

Bloque III

Redes de Computadores

Sistemas Telemáticos
2010-2011

Rafael Sebastian
Departamento de Informática
Escuela Técnica Superior de Ingenierías
Universitat de València





Índice de contenido

- Conceptos de redes
- Redes de área local (LAN)
- Redes de área amplia (WAN)
- **Enrutamiento**
- Protocolo de red: IP
- Protocolo de transporte: TCP
- Aplicaciones



Objetivos sección

- ☑ Comprender como los routers aprenden caminos para llegar de una red a otra
- ☑ Entender la utilidad de los algoritmos de routing
- ☑ Tipos de algoritmos de routing: vector distancia y estado del enlace
- ☑ Conceptos “camino óptimo” y “métrica”



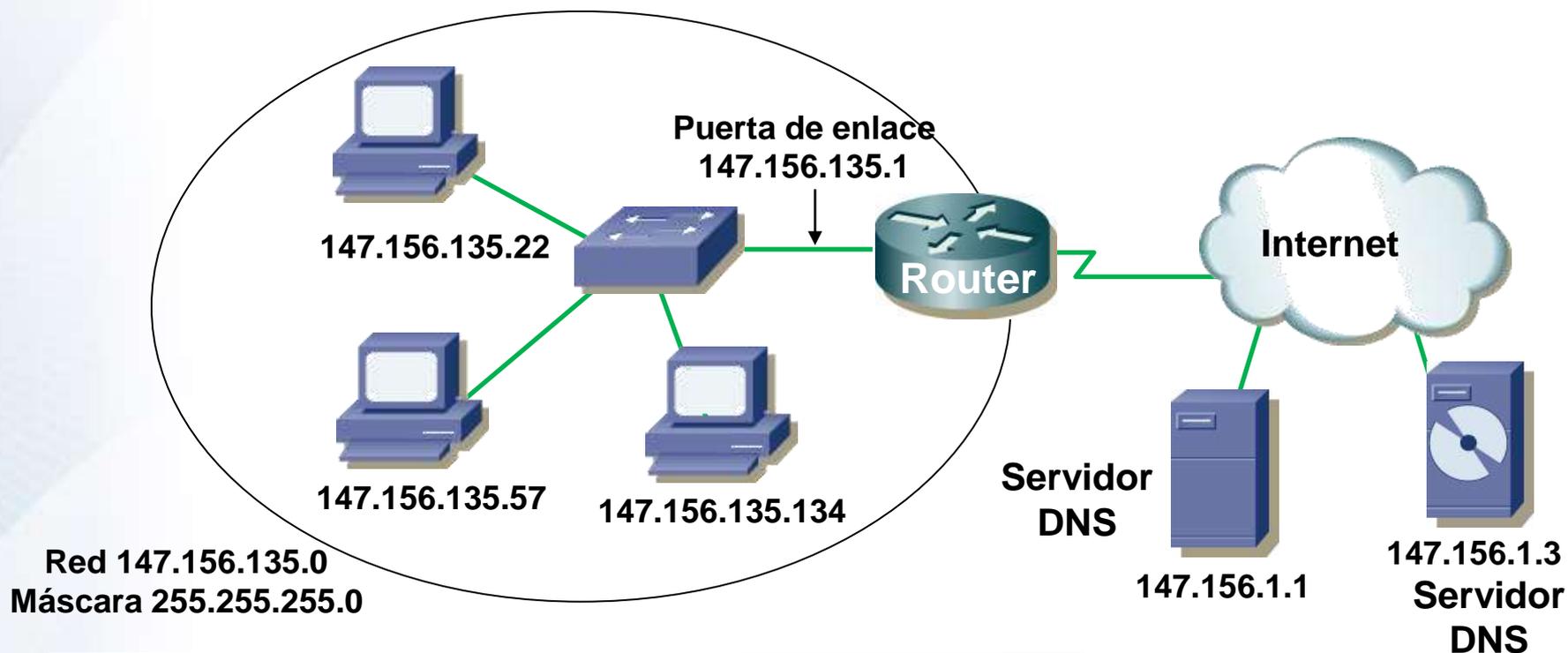
Conceptos de redes

- **Generalidades**
- Algoritmos de routing
- Protocolos de routing
- Internetworking



La LAN y el resto de la Internet

- Para el host las direcciones IP se dividen en:
 - las que están en su misma red (sus vecinos)
 - el resto del mundo (a través de su router)





Funcionamiento en un host

- Por configuración inicial el host sabe:
 - Su dirección IP (ej.: 147.156.135.22). Obligatoria
 - Su máscara (ej.: 255.255.255.0). Obligatoria
 - Su router por defecto (ej.: 147.156.135.1) Puede no estar
- Cuando el host tiene que enviar un paquete:
 1. Extrae del paquete la dirección de destino
 2. Extrae de la dirección de destino la parte red (aplicándole la máscara)
 3. Compara la parte red de la dirección de destino con la suya propia (la de su interfaz).
 1. Si ambas coinciden entonces el destino está en su misma red (normalmente una LAN) y le envía el paquete directamente.
 2. Si no coinciden entonces envía el paquete al router por defecto (**puerta de enlace** en windows, **default gateway** en Linux). El router por defecto se encarga de enviar el paquete a su destino
- El router por defecto siempre debe estar en la misma LAN que el host



Configuración de red de un ordenador en Windows

```
C:\>ipconfig/all
```

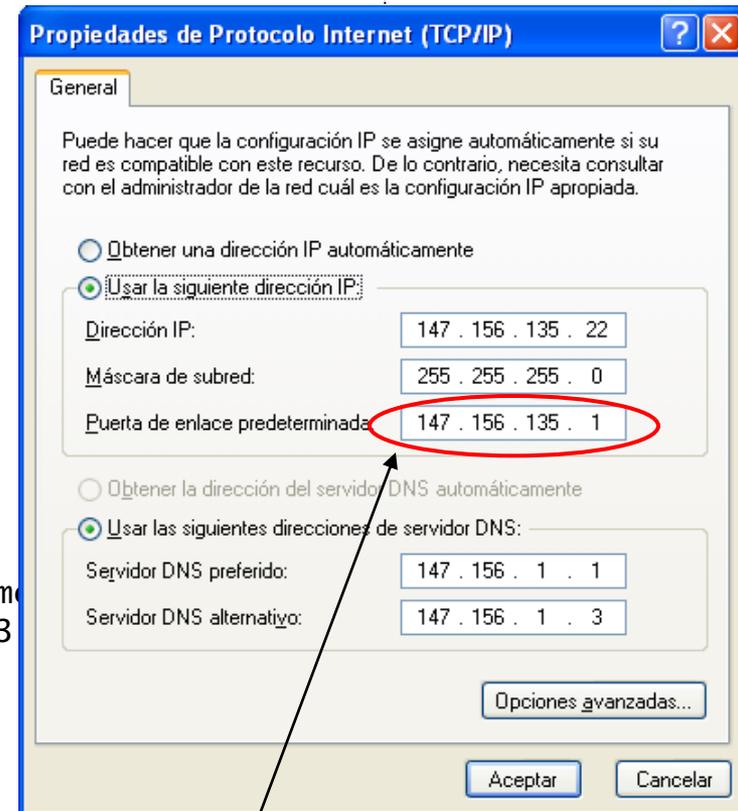
Configuración IP de windows

```
Nombre del host . . . . . : uveg-97871125e1
Sufijo DNS principal . . . . . :
Tipo de nodo . . . . . : híbrido
Enrutamiento habilitado. . . . . : No
Proxy WINS habilitado. . . . . : No
Lista de búsqueda de sufijo DNS: uv.es
```

```
Adaptador Ethernet Conexión de área local 3 :
```

```
Sufijo de conexión específica DNS :
Descripción. . . . . : Broadcom NetXtreme
Dirección física. . . . . : 00-0F-B0-FA-00-63
DHCP habilitado. . . . . : No
Dirección IP. . . . . : 147.156.135.22
Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada : 147.156.135.1
Servidores DNS . . . . . : 147.156.1.1
                          147.156.1.3
```

```
C:\>
```



Router por defecto



Un router conectando tres LANs

IP: 10.2.45.17 ← La dirección IP de este host
 Másc. 255.0.0.0 ← Su máscara
 Rtr: 10.0.0.1 ← Su router por defecto

IP: 10.1.24.12
 Másc. 255.0.0.0
 Rtr: 10.0.0.1



LAN A
 10.0.0.0

LAN B
 20.1.0.0



IP: 20.1.0.2
 Másc. 255.255.0.0
 Rtr: 20.1.0.1

El router encamina los paquetes según su dirección de destino. No es preciso definir ninguna ruta, las tres redes están directamente conectadas al router

IP: 10.0.0.1
 Másc. 255.0.0.0

E0



E1

IP: 20.1.0.1
 Másc. 255.255.0.0

E2

IP: 30.1.1.1
 Másc. 255.255.255.0

LAN C
 30.1.1.0



IP: 30.1.1.12
 Másc. 255.255.255.0
 Rtr: 30.1.1.1



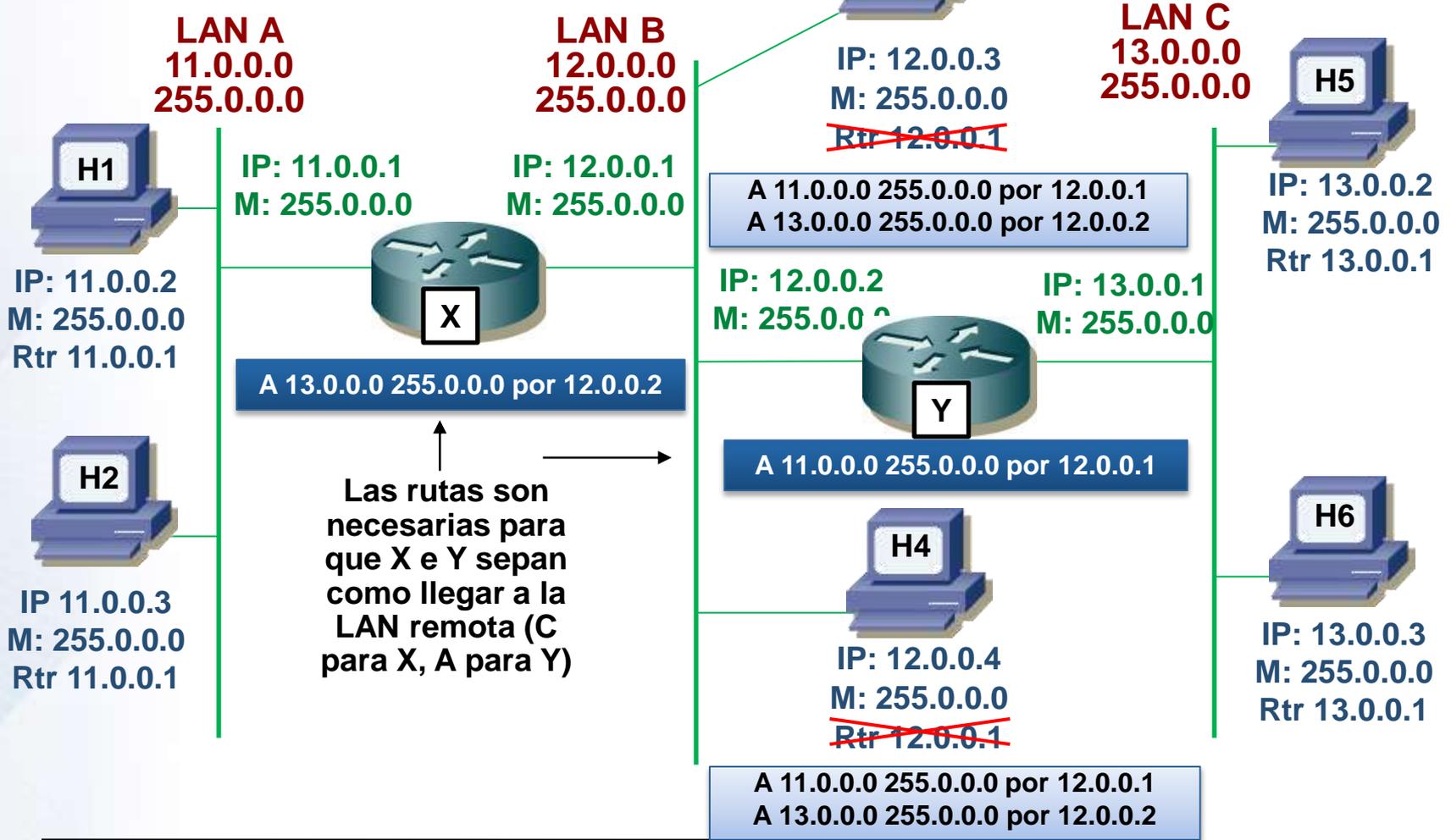
IP: 30.1.1.215
 Másc. 255.255.255.0
 Rtr: 30.1.1.1



IP: 20.1.0.3
 Másc. 255.255.0.0
 Rtr: 20.1.0.1

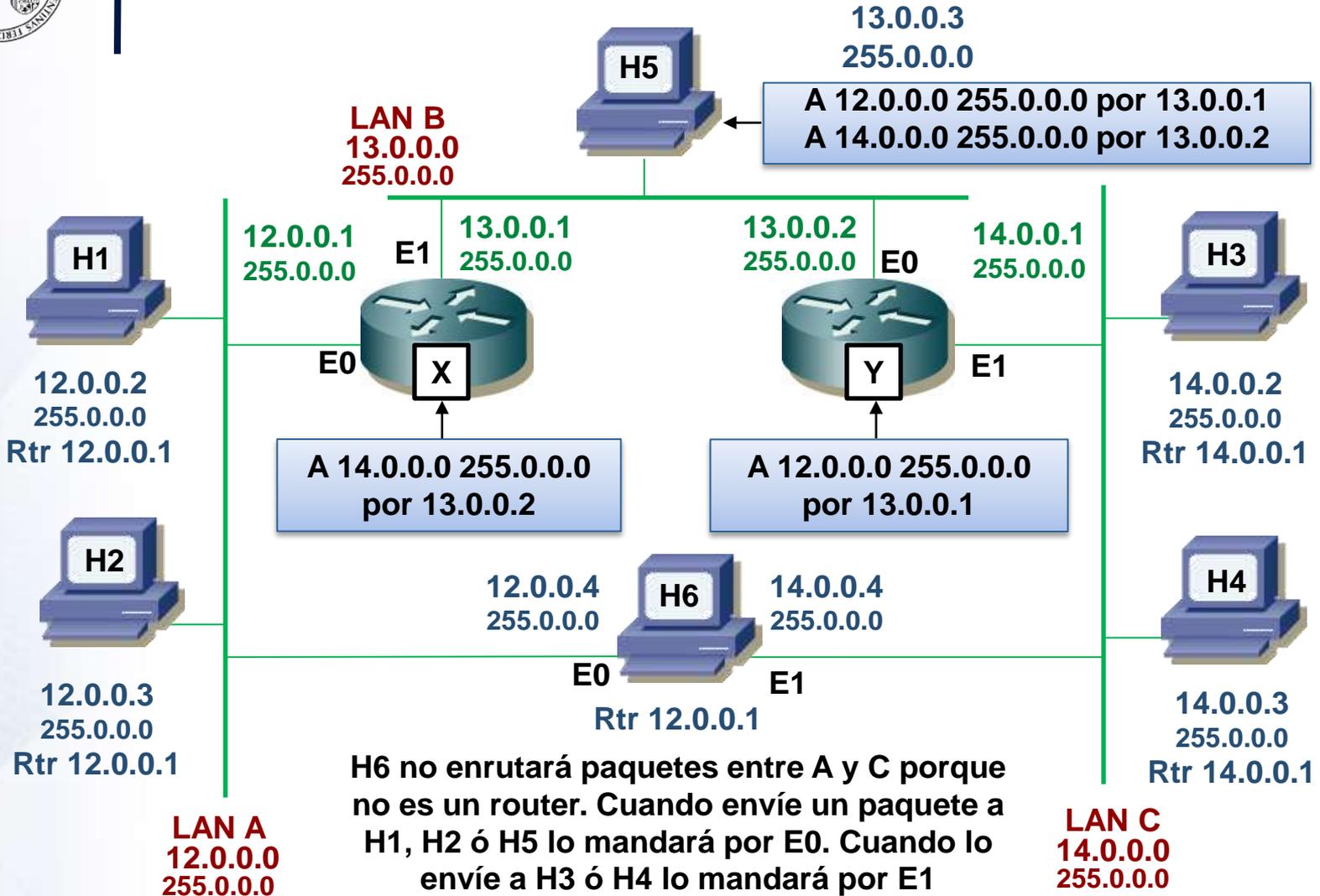


Dos routers conectando tres LANs





Host 'multihomed'





Comando 'ipconfig' en un ordenador multihomed

Interfaz WiFi
(ADSL)

Interfaz Ethernet
(ADSL)

```
C:\>ipconfig

Configuración IP de Windows

Adaptador Ethernet Conexiones de red inalámbricas           :

    Sufijo de conexión específica DNS :
    Dirección IP. . . . . : 192.168.1.4
    Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
    Puerta de enlace predeterminada  : 192.168.1.1

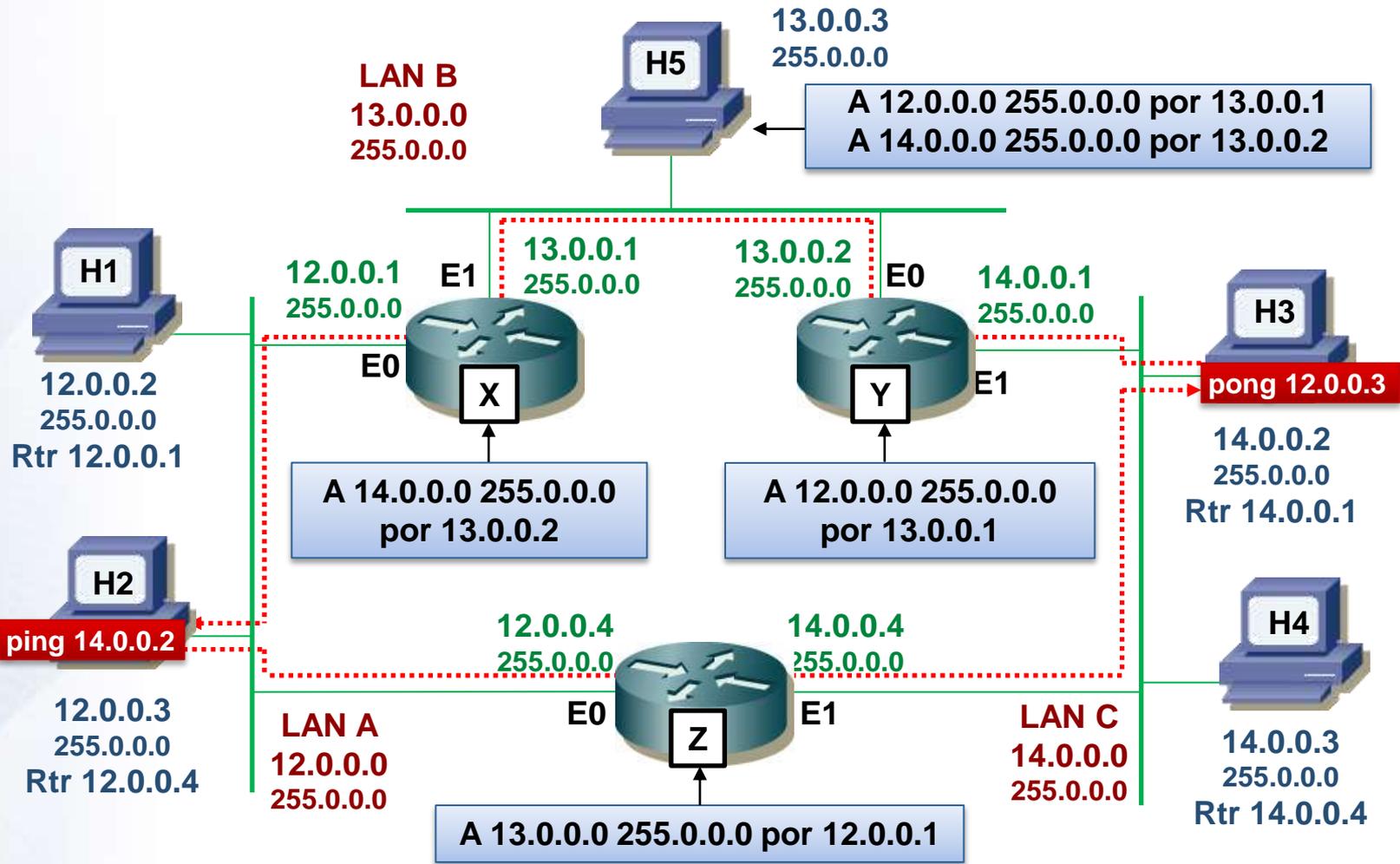
Adaptador Ethernet Conexión de área local 3                 :

    Sufijo de conexión específica DNS :
    Dirección IP. . . . . : 192.168.1.3
    Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
    Puerta de enlace predeterminada  : 192.168.1.1

C:\>
```

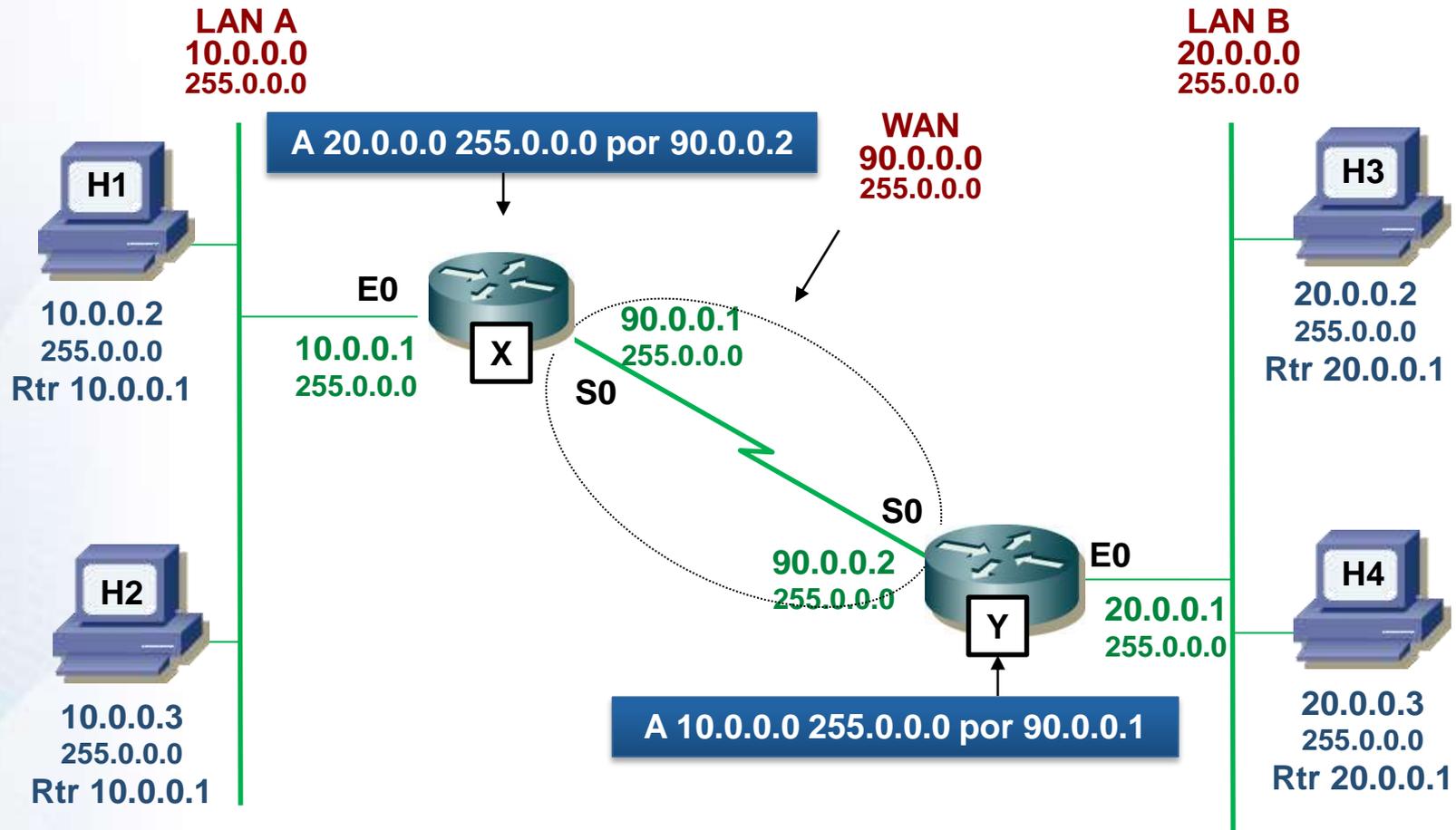


Red mallada (con caminos alternativos)



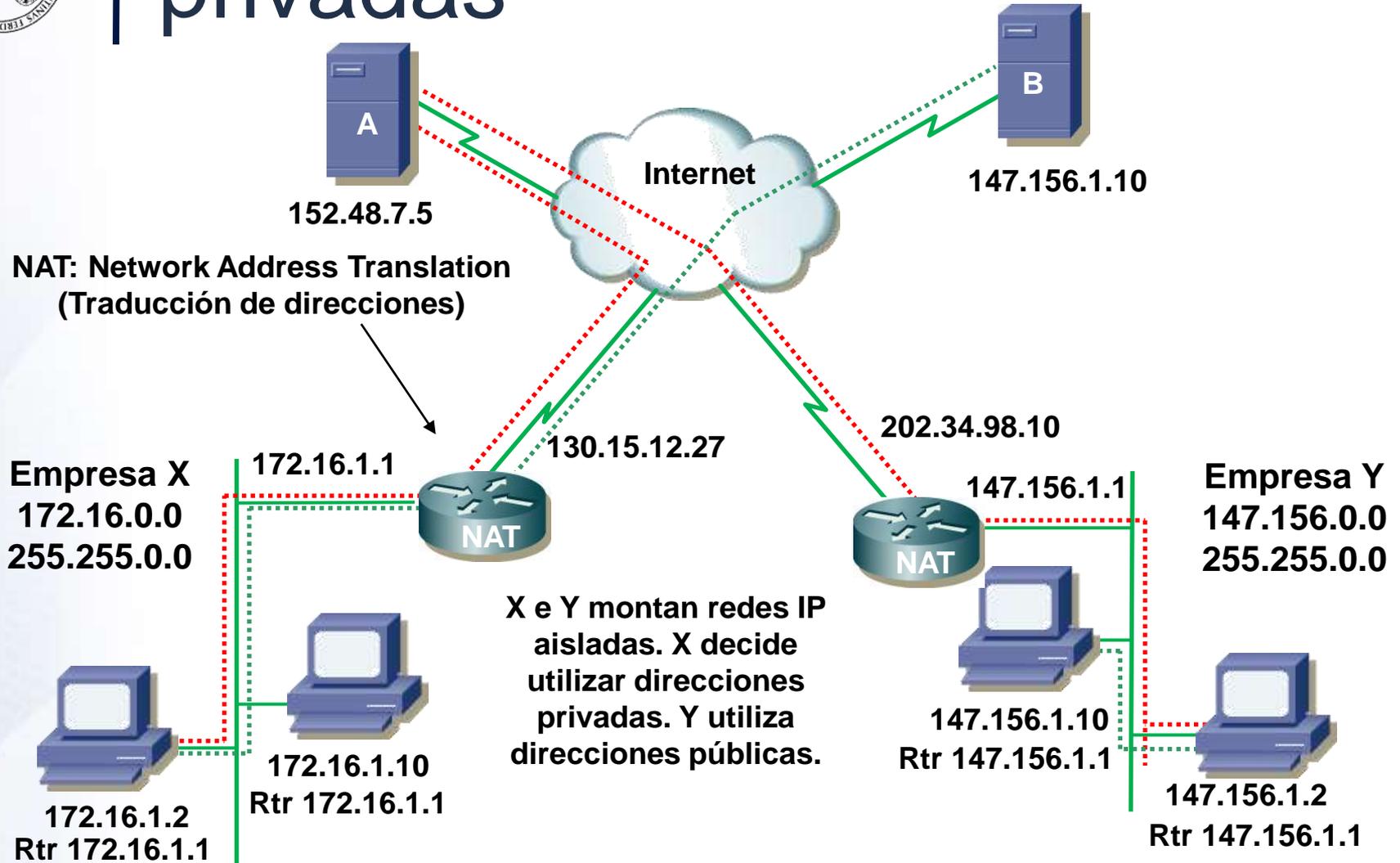


Enlace WAN: conexión línea serie o punto a punto





Utilidad de las direcciones privadas





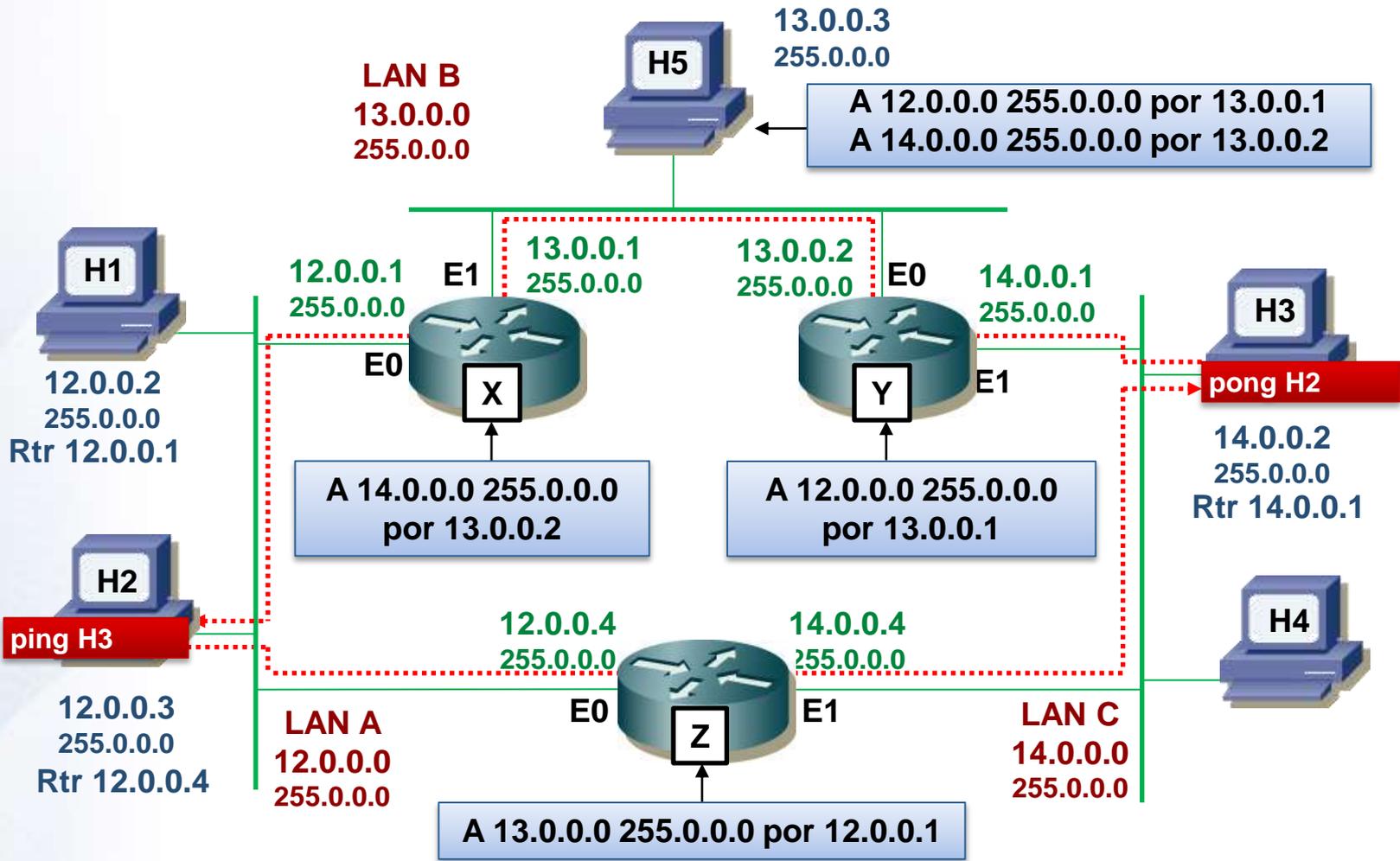
Conceptos de redes

- Generalidades
- **Algoritmos de routing**
- Protocolos de routing
- Internetworking



Red mallada

Revisión





Principio de optimalidad

Si Valencia está en la ruta óptima de Murcia a Barcelona, entonces el camino óptimo de Valencia a Barcelona está incluido en la ruta óptima de Murcia a Barcelona

Corolario: Todas las rutas óptimas para llegar a Barcelona desde cualquier sitio forman un árbol sin bucles (spanning tree) con raíz en Barcelona.



Principio de optimalidad (II)



La red de autopistas españolas



Árbol de rutas óptimas hacia Barcelona

Los trazos en rojo indican la ruta óptima a seguir en cada caso



Concepto de ruta óptima en carreteras

- Para elegir la ruta óptima en un viaje por carretera se pueden aplicar diversos criterios, por ejemplo:
 - La que minimice la distancia
 - La que minimice el tiempo
 - La que minimice el consumo de gasolina
 - La que minimice los peajes
 - La que minimice el cansancio (preferible autopistas, pocas curvas, pocos cambios de carretera, etc.)
 - La que tenga mayor interés turístico o paisajístico
 - Una determinada combinación de todos los anteriores con diversos pesos según los gustos del usuario
- La ruta óptima puede variar según el criterio



Concepto de ruta óptima en telemática

- Los criterios que se aplican suelen ser:
 - Minimizar el número de routers o 'saltos'
 - Maximizar el caudal (ancho de banda) de los enlaces
 - Minimizar el nivel de ocupación o saturación de los enlaces
 - Minimizar el retardo de los enlaces
 - Maximizar la fiabilidad de los enlaces (minimizar la tasa de errores)
 - Una determinada combinación de todos los anteriores con diversos pesos según los gustos del usuario



Algoritmos de routing

- Los algoritmos de routing pueden ser:
 - **Estáticos:** las decisiones se toman en base a información recopilada con anterioridad (horas, días o meses). Normalmente el cálculo de la ruta es costoso y se realiza de forma centralizada. Por eso una vez fijada la ruta raramente se cambia.
 - **Dinámicos:** deciden la ruta óptima en base a información obtenida en tiempo real. Requieren un **protocolo de routing** para recoger la información. La ruta óptima puede cambiar a menudo.
- En redes malladas se suele utilizar routing dinámico

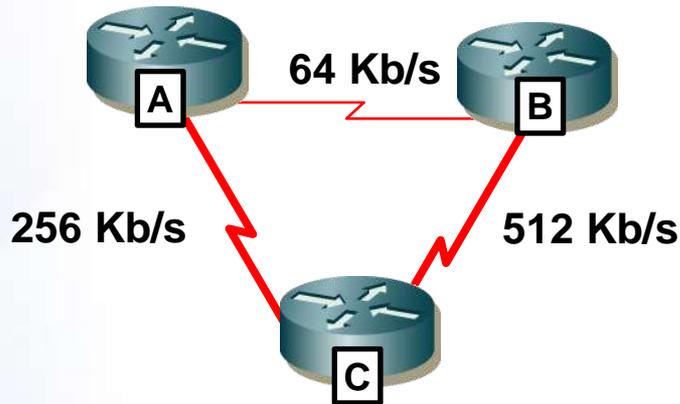


Routing estático basado en el flujo

- Consiste en optimizar las rutas para utilizar los enlaces de mayor capacidad (ancho de banda) y menor tráfico (nivel de ocupación)
- Es preciso disponer de información que permita estimar el tráfico medio entre cada par de nodos (matriz de tráfico).
- Interesante para decidir la topología cuando se diseña una red de enlaces punto a punto o con circuitos virtuales permanentes (Frame Relay o ATM)
- Se han de plantear varias topologías posibles (en principio todas), compararlas y elegir la más adecuada.
- Se considera ruta óptima la que minimiza el tiempo de servicio
- Este algoritmo no permite responder con rapidez a cambios en el comportamiento del tráfico (por ejemplo congestión repentina en un enlace)



Ejemplo de routing estático basado en el flujo



Matriz de tráfico (Kb/s)

		Destino		
		A	B	C
Origen	A	-	10	100
	B	10	-	400
	C	100	400	-

Matriz de rutas con ruta A-C-B

		Destino		
		A	B	C
Origen	A	-	ACB	AC
	B	BCA	-	BC
	C	CA	CB	-



Routing estático basado en el flujo

Ruta A-B:

Enlace	Velocidad	Caudal	Ocupación	T. de serv.
AB	64 Kb/s	10 Kb/s	15,6 %	74,1 ms
AC	256 Kb/s	100 Kb/s	39,1 %	25,6 ms
BC	512 Kb/s	400 Kb/s	78,1 %	35,7 ms

$$(500 \text{ bytes} * 8) / 54 \text{ Kb/s} = 74,07 \text{ ms}$$

Matriz de tiempos de servicio

	A	B	C
A	-	74,1	25,6
B	74,1	-	35,7
C	25,6	35,7	-

Valor promedio: 45,1 ms

Ruta A-C-B:

Enlace	Velocidad	Caudal	Ocupación	T. de serv.
AB	64 Kb/s	0 Kb/s	0 %	62,5 ms
AC	256 Kb/s	110 Kb/s	43,0 %	27,4 ms
BC	512 Kb/s	410 Kb/s	80,1 %	39,2 ms

$$27,4 \text{ ms} + 39,2 \text{ ms} = 66,6 \text{ ms}$$

Matriz de tiempos de servicio

	A	B	C
A	-	66,6	27,4
B	66,6	-	39,2
C	27,4	39,2	-

Valor promedio: 44,4 ms



Routing estático basado en el flujo

Cálculo del tiempo de servicio medio ponderado

Matriz de tráfico (Kb/s)

		Destino		
		A	B	C
Origen	A	-	10	100
	B	10	-	400
	C	100	400	-

Matriz de tráfico normalizada

		Destino		
		A	B	C
Origen	A	-	0,0098	0,0980
	B	0,0098	-	0,3922
	C	0,0980	0,3922	-

Tráfico total: 1020 Kb/s

Tiempo de servicio medio ponderado:

Ruta A-B: 34,5 ms

Ruta A-C-B: **37,4** ms

Conclusión: La ruta A-B es mejor que la A-C-B



Encaminamiento por inundación

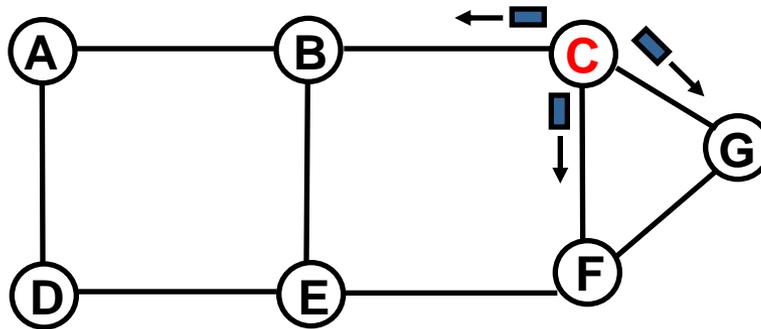
- *Consiste en enviar cada paquete por todas las interfaces, excepto por la que ha llegado.*
- Utilizado en:
 - Puentes transparentes (tramas broadcast/multicast)
 - Algunos algoritmos de routing (estado del enlace)
 - Algunos algoritmos de routing multicast
- Si hay bucles se envían paquetes duplicados, el tráfico se multiplica y la red se bloquea. Soluciones:
 - Bloquear interfaces (spanning tree)
 - Incorporar contador de saltos retrospectivo y descartar cuando sea cero
 - Mantener lista de enviados y descartar duplicados

Encaminamiento por inundación

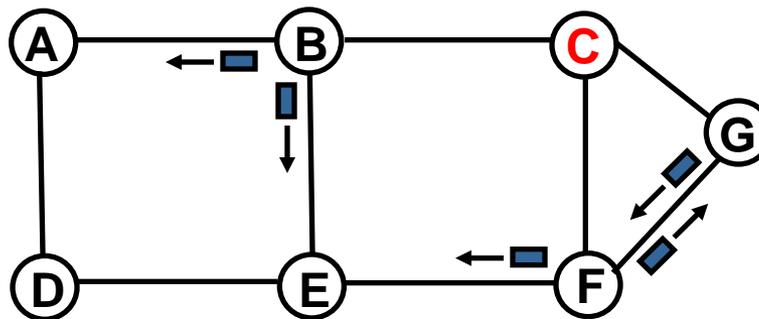
Contador de saltos



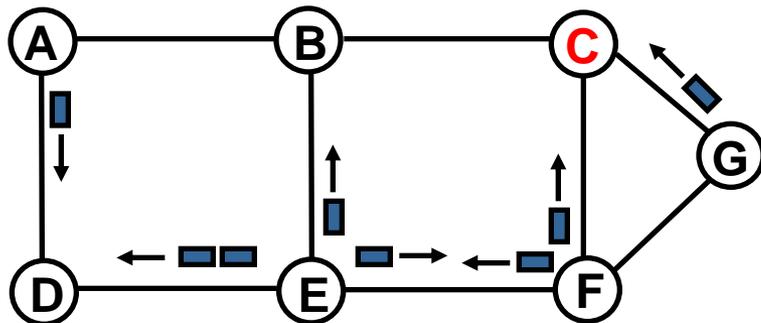
Primer salto:
3 paquetes



Segundo salto: 5
paquetes



Tercer salto: 8
paquetes





Encaminamiento dinámico

- Requiere recabar información en tiempo real sobre el estado de los enlaces
- Permite responder a situaciones cambiantes, p. ej.: fallo o saturación de un enlace. Pero sólo si hay mallado (ruta alternativa).
- Dos algoritmos:
 - Vector distancia o Bellman-Ford
 - Estado del enlace, Dijkstra o Shortest Path First
- En ambos casos el cálculo de rutas óptimas se realiza entre todos los routers de la red, de forma distribuida

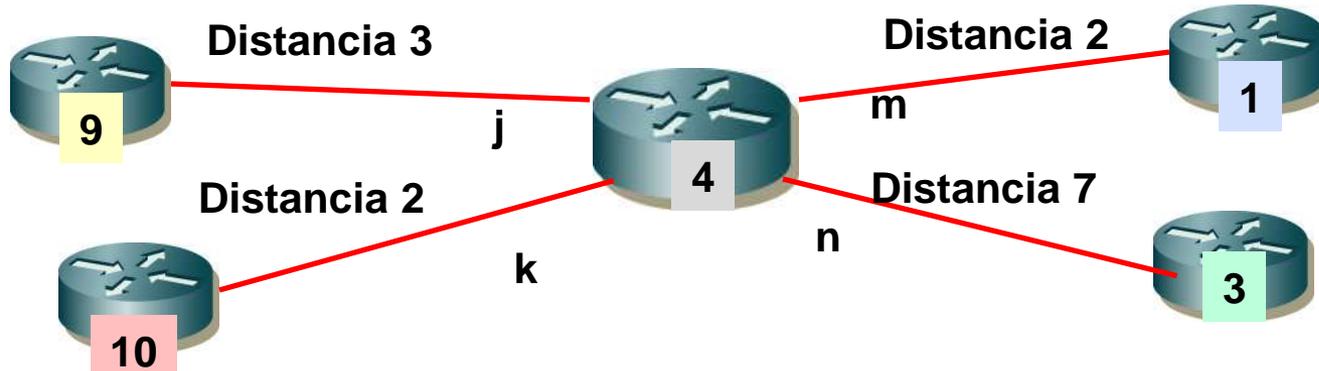


Algoritmo del vector distancia o de Bellman-Ford

- Cada router conoce:
 - Su identificador
 - Sus interfaces
 - La distancia hasta el siguiente router de cada interfaz
- Cada router construye una tabla (base de datos) de destinos, que le indica por que interfaz debe enviar los paquetes para cada posible destino
- Para ello intercambia con sus vecinos vectores distancia, que indican la distancia a cada destino



Ejemplo, Vector Distancia



Destino: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Recibido de j (+3):

12	3	15	3	12	5	6	18	0	7	15
----	---	----	---	----	---	---	----	---	---	----

Recibido de k (+2):

5	8	3	2	10	7	4	20	5	0	15
---	---	---	---	----	---	---	----	---	---	----

Recibido de m (+2):

0	5	3	2	19	9	5	22	2	4	7
---	---	---	---	----	---	---	----	---	---	---

Recibido de n (+7):

6	2	0	7	8	5	8	12	11	3	2
---	---	---	---	---	---	---	----	----	---	---

Distancia mínima:

2	6	5	0	12	8	6	19	3	2	9
---	---	---	---	----	---	---	----	---	---	---

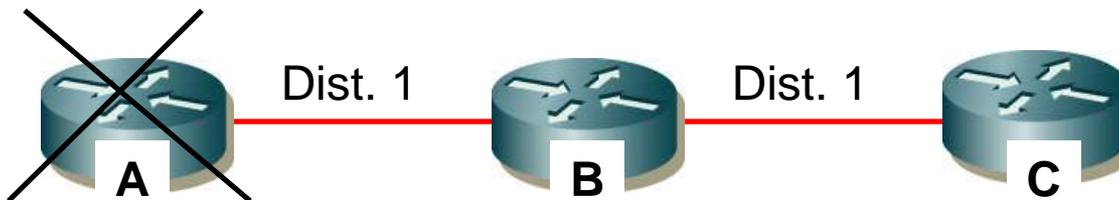
Interfaz de salida:

m	j	m	0	k	j	k	n	j	k	n
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



La cuenta a infinito...

A se enciende



Distancias
hacia A

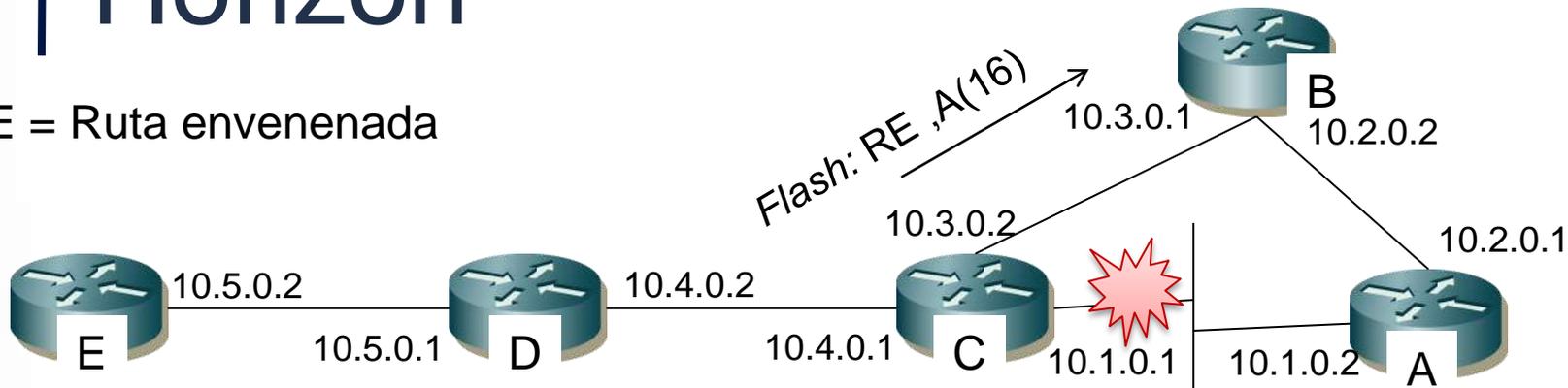
A se apaga

→	-	∞	∞
	0	∞	∞
	0	1	∞
→	0	1	2
	-	3 ←	2
	-	3	→ 4
	-	5 ←	4
	-	5	→ 6
	-	7	6
	-	7	8
	-	9	8
	-	.	.
	-	.	.
	-	∞	∞



Ruta envenenada y Split Horizon

RE = Ruta envenenada



← Flash: RE ,A(16)

← Flash: RE ,A(16)

C: Purga todas las entradas a A

C: Pregunta a vecinos por A

D: RE ,A(16) →

← B: A(1)

C: Acepta nueva ruta

← C: A(2)

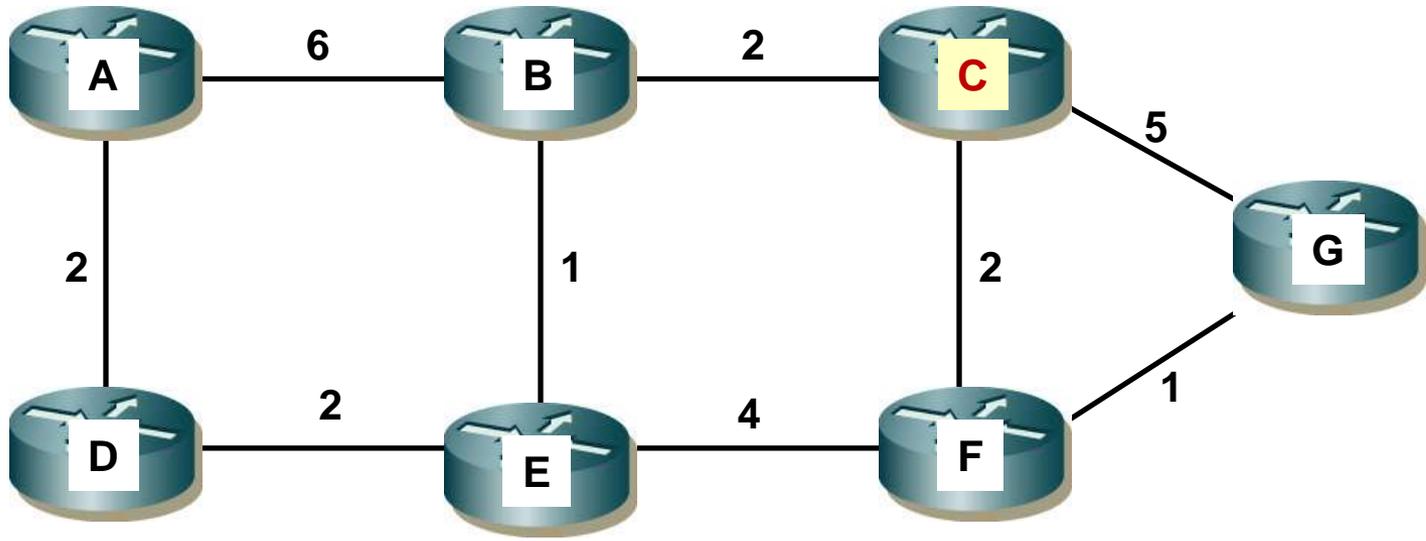


Algoritmo del estado del enlace

- Cada router contacta con sus vecinos y mide su distancia a ellos
- Construye un paquete LSP (Link State Packet) que dice:
 - Quién es él
 - La lista de sus vecinos y sus distancias a ellos
- Envía su LSP por inundación a todos los routers de la red
- Recaba los LSPs de todos los demás nodos
- Calcula las rutas óptimas por el algoritmo de Dijkstra:
 - Se pone él mismo como raíz del árbol, y coloca a sus vecinos
 - Mira los LSP de sus vecinos y despliega el árbol; cuando aparece más de un camino hacia un nodo toma el más corto y descarta los demás.
 - Las ramas son en principio provisionales. Una rama se confirma cuando es más corta que todas los demás provisionales.

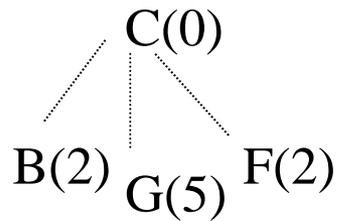


Algoritmo del estado del enlace (Dijkstra)

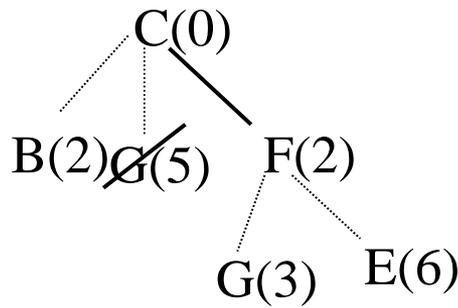


Link State
Packets

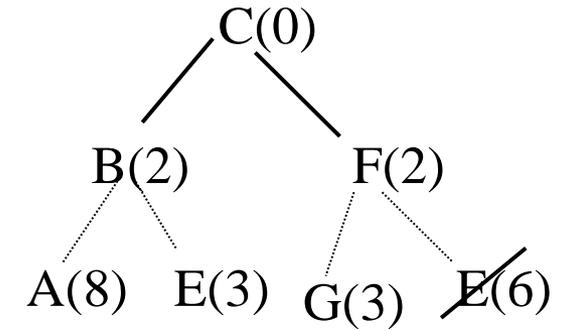
A	B	C	D	E	F	G
B/6	A/6	B/2	A/2	B/1	C/2	C/5
D/2	C/2	F/2	E/2	D/2	E/4	F/1
	E/1	G/5		F/4	G/1	



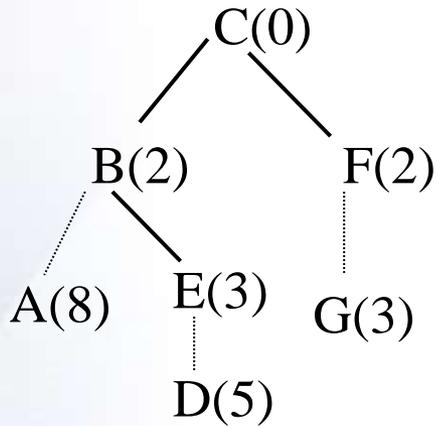
Coloca C en el árbol.
Examina el LSP de C



Coloca F en el árbol.
Examina el LSP de F.
Encontrado mejor camino a G

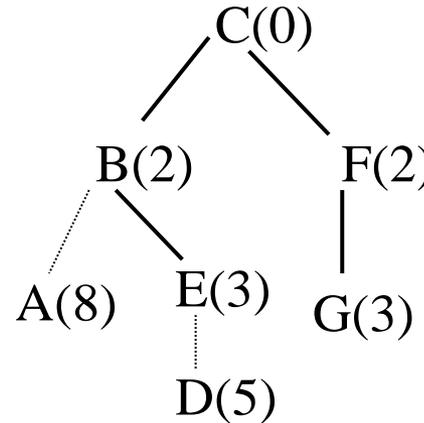


Coloca B en el árbol.
Examina el LSP de B.
Encontrado mejor camino a E

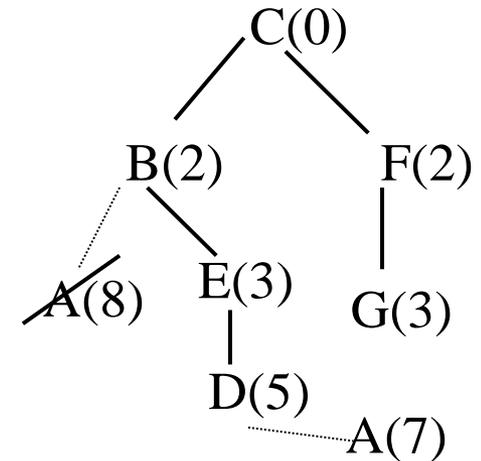


Coloca E en el árbol.
Examina el LSP de E.

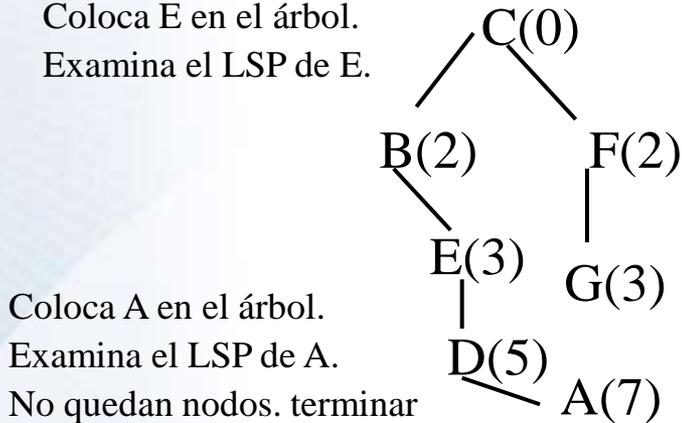
Algoritmo de Dijkstra



Coloca G en el árbol.
Examina el LSP de G.



Coloca D en el árbol.
Examina el LSP de D.

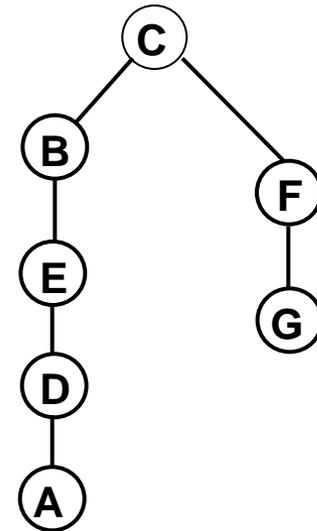
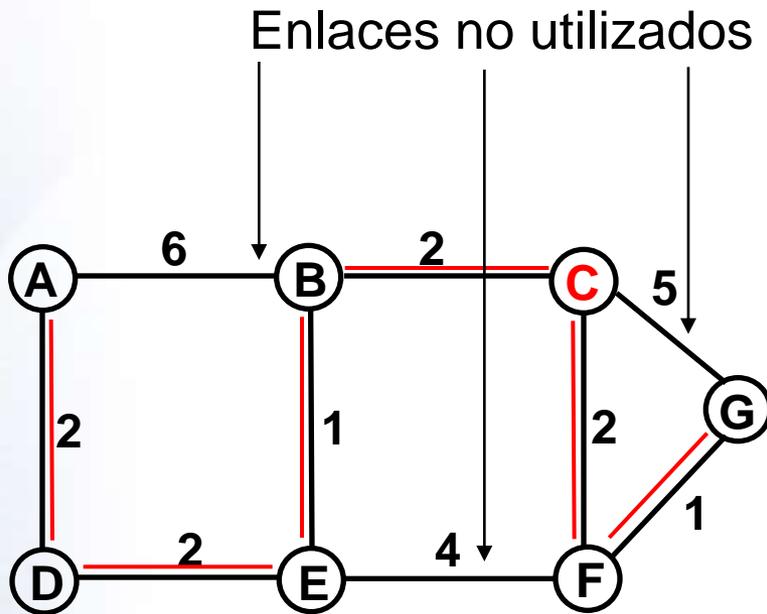


Coloca A en el árbol.
Examina el LSP de A.
No quedan nodos. terminar

A	B	C	D	E	F	G
B/6	A/6	B/2	A/2	B/1	C/2	C/5
D/2	C/2	F/2	E/2	D/2	E/4	F/1
	E/1	G/5		F/4	G/1	



Árbol de rutas óptimas desde C para la red ejemplo



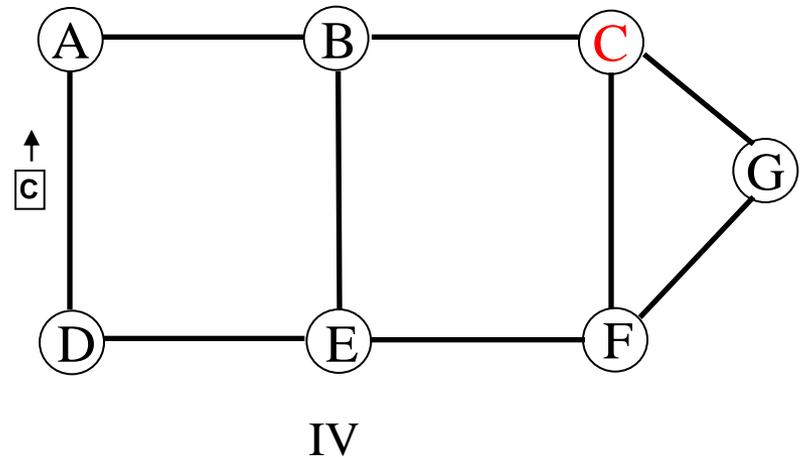
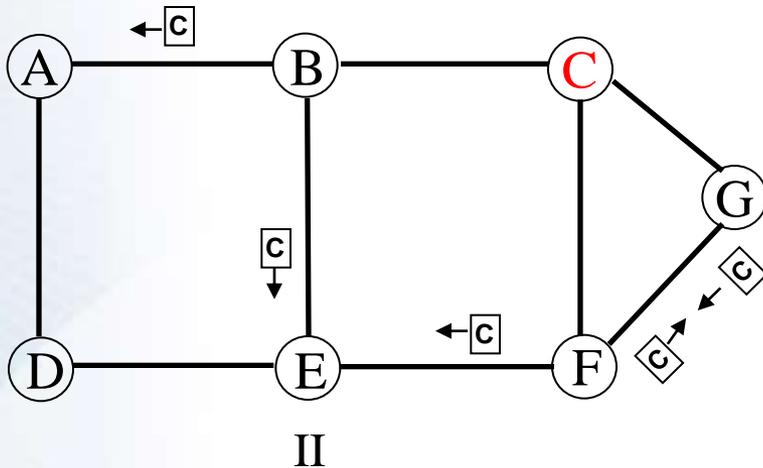
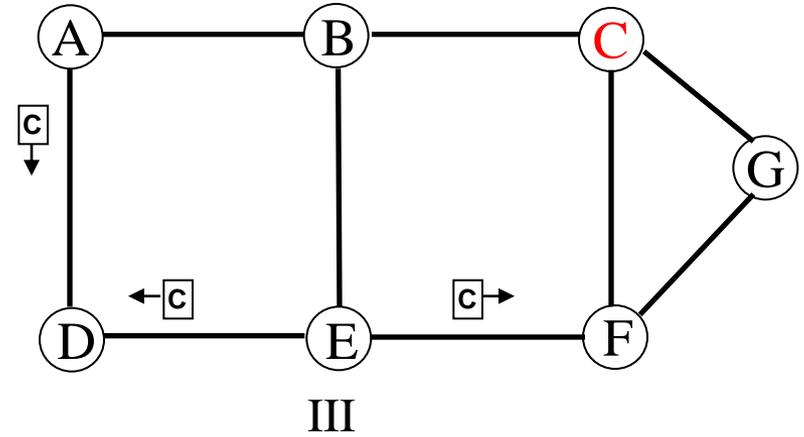
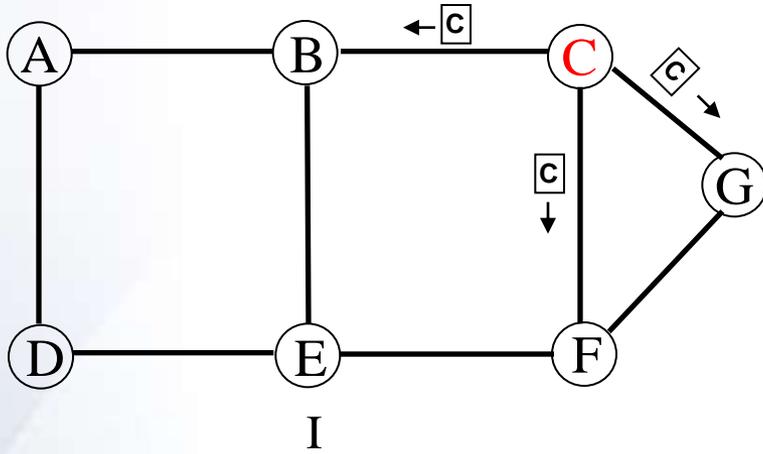


Algoritmo de estado del enlace

- Los LSPs se transmiten por inundación
- Sólo se envían LSPs cuando hay cambios en la red (enlaces que aparecen o desaparecen, o bien cambios en la métrica)
- Los LSPs se numeran secuencialmente. Además tienen un tiempo de vida limitado
- Para evitar bucles solo se reenvían los LSPs con número superior a los ya recibidos y que no están expirados
- Cada LSP pasa una vez o a lo sumo dos veces (pero no más de dos) por el mismo enlace

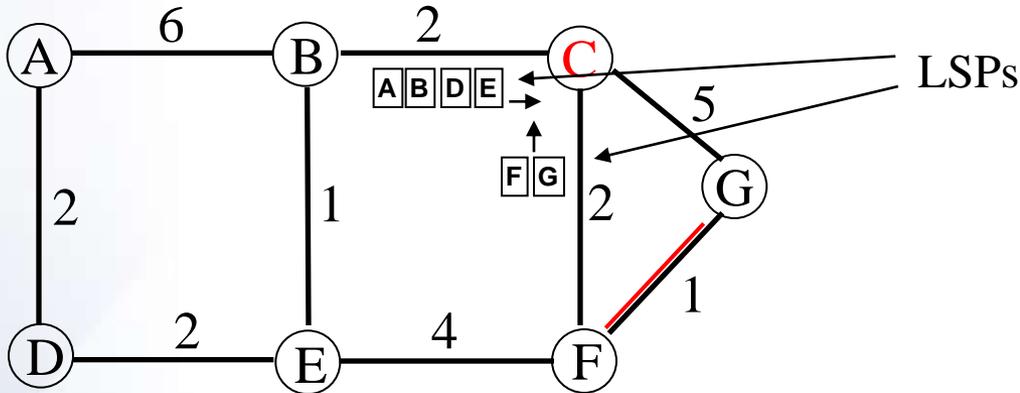


Reparto de LSPs de C por inundación

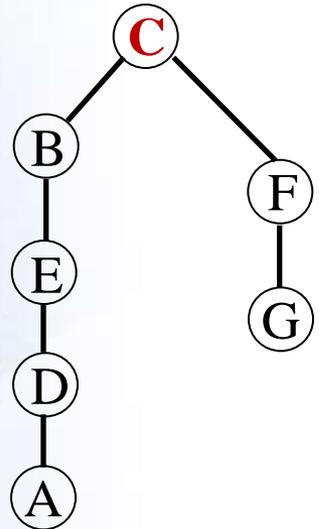




Distribución de los LSPs en el router C



A	B	C	D	E	F	G
B/6	A/6	B/2	A/2	B/1	C/2	C/5
D/2	C/2	F/2	E/2	D/2	E/4	F/1
E/1	G/5			F/4	G/1	



Origen	Secuen.	Edad	Flags Envío LSP			Flags Envío ACK			Datos
			B	F	G	B	F	G	
A	21	60	0	1	1	1	0	0	B/6, D/2
B	21	60	0	1	1	1	0	0	A/6, C/2, E/1
D	21	60	0	1	1	1	0	0	A/2, E/2
E	20	58	0	1	1	1	0	0	B/1, D/2, F/4
F	21	59	1	0	1	0	1	0	C/2, E/4, G/1
G	21	62	1	0	1	0	1	0	C/5, F/1
C	21	61	1	1	1	0	0	0	B/2, F/2, G/5

Base de datos de LSPs en C



Routing por estado del enlace

- Con routing por el estado del enlace cada nodo conoce la topología de toda la red (no era así con vector distancia).
- La información sobre la red no se usa para optimizar la distribución de LSPs, sino que estos viajan por inundación haciendo uso de toda la red (si no fuera así no se sabría si las rutas alternativas siguen operativas)
- Generalmente se considera que los algoritmos del estado del enlace son mas fiables y eficientes que los del vector distancia.
- Se utiliza en diversos protocolos de routing:
 - Internet: OSPF, IS-IS
 - ATM: PNNI
 - DECNET
 - IPX: NLSP



Routing jerárquico

- **Problema:** los algoritmos de routing no son *escalables*. La cantidad de información intercambiada aumenta de forma no lineal con el tamaño de la red. Lo mismo ocurre con la complejidad de los cálculos (requerimientos de CPU y memoria).
- **Solución:** crear regiones (niveles jerárquicos). Solo algunos routers de cada región comunican con el exterior. Las rutas son menos óptimas, pero se reduce la información de routing.
- Parecido a la forma como se organizan las rutas en la red de carreteras (internacionales, nacionales, regionales).



Routing jerárquico

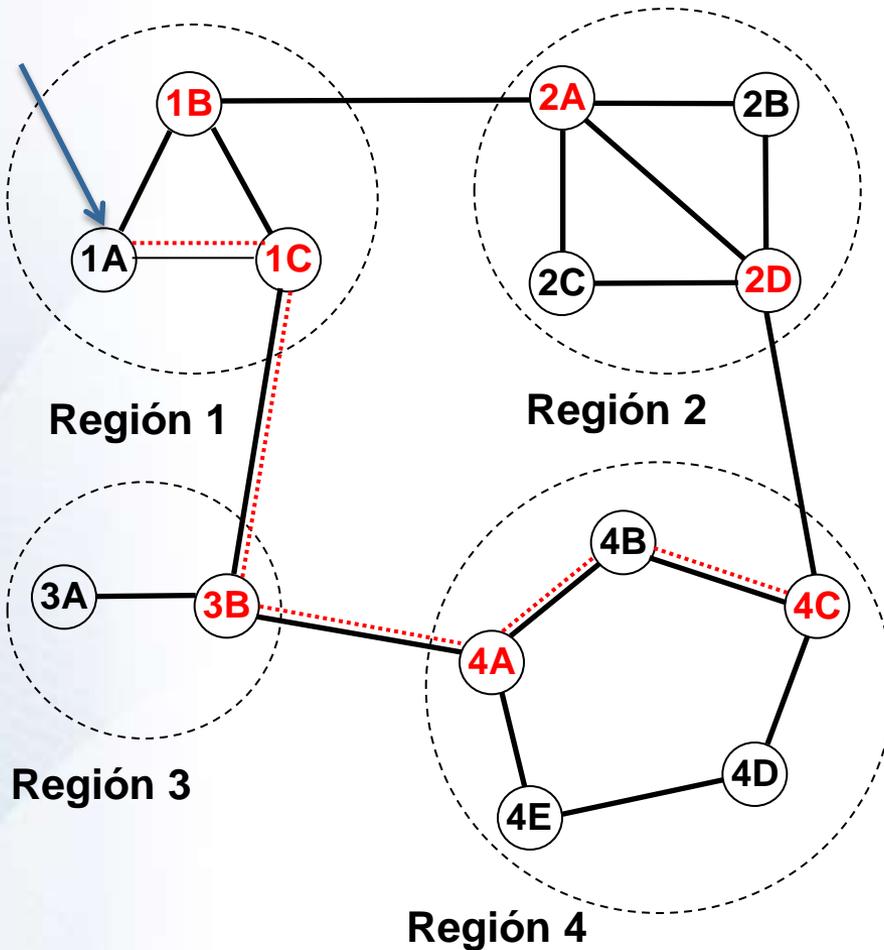


Tabla de vectores para 1A

No jerárquica

Destino	Vía	Saltos
1A	-	-
1B	1B	1
1C	1C	1
2A	1B	2
2B	1B	3
2C	1B	3
2D	1B	3
3A	1C	3
3B	1C	2
4A	1C	3
4B	1C	4
4C	1B	4
4D	1C	5
4E	1C	4

Jerárquica

Destino	Vía	Saltos
1A	-	-
1B	1B	1
1C	1C	1
2	1B	2
3	1C	2
4	1C	3

En este caso la ruta de la región 1 a cualquier destino de la región 4 pasa por la 3



Protocolos de Routing

- Protocolos de routing dentro de un AS
- Concepto de Sistema Autónomo (AS)
- Protocolos de routing entre ASes
- Arquitectura de Internet y puntos neutros de interconexión



Protocolos de routing en IP

- Algoritmo del vector distancia (Bellman-Ford)
 - RIP
 - IGRP y EIGRP
 - BGP (entre Sistemas Autónomos)
- Algoritmo de estado del enlace (Dijkstra)
 - IS-IS
 - OSPF



RIP (Routing Information Protocol)

- Sufre los problemas típicos del vector distancia (cuenta a infinito)
- Solo útil en redes pequeñas (5-10 routers)
- Métrica basada en número de saltos únicamente. Máximo 15 saltos
- La información se intercambia cada 30 segundos. Los routers tienden a sincronizarse y la red se bloquea cuando ocurre el intercambio.
- IPv1 no soporta subredes ni máscaras de tamaño variable (sí en IPv2)
- No permite usar múltiples rutas simultáneamente (algunas implementaciones sí)
- Es bastante habitual en sistemas UNIX



IGRP (Interior Gateway Routing Protocol) y EIGRP (Enhanced IGRP)

- Protocolos propietarios de Cisco
- Resuelven muchos de los problemas de RIP
 - Métrica sofisticada
 - Reparto de tráfico entre múltiples rutas
- Incluyen soporte multiprotocolo
- Mejoras de EIGRP sobre IGRP
 - Soporta subredes
 - Solo transmite modificaciones
 - Incorpora diversos mecanismos para evitar el problema de la cuenta a infinito



OSPF (Open Shortest Path First)

- Desarrollado por el IETF entre 1988-1990. Actualmente se usa OSPF V. 3 definido en el RFC 2740
- Basado en el algoritmo del estado del enlace
- Dos niveles jerárquicos (áreas):
 - Área 0 o backbone (obligatoria)
 - Áreas adicionales (opcionales)
- Resuelve los problemas de RIP:
 - Rutas de red, subred y host (máscaras de tamaño variable)
 - Admite métricas complejas (costo). En la práctica se usa solo ancho de banda
 - Reparte tráfico entre múltiples rutas cuando tienen el mismo costo
- Las rutas óptimas pueden no ser simétricas

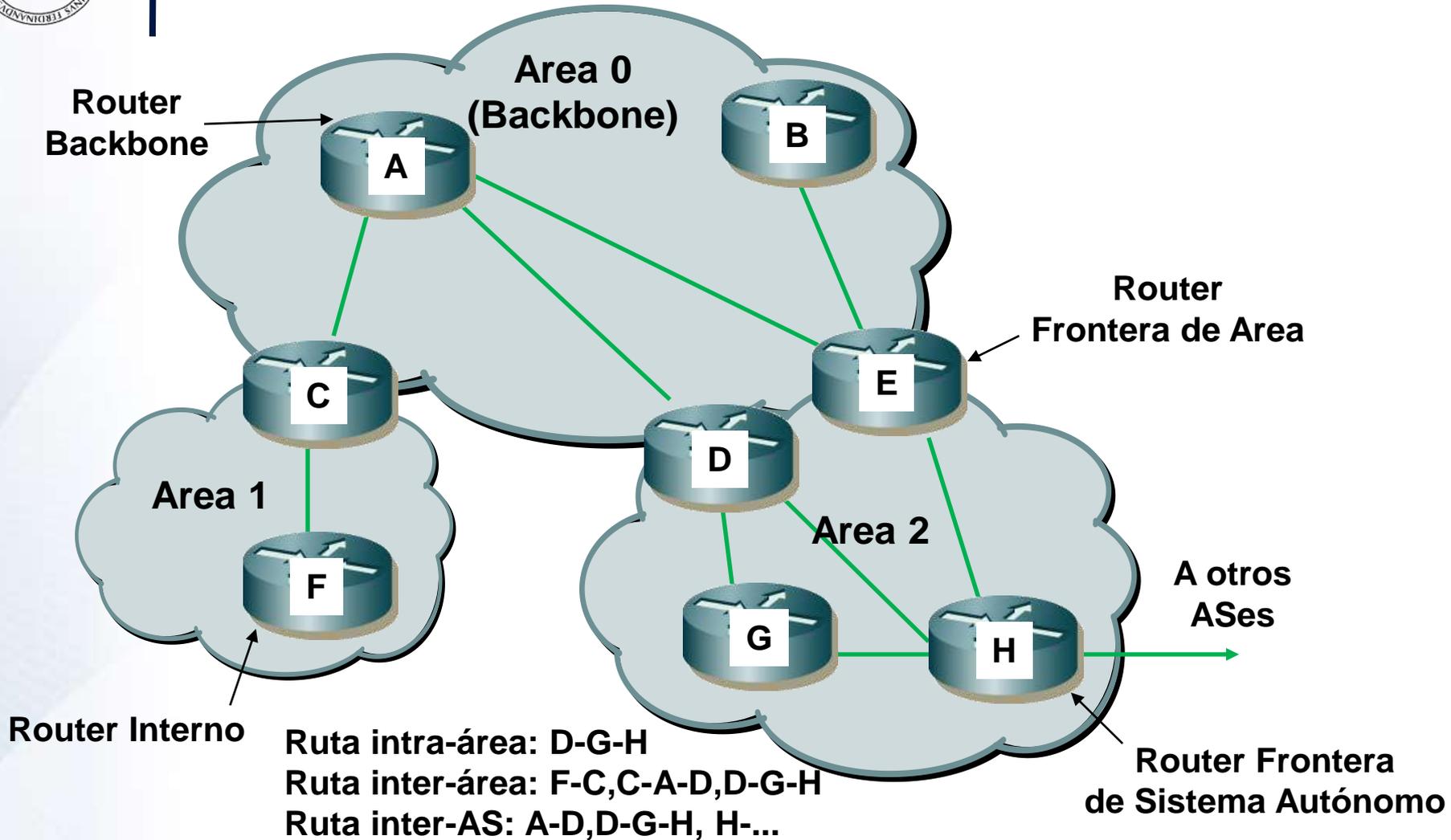


OSPF

- Clases de routers en OSPF:
 - *Routers backbone*: los que se encuentran en el área 0
 - *Routers internos*: pertenecen únicamente a un área
 - *Routers frontera de área*: los que conectan dos o mas áreas (una de ellas necesariamente el backbone)
 - *Routers frontera de AS*: los que conectan con otros ASes. Pueden estar en el backbone o en cualquier otra área
- Tipos de rutas en OSPF:
 - *Intra-área*: las determina directamente el router
 - *Inter-área*: se resuelven en tres fases:
 - Ruta hacia el router backbone en el área
 - Ruta hacia el área de destino en el backbone
 - Ruta hacia el router en el área de destino
 - *Inter-AS*: se envían al router frontera de AS más próximo (empleando alguna de las dos anteriores).



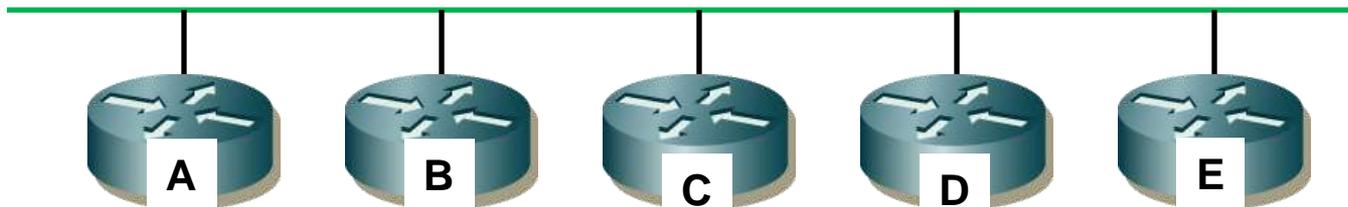
Funcionamiento de OSPF



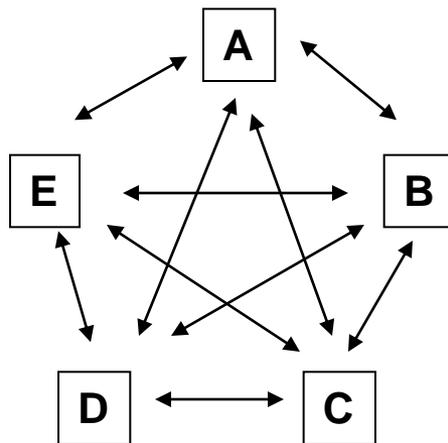


Router designado en OSPF

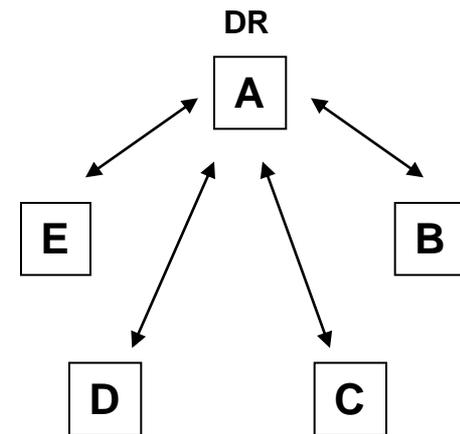
Si hay varios routers en una misma red (normalmente una LAN) uno de ellos actúa como designado. En ese caso los demás le envían a él sus LSPs y él los distribuye (vía multicast) a todos los routers y es el único que intercambia los LSPs con el resto:



Reparto de LSPs sin router designado



Reparto de LSPs con router designado





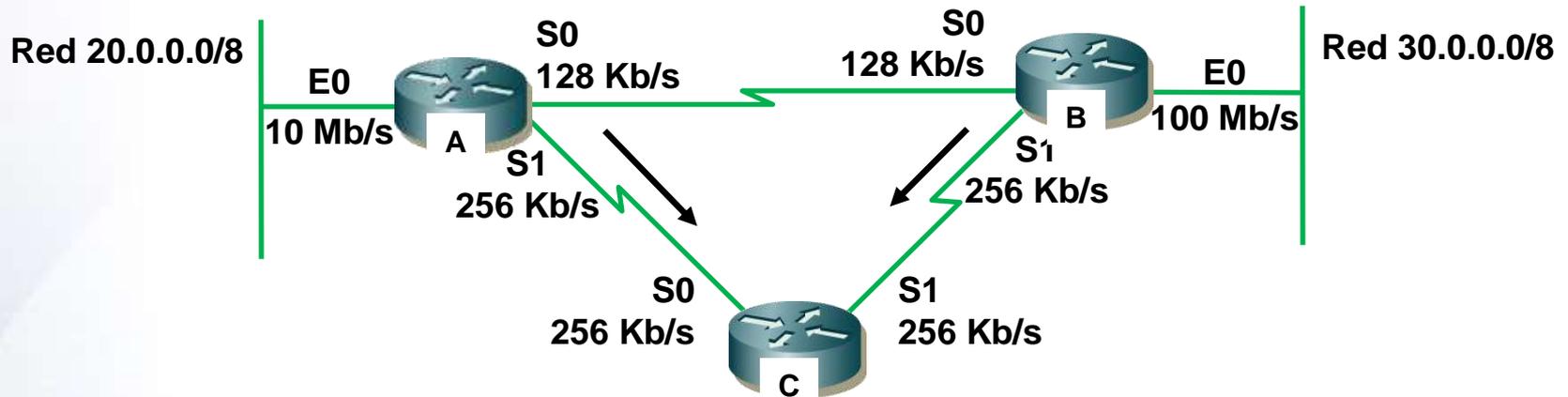
Métrica de OSPF

- En OSPF la métrica se denomina costo. El RFC solo especifica que el costo es un parámetro de 16 bits, no como se calcula
- Algunos fabricantes usan número de saltos para calcular el costo de una ruta
- Otros calculan un costo asociado a cada interfaz con la fórmula:
 - $\text{Costo} = 10^8 / \text{Ancho_de_banda (en b/s)}$
- El costo de una ruta es la suma de los costos de las interfaces por las que se sale (no por las que se entra) hacia el destino

Ancho de banda	$10^8/\text{Ancho de banda}$	Costo
64 Kb/s	1562,5	1562
128 Kb/s	781,25	781
256 Kb/s	390,62	390
2048 Kb/s	48,8	48
10 Mb/s	10	10
100 Mb/s	1	1
1 Gb/s	0,1	1



Ruta óptima en OSPF



Costo desde A hacia 30.0.0.0/8:

Por S0: $781 + 1 = 782$

Por S1: $390 + 390 + 1 = \underline{781}$

Costo desde B hacia 20.0.0.0/8:

Por S0: $781 + 10 = 791$

Por S1: $390 + 390 + 10 = \underline{790}$

Al ser menor el costo de S1 se enviará por ahí todo el tráfico en ambos casos.

Para que el tráfico se reparta entre dos rutas los costos han de ser idénticos

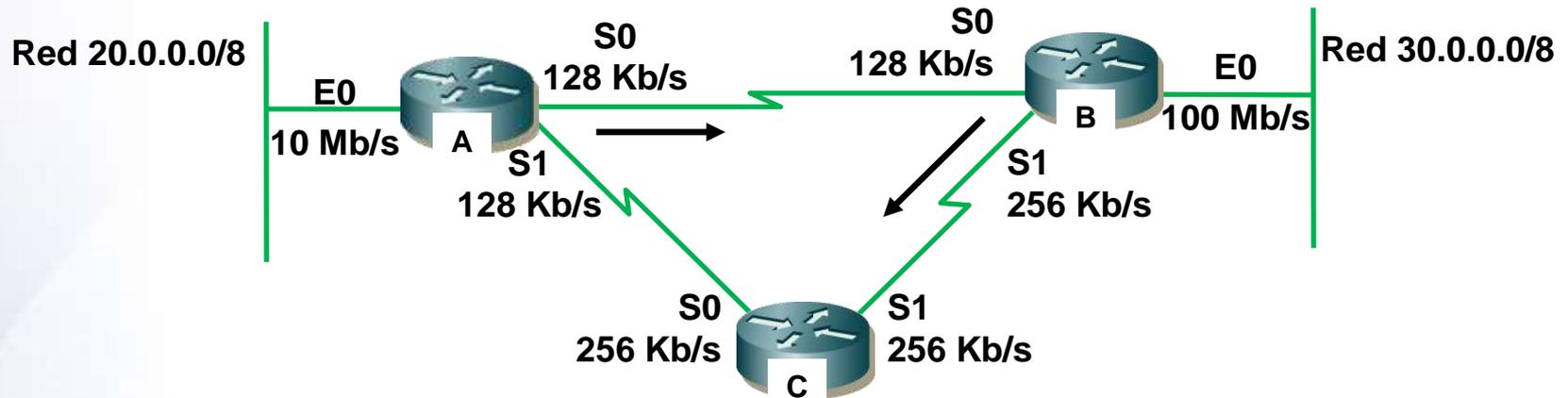
En este caso la ruta por S0 solo se usará si falla la de S1

El costo de la ruta se calcula sumando el costo de las interfaces por las que se sale



Ruta OSPF asimétrica

En este caso hemos bajado a 128 Kb/s el ancho de banda en S1 de B, Con lo cual el enlace A-C es asimétrico



Costo desde A hacia 30.0.0.0/8:
Por S0: $781 + 1 = \underline{782}$
Por S1: $781 + 390 + 1 = 1172$

Costo desde B hacia 20.0.0.0/8:
Por S0: $781 + 10 = 791$
Por S1: $390 + 390 + 10 = \underline{790}$

Al ser ahora menor el costo de S0 se enviará por ahí todo el tráfico de A a B
Sin embargo la ruta óptima de B hacia A sigue siendo a través de S1
Tenemos rutas asimétricas



Protocolos de routing de Internet

Protocolo	Algoritmo	Subredes	Métrica compleja	Notifica Actualiz.	Niveles jerárquicos	Estándar
RIPv1	Vector Distancia	NO	NO	NO	NO	SI
RIPv2	Vector Distancia	SI	NO	NO	NO	SI
IGRP	Vector Distancia	NO	SI	NO	NO	NO
EIGRP	Vector Distancia	SI	SI	SI	NO	NO
OSPF	Estado Enlace	SI	SI	SI	SI	SI (Internet)
IS-IS	Estado Enlace	SI	SI	SI	SI	SI (ISO)



Mecanismo de enrutado de paquetes

- Los paquetes se enrutan de acuerdo con su dirección de destino. La dirección de origen no se toma en cuenta para nada.
- Si al enrutar un paquete el router descubre que existen varias rutas posibles para llegar a ese destino aplica tres criterios de selección, por este orden:
 1. Usar la ruta de máscara más larga. En caso de empate...
 2. Usar la ruta de distancia administrativa menor. En caso de empate...
 3. Usar la ruta de métrica menor. En caso de empate...
 4. Usarlas todas



Máscara más larga

- Supongamos que se han declarado las siguientes rutas estáticas en un router:
 - a) `ip route 20.0.0.0 255.255.254.0 10.0.0.1`
 - b) `ip route 20.0.0.0 255.255.255.0 10.0.0.2`
 - c) `ip route 20.0.0.0 255.255.255.128 10.0.0.3`
- Al tener máscaras diferentes las tres rutas son diferentes y se incorporan todas ellas en la tabla de rutas
- **Pregunta:** ¿Por donde se enviará un datagrama dirigido a 20.0.0.1?
- **Respuesta:** por 10.0.0.3 pues la ruta c) es la que tiene una máscara más larga
- El orden como se introducen las rutas en la configuración es irrelevante. Lo único que cuenta es la longitud de la máscara.



Distancia administrativa

- Un router puede conocer dos rutas hacia un mismo destino por diferentes mecanismos. Ejemplos:
 - Un router está ejecutando simultáneamente RIP y OSPF y recibe rutas hacia un mismo destino por ambos protocolos.
 - Un router ejecuta IS-IS y recibe un anuncio de una ruta para la que tenía configurada una ruta estática.
- Cada ruta tiene asociada una distancia administrativa que depende del protocolo de routing por el que se ha conocido
- La distancia administrativa establece el orden o prioridad con que se aplicarán las rutas. Siempre se da preferencia a la ruta que tiene menor distancia administrativa
- Las distancias administrativas reflejan la confianza relativa que nos merece un protocolo de routing frente a otro



Distancias administrativas por defecto en routers cisco

Mecanismo como se conoce la ruta	Distancia administrativa
→ Red directamente conectada	0
→ Ruta estática	1
Sumarizada de EIGRP	5
BGP externa	20
EIGRP	90
IGRP	100
→ OSPF	110
IS-IS	115
RIP	120
EGP	140
Routing bajo demanda	160
EIGRP externo	170
BGP interno	200
Desconocido	255

Las rutas con distancia 255 no se utilizan



Ejemplo de uso de la distancia administrativa

- Se puede cambiar la distancia administrativa de un protocolo determinado.
- También se puede cambiar, de forma individualizada, la distancia administrativa de una ruta estática. Ejemplo: queremos configurar una ruta por defecto de emergencia, de forma que solo actúe cuando un destino determinado no se nos anuncia por ningún protocolo de routing. Para ello le asignamos distancia 201:

```
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 10.0.0.1 201
```

Esta ruta solo se aplicará como último recurso cuando fallen todas las demás.



Métrica menor

- Si dos rutas están empatadas en longitud de máscara y distancia administrativa se elige la de métrica más baja
- Si también hay empate en la métrica se hace balanceo de tráfico entre ambas rutas
- Las rutas de métrica peor quedan en reserva por si falla la elegida.
- Cada protocolo de routing maneja métricas diferentes, por lo que los valores de diferentes protocolos no son comparables. Al tener cada protocolo una distancia administrativa diferente la comparación de métricas solo se hace entre rutas obtenidas por el mismo protocolo

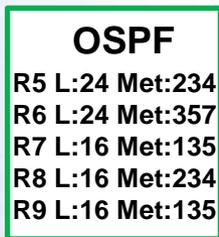
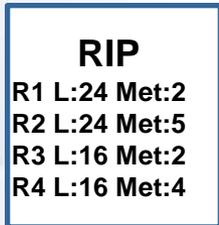


Mecanismo de enrutado

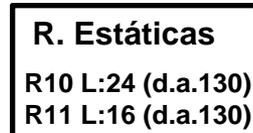
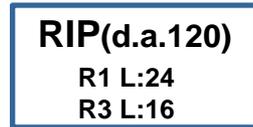
Resumen

Seleccionar rutas óptimas en base a la métrica
(aquí rutas con diferente máscara se consideran
rutas diferentes)

Procesos
de routing



Configuración
manual
(d.a. 130)



Instalar rutas;
elegir ganador en
base a distancia
administrativa



L: longitud de máscara
Met: Métrica
d.a.: Distancia administrativa

Utilizar la ruta
aplicable de
máscara más
larga

Flujo de
paquetes
entrantes



A la cola de la
interfaz de
salida



Conceptos de redes

- Generalidades
- Algoritmos por routing
- Protocolos de routing
- **Internetworking**

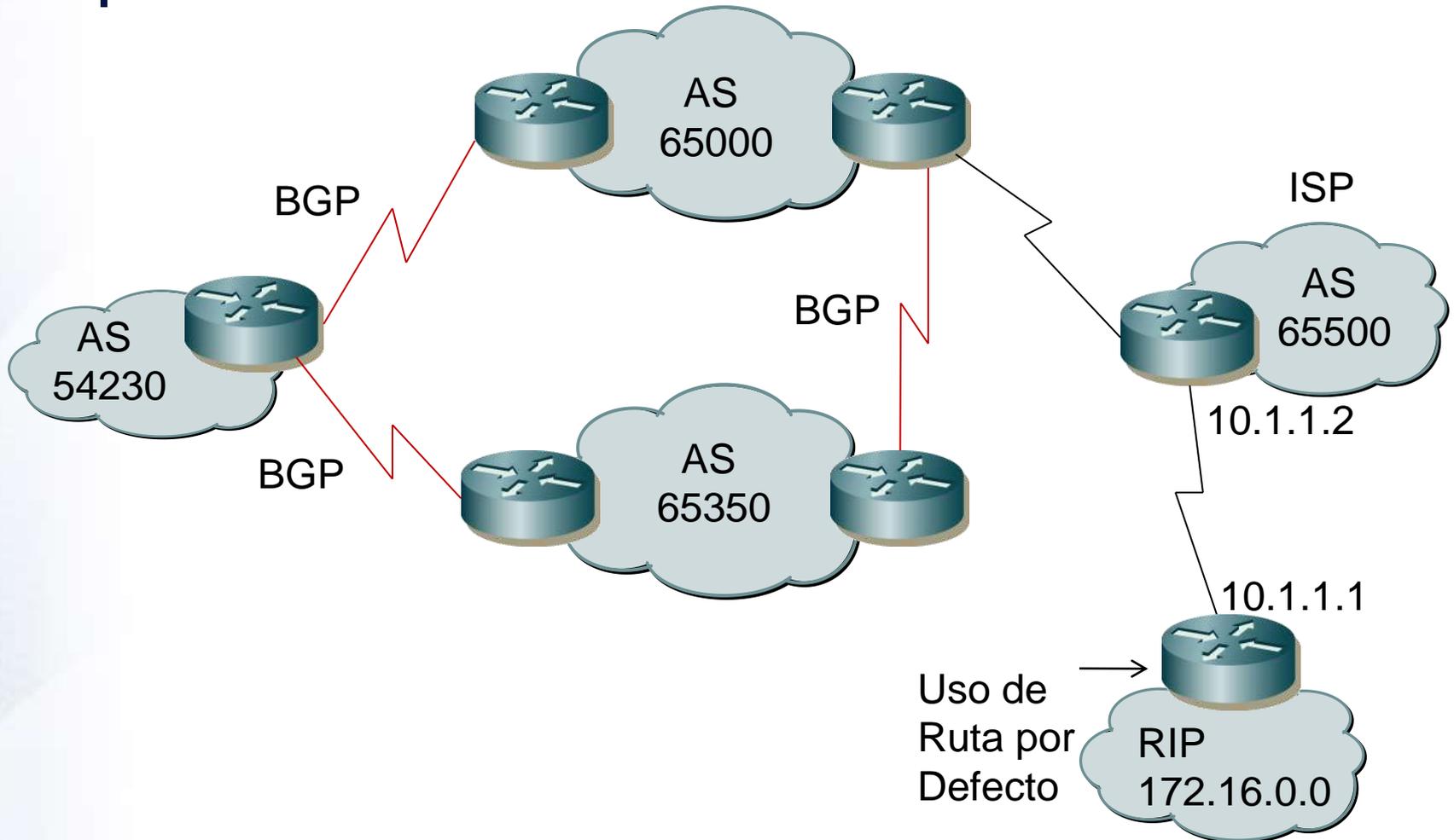


Protocolo de routing externo BGP (Border Gateway Protocol)

- Necesario incluir factores 'políticos' en el cálculo de rutas entre ASes. Requiere otros protocolos
- Hasta 1990 se usaba EGP (Exterior Gateway Protocol)
- En 1989 se desarrolló BGP. Hoy se usa la versión 4 (BGP-4 incluye soporte de CIDR)
- Usado por prácticamente todos los proveedores de Internet en la comunicación de rutas entre ASes



Uso de BGP





BGP (Border Gateway Protocol)

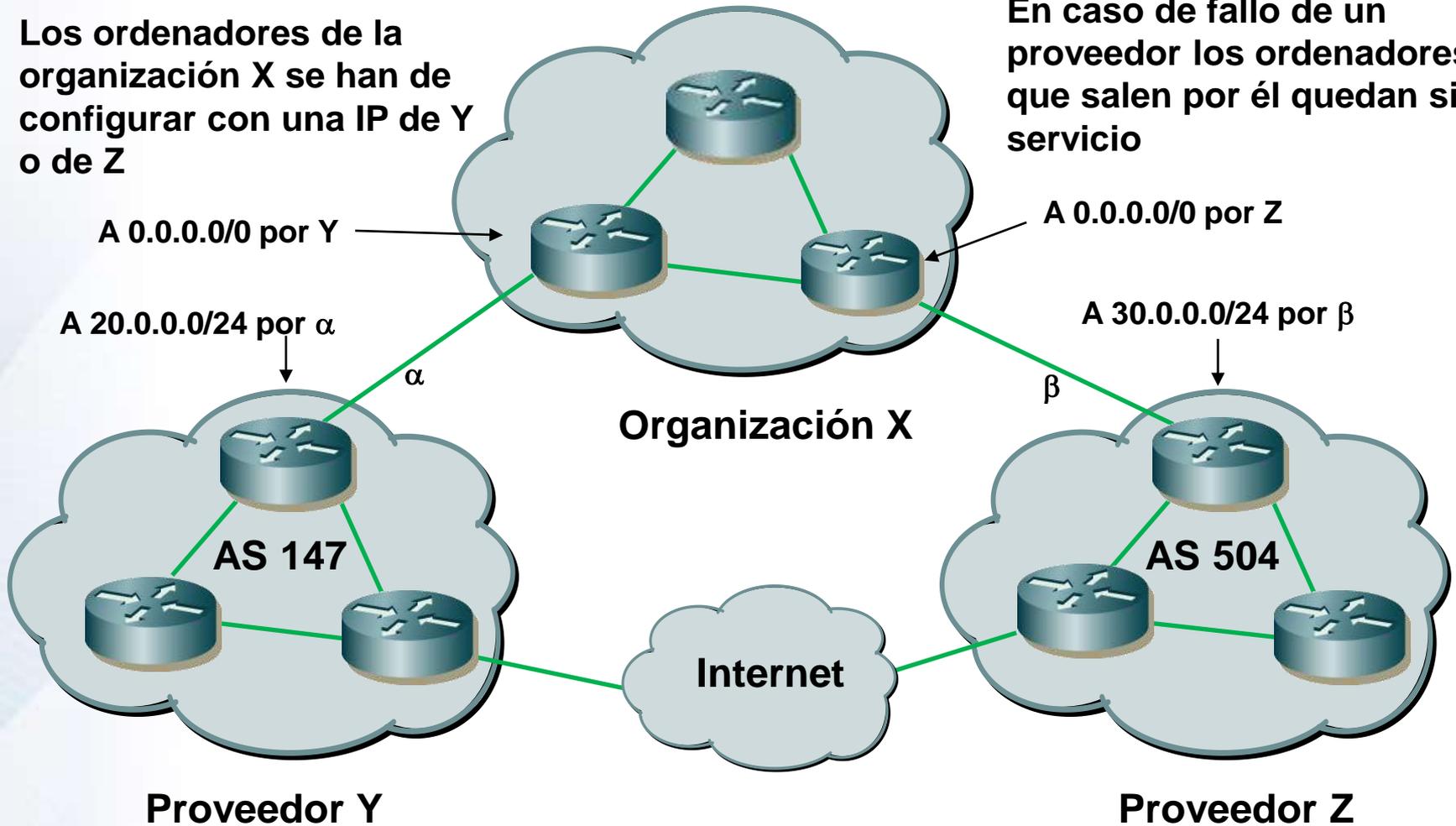
- Algoritmo de vector distancia modificado: además de la interfaz y el costo se incluye la ruta completa en cada caso
- El router descubre y descarta las rutas que pasan por él mismo. Así se evita el problema de la cuenta a infinito
- La métrica suele ser número de saltos
- Permite introducir restricciones o reglas 'políticas'
Una ruta que viola estas reglas recibe una distancia infinito



Organización conectada a dos ISPs

Los ordenadores de la organización X se han de configurar con una IP de Y o de Z

En caso de fallo de un proveedor los ordenadores que salen por él quedan sin servicio





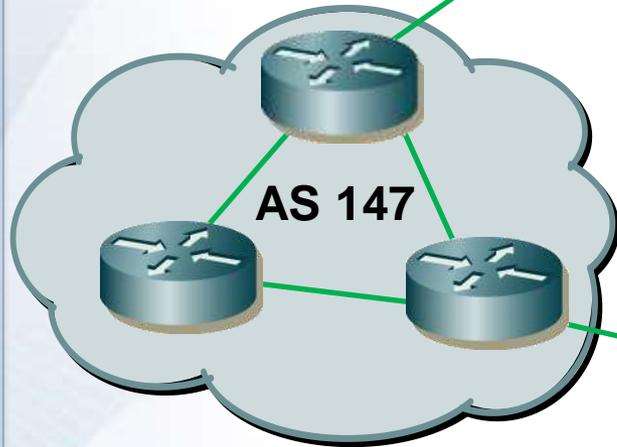
Organización 'multihomed'

Con un AS propio la organización X puede elegir la ruta óptima en cada momento para cada destino

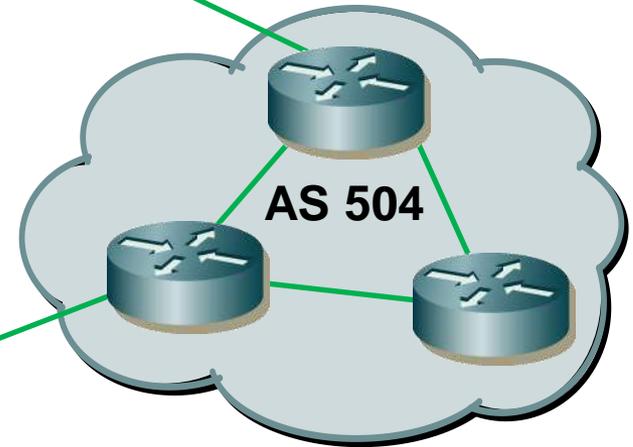


En caso de fallo de un proveedor el tráfico se reencamina de forma automática

Las direcciones son de X, no pertenecen a Y ni a Z



Proveedor Y



Proveedor Z

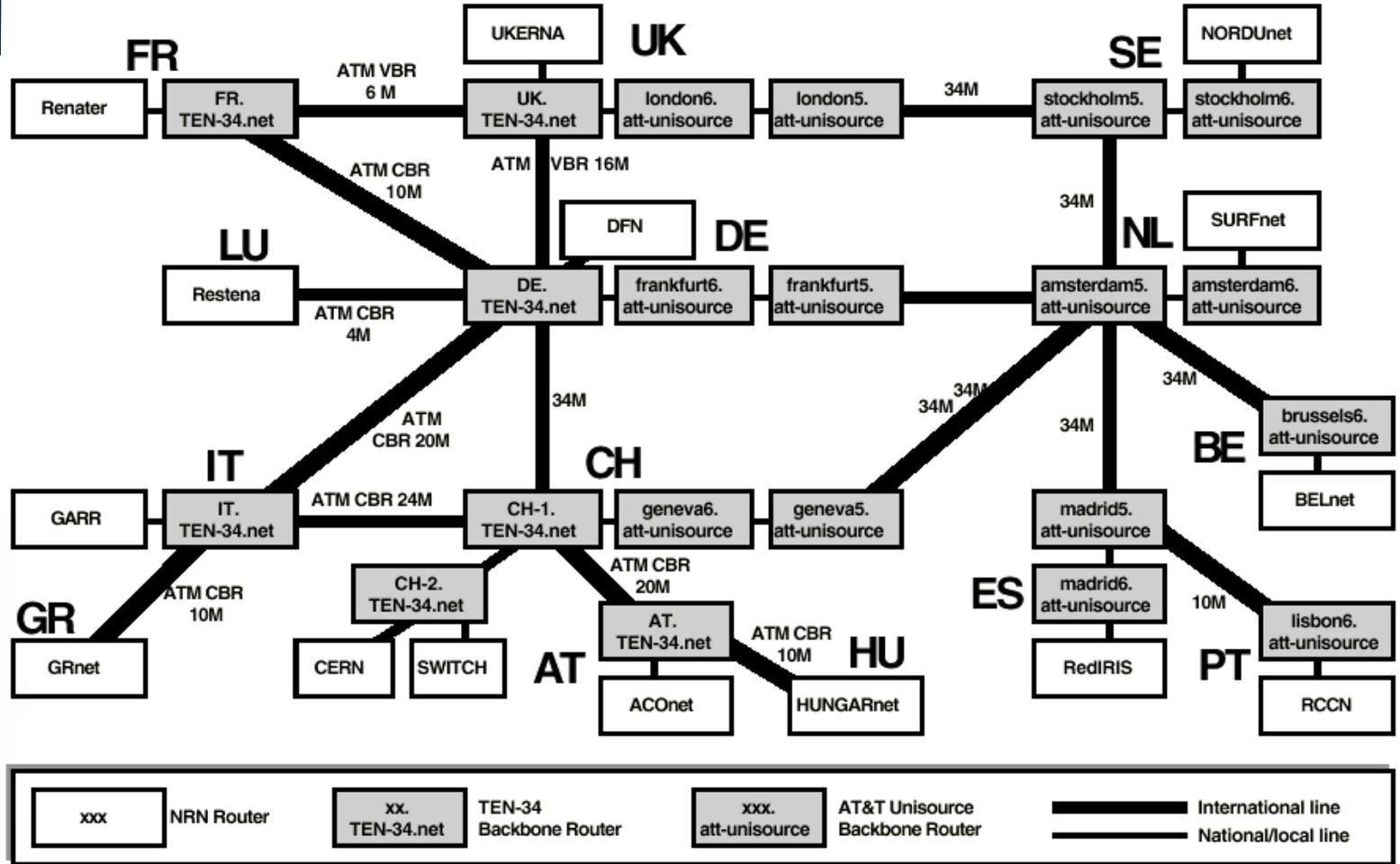


Figure 1: The IP topology of the TEN-34 network

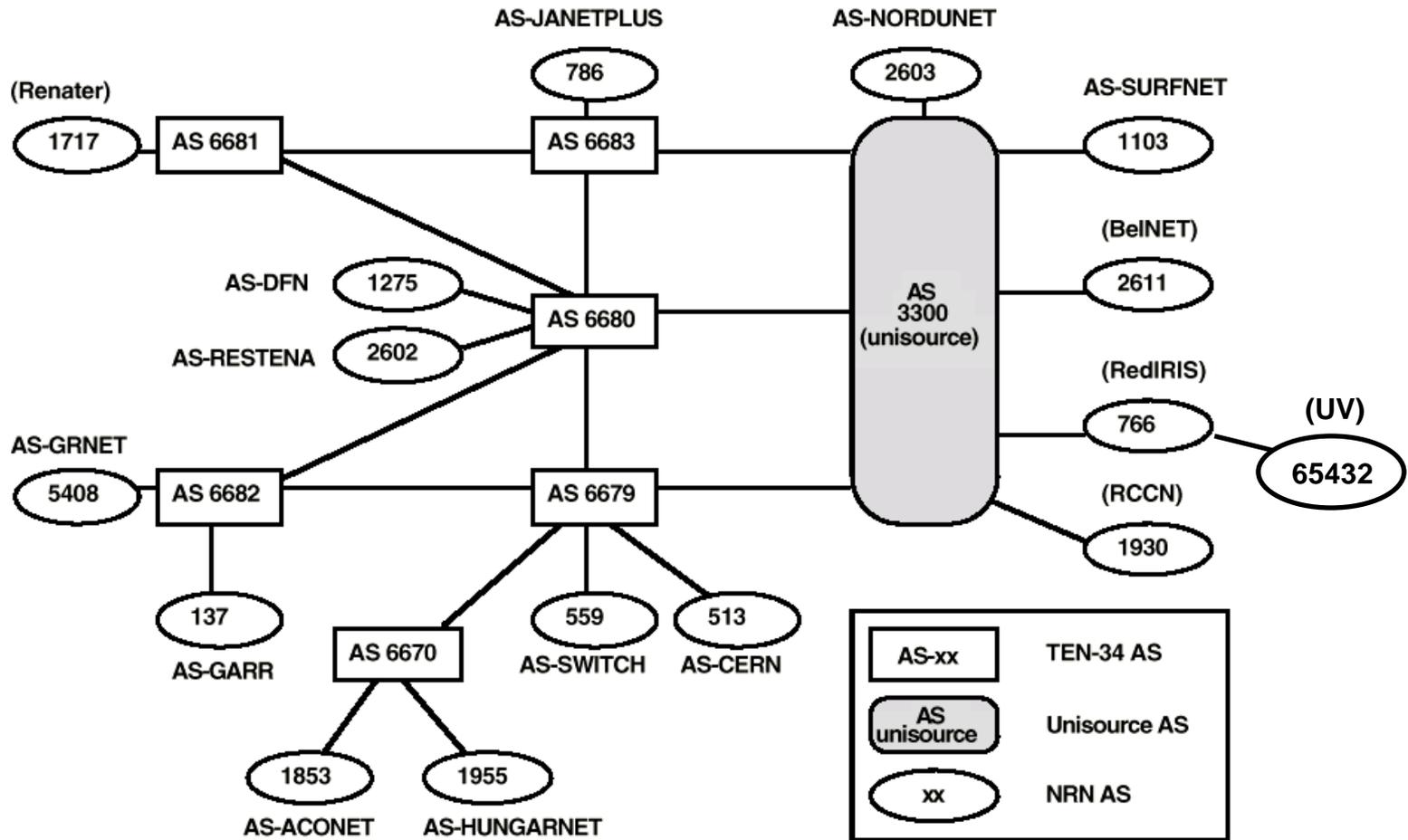


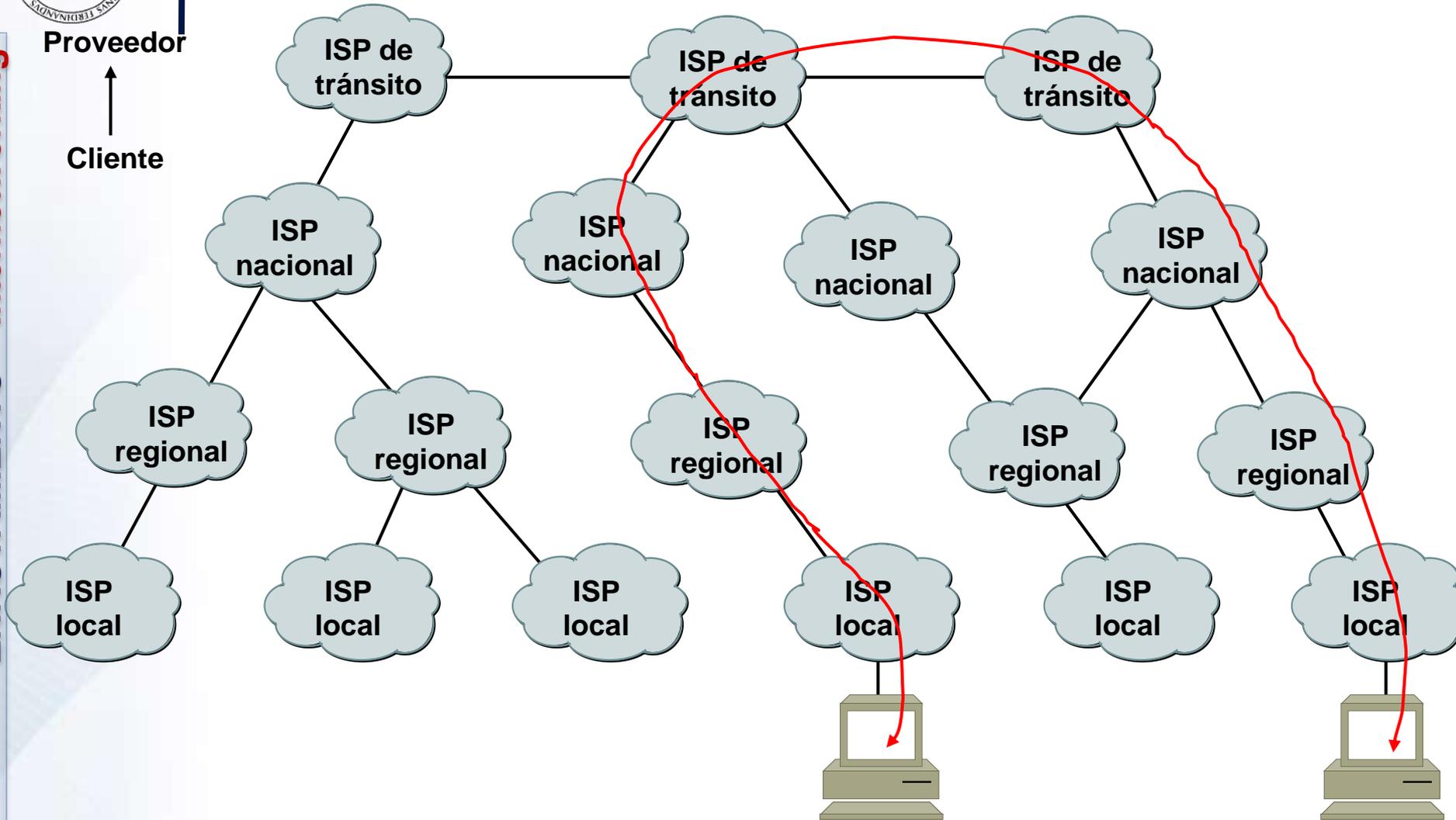
Figure 2: TEN-34 routing set-up.



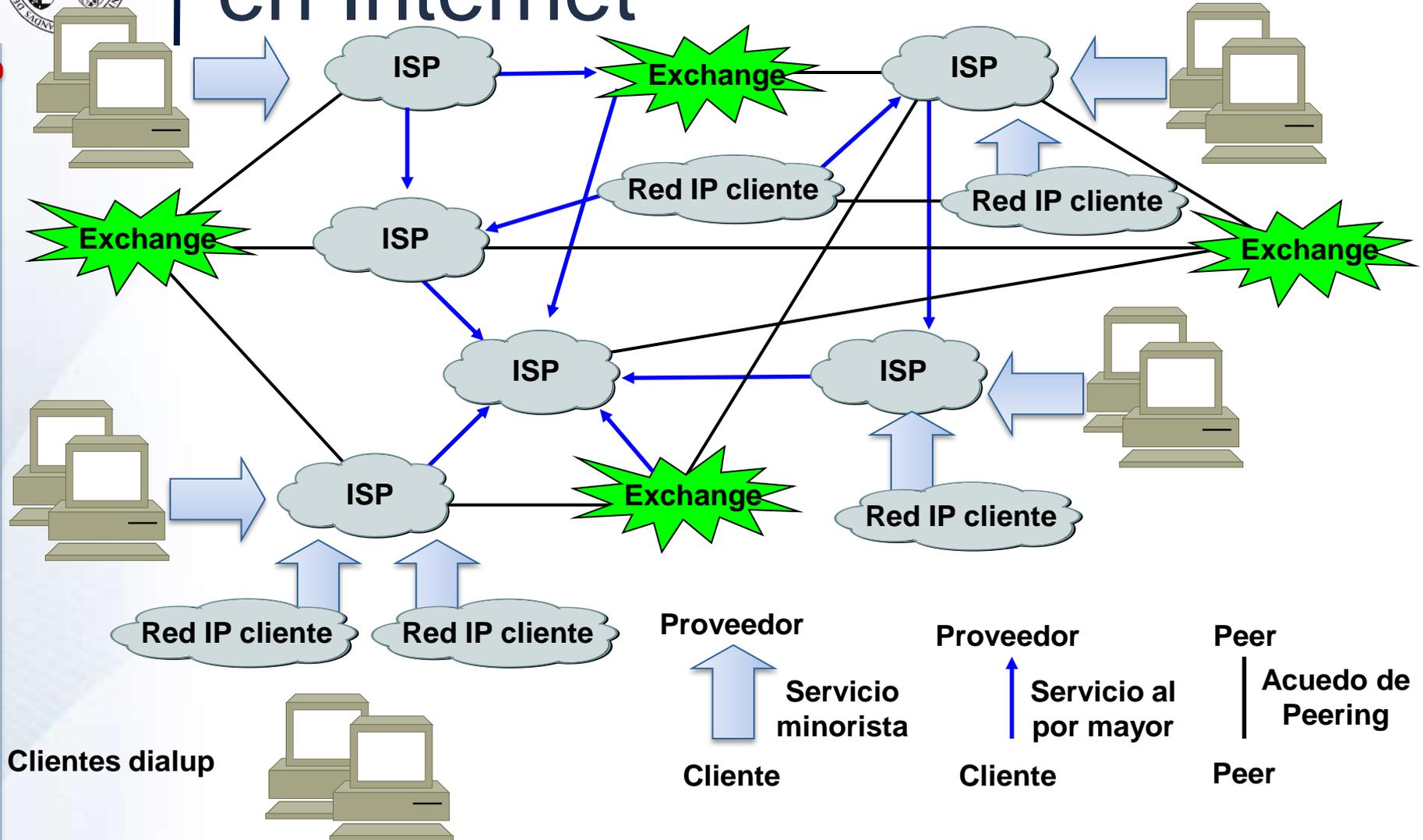
Proveedor

Cliente

Modelo jerárquico de Internet



Interconexiones y relaciones en Internet





Puntos neutros de interconexión

- Los puntos de interconexión (o puntos neutros de interconexión) permiten el fácil intercambio de tráfico entre ISPs
- También se llaman IX o IXP (Internet Exchange Point) ó CIX (Commercial Internet Exchange)
- El hecho de que dos ISPs estén conectados al mismo CIX no implica necesariamente que todos los ISPs a él conectados intercambien tráfico. Para ello es necesario que además haya acuerdo entre los ISPs



Puntos neutros de interconexión en España

Nombre	Ubicación	Creación	URL	Proveedores
Espanix	Madrid	2/1997	www.espanix.net	33
Catnix	Barcelona	6/1999	www.catnix.net	10
Galnix	Santiago de Compostela	7/2002	www.galnix.net	6
NAP	Madrid	9/2002	www.napmadrid.com	?
Mad-IX	Madrid	3/2003	www.mad-ix.net	7
Euskonix	Bilbao	6/2003	www.euskonix.com	7



Acuerdos de peering

- Cuando dos ISPs acuerdan conectar sus redes e intercambiar tráfico normalmente no se cobran por el servicio que mutuamente se prestan. A esto se le denomina 'acuerdos de peering' (acuerdos entre pares)
- Sin embargo, a veces sí que hay pago pues el servicio no es simétrico, por ejemplo cuando un ISP utiliza a otro para acceder a terceros. O simplemente cuando un ISP pequeño se conecta a uno grande. Estrictamente hablando esto no sería un acuerdo de 'peering', pero el término se utiliza siempre que se trata de interconectar dos ISPs



Acuerdos de peering en ESPANIX

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
01	●	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
02	✓	●	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
03	✓	✓	●	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗
04	✗	✓	✓	●	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗
05	✗	✗	✓	✗	●	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
06	✗	✓	✓	✓	✓	●	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗
07	✓	✓	✗	✗	✓	✓	●	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗
08	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	●	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
09	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	●	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	●	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
11	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	●	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
12	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	●	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
13	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
14	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
15	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
16	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
17	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
18	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
19	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
20	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
21	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
22	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
23	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
24	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
25	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
26	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
27	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
28	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
29	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

- 01 Arsys AS 20718
- 02 AT&T GNS AS 2886
- 03 Auna AS 8761
- 04 BT AS 8903
- 05 Cable & Wireless AS 12541
- 06 COLT Telecom AS 8220
- 07 Comunitel AS 12357
- 08 Datagrama AS 9019
- 09 Easynet AS 4589
- 10 Euskaltel AS 12338

- 11 Flag Telecom AS 15412
- 12 Fujitsu ICL AS 3324
- 13 Global One AS 6897
- 14 Ibercom AS 15915
- 15 Intelideas AS 12359
- 16 Jazztel AS 12715
- 17 Jippii AS 8782
- 18 Lambdanet AS 13237
- 19 NTT/Verio AS 2914
- 20 Ono AS 12457

- 21 RedIRIS AS 786
- 22 SAREnet AS 3262
- 23 Servicom2000 AS 9165
- 24 Telefónica Data AS 3352
- 25 Teleglobe AS 8297
- 26 Tiscali AS 3257
- 27 Uni2 AS 12479
- 28 Uunet AS 702
- 29 Vodafone AS 12430

LEYENDA:

- ✓ Los miembros realizan intercambio de tráfico
- ✗ Los miembros no realizan intercambio de tráfico
- Desconocemos si existe algún acuerdo entre los miembros

Los últimos acuerdos de peering aparecen encuadrados en blanco