

EL64E

Redes de Computadores

Algoritmos y Protocolos de Ruteo

Algoritmos y Protocolos de Ruteo

1. Introducción
2. Enrutamiento IP
3. Tipos de Protocolos
4. Ejemplos de Protocolos de Ruteo

Internet Networking

Introducción

Fundamentos de Ruteo

¿Qué es un Protocolo de Ruteo?

- Conjunto de reglas que determinan como algo operará.
- Set de reglas que describe como un dispositivo de Capa 3 enviará los *Updates* a otros dispositivos.
- Si existe más de un *Camino*, el protocolo además debe determinar la “*mejor ruta*”.

Tablas de Ruteo

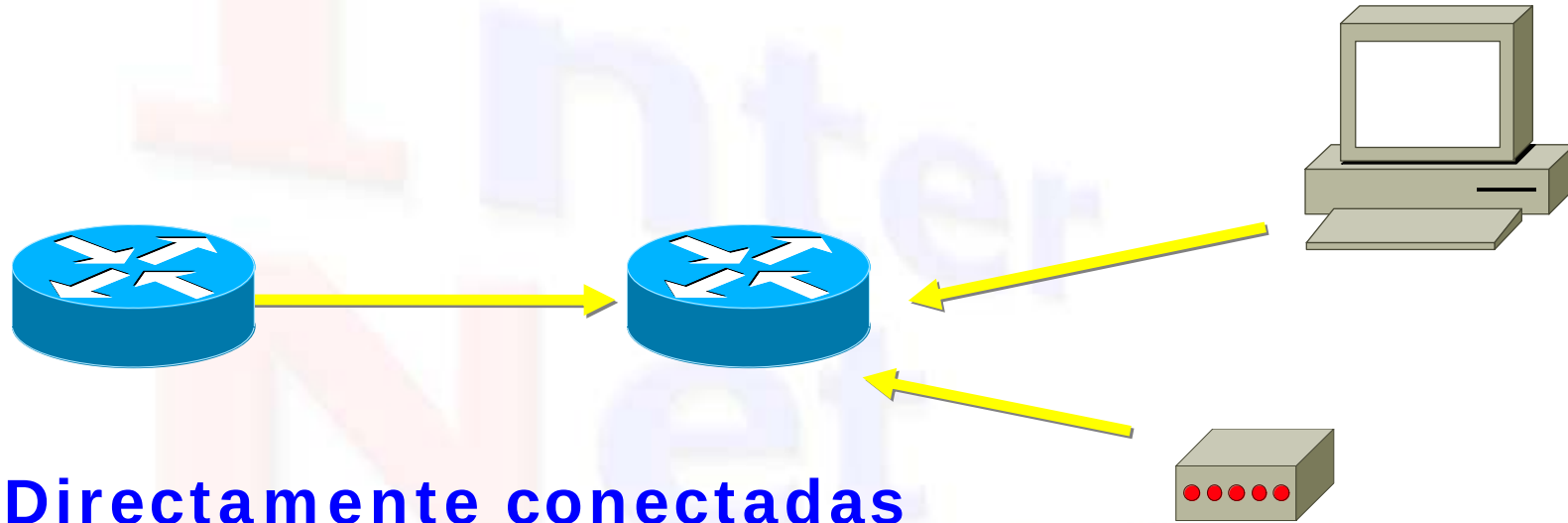
Network #	Interface	Next Hop	Metric	Age	Source
198.113.181.0	Ethernet0	192.150.42.177	[170/304793]	02:03:50	D
198.113.178.0	Ethernet0	192.150.42.177	[110/9936]	02:03:50	O
192.168.96.0	Ethernet0	192.150.42.177	[120/3]	00:00:20	R
192.168.97.0	Ethernet0				C

Campos de la Tabla de Ruteo

- **Network:** redes que el router conoce.
Conocidas en forma: manual o dinámica.
- **Outgoing Interface:** interfaz mediante la cual el proceso de ruteo envía el Datagrama y por donde provienen los *"Routing Updates"*.
- **Metric:** peso asignado a cada trayecto basado en un criterio definido por el *"Routing Protocol"*.
- **Next Hop:** es la dirección IP de destino del siguiente *"forwarding router"*.

¿Cómo se pobla una Tabla de rutas?

Mecanismos de construcción de tabla de ruteo



- **Directamente conectadas**
 - Rutas atachadas al router. Hardware state
- **Estáticas**
 - Rutas manualmente definidas.
- **Dinámicas**
 - Rutas aprendidas por un protocolo.

Rol de un Router

- Un router cumple con 2 Roles:
 - Routing
 - Swicthing
- *Routing*: responsable de aprender la topología lógica de una Red para luego tomar decisiones en base a esta información.
 - Las decisiones incluyen:
 1. ¿Está el stack de protocolos configurado?
 2. ¿Existe una entrada para la Red Remota en la tabla?
 3. ¿Existe una *Default-Network*?
 4. ¿Esta la Red alcanzable?
 5. ¿Cuál es la mejor ruta?
 6. ¿Existen múltiples rutas de igual costo?
 7. ¿A cuál interfaz será encolado el datagrama?.

Rol de un Router, cont.

- *Switching*: asociada a la conmutación de los datagramas a través del router. Se efectúa después de la decisión de ruteo. Es más rápida ya que es hecha en HW.
- Las funciones son las siguientes:
 1. Chequeo de la validez del frame entrante.
 2. Chequeo que la dirección L2 destino corresponde a la del router.
 3. Chequeo del CRC del frame.
 4. Desencapsulamiento del datagrama y chequeo si la dirección destino L2 está en la tabla de cache.
 5. Creación del Frame con la dirección L2 destino apropiada, (en caso que este en la Tabla de cache) y se envía el frame hacia la cola de la interfaz de salida.

Ejemplo de una Tabla de Rutas

r3600#show ip route

Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
* - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is 10.20.10.1 to network 0.0.0.0

10.0.0.0/24 is subnetted, 5 subnets
C 10.20.10.0 is directly connected, Ethernet1/1
D **10.10.70.0** [90/2221056] via **10.10.80.80**, 02:37:35, **Ethernet1/0**
C 10.10.80.0 is directly connected, Ethernet1/0
S 10.10.100.0 [1/0] via 10.20.10.1
D **10.0.100.0** [90/2195456] via **10.10.80.80**, 02:39:22, **Ethernet1/0**
S* 0.0.0.0/0 [1/0] via 10.20.10.1

Internet Networking

Enrutamiento IP

Clasificación de los Protocolos de Ruteo

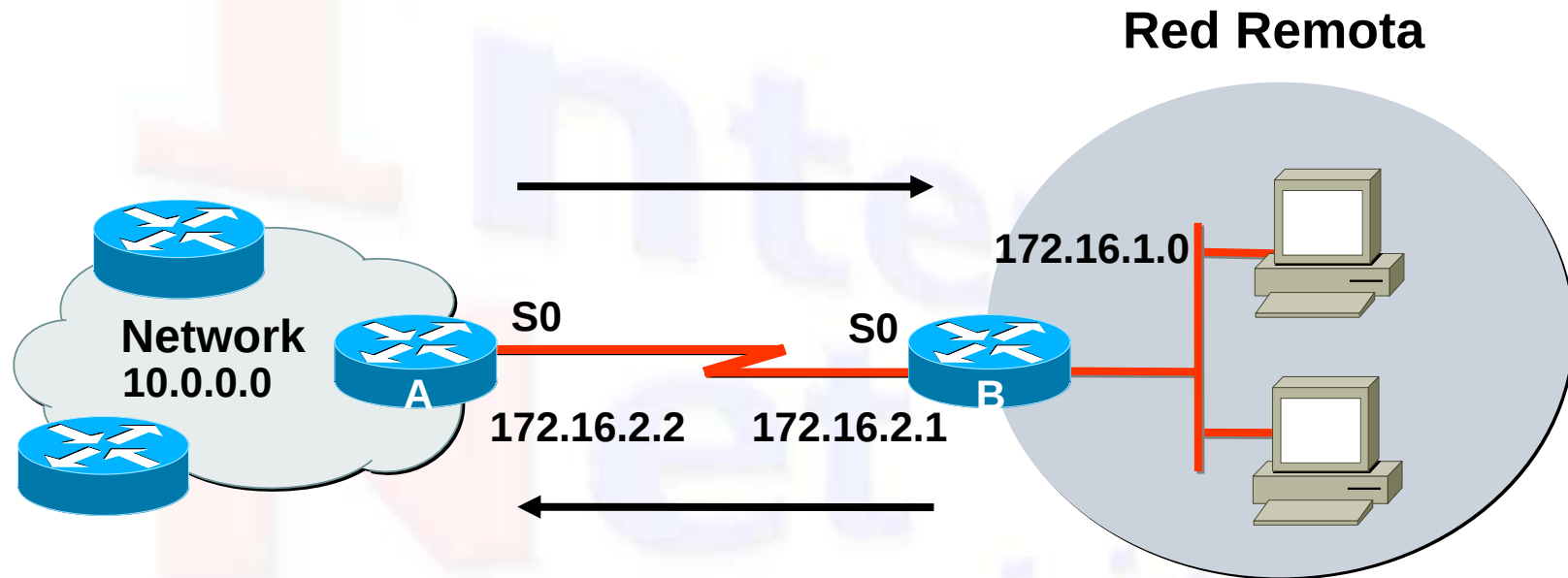
Clasificación de Protocolos de Ruteo

- Aprendizaje de Rutas:
 - Estático
 - Dinámico
- Soporte de CIDR:
 - Classful
 - Classless
- Tipo de Información manejada por el Algoritmo:
 - Vector Distancia “Distance Vector” (DV)
 - Estado Enlace “Link State” (LS)
 - Híbridos “Hybrid”
- Scope Administrativo:
 - Interior (IGP)
 - Exterior (EGP)

Ruteo Estático

- Ventajas:
 - Rutas configuradas manualmente
 - Útiles cuando existen pocos routers
 - Frecuentemente usadas por una ruta por defecto
 - Soporta subnetting
- Desventajas:
 - Requiere conocer la topología y todas las rutas
 - Difícil de Administrar
 - Al crearse una nueva red debe ser ingresada en todos los routers.

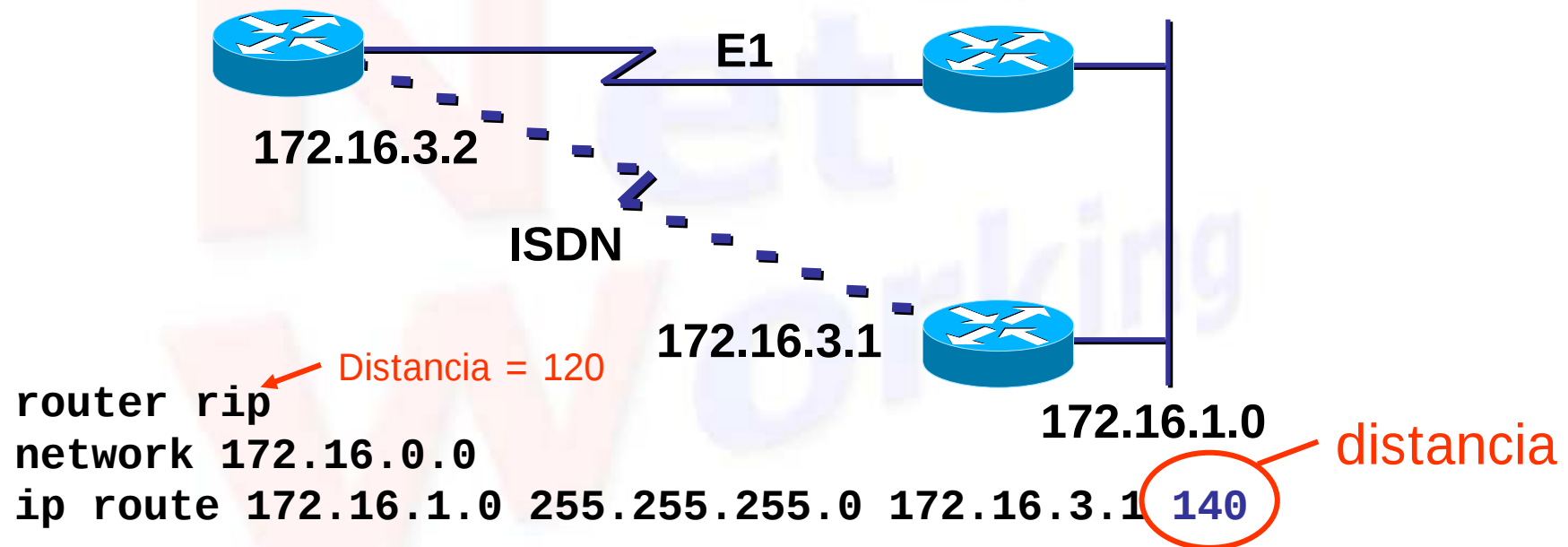
Rutas estáticas



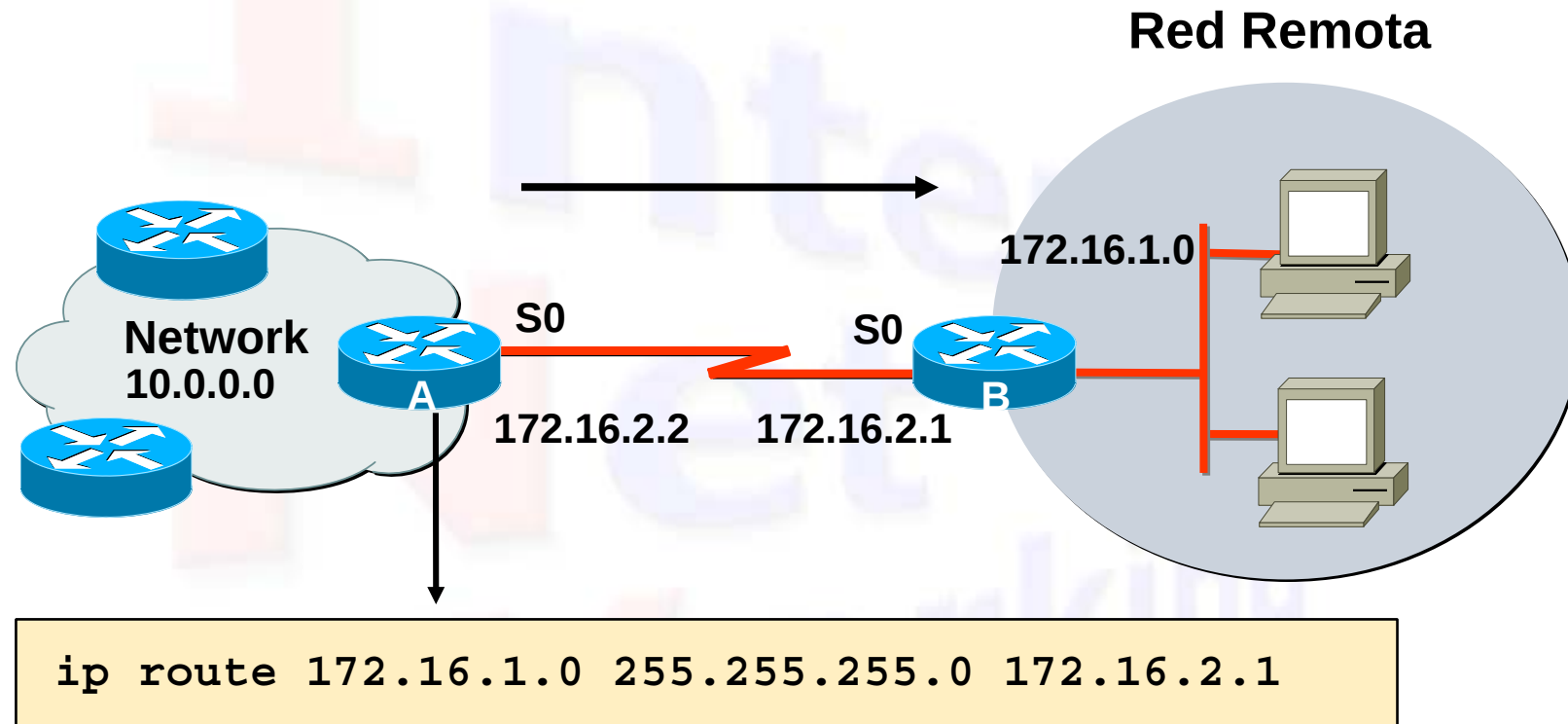
- Se configura una ruta estática unidireccional hacia y desde la Red Remota posibilitando las comunicaciones.

Rutas Estáticas Flotantes

- Una ruta con distancia grande puede reemplazarse por información dinámica

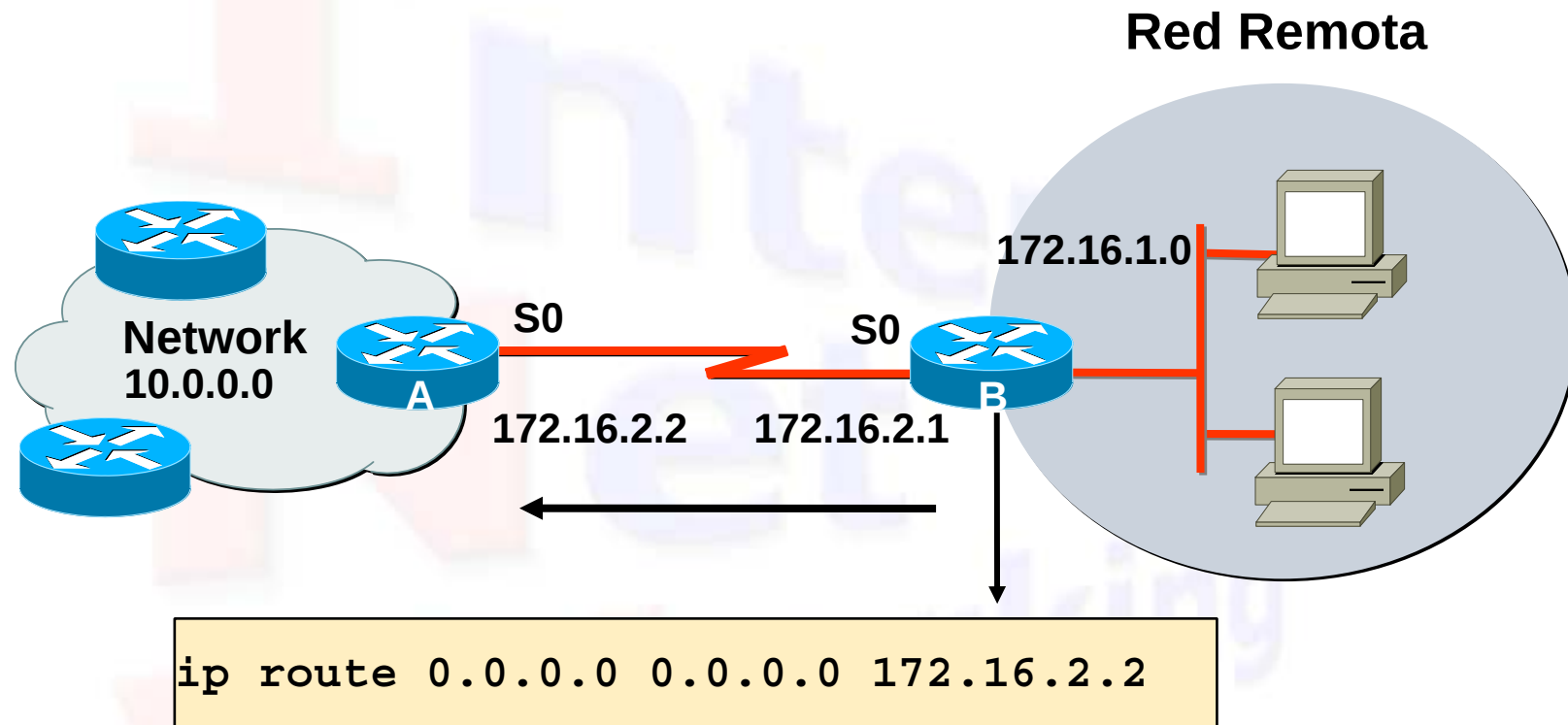


Ejemplo de una Ruta estática



- Esta es una ruta unidireccional. Se debe tener la ruta en la dirección contraria.

Ejemplo de una Ruta estática, cont.



- Esta ruta permite a la Red Remota alcanzar los destinos detrás del router A.

Ruteo estático y dinámico

Ruteo Estático

Usa una ruta que el administrador de Red configura manualmente.

Ruteo Dinámico

Usa una ruta que el protocolo de ruteo actualiza automáticamente según cambios topológicos o de tráfico.

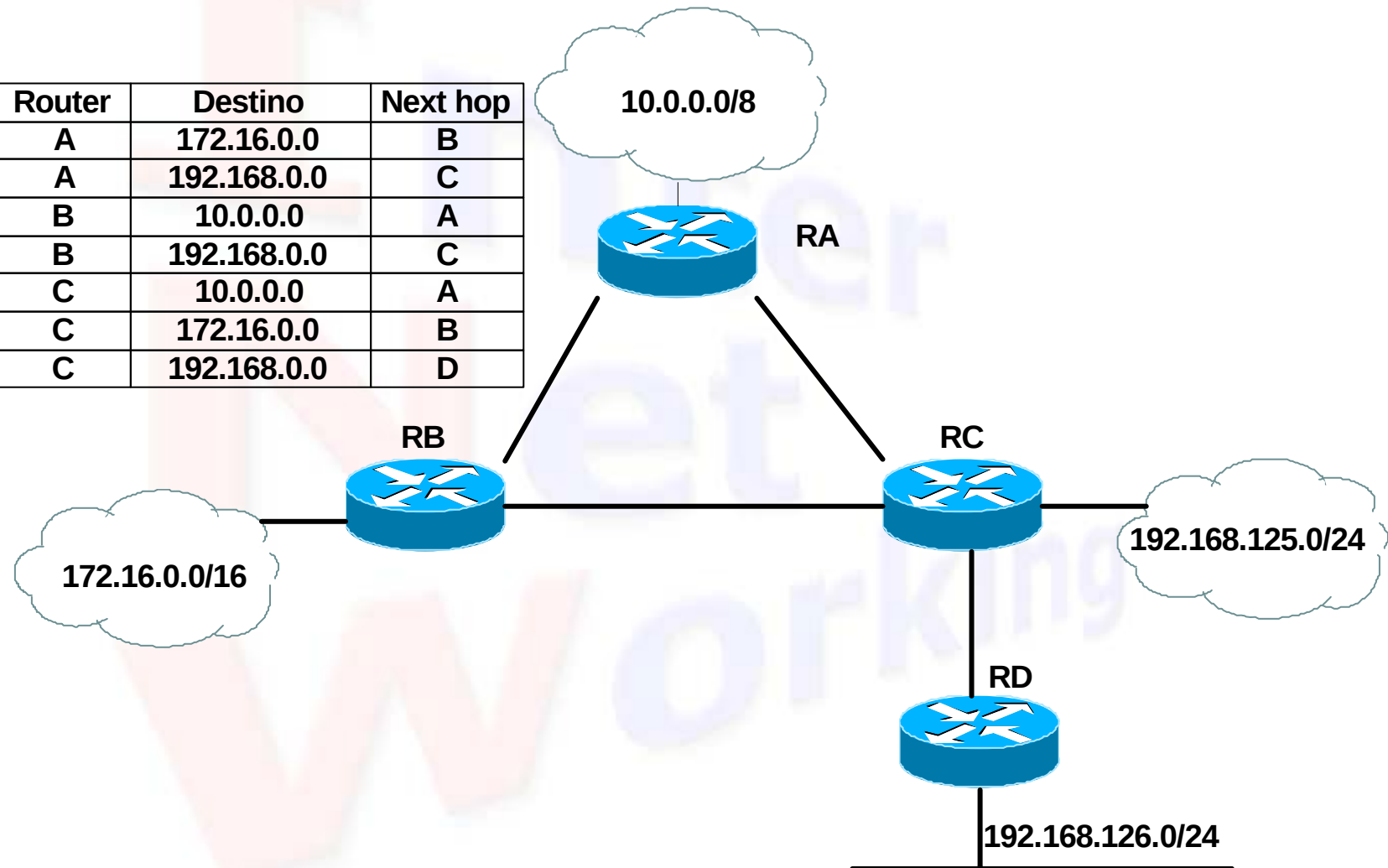
Ruteo estático y Ruteo por defecto

Ruteo estático

- Las Rutas son configuradas manualmente.
- Útiles cuando existen pocos Routers y no existen más de dos caminos hacia una Red en particular.
- La Administración puede llegar a ser tediosa.
- Frecuentemente se utilizan como “Ruteo estático por defecto”.
- No se adaptan frente a cambios topológicos.
- Sin embargo consumen menos recursos.
 - CPU
 - Memoria
 - Ancho de banda

Fallas del ruteo estático

Router	Destino	Next hop
A	172.16.0.0	B
A	192.168.0.0	C
B	10.0.0.0	A
B	192.168.0.0	C
C	10.0.0.0	A
C	172.16.0.0	B
C	192.168.0.0	D

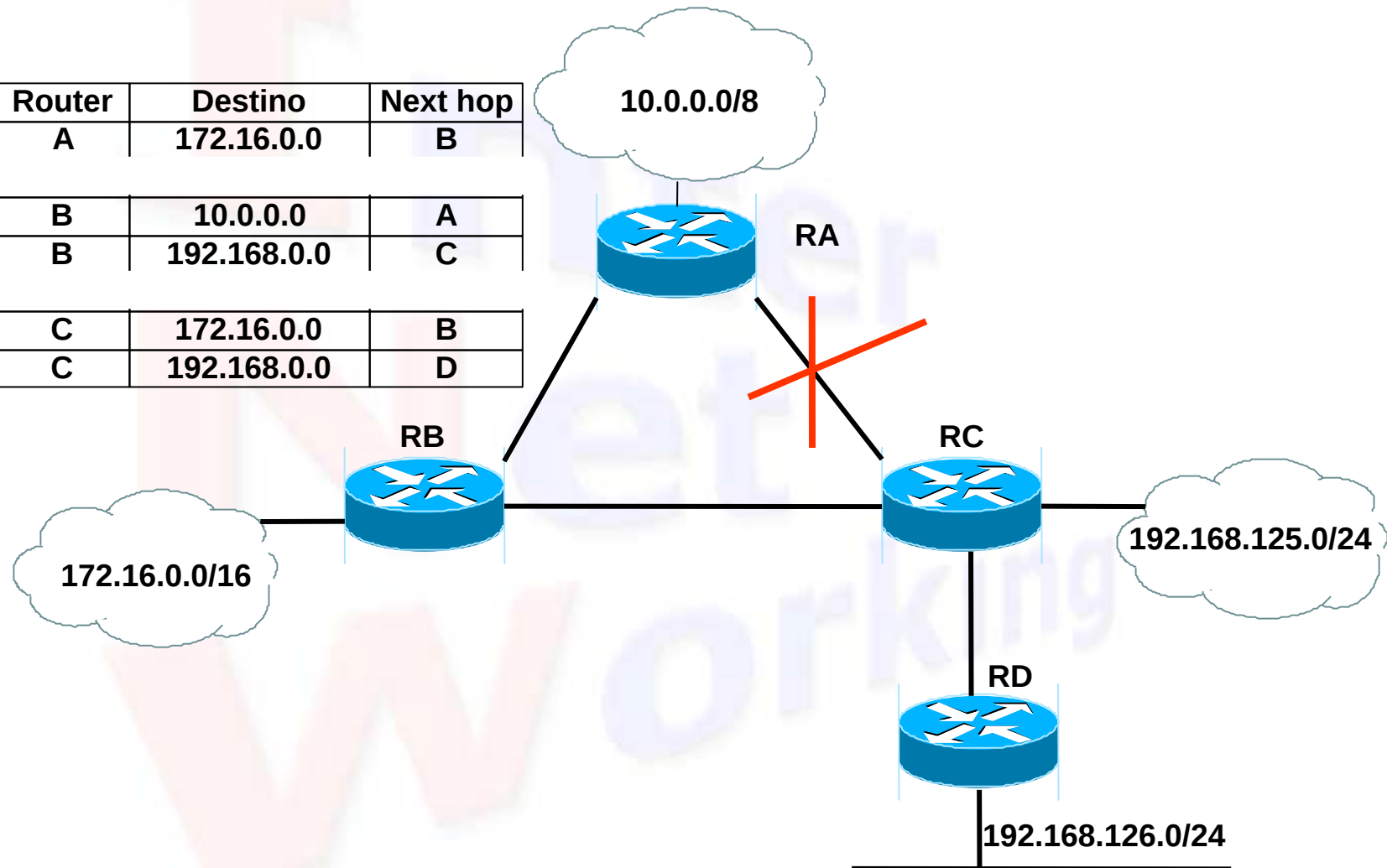


Fallas del ruteo estático, cont.

Router	Destino	Next hop
A	172.16.0.0	B

B	10.0.0.0	A
B	192.168.0.0	C

C	172.16.0.0	B
C	192.168.0.0	D



Configuración de ruteo estático

```
Router(config)#ip route network [mask]  
{address | interface} [distance] [permanent]
```

- Define una ruta hacia la Red de destino.

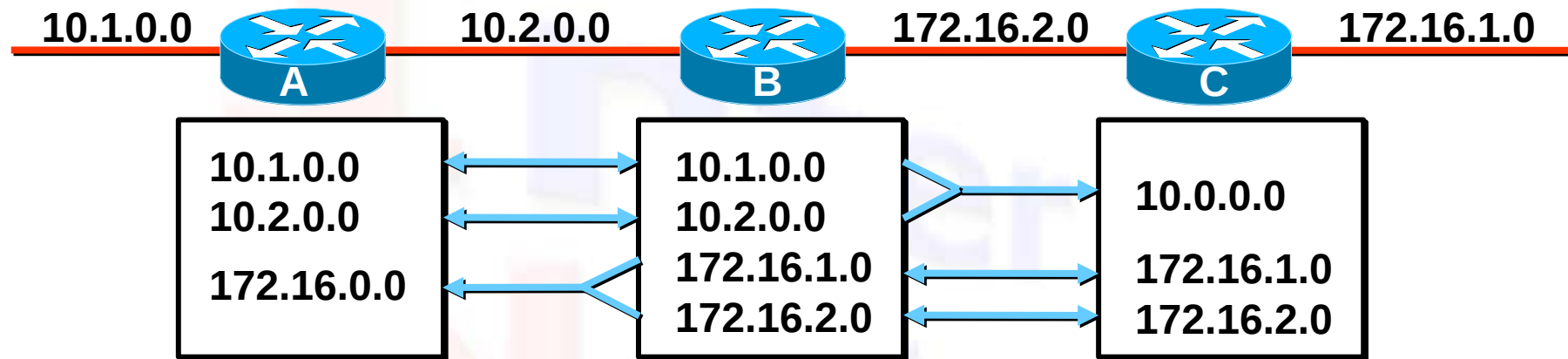
Ruteo por Defecto

- Ruta utilizada si no se encuentra otro match en la tabla de Rutas.
- Puede ser transportada por los protocolos de Ruteo.
- 2 Modelos:
 - Redes especiales: 0.0.0.0 (IP), -2 (IPX)
 - Anunciados en el Protocolo de Ruteo
- Los protocolos soportan multiples modelos.

Classful

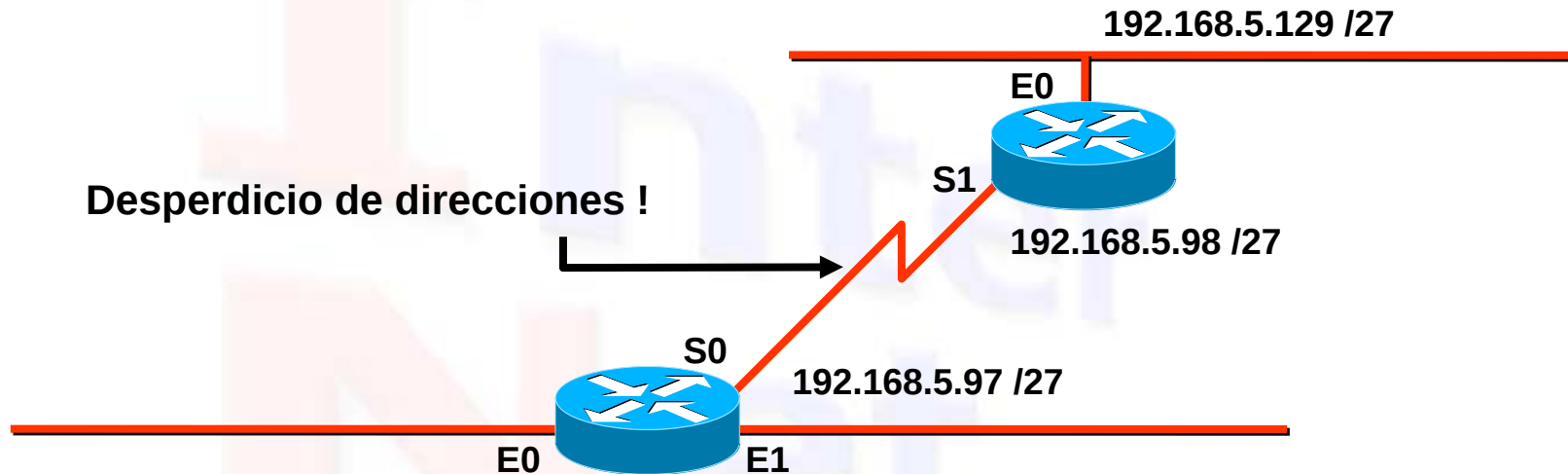
- Los protocolos de Ruteo **Classful** no incluyen la máscara de subred en la publicación de una ruta.
- Se asume consistencia de máscara dentro de una Red.
- Rutas “Agregadas” son intercambiadas entre Redes vecinas.
- Ejemplos:
 - RIPv1 (RIP Version 1)
 - IGRP

Rutas Classful



- Rutas a Subredes son compartidas por dispositivos dentro de la misma red.
- Rutas Agregadas son intercambiadas entre redes separadas.
 - Rutas sumariizadas son automáticamente creadas al nivel de la Clase (A, B y C).

Requerimientos de Classful Subnetting

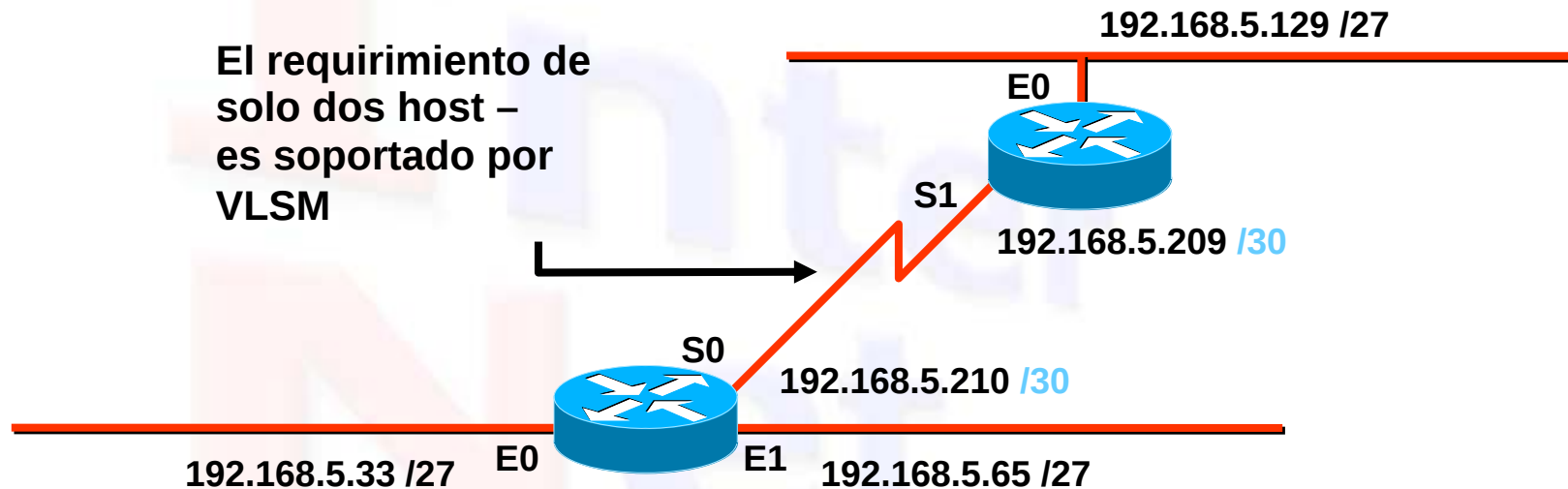


- Todas las interfaces de los routers de una misma Red, deben tener la misma máscara (Fixed-length subnet masking).
- Es ineficiente.
- Todas las subredes deben ser contiguas.

Classless

- Los protocolos de Ruteo **Classless** incluyen la máscara de subred en la publicación de una ruta.
- Los protocolos de Ruteo Classless soportan VLSM.
- Rutas Agregadas pueden controlarse en forma manual dentro de la Red.
- Ejemplos:
 - OSPF
 - EIGRP
 - RIPv2 (RIP Version 2)
 - IS-IS
 - BGP

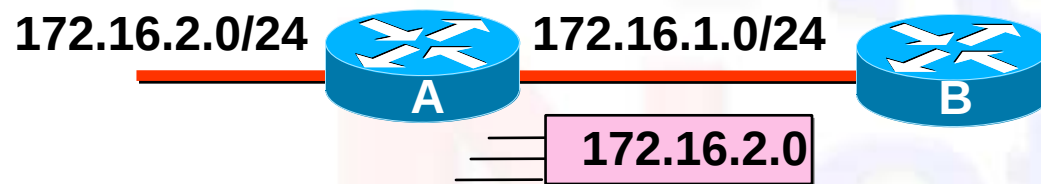
Requerimientos de Classless Subnetting



- Las interfaces de los Routers dentro de la misma Red pueden tener máscaras diferentes.
- VLSM es soportado.
- Maximiza el uso del espacio de direccionamiento.

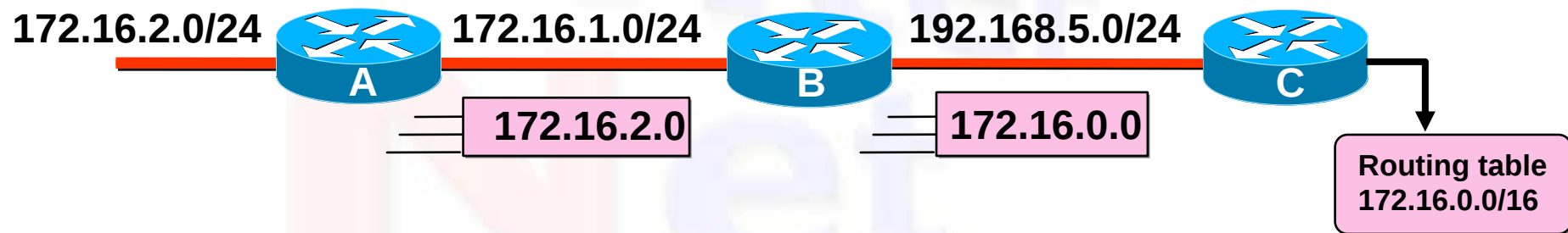
Updates en Classful y Classless

Red RIPv1



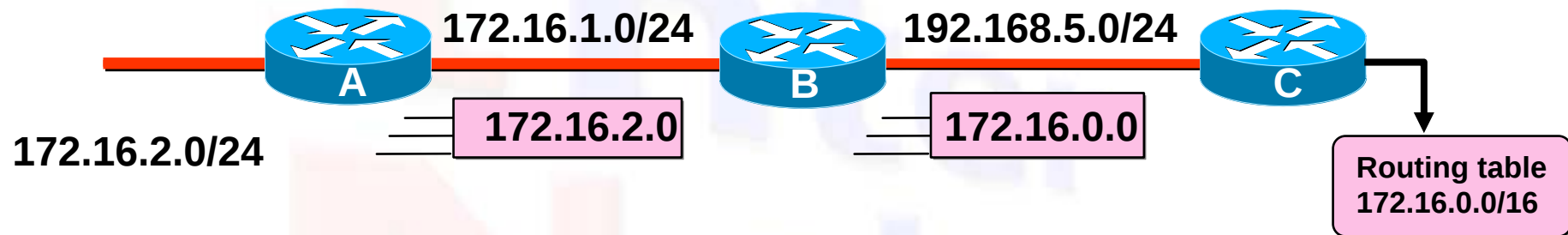
Updates en Classful y Classless, cont.

Red RIPv1

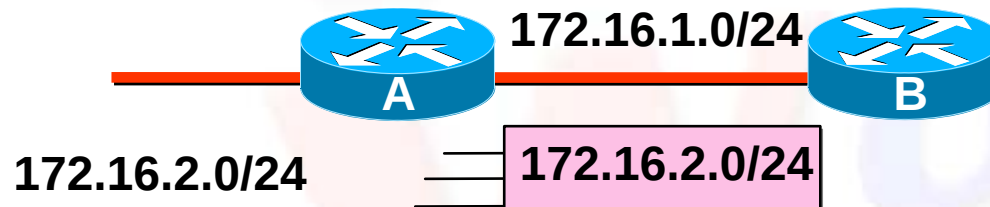


Updates en Classful y Classless, cont.

Red RIPv1

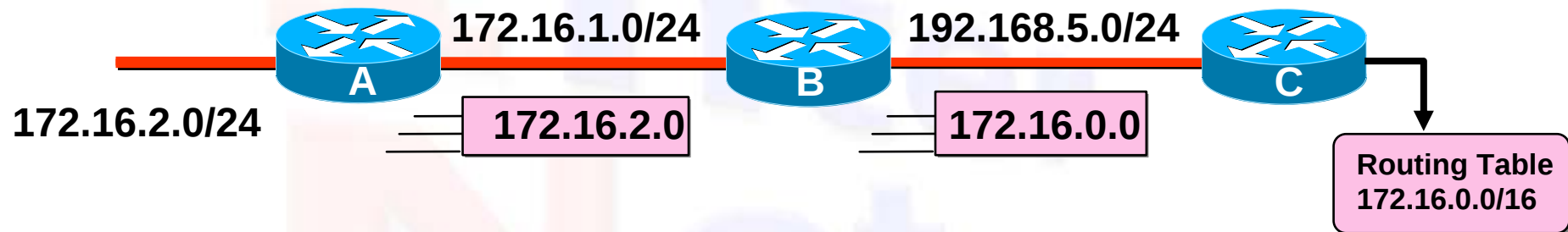


Red OSPF

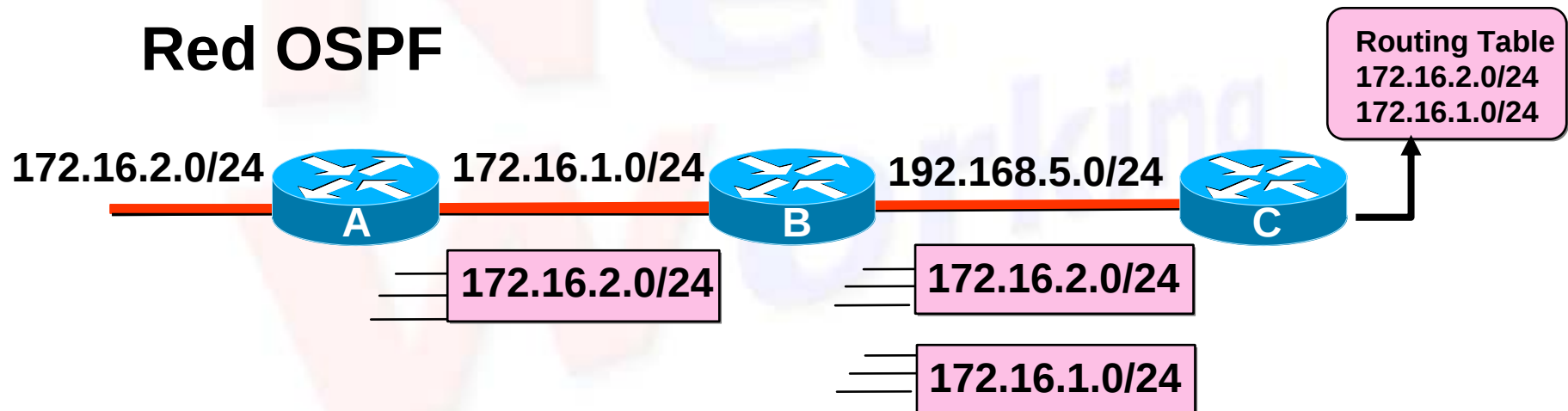


Updates en Classful y Classless, cont.

Red RIPv1

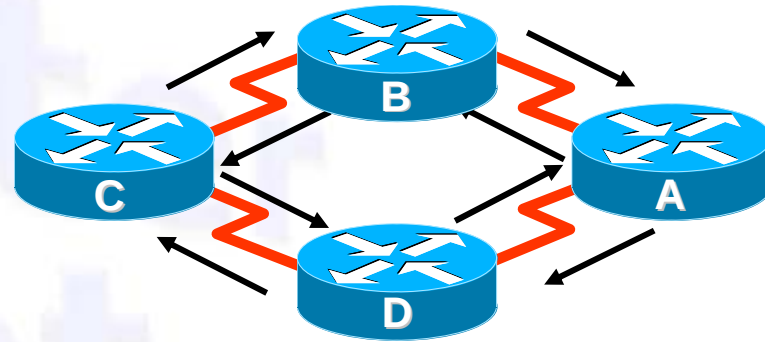


Red OSPF

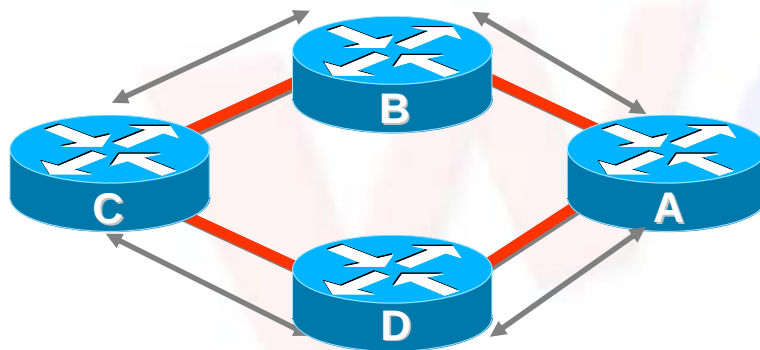


Tipos de Protocolos de Ruteo

Vector Distance

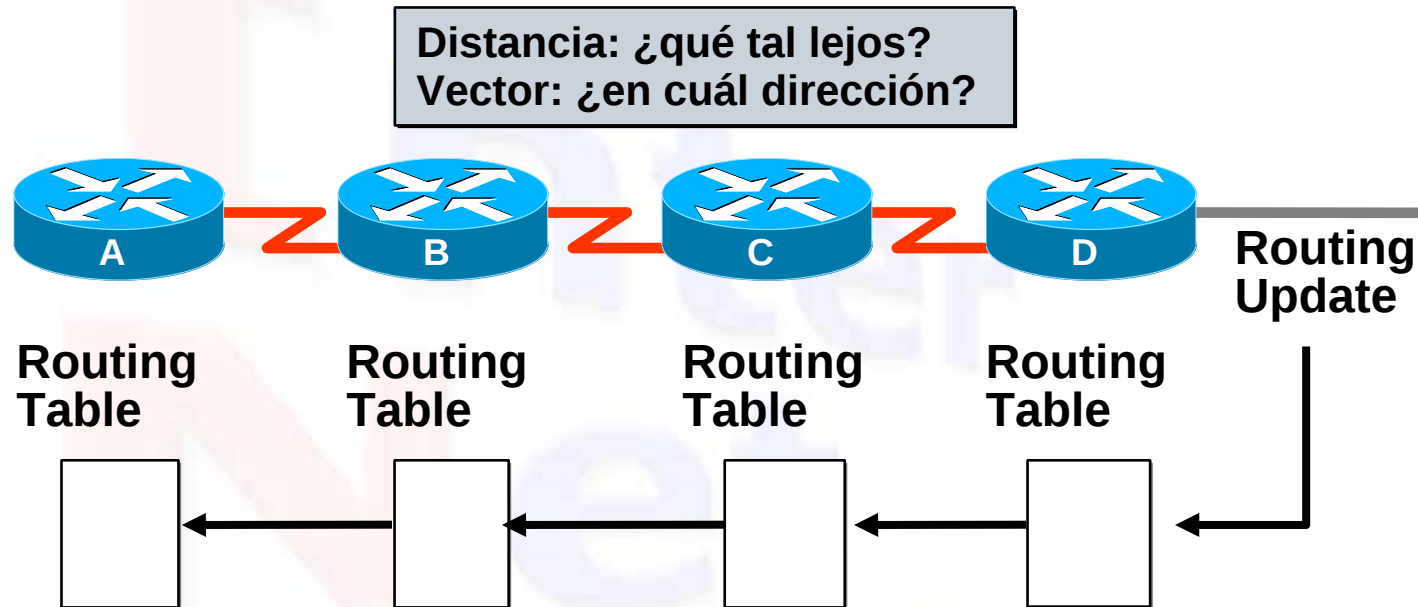


Híbridos



Estado de Enlace

Distance Vector

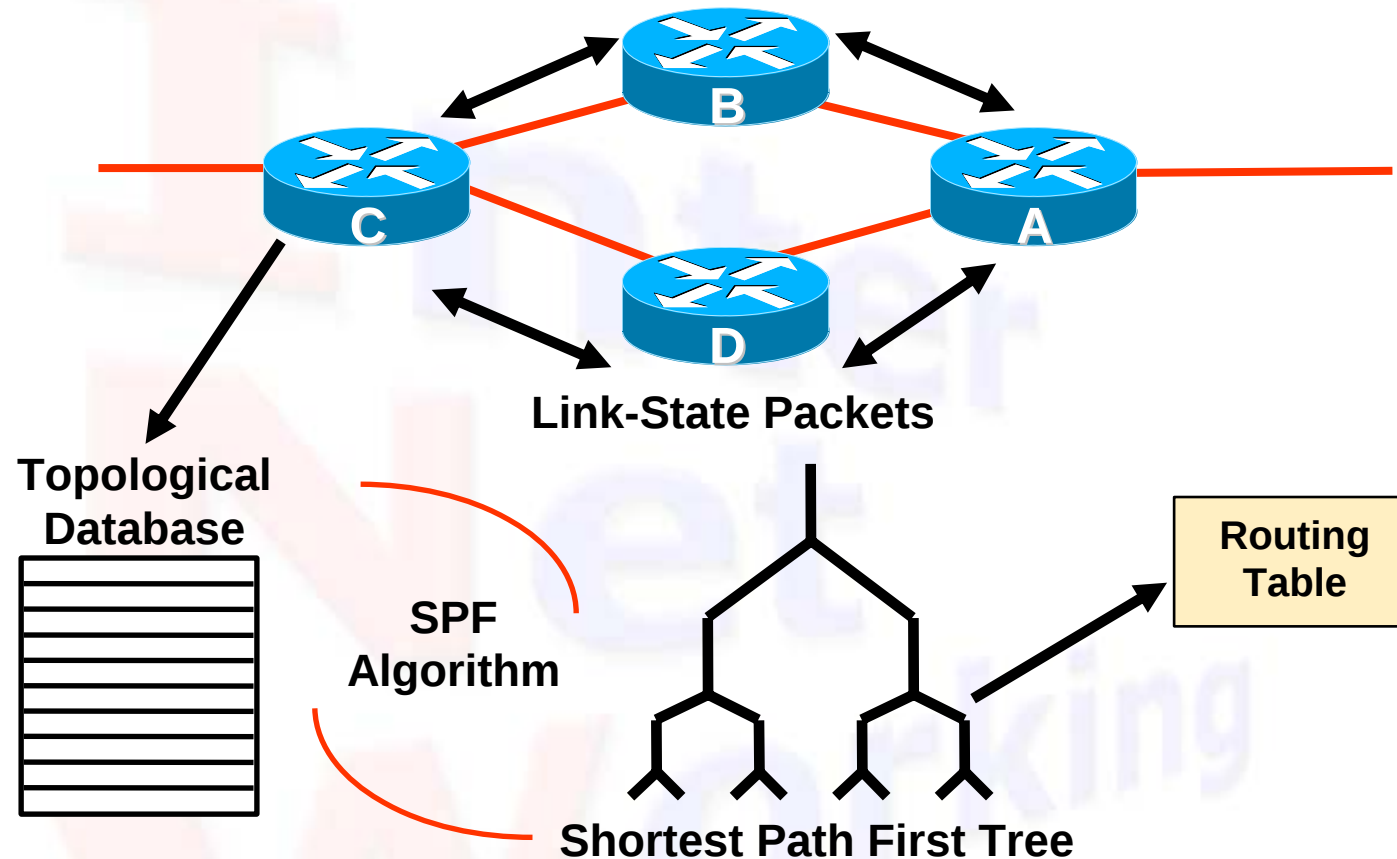


- Para los protocolos de ruteo *Distance Vector*, los routers difunden vía broadcast sus tablas de rutas a sus vecinos adyacentes (*Routing by rumor*) en intervalos de tiempo periódicos “*Periodic Update*”.

Funcionamiento de DV

- Basado en el algoritmo de “*Bellman-Ford*”.
- Cuando un router recibe el “*broadcast update*” lo examina y lo compara con su tabla. Rutas a redes nuevas, o rutas con mejores métricas, son insertadas en la tabla.
- Antes de enviar un update, cada router agrega su propia distancia a la métrica de la ruta.
- DV son fáciles de configurar, y consumen menos recursos de memoria y CPU que LS.

Link-State



Después de la inundación inicial, sólo si existen cambios topológicos en la Red se anuncian las actualizaciones de la tabla de rutas.

Funcionamiento Link State

- Sólo existe intercambio de los “*links*” entre routers no rutas.
- Esta información topológica es intercambiada por todos los routers dentro de un área → Todos los routers poseen la misma visión topológica de la Red.
- Lo anterior reduce el tamaño de los Updates.
- Un Update de link es más eficiente que un Update de Rutas.
- Luego cada router calcula la Tabla de ruta.

Terminología en Link-State

- Link State (LS) routers conocen mucho más una Red que sus parientes *Distance Vector*.
- Link State routers mantienen un seguimiento de:
 - Sus vecinos.
 - Todos los routers en la Red, o al menos dentro de la misma área.
 - Se escogen las mejores rutas hacia un destino.

Estructura de Datos Link-State

- **Neighbor table:** “Base de Datos de Adyacencias” (lista de vecinos que conoce).
- **Topology table:** “Link-state database” (LSDB)
(routers y enlaces dentro del area/Red).
- **Routing table:** “Forwarding database”
(lista de mejores rutas hacia los destinos).

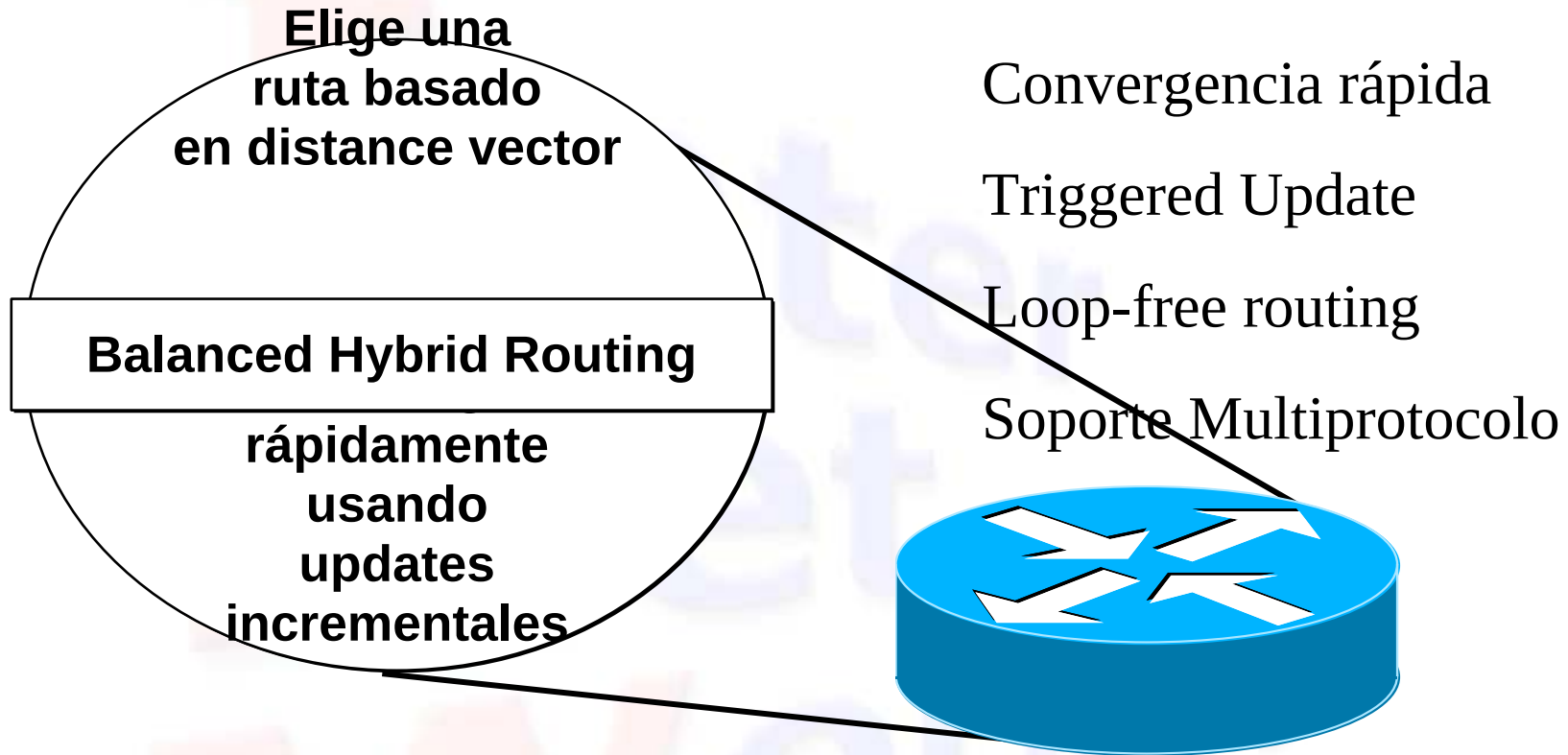
Beneficios de Link State

- **Convergencia rápida:** los cambios son reportados inmediatamente por la fuente afectada.
- **Robusto frente a “routing loops”:**
 - Routers conocen la Topología.
 - Los paquetes LS son secuenciados y confirmados.
- Ser cuidadoso → Diseño Jerárquico de Red, así los recursos pueden ser utilizados optimamente.

Desventajas

- **Demanda significativa de recursos:**
 - Memoria (tres tablas: adjacency, topology, forwarding)
 - CPU (algorithm Dijkstra puede ser intenso, especialmente cuando la red está inestable).
- **Requiere un diseño de Red estricto.**
- **Problema con la partición de areas.**
- **Configuración:** generalmente es simple pero se puede complicar.
- **Troubleshooting:** es más fácil en distance vector.

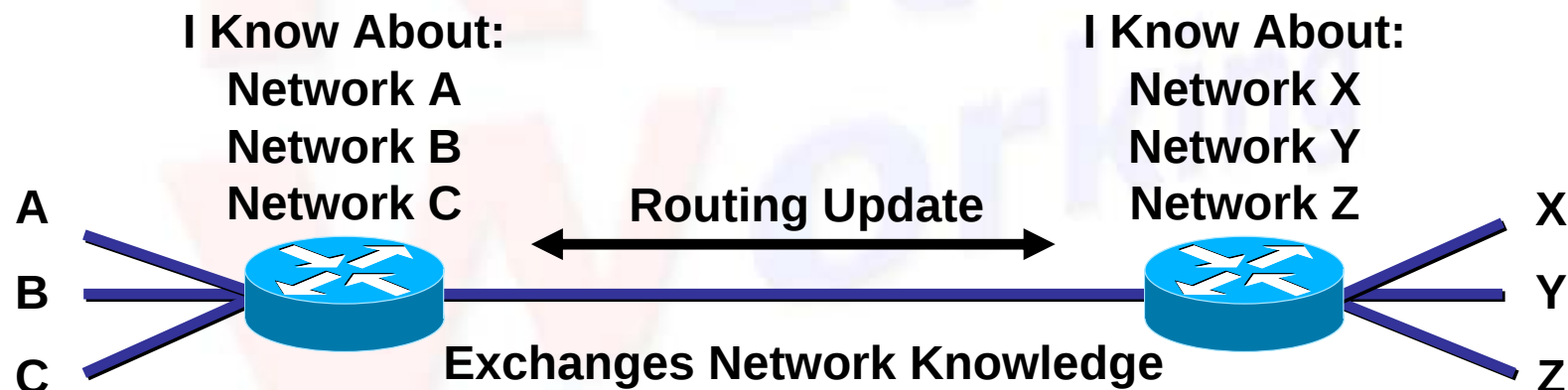
Protocolos Híbridos



- Posee atributos de distance-vector y link-state routing.
- Ej. EIGRP.

Protocolos de Enrutamiento

- Routers son conmutadores de paquetes que reenvían tráfico basados en la dirección lógica capa 3.
- Los updates de los protocolos de enrutamiento son intercambiados entre los router para aprender acerca de los caminos hacia otras redes.



Protocolos de Enrutamiento (cont)

- Características:
 - Estático o Dinámico
 - Plano o Jerárquico
 - Interior o Exterior
 - Distance Vector – Link State
 - Métrica (hop, confiabilidad, retardo, ancho de banda, carga, costo de la comunicación)
 - Updates de Información de las Rutas
- Tablas de Rutas
- Sumarización (Superredes)

Características 1

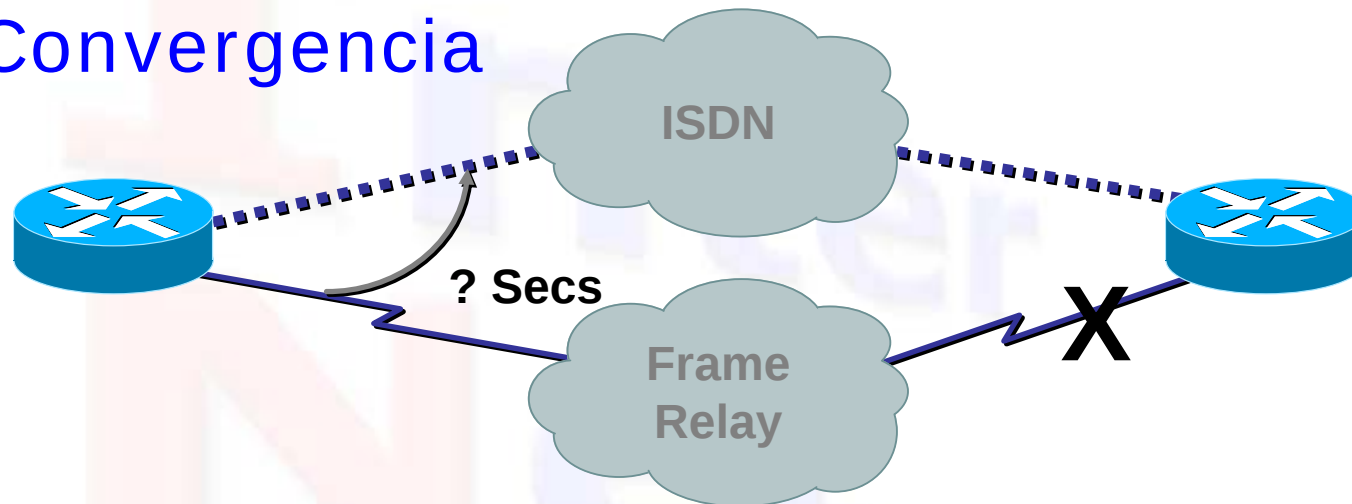
- Distancia:
 - Valor numérico utilizado para elegir entre diferentes protocolos de ruteos
- Métrica:
 - Valor numérico utilizado para elegir entre diferentes caminos.
 - En RIP en Hop Count.
 - En OSPF es Costo (Ancho de Banda)
 - En (E)IGRP es compuesta
 - El camino se determina a partir de la métrica.

Características 2

- Convergencia:
 - Tiempo requerido por un router en identificar y utilizar un camino alternativo.
 - Depende del valor de los Timer.
 - Difícil de precisar exactamente el tiempo de convergencia.

Características 3

- Convergencia

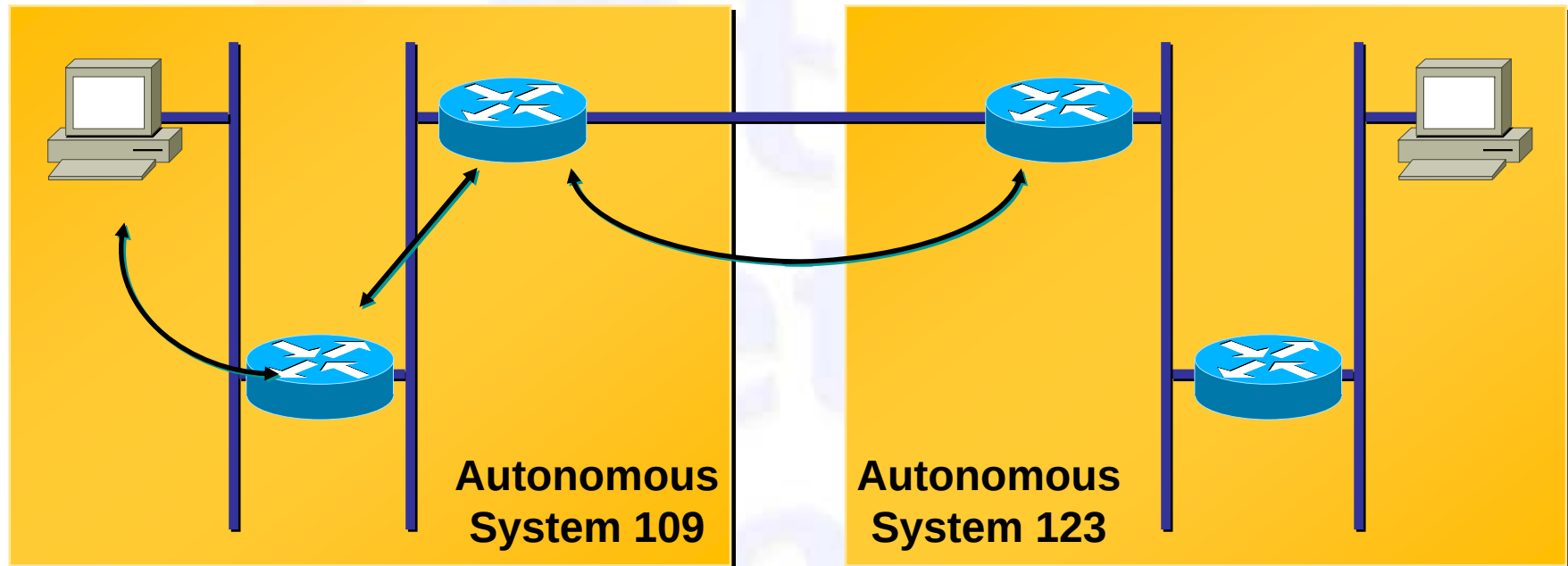


	Link State	Traditional Distance Vector	Advance Distance Vector
Convergence (Seconds)	Fast ~ 40	Slow ~ 300	Fast ~ 16

Metas de los Protocolos de Ruteo

- Selección del camino óptimo
- Enrutamiento libre de loops
- Convergencia rápida
- Minimizar actualizaciones y tráfico del protocolo
- Manipular las limitaciones de las direcciones
- Soportar topologías jerárquicas
- Incorporar una rápida convergencia
- Fácil de configuración
- Adaptación a cambios rápida y fácilmente
- Escalable
- Compatible con host y routers existentes
- Soportar largo variable de subnets mask y subnets discontinuas
- Políticas de enrutamiento

Protocolos de Ruteo IP



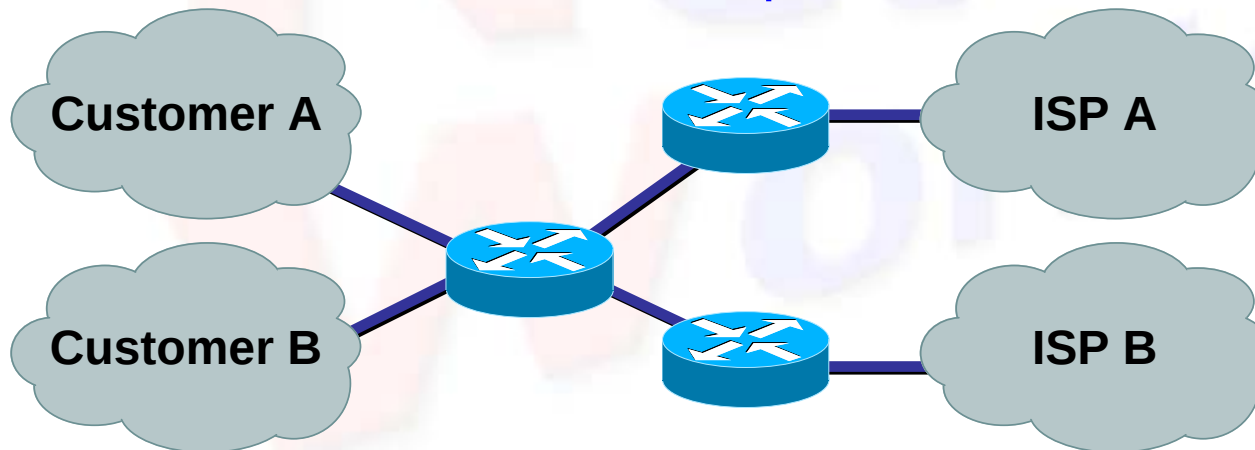
- Host to router
- Interior—router to router
- Exterior—Sistema autónomo a sistema autónomo

Interior vs. Exterior Protocolos de Ruteo

- Interior
 - Descubrimiento automático.
 - Generalmente confía en los routers IGP
 - Rutas van a todos los routers IGP
 - Ejm: OSPF, ISIS, EIGRP
- Exterior
 - Se configura en pares específicos
 - Conectan redes externas
 - Determinan límites administrativos
 - Ejm: BGP.

Política de Enrutamiento

- La decisión de forwarding no es basada en la dirección de destino.
- La selección del camino se realiza en base a los atributos del paquete (source/destination IP address, puerto de aplicación, largo del paquete)
- Define el next hop o interface
- Define el default next hop o interface



Contadores de los protocolos de ruteo

- Routing Update Timer: intervalo de tiempo entre update periódicos de información de rutas.
- TimeOut Timer: período de tiempo en que la ruta es marcada como inválida pero es retenida en la tabla de rutas.
- HoldDown Timer: Período de tiempo en que la ruta se marca como caída.
- Flush Timer: período de tiempo en que la ruta es eliminada de la tabla de rutas.

Comparación de Protocolos de Ruteo

	Link State	Traditional Distance Vector	Advance Distance Vector
Scalability	Good	Low	Excellent
Bandwidth	Low	High	Low
Memory	High	Low	Moderate
CPU	High	Low	Low
Convergence	Fast	Slow	Fast
Configuration	Moderate	Easy	Easy

Distancia Administrativa

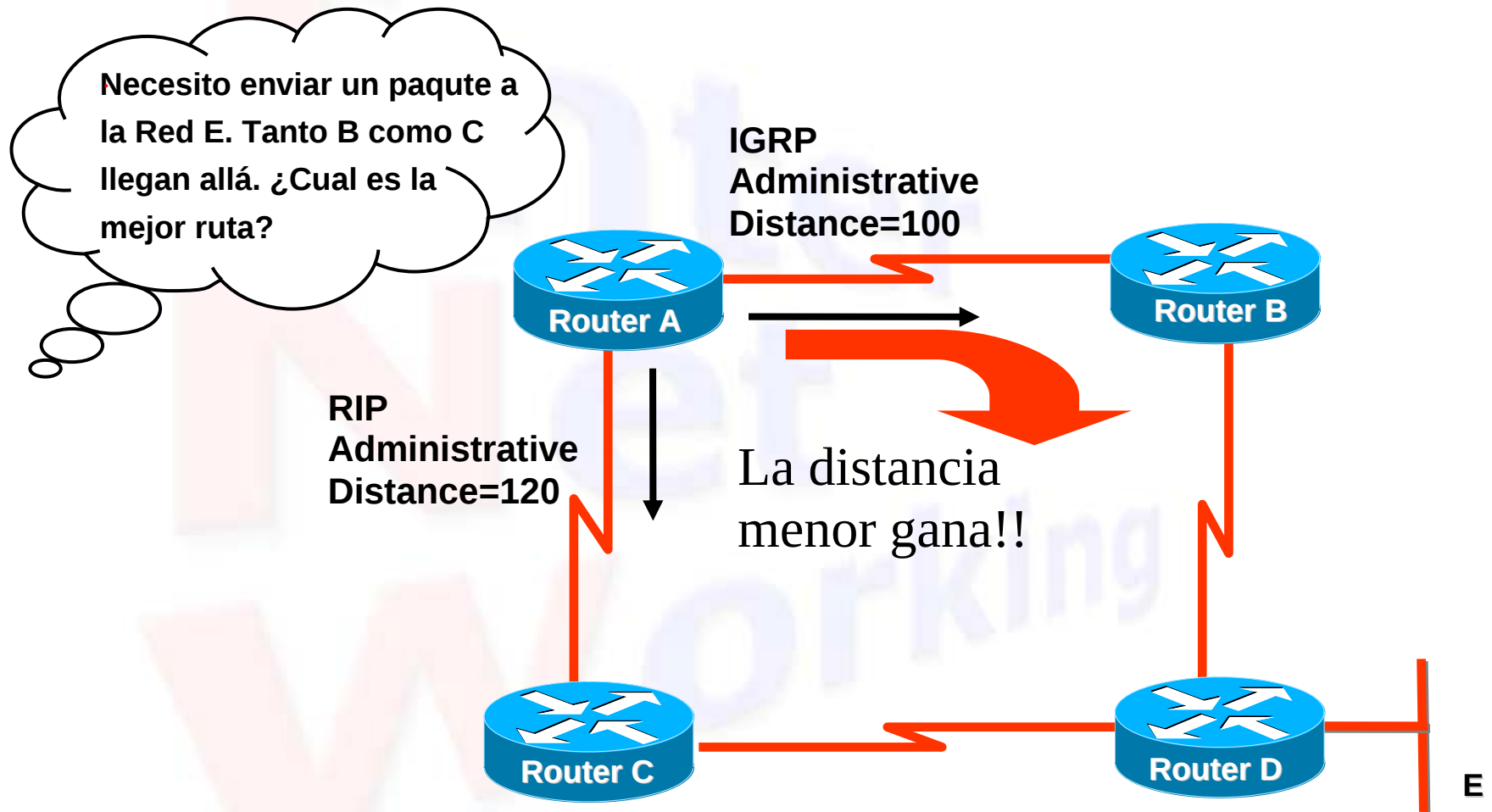


Tabla de Distancias Administrativas

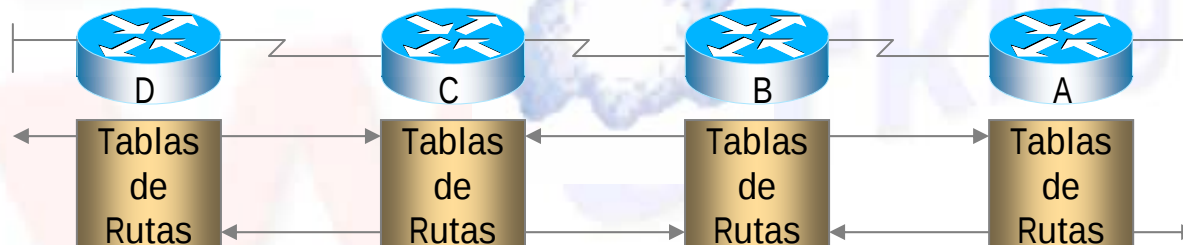
Route Source	Default Distance
Connected Interface	0
Static Route	1
Enhanced IGRP Summary Route	5
External BGP	20
Internal Enhanced IGRP	90
IGRP	100
OSPF	110
IS-IS	115
RIP	120
EGP	140
External Enhanced IGRP	170
Internal BGP	200
Unknown, Discard Route	255

Local al
Router

Protocolos de Ruteo

Vector de Distancia

- Conocido como algoritmo Bellman – Ford
- Envía periódicamente copias de las tablas de enrutamiento de un router a otro.
- Los routes reciben la información y la utilizan para generar su tabla de ruteo en función de la mejor ruta definida por su distancia a la red.
- Los cambios de topología son percibidos en las actualizaciones periódicas de las tablas



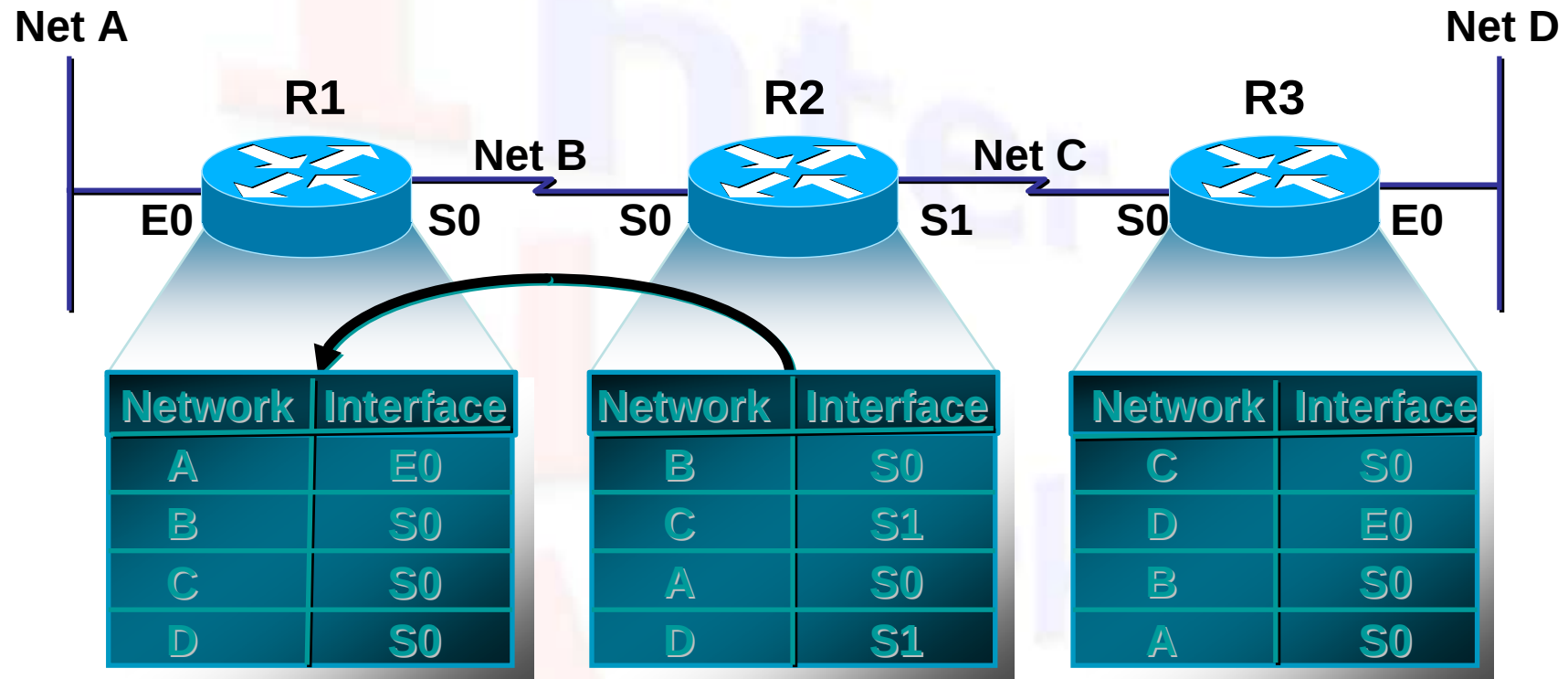
RIP (Routing Information Protocol)

- RFC 1058
- Distance Vector
- Usa Hop Count. Se Limita a 15 Hop
- Update via Broadcast cada 30 segundos
- No soporta subnetting, ni subnets discontinuas

Funcionamiento:

- Al recibir una tabla de ruta de otro router reemplazo la ruta a una red que tienen menor hop que las mias
- Si despues de 180 seg no recibo información de una red la marco inaccesible

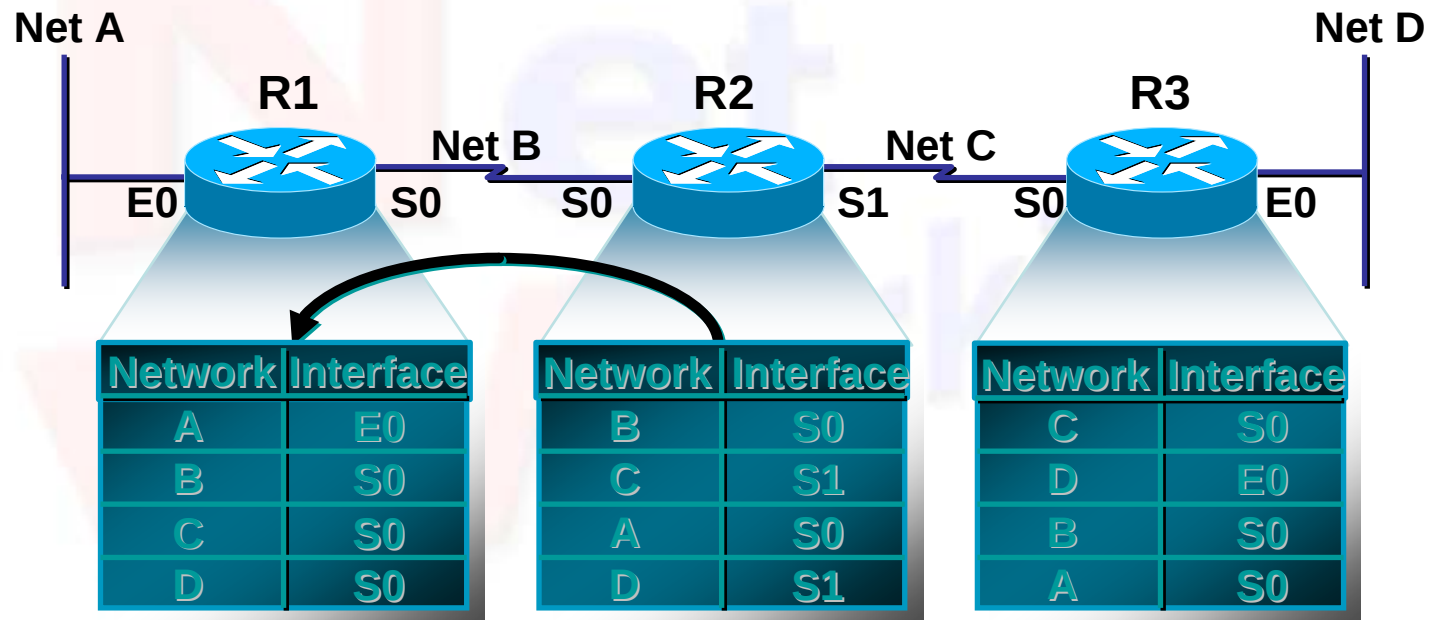
RIP—Vector Distancia



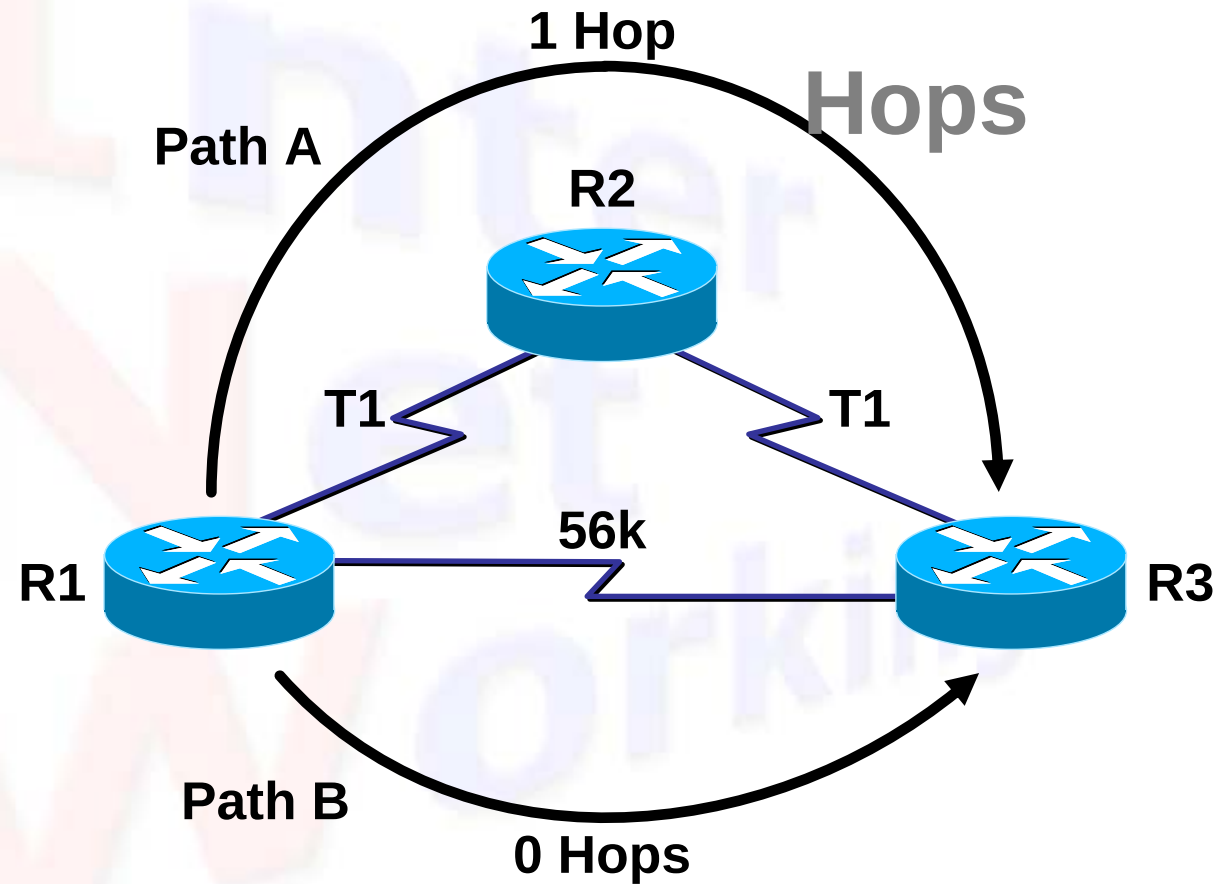
Envía tablas de enrutamineto a sus vecinos

RIP Timers

- Update = 1x 30 sec
- Invalido = 3x 90 sec
- Holddown = 3x 90 sec
- Flush = 7x 210 sec



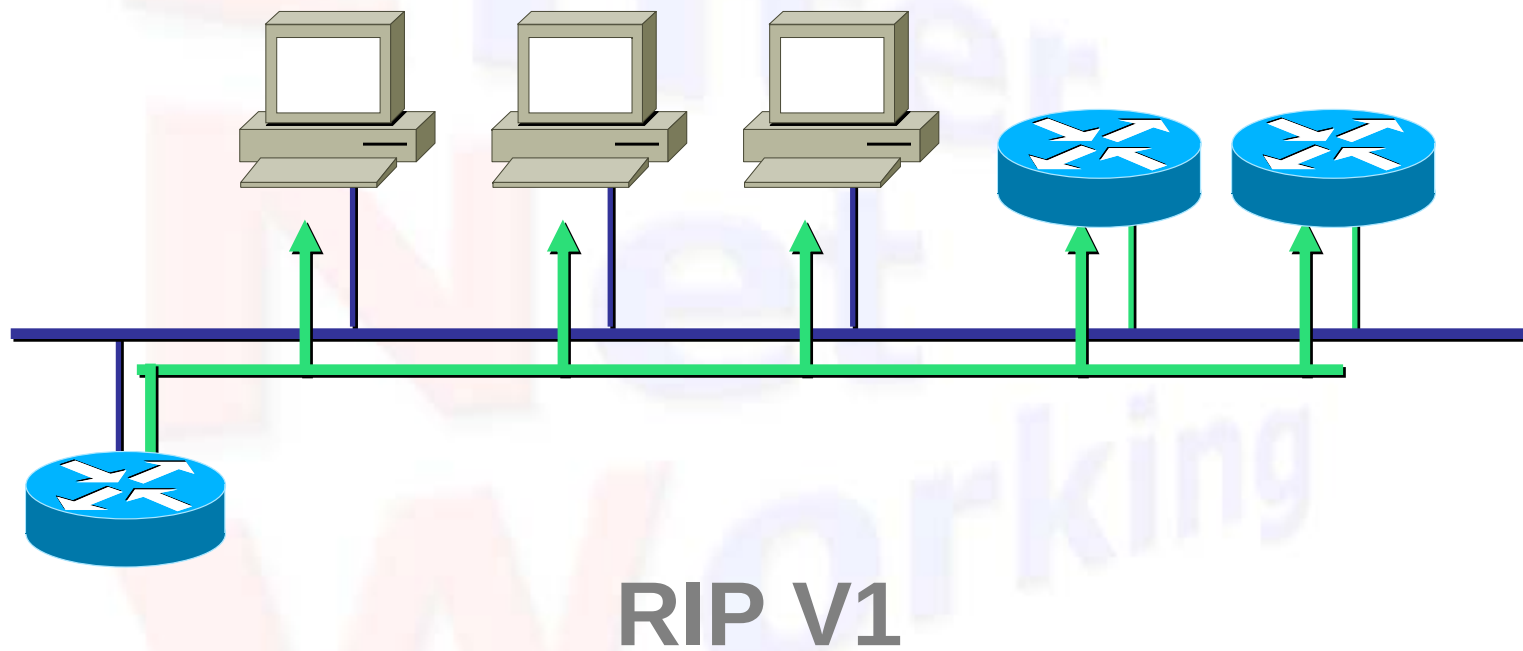
RIP Métrica



Cuándo se usa RIP

- Implementación en algunas horas
- Bueno para link estables y redes pequeñas
- *ruteo* en ambiente de host
- Ambiente multivendor
- Redes no-redundantes

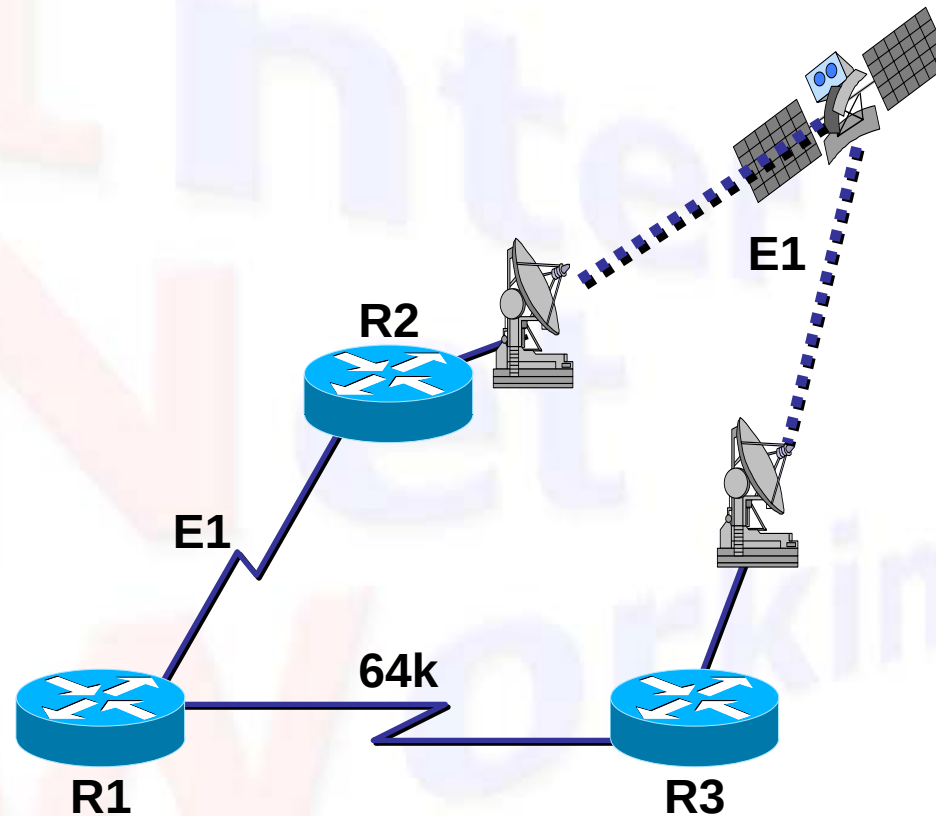
Broadcast Routing Updates



IGRP (Interior Gateway Routing Protocol)

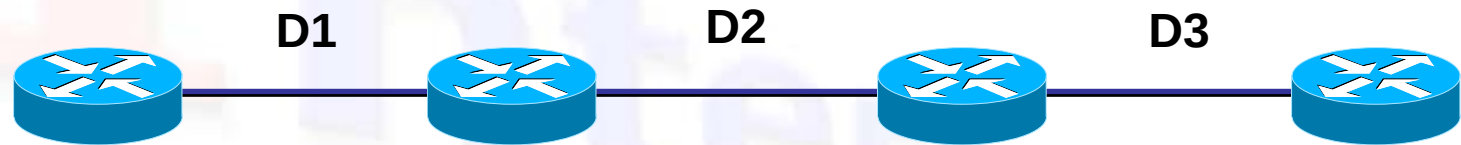
- Distance Vector
- Determina Mejor ruta de acuerdo a: Ancho de Banda, retardo, utilización, confiabilidad y carga)
- Balance de Cargas ante dos rutas de igual costo.
- Update de Info mediante Broadcast cada 90 segundos
- No soporta subnetting
- Propietario de Cisco

IGRP Métrica Compuesta

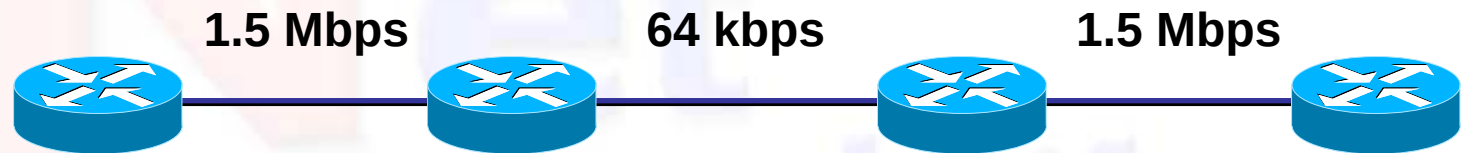


Cómo Trabajan las Métricas IGRP?

Delay Metric
Based on
 $D1 + D2 + D3$



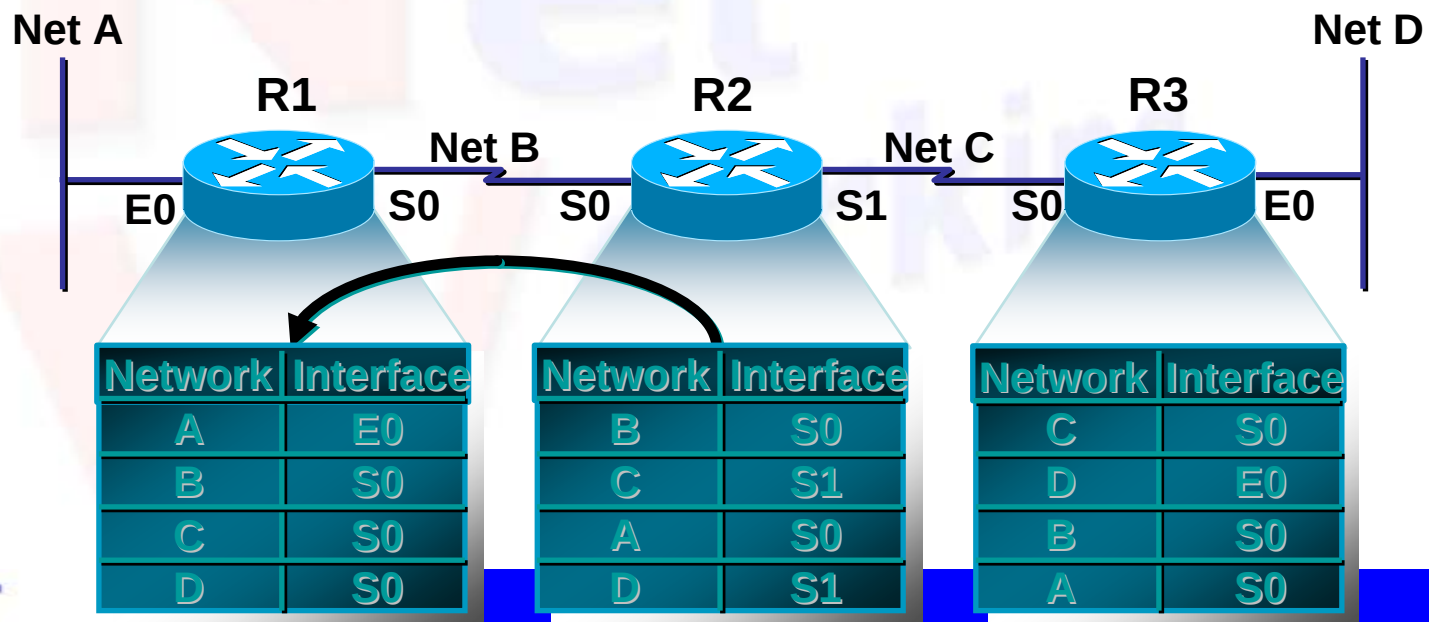
Bandwidth
Metric Based
on 64kbps



- Ancho de banda domina en caminos cortos
- Delay domina en caminos largos
- Configura bandwidth sobre todas las interfaces

IGRP Timers

- Update = 1x 90 sec
- Invalida = 3x 270 sec
- Holddown = 3x + 10 280 sec
- Flush = 7x 630 sec



Cuándo usar IGRP

- Simplicidad de IGRP
- Bueno para redes pequeñas y medianas
- Cuando métricas son importantes
- Overhead de ruteo disminuido

OSPF (Open Shortest Path First)

- RFC 1253
- Link State
- Rápida Convergencia (5 seg. Promedio)
- Selecciona las Rutas basado en Costo (costo default = $10^8/BW$)
- No tiene limite de Hop
- Protocolo Jerárquico
- Updates Incremental mediante Broadcast
- Soporta Subneting

Funcionamiento:

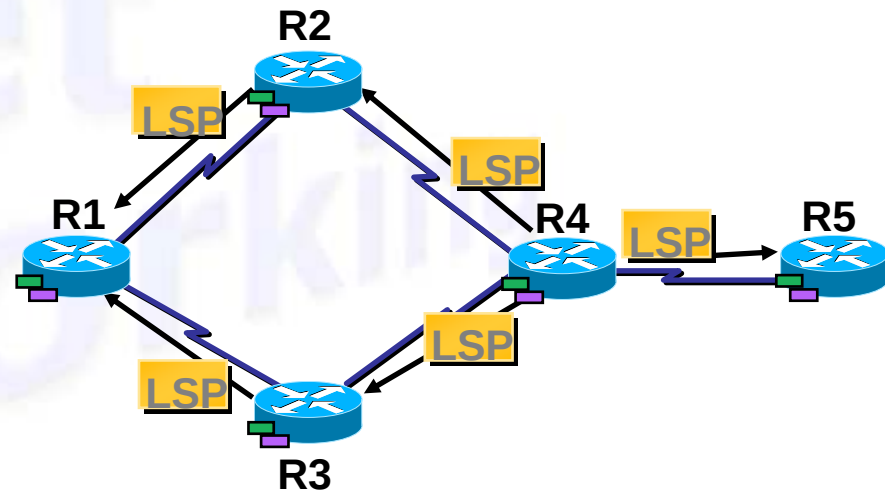
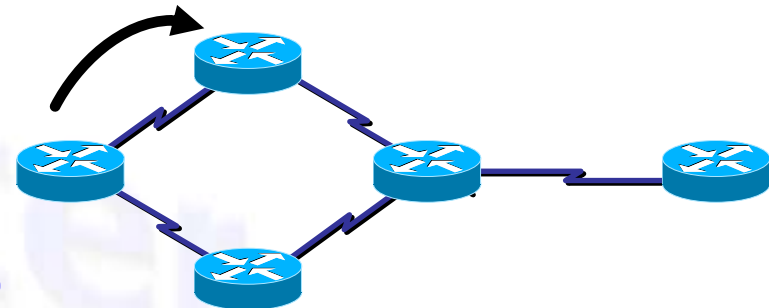
- Recibo la base de datos con los estados de los enlaces, después de 10 seg. Calculo la ruta óptima mediante Dijkstra
- Si falla un enlace y pierdo una red anuncio la variación mediante broadcast

Métrica OSPF

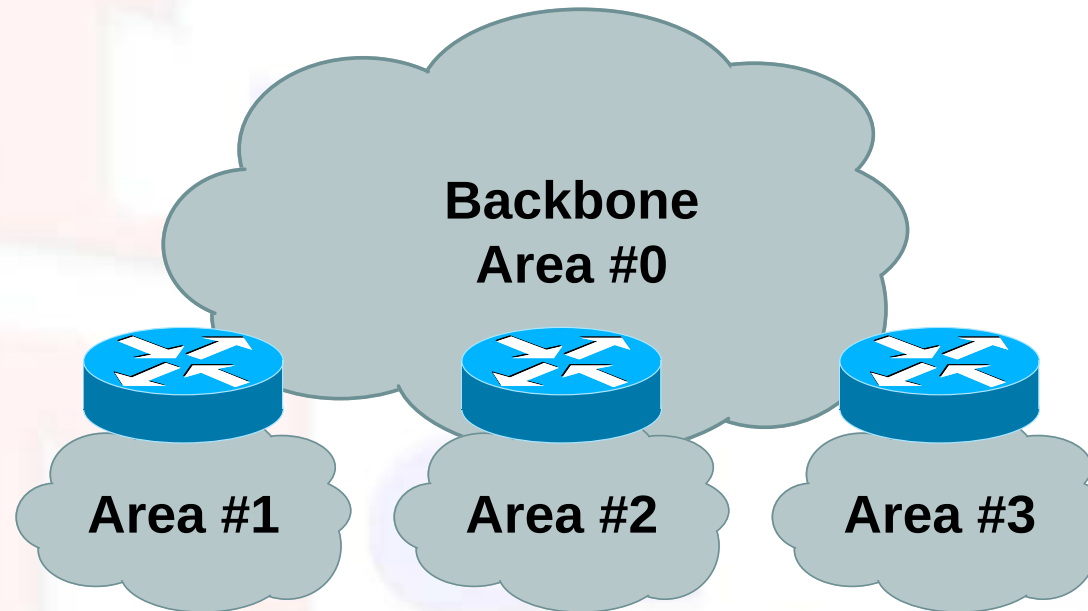
- Función del Ancho de Banda
- $10^8 \div \text{bandwidth}$
 - 56-kbps serial link = 1785 64-kbps serial link = 1562
 - T1 (1.544-Mbps serial link) = 65 E1 (2.048-Mbps serial link) = 48
 - 4-Mbps Token Ring = 25 16-Mbps Token Ring = 6
 - Ethernet = 10 Fast Ethernet / FDDI = 1
- Comandos de Configuración
 - Interface sub-command: `bandwidth`
 - Interface sub-command: `ip ospf cost`
 - Router sub-command:
 - `ospf auto-cost reference-bandwidth`
 - Default = 108

OSPF Timers

- Hello = 10s
 - hello-interval
 - Hello timers supersede keepalive timers
- Neighbor down = 4 x hello
 - dead-interval
- Between LSA resends = 5s
 - > RTT
 - retransmit-interval
- Time to send an update = 1s
 - transmit-delay
- Delay between spf runs = 10s
 - timers spf

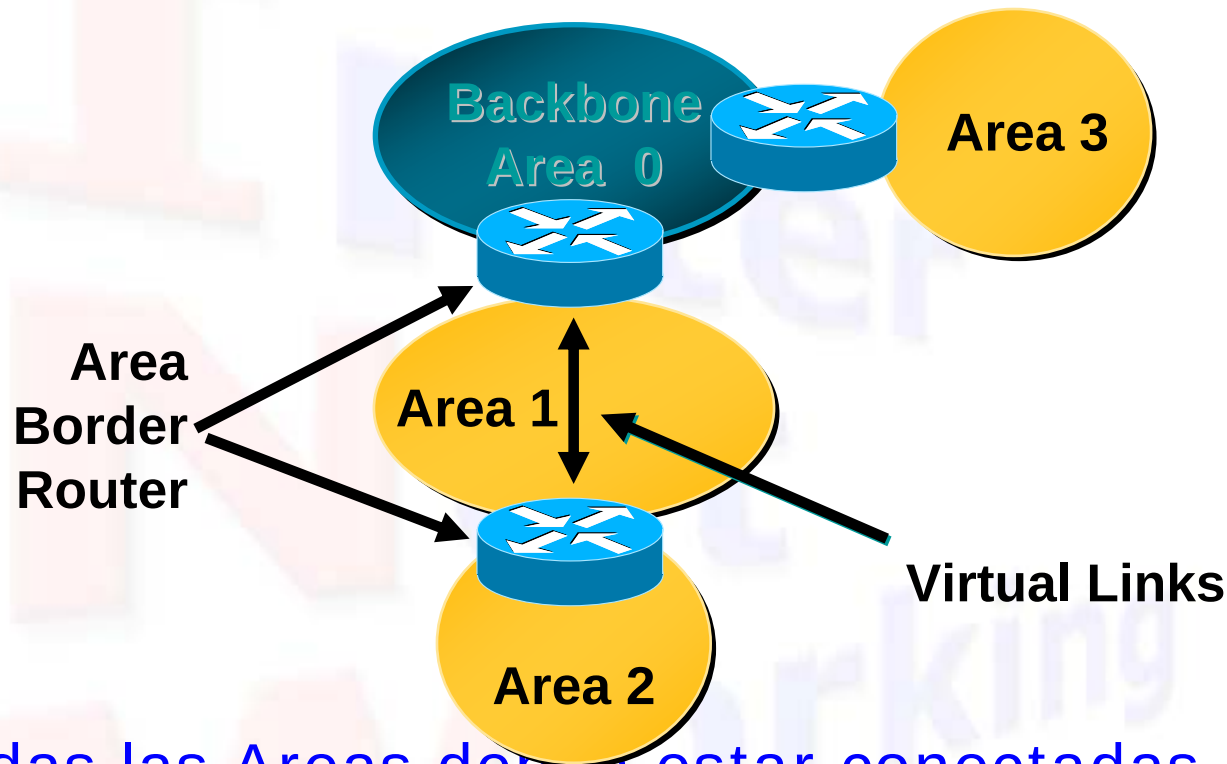


OSPF Areas



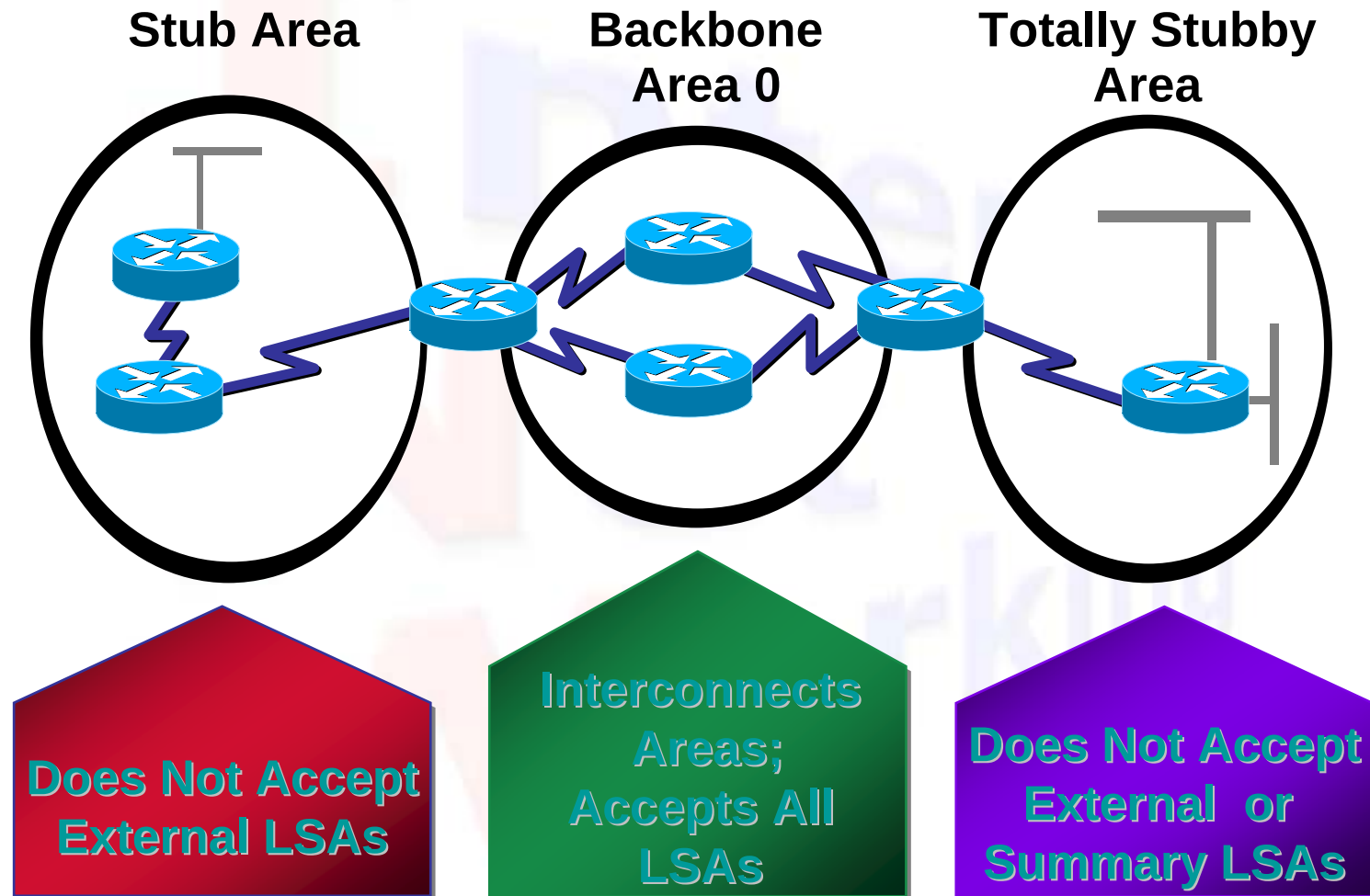
- Reglas
 - Backbone siempre debe estar presente
 - Todas las otras áreas deben estar conectadas al backbone.
 - El Backbone debe estar contigui a las otras áreas.

Virtual Links



- Todas las Areas deben estar conectadas al Area 0
- Se puede crear un link virtual para integrar un area no adyacente al area 0

Types of Areas



Cuándo usar OSPF?

- Grandes redes jerárquicas
- Redes complejas, excepto:
 - Topología Restrictiva.
 - Diseño de Red Adicional (Rediseñar).
- VLSM.
- Rápida convergencia
- No es propietario de Cisco

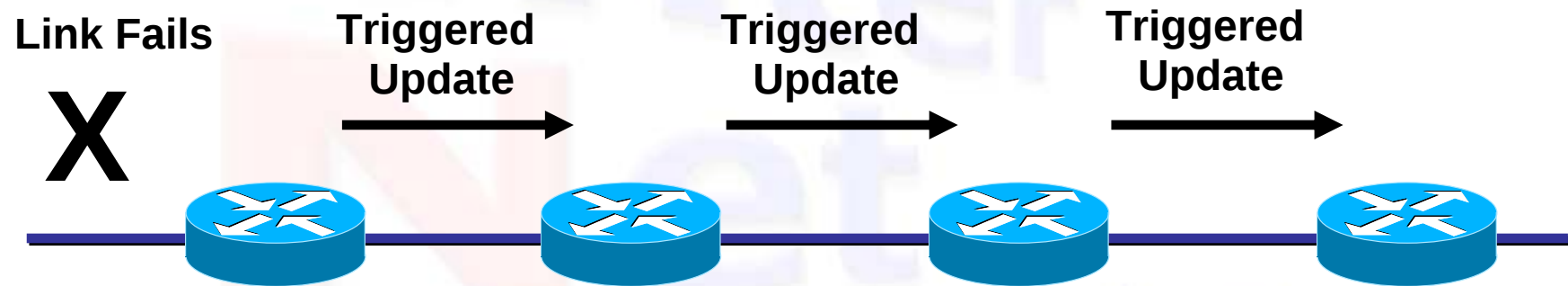
EIGRP (Enhanced IGRP)

- Distance Vector con Link State
- Soporta subnetting, summarización y subnets discontinuas
- Updates Incrementales
- Soporta Redistribución
- Rápida convergencia
- Bajo overhead
- Enrutamiento libre de loops
- Multiprotocolo: IP, IPX®, AppleTalk

Cuando Usar EIGRP?

- Redes complejas y grandes
- VLSM
- Para rápida convergencia
- Soporta múltiples protocolos

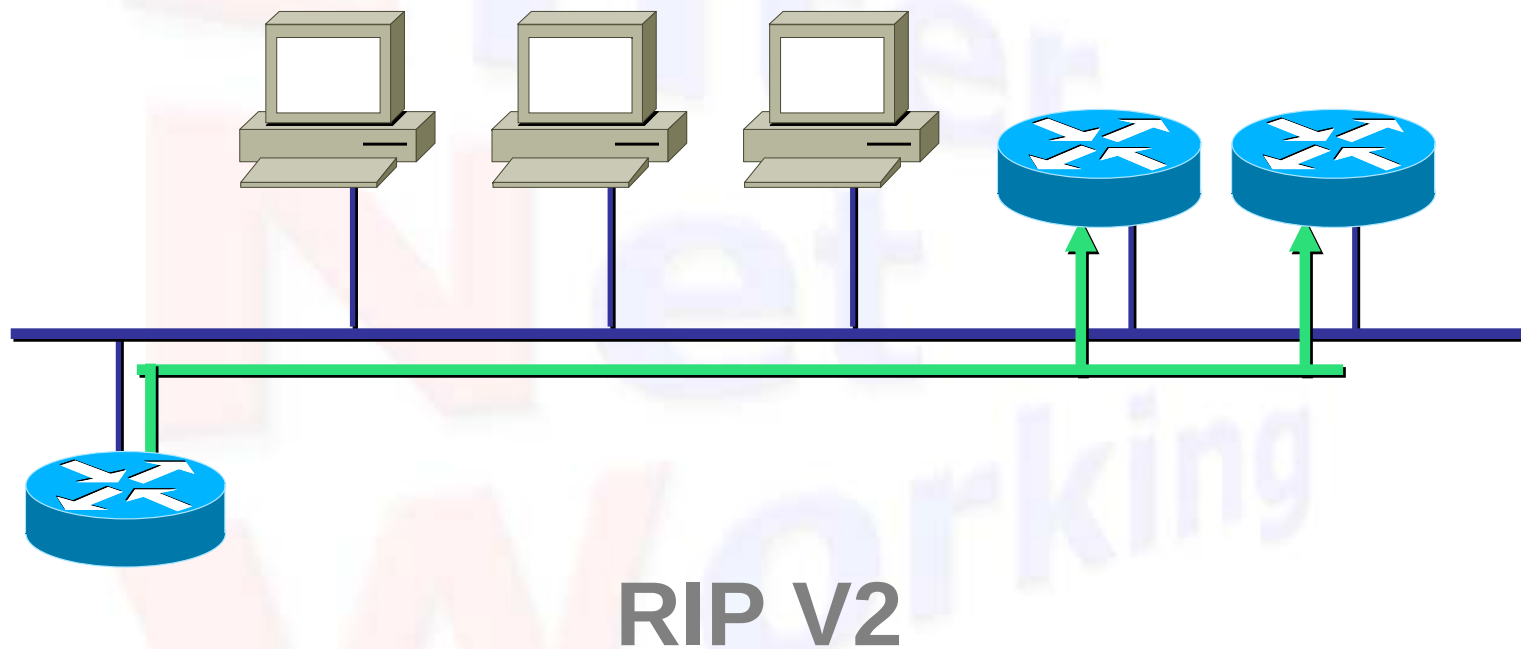
Rápida Convergencia



RIP version 2

- RFC 1723
- Soporta Subredes
- Se mantienen la forma y frecuencia de updates
- Soportado por Cisco IOS™ 11.1
- VLSM (Variable length subnet masks)
- Sumarización
- Classless InterDomain Routing (CIDR)
- Actualizaciones de ruteo via Multicast

Multicast Routing Updates



Resumen

Name	Type	Proprietary	Function	Updates	Metric	VLSM	Summ
RIP	DV	No	Interior	30 Sec	Hops	No	Auto
RIPV2	DV	No	Interior	30 Sec	Hops	Yes	Auto
IGRP	DV	Yes	Interior	90 Sec	Comp	No	Auto
EIGRP	Adv DV	Yes	Interior	Trig	Comp	Yes	Both
OSPF	LS	No	Interior	Trig	Cost	Yes	Man
IS-IS	LS	No	Int/Ext	Trig	Cost	Yes	Auto
BGP	DV	No	Exterior	Trig	N/A	N/A	Man