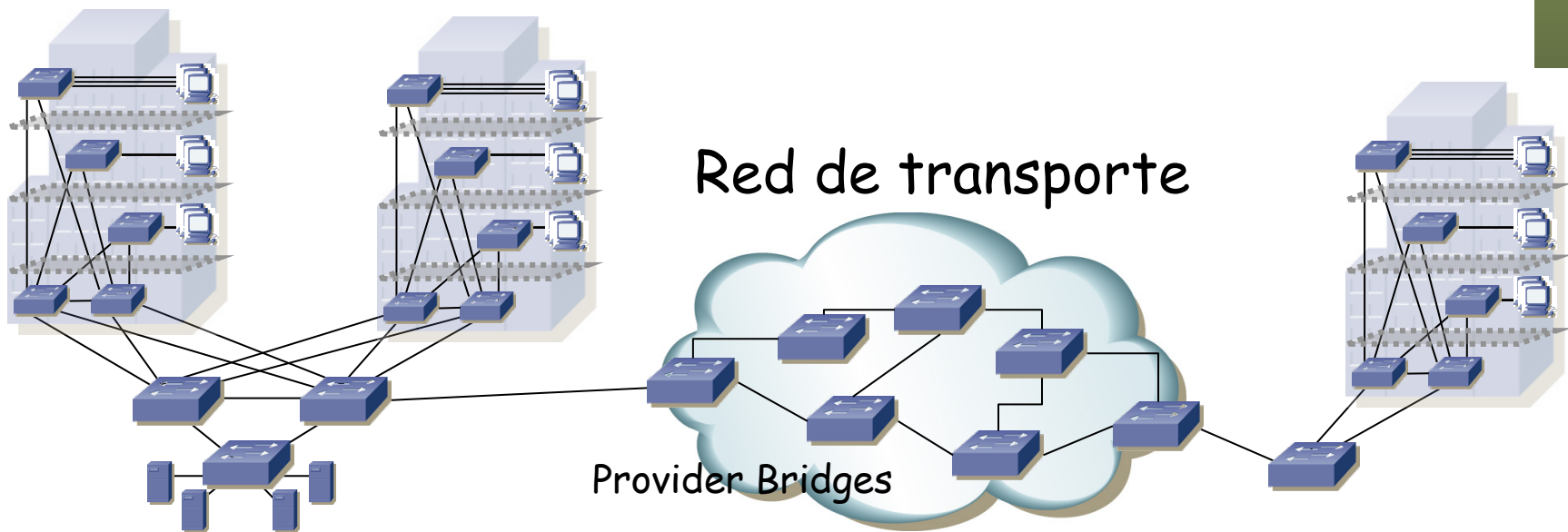


# Provider (Backbone) Bridges

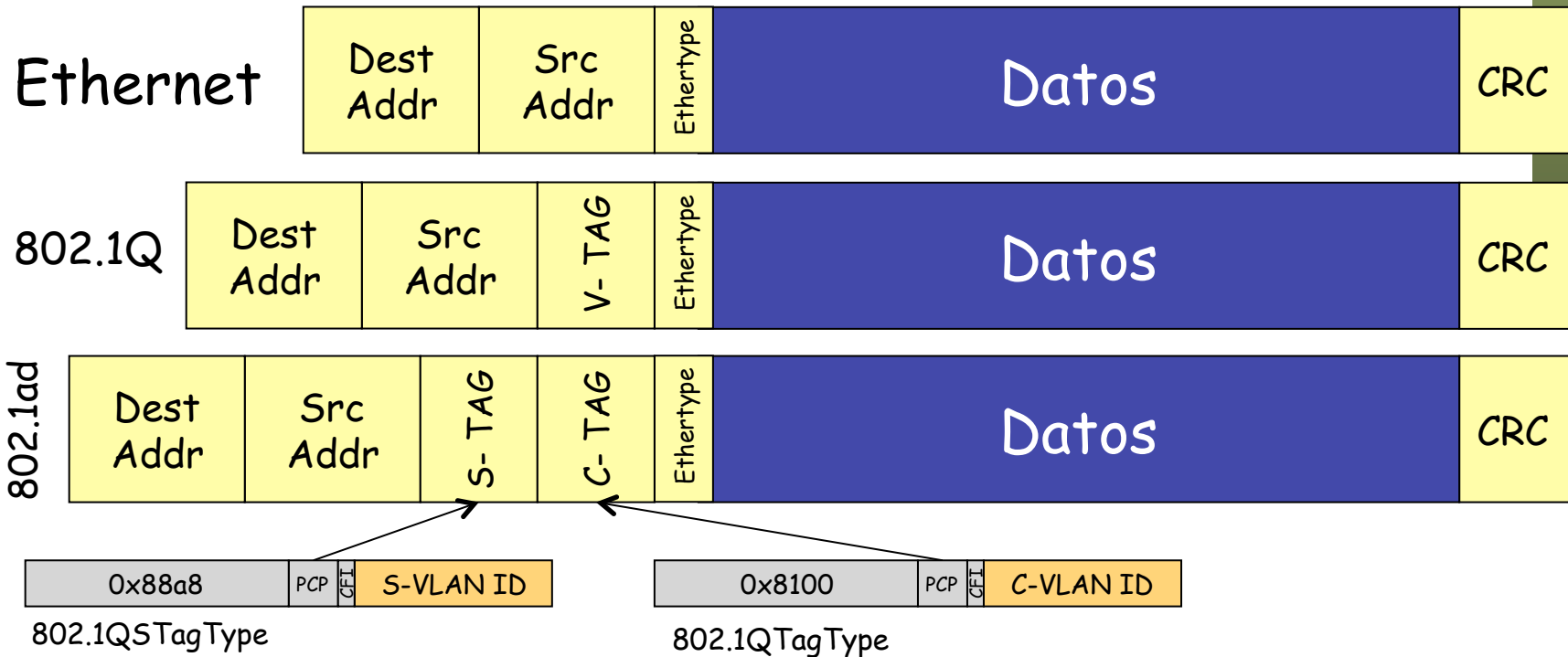
# Provider Bridges

- El objetivo es que un proveedor pueda transportar tráfico Ethernet mediante una MAN/WAN Ethernet (...)
- (...)



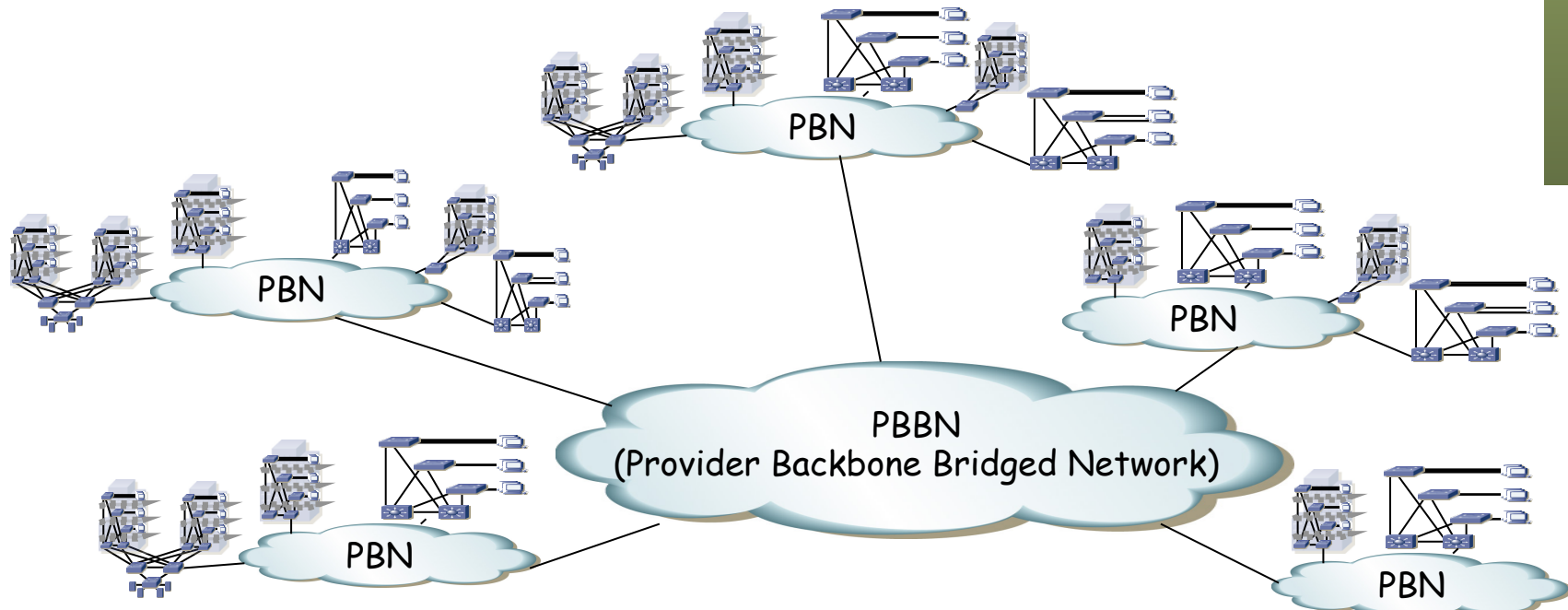
# Provider Bridges

- El objetivo es que un proveedor pueda transportar tráfico Ethernet mediante una MAN/WAN Ethernet (...)
- Con 802.1Q el proveedor puede emplear tags de VLAN para diferenciar usuarios
- Pero esto impide transportar tráfico *tagged*
- 802.1ad (modificación a 802.1Q-2005) permite diferenciar entre las VLANs del cliente (C-VLAN) y las del servicio (S-VLAN) (...)



# Problemas y evolución

- 802.1ad implica que los puentes del proveedor ven gran número de direcciones MAC
- Solo permite 4094 clientes simultáneos
- 802.1ah (modifica 802.1Q-2005): “*Provider Backbone Bridges*”
- Posibilita conectar PBNs (*Provider Bridged Networks*) a través de una PBBN (*Provider Backbone Bridged Network*) (...)

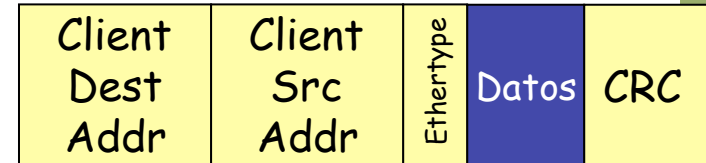




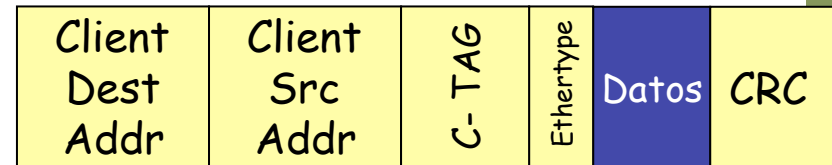
# PBBNs

- Se define el Backbone Service Instance Tag (I-TAG) (... ..)

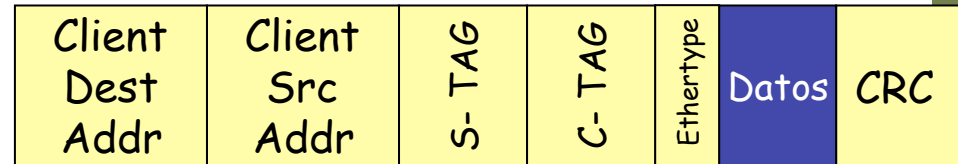
## Ethernet



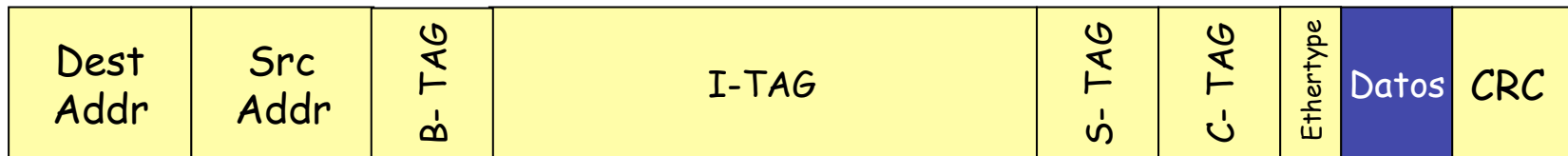
## 802.1Q



## 802.1ad



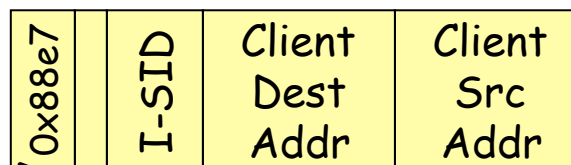
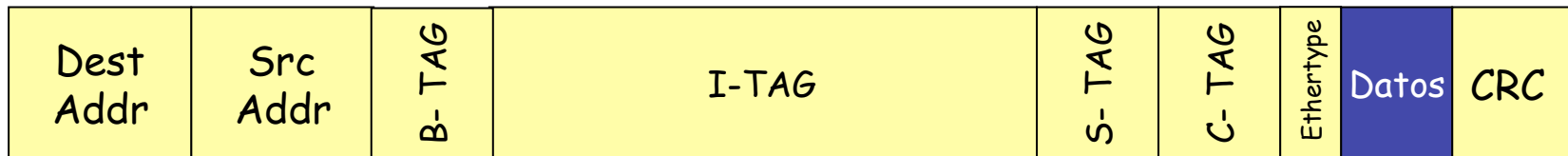
## 802.1ah



# PBBNs

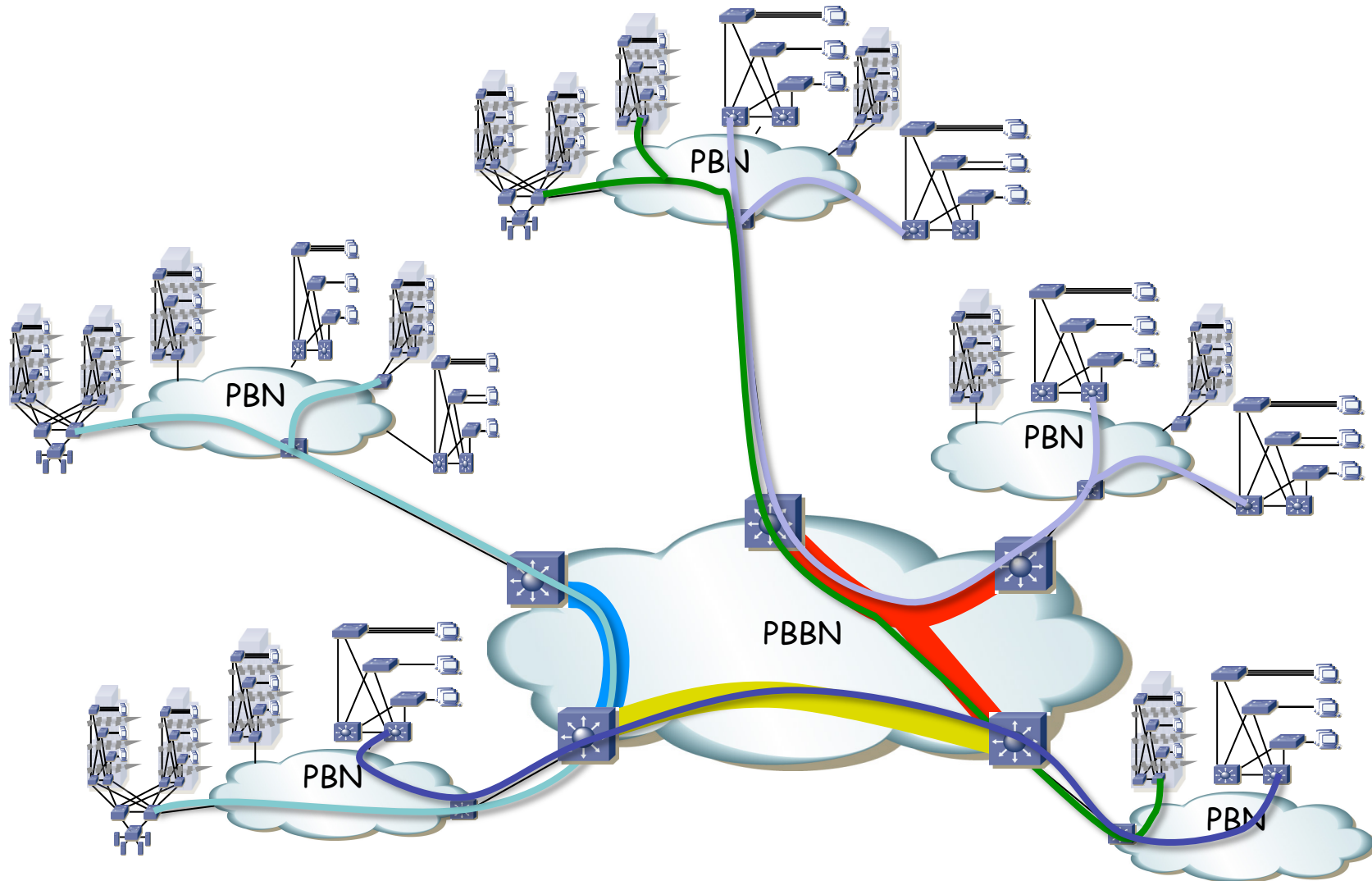
- Se define el Backbone Service Instance Tag (I-TAG) (... ..)
- Se encapsula la trama Ethernet 802.1ad dentro de otra:
  - B-TAG: *Backbone VLAN tag* (idéntico a un S-TAG)
  - I-SID: *Backbone Service Identifier* (24 bits)
  - C-DA: *Encapsulated Customer Destination Address*. La dirección MAC destino de la trama encapsulada (Client Dest Addr en la figura)
  - C-SA: *Encapsulated Customer Source Address*. La dirección MAC origen de la trama encapsulada (Client Src Addr en la figura)
- Direcciones MAC origen y destino son de los equipos frontera de la PBBN
- Los conmutadores de la PBBN NO ven las direcciones MAC de los equipos de cliente (van encapsuladas)

802.1ah



802.1QITagType →

# PBBNs



# SPB

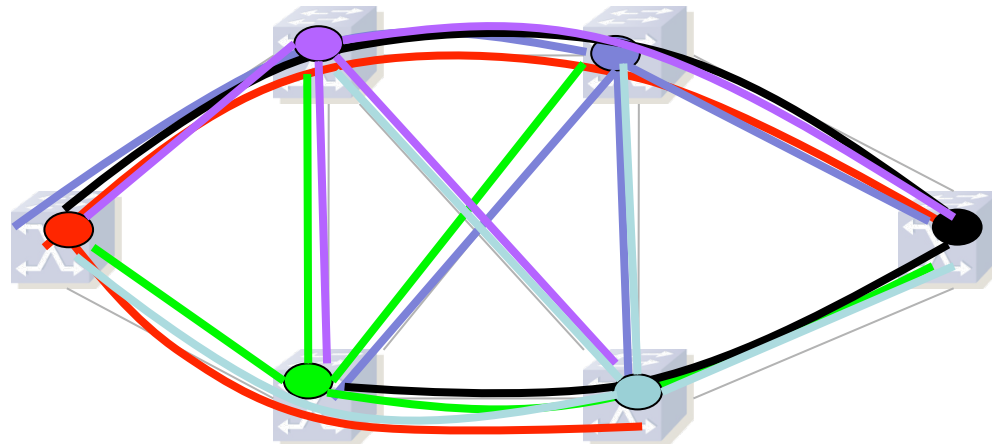
# SPB: Objetivos

- *Shortest Path Bridging* (802.1aq, ya en 802.1Q-2014)
- Busca escalar la capa 2 al orden del millar de puentes
- Busca emplear múltiples caminos de igual coste
- Evitar aprendizaje de direcciones MAC donde sea posible
- Tiempos de recuperación en los centenares de milisegundos
- Reutiliza ASICs existentes
- Mantener orden y simetría en los caminos (para una VLAN)
- Compatibilidad con el resto de 802.1 (DCB, OA&M, etc)



# SPB

- Sustituye {R|M}STP, pudiendo interoperar con ellos
- Para una VLAN ahora tenemos 3 posibilidades:
  - Emplear el Internal Spanning Tree (IST)
  - Emplear una Multiple Spanning Tree Instance (MSTI)
  - Emplear un “SPT set” (set of Shortest Path Trees)
- Cada SPT del SPT set tiene como raíz del árbol a un puente diferente del dominio (...)

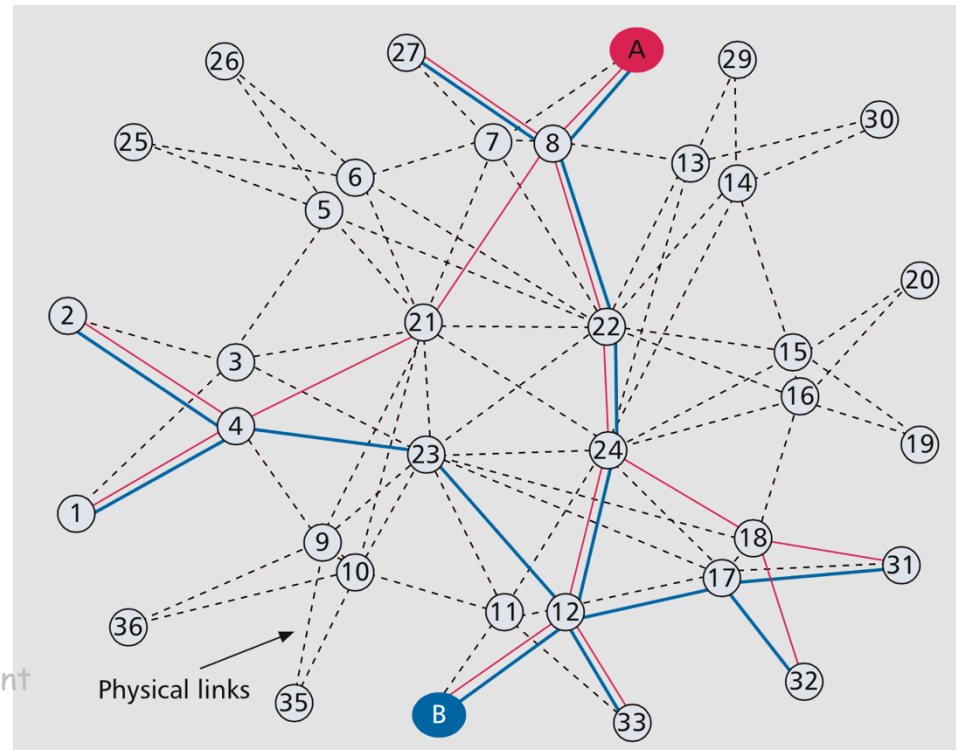


# SPB: Control plane

- En el plano de control emplea IS-IS con algunas extensiones (ISIS-SPB)
- ISIS-SPB mantiene al menos un SPT (Shortest Path Tree) para cada puente con él como raíz
- Un puente envía tramas solo por uno de esos árboles
- El cálculo de un CIST (Common and Internal Spanning Tree) lo hace empleando Dijkstra con la información de ISIS-SPB

# SPB: Caminos

- Calcula caminos deterministas y simétricos
- Si hay varios caminos de coste mínimo entre 2 nodos solo se emplea uno de ellos en un SPT set
- Todos los nodos emplean la misma técnica de desempate para lograr caminos simétricos

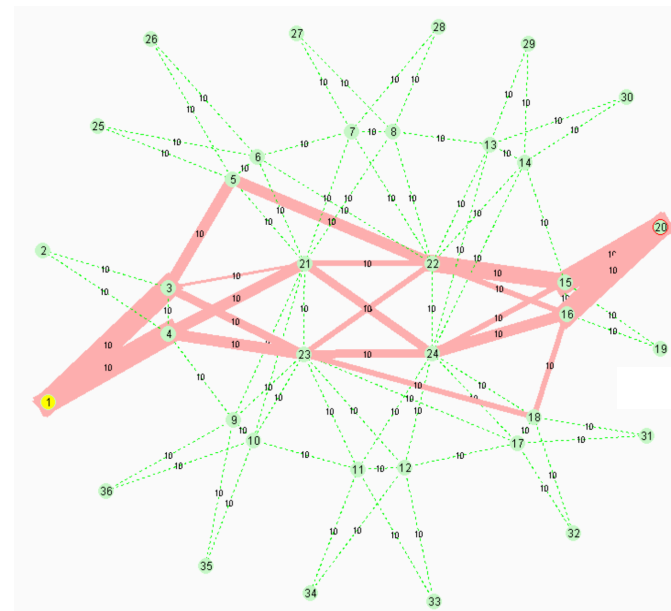


D. Allan, et al. "Shortest Path Bridging: Efficient Control of Larger Ethernet Networks. IEEE Comm.Magazine



# SPB: Load Balancing

- Al calcular SPTs se está distribuyendo la carga más que con un solo árbol de expansión
- Además puede calcular múltiples Equal Cost Trees (ECTs)
- Cada ECT resulta de un algoritmo de desempate
- Define 16 algoritmos de desempate, lo cual da hasta 16 ECTs
- SPTs resultado de un tipo de desempate forman un “SPT set”
- El balanceo de carga se hace distribuyendo VLANs por ellos
- No hace balanceo a nivel de paquete ni de flujo



# SPB: Loops

- Loops pueden producirse temporalmente
- Cuando las bases de datos de IS-IS no están sincronizadas
- Emplea RPF (Reverse Path Forwarding) para intentar evitarlos
- También emplea técnicas para evitar tener un loop mientras converge IS-IS
- Pero sigue sin haber TTL



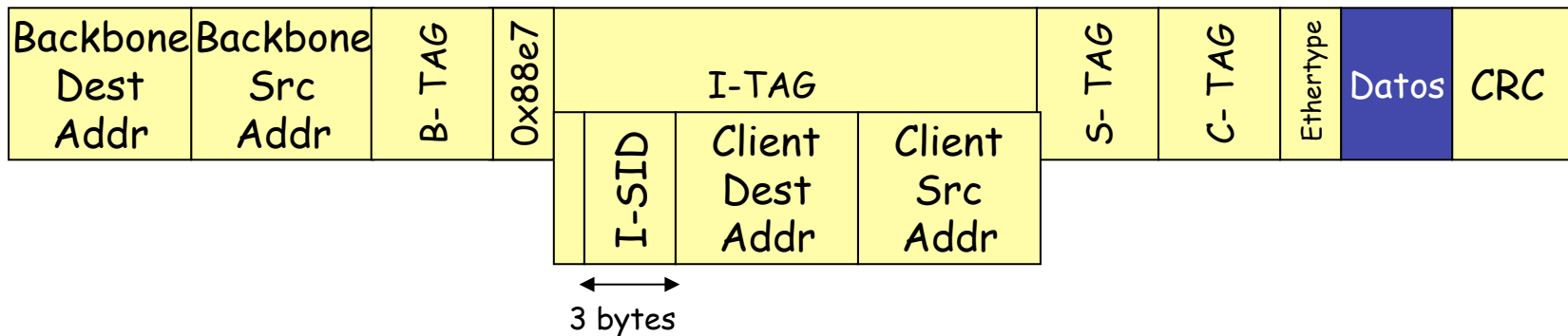
# SPB: Modos

- En la asignación de tramas de una VLAN a un SPT se definen dos modos posibles:
  - SPBM: *Shortest Path Bridging MAC*
  - SPBV: *Shortest Path Bridging VID*
- Todos los puentes emplean el mismo modo para una VLAN concreta

# SPBM

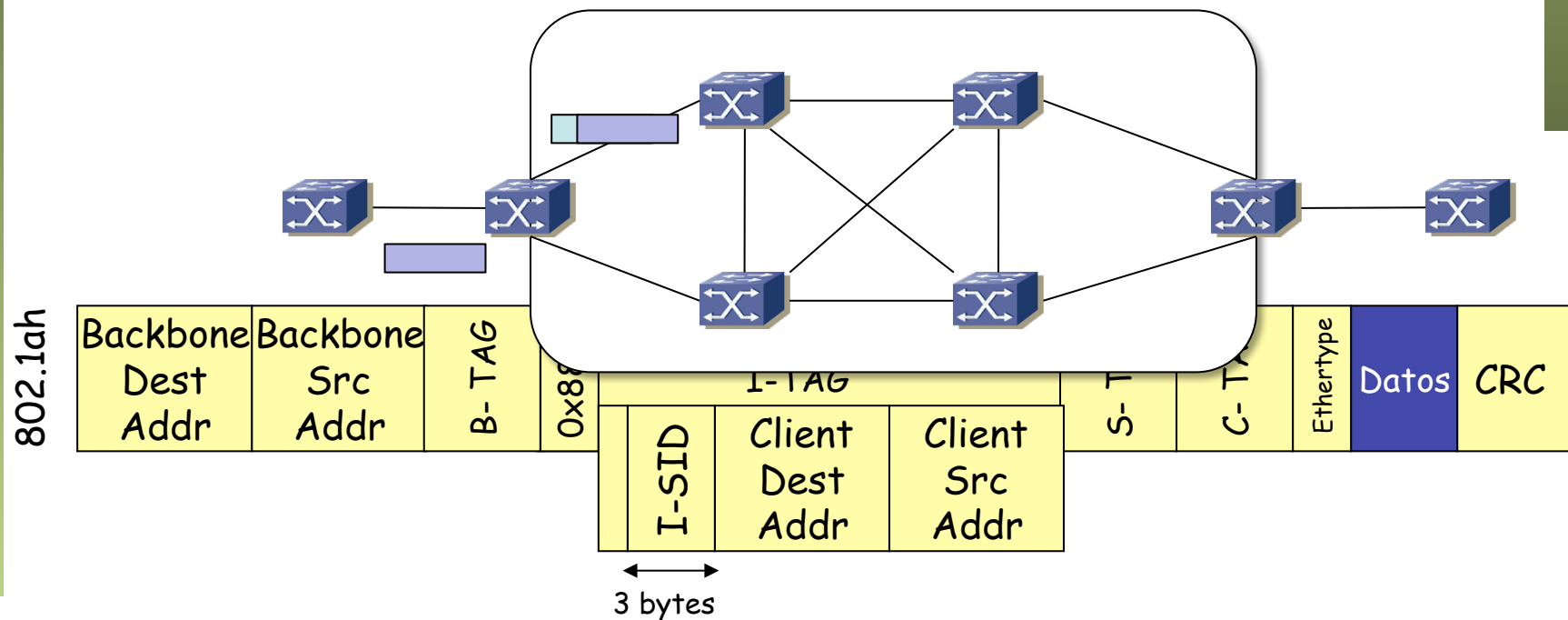
- *Shortest Path Bridging MAC Mode*
- Emplea encapsulado 802.1ah (MAC-in-MAC)
- Transporta transparentemente las VLANs de usuario
- El I-SID permite distinguir una gran cantidad de servicios
- Las tramas se transportan solo entre puertos que mapeen al mismo I-SID
- Cada I-SID se mapea a un B-VID (VLAN del backbone)
- La pareja de B-VID y dirección origen del backbone identifican al SPT

802.1ah



# SPBM

- Solo los puentes frontera aprenden MACs de usuarios
- Si no tienen aprendida una dirección de usuario harán multicast
- Los puentes del backbone solo ven las MACs externas
- Aprenden cómo llegar a esas direcciones mediante ISIS-SPB
- Es decir, el aprendizaje típico de puente se puede desactivar
- Hace una búsqueda de la dirección MAC destino para averiguar a qué puente frontera del Backbone mandar la trama



# SPBM: Multicast

- Para las tramas de usuario con destino desconocido en el nodo frontera o tramas con destino multicast/broadcast
- Dos alternativas seleccionables por usuario
  - Replicación en el nodo frontera y unicast
  - Construcción de árboles multicast con raíz en cada nodo
- Unicast y multicast sigue el mismo camino
- En caso de árboles para el multicast emplea una dirección MAC origen específica para el grupo
  - SPSourceID identifica al puente
  - I-SID

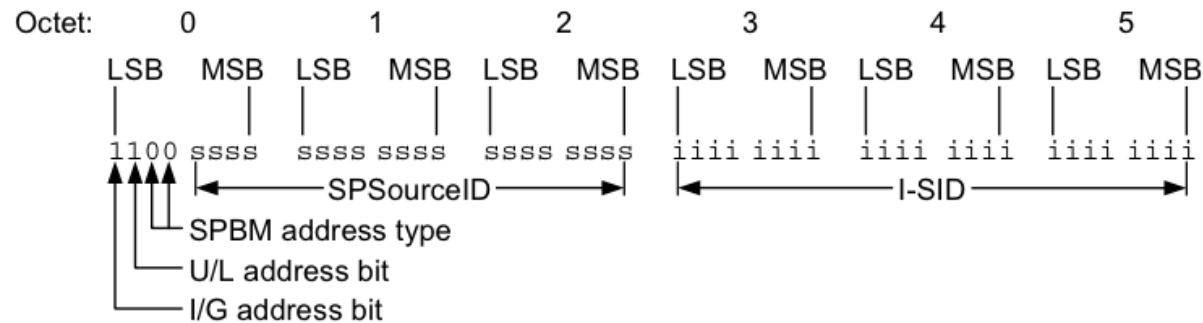
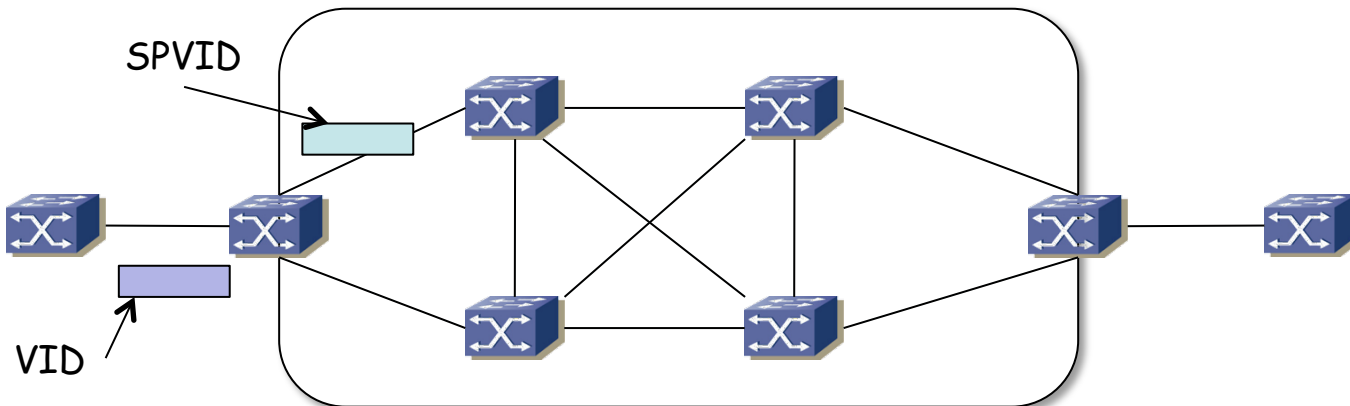


Figure 27-3—SPBM Group MAC Addresses used by this standard

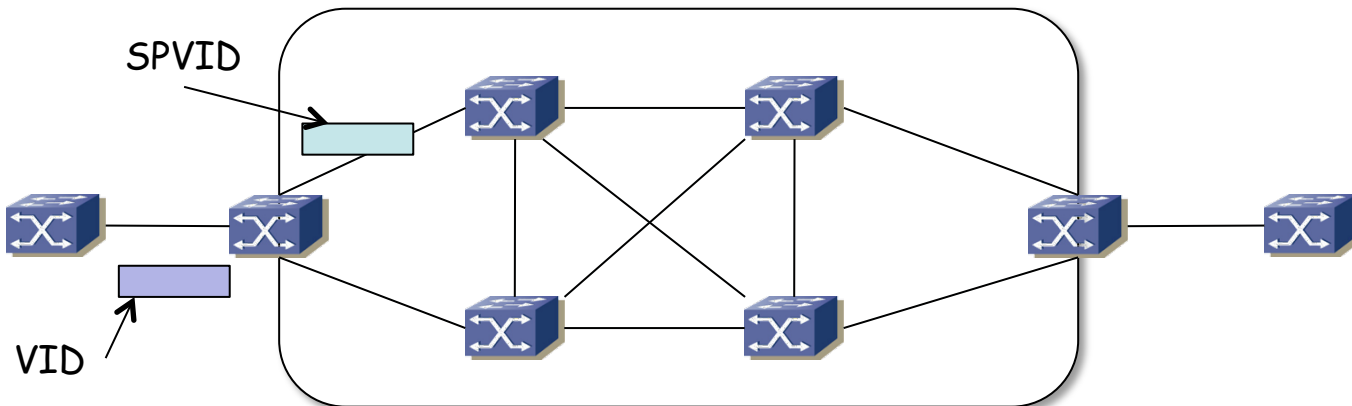
# SPBV

- *Shortest Path Bridging VID*
- Requiere menos configuración que SPBM
- Un nodo frontera recibe tramas de una VLAN
- Calcula un SPVID (*Shortest Path VLAN Identifier*) en base al VID y el nodo de entrada (un SPVID para cada pareja)
- Se envía la trama con el SPVID como VID
- El cambio se deshace en el nodo de salida
- El mapeo se sincroniza entre los nodos empleando ISIS-SPB



# SPBV

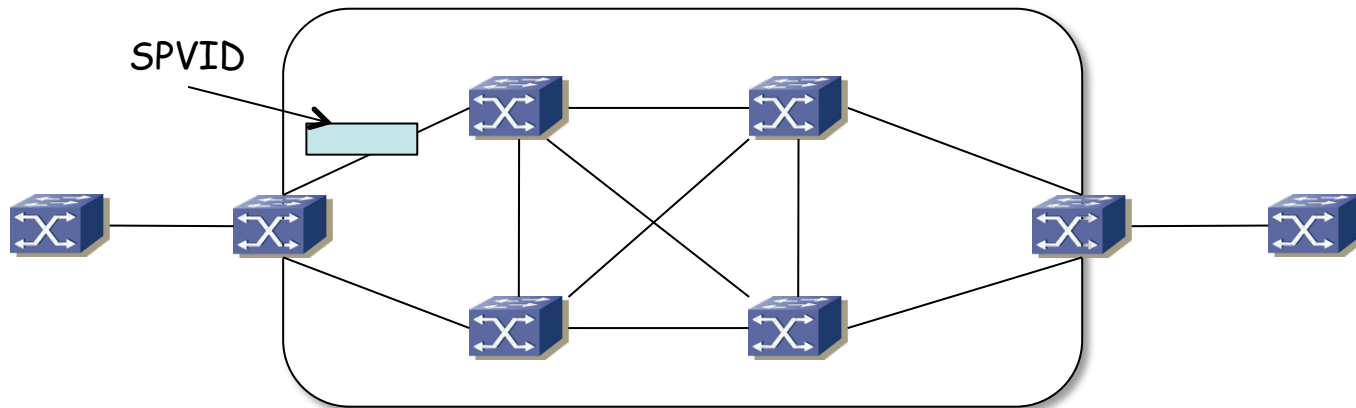
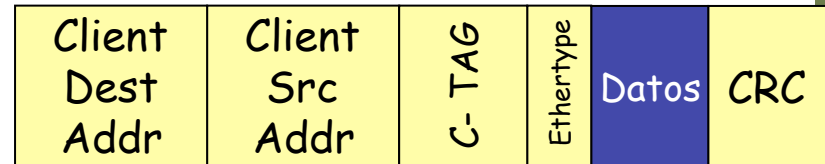
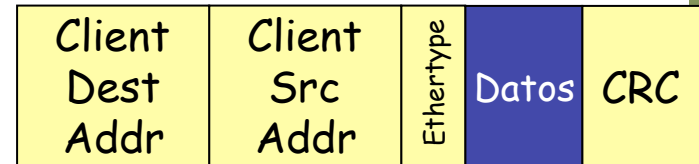
- Es decir, en el backbone se emplea una VLAN para cada SPT
- Eso limita a  $(n^{\circ}\text{VLANs\_en\_backbone} \times n^{\circ}\text{Nodos}) < 4095$
- El aprendizaje de bases de datos de filtrado en el backbone es compartido entre todos los SPVID de la misma VLAN de usuario
- Si no puede asignar un SPVID no cambia el VID y emplea el IST





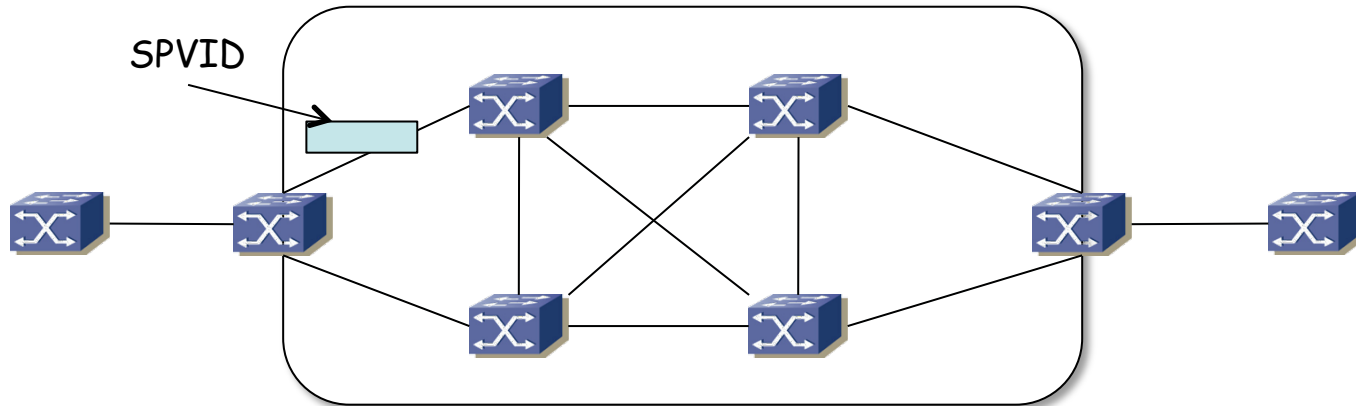
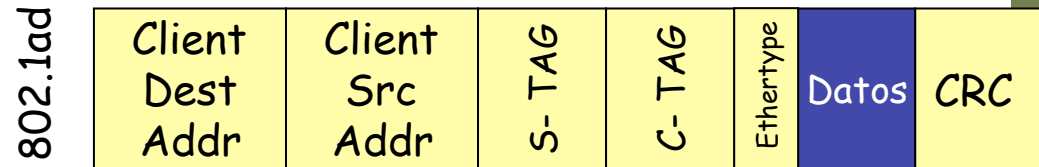
# SPBV

- Si la trama original no tiene encapsulado de VLAN se añade el SPVID con 802.1Q
- Se retira a la salida
- Si tiene encapsulado 802.1Q se modifica el V-TAG
- No separa el direccionamiento de espacio del usuario del empleado en el backbone



# SPBV

- Si la trama original tiene encapsulado 802.1ad (Q-in-Q) se modifica el S-TAG con el SPVID



# ECMP 802.1Qbp

- 802.1Q-2014 tiene ya 1.832 páginas
- 802.1aq daba tres posibilidades:
  - Emplear el Internal Spanning Tree (IST)
  - Emplear una Multiple Spanning Tree Instance (MSTI)
  - Emplear un “SPT set” (set of Shortest Path Trees)
- 802.1Qbp añade dos posibilidades más
  - Emplear un conjunto de *Traffic Engineered Service Instances* (TESIs)
  - Emplear múltiples caminos de igual coste (hasta 16) que reparten el tráfico desde cada puente (ECMP)
- La solución ECMP solo se puede emplear en modo SPBM
- Permite repartir el tráfico de una misma VLAN
- Deja de garantizar que unicast y multicast sigan el mismo camino

# ECMP 802.1Qbp

- Añade la posibilidad de un Flow-Tag (F-TAG)
- Ese campo contiene un identificador de flujo
- Puede hacer el balanceo en base a ese identificador (las tramas con el mismo valor siguen siempre el mismo árbol)
- De esa forma mantiene el orden en las tramas de un flujo
- El F-TAG contiene también un campo de TTL

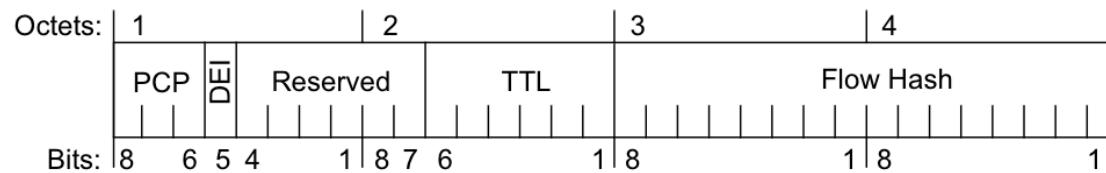
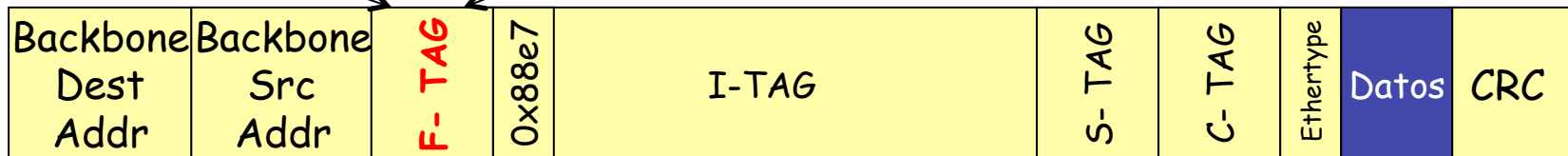


Figure 44-8—Flow Filtering TCI format

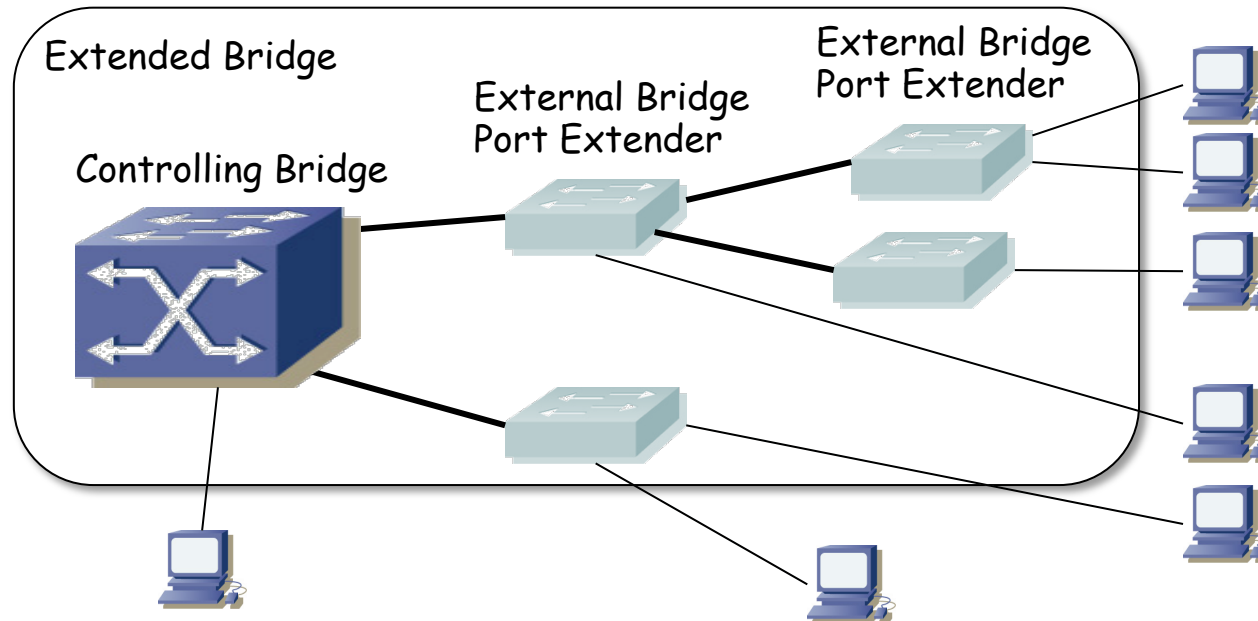
Ethertype = 0x894b



# Extended Bridges y Virtual Bridging

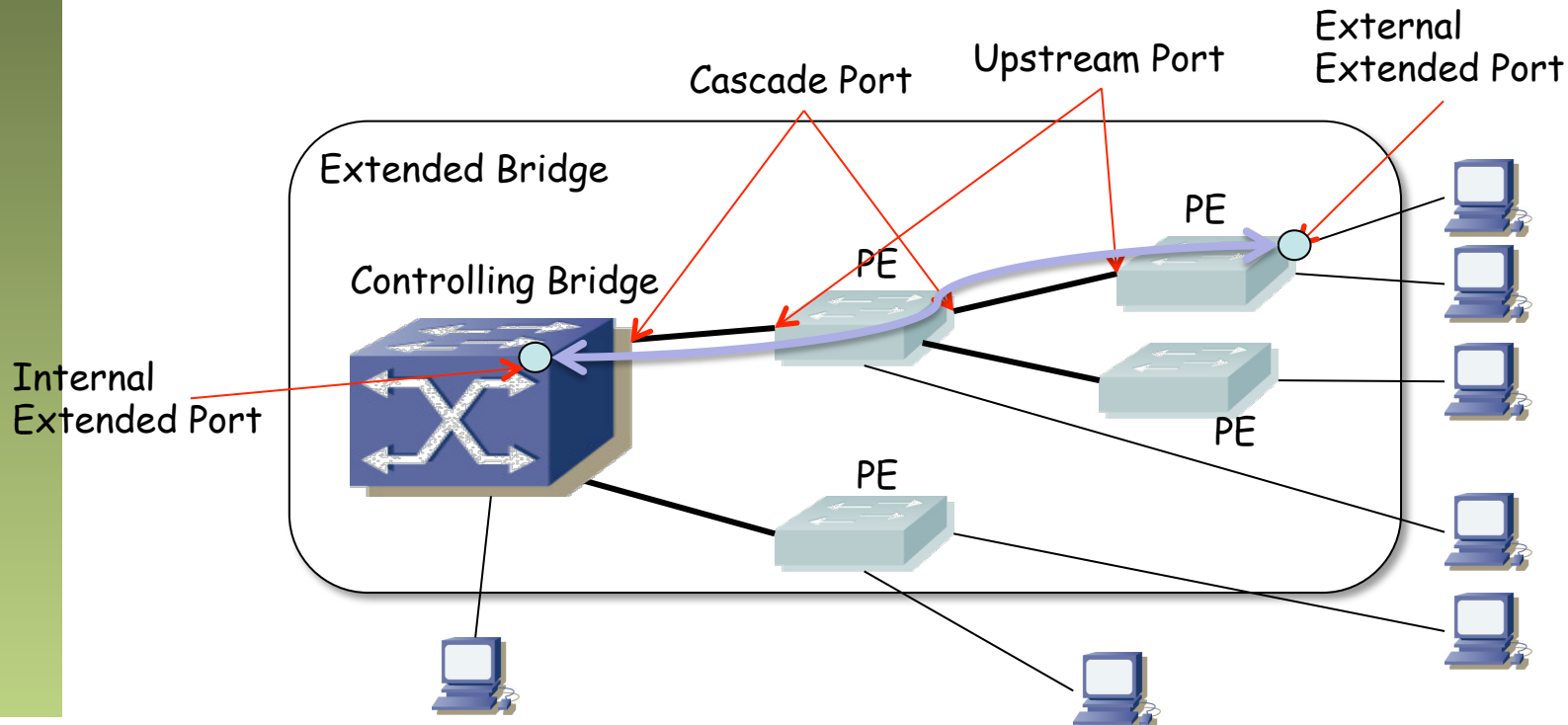
# 802.1BR Extended Bridge

- 802.1BR-2012 “Bridge Port Extension”
- Inicialmente 802.1Qbh (modificación a 802.1Q) pero lo cancelaron y lo movieron a un estándar independiente
- Introduce el *Extended Bridge*, que es simplemente un puente 802.1Q
- Está formado por *Controlling Bridge* y uno o más *Bridge Port Extenders*
- Forman un árbol con el Controlling Bridge como raíz (no STP interno)
- Todo ello forma un puente 802.1Q (el Extended Bridge) (...)
- Todo el extended bridge se gestiona como una unidad



# Extended Bridge

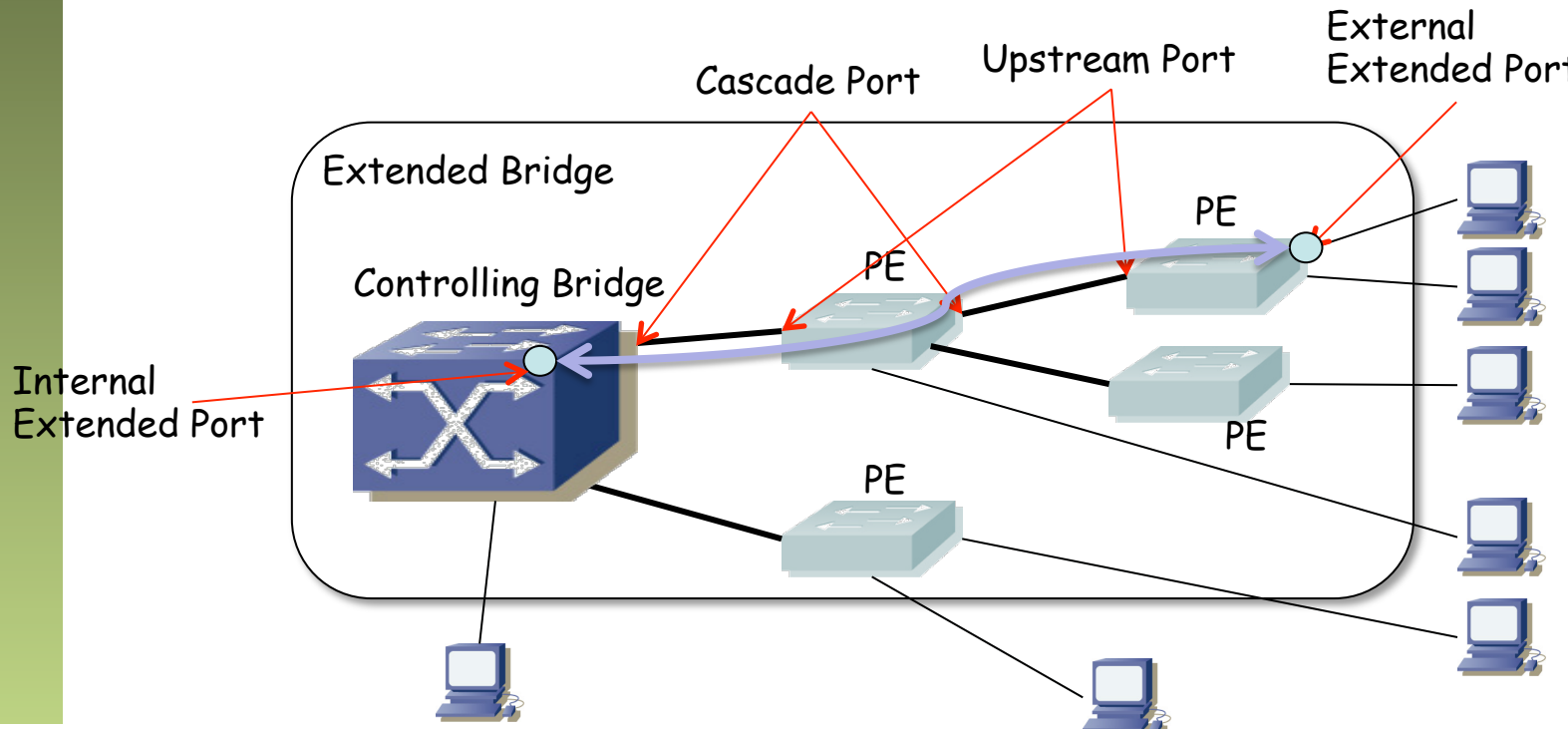
- Todos los puertos de los PE tienen su imagen en puertos internos del Controlling Bridge
- El camino bidireccional desde el puerto externo al interno en el Controlling Bridge se llama un *E-channel* (...)
- El tráfico se conmuta en el Controlling Bridge



# Extended Bridge

- Un E-channel se identifica por un E-channel Identifier (E-CID)
- A una trama que entra por un Extended Port se le añade un E-Tag
- Entre otros aspectos permite identificar al puerto por el que entró la trama (de hecho al E-channel)

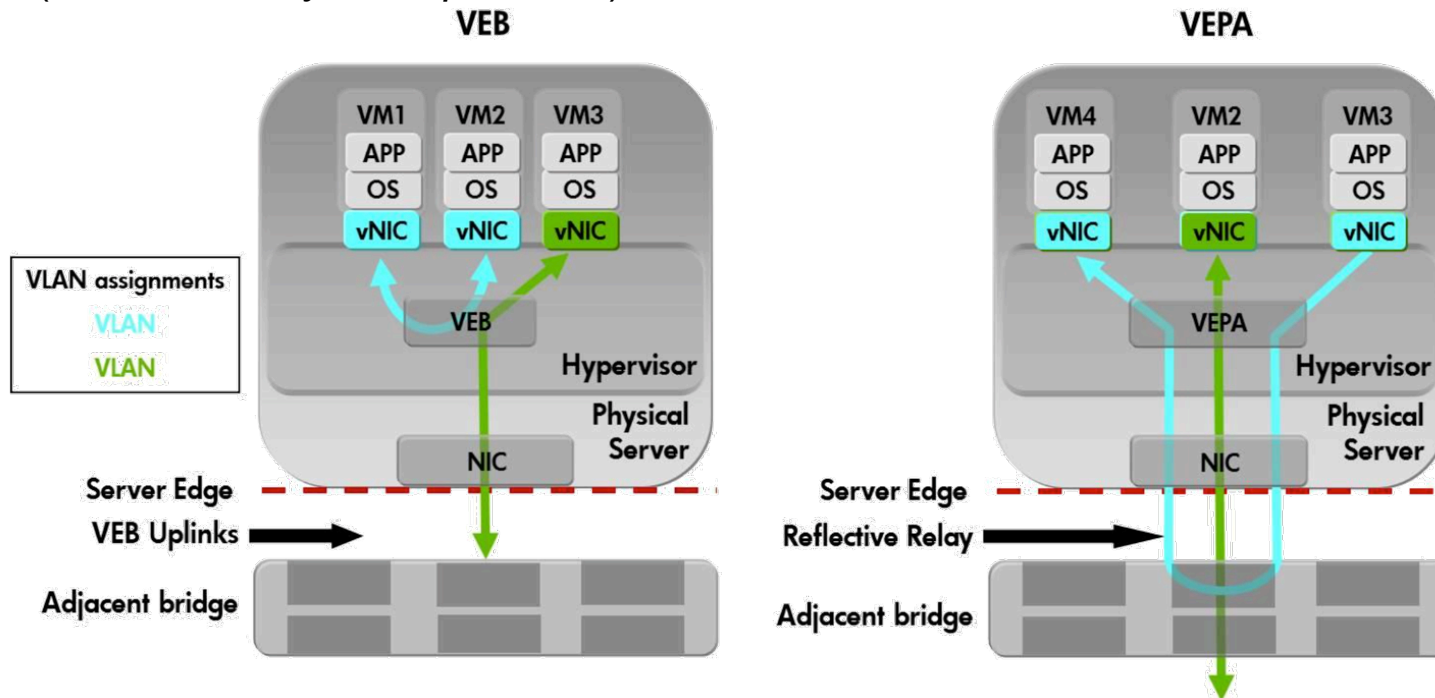
Client Dest Addr	Client Src Addr	E-TAG	C-TAG	Ethertype	Datos	CRC
------------------------	-----------------------	-------	-------	-----------	-------	-----





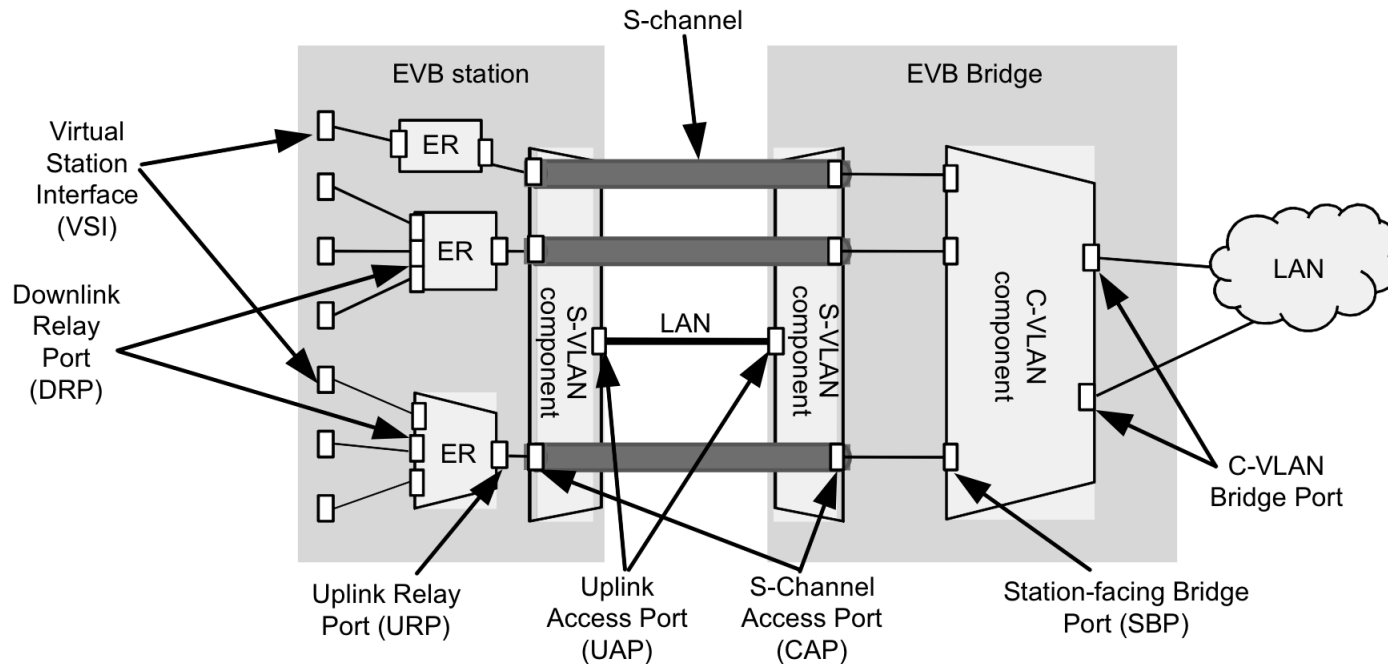
# 802.1Qbg EVB

- 802.1Qbg-2012 “Edge Virtual Bridging”, ya en 802.1Q-2014
- El hypervisor además de hacer de VEB (*Virtual Edge Bridge*) puede hacer de VEPA (*Virtual Edge Port Aggregator*)
- Se busca que el switch físico se encargue de conmutar el tráfico incluso entre las VMs del mismo host (resulta en mayor utilización de los enlaces)
- Es decir, el VEPA no conmuta internamente sino que manda al exterior
- El switch físico suele poder implementar más políticas que los switches software
- ¡ El switch debe reenviar tráfico por el mismo puerto por el cual le llegó ! (*reflective relay* o *hairpin turns*)



# 802.1Qbg S-channels

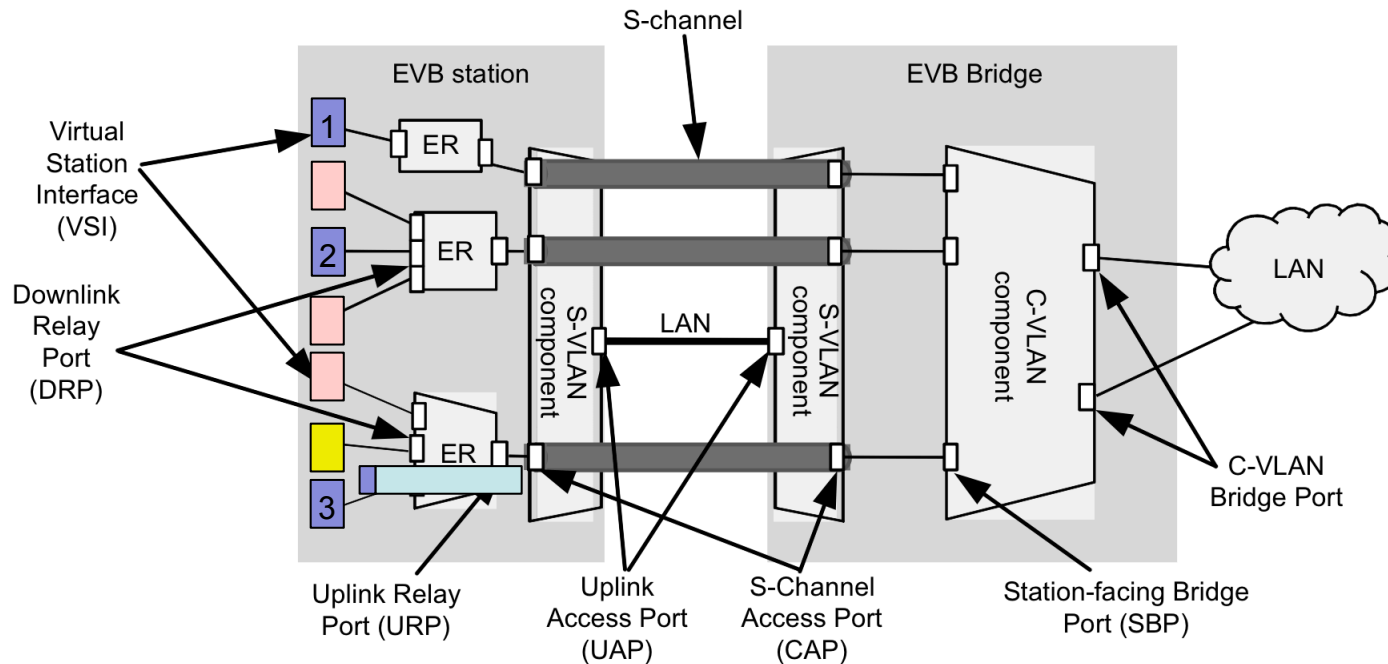
- Comunicación entre dos VMs en diferente vSwitch
- Se etiqueta la trama con un S-Tag (QinQ) para transportarla al switch físico e identificar al S-channel
- El S-channel identifica al vSwitch
- CDCP = “S-Channel Discovery and Configuration Protocol”
- CDCP emplea LLDP con nuevos TLVs
- Ejemplo (...)



802.1Qbg-2012 Figure 40-1—EVB architecture overview

# 802.1Qbg S-channels

- Ejemplo
  - Trama de VSI 1 a VSI 3, en la VLAN azul
  - Se etiqueta con S-Tag para el S-channel
  - Se retira el S-Tag y se decide dónde está el destino
  - Se etiqueta con un nuevo S-Tag para el S-channel que lleva al destino
  - Se retira el S-Tag y el vSwitch entrega la trama al VSI
  - La trama no ha sido vista por el vSwitch donde está el VSI 2



802.1Qbg-2012 Figure 40-1—EVB architecture overview

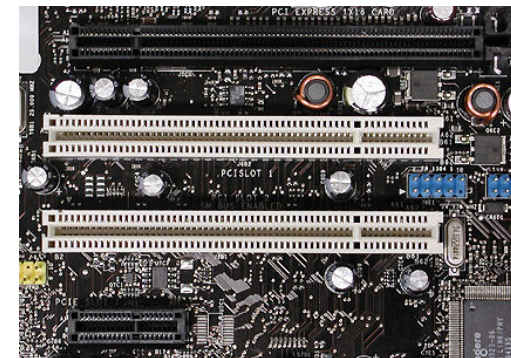
# 802.1Qbg VDP

- VDP = “VSI discovery and configuration protocol”
- VSI = “Virtual Station Interface”
- Permite notificar al switch físico de la presencia de una VM
- Eso permite la configuración del puerto del switch con el perfil necesario para esa nueva VM
- Transportado como TLVs sobre ECP (*Edge Control Protocol*)
- ECP a su vez son tramas Ethernet con Ethertype 0x8940, incluye confirmaciones

# PCIe IO Virtualization

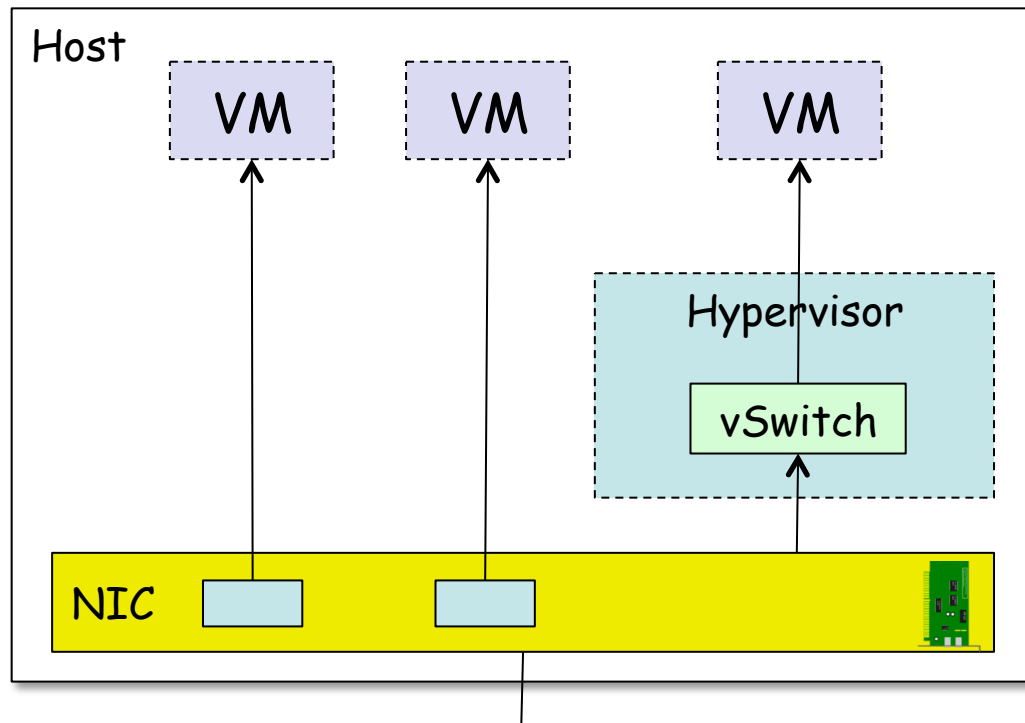
# PCI Express

- PCI-SIG : *Peripheral Component Interconnect Special Interest Group* (consorcio de fabricantes)
- Interconexión para periféricos I/O
- Evolución de PCI y PCI-X
- Enlace punto-a-punto entre dos dispositivos (4 pins por “lane”)
- Un protocolo (y paquetes) para las transferencias
- Crece aumentando el número de “lanes” (pistas)
- Según la generación (1-3) entre 250MBytes/s (2Gbps) por pista y 1000 MBytes/s (8Gbps) por pista (full-duplex)



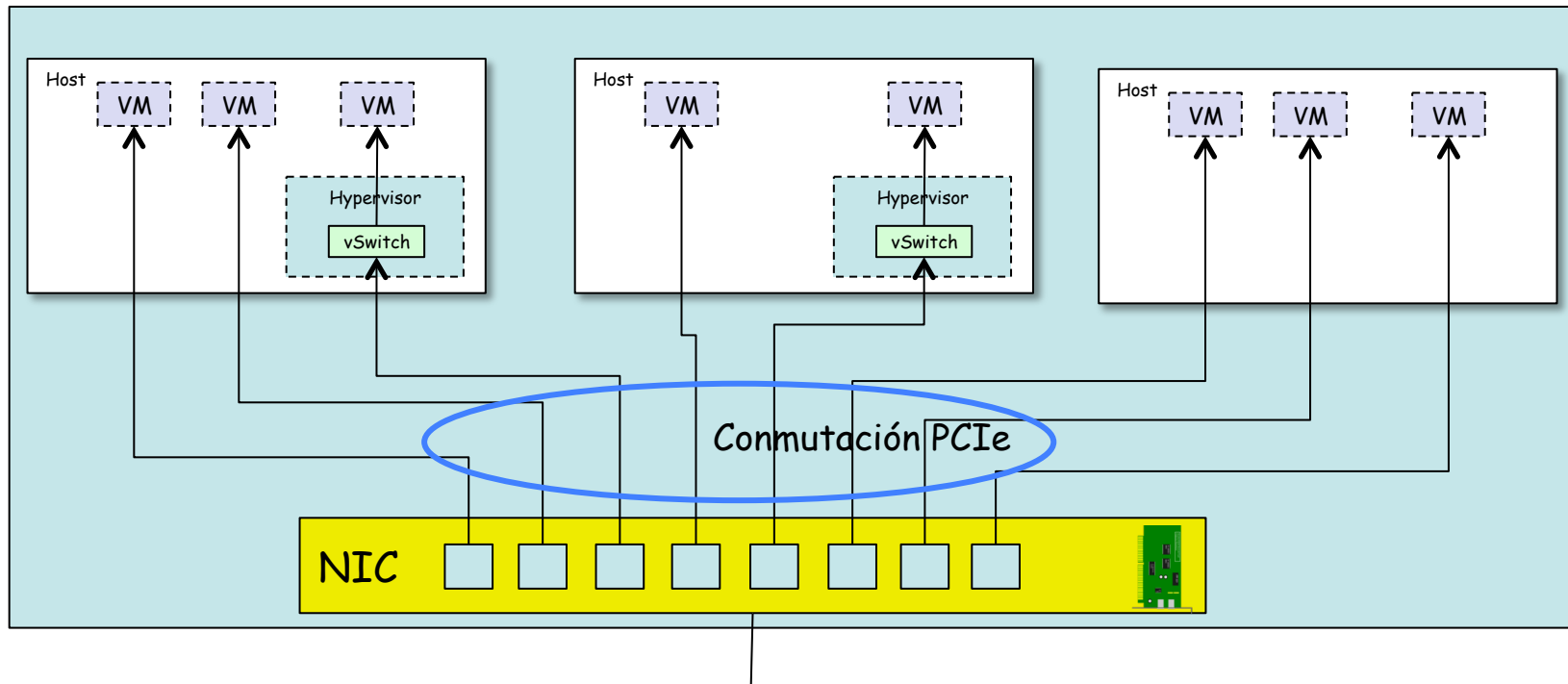
# SR-IOV

- “Single Root Input/Output Virtualization”
- La NIC física se virtualiza (hasta centenares de instancias)
- Tiene buffers independientes para cada instancia
- La NIC virtual se asigna a la VM
- A partir de ahí el tráfico no necesita pasar por el hypervisor
- La NIC puede mover los datos por DMA a la VM
- Lo mismo con Fibre Channel



# MR-IOV

- “Multi Root Input/Output Virtualization”
- Por ejemplo en un entorno *blade*
- Se comparte la NIC entre diferentes hosts
- Ahorra en NICs y en consumo eléctrico
- Requiere una estructura de conmutación PCIe





# 802.1Qca

- Path Control and Reservation
- “This project extends the application of Intermediate System to Intermediate System (IS-IS) to control bridged networks (beyond the capabilities of Shortest Path Bridging) and specifies additional protocols, procedures and managed objects. The new standard will provide explicit path control, bandwidth and stream reservation, redundancy (protection or restoration) for data flows and distribution of control parameters for time synchronization and scheduling.”
- 13 de Febrero de 2015 publicaron el borrador 1.4

# HPC

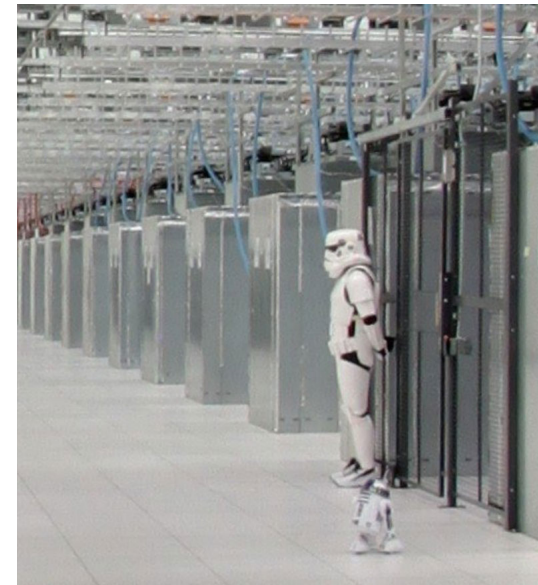
# HPC Clusters

- High Performance Computing
- Solían emplear otras tecnologías como Infiniband o Myrinet
- Les ofrecían bajo retardo y alto throughput, así como técnicas de *Remote Direct Memory Access* (RDMA)
- Hoy en día Ethernet ofrece rendimiento similar
- Clusters basados en paso de mensajes
  - También llamado IPC (Inter-Process Communication)
  - Aplicación distribuida entre los nodos del cluster con acoplamiento fuerte
  - Eso quiere decir que se comunican frecuentemente los nodos entre sí y alto retardo tiene un impacto fuerte en el rendimiento
  - Los supercomputadores son de este tipo
- (...)



# HPC Clusters

- High Performance Computing
- Solían emplear otras tecnologías como Infiniband o Myrinet
- Les ofrecían bajo retardo y alto throughput, así como técnicas de *Remote Direct Memory Access* (RDMA)
- Hoy en día Ethernet ofrece rendimiento similar
- Clusters basados en paso de mensajes
- Clusters para el procesamiento de datos de I/O
  - Las peticiones de los clientes se reparten balanceadas
  - Procesado en paralelo de múltiples peticiones
- (...)



# HPC Clusters

- High Performance Computing
- Solían emplear otras tecnologías como Infiniband o Myrinet
- Les ofrecían bajo retardo y alto throughput, así como técnicas de *Remote Direct Memory Access* (RDMA)
- Hoy en día Ethernet ofrece rendimiento similar
- Clusters basados en paso de mensajes
- Clusters para el procesamiento de datos de I/O
- Clusters de procesamiento de ficheros
  - La petición se divide y se distribuyen las piezas para el procesamiento
  - Posteriormente se unen los resultados



# Equipos

# Arista 7500 Series DC Switch

## Performance

- 30 Terabits per second fabric capacity
- Up to 14.4 billion packets per second
- Up to 3.84 Terabit per second per slot
- 1,152 wire-speed 10GbE ports
- 288 wire-speed 40GbE ports
- 96 wire-speed 100GbE ports
- Under 4 microsecond latency (64 bytes)

## High Hardware Availability

- 2+2 Grid redundant power system
- 1+1 Supervisor redundancy
- N+1 Fabric module redundancy
- N+1 Fan module redundancy

## Virtualization and Provisioning

- VXLAN for next generation DC
- LANZ for microburst detection
- VM Tracer
- Zero Touch Provisioning (ZTP)
- Advanced Event Monitoring
- sFlow (RFC3176)
- IEEE 1588 PTP

## Scalable Architecture

- Dense 40GbE and 100GbE
- Deep packet buffer (18GB per line card)
- 9,216 Virtual Output Queues per port

## Resilient Control Plane

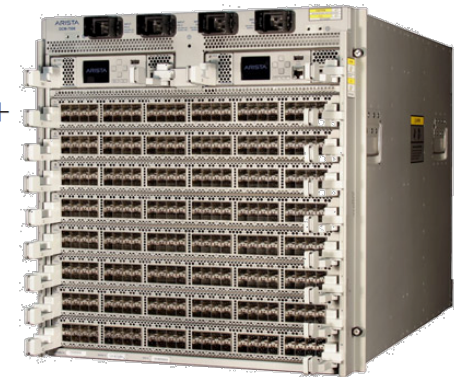
- Quad-core Hyper-threaded x86 CPU
- 16GB DRAM / 4GB Flash
- Dual Supervisor modules
- User applications can run in a VM

## Data Center Class Design

- 7RU or 11RU chassis options
- Front-to-rear airflow for optimized cooling
- 4W per 10GbE port typical power for lower cost of ownership
- Up to 4,608 ports per 44U rack

## Arista Extensible Operating System

- Single binary image
- Fine-grained truly modular network OS
- Stateful Fault Containment (SFC)
- Stateful Fault Repair (SFR)
- Full access to Linux shell and tools
- Extensible platform - bash, python, C++

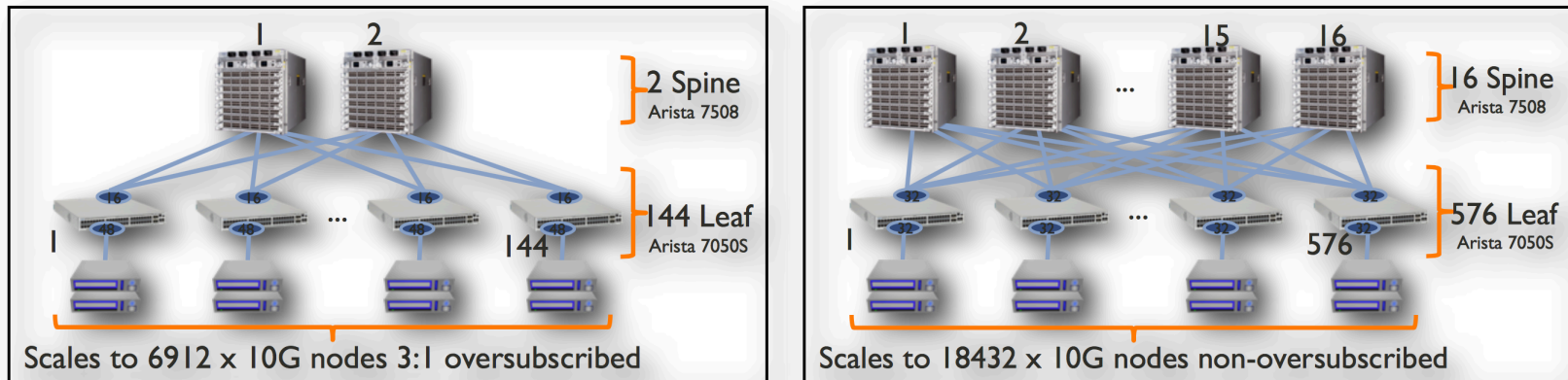




# Arista 7500 Series DC Switch

## Scaling Data Center Performance

The Arista 7500E delivers true line rate non-blocking switching capacity to enable dramatically faster and simpler network designs for data centers that lowers network capital and operational expenses. When used in conjunction with Arista 7050 or 7150 10G leaf switches and Arista's Multi-Chassis Link Aggregation (MLAG) technology, a pair of 7508E Switches can support over 6,000 Servers with a leaf and spine active/active L2 network topology. A combination of 16 Arista 7508E switches in a spine at Layer 3 scales the network up to over 18,000 10G Servers in a fully non-blocking, low-latency, two-stage network that provides predictable and consistent application performance. The flexibility of the L2 and L3 multi-path design options combined with support for open standards provides maximum flexibility, scalability and network wide virtualization. Arista EOS advanced features provides control, and visibility with single point of management.



*Arista Leaf-Spine Two-Tier Network Architecture*

## Maximum Flexibility

- 64-way ECMP and 128-way MLAG to provide scalable designs and balance traffic evenly across large scale 2 tier leaf-spine designs
- VoQ architecture and deep packet buffering to eliminate head of line blocking
- Flexible allocation of L2 and L3 forwarding table resources for more design choice
- Wide choice of dense 10G/40G/100G modules and MPO ports for single port multi-speed flexibility
- VXLAN and virtualization features to enable next generation data center designs
- PTP, sFlow, DANZ and multi-port mirroring to detect micro-burst congestion and provide network wide visibility and monitoring
- ACL scalability with up to 12K entries per forwarding engine and 72K ACL entries per module



# Arista 7500 Series DC Switch

## Line Card Modules

Wire-speed line cards deliver up to 14.4 Billion packets per second of forwarding with a distributed virtual output queue architecture and lossless fabric that eliminates head-of-line blocking and provides fairness across all ports. Line cards contains up to 18GB of packet memory for approximately 40msec of traffic buffer per ingress port and virtually eliminating packet drops in congestion scenarios. Line cards connects to all fabric modules in a non-blocking full mesh.

The Arista 7508 and 7504 chassis can be populated with any combination of line cards. For environments requiring the highest performance combined with scalability a range of speed and interface options is available addressing dense 1/10G, 40G and 100G with full support for industry standard connections and comprehensive layer 2 and 3 features for flexible deployment choice.

Embedded optics combined with MPO interfaces provide a multi-speed port (MXP) capability that increases system density with a choice of 10G/40G/100G interfaces. MXP ports support a mix and match option of 12 x 10G, 3 x 40G or 1x 100G per port. With support for up to 400m over multi-mode fiber MXP ports provide high density and seamless migration from 10G to 100G without replacing transceivers or lowering system density.

Line cards with CFP2 and QSFP support industry standard 100G optics for both single and multi-mode fiber for distances up to 40km.



**12 port 100GbE QSFP line card for broad interface choice and high density**  
 - QSFP optics for flexible 10G, 40G and 100G with standards compliant optics



**12 port 100GbE SR10 MXP line card with embedded optics**  
 - Maximum 96 100GbE, 288 40GbE and 1,152 10GbE ports  
 - Up to 300/400m on OM3/OM4 for standards compliant 10G, 40G and 100G



**6 port 100GbE CFP2 line card for flexible range of 100G, 40G and 10G ports**  
 - CFP2 optics for standards compliant LR4, SR10 and ER4 interfaces



**36 port QSFP+ 40G line card for 10G/40G**  
 - 288 40GbE or 1,152 10GbE ports with QSFP+ optics and breakout cables  
 - Choice of Copper, Multimode and Single-mode with 40G and 10G options



**48 port SFP+ for 1/10GbE and 2 port 100GbE SR10 MXP line card**  
 - Up to 72 10G ports per line card or 48 1/10GbE ports and flexible 40G/100G  
 - Two MXP ports allow choice of 2 x 100GbE, 6 x 40GbE or 24 x 10GbE



**48 port SFP+ line card for wire-speed 1/10GbE and consistent features**  
 - Dense 10G with deep buffers  
 - Broadest range of 1GbE and 10GbE transceivers and copper cables

# Arista 7500 Series DC Switch

## Layer 2 Features

- 802.1w Rapid Spanning Tree
- 802.1s Multiple Spanning Tree Protocol
- Rapid Per Vlan Spanning Tree (RPVST+)
- 4096 VLANs
- Q-in-Q
- 802.3ad Link Aggregation/LACP
  - 64 Ports / Channel
  - 256 groups per system (1152 groups \*)
- MLAG (Multi-Chassis Link Aggregation)
  - Uses IEEE 802.3ad LACP
  - 128 ports per MLAG
- 802.1Q VLANs/Trunking
- 802.1AB Link Layer Discovery Protocol
- 802.3x Flow Control
- Jumbo Frames (9216 Bytes)
- IGMP v1/v2/v3 snooping
- Storm Control
- Private VLANs \*
- 802.1 AVB \*

## Layer 3 Features

- Static Routes
- Routing Protocols: OSPF, OSPFv3, BGP, MP-BGP, IS-IS, and RIPv2
- 128-way Equal Cost Multipath Routing (ECMP)
- VRF
- BFD
- IGMP v2/v3
- PIM-SM / PIM-SSM
- Anycast RP (RFC 4610)
- MSDP
- VRRP
- Virtual ARP (VARP)
- Policy Based Routing (PBR)
- Route Maps

## Virtualization Support

- VXLAN Gateway (draft-mahlingam-dutt-dcops-vxlan-01)
- VXLAN Tunnel Endpoint
- VXLAN Bridging
- VM Tracer VMware Integration
  - VMware vSphere support
  - VM Auto Discovery
  - VM Adaptive Segmentation
  - VM Host View

## Quality of Service (QoS) Features

- Up to 8 queues per port
- Strict priority queueing
- 802.1p based classification
- DSCP based classification and remarking \*
- Egress shaping / WRR \*
- Policing / Shaping
- Rate limiting \*
- Explicit Congestion Notification (ECN)
- Per-Priority Flow Control (PFC)
- 802.1Qaz Enhanced Transmission Selection (ETS)\*
- Data Center Bridging Extensions (DCBX)\*

# Arista 7500 Series DC Switch

## Extensibility

- Linux Tools
  - Bash shell access and scripting
  - RPM support
  - Custom kernel modules
- Software Defined Networking (SDN)
  - eAPI
  - OpenStack Neutron Support
- Programmatic access to system state
  - Python
  - C++
  - eAPI
  - OpenStack Neutron Support
- Native KVM/QEMU support

## Line card Features

- 9216 Byte Jumbo Frame Support
- 8 Priority Queues per Port
- 1152 Link Aggregation Groups (LAG)
- 32 Ports per LAG
- 128K-256K MAC Addresses
- 128K ARP Entries
- 128K-256K IPv4 Host Routes
- 64K IPv4 Unicast LPM
- 12K-16K IPv6 Unicast LPM Routes
- 128K-256K IPv6 Unicast Host Routes
- 12K-256K Multicast Routes
- 12,000 ACL Entries per Forwarding Engine
- Up to 72,000 ACL Entries per Line card

## Fabric Features

- 30 Terabit/sec Capacity
- 3.84 Terabit/sec per Line card
- 5.12 Terabit/sec per Fabric Module
- N+1 Redundant
- Non-blocking
- Virtual Output Queueing
- Self-healing
- Distributed Scheduler
- WFQ, CIR\*, ETS\*, Fixed Priority

## Standards Compliance

- 802.1D Bridging and Spanning Tree
- 802.1p QOS/COS
- 802.1Q VLAN Tagging
- 802.1w Rapid Spanning Tree
- 802.1s Multiple Spanning Tree Protocol
- 802.1AB Link Layer Discovery Protocol
- 802.3ad Link Aggregation with LACP
- 802.3x Flow Control
- 802.3ab 1000BASE-T
- 802.3z Gigabit Ethernet
- 802.3ae 10 Gigabit Ethernet
- 802.3ba 40 Gigabit Ethernet
- 802.3ba 100 Gigabit Ethernet