upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Spanning Tree Protocol

Area de Ingeniería Telemática
http://www.tlm.unavarra.es

Grado en Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación, 3º

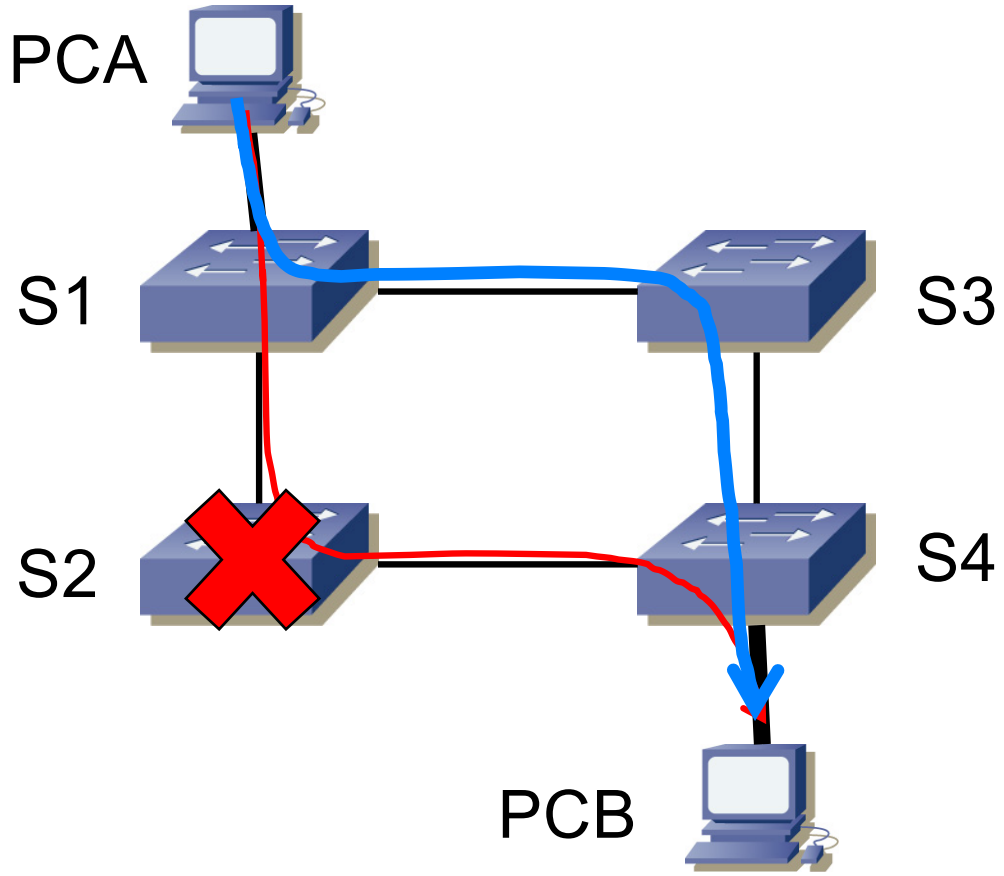
upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Bucles en LANs con puentes

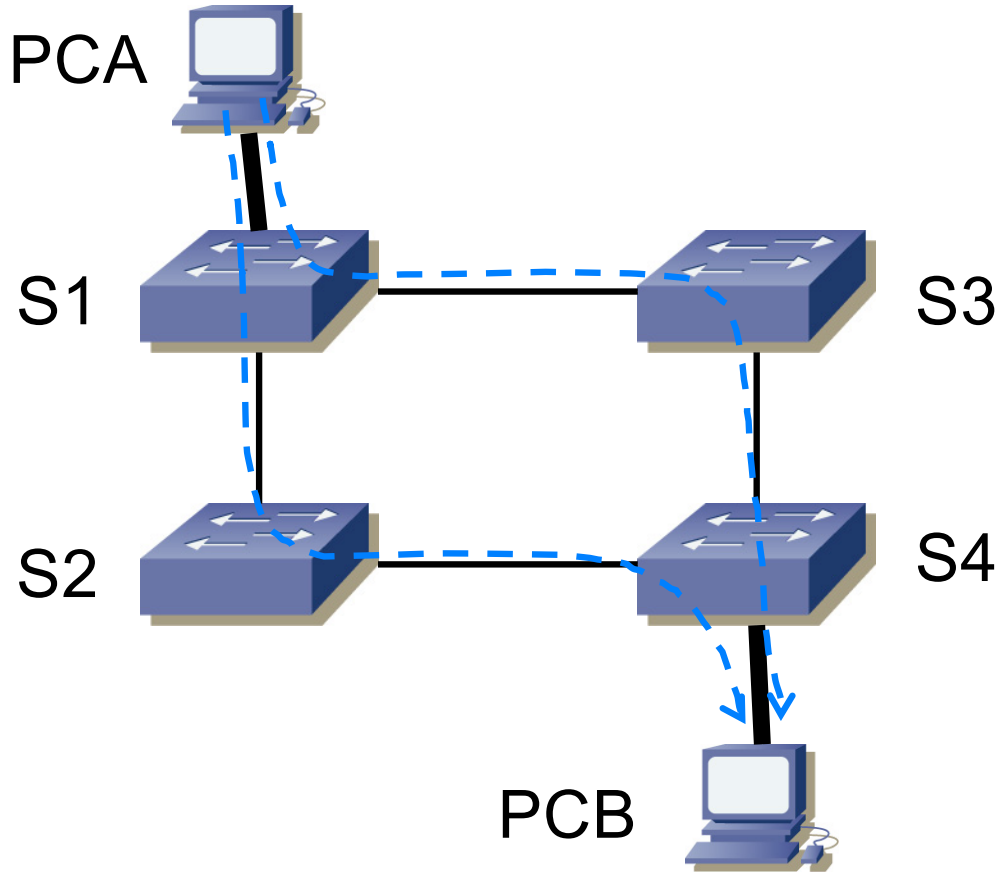
Caminos alternativos

- Ofrecerían la posibilidad de:
  - Reconfiguración ante fallos (...)
  - (...)



Caminos alternativos

- Ofrecerían la posibilidad de:
  - Reconfiguración ante fallos
  - Balanceo de carga
- Requiere tomar decisiones de encaminamiento



Pero...

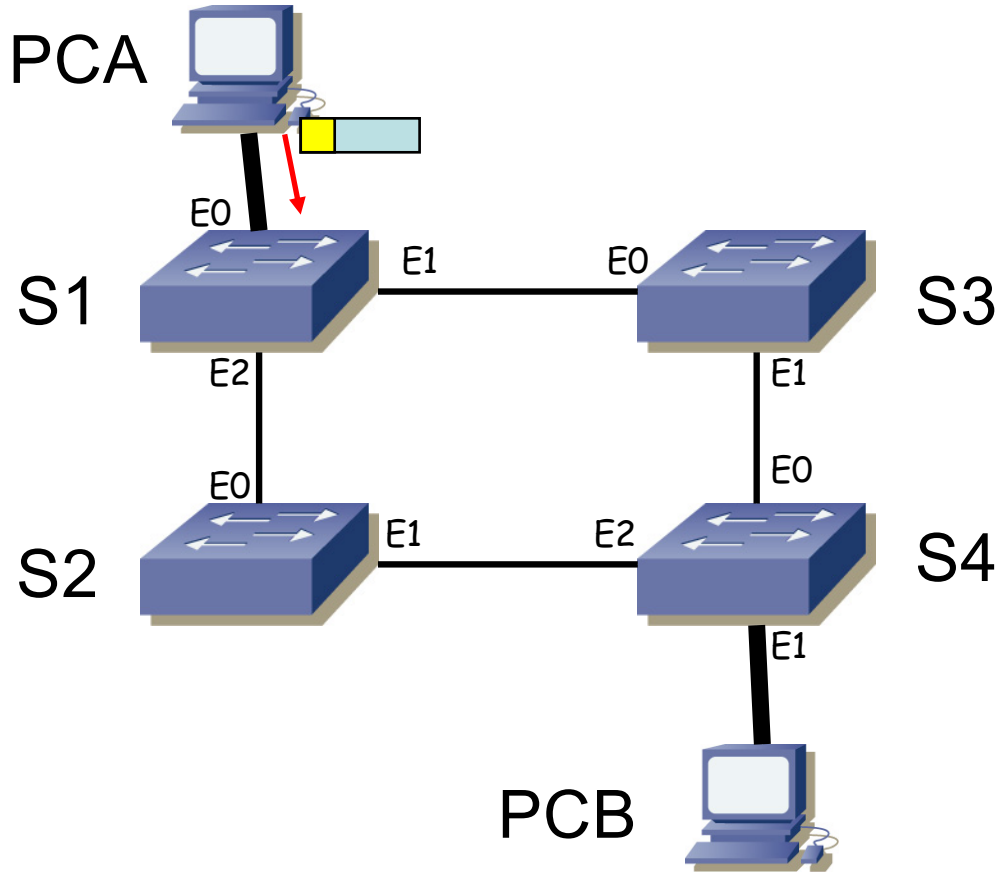
- Ejemplo:
  - PCA envía una trama al PCB y los switches no han aprendido la MAC de PCB
  - O PCA envía una trama a broadcast
  - En ambos casos habrá inundación

S1

If	MAC

S2

If	MAC



S3

If	MAC

S4

If	MAC

Pero...

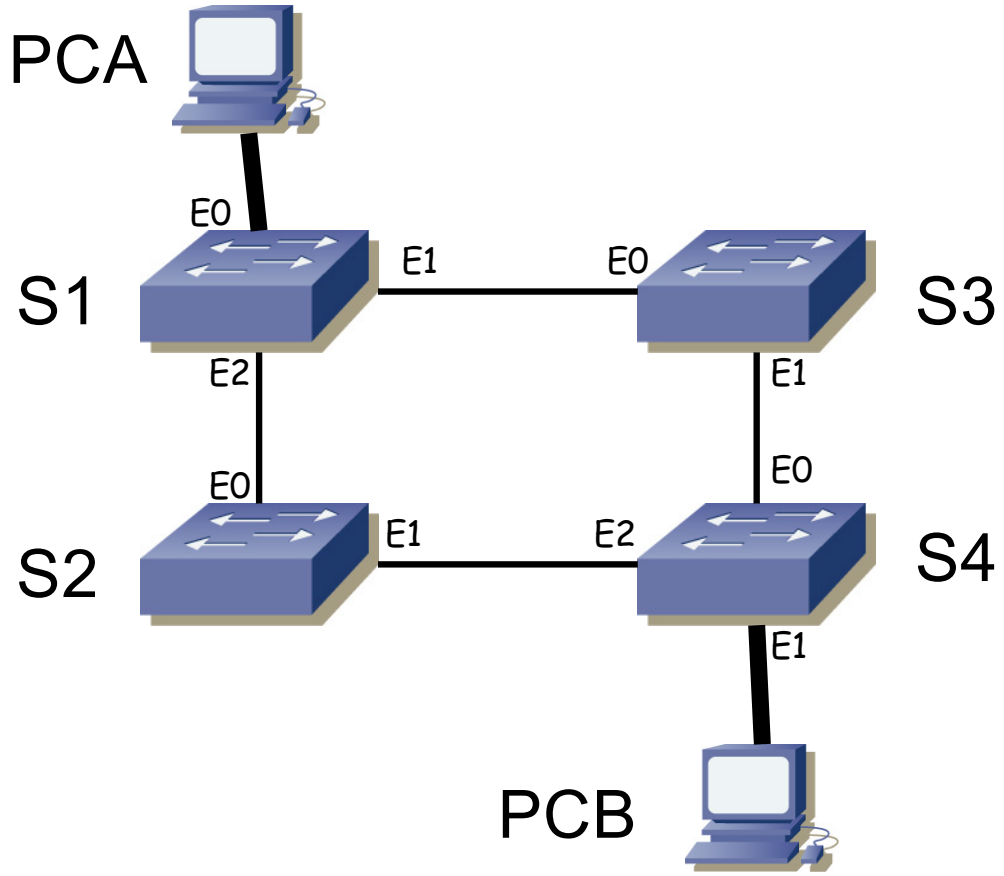
- Ejemplo:
  - PCA envía una trama al PCB y los switches no han aprendido la MAC de PCB
  - O PCA envía una trama a broadcast
  - En ambos casos habrá inundación

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC



S3

If	MAC

S4

If	MAC

Pero...

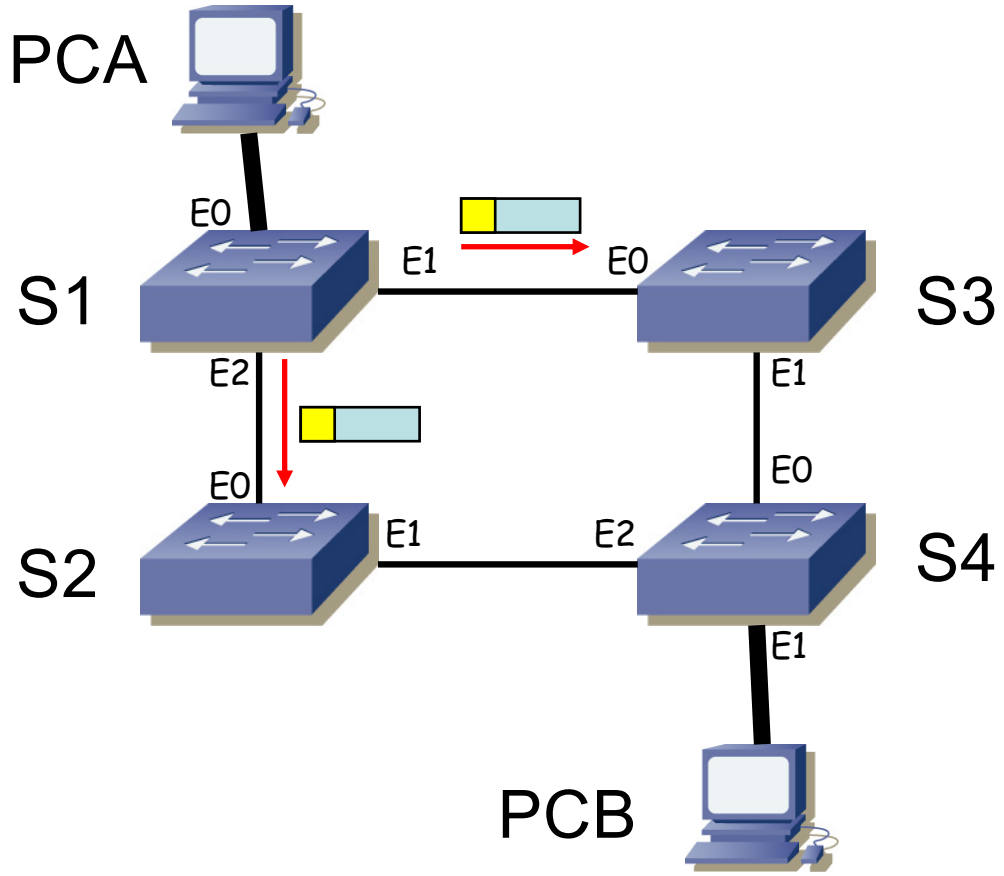
- Ejemplo:
  - PCA envía una trama al PCB y los switches no han aprendido la MAC de PCB
  - O PCA envía una trama a broadcast
  - En ambos casos habrá inundación

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC



S3

If	MAC

S4

If	MAC

Pero...

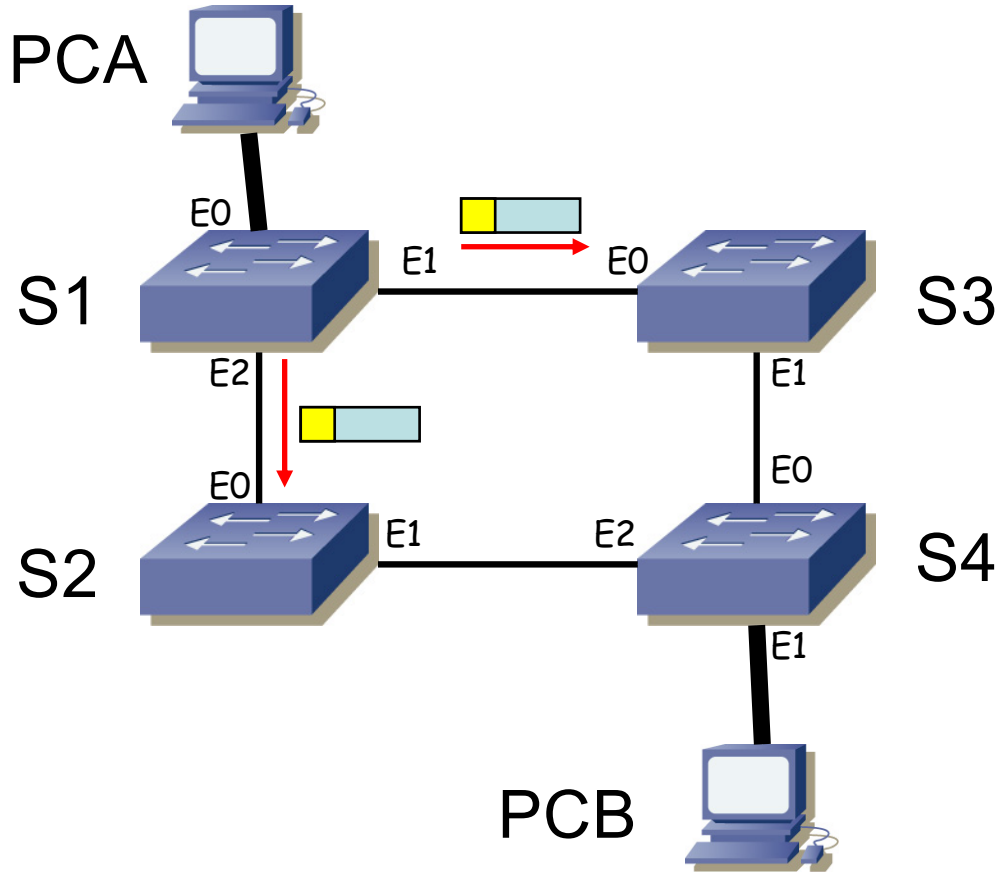
- Ejemplo:
  - PCA envía una trama al PCB y los switches no han aprendido la MAC de PCB
  - O PCA envía una trama a broadcast
  - En ambos casos habrá inundación

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC
E0	PCA



S3

If	MAC
E0	PCA

S4

If	MAC

Pero...

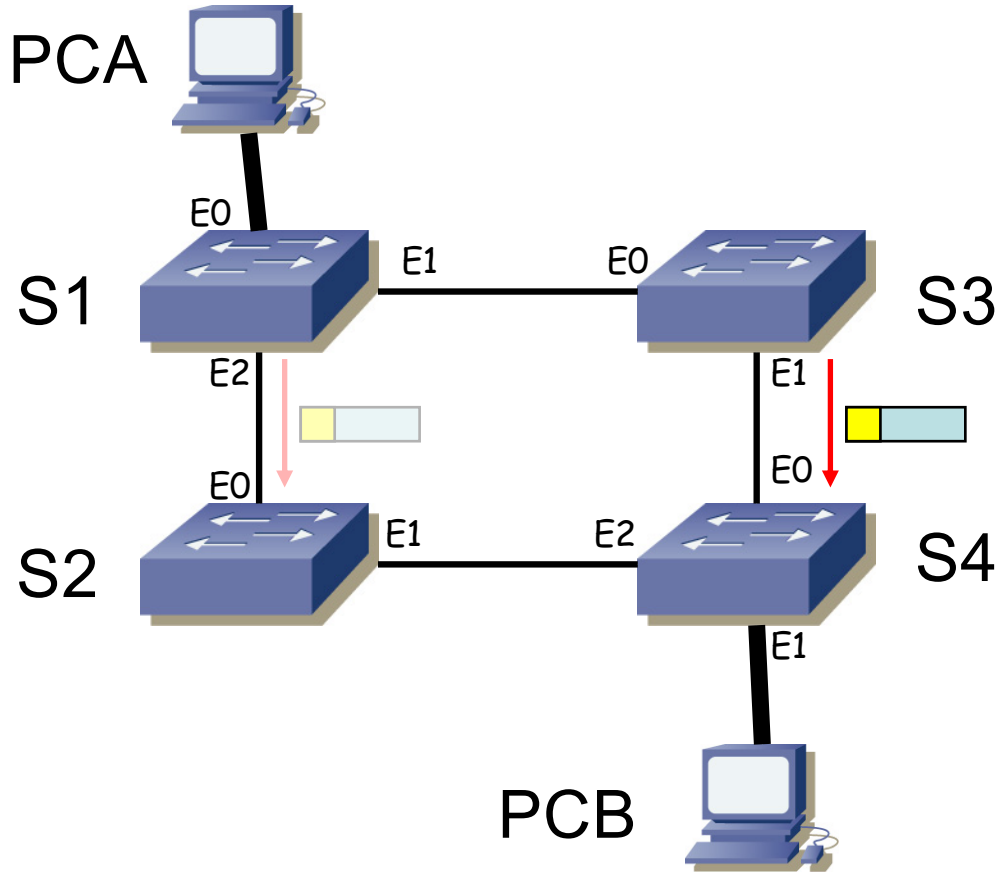
- Ejemplo:
  - Suponemos que el paquete que viene de S3 llega antes a S4 que el que viene de S2

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC
E0	PCA



S3

If	MAC
E0	PCA

S4

If	MAC

Pero...

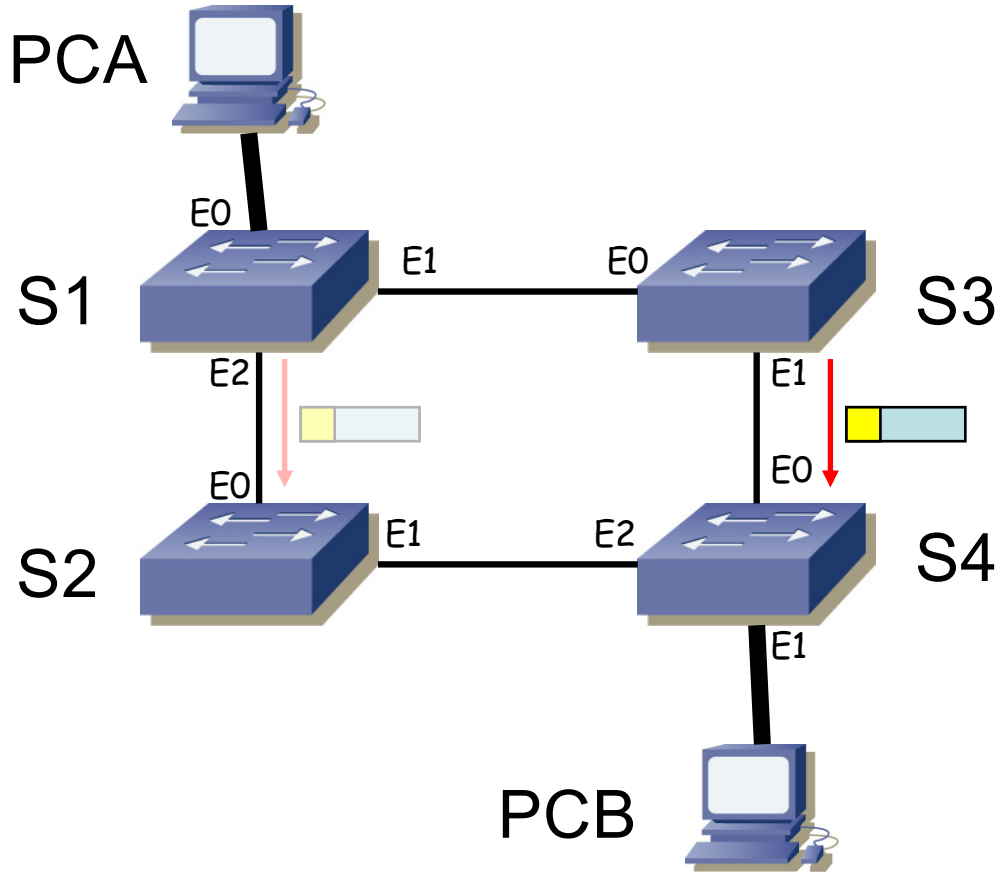
- Ejemplo:
  - Suponemos que el paquete que viene de S3 llega antes a S4 que el que viene de S2

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC
E0	PCA



S3

If	MAC
E0	PCA

S4

If	MAC
E0	PCA

Pero...

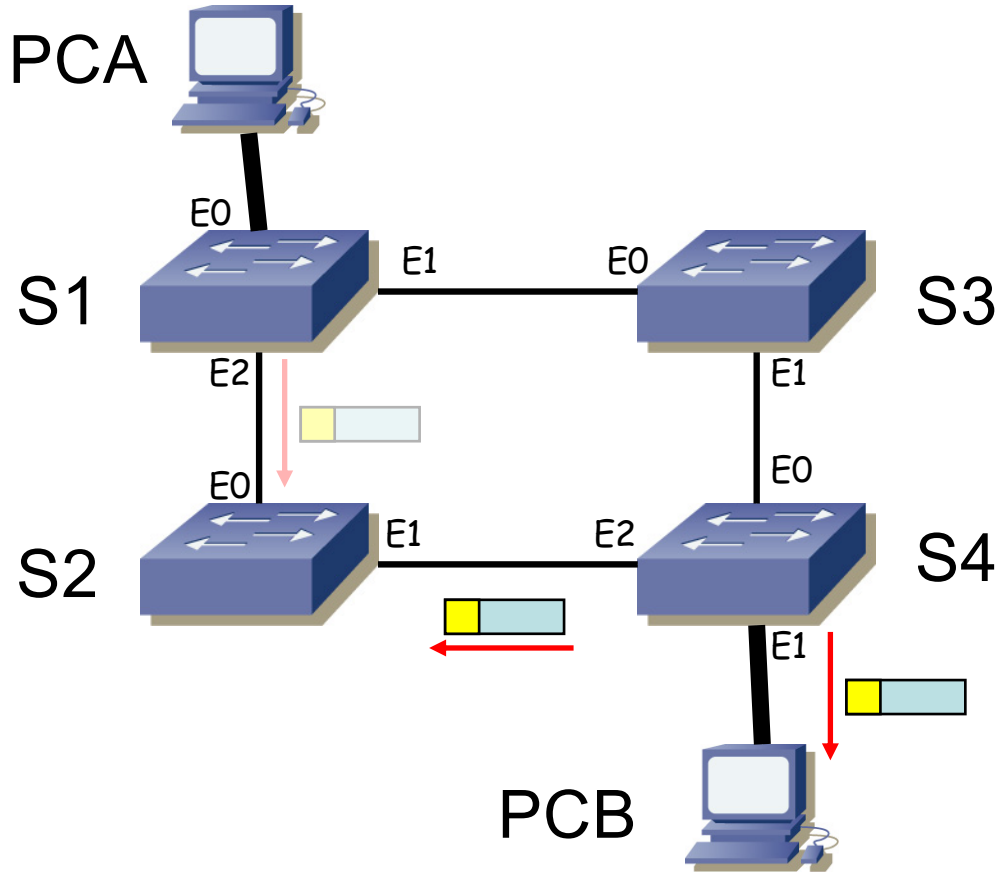
- Ejemplo:
  - Suponemos que el paquete que viene de S3 llega antes a S4 que el que viene de S2

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC
E0	PCA



S3

If	MAC
E0	PCA

S4

If	MAC
E0	PCA

Pero...

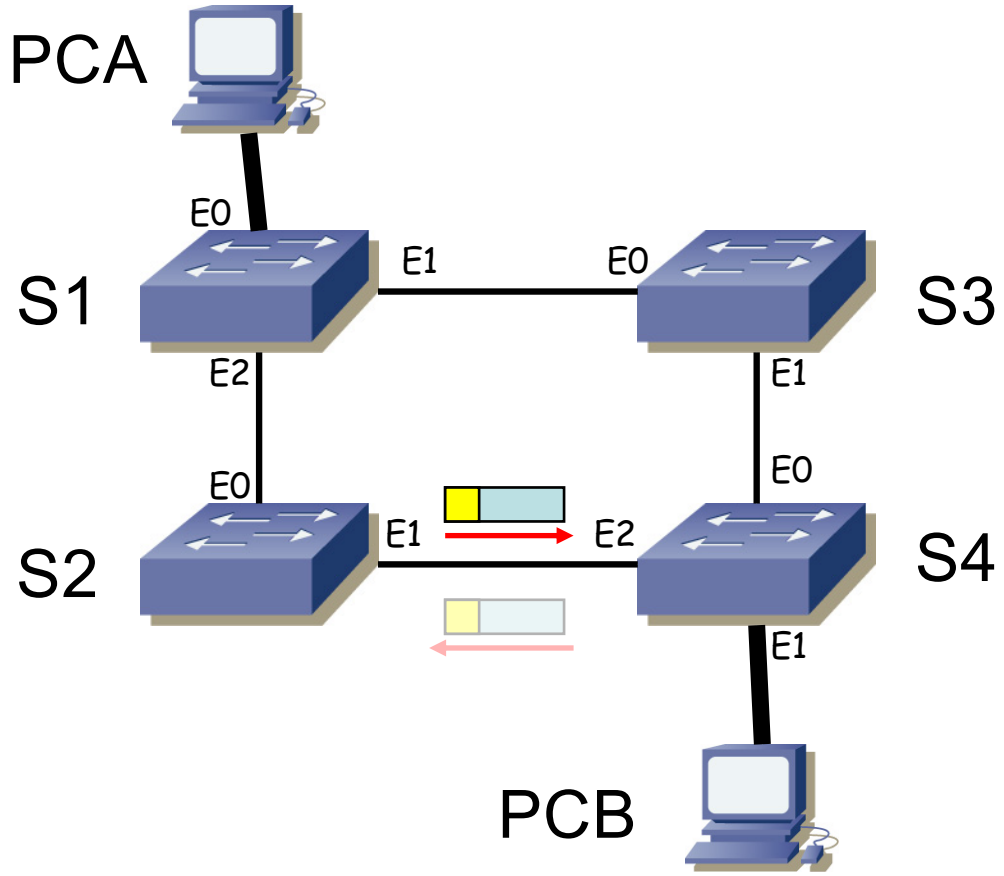
- Ejemplo:
  - Después llegará el que viene de S2
  - Atención que aún no hemos terminado con el paquete que va de S4 a S2

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC
E0	PCA



S3

If	MAC
E0	PCA

S4

If	MAC
E0	PCA

Pero...

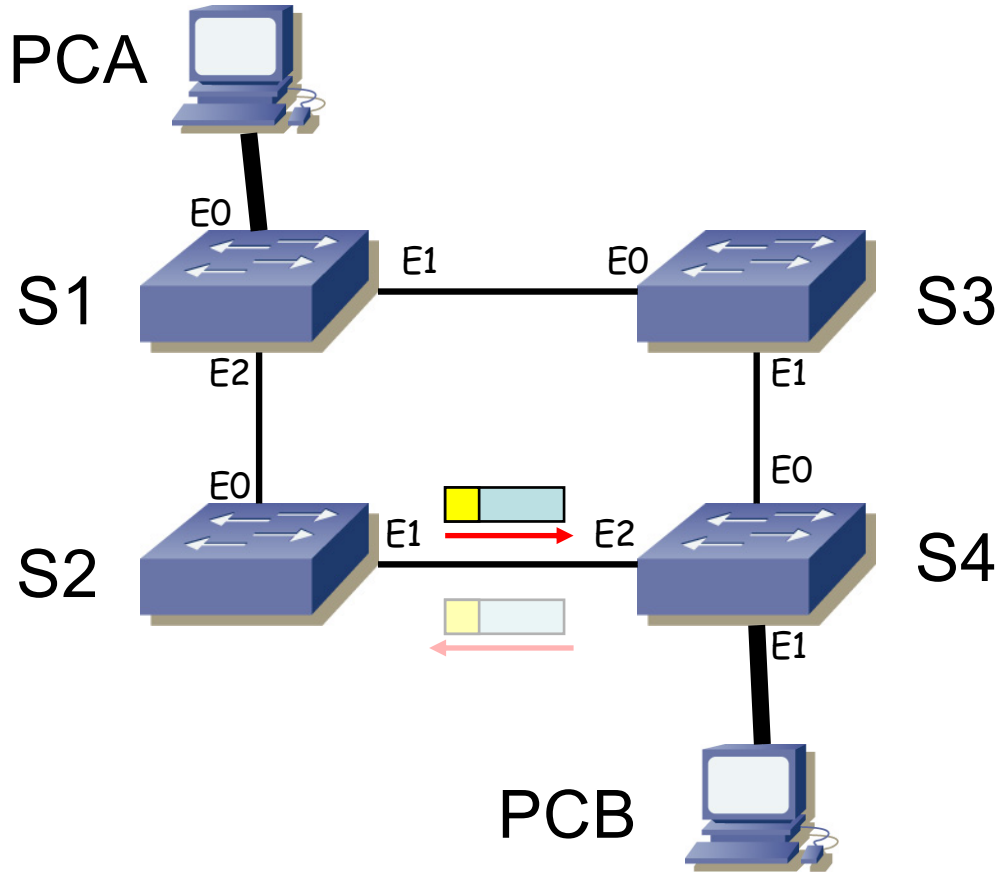
- Ejemplo:
  - Después llegará el que viene de S2
  - Atención que aún no hemos terminado con el paquete que va de S4 a S2

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC
E0	PCA



S3

If	MAC
E0	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

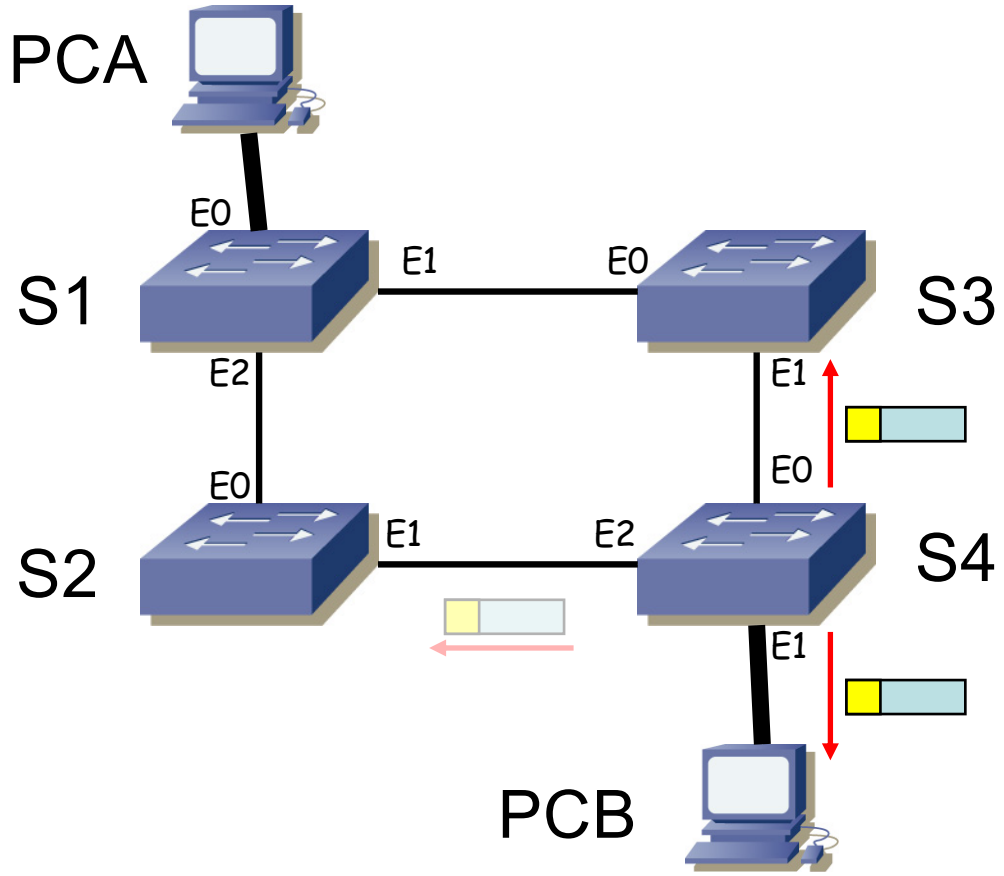
- Ejemplo:
  - Después llegará el que viene de S2
  - Atención que aún no hemos terminado con el paquete que va de S4 a S2

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC
E0	PCA



S3

If	MAC
E0	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

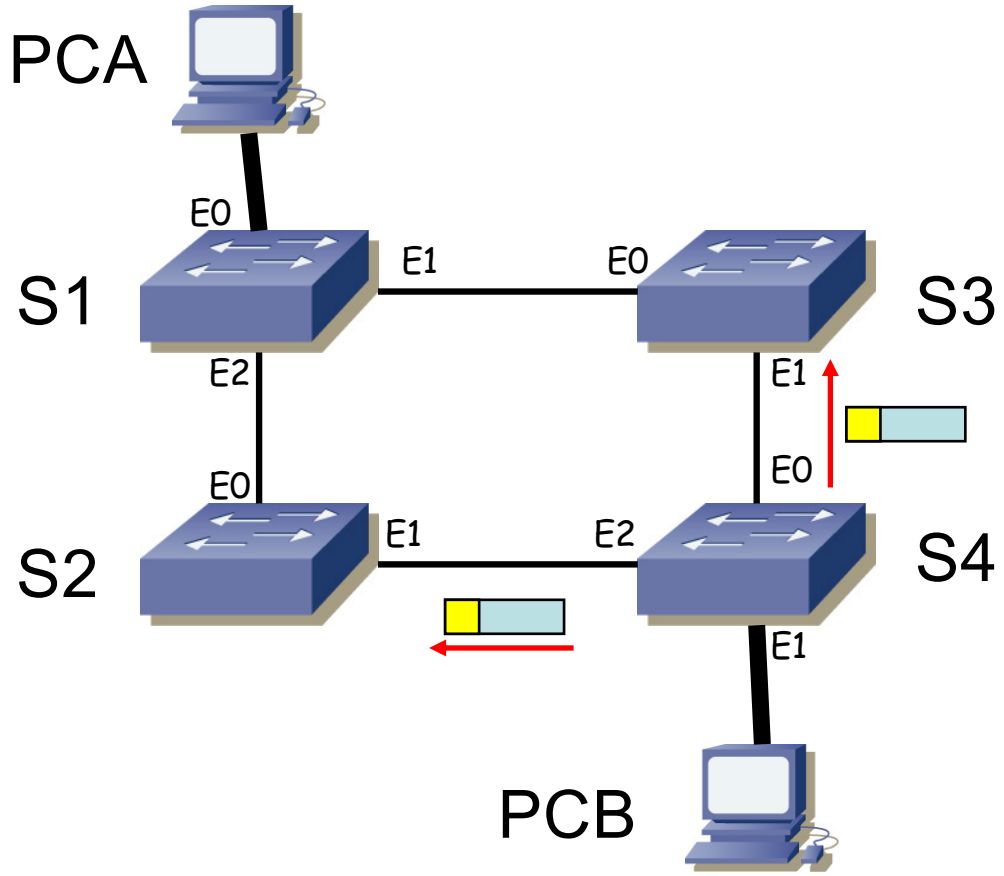
- Ejemplo:
  - Han llegado 2 paquetes idénticos a PCB
  - Tenemos 2 paquetes que han salido de S4, uno en cada sentido del anillo
  - Seguramente uno de ellos un poco antes que el otro

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC
E0	PCA



S3

If	MAC
E0	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

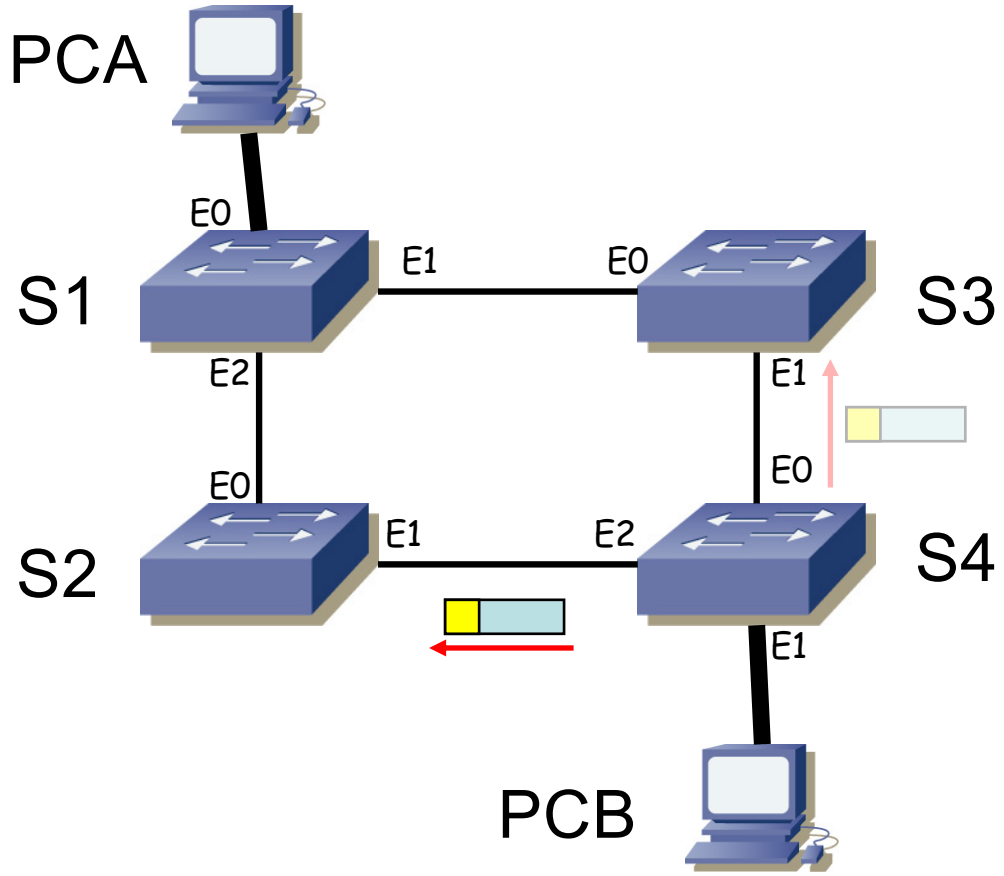
- Ejemplo:
  - Supongamos primero el que va de S4 a S2

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC
E0	PCA



S3

If	MAC
E0	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

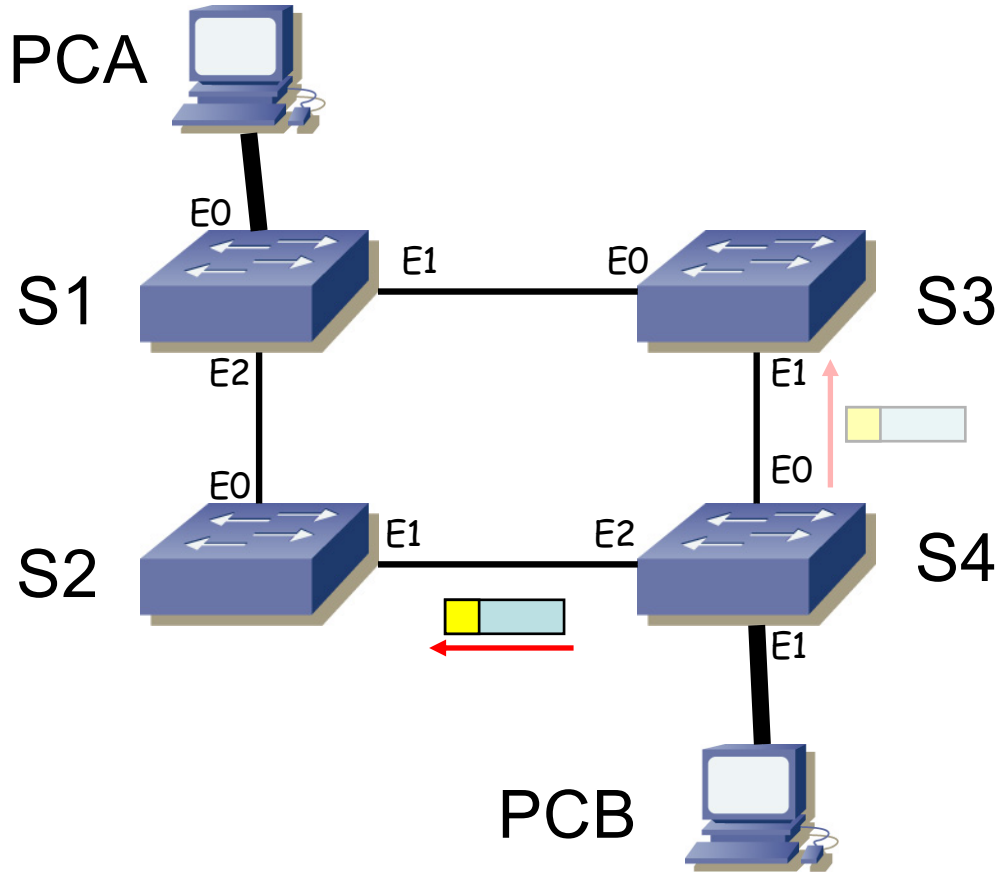
- Ejemplo:
  - Supongamos primero el que va de S4 a S2

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC
E1	PCA



S3

If	MAC
E0	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

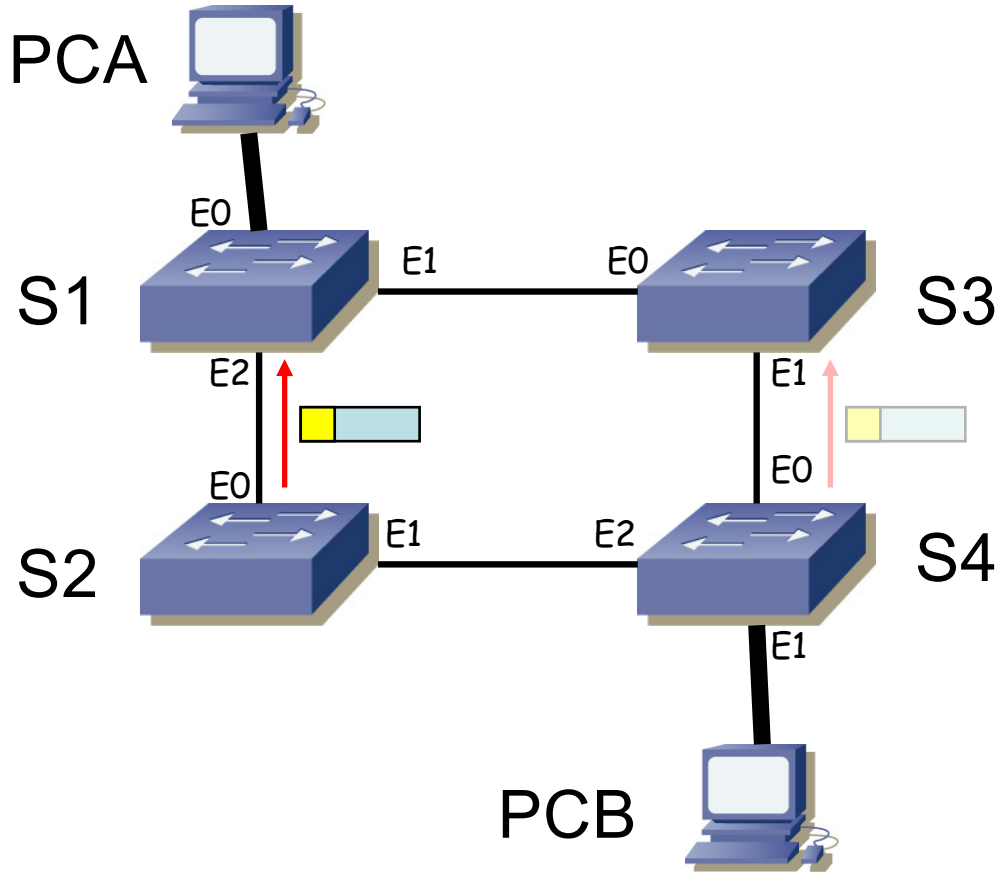
- Ejemplo:
  - Supongamos primero el que va de S4 a S2

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC
E1	PCA



S3

If	MAC
E0	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

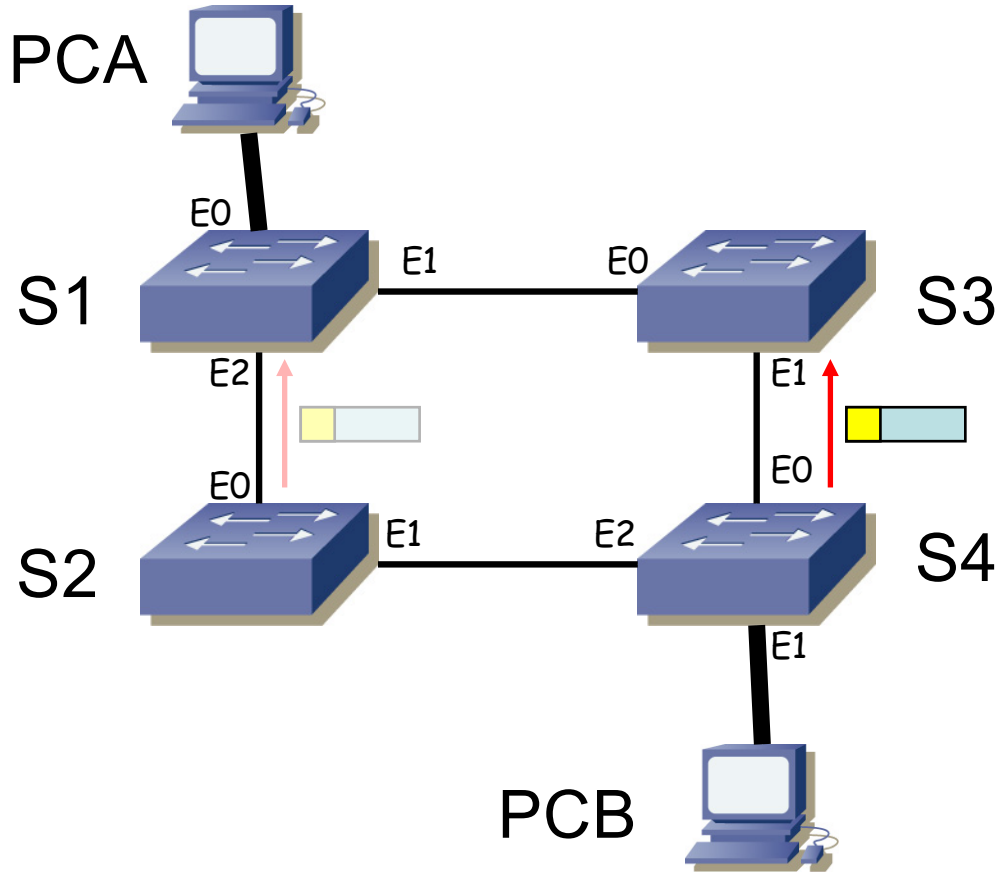
- Ejemplo:
  - Y ahora el paquete que va de S4 a S3

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC
E1	PCA



S3

If	MAC
E0	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

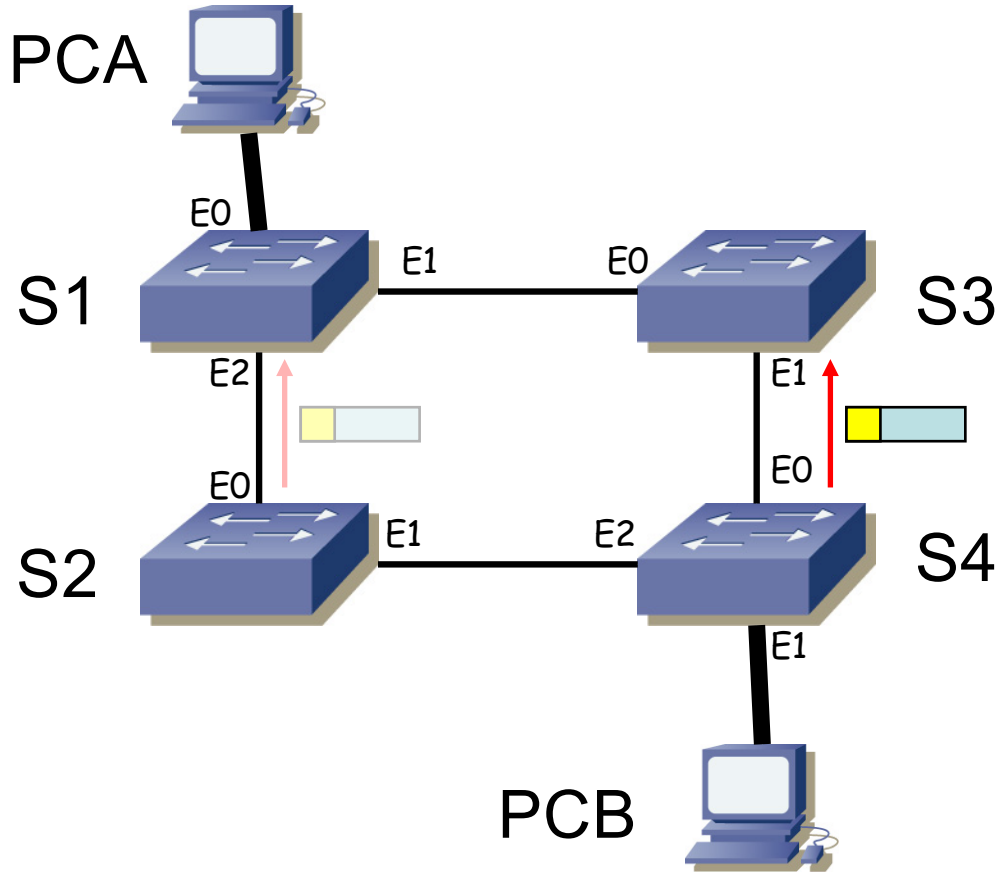
- Ejemplo:
  - Y ahora el paquete que va de S4 a S3

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC
E1	PCA



S3

If	MAC
E1	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

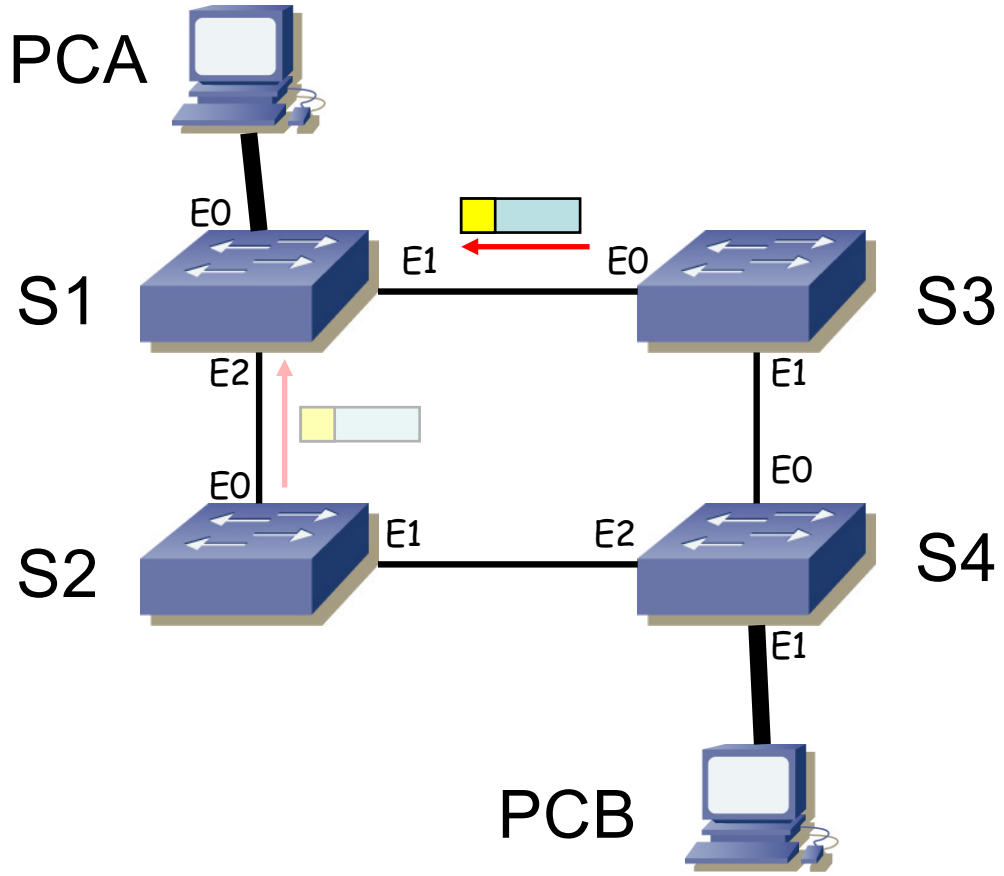
- Ejemplo:
  - Y ahora el paquete que va de S4 a S3

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC
E1	PCA



S3

If	MAC
E1	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

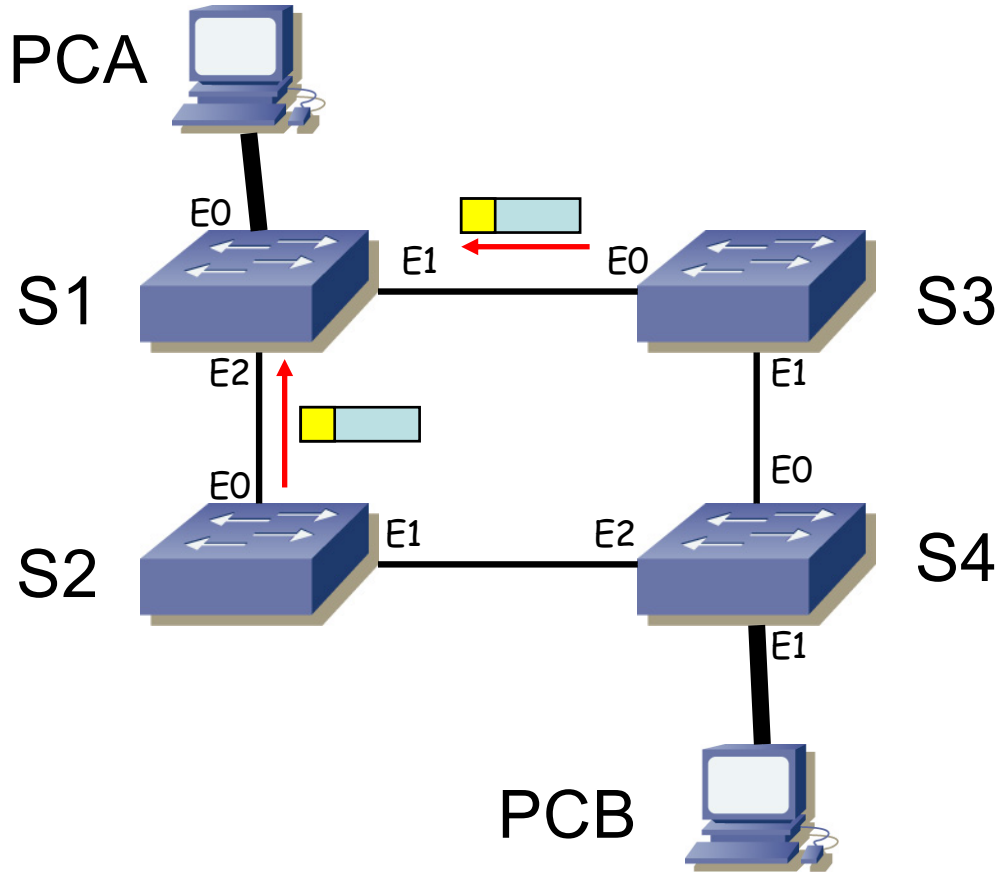
- Ejemplo:
  - Dos paquetes llegan a S1

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC
E1	PCA



S3

If	MAC
E1	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

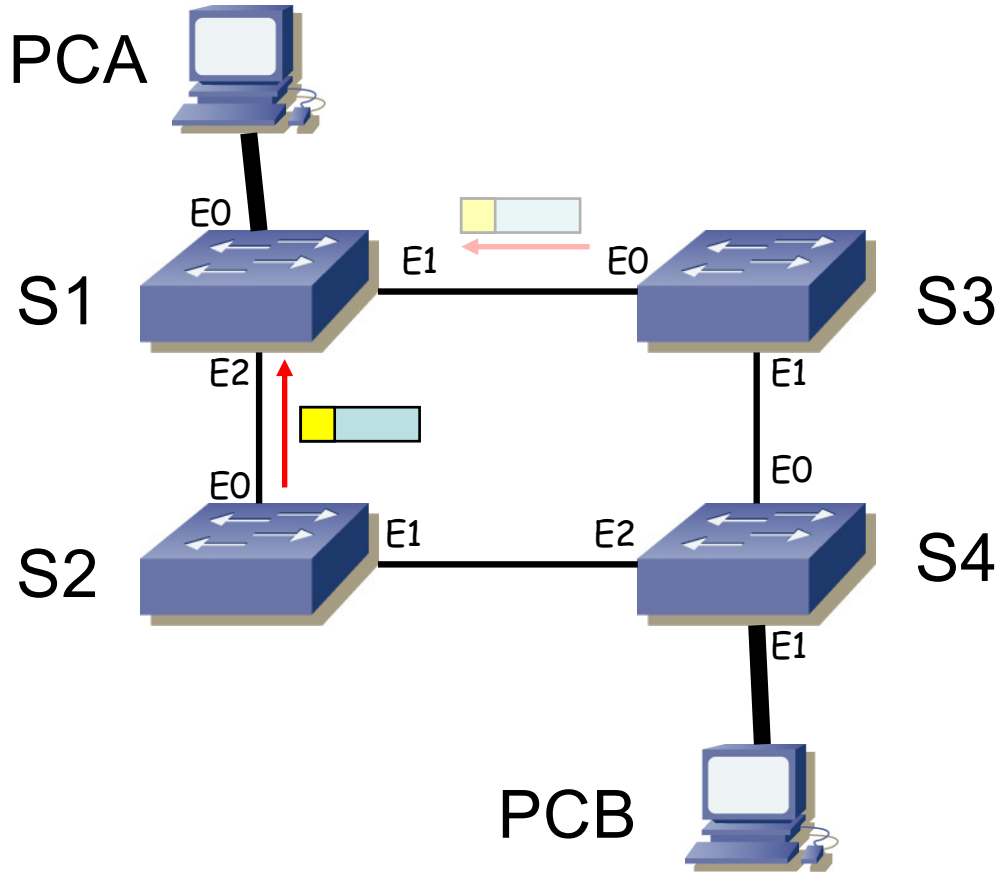
- Ejemplo:
  - Dos paquetes llegan a S1
  - Supongamos que llega primero el que viene de S2

S1

If	MAC
E0	PCA

S2

If	MAC
E1	PCA



S3

If	MAC
E1	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

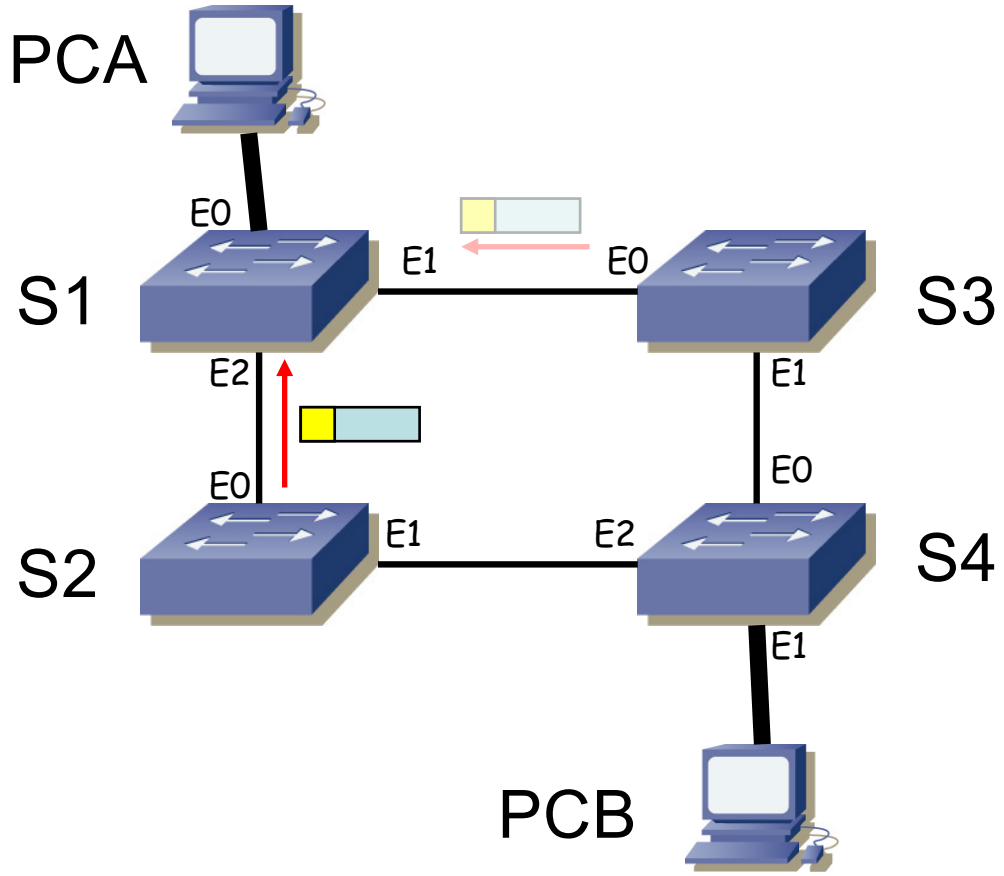
- Ejemplo:
  - S1 cambia lo que había aprendido y reenvía el paquete

S1

If	MAC
E2	PCA

S2

If	MAC
E1	PCA



S3

If	MAC
E1	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

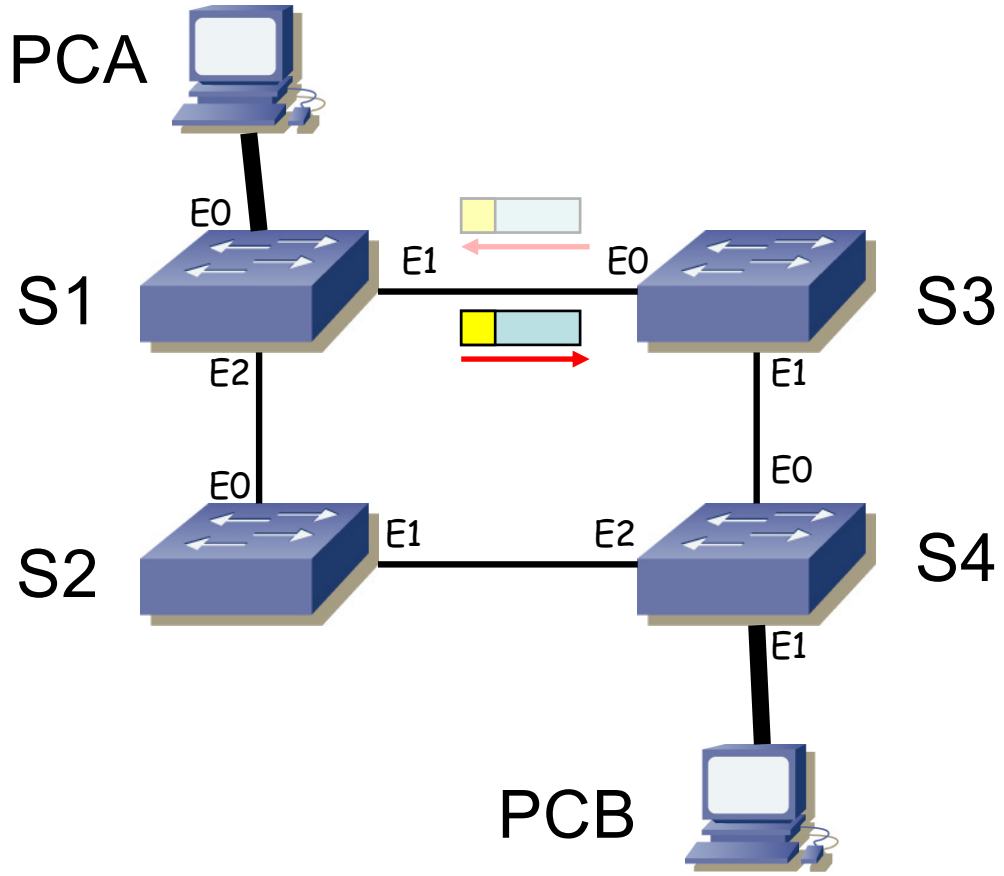
- Ejemplo:
  - S1 cambia lo que había aprendido y reenvía el paquete

S1

If	MAC
E2	PCA

S2

If	MAC
E1	PCA



S3

If	MAC
E1	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

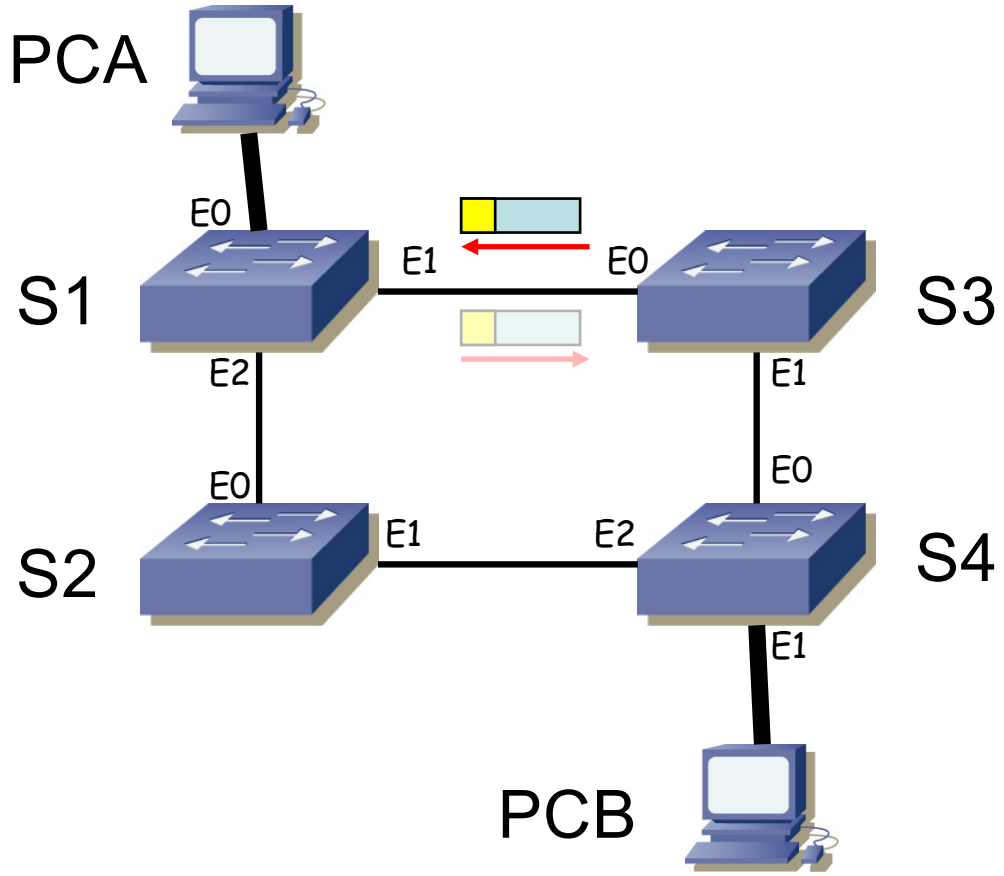
- Ejemplo:
  - Y ahora veamos con el que viene de S3

S1

If	MAC
E2	PCA

S2

If	MAC
E1	PCA



S3

If	MAC
E1	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

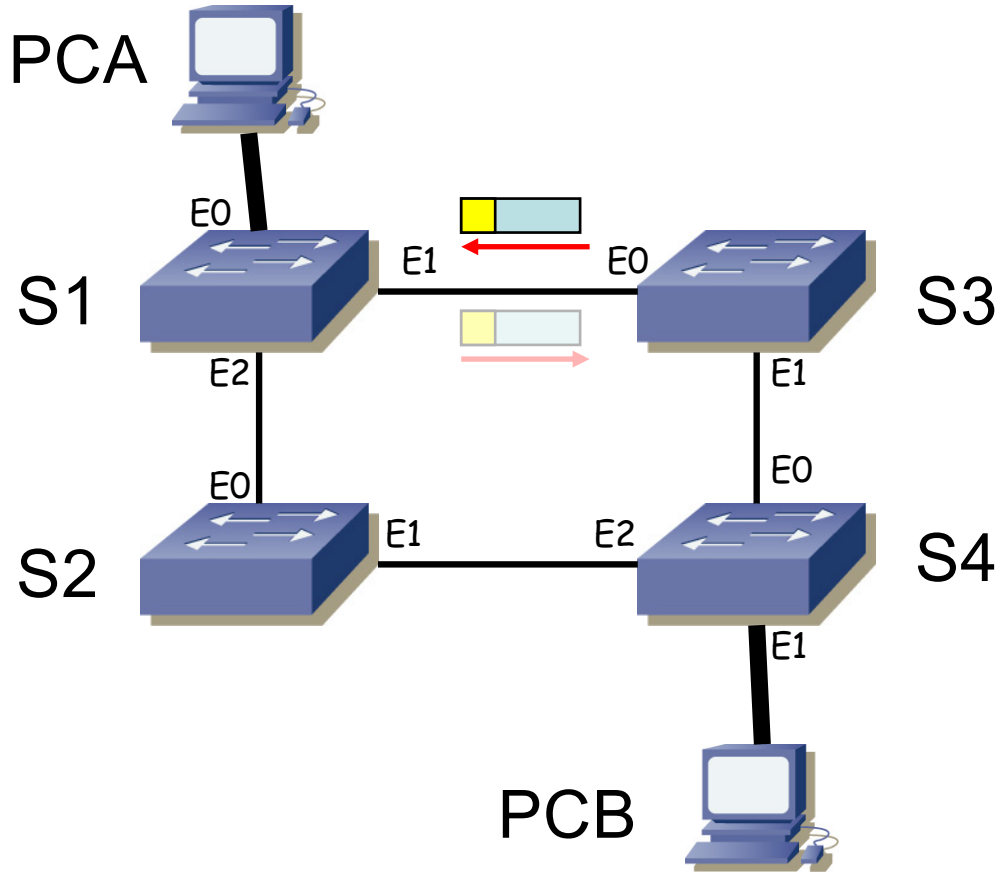
- Ejemplo:
  - Y ahora veamos con el que viene de S3
  - Vuelve a cambiar lo aprendido y reenvía

S1

If	MAC
E1	PCA

S2

If	MAC
E1	PCA



S3

If	MAC
E1	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

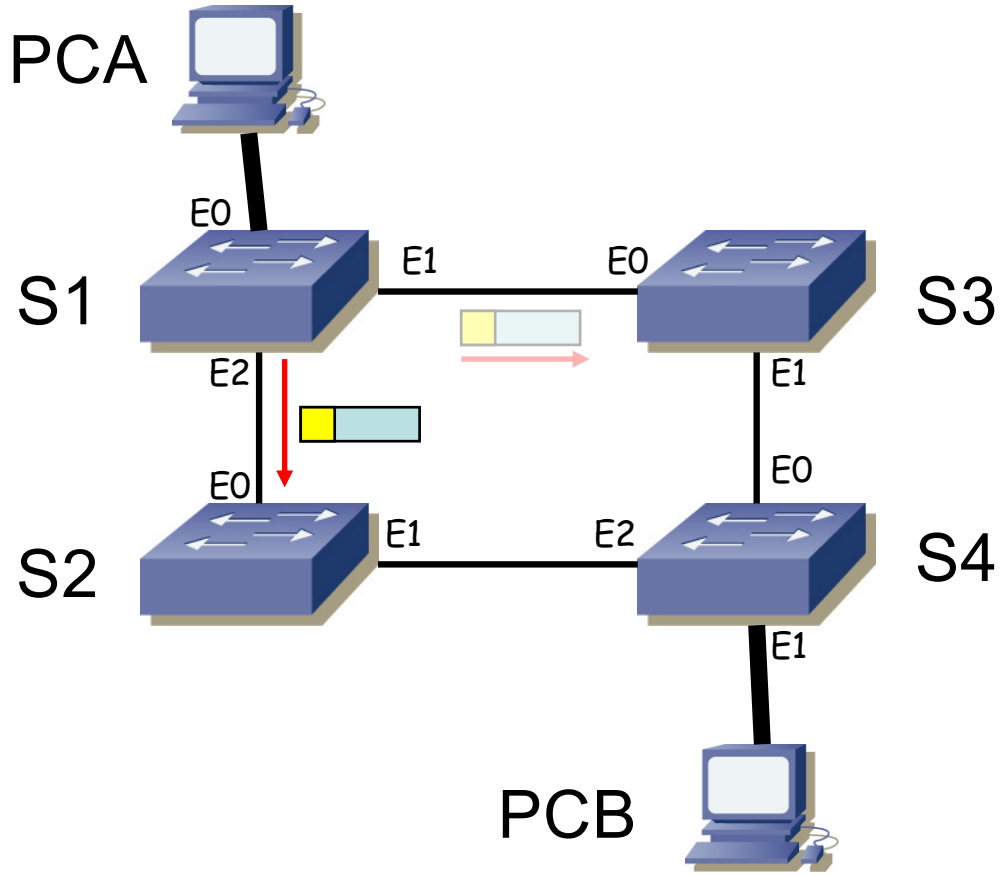
- Ejemplo:
  - Y ahora veamos con el que viene de S3
  - Vuelve a cambiar lo aprendido y reenvía

S1

If	MAC
E1	PCA

S2

If	MAC
E1	PCA



S3

If	MAC
E1	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

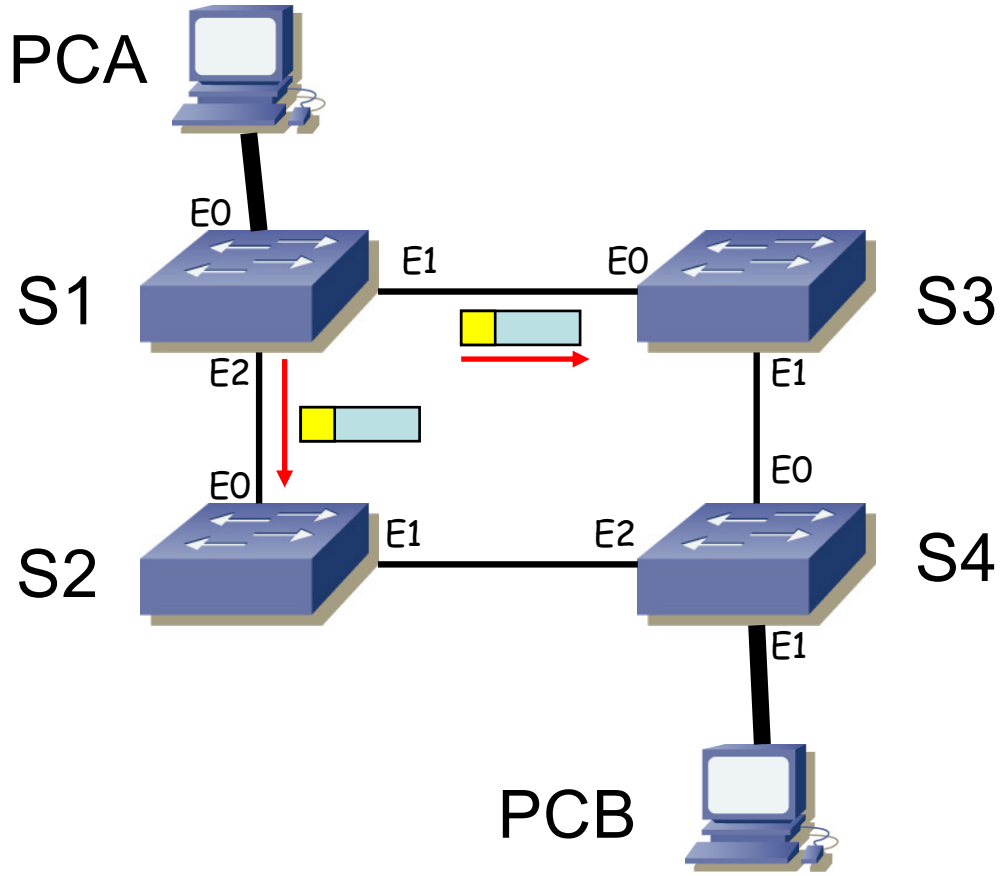
- Ejemplo:
  - Seguimos con los dos paquetes, uno en cada sentido del anillo

S1

If	MAC
E1	PCA

S2

If	MAC
E1	PCA



S3

If	MAC
E1	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

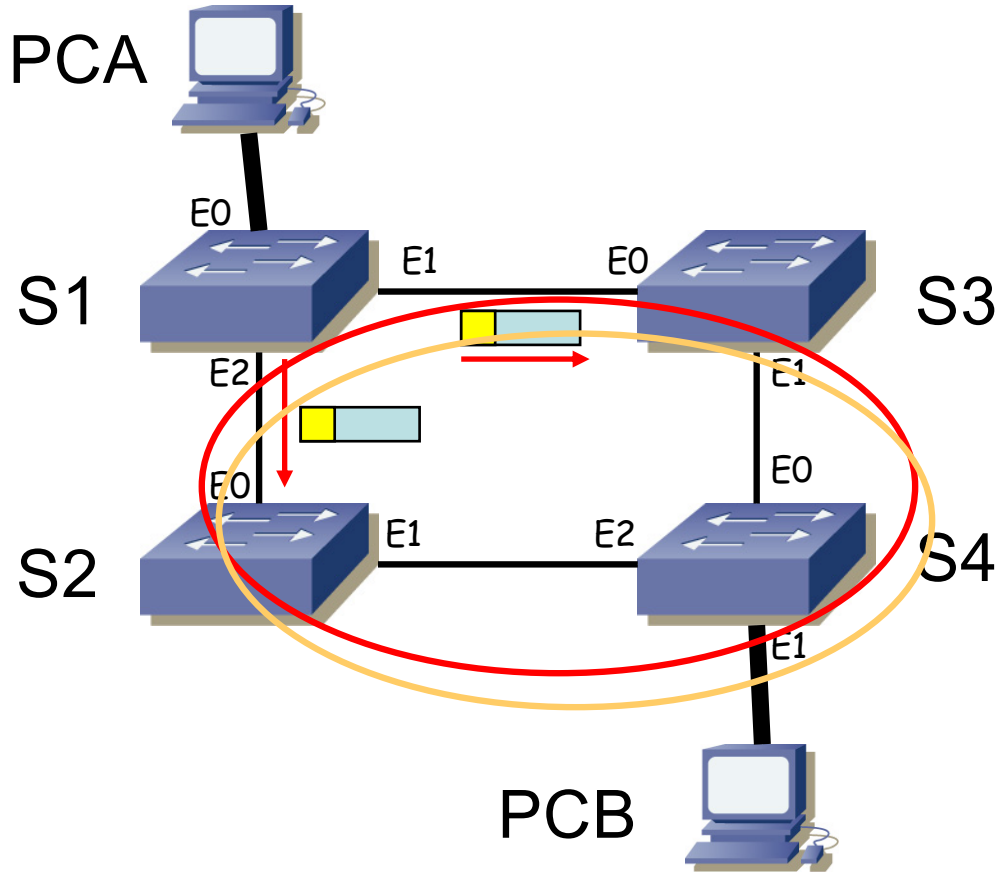
- Ejemplo:
  - Seguimos con los dos paquetes, uno en cada sentido del anillo
  - Esto no tiene fin
  - (...)

S1

If	MAC
E1	PCA

S2

If	MAC
E1	PCA



S3

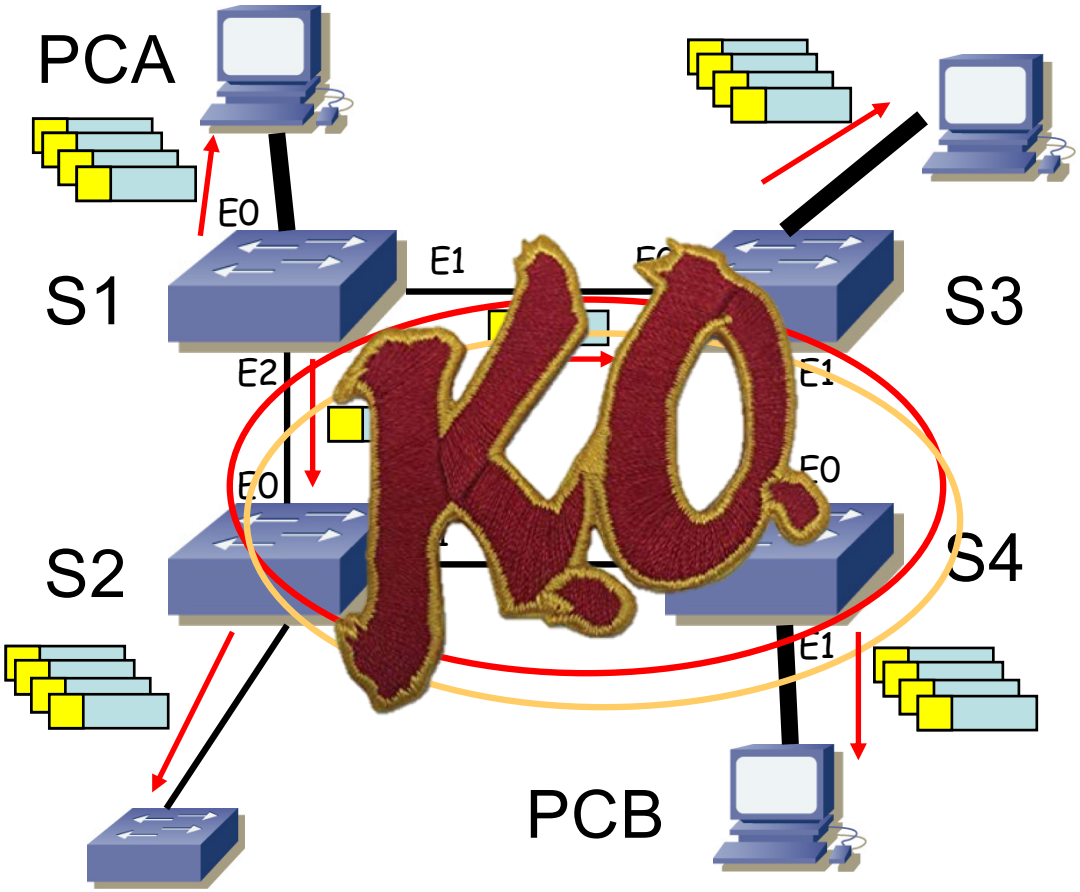
If	MAC
E1	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

Pero...

- Ejemplo:
  - Seguimos con los dos paquetes, uno en cada sentido del anillo
  - Esto no tiene fin
  - Además los paquetes salen por todos los puertos hacia hosts y otros switches



S1

If	MAC
E1	PCA

S2

If	MAC
E1	PCA

S3

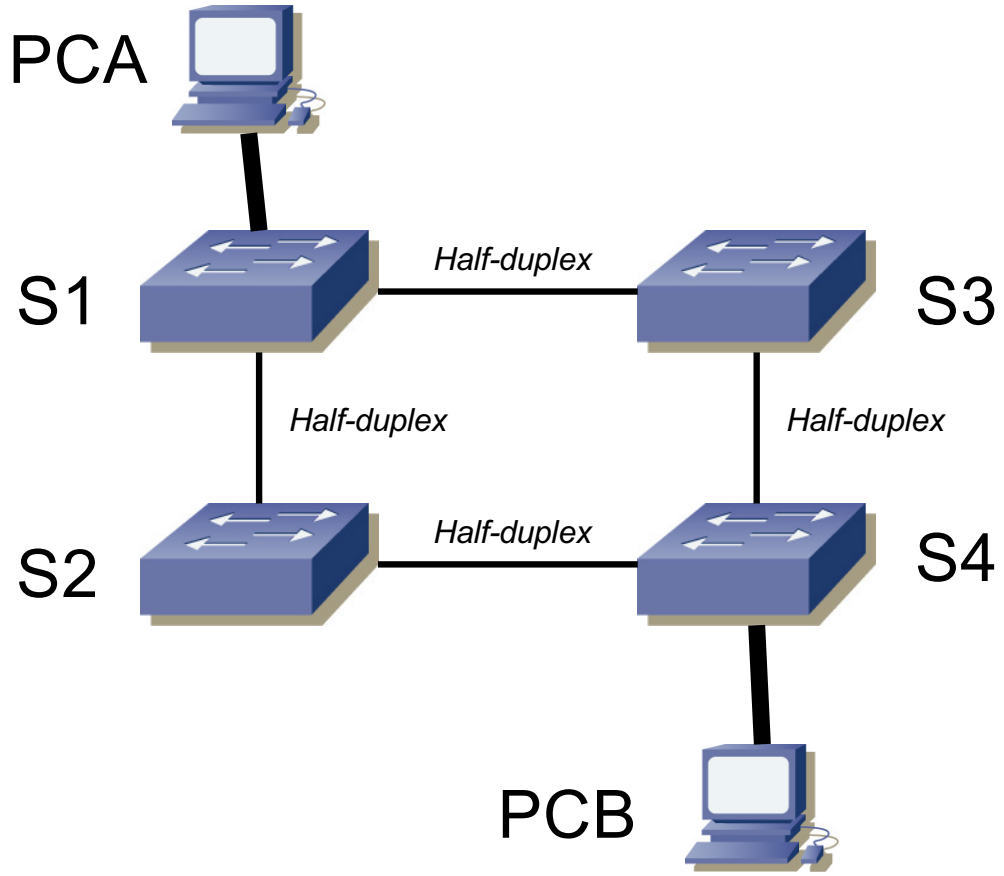
If	MAC
E1	PCA

S4

If	MAC
E2	PCA

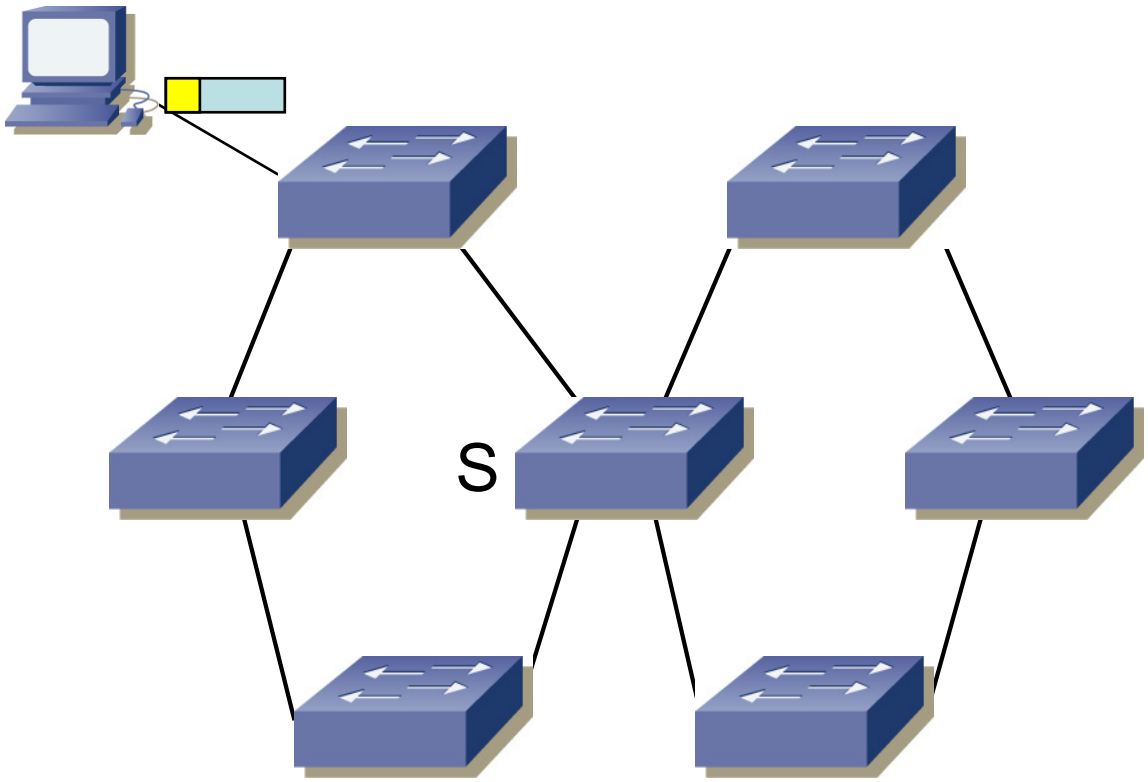
Pregunta

- ¿Qué hubiera sucedido si los enlaces entre switches fueran half-duplex?



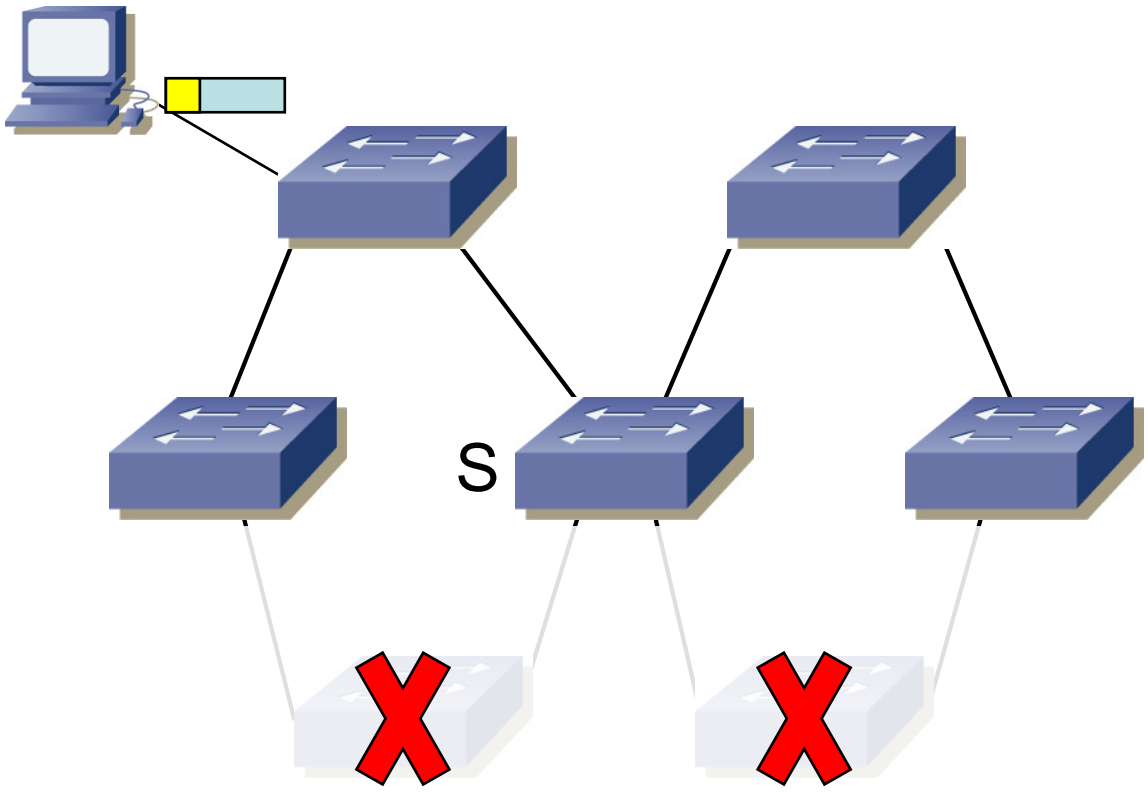
Ejemplo

- En este caso se multiplican al pasar por S
- ¿Habéis oído el término *broadcast storm?*
- Creedme, no la queréis en una red que gestionéis



Soluciones

- ¡ Emplear una topología sin ciclos !



Soluciones

- ¡ Emplear una topología sin ciclos !
- Vale, resuelve el problema pero no conseguimos la protección
- Yo no he dicho que fuera la mejor solución
- ¿ Otras alternativas ? (¿Ideas?)

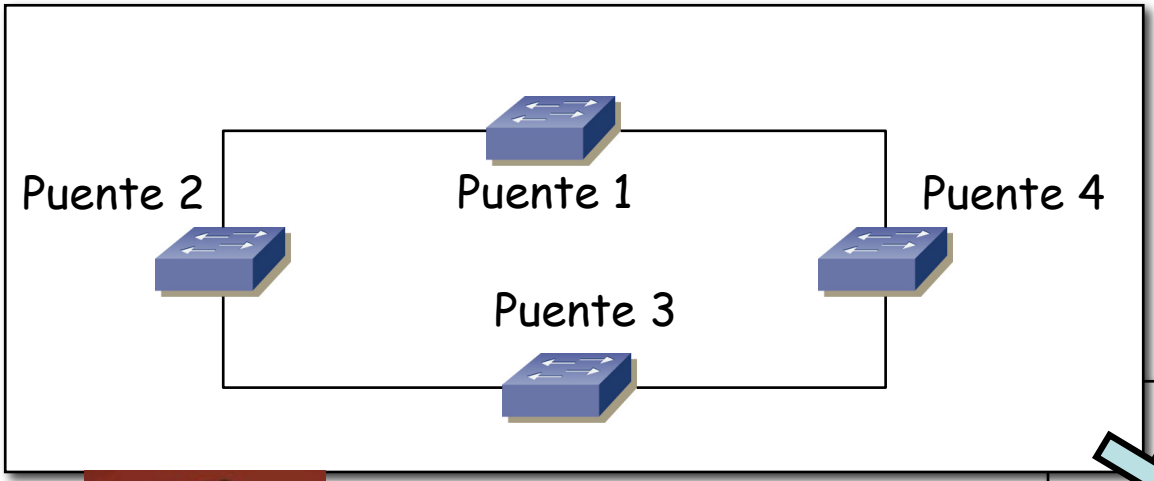
upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Spanning-Tree Protocol

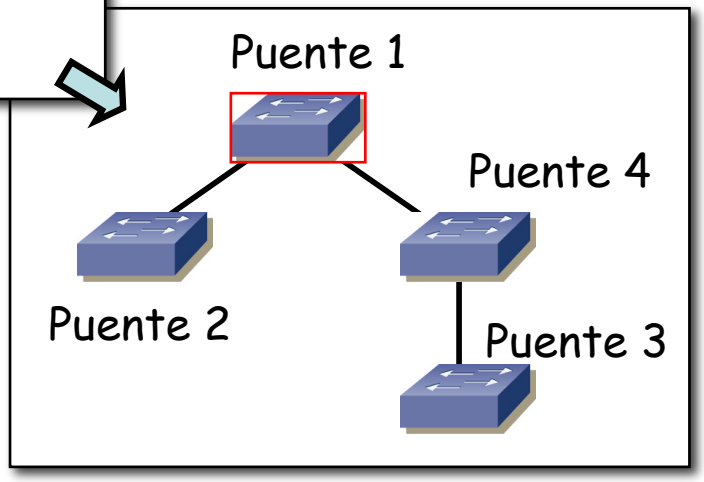
Spanning-Tree Protocol (STP)

- Calcula una topología libre de ciclos
- A partir del grafo de la topología crea un árbol
- ¿Cómo? Seleccionan un puente como “raíz” y desde él calculan un árbol
- Desactivan los enlaces que no están en el árbol



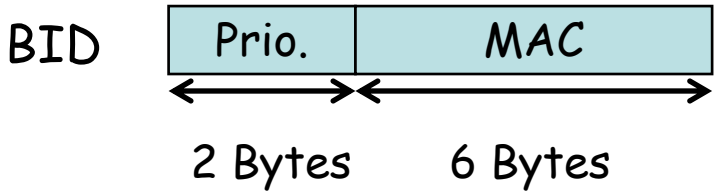
IEEE 802.1D

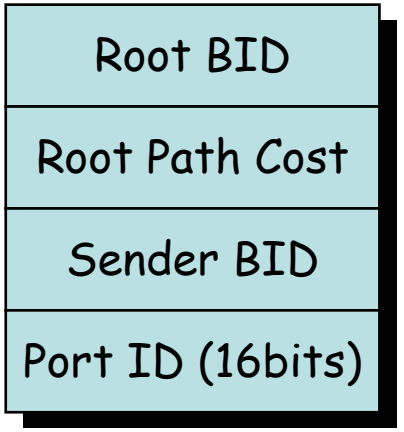
Radia Perlman



STP: BPDUs

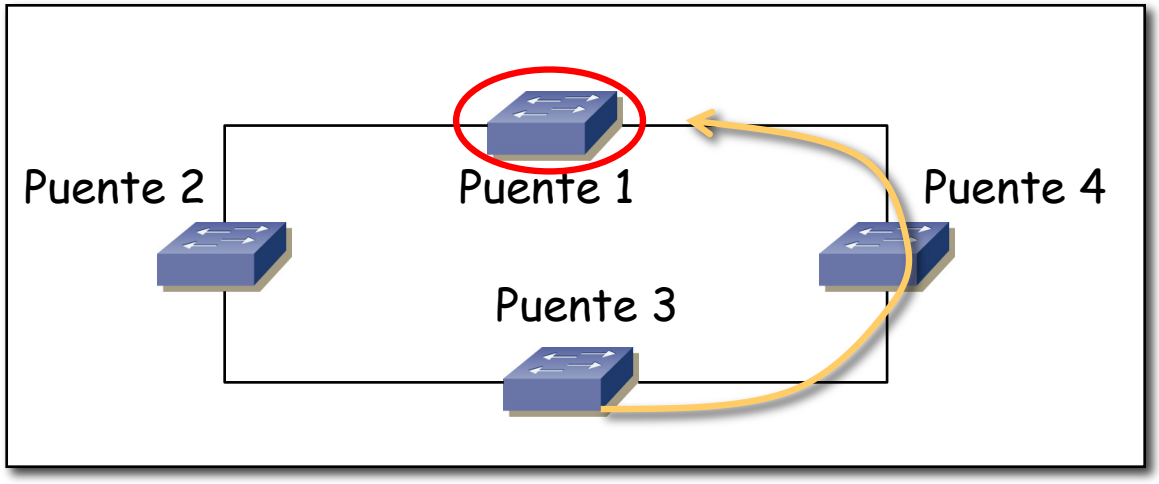
- Bridge Protocol Data Units
- Enviadas periódicamente por los puentes, por todos sus puertos
- Destino 01:80:C2:00:00:00 (Bridge Group Address)
- No son reenviadas
- BID = Bridge ID = { Prioridad, MAC }
- Prioridad (default: 32768) en múltiplos de 4096





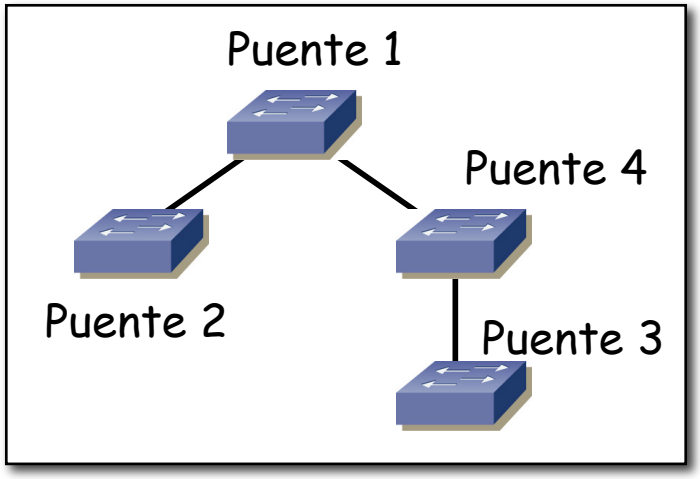
STP: BPDUs

- Se pueden “comparar” entre sí y decidir si una BPDU recibida por un puerto es “mejor” que otra
- “Mejor” en el sentido de “mejor” camino a la raíz
- Para ello cada enlace tendrá un coste y se suman
- El coste de un enlace suele depender de su velocidad



Dos detalles importantes

- Los conmutadores siguen enviando BPDUs tras calcular árbol
  - Un conmutador no tiene forma de saber que se ha alcanzado una topología estable
  - Seguir enviando y aceptando BPDUs permite recalcular el árbol ante fallos
- El plano de datos del conmutador no cambia
  - Es decir, los conmutadores siguen reenviando los paquetes de usuario en función de sus tablas
  - Y siguen aprendiendo igual
  - Simplemente algunos puertos los tienen desactivados
  - Para decidir por dónde va una trama necesitamos saber qué puertos están desactivados pero por lo demás sigue la misma lógica de siempre



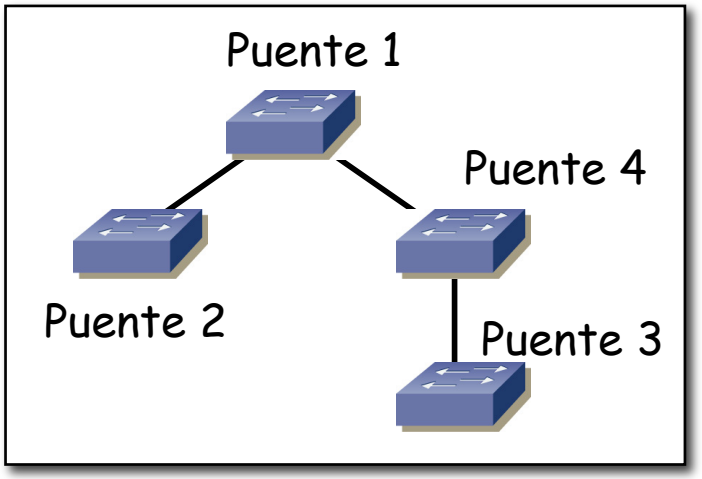
upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

STP/RSTP: Mecanismos

Mecanismos

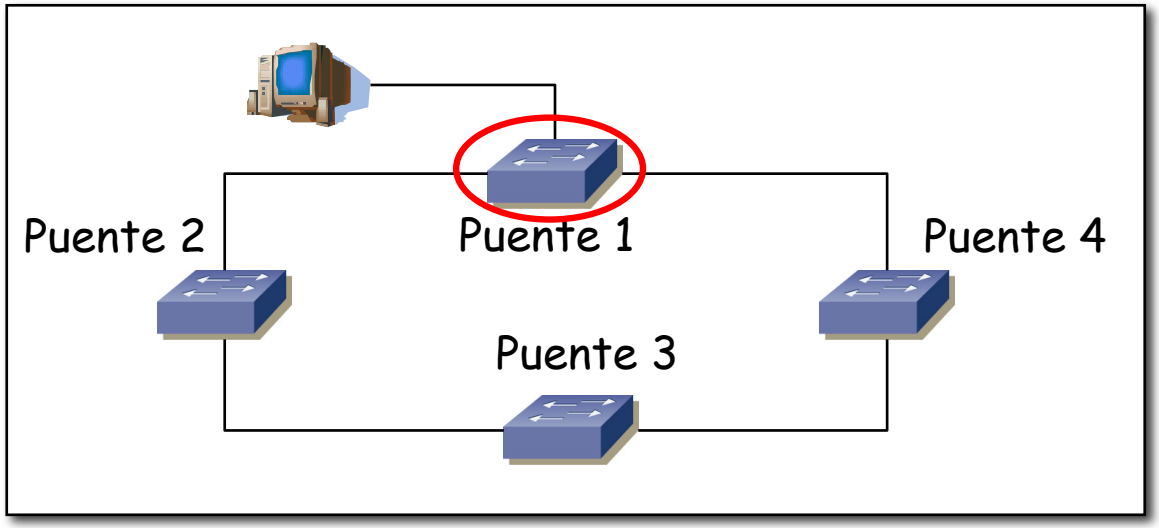
- Vamos a intentar entender cómo se calcula el árbol
- No nos interesa el “transitorio” sino solamente el estado final
- El mecanismo es básicamente *distance-vector* (Bellman-Ford distribuido)

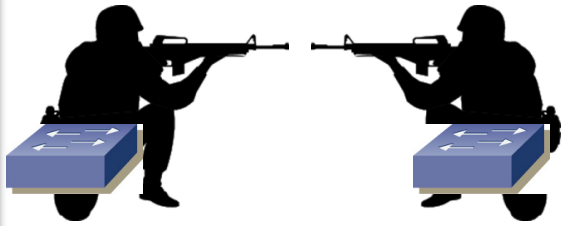


STP: Root Bridge

Selección de un *Root Bridge* (Root War !!!)

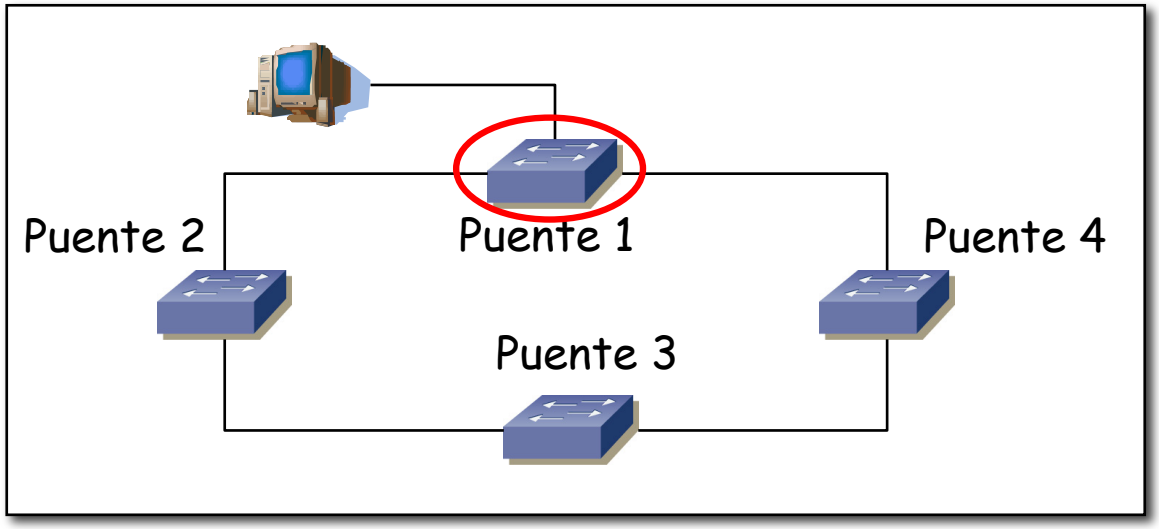
- Raíz para el árbol
- No es un primer paso sino que para cualquier BPDU que se recibe se decide si anuncia mejor root
- A partir de un valor de prioridad y una MAC del puente
  - Vienen en las BPDU
  - Puente de prioridad más baja (def. 0x8000 = 32768)
  - MAC más baja en caso de empate

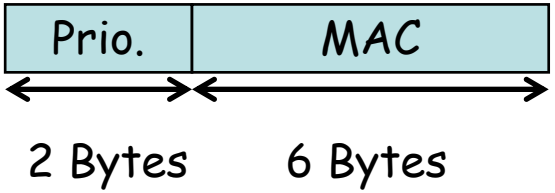




STP: Root Bridge

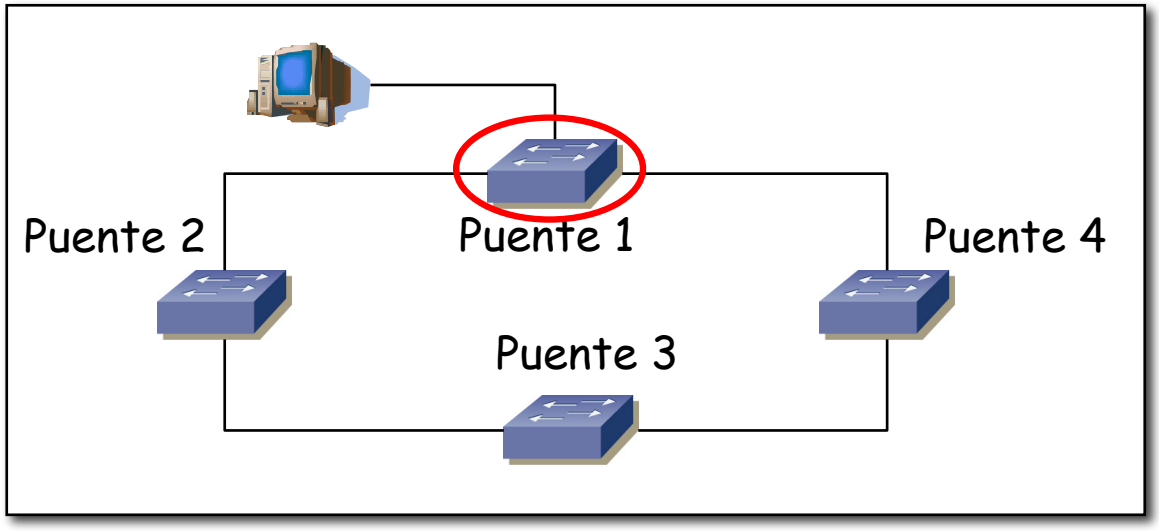
- Por defecto todos los puentes la misma prioridad
- Gana el de dirección MAC más baja
- Primeros 3 bytes de la MAC son el OUI
- (...)

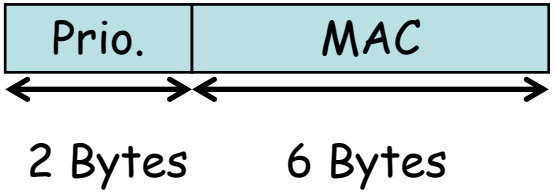




STP: Root Bridge

- Por defecto todos los puentes la misma prioridad
- Gana el de dirección MAC más baja
- Primeros 3 bytes de la MAC son el OUI
- ¡ Luego el ganador depende del fabricante !
- Cuidado pues puede ser el conmutador más lento
- Selección manual con el campo de prioridad





STP: Path Cost

- Asociado a cada LAN; según su velocidad o administrativamente
- Se va agregando en un camino creando el *Root Path Cost*
- En un switch se calcula a partir de los anuncios recibidos en cada puerto, sumando el coste del puerto por el que han llegado
- 802.1D-1998:

Table 8-5—Path Cost Parameter Values

Parameter	Link Speed	Recommended value	Recommended range	Range
Path Cost	4 Mb/s	250	100–1000	1–65 535
Path Cost	10 Mb/s	100	50–600	1–65 535
Path Cost	16 Mb/s	62	40–400	1–65 535
Path Cost	100 Mb/s	19	10–60	1–65 535
Path Cost	1 Gb/s	4	3–10	1–65 535
Path Cost	10 Gb/s	2	1–5	1–65 535

- ¿Y si tuviéramos un enlace de 2x10Gbps? ¿Coste 1?
- ¿Y si tuviéramos un enlace de 4x10Gbps?

STP: Path Cost

- Estos valores recomendados cambian en 802.1t
- 802.1D-2004 (desde 802.1t-2001):
  - Recomendado $2x10^7$/Link_Speed_en_Mbps
  - Podemos acumular al menos 20 saltos del peor coste sin exceder el máximo de un contador de 32bits

Table 17-3—Port Path Cost values

Link Speed	Recommended value	Recommended range	Range
<=100 Kb/s	200 000 000*	20 000 000–200 000 000	1–200 000 000
1 Mb/s	20 000 000[a]	2 000 000–200 000 000	1–200 000 000
10 Mb/s	2 000 000[a]	200 000–20 000 000	1–200 000 000
100 Mb/s	200 000[a]	20 000–2 000 000	1–200 000 000
1 Gb/s	20 000	2 000–200 000	1–200 000 000
10 Gb/s	2 000	200–20 000	1–200 000 000
100 Gb/s	200	20–2 000	1–200 000 000
1 Tb/s	20	2–200	1–200 000 000
10 Tb/s	2	1–20	1–200 000 000

*Bridges conformant to IEEE Std 802.1D, 1998 Edition, i.e., that support only 16-bit values for Path Cost, should use 65 535 as the Path Cost for these link speeds when used in conjunction with Bridges that support 32-bit Path Cost values.

STP: Port States

- STP definía 5 estados posibles para un puerto: *disabled, listening, learning, blocking, forwarding*
- Estos estados mezclaban por un lado si el puerto reenviaba o no tramas y por otro el papel que jugaba el puerto en el árbol
- RSTP separa *port states* de *port roles*
  - Los *estados* definen si se reenvían las tramas y si se aprenden direcciones MAC
  - Los *roles* definen el papel que juega el puerto en el árbol

RSTP

Rapid Spanning-Tree Protocol

- STP obsoleto y retirado del estándar
- RSTP es IEEE 802.1w
- RSTP es el STP que aparece en 802.1D-2004
- Tiempos de convergencia de 2-3 segs (aunque según la topología puede llegar a 30s y cuentas a infinito)
- Tres **estados** posibles para un puerto:
  - *Discarding*: ni envía ni acepta paquetes de usuario
  - *Learning*: no envía ni acepta paquetes de usuario pero aprende MACs
  - *Forwarding*: funcionamiento normal
- No vamos a detallar el diagrama de estados con sus transiciones ni cómo se adapta a cambios
- Sí vamos a detallar el significado de los *roles* pues ayudan a entender cómo se calcula el árbol

upna

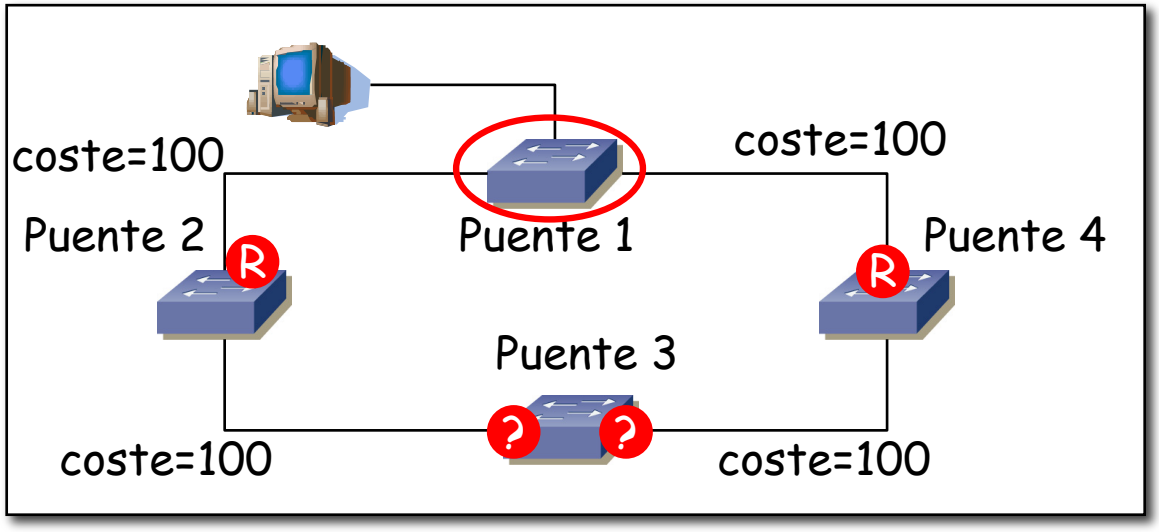
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

RSTP: Port Roles

RSTP: Port Roles

Root Port

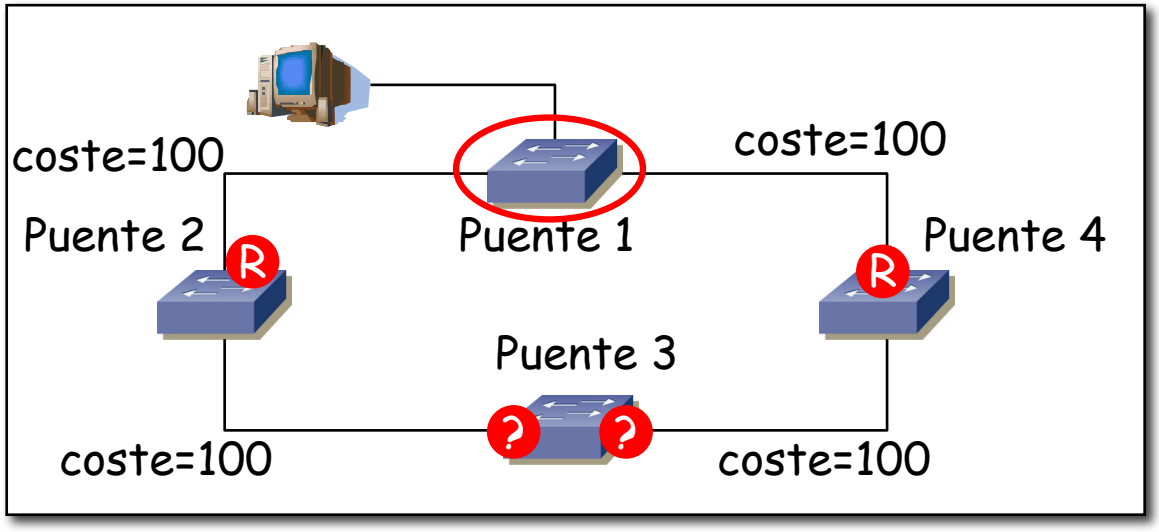
- Uno en cada puente salvo en el puente raíz
- El puente raíz es el único sin un puerto raíz
- Es el puerto de un conmutador que tiene el menor *Root Path Cost+Port Cost* (menor coste hasta la raíz)
- En este ejemplo supongamos que todos los puertos tienen el mismo coste
- Está claro cuál es *root port* en los puentes 2 y 4 pero ¿y en 3?



RSTP: Port Roles

¿Empates?

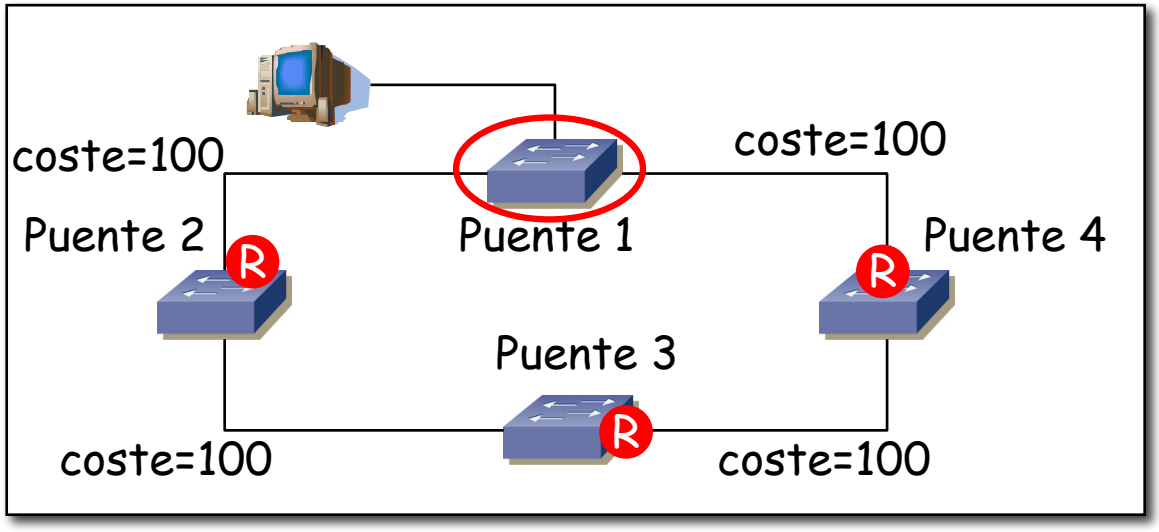
- En el puente 3 los costes que recibe de puente 2 y de puente 4 hasta la raíz son el mismo = 100
- A cada uno le suma el coste del puerto por el que lo ha recibido y empatan (le sale 200 en ambos)
- Entonces se comparan los BID de los puentes que hacen el anuncio
- El anuncio que venga del BID menor gana (…)



RSTP: Port Roles

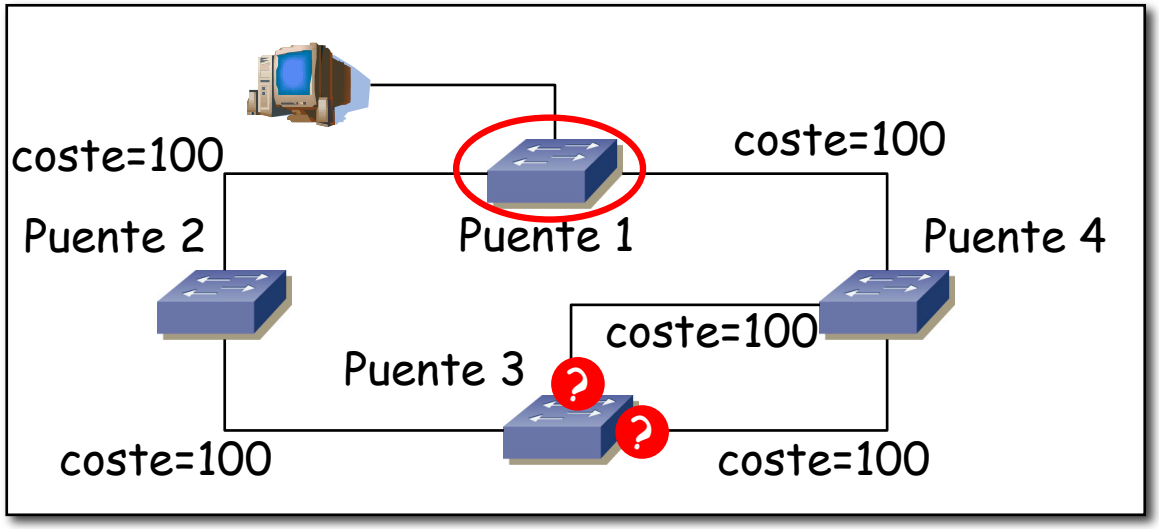
Desempate

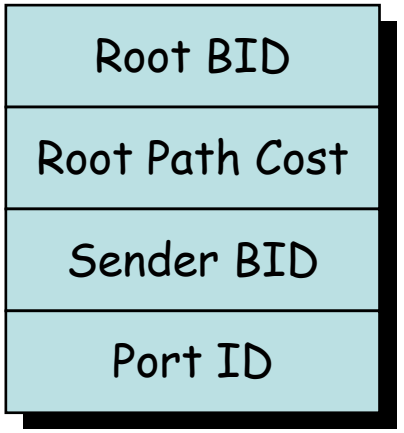
- Suponiendo que BID del puente 4 < BID del puente 2 sería puerto raíz de puente 3 el que va al puente 4



RSTP: Port Roles

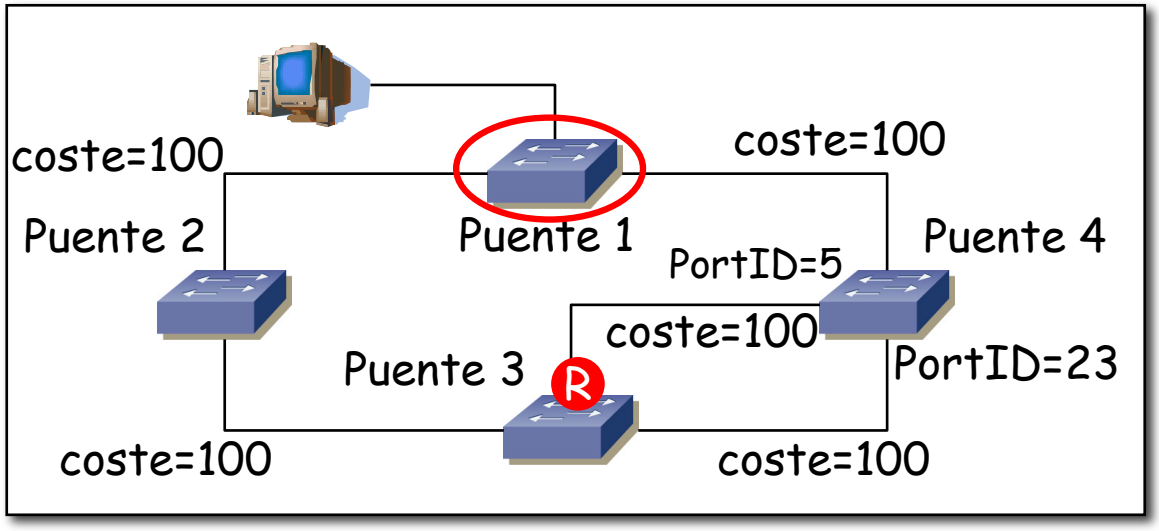
- Hemos dicho que cuando hay que elegir un camino a la raíz se toma el menor coste agregado
- Si hay empate el menor BID
- ¿Hay más posibilidades de empate?
- En este caso empatarían los puertos a puente 4 (suponiendo que el BID del puente 4 es menor que el del puente 2)
- ¿Desempate? (...)

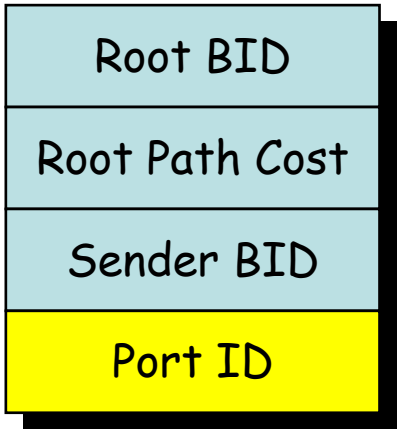




RSTP: Port Roles

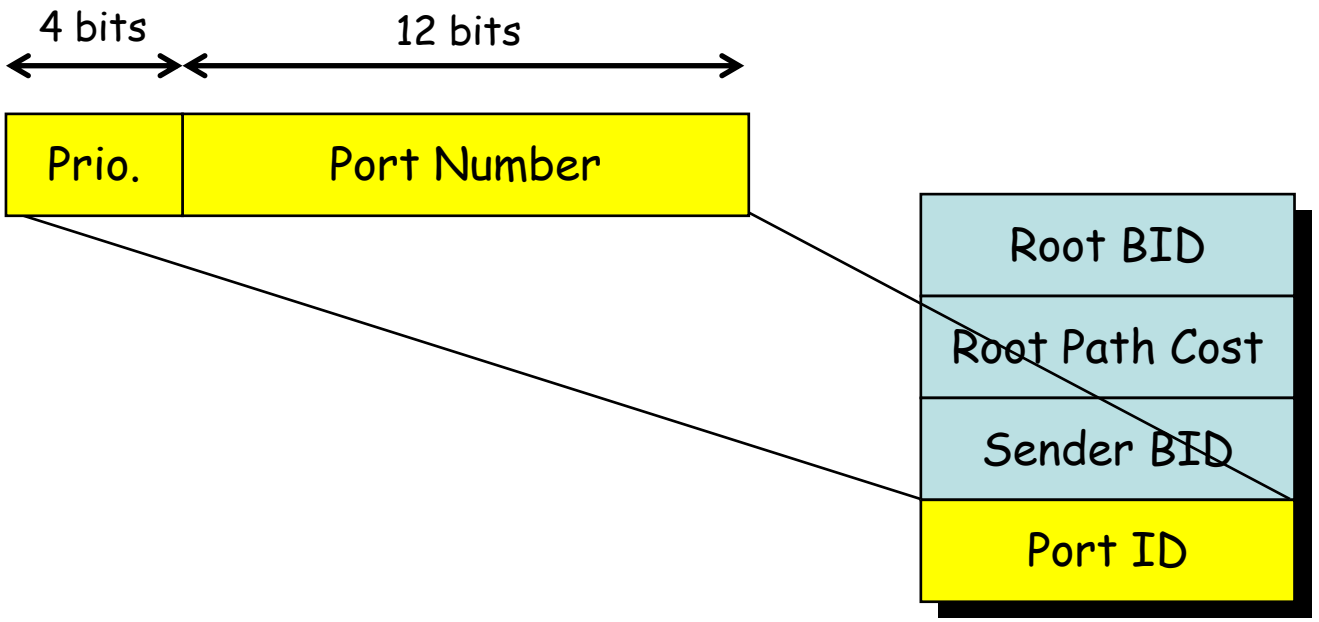
- Hemos dicho que cuando hay que elegir un camino a la raíz se toma el menor coste agregado
- Si hay empate el menor BID
- ¿Hay más posibilidades de empate?
- En este caso empatarían los puertos a puente 4 (suponiendo que el BID del puente 4 es menor que el del puente 2)
- ¿Desempate? Menor identificador de puerto





Port ID

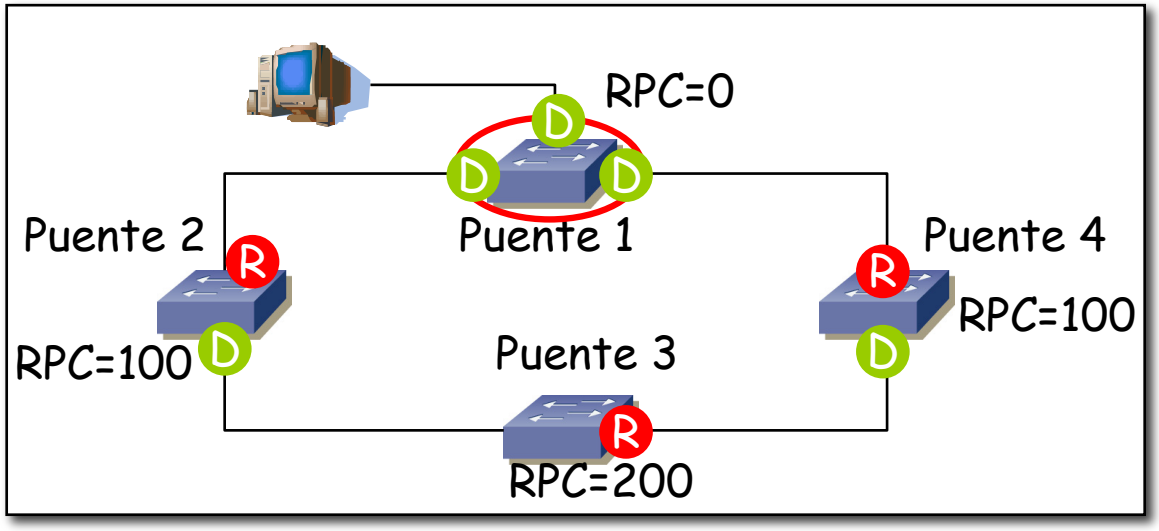
- Es un valor de 16bits
- Tiene una componente de prioridad y un número de puerto
- Es decir, el valor de prioridad, si lo entendemos como el primer byte ignorando los últimos 4 bits, va en múltiplos de 16



RSTP: Port Roles

Designated Port

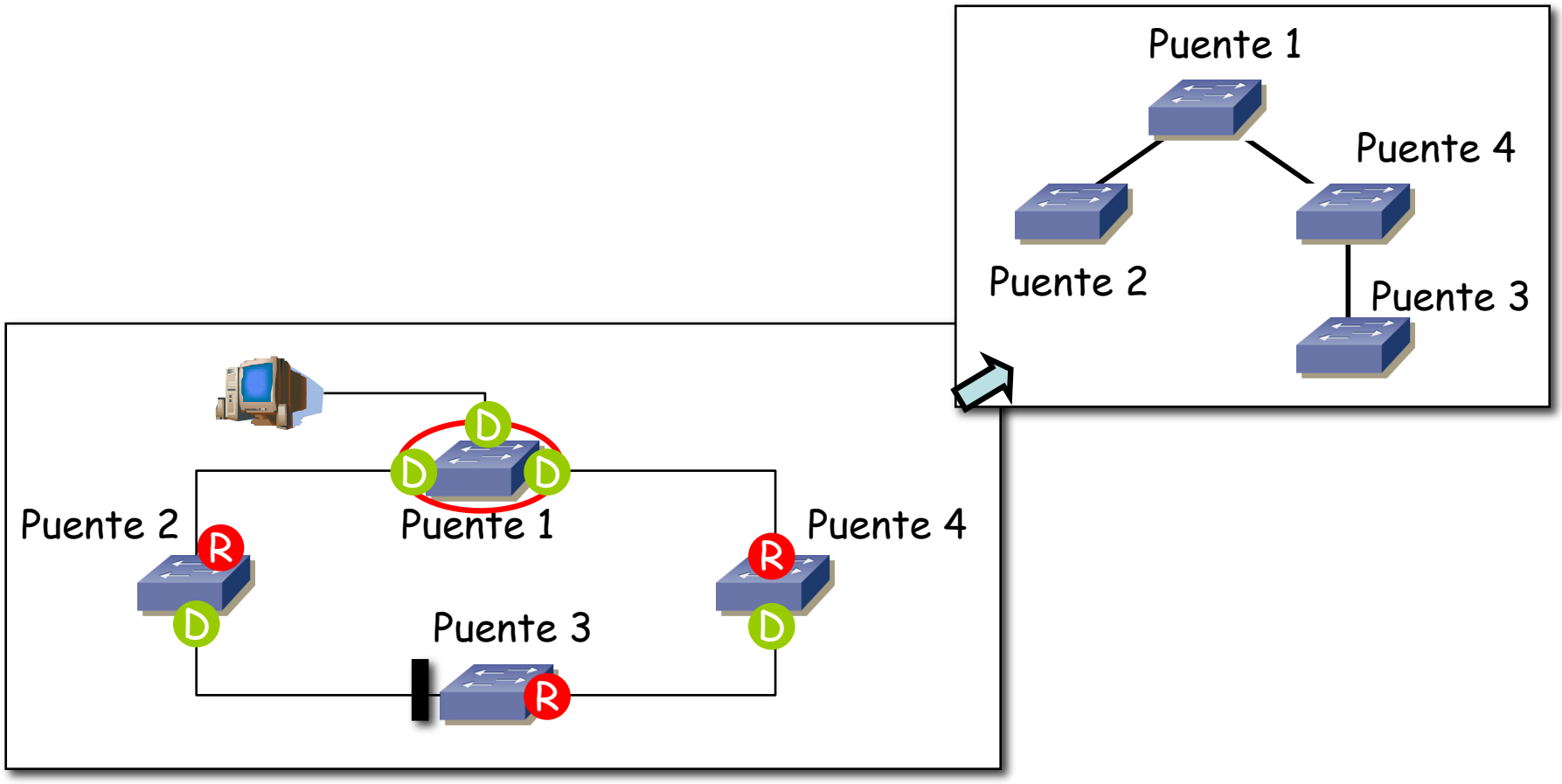
- En un segmento de LAN puede haber varios puertos de conmutador
- El puerto de conmutador en un segmento de LAN con menor *Root Path Cost+Port Cost* es el puerto designado para la LAN
- Uno por segmento de LAN
- Si hay empate por costes se desempata por el BID



RSTP: Port Roles

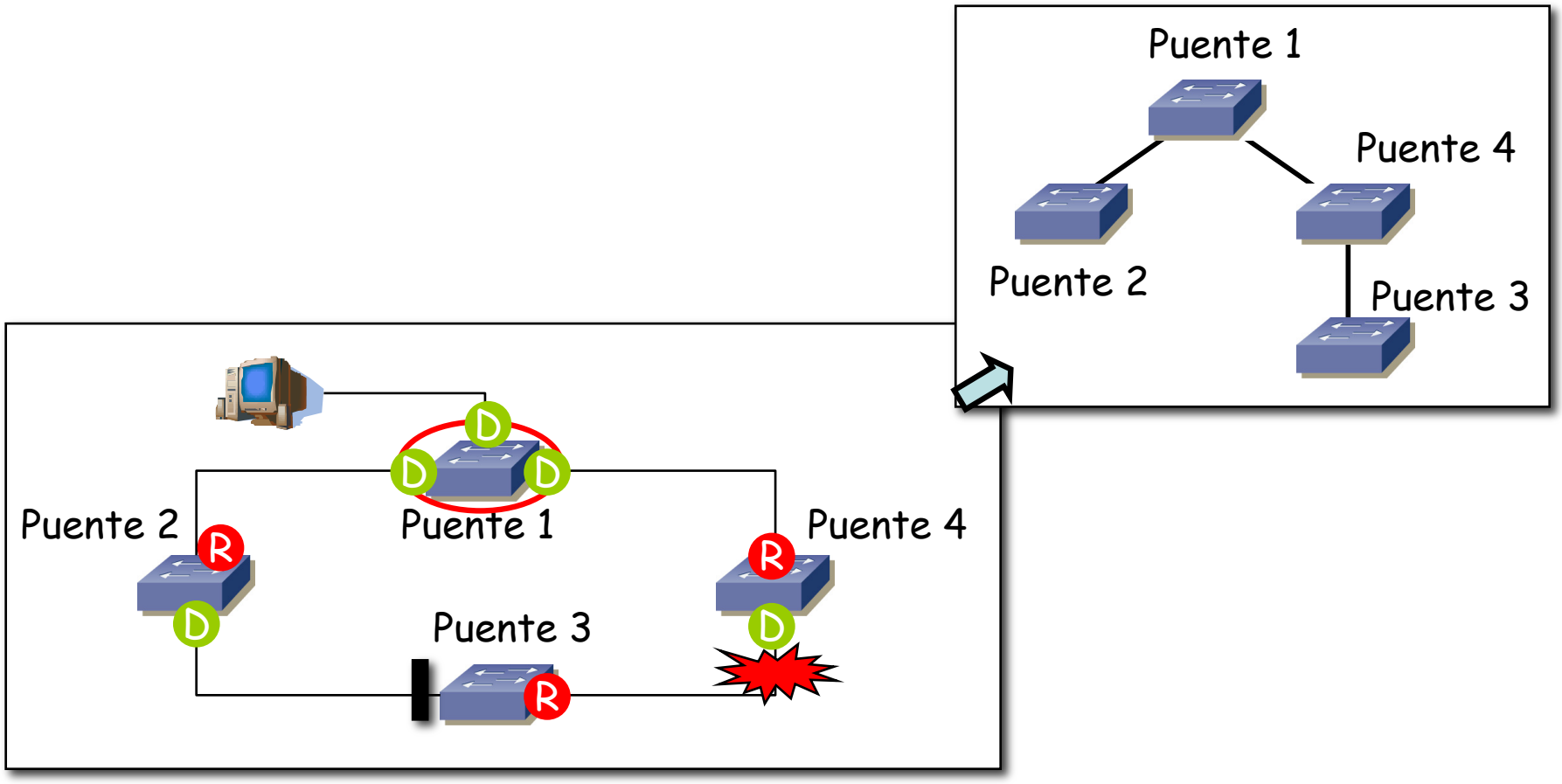
Blocked Port

- No aprenden MACs ni reenvían tramas
- Aceptan BPDUs
- Todos aquellos que ni son *Root* ni *Designated*



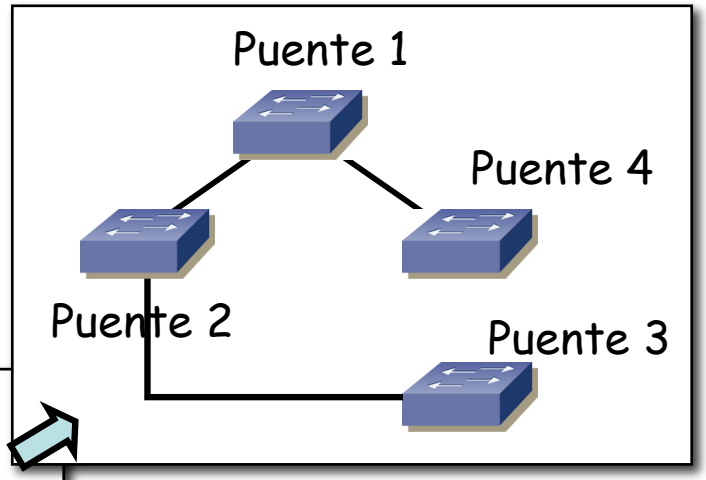
RSTP: cambios en la topología

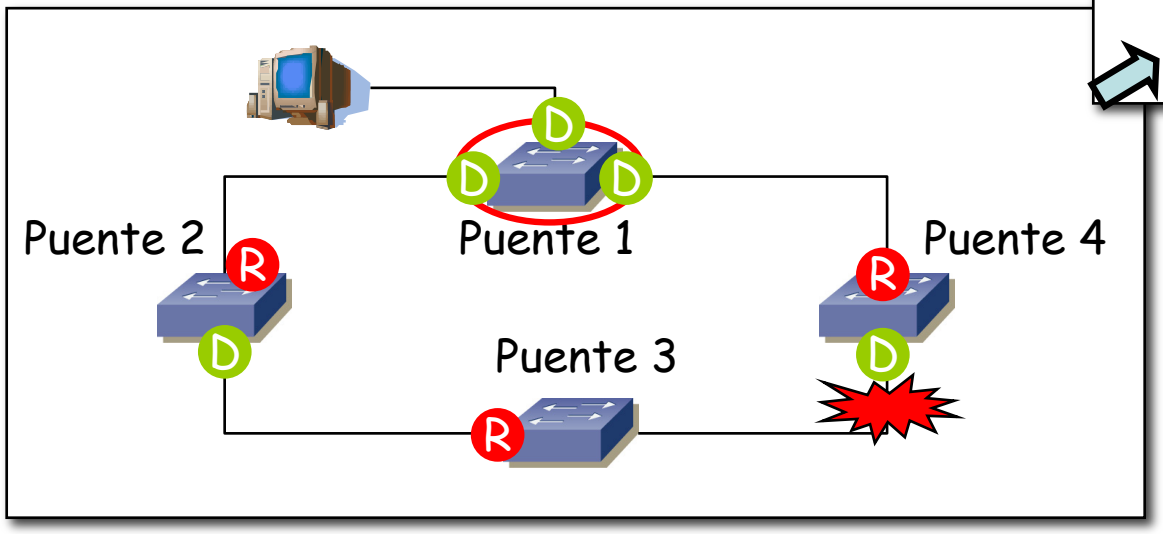
- Ante un fallo se recalcula el árbol (…)



RSTP: cambios en la topología

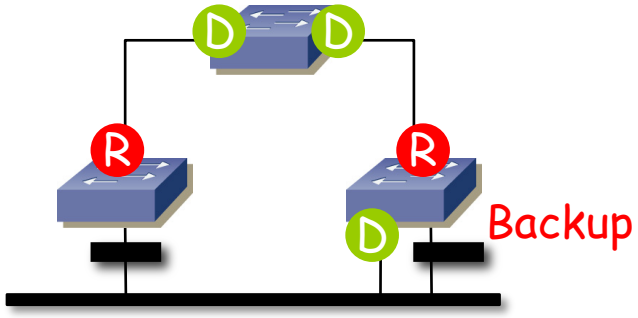
- Ante un fallo se recalcula el árbol (…)
- ¿Cómo?
  - Se dejan de recibir BPDUs donde se produce el fallo
  - Otro camino pasa a ser mejor
  - Se mandan nueva BPDUs
- Tiempo de convergencia:
  - STP 30-60 segs
  - RSTP 2-3 segs





RSTP: *Port Roles*

- *Disabled:* puerto retirado mediante gestión
- *Alternate* y *Backup*:
  - Corresponden a lo que antes eran *blocked port*
  - *Backup* es todo puerto que no es ni *Root* ni *Designated* y el puente es *Designated* para esa LAN
  - *Backup port* da un camino alternativo pero siguiendo el mismo camino que el *Root port*
  - *Backup port* solo existe donde haya 2+ enlaces de un puente a una LAN
  - *Backup* está bloqueado porque se han recibido BPDUs mejores **del mismo switch** en el mismo segmento
  - (...)



RSTP: *Port Roles*

- *Disabled:* puerto retirado mediante gestión
- *Alternate* y *Backup*:
  - Corresponden a lo que antes eran *blocked port*
  - Un *Alternate port* da un camino alternativo hacia el root frente al puerto que se tiene como *Root*
  - *Alternate* está bloqueado porque se han recibido BPDUs mejores (menor coste) de otro switch en el mismo segmento