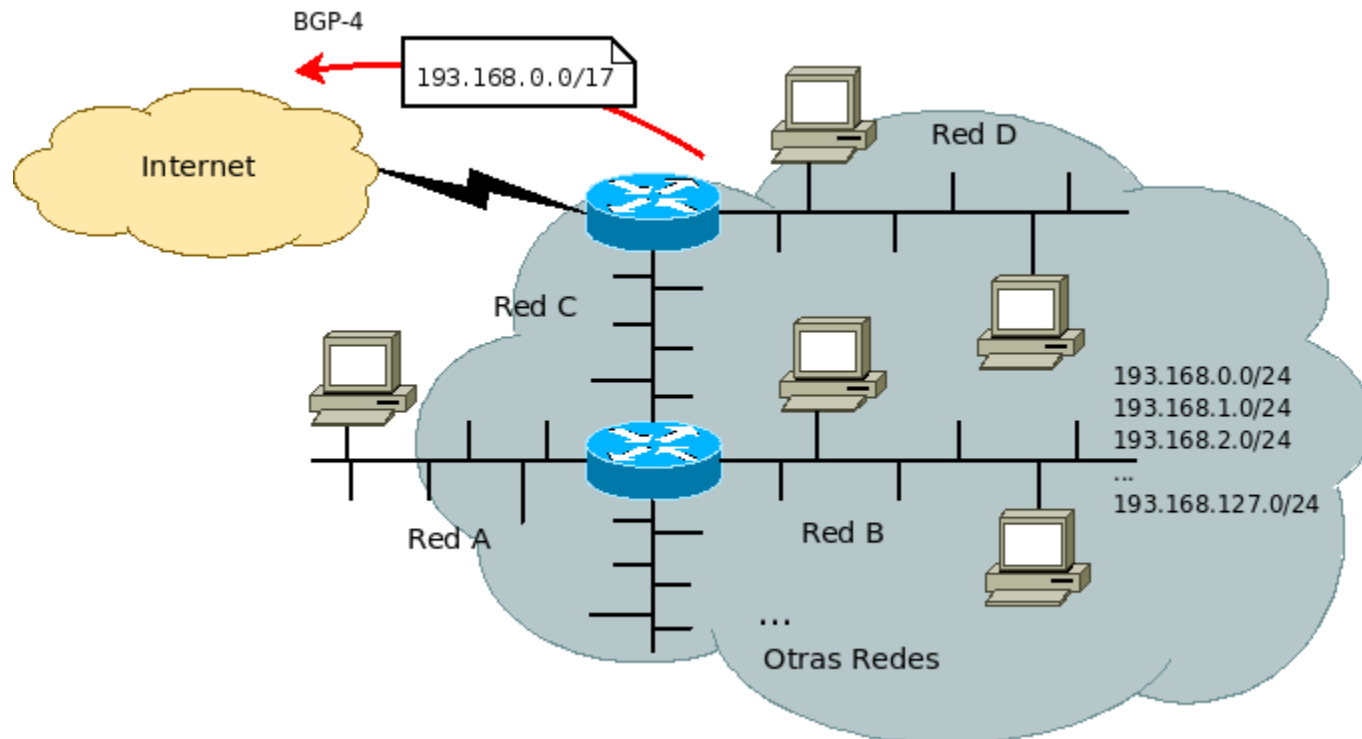
CIDR - Supernetting

- BGP update classful:



CIDR - Supernetting

- BGP update classless:

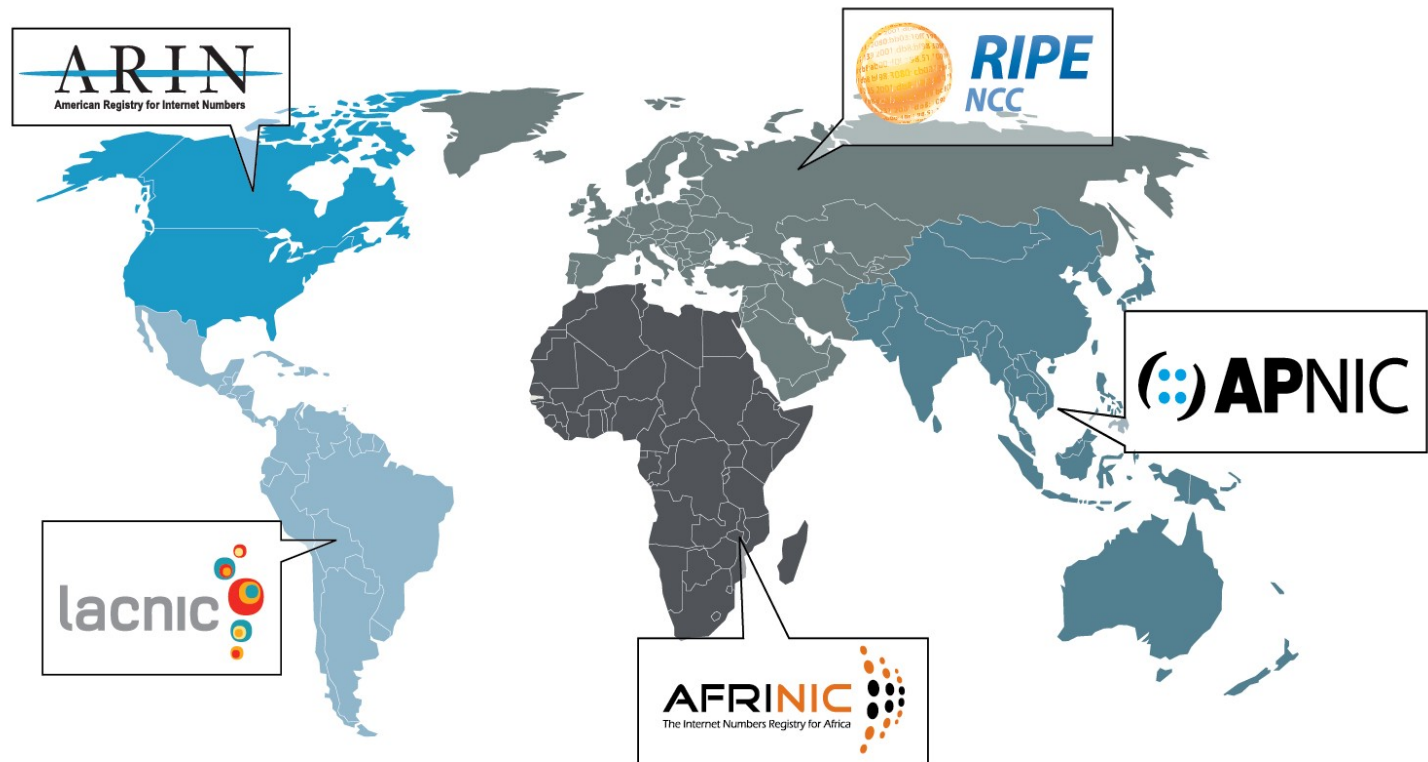


CIDR - Supernetting

- Agrupación de bloques de forma contigua por ISP.
- Asignación por regiones geográficas.
- El IANA crea los RIRs (Regional Internet Registers):
 - RIPE (Europa)
 - ARIN (Estados Unidos)
 - LACNIC (América Latina y Caribe)
 - APNIC (Asia y Pacífico)
 - AfriNIC (africa)

CIDR - Supernetting

■ RIRs:



Fuente: <http://www.arin.net>

CIDR - Supernetting

- Evolución
(2013-2014):

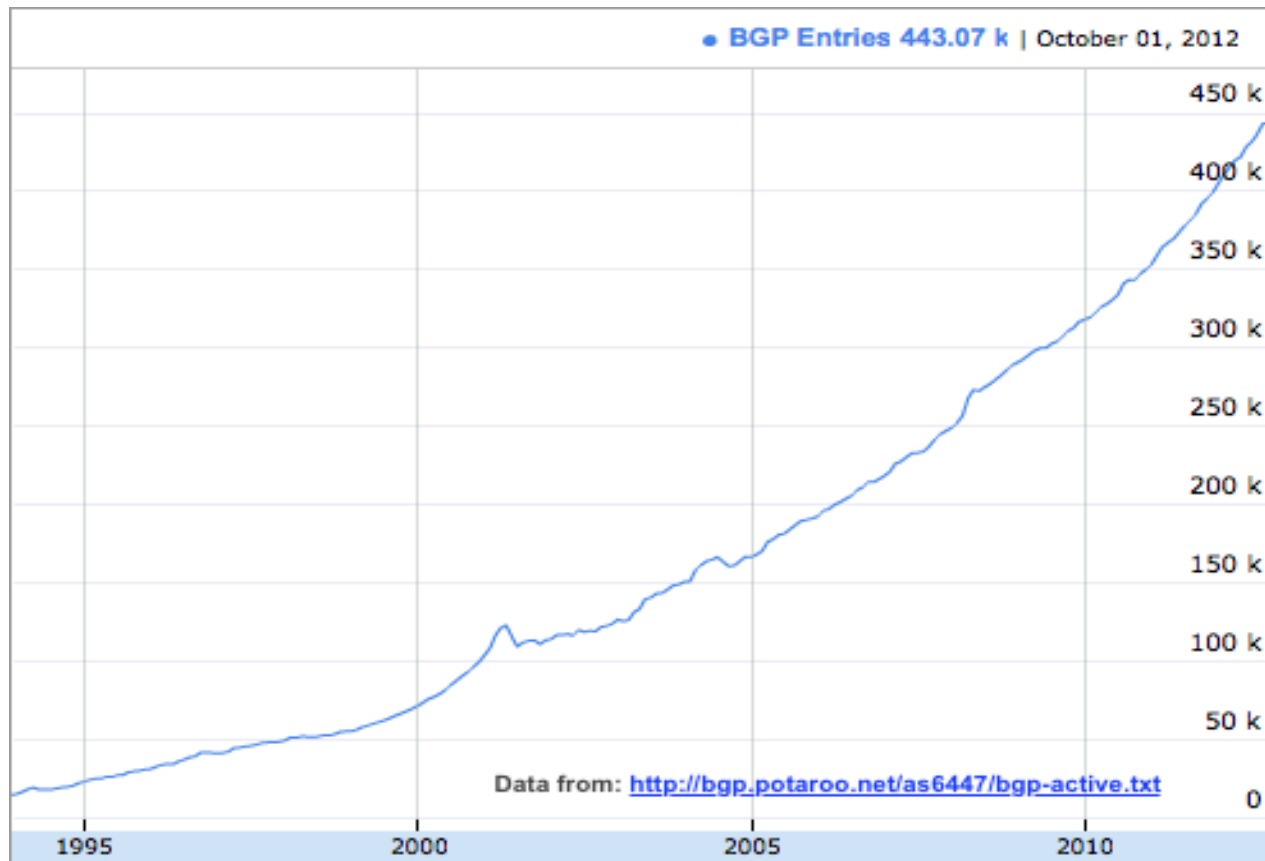


Fuente: <http://ipv6.he.net/statistics/>

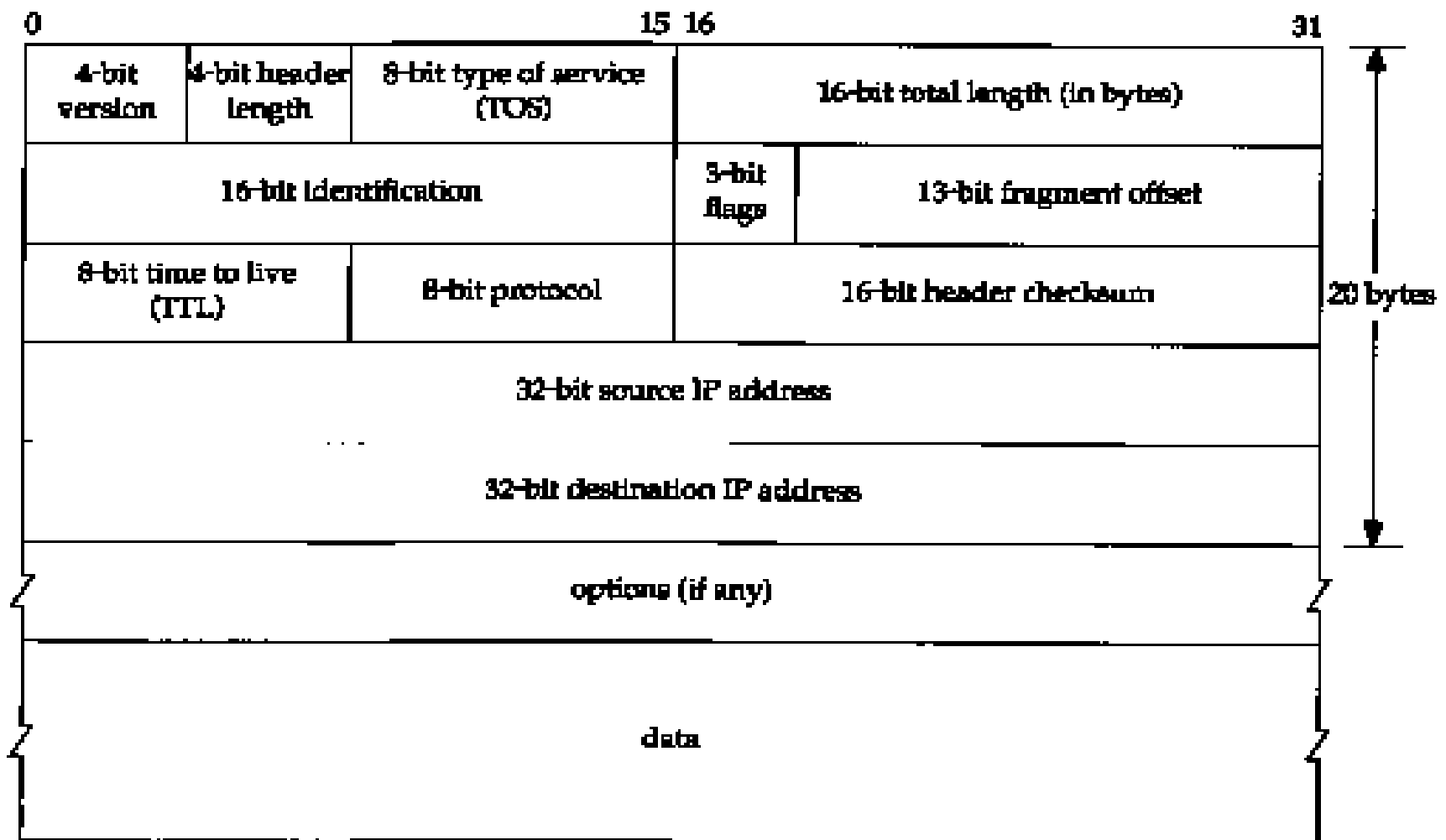


CIDR - Supernetting

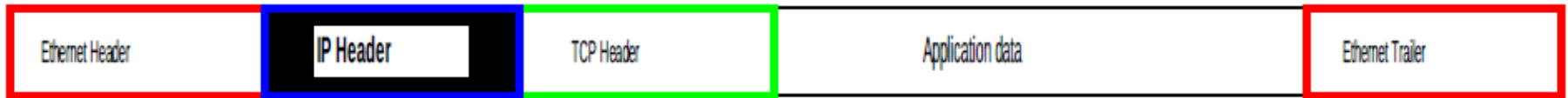
- Evolución:



Datagrama IPv4



Datagrama IPv4



← Ethernet frame →

bit #	0	7	8	15	16	23	24	31	
version		header length		DS		ECN		total length (in bytes)	
Identification					0	D F	M F	Fragment offset	
time-to-live (TTL)			protocol			header checksum			
source IP address									
destination IP address									
options (0 to 40 bytes)									
payload									

← 4 bytes →

Campos de Datagrama IP

Version (4 bits): versión actual 4, la nueva 6.

Header length (4 bits): longitud en múltiplos de 4B.

DS/ECN field (1 byte)

TOS (Type of Service), DSCP DiffService Codepoint.

Differentiated Service (DS) (6 bits):

Usado para marcar QoS

Explicit Congestion Notification (ECN) (2 bits):

Usado en control de congestión con TCP.

Campos de Datagrama IP

Identification (16 bits): identificador único.
Utilizado para la fragmentación.

Flags (3 bits):

- ☐ Primero es 0.
- ☐ DF bit (Do not fragment)
- ☐ MF bit (More fragments)

Utilizados para la fragmentación.



Campos de Datagrama IP

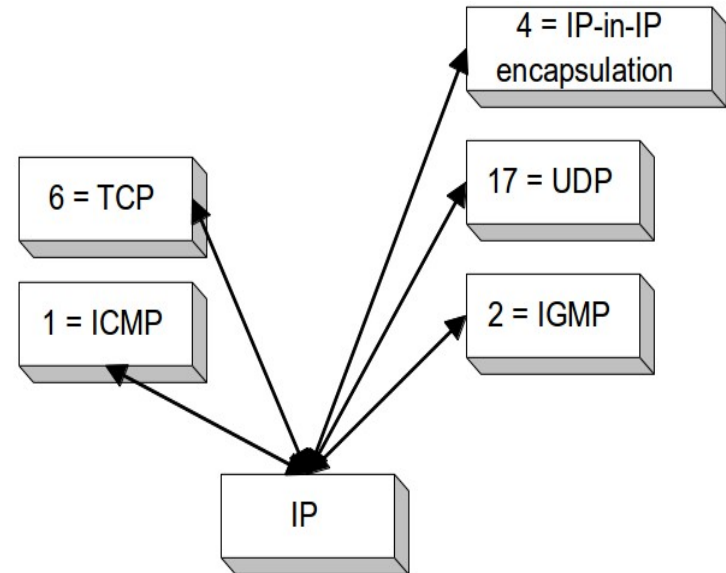
Time To Live (TTL) (1 byte):

- ☐ Cuantos saltos puede dar el datagrama.
- ☐ Evita loops.
- ☐ Emisor lo pone a un valor, e.g. 128 o 64.
- ☐ Cada router por el que pasa lo decrementa en 1.
- ☐ Si esta más de un segundo también.
- ☐ Si llega a un router que no esta en la red destino y TTL=0, se descarta.

Campos de Datagrama IP

Protocol (1 byte):

Para mux/demux.



Header checksum (2 bytes):

16 bit checksum del header solamente.



Campos de Datagrama IP

Options:

- Security restrictions.
- Record Route
- Timestamp.
- (loose) Source Routing
- (strict) Source Routing.

Padding:

agregado para ser múltiplo de 4B.

Ruteo

- **Tabla de ruteo:** estructura en hosts y routers (gateways) que indica como despachar un mensaje. Perspectiva del vecino, siguiente salto.
- **Host:** no despacha mensajes que recibe que no son para él. Despacha solo sus mensajes mirando su tabla de ruteo.
- **Router:** Nodos intermedios, más de una interfaz, despacha mensajes mirando tabla de ruteo, desde cualquier interfaz.
- **Host multihome:** tiene varias interfaces, no rutea.

Ruteo

- **Ruteo**: seleccionar la interfaz de salida y el próximo salto. Routers y Hosts.
- **Forwarding/Despacho**: pasar el paquete desde una interfaz de entrada hacia una de salida. Solo routers.
- El forwarding es más intensivo.
- El ruteo es de control, alimentado por protocolos de enrutamiento (routing).
- El forwarding es de datos, envía protocolos enrutados (routed).

Ruteo

- Routers tienen el forwarding habilitado, los hosts no.

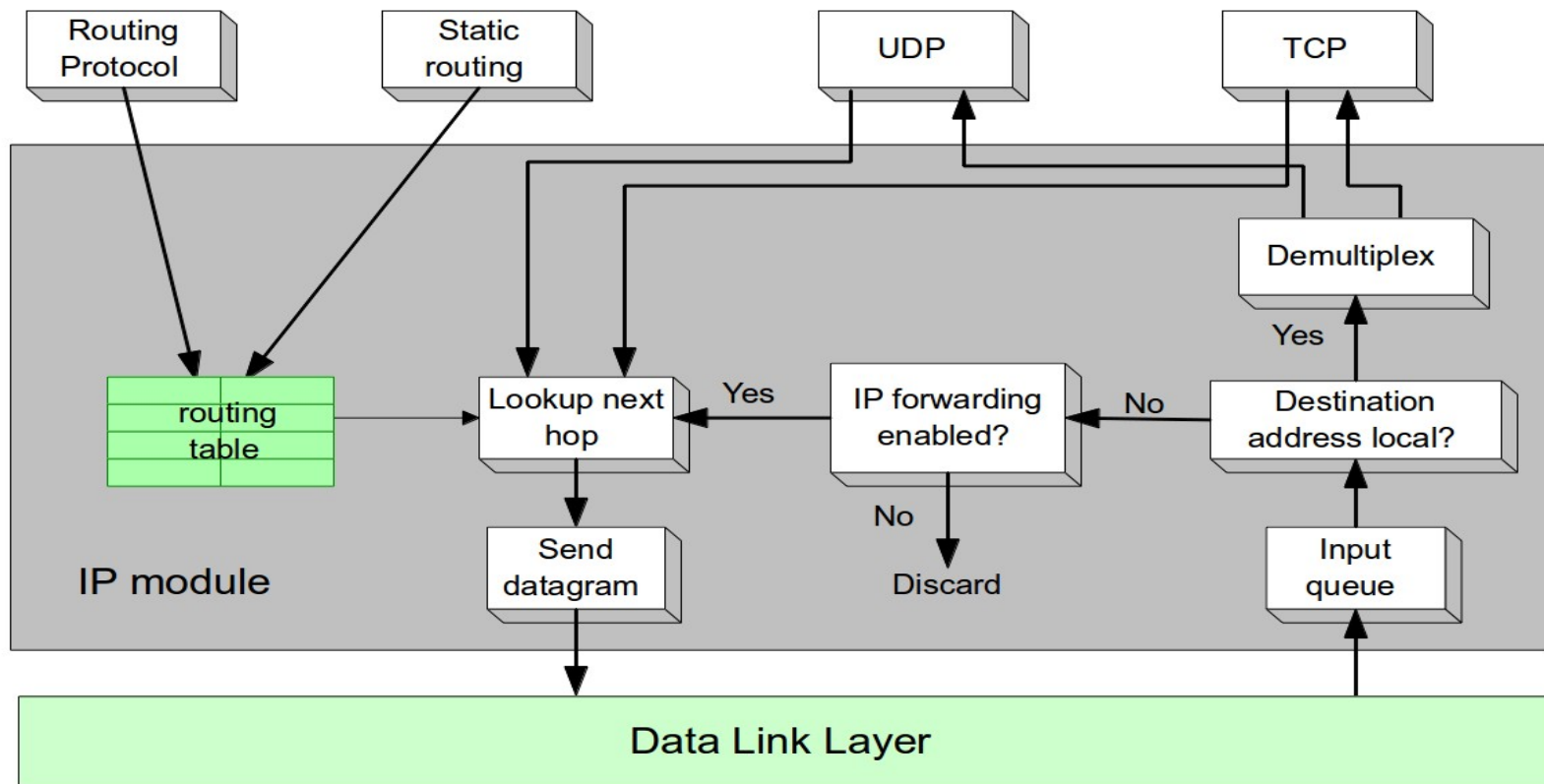


Tabla de Ruteo

■ Estructura de tabla de ruteo:

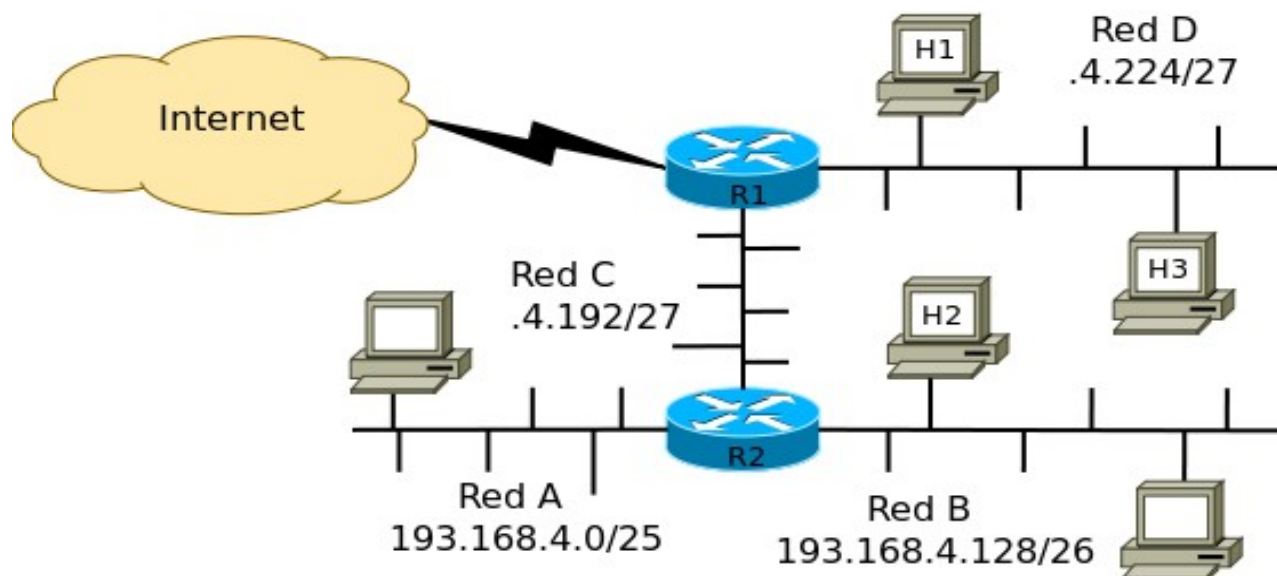
- Red Destino (Net/Mask).
- Next Hop (Próximo salto).
- Interfaz de salida.

■ En un Host es más simple:

```
andres@h1:~$ netstat -nr
```

Destination	Gateway	Genmask	Metric	Iface
193.168.4.224	0.0.0.0	255.255.255.224	0	e0
193.168.4.128	193.168.4.225	255.255.255.192	2	e0
0.0.0.0	193.168.4.225	0.0.0.0	-	e0

Tabla de Ruteo (H1)



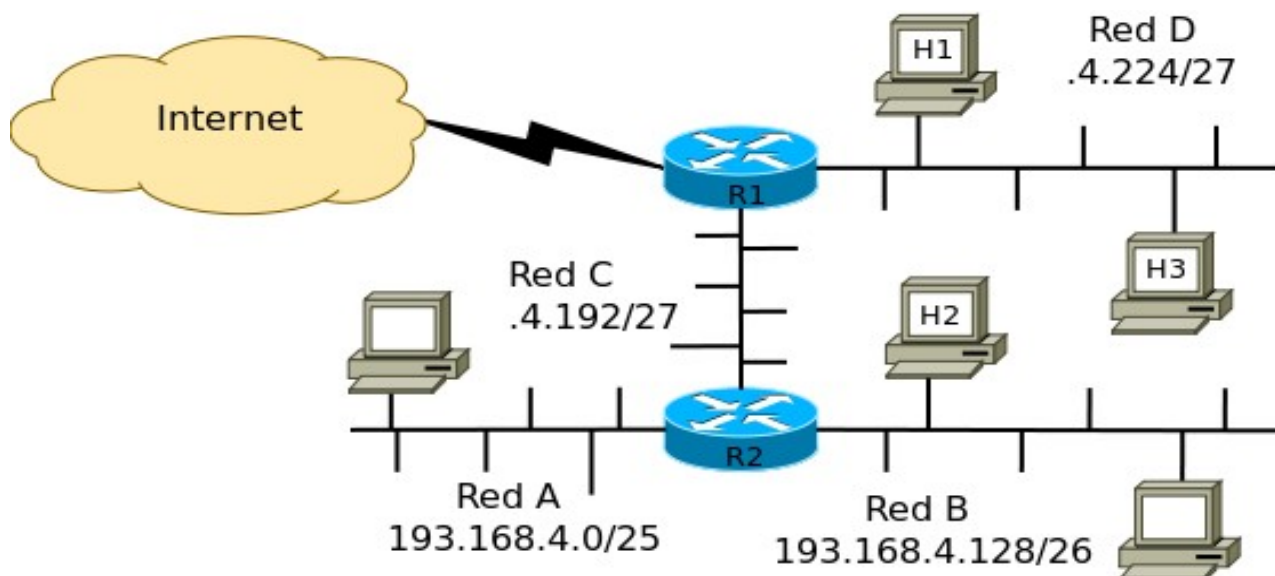
```
root@h1:~# ifconfig e0 193.168.4.226 netmask 255.255.255.224
```

```
root@h1:~# route add default gw 193.168.4.225
```

```
root@h1:~# netstat -nr
```

Destination	Gateway	Genmask	Metric	Iface
193.168.4.224	0.0.0.0	255.255.255.224	0	e0
0.0.0.0	193.168.4.225	0.0.0.0	-	e0 66

Tabla de Ruteo (R2)

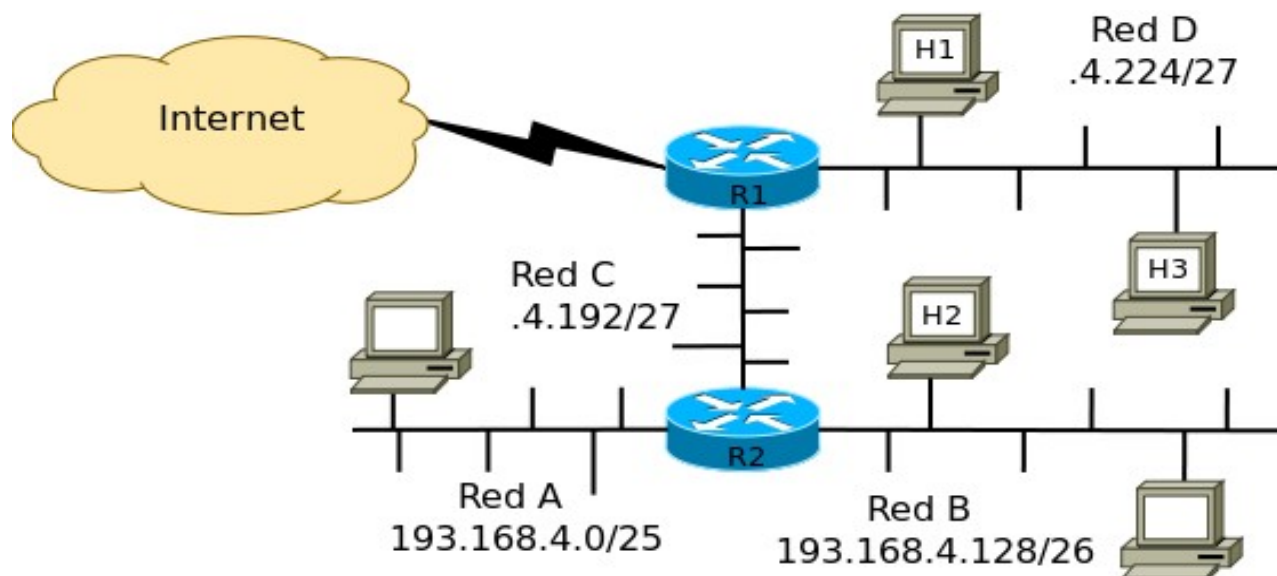


```
root@r2:~# netstat -nr
```

Destination	Gateway	Genmask	Metric	Iface
193.168.4.0	0.0.0.0	255.255.255.128	0	e0
193.168.4.128	0.0.0.0	255.255.255.192	0	e1
193.168.4.192	0.0.0.0	255.255.255.224	0	e2
0.0.0.0	193.168.4.193	0.0.0.0	-	e2

```
root@r2:~# sysctl net.ipv4.ip_forward=1
```

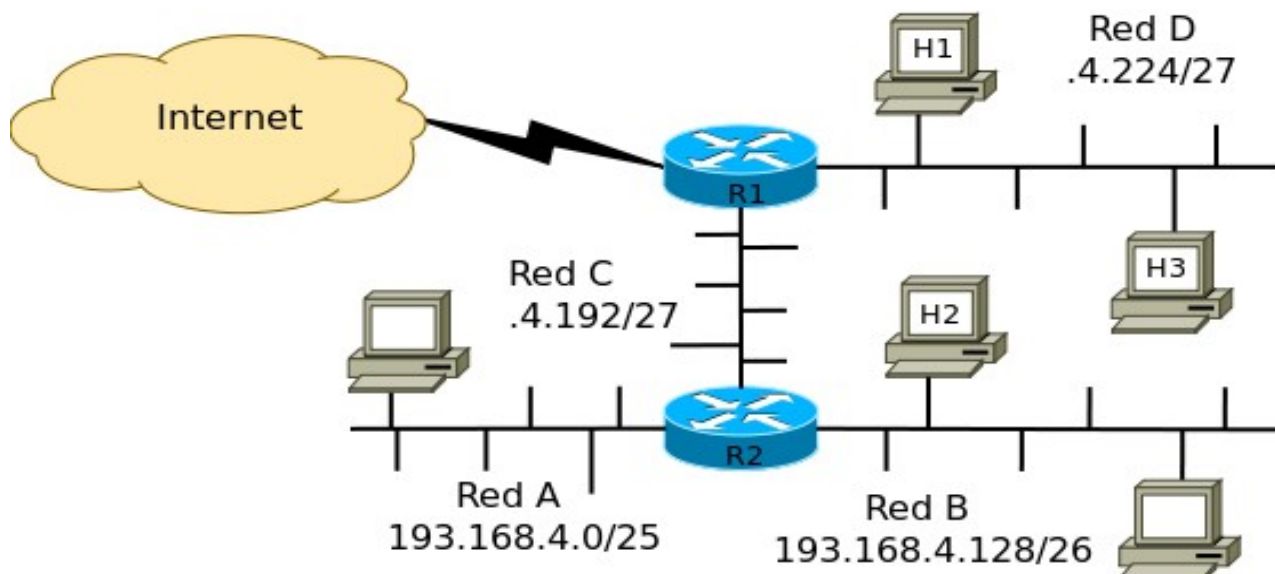
Tabla de Ruteo (H2)



```
andres@h2:~$ netstat -nr
```

Destination	Gateway	Genmask	Metric	Iface
193.168.4.128	0.0.0.0	255.255.255.192	0	e0
0.0.0.0	193.168.4.129	0.0.0.0	-	e0

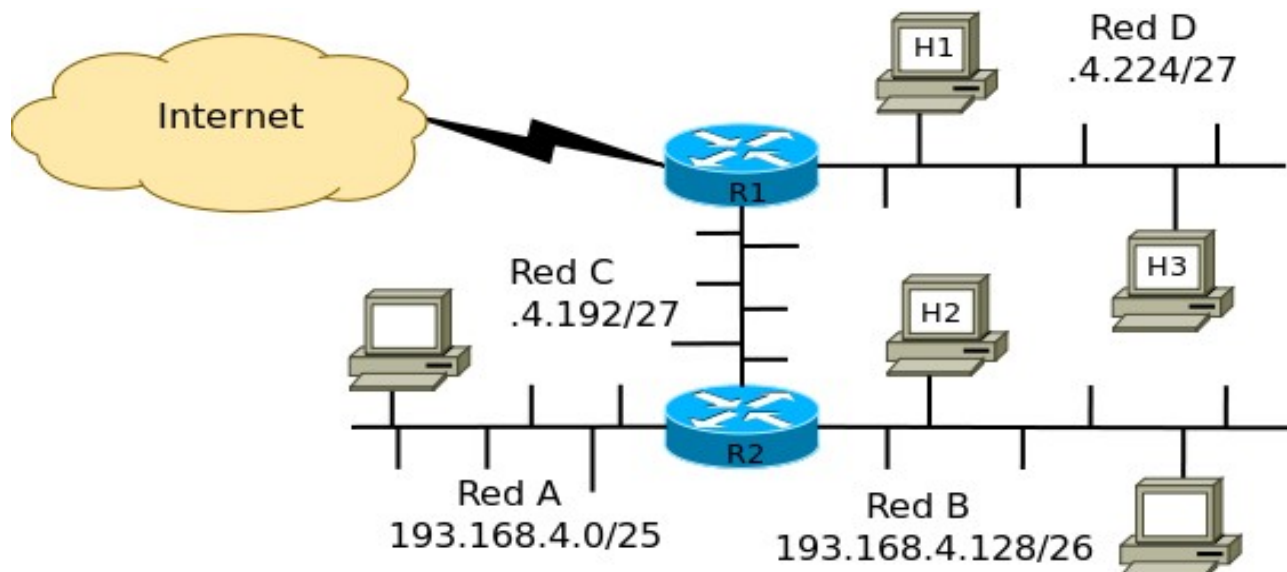
Tabla de Ruteo (R1)



```
andres@r1:~$ netstat -nr
```

Destination	Gateway	Genmask	Metric	Iface
193.168.4.224	0.0.0.0	255.255.255.224	0	e1
193.168.4.192	0.0.0.0	255.255.255.224	0	e0
200.3.4.0	0.0.0.0	255.255.255.252	0	ppp0
193.168.4.0	193.168.4.194	255.255.255.128	0	e0
193.168.4.128	193.168.4.194	255.255.255.192	0	e0
0.0.0.0	200.3.4.1	0.0.0.0	-	ppp0

Tabla de Ruteo (R1-a)



■ Alternativa

```
andres@r1:~$ netstat -nr
```

Destination	Gateway	Genmask	Metric	Iface
193.168.4.224	0.0.0.0	255.255.255.224	0	e1
193.168.4.192	0.0.0.0	255.255.255.224	0	e0
200.3.4.0	0.0.0.0	255.255.255.252	0	ppp0
193.168.4.0	193.168.4.194	255.255.255.0	0	e0
0.0.0.0	200.3.4.1	0.0.0.0	-	ppp0



Tareas de Ruteo

- Validación de datagrama: IP header.
- Calcula checksum (solo header).
- Leer IP destino.
- Buscar en tabla de ruteo, seleccionar prefijo más largo (“best match”).
- Decrementar TTL.
- Fragmentar (alternativo).
- Transmitir o Descartar.
- Generar ICMP (alternativo).

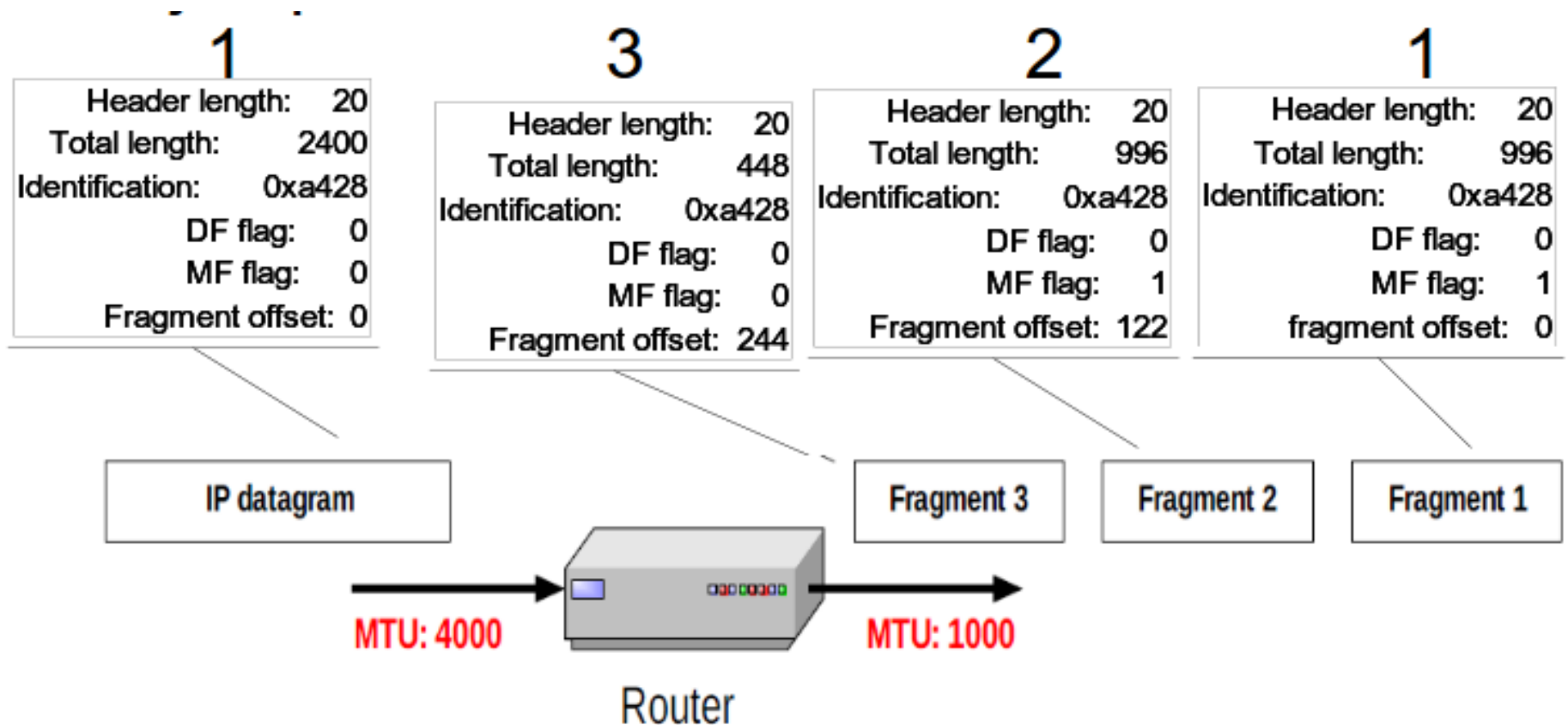
Fragmentación

- Debido a que hay diferentes capas de enlaces con diferentes MTUs.
- Fragmentos múltiplos de 8 bytes.
 - Offset en unidades de 8 bytes.
- Se deben agregar los headers.

version	header length	DS	ECN	total length (in bytes)			
Identification				0	D F	M F	Fragment offset
time-to-live (TTL)		protocol		header checksum			

Fragmentación

■ Ejemplo:





Referencias:

- Richard Stevens. TCP/IP Illustrated. Vol 1. The Protocols.
.
- Douglas Comer. Internetworking with TCP/IP. Vol 1.



Referencias:

- RFC 791 - IP.
- RFC 792 - ICMP.
- RFC 796 - Address mappings.
- RFC 1812 Requirements for IP Version 4 Routers.
- RFC 917 - Internet subnets.
- RFC 940 - Toward an Internet standard scheme for subnetting.
- RFC 950 - Internet Standard Subnetting Procedure.

Referencias:

- RFC 1878 - Variable Length Subnet Table For IPv4.
- RFC 1918 - Address Allocation for Private Internets.
- RFC 1631 - The IP Network Address Translator (NAT) -Obsoleta por 3022-
- RFC 3022 - Traditional NAT.
- RFC 1517 - Applicability Statement for the Implementation of CIDR.
- RFC 1518 - An Architecture for IP Address Allocation with CIDR.
- RFC 1519 - Classless Inter-Domain Routing (CIDR): an Address Assignment and Aggregation Strategy.