



3º Grado en Ingeniería Informática

# Transmisión de Datos y Redes de Computadores

## TEMA 3. ARQUITECTURAS Y SERVICIOS DE REDES CORPORATIVAS (2020-2021)



# TEMA 3. Índice

© 3.1. Conmutación LAN. (2h)

© 3.2. Spanning-Tree Protocol. (1h)

© 3.3. Virtual LAN. (1h)

APLICACIÓN

PRESENTACIÓN

SESIÓN

TRANSPORTE

RED

**ENLACE**

FÍSICO





# TDRC

## Tema 3.2.

# Spanning-Tree Protocol

Antonio M. Mora García



# Problema: Tormenta de broadcast

PREGUNTA: Viendo las cabeceras IP y Ethernet, ¿qué mecanismos ofrecen para evitar bucles en una red formada por Routers (Capa 3) y por Switches (Capa 2) respectivamente?



**Cabecera IPv4**

|                         |                 |                  |                             |                       |  |
|-------------------------|-----------------|------------------|-----------------------------|-----------------------|--|
| 0                       |                 | 16               |                             | 3                     |  |
| Versión                 | Tamaño Cabecera | Tipo de Servicio | Longitud Total              |                       |  |
| Identificador           |                 |                  | Flags                       | Posición de Fragmento |  |
| Tiempo de Vida          |                 | Protocolo        | Suma de Control de Cabecera |                       |  |
| Dirección IP de Origen  |                 |                  |                             |                       |  |
| Dirección IP de Destino |                 |                  |                             |                       |  |
| Opciones                |                 |                  |                             | Relleno               |  |

**Cabecera Ethernet**

|           |                   |                  |      |                 |         |
|-----------|-------------------|------------------|------|-----------------|---------|
| 8 bytes   | 6 bytes           | 6 bytes          | 2 b  | 46 - 1500 bytes | 4 bytes |
| Preámbulo | Dirección Destino | Dirección Origen | Tipo | DATOS           | CRC     |

# Problema: Tormenta de broadcast

PREGUNTA: Viendo las cabeceras IP y Ethernet, ¿qué mecanismos ofrecen para evitar bucles en una red formada por Routers (Capa 3) y por Switches (Capa 2) respectivamente?



**Cabecera IPv4**

0163

|                         |                 |                  |                             |                       |
|-------------------------|-----------------|------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Versión                 | Tamaño Cabecera | Tipo de Servicio | Longitud Total              |                       |
| Identificador           |                 |                  | Flags                       | Posición de Fragmento |
| Tiempo de Vida          |                 | Protocolo        | Suma de Control de Cabecera |                       |
| Dirección IP de Origen  |                 |                  |                             |                       |
| Dirección IP de Destino |                 |                  |                             |                       |
| Opciones                |                 |                  | Relleno                     |                       |

**Tiempo de vida (TTL):**

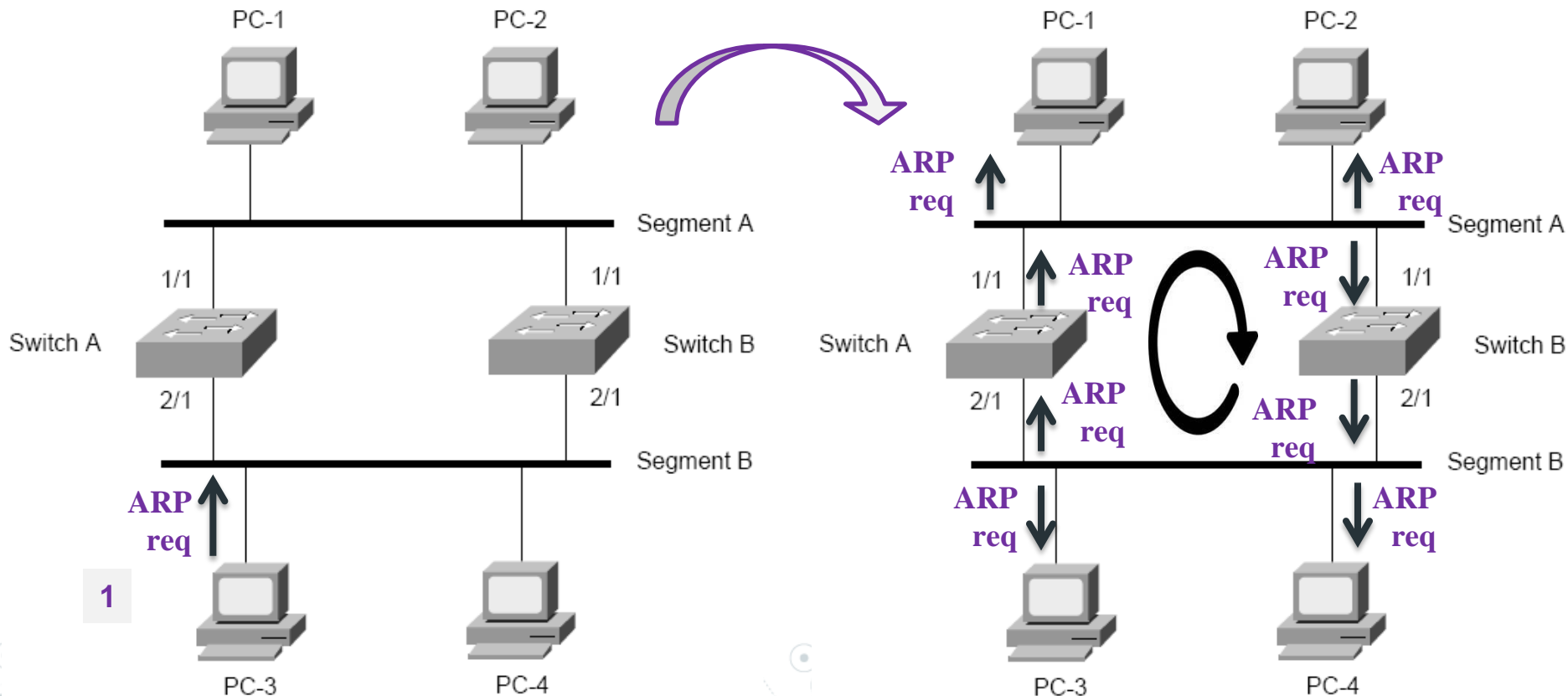
Tiempo que puede estar el paquete en una red.

**Cabecera Ethernet**

|           |                   |                  |      |                 |         |
|-----------|-------------------|------------------|------|-----------------|---------|
| 8 bytes   | 6 bytes           | 6 bytes          | 2 b  | 46 - 1500 bytes | 4 bytes |
| Preámbulo | Dirección Destino | Dirección Origen | Tipo | DATOS           | CRC     |

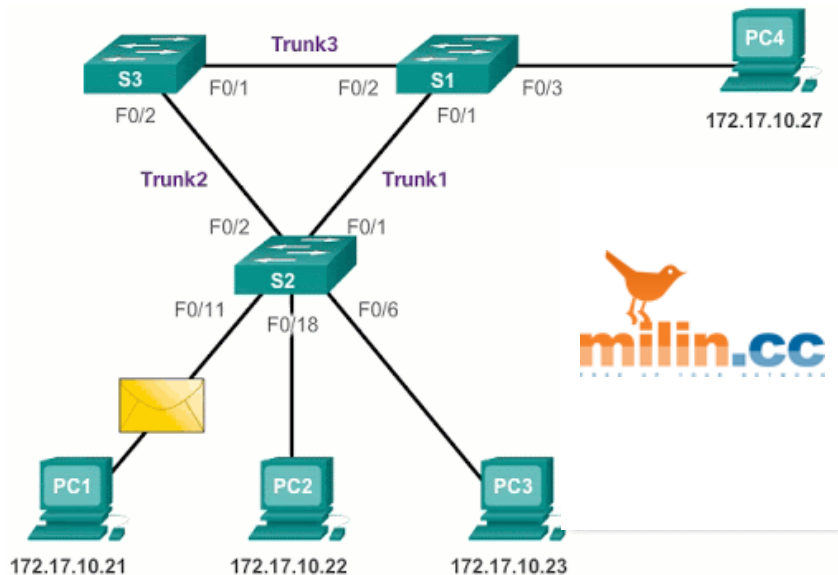
!!!NO HAY!!!

# Problema: Tormenta de broadcast



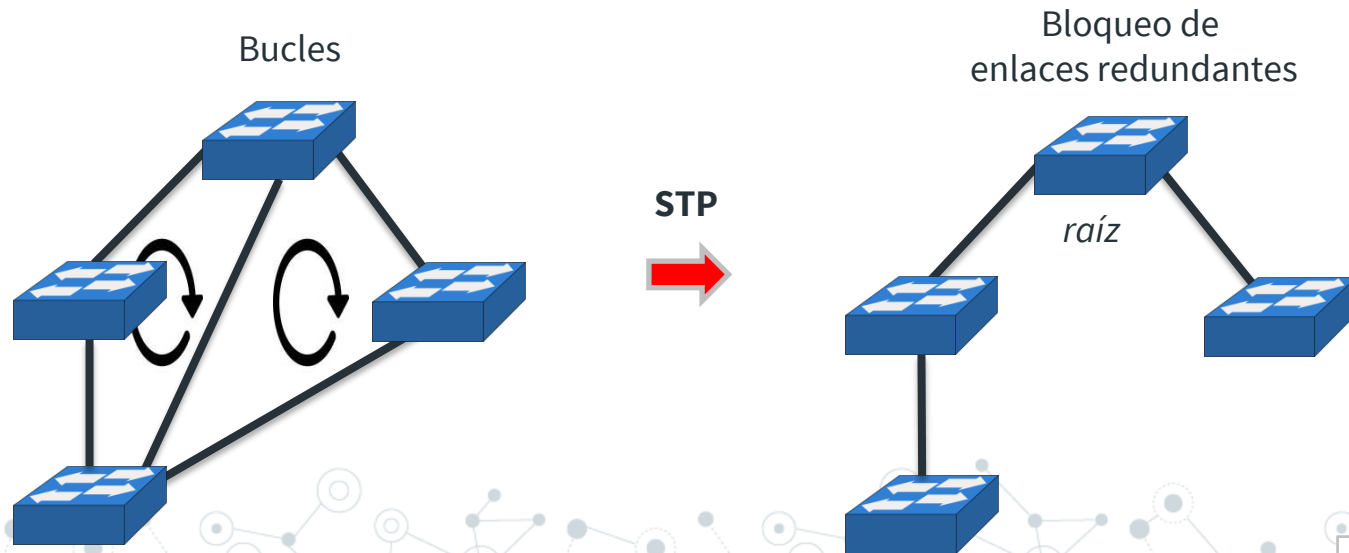
# Problema: Tormenta de broadcast

- *Broadcast storm.*
- Se producen **bucles a nivel de la Capa 2.**
- Se dan **en redes formadas íntegramente por switches Ethernet.**
- Por existencia de **enlaces redundantes.**
- Todo **se inicia** con un **único mensaje** de broadcast.
- Se pueden acumular más mensajes de broadcast (de otros hosts).
- Puede llegar a **bloquear la red por exceso de tráfico** al agotarse sus recursos (ancho de banda).



# Spanning Tree Protocol (STP) - Resumen

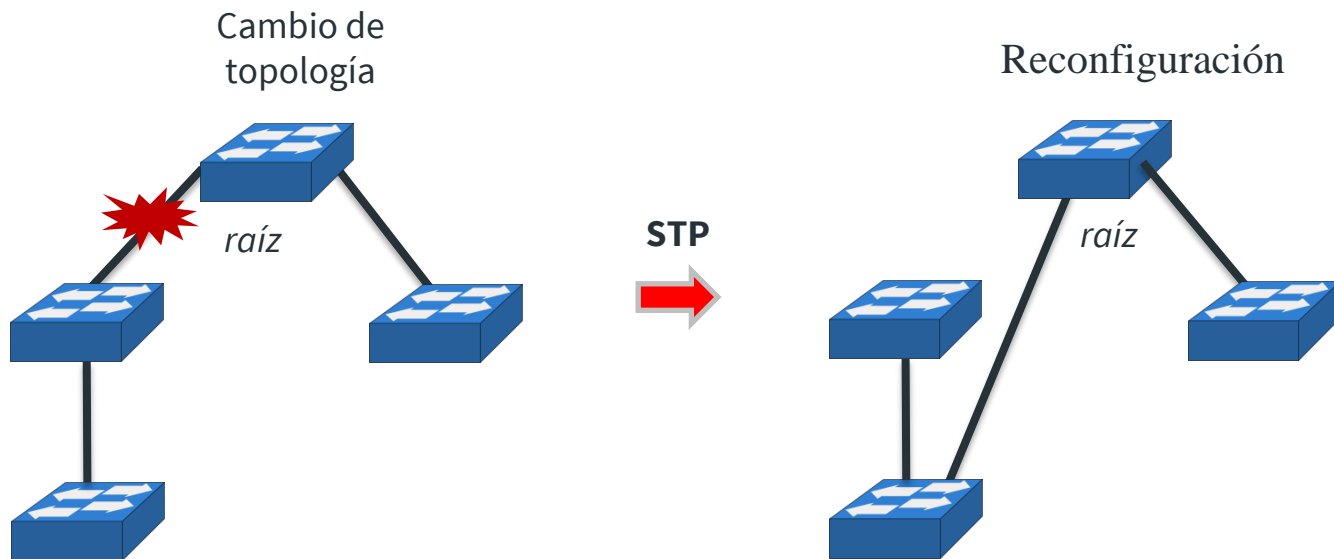
- Protocolo de **Capa 2**. Especificado en IEEE 802.1d.
- **Busca eliminar bucles en Capa 2** para evitar la tormenta.
- A partir de un **switch raíz**, STP se encarga de **construir un árbol lógico (árbol de expansión) que interconecta a todos los switches de la red sin redundancias** de caminos.





# Spanning Tree Protocol (STP) - Resumen

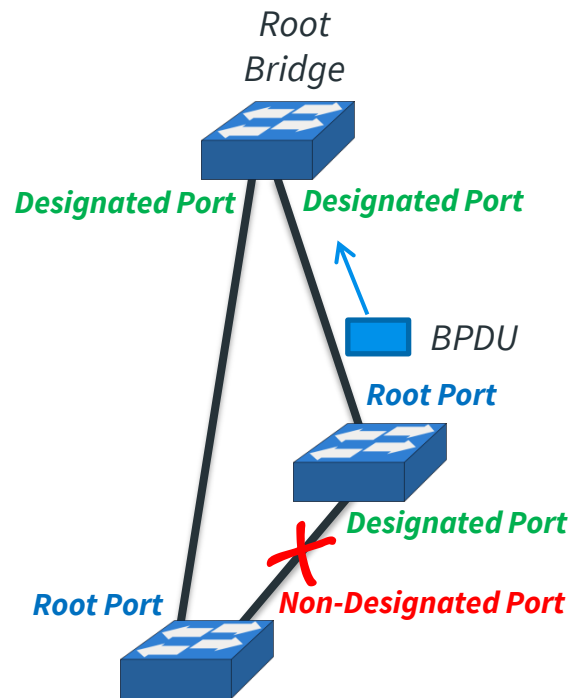
- En el caso de que haya un **cambio de topología**, **STP** también se encarga de **levantar enlaces bloqueados**.



# Spanning Tree Protocol (STP)

## CONCEPTOS Y TERMINOLOGÍA

- **Root Bridge (RB):** Es el bridge (switch) raíz a partir del cual se crea el árbol STP.
- **Bridge Packet Data Unit (BPDU):** Es el mensaje que se intercambian los bridges (switches) para construir el árbol.
- **Ports:** Son las interfaces que participan del protocolo STP.
- **Root Port (RP):** Es el puerto de un switch más “cercano” al RB. Siempre está en modo Forwarding ya que es parte del árbol creado por STP.
- **Designated Port (DP):** Es el puerto dentro de un enlace que está más ‘cerca’ del RB (según un coste administrativo). Puede transmitir BPDU en ese segmento.
- **Non-Designated Port (NDP):** Puerto bloqueado.



# Spanning Tree Protocol (STP)

## ROOT BRIDGE (RB)

- Es el **origen del árbol STP** y desde el que **parten todos los mensajes** (BPDUs).
- En STP los **switches** se **identifican** mediante **8 bytes**:
  - **BID** → Prioridad.MAC
  - **Prioridad** → Número por defecto 32768.  
El administrador de red puede asignar la que quiera a cada switch (múltiplo de 4096).  
*Ejemplo BID: 32768.aaaa.bbbb.cccc*
  - El switch con el identificador (BID) más bajo se convertirá en RB.
- Todos los **puertos del RB** están siempre en **Forwarding** (activos).

# Spanning Tree Protocol (STP)

## ELECCIÓN DEL ROOT BRIDGE

- Al arrancar un switch en STP todos los puertos están bloqueados (para envío de datos de usuario, pero habilitados para enviar BPDUs).
- Los switches se mandan *BPDUs Hello* a la dirección multicast 01-80-c2-00-00-00 cada 2 segs.
- Cada switch asume que él es el RB, por lo que comienza a generar y enviar BPDUs incluyendo su BID.
- Aquellos switches que detectan BPDUs generadas por otros switches con identificación mas baja, dejan de generar sus propias BPDUs y comienzan a retransmitirla.

\*\* Un BID será más bajo si tiene menor prioridad o la misma prioridad pero una MAC menor \*\*

- Al final SOLO PUEDE QUEDAR UNO, que se convertirá en el RB.

# Spanning Tree Protocol (STP)

## ELECCIÓN DEL ROOT BRIDGE

*BPDU*

| Field Description                                 | Number of Bytes |
|---|-----------------|
| Protocol ID (always 0)                            | 2               |
| Version (always 0)                                | 1               |
| Message Type (Configuration or TCN BPDU)          | 1               |
| Flags   | 1               |
| Root Bridge ID                                    | 8               |
| Root Path Cost                                    | 4               |
| Sender Bridge ID                                  | 8               |
| Port ID   | 2               |
| Message Age (in 256 <sup>ths</sup> of a second)   | 2               |
| Maximum Age (in 256 <sup>ths</sup> of a second)   | 2               |
| Hello Time (in 256 <sup>ths</sup> of a second)    | 2               |
| Forward Delay (in 256 <sup>ths</sup> of a second) | 2               |

**ELECCIÓN DEL RB**

# Spanning Tree Protocol (STP)

## PUERTOS: ESTADOS

- **Disabled:** Corresponde a *shutdown* (puerto inactivo).
- **Blocking:** Primer paso después de inicializar los puertos. Recibe BPDU para procesamiento de STP, pero no las reenvía. Tampoco reenvía tramas de usuario. Se decide si es RP, DP o NDP.
- **Listening:** Desde Blocking se pasa a este estado si el switch detecta que ese puerto es candidato a convertirse en RP o DP. Recibe y reenvía BPDUs pero no reenvía tramas de usuarios. Este estado dura el tiempo de *Forward Delay*.
- **Learning:** Similar al estado de Listening sólo que además aprende entradas de la Tabla de Conmutación por conmutación transparente. Este estado dura el tiempo de *Forward Delay*.
- **Forwarding:** Recibe y reenvía BPDUs y tramas de usuarios. Éste es el estado activo normal.



# Spanning Tree Protocol (STP)

## PUERTOS: ROOT PORT (RP)

- En cada **switch**, es el **puerto más “cercano” al Root Bridge**.
- **Puerto más cercano**: aquel por el cual se reciba la BDPDU generada por el RB con el **Root Path Cost** (RPC) **más bajo**.
- **RPC**: la suma de costes hasta llegar al RB. El RB genera BPDUs con el campo RPC a valor 0. El switch que recibe la BDPDU, actualiza el valor de RPC sumando el correspondiente al enlace por donde la recibió (ver la tabla).
- Es el **puerto** por el que cada **switch** se **une** al **árbol de expansión** (*spanning tree*).
- El **RP** de un switch **siempre** está en estado **Forwarding** (activo).

| Link Bandwidth | STP Cost |
|----------------|----------|
| 4 Mbps         | 250      |
| 10 Mbps        | 100      |
| 16 Mbps        | 62       |
| 45 Mbps        | 39       |
| 100 Mbps       | 19       |
| 155 Mbps       | 14       |
| 622 Mbps       | 6        |
| 1 Gbps         | 4        |
| 10 Gbps        | 2        |

# Spanning Tree Protocol (STP)

## PUERTOS: DESIGNATED PORT (DP)

- El **DP** es el **puerto** que **transmite BPDUs** con **mayor calidad** en un **segmento** de red (enlace).
- Existe **un único DP** por **cada segmento** de red. Es el **puerto** por el que cada **segmento se une al árbol de expansión**.
- Las **reglas** para decidir en cada segmento de red cuál es la **BPDU de mayor calidad** son:
  - 1) Más bajo Root Bridge Id
  - 2) Más bajo Root Path Cost
  - 3) Más bajo Sender Bridge Id (el switch que ha transmitido la BPDU al enlace)
  - 4) Más bajo Sender Port Id (prioridad del puerto.puerto, *Ejemplo: 128.4*)
- **Todos los puertos del RB son DP.**
- Los puertos **DP** siempre están en **Forwarding** (activo).



# Spanning Tree Protocol (STP)

## PUERTOS: DESIGNATED PORT (DP)

***BPDU***

| Field Description                                 | Number of Bytes |
|---|-----------------|
| Protocol ID (always 0)                            | 2               |
| Version (always 0)                                | 1               |
| Message Type (Configuration or TCN BPDU)          | 1               |
| Flags   | 1               |
| Root Bridge ID                                    | 8               |
| Root Path Cost                                    | 4               |
| Sender Bridge ID                                  | 8               |
| Port ID   | 2               |
| Message Age (in 256 <sup>ths</sup> of a second)   | 2               |
| Maximum Age (in 256 <sup>ths</sup> of a second)   | 2               |
| Hello Time (in 256 <sup>ths</sup> of a second)    | 2               |
| Forward Delay (in 256 <sup>ths</sup> of a second) | 2               |

**CALIDAD BPDU**

# Spanning Tree Protocol (STP)

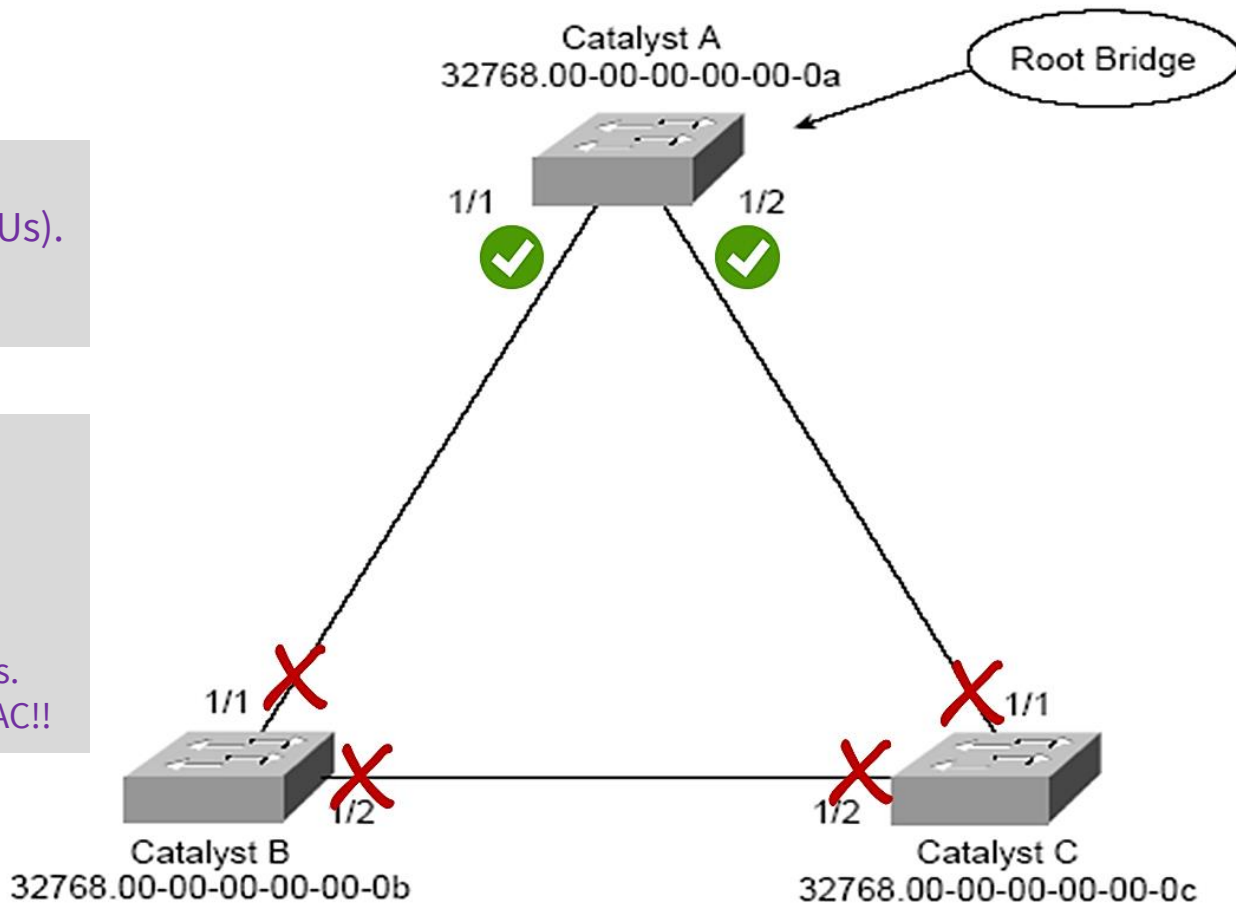
## EJEMPLO

**Paso 0.** Todos los puertos están bloqueados (para datos, no BPDUs).

**Paso 1.** Elección del RB.

**Identificación:** *Prioridad.MAC\**

(\*) La MAC del switch es parte de la identificación del switch para operaciones de gestión.  
No tiene nada que ver con los puertos.  
¡¡Los puertos del switch NO tienen MAC!!

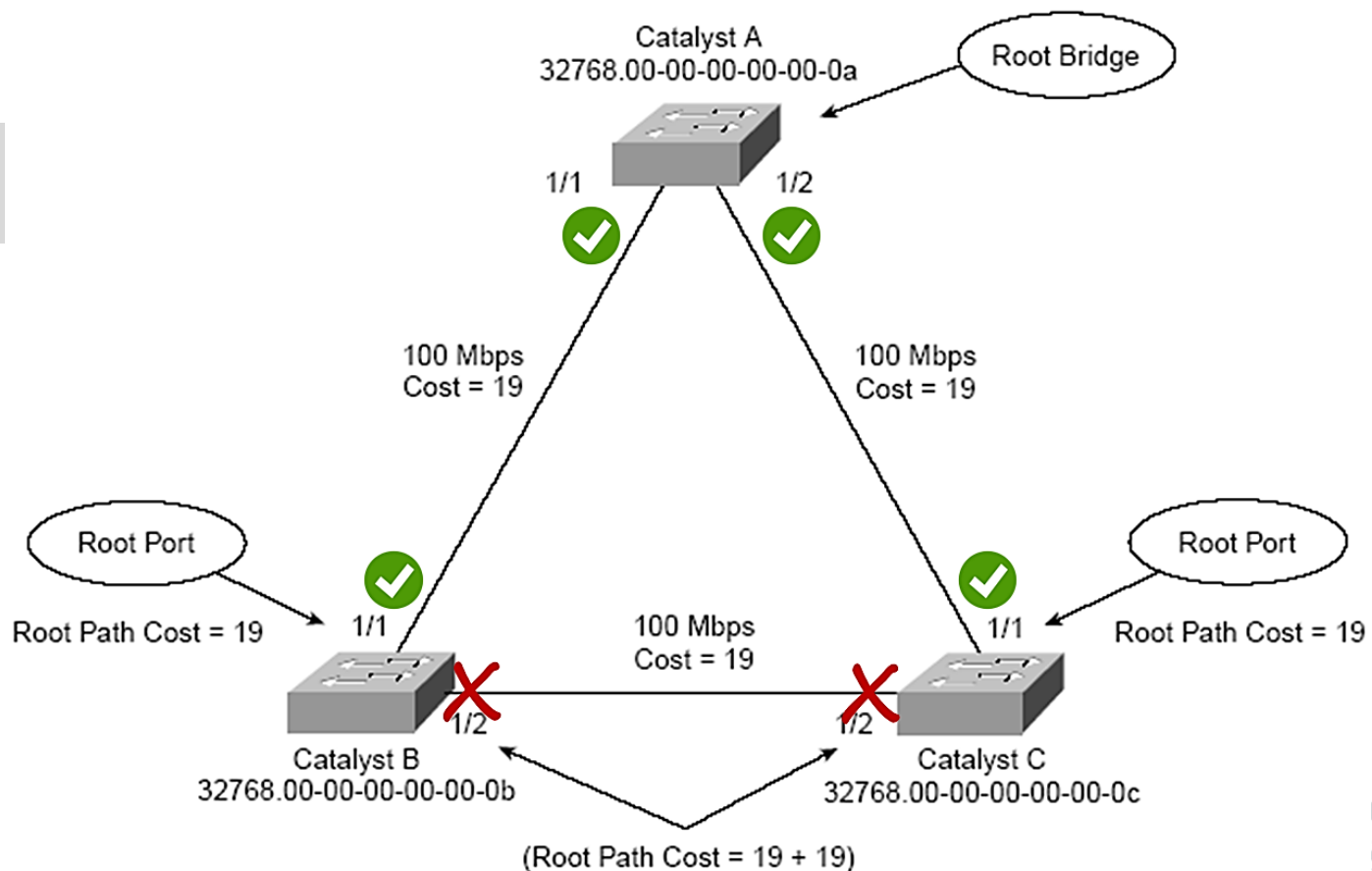


# Spanning Tree Protocol (STP)

## EJEMPLO

### Paso 2. Puertos RP

| Link Bandwidth | STP Cost |
|----------------|----------|
| 4 Mbps         | 250      |
| 10 Mbps        | 100      |
| 16 Mbps        | 62       |
| 45 Mbps        | 39       |
| 100 Mbps       | 19       |
| 155 Mbps       | 14       |
| 622 Mbps       | 6        |
| 1 Gbps         | 4        |
| 10 Gbps        | 2        |



# Spanning Tree Protocol (STP)

## EJEMPLO

### Paso 3.

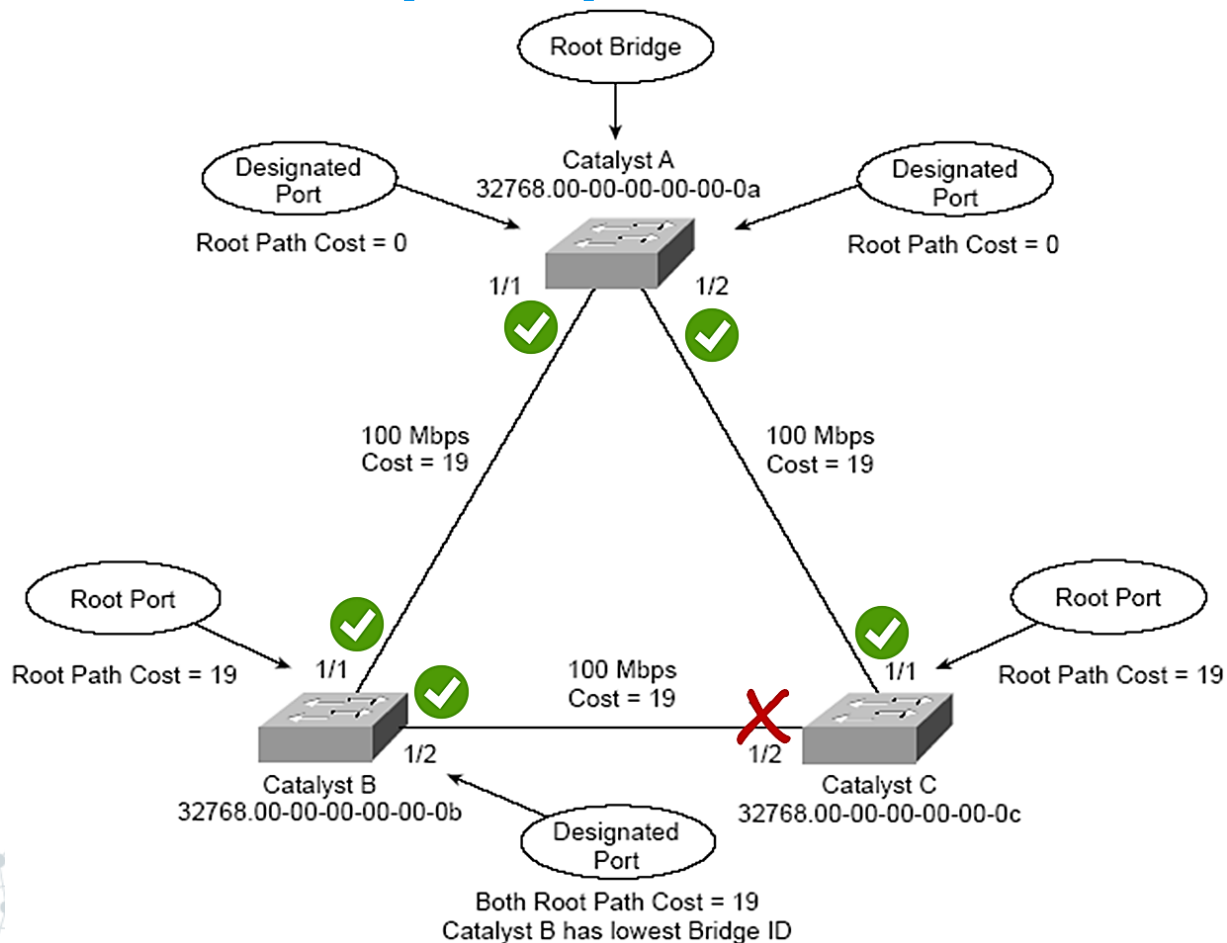
#### Puertos DP

- Los del RB
- El puerto del Sender BID más bajo

Al finalizar el proceso todos aquellos puertos que no sean ni RP ni DP seguirán bloqueados.

Los enlaces entre RPs y DPs estarán activos.

Los enlaces con puertos bloqueados quedarán inactivos.

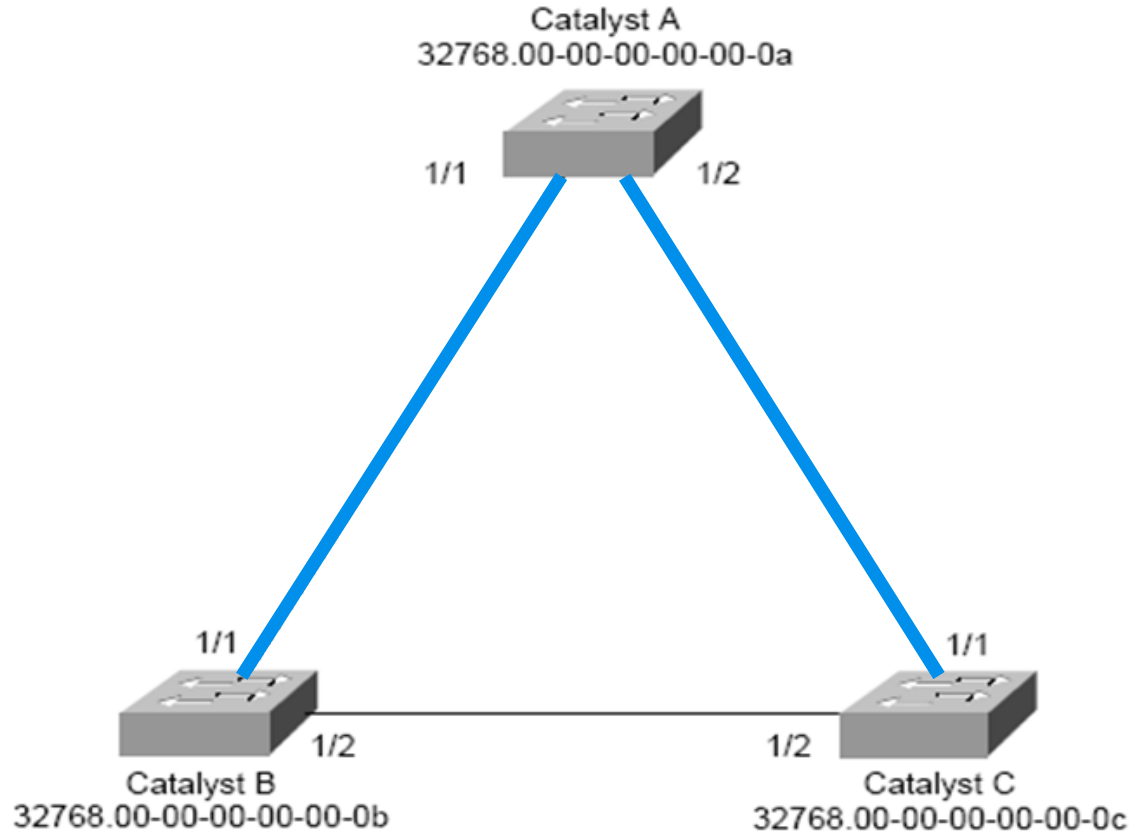


# Spanning Tree Protocol (STP)

## EJEMPLO

FINAL

Árbol de Expansión



# Spanning Tree Protocol (STP)

## TIMERS

DEFINIDOS POR EL RB:

- **Hello Time:** El intervalo de generación de mensajes *Hello* por parte del RB. Por defecto 2 seg.
- **Maximum Age:** Se usa para detectar cambios de topología en combinación con el contador **Message Age**. Si una BPDU no se refresca dentro del tiempo permitido se da por perdida y se da por hecho que es debido a un cambio de topología. Activa el mecanismo para que algún puerto pase de *Blocking* a *Forwarding* (si es RP o DP). Por defecto 20 seg.
- **Forward Delay:** Tiempo dedicado al estado de *Learning*, para que por *transparent switching*, la Tabla de conmutación (MAC-interfaz) del switch esté lo más actualizada posible, especialmente en lo que afecta al puerto que presumiblemente pasará a *Forwarding*. Por defecto 15 seg. Es también el tiempo que se está en los estados *Listening* y *Learning*.

SE MODIFICA SWITCH A SWITCH:

- **Message Age:** El RB genera la BPDU con Message Age=0. Cada switch lo incrementa en 1 cada vez que se reenvía la BPDU. Se usa en combinación con **Max. Age** para determinar el tiempo de validez de la BPDU.

# Spanning Tree Protocol (STP)

## TIMERS

## BPDU

| Field Description                                 | Number of Bytes |
|---|-----------------|
| Protocol ID (always 0)                            | 2               |
| Version (always 0)                                | 1               |
| Message Type (Configuration or TCN BPDU)          | 1               |
| Flags   | 1               |
| Root Bridge ID                                    | 8               |
| Root Path Cost                                    | 4               |
| Sender Bridge ID                                  | 8               |
| Port ID   | 2               |
| Message Age (in 256 <sup>ths</sup> of a second)   | 2               |
| Maximum Age (in 256 <sup>ths</sup> of a second)   | 2               |
| Hello Time (in 256 <sup>ths</sup> of a second)    | 2               |
| Forward Delay (in 256 <sup>ths</sup> of a second) | 2               |

TIMERS

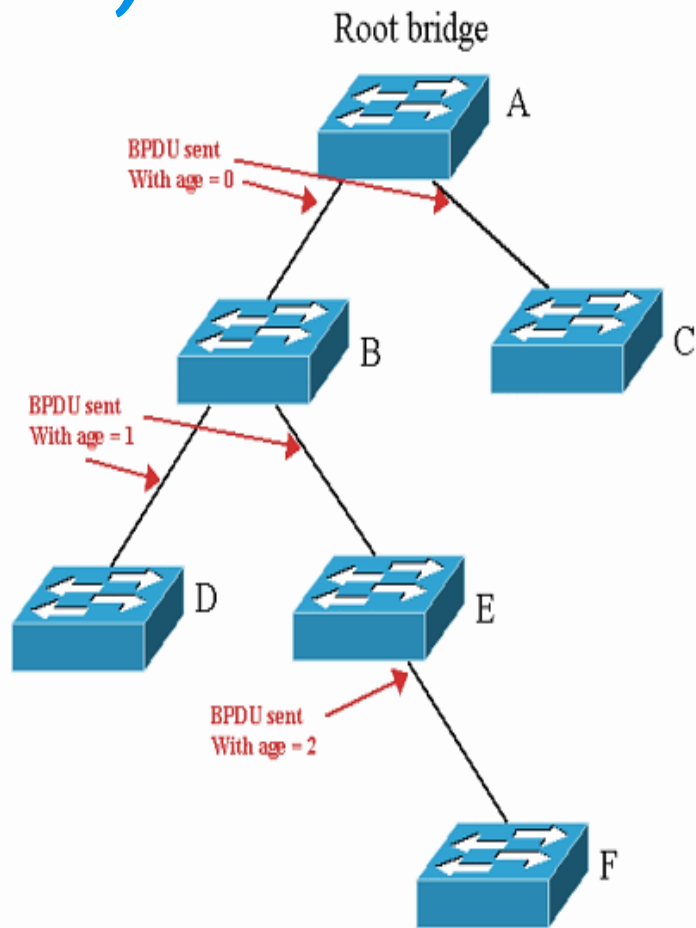
# Spanning Tree Protocol (STP)

## EJEMPLO TIMERS

### Ejemplo:

#### Uso combinado de Max Age - Message Age

- 1) Switches B y C reciben la BPDU con Message Age=0. Para estos switches, la BPDU recibida del RB se hará obsoleta en:  $\text{Max Age} - 0 = 20$  segs
- 2) Switches D y E reciben la BPDU con Message Age=1. Para estos switches, la BPDU recibida del Switch B se hará obsoleta en:  $\text{Max Age} - 1 = 19$  segs
- 3) Switch F recibe la BPDU con Message Age=2. Para este switch, la BPDU recibida de Switch E se hará obsoleta en:  $\text{Max Age} - 2 = 18$  segs

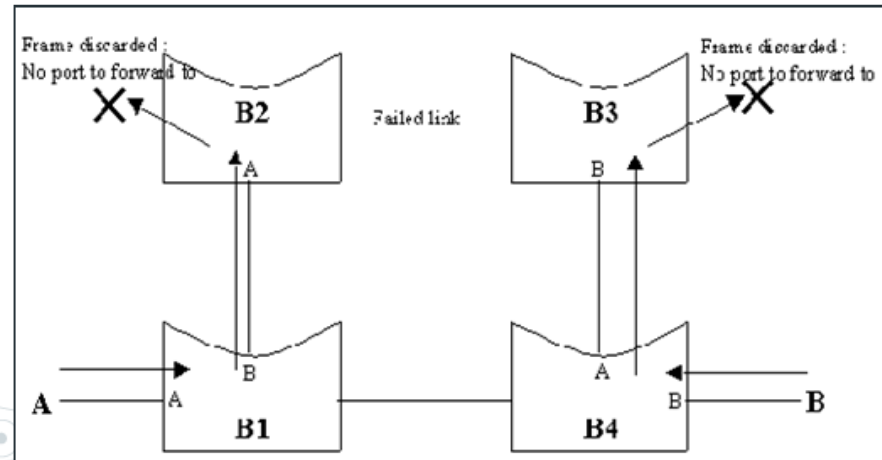
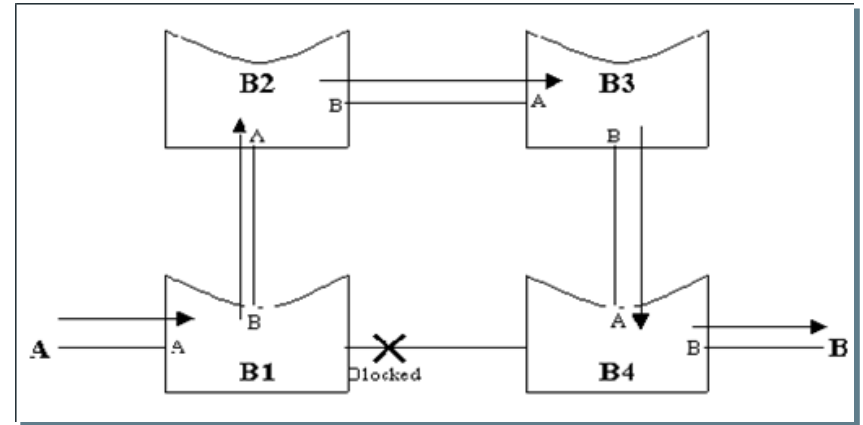




# Spanning Tree Protocol (STP)

## CAMBIOS DE TOPOLOGÍA

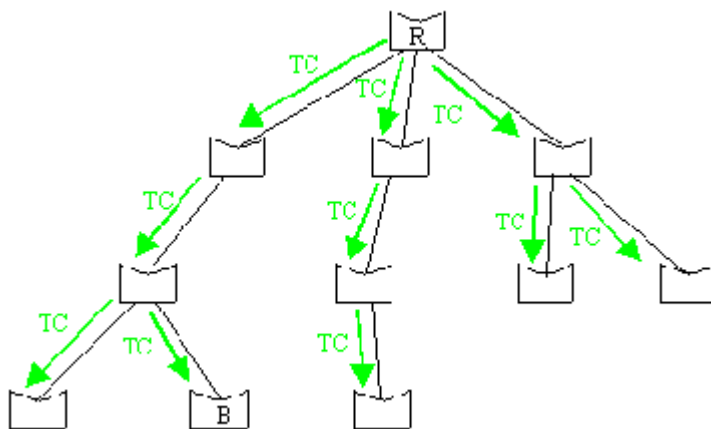
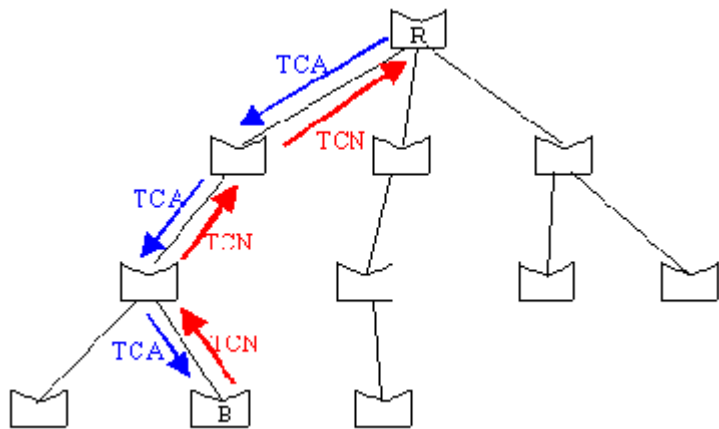
- Inicialmente, A y B se comunican a través de los switches B1-B2-B3-B4.
- Un cambio de topología entre B2 y B3 hace que el puerto del switch B1 pase de *Blocked* a *Forwarding*.
- **Problema:** La tabla CAM (tabla de conmutación) de B1 contiene entradas que apuntan erróneamente a B2 para llegar a B. Lo mismo ocurre con la tabla CAM de B4 para llegar a A. Típicamente en un switch, una entrada no refrescada dura unos 300'' antes de ser eliminada de la tabla CAM.
- **Solución:** Cuando haya un cambio de topología, las tablas CAM deben actualizarse rápidamente, sin esperar a los 300''. Para ello se usa la BPDU tipo *Topology Change Notification*.



# Spanning Tree Protocol (STP)

## CAMBIOS DE TOPOLOGÍA

- El switch B conoce el cambio de topología y manda una BPDU del tipo **Topology Change Notification** (TCN) a través de su RP (cada 2 seg). El siguiente switch hace lo propio hasta llegar al RB. Todos los switches envían un **Topology Change ACK** (TCA).
- El RB manda una BPDU con el flag cambio de topología (TC) activado.
- Todos los switches reducen el tiempo de vaciado de su Tabla de conmutación de 300 seg. a Forward Delay (15 seg). Esto evita que tablas corruptas se mantengan más allá de 15 segs pero a costa de generar inundaciones durante el tiempo del aprendizaje transparente.



# Spanning Tree Protocol (STP)

## CAMBIOS DE TOPOLOGÍA

*BPDU*

| Field Description                                 | Number of Bytes |
|---|-----------------|
| Protocol ID (always 0)                            | 2               |
| Version (always 0)                                | 1               |
| Message Type (Configuration or TCN BPDU)          | 1               |
| Flags   | 1               |
| Root Bridge ID                                    | 8               |
| Root Path Cost                                    | 4               |
| Sender Bridge ID                                  | 8               |
| Port ID   | 2               |
| Message Age (in 256 <sup>ths</sup> of a second)   | 2               |
| Maximum Age (in 256 <sup>ths</sup> of a second)   | 2               |
| Hello Time (in 256 <sup>ths</sup> of a second)    | 2               |
| Forward Delay (in 256 <sup>ths</sup> of a second) | 2               |

**CAMBIOS DE TOPOLOGÍA**

The background of the slide is a light gray network pattern. It consists of numerous small circles, some of which are solid gray and others are hollow with a gray outline. These circles are interconnected by a web of thin, light gray lines, creating a complex, organic-looking structure that resembles a molecular or biological network.

# ¿Alguna duda?

# Bibliografía

- James F. Kurose, Keith W. Ross. Redes de computadoras. Un enfoque descendente. 7º Edición. Editorial Pearson S.A., 2017.
- P. García-Teodoro, J.E. Díaz-Verdejo, J.M. López-Soler. Transmisión de datos y redes de computadores, 2ª Edición. Editorial Pearson, 2014.
- Behrouz A. Forouzan. Transmisión de datos y redes de comunicaciones, 4º Edición. Editorial Mc Graw Hill 2007.
- David Hucaby. CCNP Self-Study, CCNP BCMSN Exam. Certification Guide, CCIECisco Press, ISBN: 1-58720-077-5, 2004.
- Michael Valentine, Keith Barker. Cisco CCNA Routing and Switching 200-120 Exam Cram, Fourth Edition, Video Enhanced Edition, Pearson IT Certification.
- Ernesto Ariganello. Redes Cisco: guía de estudio para la certificación CCNA Routing y Switching.