

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Tema 1

Temas de teoría

1. Introducción
2. Tecnologías LAN
 - Ethernet para redes Campus
 - LANs inalámbricas 802.11
3. Diseño de Campus LANs
4. Tecnologías WAN y acceso
 - PDH y SDH
 - ATM
 - MPLS
 - xDSL
 - FTTH



Planificación tentativa

Días	Lunes	Jueves
1 sept y 4 sept		Presentación. Ethernet
8 sept y 11 sept	P1 (Switch)	Bridging. VLANs
15 sept y 18 sept	P2 (VLANs)	STP
22 sept y 25 sept	P3 (STP)	Problemas. MSTP. LAG
29 sept y 2 oct	P3 (STP)	Switch L2/3. WiFi
6 oct y 9 oct	P4 (LAG)	Diseño. Ejercicios
13 oct y 16 oct	P5 (L2/3)	VRRP.
20 oct y 23 oct	P5 (L2/3)	Evaluable A. Ejercicios
27 oct y 30 oct	P6 (VRRP)	SDH
2 nov y 6 nov	P6 (VRRP)	Evaluable B. Ejercicios
10 nov y 13 nov	P7 (dot1Q)	MPLS. ADSL
17 nov y 20 nov	P8 (WiFi)	Evaluable C. Ejercicios
24 nov y 27 nov	P8 (WiFi)	FTTH
1 dic y 4 dic	Prácticas	Evaluable D. Ejercicios
8 dic y 11 dic	FESTIVO	Evaluable E. Test. Fin
15 dic y 19 ene	Examen ordinario	Examen de recuperación

Evaluación (ordinaria)

- 30% Prácticas
- 30% Examen final
- 30% Evaluación continua en el aula
 - 5 actividades en el aula (5% de la nota cada uno)
 - Problemas o tests
 - Las fechas tentativas están en el calendario
- 10% Ejercicio en grupo o individual

60% = examen + ejercicios (mínimo mitad de eso)

Prácticas	Examen final	Evaluación continua	Ejercicio
30%	30%	30%	10%

Resultados de aprendizaje	Actividad de evaluación	Peso (%)	Carácter recuperable	Nota mínima requerida
R1, R5	Pruebas de evaluación continua individual (ejercicios, normalmente en el aula)	30	Sí	Entre ésta y la actividad siguiente se debe alcanzar el 30% de la nota total de la asignatura para que se sume a la calificación final
R1, R3, R4, R5, R6	Pruebas escritas que recojan los conceptos adquiridos (examen final sin apuntes)	30	Sí	Entre ésta y la actividad anterior se debe alcanzar el 30% de la nota total de la asignatura para que se sume a la calificación final
R2, R3, R4, R7, R8, R9	Ejercicio corto de diseño de red en grupo (entrega de informe)	10	No	No
R6, R7, R9	Pruebas de laboratorio de resolución de problemas prácticos y comprensión de conceptos	30	No	No



Cómo encontrarme

- daniel.morato@unavarra.es
- <http://www.tlm.unavarra.es/~daniel>
- Despacho en la segunda planta del edificio de Los Pinos
- Mirad mi agenda pública (en mi web)
- Tutorías:
 - Horario oficial en mi web pero me podéis encontrar con otro alumno
 - Escribidme para quedar o puedo estar con otra persona
 - Mirad antes: <http://tinyurl.com/drmorato-public-cal>



Conceptos previos

Arquitectura de Redes, Sistemas y Servicios

- Arquitectura de protocolos
- Circuitos y paquetes
 - Paquetes en LAN y WAN, store&forward
 - Circuitos virtuales
 - Ethernet, WiFi, ATM, PDH



Redes de Ordenadores

- IP
 - Direccionamiento, tablas de rutas
 - Protocolos de soporte a IP (ARP, ICMP)
 - IMPRESCINDIBLE, tanto para teoría como para prácticas
- Configuración básica de equipos Linux/Cisco

Ejemplos de repaso

- Formato de la trama Ethernet (direcciones MAC y Ethertype)
- Aprendizaje de direcciones MAC en un puente Ethernet
- Cómo toma decisiones de reenvío un puente Ethernet
- Por qué CSMA/CD ya no es relevante en Ethernet
- Conceptos de asociación a punto de acceso 802.11
- Tramas 802.11 hacia y desde el sistema de distribución
- Versiones de 802.11 (802.11b/g/n/ac), canales, velocidades
- Conmutación de circuitos (establecimiento, transferencia,...)
- Jerarquía de multiplexación TDM en PDH (E1, E3, etc)
- PVCs en ATM, uso de VPI/VCI, celda ATM
- Dado un prefijo y máscara (ej. 192.168.32.0/22) dividir en subredes
- Saber si una dirección IP pertenece a una subred
- Dada una dirección IP y una tabla de rutas decidir qué ruta es la que se empleará (*longest-prefix-match*). Ruta por defecto
- Mensajes ARP-Request y Reply: cuándo se usan, a qué equipos llegan
- *Ping* (ICMP ECHO REQUEST/REPLY)
- `show running-config`
- `configure terminal`
- `ifconfig`

Estandarización

Estándares

- **De facto:**
 - Alta penetración y aceptación en el mercado
 - No son “oficiales”
- **De jure:**
 - Organizaciones oficiales (ITU, OSI, ANSI, etc)
- **Propietarios:**
 - Propiedad de una corporación
 - Captación y supeditación de usuarios
 - Si tiene éxito puede alzarse como estándar de facto

Organizaciones de estandarización

- **Oficiales:**
 - Consultores independientes
 - Secretarías de estado de diferentes países
 - Ajenos (?) a impulsos comerciales
 - Ejemplos: ITU, ISO, ANSI, IEEE, etc.
- **Consortios de fabricantes:**
 - Fabricantes de equipos de comunicaciones y software
 - Para sus productos para conquistar un mercado
 - Promueven la interoperabilidad de sus productos
 - Ejemplos: ATM Forum, Frame Relay Forum, ADSL Forum, Gigabit Ethernet Alliance, WiFi Alliance, etc.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) <http://www.ieee.org> (EE.UU. 1884)

- Sistemas aeroespaciales, computadores, telecomunicaciones, ingeniería biomédica, electrónica de consumo, etc.
- Comité 802: estándares para LAN/MAN (<http://www.ieee802.org>)
- Publica estándares y más de un centenar de revistas, esponsoriza >300 conferencias cada año

ITU (International Telecommunication Union) <http://www.itu.int> (Ginebra, Naciones Unidas)

- Compuesto por: ITU-T (antes CCITT), ITU-R (antes CCIR), ITU-D

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) <http://www.etsi.org> (Sophia-Antípolis)

- Estandarización en las ICT (TIC) dentro de Europa
- Miembros incluyen fabricantes, operadores, administradores, proveedores de servicios, investigadores, usuarios, etc.

Internet

- IETF, ISOC, IAB, IANA, ICANN, RFCs...

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Tema 2: Ethernet

Ethernet hoy en día

- Primera versión comercial a 10Mb/s (coaxial)
- Hoy en día se vende a 10Gb/s, 40Gb/s y 100Gb/s y más...
- Par trenzado (de distintos tipos) y fibra óptica principalmente
- Surgió para LAN pero ya se emplea en WAN
- Ofrece servicios para operadoras y el acceso (primera milla)
- Nació para LAN coaxial, basada en ALOHA, y ha vuelto a inalámbrico (WiFi)
- Empezó para PCs e impresoras y ahora se emplea también en microcontroladores en coches, aviones, hogares, industria...

Hubs vs Bridges

- Hubs/repetidores
 - Unen “segmentos” Ethernet formando un solo “dominio de colisión”
 - Permiten exceder los límites de distancia y número de hosts conectados
- Bridge/puente (= *switch Ethernet*)
 - No es un elemento en la LAN Ethernet original (coaxial, repetidores)
 - Unen segmentos Ethernet a nivel de enlace
 - Idealmente de un dominio a otro reenvían solo las tramas dirigidas a hosts del otro dominio
 - Es un conmutador de paquetes (*switch*) que hace *store&forward*
 - Hoy en día un puerto de switch por estación
 - Se pueden interconectar puentes básicos pero sin hacer bucles
 - Cada enlace es un dominio de colisión independiente (si es half-dúplex)
 - Los enlaces pueden ser *Full-Duplex*, con lo que no hay CSMA/CD

Conmutadores y *full-duplex*

- Envío de host a switch es posible simultáneamente a envío de switch a host
- No puede haber colisiones, no es necesario CSMA/CD, se desactiva
- Enlaces entre switches, igual (un switch no sabe si al otro lado hay un host)
- Cada enlace a X Mb/s puede sostener esa tasa en cada sentido
- ¿Puede haber varias tramas “en el cable”?
- En el cable pero en cable UTP no más de dos:
 - Propagación en 100m de cable es aproximadamente 500ns
 - Tiempo transmisión trama 64B@1Gb/s => $512 \text{ bits} / 1 \text{ bit/ns} = 512 \text{ ns}$
 - Es decir, antes de terminar de transmitir el último bit de la trama habrá llegado ya el primer bit de la misma al otro extremo del cable
- En fibra óptica:
 - Sería posible con mayores distancias (fibra óptica) y/o mayores tasas de transmisión (menor tiempo de transmisión)
 - Ejemplo: Tiempo transmisión trama 64B@10Gb/s => $512 \text{ bits} / 1 \text{ bit/ns} = 51.2 \text{ ns}$
 - Propagación en 1Km de f.o. aprox. 5000ns (cabían casi 100 tramas de 64B@10Gb/s)
- Conmutación asimétrica (imposible en un hub)
 - Los switches permiten diferentes velocidades en los puertos
 - Un paquete se recibe completamente a memoria y se puede transmitir después a una velocidad diferente
 - Esto implica un tiempo de transmisión diferente

Learning bridge

Lista de direcciones MAC asociadas a cada puerto

- También llamada “Base de datos de filtrado” (*Filtering Database*)
- En una CAM (“*Content Addressable Memory*”)
- Cuando recibe una trama por un puerto:
 - Memoriza la dirección MAC **origen** unicast asociándola en la tabla a ese puerto (si ya la tenía actualiza el valor del puerto, asocia como máximo a un puerto)
 - Si la dirección MAC **destino** es de multicast o broadcast o (es unicast y) no está en la CAM hace inundación (*flooding*)
 - Si la MAC **destino** unicast está en la base de datos de filtrado envía por el puerto indicado salvo que sea el mismo puerto por el que la recibió

Aging:

- Memoria finite (tamaño de la CAM)
- Las entradas en la tabla “envejecen”
- Se renueva la edad al recibir una trama con esa dirección MAC origen
- Si caduca se elimina la entrada
- Casos:
 - Cambio de NIC en un host
 - Deconexión de un host de un switch y conexión a otro

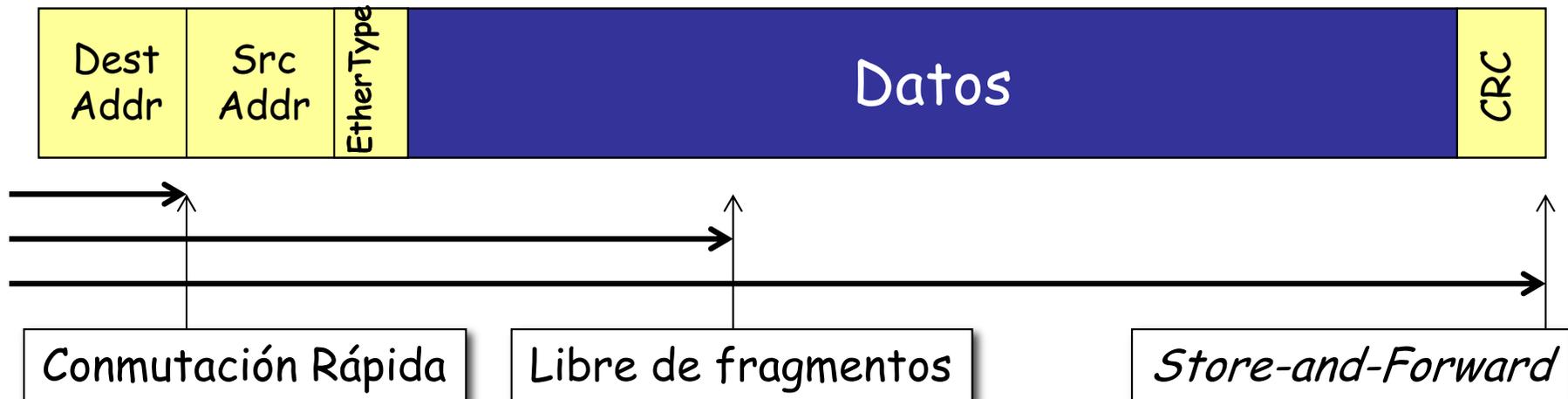
Técnicas de conmutación

Store-and-forward

- Espera a recibir toda la trama
- Mayor latencia

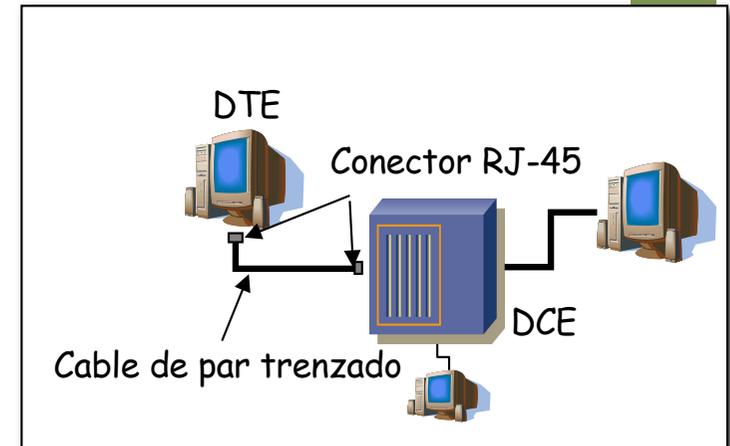
Cut-through

- Una vez procesada la MAC destino
- Menor latencia
- Más errores
- Tipos:
 - Rápida (...)
 - Libre de fragmentos



Versiones 10Mb/s

- Coaxial (10Base5 y 10Base2) obsoleto
- Cable UTP cat.3 o superior (10Base-T, IEEE 802.3i)
 - Conector RJ-45, cable máximo de 100 m (emplea 2 pares de hilos)
 - Topología física en estrella (con “Hub”), topología lógica en bus
 - Hubs ya no se venden, apariencia externa de switch Ethernet
 - Comunicación por hub es half-dúplex (CSMA/CD)
 - No puede haber ciclos con hubs
- Fibra óptica (10BaseFL, IEEE 802.3j)
 - Fibra óptica multimodo (50 o 62.5 μm)
 - Hasta 2 Km
 - Dos hilos de fibra (lo más habitual en LAN)
 - Inmune a interferencias electromagnéticas
 - Hubs
 - Usado en:
 - El *backbone* de una LAN
 - Cableado vertical
 - Larga distancia a un host



DTE = Data Terminal Equipment
DCE = Data Communications Equipment

Versiones 100Mb/s

- NO Coaxial
- Cable UTP cat.5 ó superior (100Base-TX, IEEE 802.3u)
 - Conector RJ-45, cable máximo de 100 m (emplea 2 pares de hilos)
 - Emplea Hubs a 100Mb/s (incompatible con transmisión a 10Mb/s)
- Fibra óptica (100BaseFX)
 - Fibra multimodo (50 ó 62.5 μm), dos hilos de fibra
 - 2 Km (full-duplex) ó 412 m (half-duplex)
- Máximo 1 hub entre 2 hosts
 - Se mantiene CSMA/CD y tamaño de trama
 - Aumentar tasa de transmisión obliga a reducir el diámetro de la red para poder detectar colisiones
- Se incluye autonegociación (interfaces 10/100 Mb/s con autoneg.)

Versiones 1000Mb/s

- NO Coaxial
- Cable UTP cat.5 ó superior (1000Base-T, 802.3ab)
 - Conector RJ-45, cable máximo de 100 m (emplea **4 pares** de hilos)
 - El *hub* existe en el estándar pero no se utiliza
- Fibra óptica (802.3z)
 - 1000Base-SX : Fibra multimodo (200-500 m)
 - 1000Base-LX : Fibra monomodo (5-10 Km)
 - Otras variantes (según fabricante, durante procesos de estandarización, para primera milla, etc)
- Hub
 - Para no reducir el diámetro a 20m incluye modificaciones a CSMA/CD (*Carrier extension* y *Frame bursting*)
 - Pero se usan hubs sino conmutadores...
- SFP (Small Formfactor Pluggable transceiver)
 - *Hot-swappable Transceiver*
 - La capa física es sustituible en un módulo extraíble
- Jumbo frames
 - Aumento de MTU no estandarizado



Versiones 10Gb/s y más

- Cable UTP cat.6a ó superior (10GBase-T, 802.3an)
 - Conector RJ-45, cable máximo de 100 m (emplea **4 pares** de hilos)
 - Sobre Categoría 6 hasta 55m
 - Solo *full-duplex* (no hay hub 10Gb/s)
- Fibra óptica (802.3ae)
 - 10GBase-SR : F.O. Multimodo (30m con FDDI-grade, 300m con OM3)
 - 10GBase-LR : F.O. Monomodo (10-20Km)
 - 10GBase-ER : F.O. Monomodo (40Km)
 - 10GBase-SW/LW/EW : WAN PHY (9.58Gbps), para mapearse directamente en un contenedor SONET/SDH (VC-4-64c)
- Otras velocidades: 2.5, 5, 25, 40, 50, 100, 200, 400Gb/s

upna

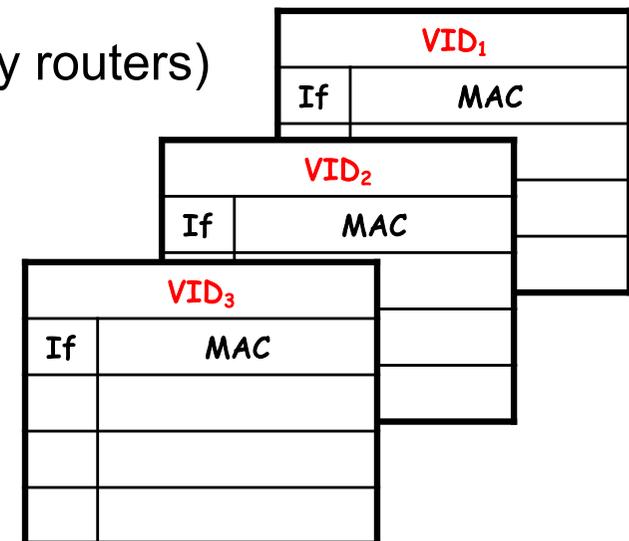
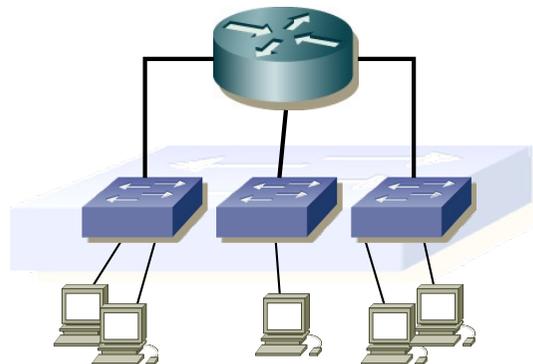
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Tema 2: VLANs

VLANs

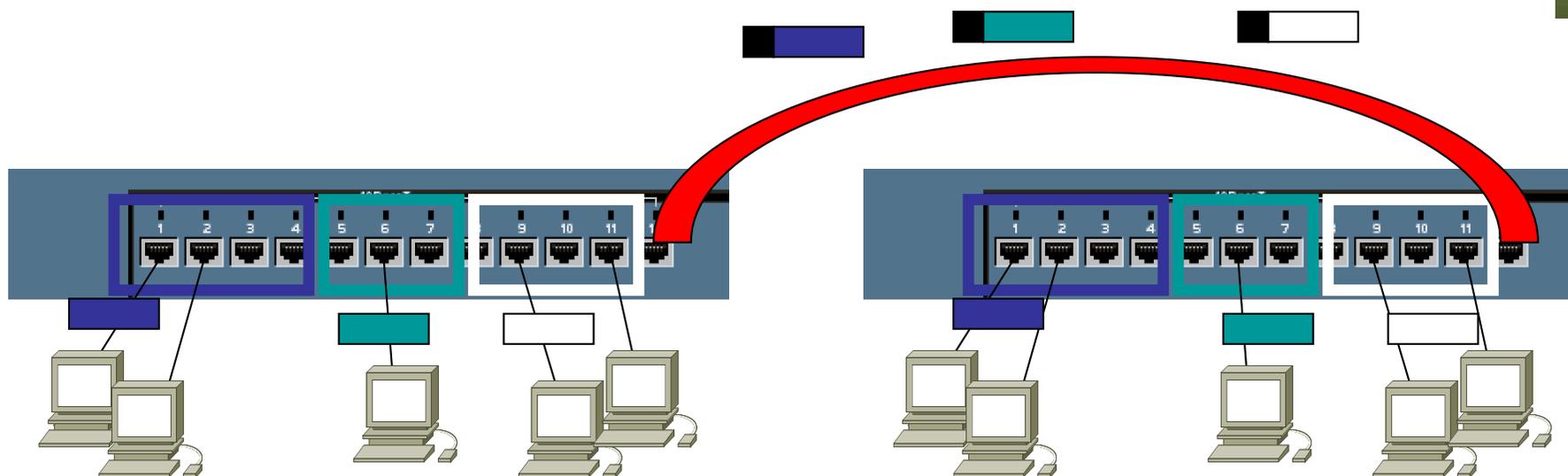
- Conmutador que crea dominios de broadcast independientes
- Cada uno es una *Virtual Local Area Network* (en realidad sería una *Virtual Bridged LAN*)
- Se implementa con una base de datos de filtrado que aprende información para cada VLAN
- Cada puerto tiene asignado un valor de Port VLAN ID (PVID)
- Las tramas que lleguen al puerto (sin *tag*) se asignan a la VLAN de número el PVID
- $0 < \text{VLAN ID} < 4095$
- No tiene sentido unir en capa 2 VLANs pues es equivalente a tener una sola VLAN
- Comunicación entre VLANs será en capa 3 (IP y routers)

VID	If	MAC



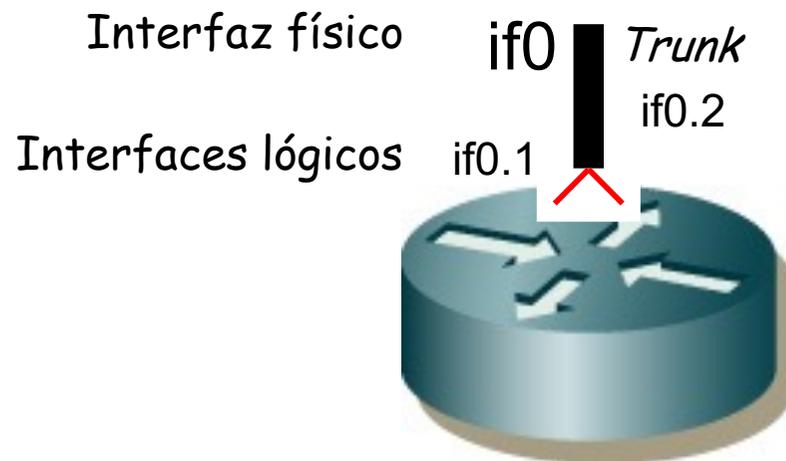
Trunking entre conmutadores

- Encapsulado 802.1Q añade el VLAN ID a la trama Ethernet
- *Tag* de 4 bytes, VLAN-ID (VID) de 12 bits (1-4094)
- Mantiene la MTU y aumenta el tamaño máximo de trama a 1522 bytes
- El tamaño mínimo puede subir a 68 o quedarse en 64 bytes
- Se recalcula el CRC
- Tramas sin etiquetado 802.1Q recibidas por el puerto pertenecen a la VLAN de ID el PVID del puerto
- En un enlace de trunk algunos fabricantes la llaman la VLAN *nativa* o *untagged*, que es la de las tramas sin el encapsulado 802.1Q

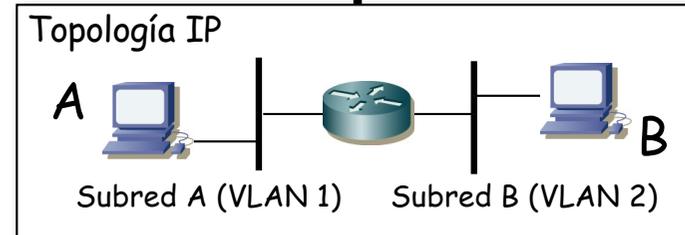
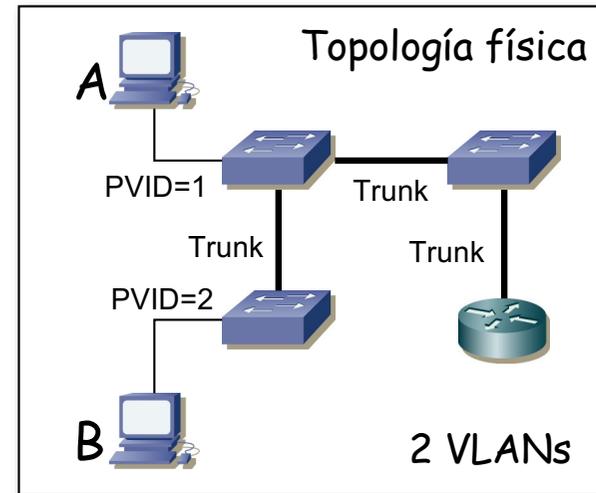


One-armed-router

- 2 VLANs (o más)
- Enlace de *trunking* al router con esas VLANs
- Router: 1 interfaz físico, N lógicos (1 por VLAN)
- Los interfaces lógicos tendrán alguna forma de nombrarse (por ejemplo if0.1 if0.2)
- Configuración de protocolo de capa 3 en interfaces lógicas
- Los interfaces lógicos pueden tener diferentes direcciones MAC



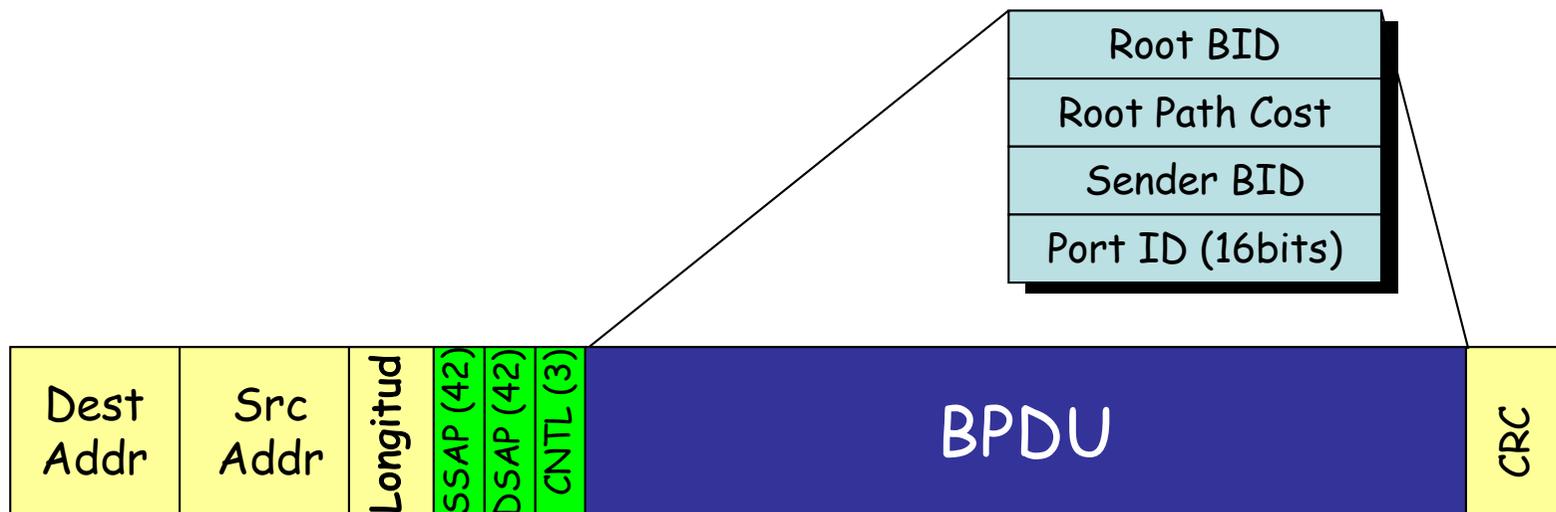
Ejemplo:



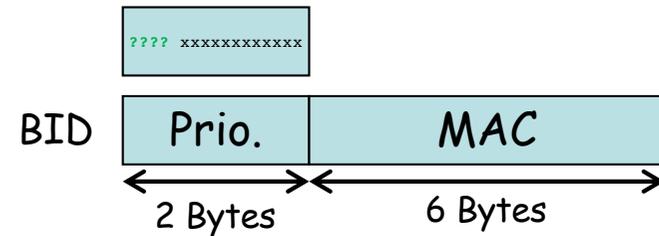
Tema 2: Spanning Tree Protocol

Camino alternativo

- Requieren ciclos en la topología pero tramas podrían quedar en bucle
- Solución clásica: *Spanning Tree Protocol* (STP, 802.1D)
- A partir del grafo de la topología crea un árbol (no tiene ciclos)
- Seleccionan un puente como “raíz” y desde él calculan un árbol
- Es un protocolo *Distance-Vector*
- Los puentes bloquean puertos de enlaces que no están en el árbol
- ¿Cómo? Los puentes crean BPDUs (*Bridge Protocol Data Units*)
- Son enviadas periódicamente, por todos sus puertos
- Destino 01:80:C2:00:00:00 (*Bridge Group Address*)
- Recibidas por puentes adyacentes son procesadas, no reenviadas



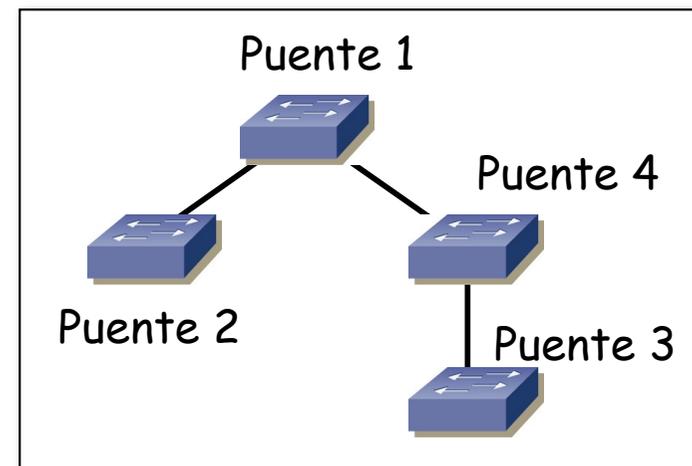
STP



- Bridge ID (BID)
 - BID = { Prioridad, MAC }
 - Prioridad (default: 32768) en múltiplos de 4096 (4b altos de palabra de 16b)
- En la BPDU se anuncia BID del puente raíz y el coste que este switch cree tener hasta él (*Root Path Cost, RPC*)
- Selección de un *Root Bridge*
 - Para toda BPDU que se recibe se decide si anuncia menor *Root BID* que el conocido, para cambiar a considerarlo la raíz o no
 - En una topología estable, pasado un tiempo breve habrán convergido todos los puentes a saber quién es la raíz (las MACs resuelven empates)
- Path Cost
 - Asociado a cada puerto; según su velocidad **o administrativamente**
 - En puente raíz el RPC es 0
 - Se va agregando en un camino creando el RPC (coste hasta el puente raíz)
 - RPC se calcula a partir de las BPDUs recibidas en cada puerto, sumando el coste del puerto al valor anunciado en la BPDU, la menor suma gana
 - Costes por defecto (deben ser configurables por puerto de switch):
 - Antiguos: 10Mb/s=100, 100Mb/s=19, 1Gb/s=4, 10Gb/s=2
 - Actuales: 20.000.000 / Velocidad_en_Mb/s

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 recalculer 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 descartan las tramas que reciben y no se reenvían tramas de usuario por ellos
 - Para decidir por dónde va una trama necesitamos saber qué puertos están bloqueados pero por lo demás sigue la misma lógica de siempre



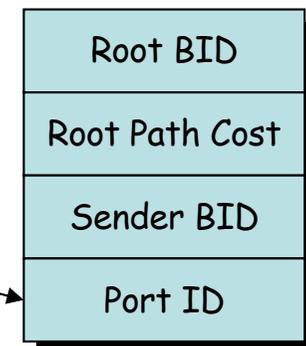
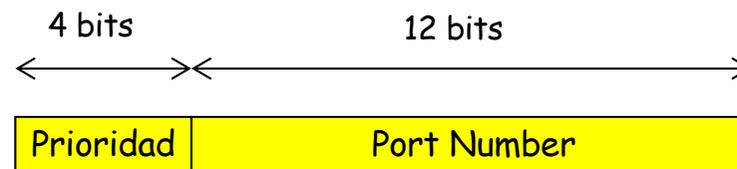
Rapid STP

- RSTP es el STP que aparece en 802.1D-2004 (desde 802.1w)
- Tiempos de convergencia de 2-3 segs (aunque según la topología puede llegar a 30s y dar cuentas a infinito)
- 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 (para decidir el estado)
- Tres **estados** posibles para un puerto:
 - *Discarding*: ni envía ni acepta paquetes de usuario ni aprende
 - *Learning*: no envía ni acepta paquetes de usuario pero aprende MACs
 - *Forwarding*: funcionamiento normal
- Roles posibles para un puerto: *Root*, *Designated*, *Alternate*, *Backup*

RSTP Port Roles

Root Port (puerto raíz)

- Uno en cada puente salvo en el puente raíz, que no tiene
- Es el puerto de un conmutador que tiene el menor *Root Path Cost* (*RPC anunciado+Port Cost*) (menor coste hasta la raíz)
- Ante empate de coste será *Root port* el que entre ellos haya recibido la BPDU con menor BID del que se la envía
- Ante empate en BID será el de la BPDU con menor Port ID
- Es decir, en realidad es un solo coste compuesto:
 - (RootBID, RPC, SenderBID, PortBID, PortIDrecv), el menor gana
- Port ID es un valor de 16bits
 - Tiene una componente de prioridad y un número de puerto
 - El valor de prioridad, entendido como el primer byte ignorando los últimos 4 bits, va en múltiplos de 16
- No hay que confundir “Puente” raíz con “Puerto” raíz



RSTP Port Roles

Designated Port (puerto designado, acaba en estado *Forwarding*)

- El puerto de conmutador en un segmento de LAN con menor *Root Path Cost+Port Cost* es el puerto designado para la LAN
- Es el puerto del switch del segmento de LAN con mejor camino al puente raíz
- Si hay empate el de menor (Sender BID, Port BID) gana

Alternate Port (puerto alternativo, acaba en estado *Discarding*)

- Ha recibido una BPDU con mejor coste desde otro puente (otro BID)

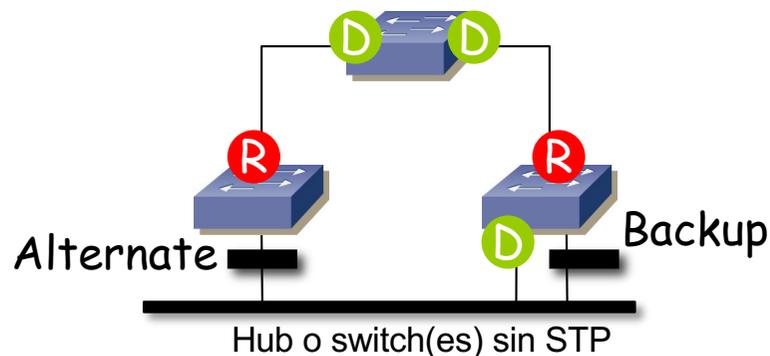
Backup Port (puerto de respaldo, acaba en estado *Discarding*)

- Ha recibido una BPDU con mejor coste desde el mismo puente (BID)

Blocked Port (no es un rol en RSTP)

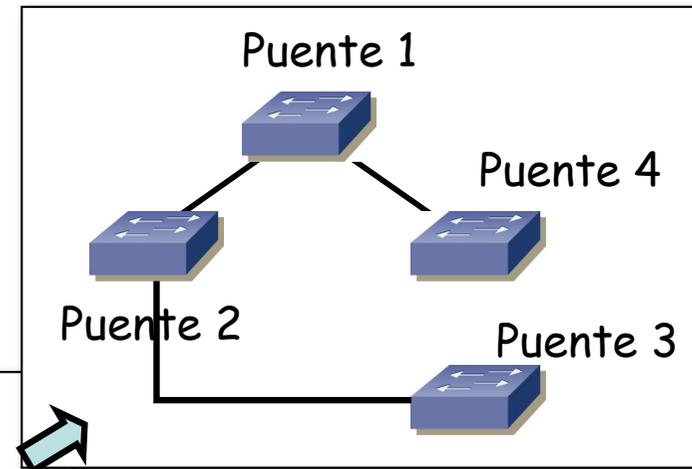
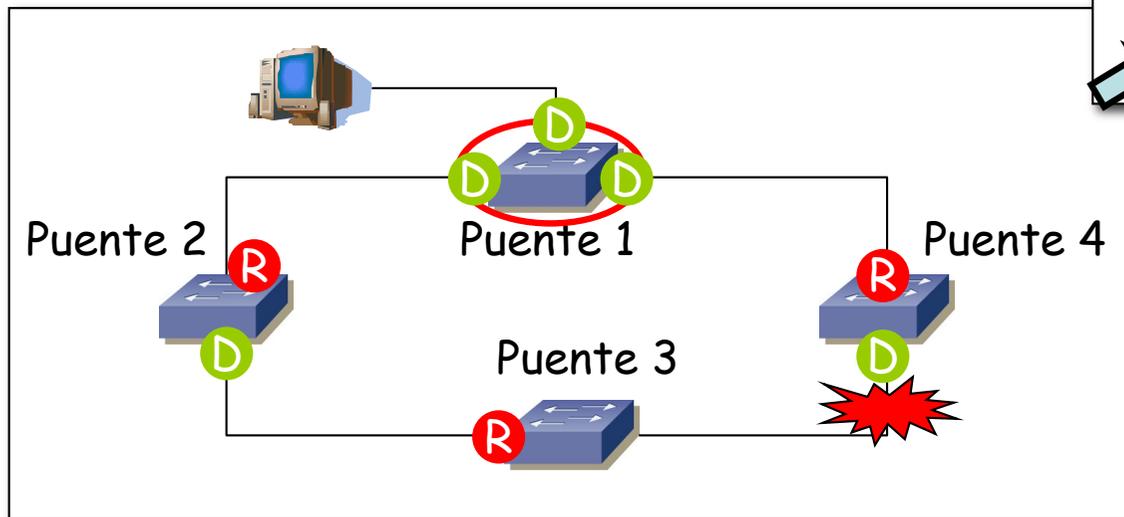
- Se suele llamar así a los puertos con rol Alternate o Backup, que son los puertos que rompen los ciclos en la topología (herencia de STP)

Disabled Port: puerto retirado mediante gestión (*Discarding*)



RSTP: cambios en la topología

- Ante un fallo (switch, puerto, enlace...) se recalcula el árbol
- ¿Cómo?
 - Se dejan de recibir BPDUs del adyacente donde se produce el fallo
 - Caduca la información que daban esas BPDUs
 - Otro camino pasa a ser mejor
 - Se mandan nueva BPDUs
- Tiempo de convergencia:
 - STP clásico 30-60 segs
 - RSTP 2-3 segs (mecanismos extra)



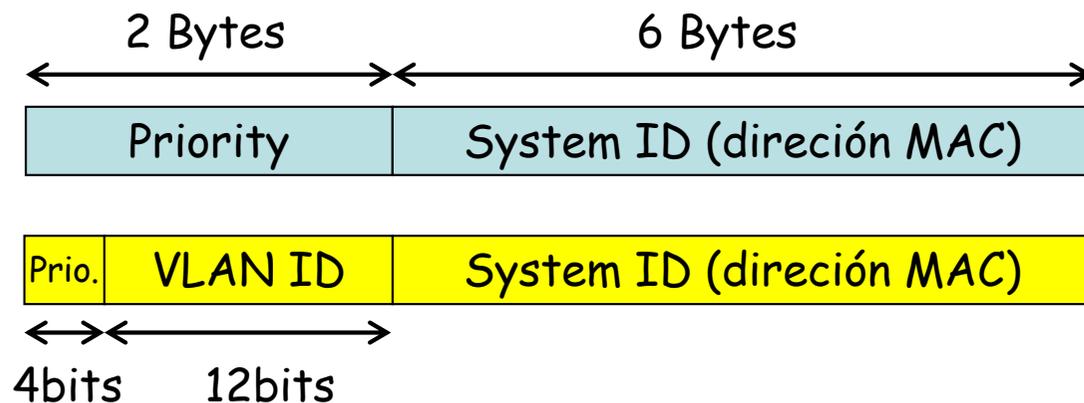
Resumen

- Puente raíz (Root Bridge)
 - El puente con menor BID (Bridge ID)
 - Es el de menor prioridad y en caso de empate el de menor dirección MAC
- Costes por defecto: Velocidad x 10 → Coste / 10
- Rol de Puerto raíz (estado *Forwarding*)
 - Uno en cada puente (menos en el puente raíz)
 - El puerto por el que el puente tiene menor coste hasta la raíz
 - El coste es suma de coste de los puertos en el camino hasta la raíz
 - En caso de empate elige el anuncio del puente adyacente de menor BID
 - En caso de nuevo empate elige el anuncio que venga con menor Port ID
- Rol de Designado (estado *Forwarding*)
 - Uno en cada segmento de LAN (enlace entre dos switches o enlace a host; mientras no haya hubs o switches sin STP es cada cable)
 - El puerto en ese segmento del switch con menor coste hasta el puente raíz
- Puertos “Bloqueados”
 - Los que no sean ni puerto raíz ni designado
 - Normalmente rol “Alternate” y estado “Discarding”
 - Rol “Backup” podría darse con hubs o puentes sin soporte de STP en la red

Tema 2: MSTP, LAGs y Multilayer switch

VLANs y Spanning Trees

- Solución básica: Un Common Spanning Tree (CST) común a todas las VLANs
- MSTP: Multiple Spanning Tree Protocol (modificación 802.1s a 802.1Q)
 - Un ST (MSTI o MST Instance) por *grupo* de VLANs (que puede ser de una)
 - Eso es una topología lógica por VLAN o por grupo de VLANs
 - Para cada MSTI se pueden cambiar parámetros del ST, por ejemplo la prioridad para cambiar el Root Bridge o los costes de los enlaces
- El BID es de 8 bytes, haría falta uno diferente para el puente en cada VLAN
- Así como la dirección MAC se emplea como “system ID”, se introduce (802.1t) un “extended system ID”
- Toma los 12 bits bajos del campo de prioridad y permite crear un BID para cada VLAN sin necesidad de más direcciones MAC
- Es lo que reduce los valores de prioridad a múltiplos de 4096 si entendemos como prioridad los 2 bytes



Link Aggregation

- Los enlaces se agregan en Grupos que actúa como un interfaz
- Tipos: *Switch-to-switch*, *Switch-to-station*, *Station-to-station*
- Implementado entre el subnivel MAC y el LLC
- El agregado mantiene el orden de las tramas de la misma conversación (tramas de la misma MAC→MAC y prioridad)
- ¿Cómo? Mandándolas siempre por el mismo enlace del grupo
- Ofrece: Mayor capacidad, mayor disponibilidad, mayor granularidad
- Configuración automática (Link Aggregation Protocol, LACP) < 1s
- Limitaciones:
 - Todos los enlaces deben ser 802.3 full-duplex de igual capacidad
 - Si la conversación es directamente A→B no puede repartir el flujo en más de un enlace (salvo con información de niveles superiores)

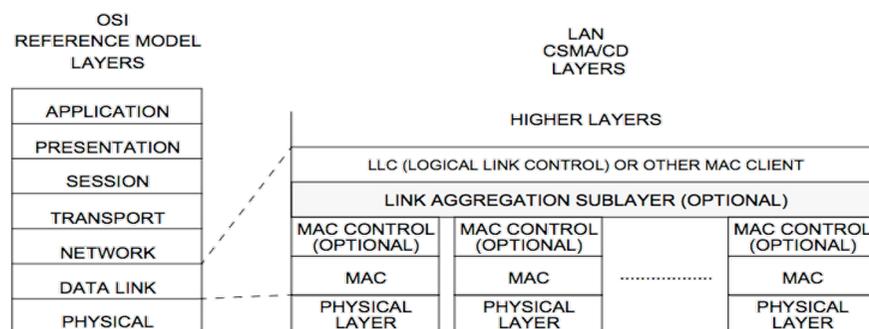
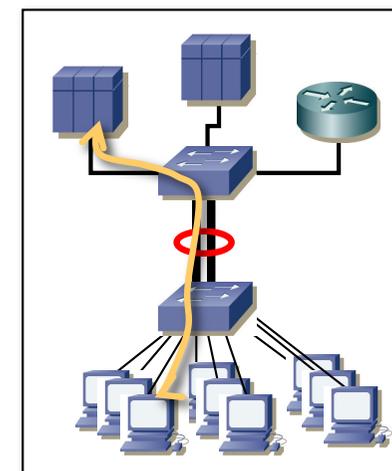


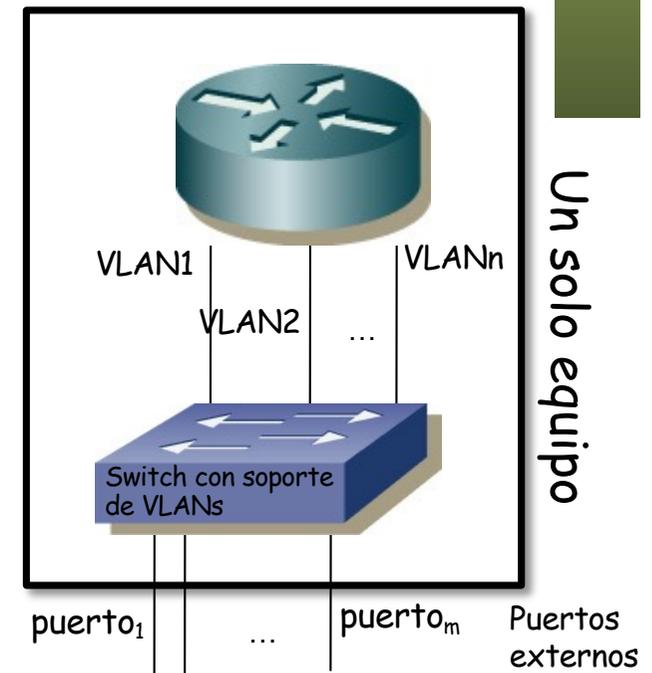
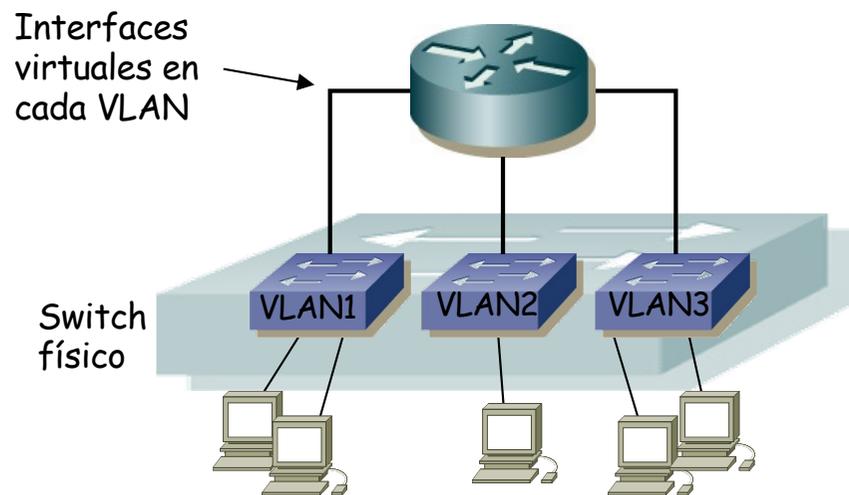
Figure 5-2—Architectural positioning of Link Aggregation sublayer

IEEE 802.1AX



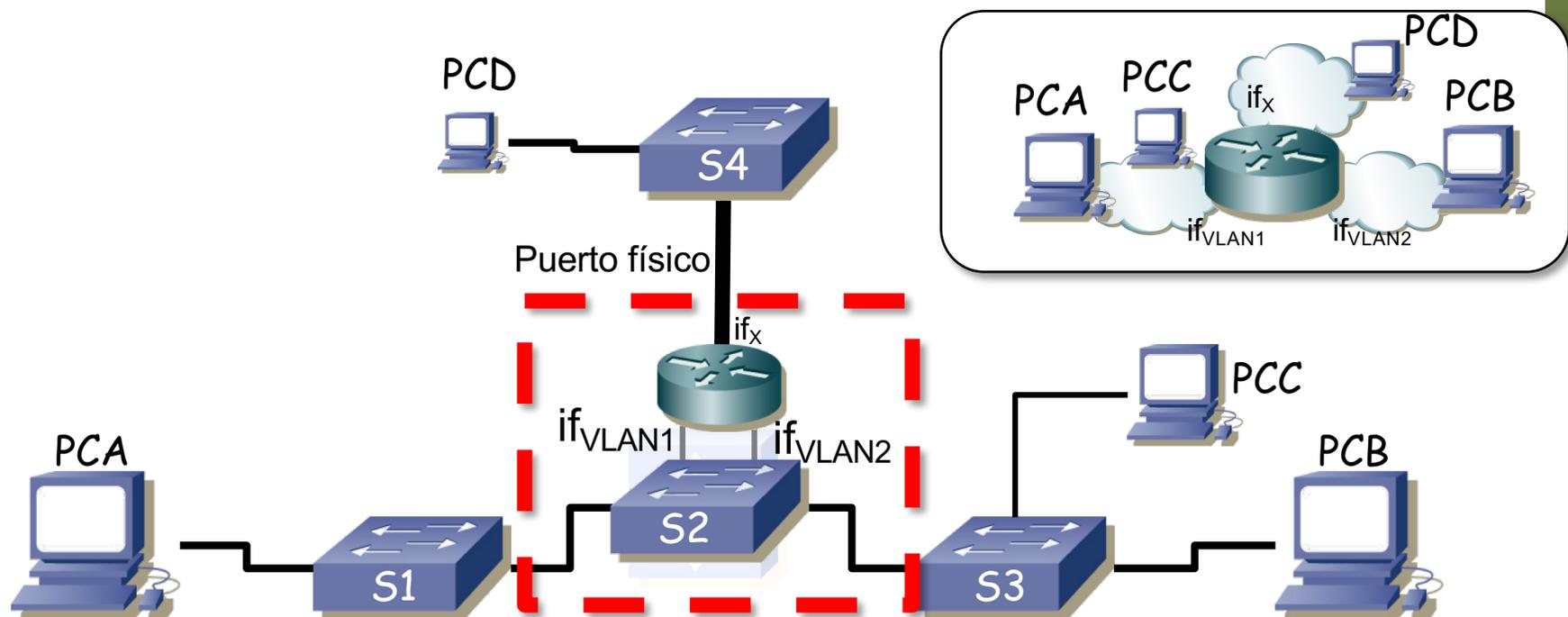
Multilayer switch, Switch L2/3

- Switch con soporte de VLANs
 - Puertos conmutados
 - Base de datos de filtrado (tabla de direcciones MAC)
- También contiene funcionalidad de Router IP:
 - Interfaces virtuales en VLANs, con sus propias MACs
 - Encaminamiento IP, tabla de rutas
- Podemos entenderlo como 2 equipos en uno



Puertos enrutados

- El equipo puede soportar que algunos de sus puertos NO conmuten en capa 2 con el resto
- Serían puertos enrutados
- En este ejemplo, el tráfico que llegue por if_x para otro PC de la misma VLAN no va a ser conmutado en capa 2
- Si no es para la dirección MAC de if_x del router se descarta
- Aunque por ejemplo llegue de S4 por la VLAN 1



upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Tema 2: Tecnologías Wi-Fi

Nivel físico 802.11

802.11b

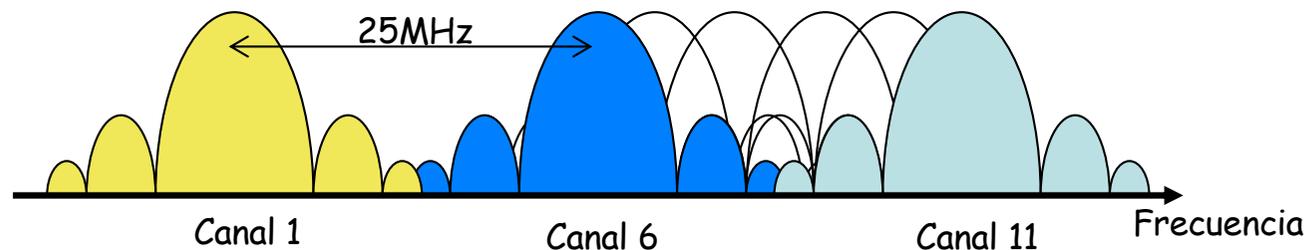
- 2.4 GHz, unos 11-14 canales, 3 sin solape (canales 1, 6 y 11)
- Hasta 11 Mb/s (1, 2, 5.5 Mb/s)

802.11a

- 5 GHz, unos 23 canales, 12 sin solape
- Añade a las velocidades de 802.11b: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mb/ss

802.11g

- 2.4 GHz como 802.11b, calanes iguales, compatible
- Añade las modulaciones de 802.11a a la banda de 2.4GHz
- (Esto son tasas de transmisión, a nivel MAC aproximadamente un 65%)



Nivel físico 802.11

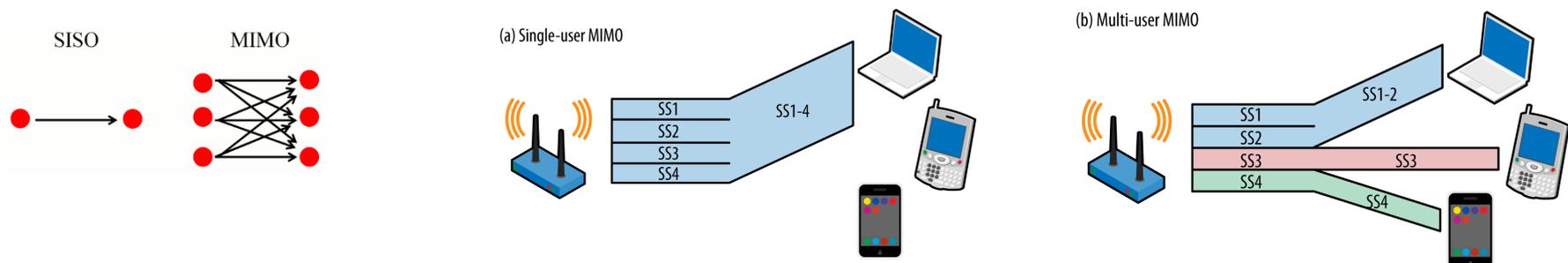
Generational name	Technology supported
Wi-Fi 7	802.11be (in development)
Wi-Fi 6	802.11ax
Wi-Fi 5	802.11ac
Wi-Fi 4	802.11n

802.11n (Wi-Fi 4)

- Tanto en 2.4 GHz como 5 GHz, compatible con 802.11a/b/g
- Canales de diferente BW (20MHz, 40 MHz) y mejoras en subnivel MAC
- 2.4GHz 3 canales sin solape (solo 1 de 40MHz), 5GHz 21 (9 de 40MHz)
- MIMO (*Multiple Input Multiple Output*): Hasta 4 *streams* espaciales
- Con canal de 40 MHz, 4 streams, 64-QAM y codificación 5/6 → 540 Mb/s
- Hoy en día lo normal es hasta 3 streams con máximos de 450 Mb/s

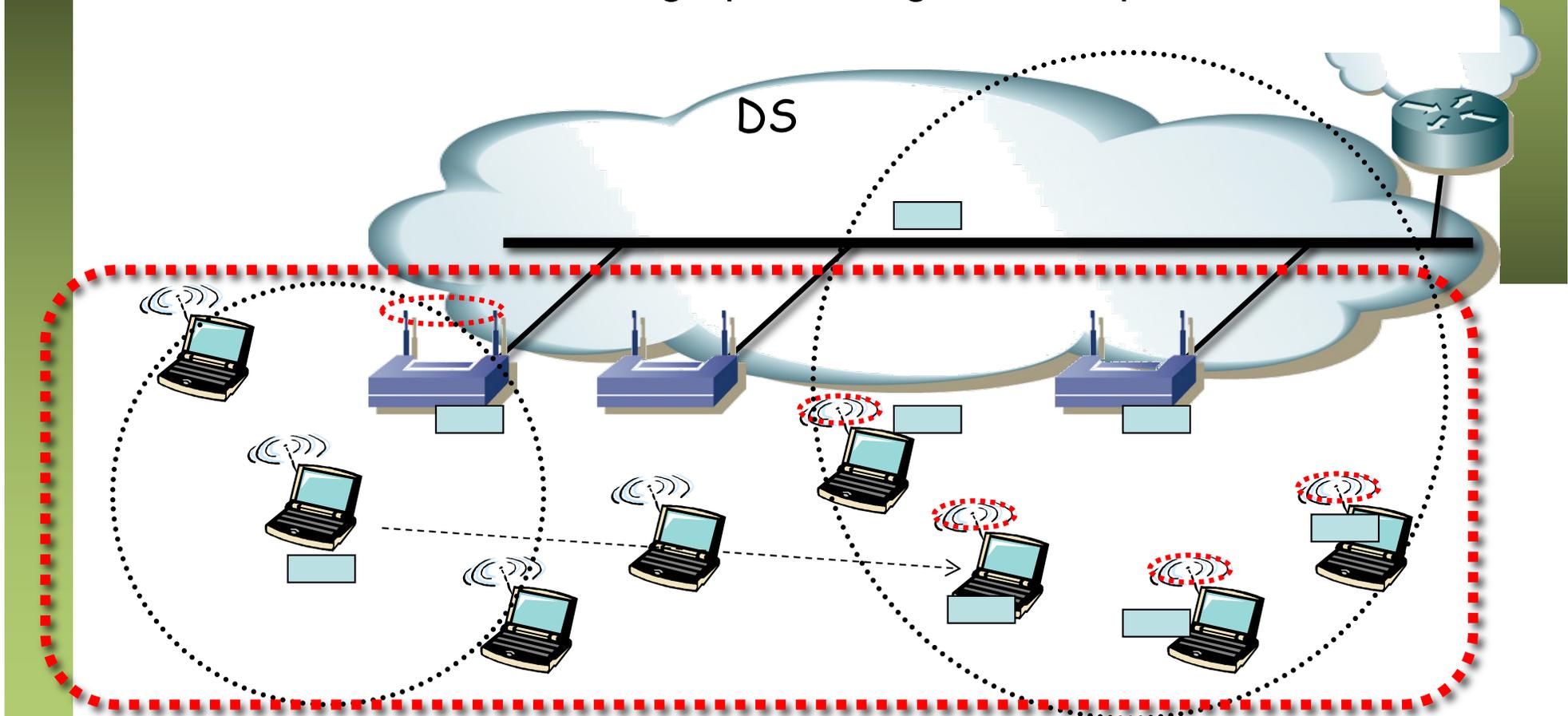
802.11ac (Wi-Fi 5)

- Solo 5 GHz, canales de 20, 40, 80 (solo 2) ó 160 MHz (solo 1 canal)
- MU-MIMO (Multi-User MIMO) hasta a 4 receptores simultáneamente
- Canal de 160 MHz, 8 streams, 256-QAM y codificación 5/6 → 6.9 Gb/s
- Hoy en día lo normal (wave 1) es canal de 80 MHz con 3 streams → 1.3 Gb/s
- En canal de 80 MHz se podría esperar hasta 500 Mb/s a una estación
- Wave 2: canal de 160MHz, 4 streams → 3.47 Gb/s



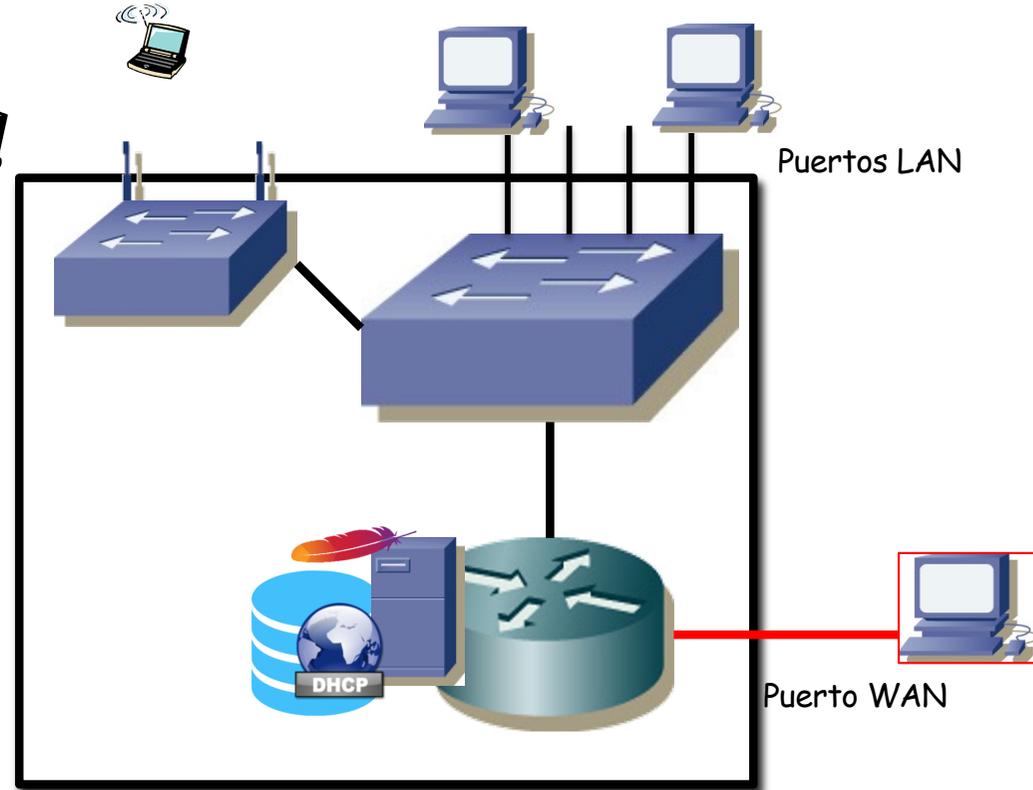
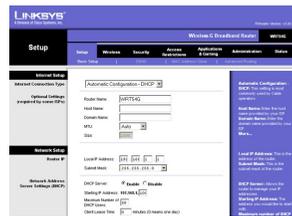
Topologías

- Topologías:
 - *Independent Basic Service Sets (IBSSs)* o *Ad Hoc BSS*
 - *Basic Service Sets (BSSs)* o *Infraestructure BSS*
 - *Extended Service Sets (ESSs)*
- Un *Service Set* es una agrupación lógica de dispositivos



Router WiFi SOHO

- 2 interfaces de router, uno al interfaz WAN, otro a switch interno
- AP conectado a switch interno, todo misma LAN



upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

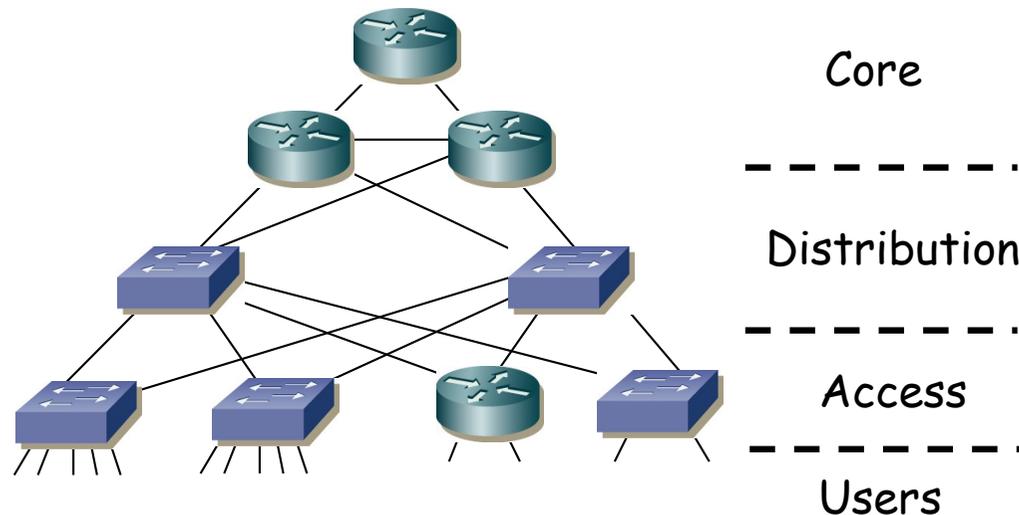


Tema 3: Diseño de Campus LAN



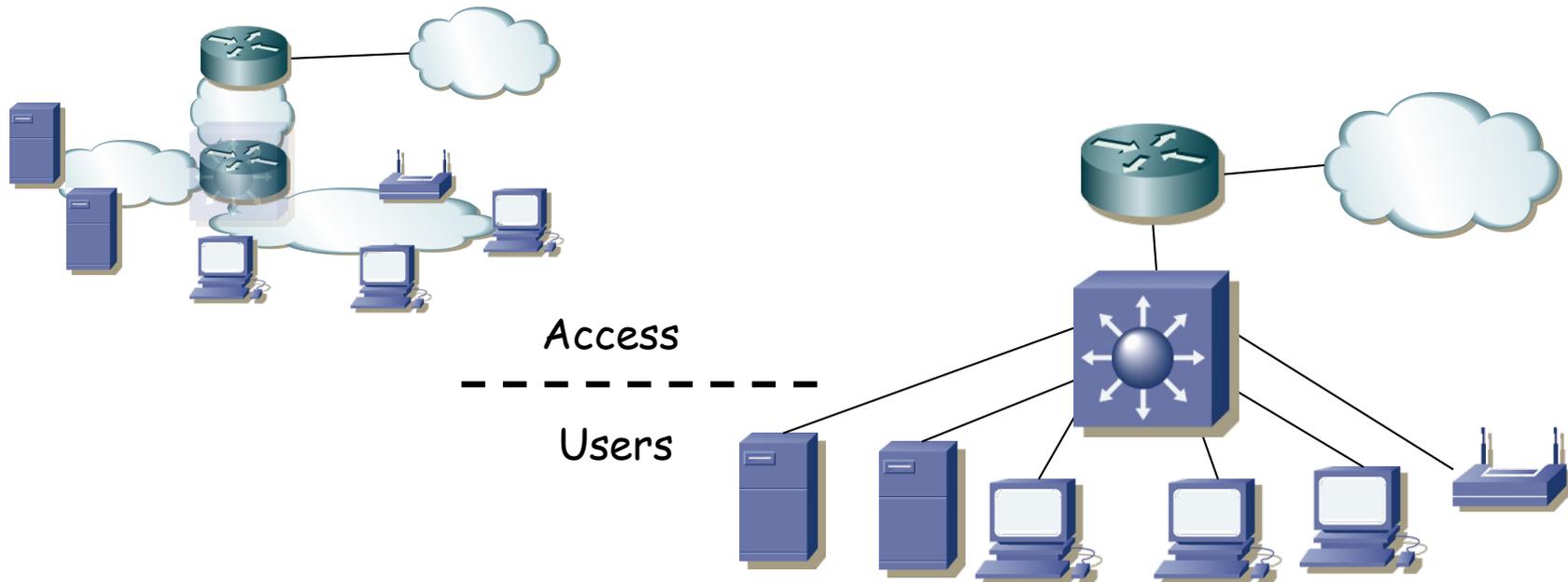
Campus LAN

- Un conjunto de edificios próximos entre sí (distancias de LAN)
- Por ejemplo una empresa con varios edificios en un parque empresarial, o el campus de una universidad centralizada
- Puede tener conexión a sedes remotas a través de una WAN
- Alta disponibilidad es crucial
- Los edificios suelen compartir los servicios de un CPD (Centro de Procesado de Datos)
- **Access:** Parte de la red que da acceso de los usuarios a la misma
- **Distribution:** Conexión entre grupos de trabajo y de ellos al núcleo
- **Core:** Transporte de alta velocidad entre los equipos de distribución



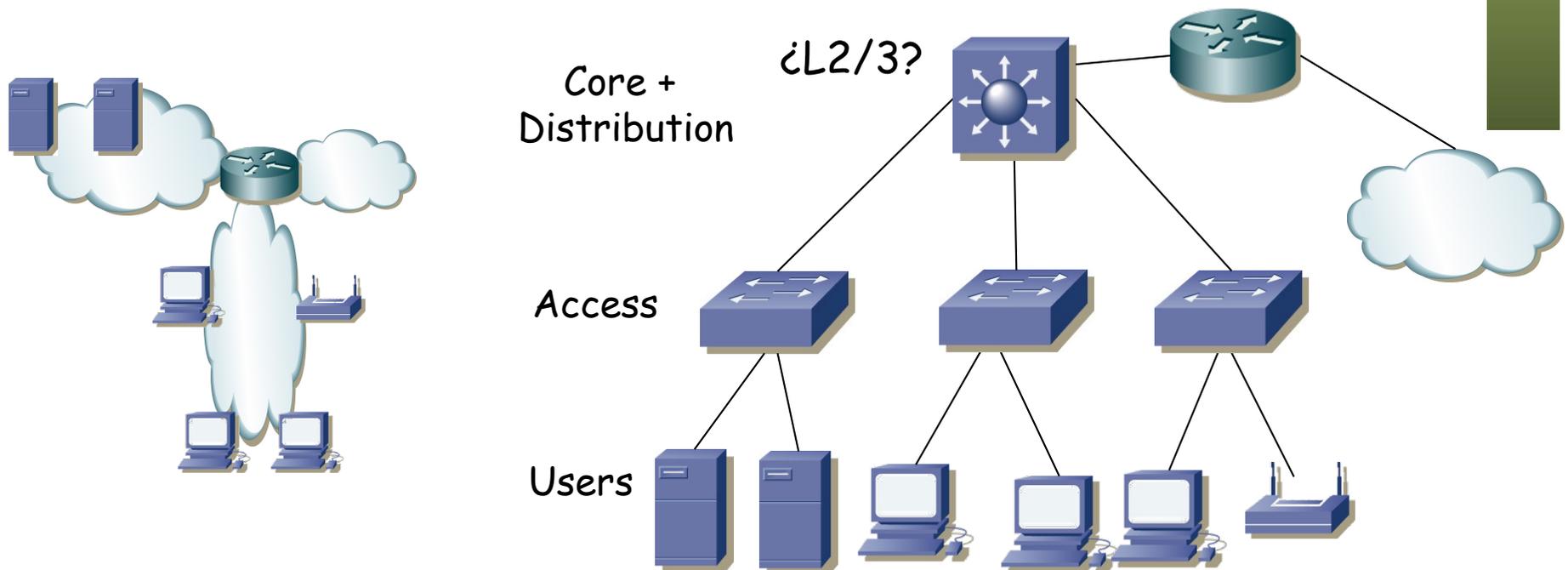
Pocos usuarios

- Unas pocas decenas de usuarios, al escritorio al menos 100 Mb/s
- Diferentes “calidades” de equipos (particulares, empresa, operadora...)
- Puede ser switch Gigabit pero forzar los puertos a FastEthernet para controlar el flujo de los usuarios
- Conmutación capa 3
 - En router de acceso
 - o en conmutador L2/3 si el otro es del ISP
- No hay redundancia en la conmutación interna



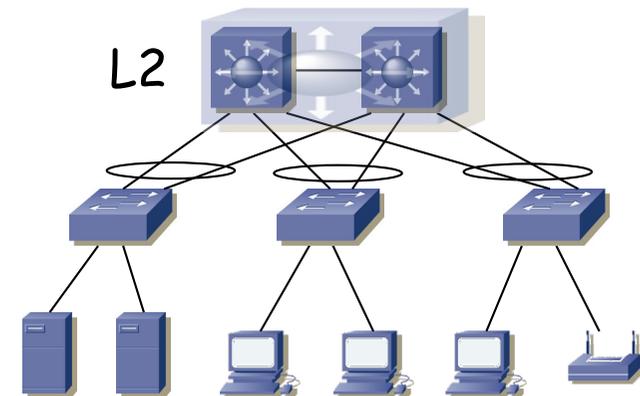
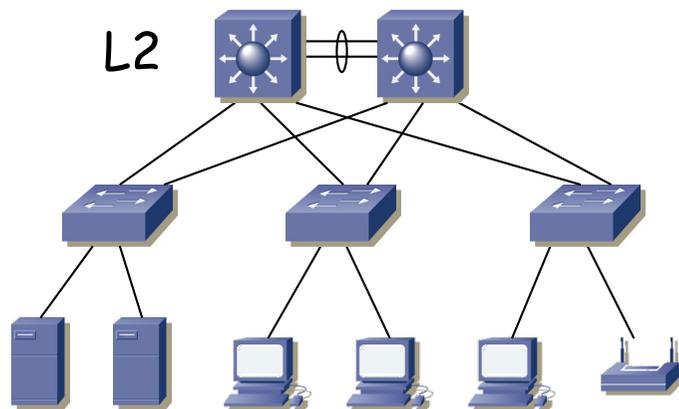
Collapsed core (2-tiers)

- Tal vez un centenar de usuarios o más
- Crecimiento añadiendo conmutadores de acceso
- SIN protección pero STP para evitar bucles si alguien conecta algo mal
- Switch de distribución puede hacer tareas de capa 3 o no (entonces varios enlaces al router de acceso o un trunk)
- Posible protección en los enlaces acceso-core mediante LAGs



Redundant collapsed core

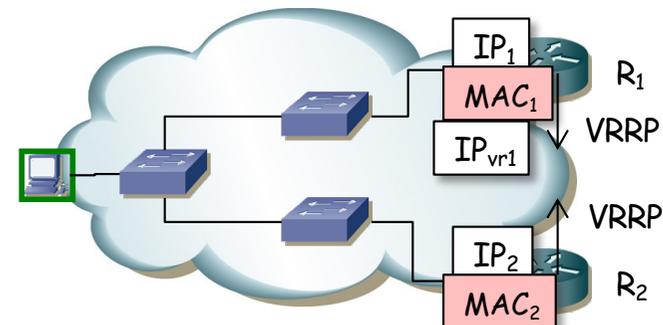
- Protección ante fallos de enlace acceso-distribución y en equipo core
- Interconexión en el sistema de distribución agregada protege ese enlace y aumenta la capacidad
- *Root bridge* uno de la capa de distribución
 - Conmutadores de acceso son más “frágiles” (rotura o apagado llevaría a re-cálculo)
 - Controlar *Root Bridge* mediante prioridades
- STP resulta en varios enlaces bloqueados
- Algunos fabricantes ofrecen sacar provecho a esos enlaces
- Convertir los dos conmutadores de agregación en un “conmutador virtual”
- Se comportan como un solo conmutador de cara a STP, con LAGs
- Otra alternativa es que ese conmutador L2 tenga alta redundancia:
 - “Engine” redundante (controladora que haga el reenvío, si hay tal cosa), fuentes de alimentación redundantes, enlaces agregados con los dos puertos en diferentes módulos, o mediante equipos apilados



VRRP: Selección de maestro

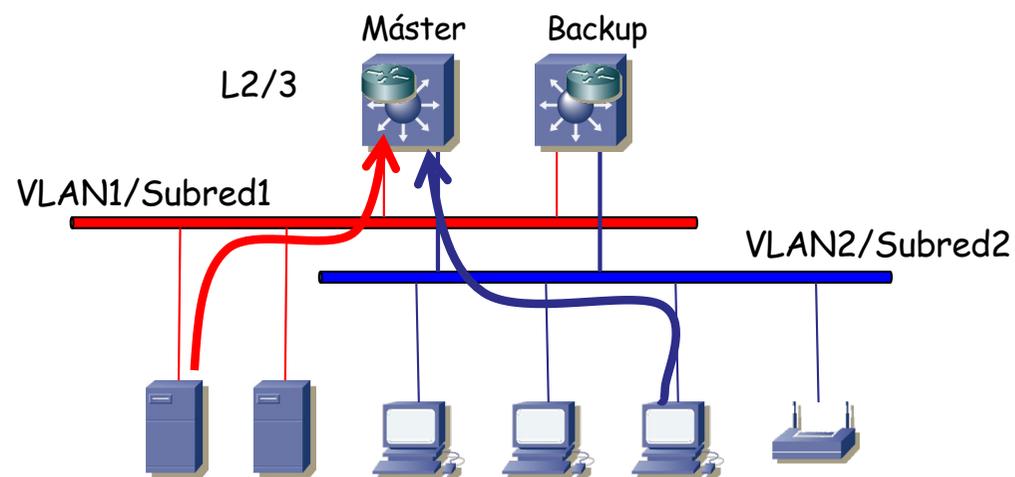
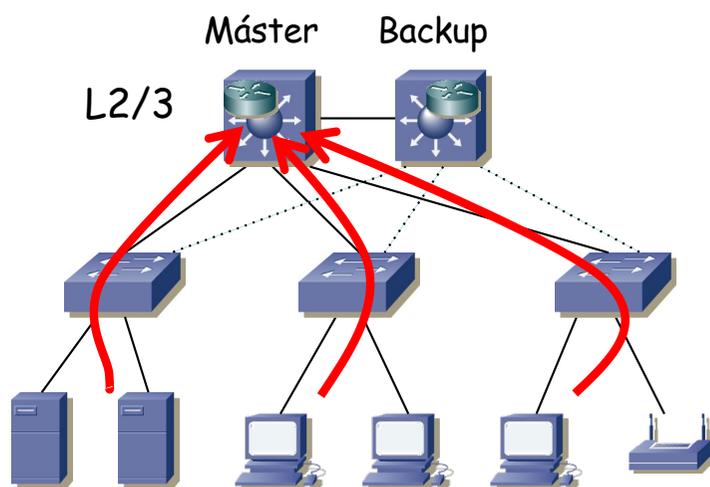
- RFC 5798 “Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP) Version 3 for IPv4 and IPv6”
- La dirección IP del router virtual puede ser la de uno de los routers ($IP_{vr1}=IP_1$) o ser diferente a las dos, VRID = Virtual Router Identifier (1 a 255)
- Los routers intercambian mensajes de VRRP para la elección del maestro (IP proto 112)
- Estos mensajes son paquetes IP dirigidos a 224.0.0.18 (mcast) por esa subred IP
- Se selecciona uno de los interfaces de router de la red como maestro mediante el protocolo
- Hay un campo de prioridad con el que controlar el elegido
- Si un router tiene la IP del virtual en un interfaz físico será el maestro (máxima prioridad)
- Seguirá mandando mensajes VRRP periódicos para que el/los otro/s sepa/n que sigue vivo (se autodesignan de backup y no los envían más)
- Maestro responderá a los ARP request para la IP_{vr1} desde la MAC física de su interfaz
- La dirección MAC en los datos del mensaje de ARP Reply será 00:00:5E:00:01:{VRID} (para IPv4) y es la que aprende el host
- Los mensajes VRRP vienen de la MAC virtual, con lo que los conmutadores aprenden el camino al maestro
- Si falla el maestro, backup deja de recibir los mensajes de VRRP y pasará a ser el maestro
- Envía un ARP gratuito (broadcast) con la dirección MAC virtual para que los conmutadores aprendan el camino hasta él
- Pasa a enviar periódicamente mensajes VRRP
- Nada ha cambiado para el host
- Convergencia en menos de 1s

FHRP = First Hop Redundancy Protocol



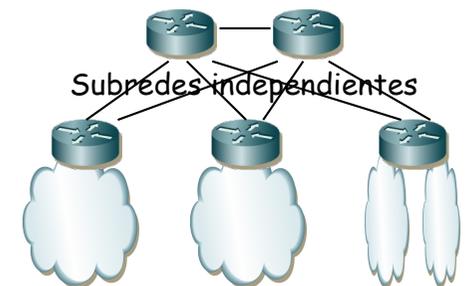
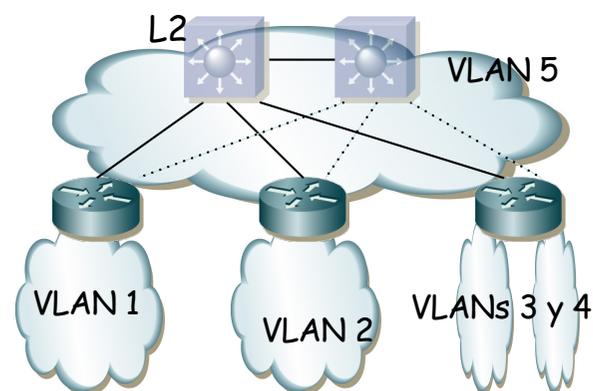
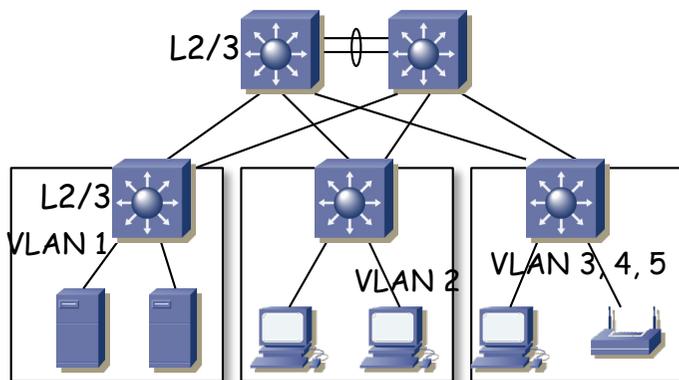
Colapsed core y FHR

- Un L2/3 de distribución podría actuar como gateway en las subredes
- O podemos repartir esa tarea entre los dos
- Uno de ellos será *Root Bridge* (protocolo independiente)
- Por ejemplo, con uno de ellos es maestro VRRP para todas las subredes y es puente raíz con un solo ST (solución simple)
- Si falla ese equipo
 - No es que simplemente el backup pase a máster empleando el FHRP sino que nos cambia el árbol porque era la raíz
 - Probablemente tarde más en converger RSTP (2-3s) que el FHRP
 - Y eso contando con que no tenga STP original (30-60s)



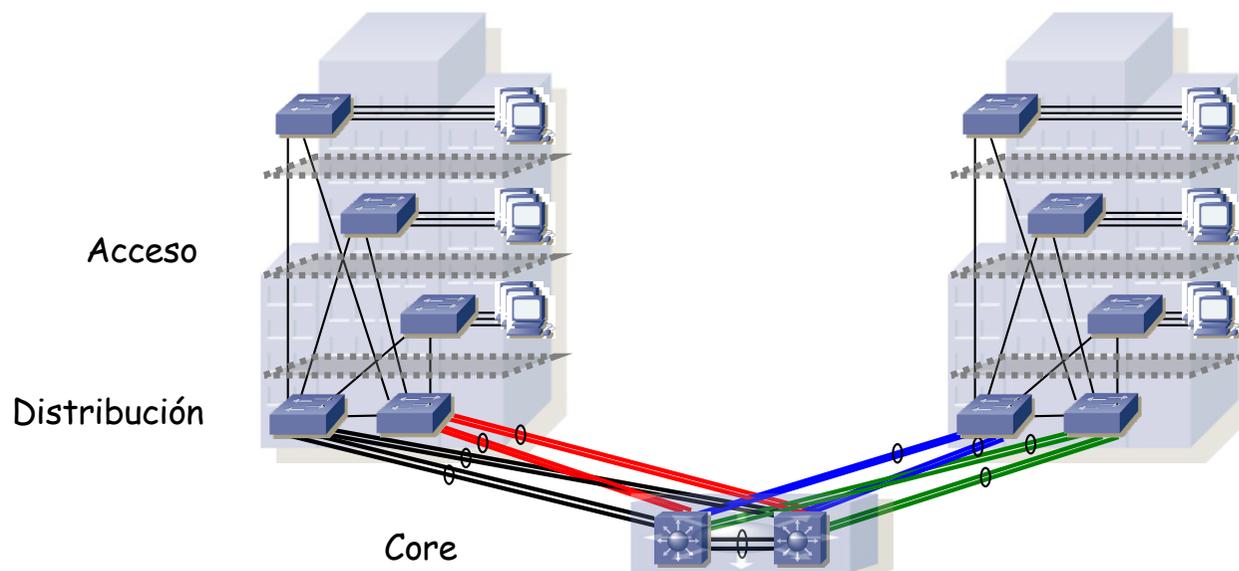
Layer 3 Collapsed Core

- Ahora los conmutadores del acceso son también L2/3
- Esto permite limitar una VLAN a una sección de acceso
- Reduce a ese armario el dominio de broadcast y los problemas que pueda dar
- ¿Y el sistema de distribución?
 - Puede trabajar en capa 2 (una VLAN/Subred de interconexión) con STP
 - O en capa 3, todo conmutadores L2/3 y cada enlace puede ser una subred, sin STP
 - Sin STP: los conmutadores emplean un protocolo de encaminamiento IP
 - El encaminamiento IP puede permitir usar varias rutas a la vez
 - Mejores tiempos de convergencia y más estable pero:
 - Más configuración (direccionamiento, enrutamiento)
 - VLANs limitadas a cada conmutador de acceso
 - Hay aplicaciones que requieren estar en la misma LAN/Subred y si los hosts están en diferentes conmutadores, su VLAN se podría extender por el campus
 - VLAN extendida tendría STP, más frágil, así que podemos terminar con soluciones híbridas



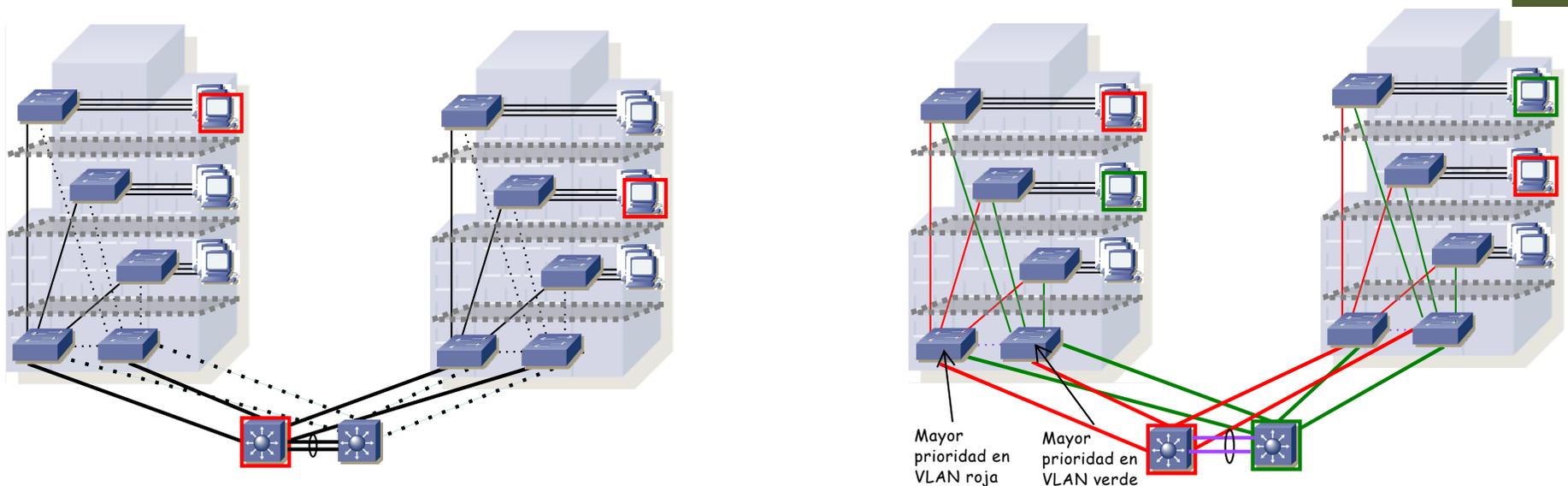
3-tier design

- El esquema IDF+MDF (acceso+distribución) sirve hasta una escala
- Por ejemplo cuando está todo contenido en un solo edificio
- Con varios edificios repetimos el diseño y necesitamos interconectarlos: Core
- Evidentemente necesitamos redundancia en él
- Si los switches del core lo soportan podrían agregarse en un switch virtual y los enlaces del mismo color podrían ser un LAG
- O cada uno de esos enlaces podría ser un LAG
- La arquitectura con core permite escalar de forma sencilla para campus aún más grandes
- El core podría ser más grande: 3 conmutadores, 4 en anillo, 4 en malla, etc.



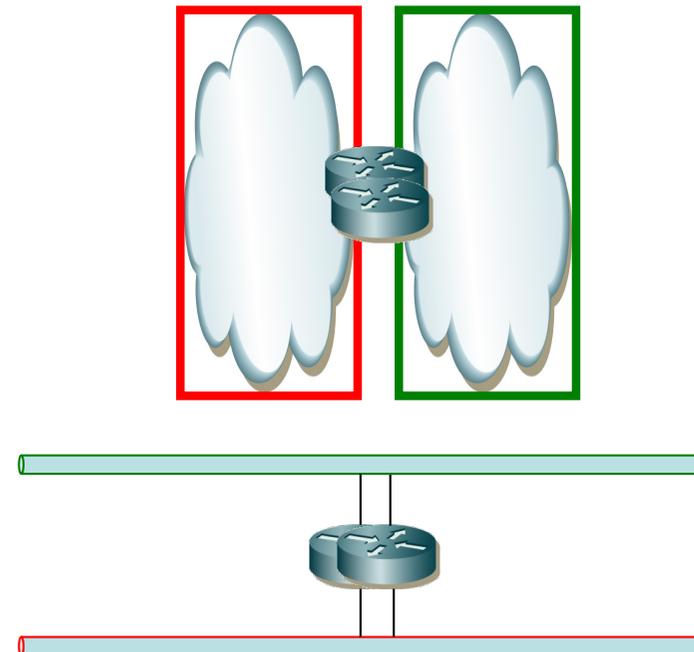
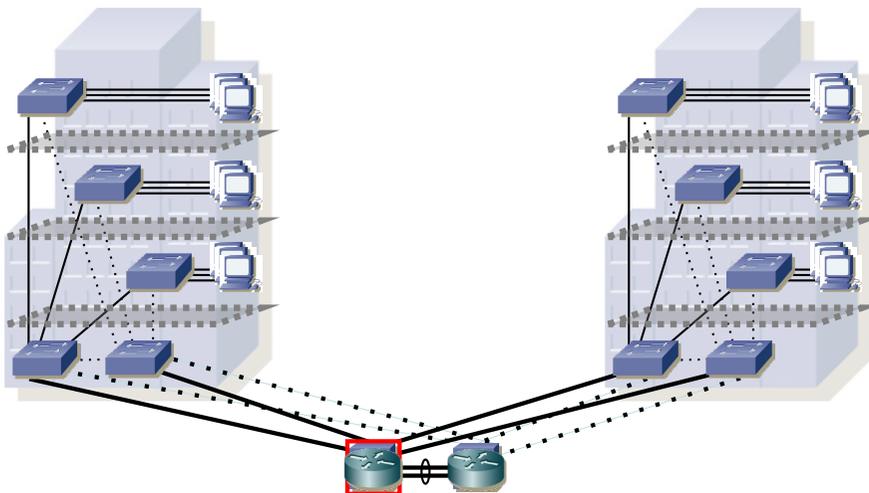
Campus-wide VLANs

- Podríamos necesitar extender VLANs por todo el campus
- Cuanto más grande peor, por el broadcast y por la fragilidad de STP
- En caso de extenderse la VLAN, *root bridge* podría ser del core
- Podríamos emplear diferente raíz para dos grupos de VLANs
- Conseguimos utilizar todos los enlaces al core, pero no los de distribución
- Para aprovechar los enlaces de distribución podríamos alterar prioridades en los switches de distribución para cada VLAN



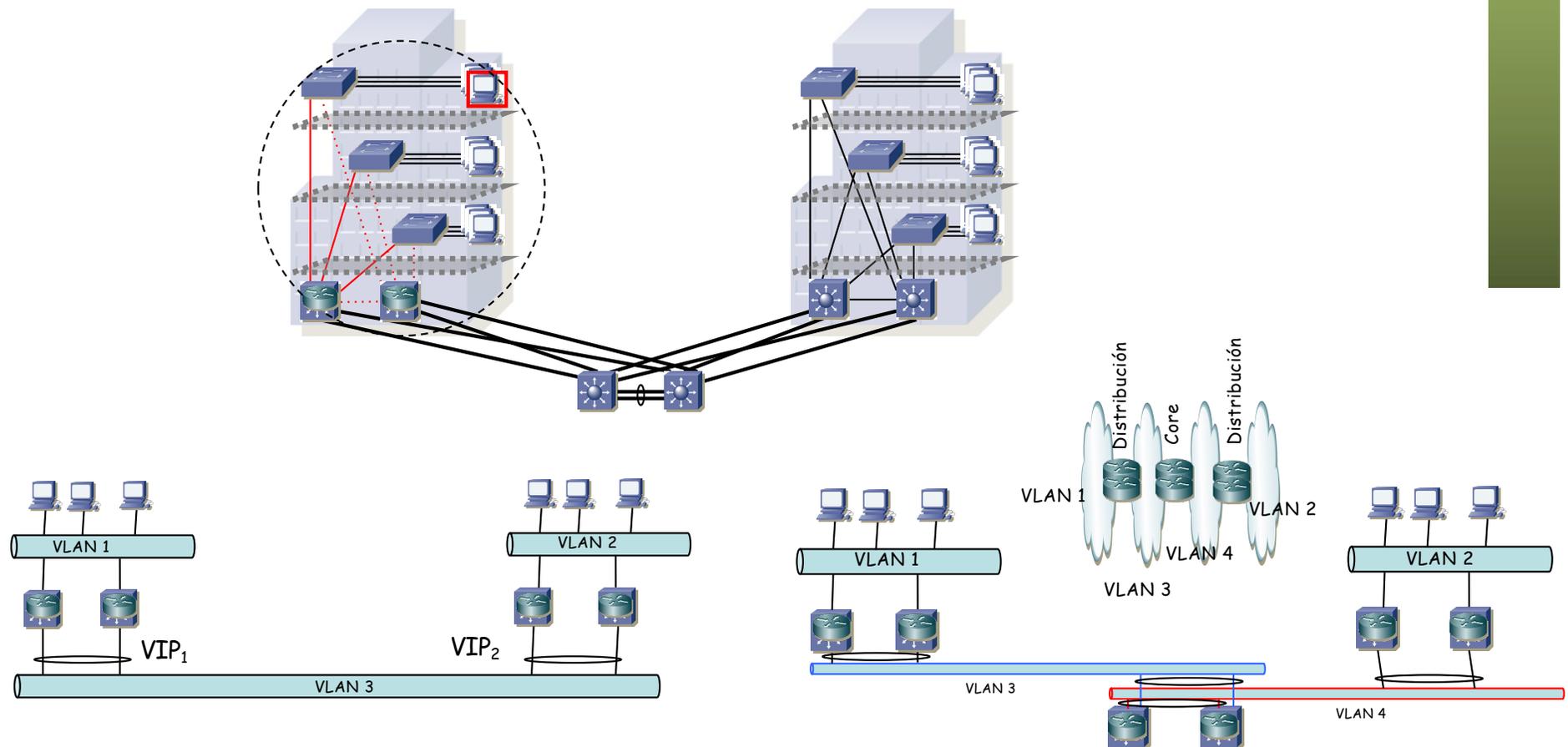
Enrutamiento

- Una solución habitual es que esos conmutadores del core sean capa 2/3 y se encarguen del encaminamiento entre VLANs
- Podemos añadir un FHRP y que se repartan tareas de maestro y backup para diferentes VLANs
- Seguramente tampoco compense repartir las VLANs (un CST)
- Con lo que el segundo switch del core queda completamente como backup
- La mejor forma de utilizarlo es poder crear un switch virtual con el otro
- Al final en capa 3 se quedaría simplemente en un router entre subredes (solo dos subredes/VLANs en el dibujo pero podría haber muchas más)



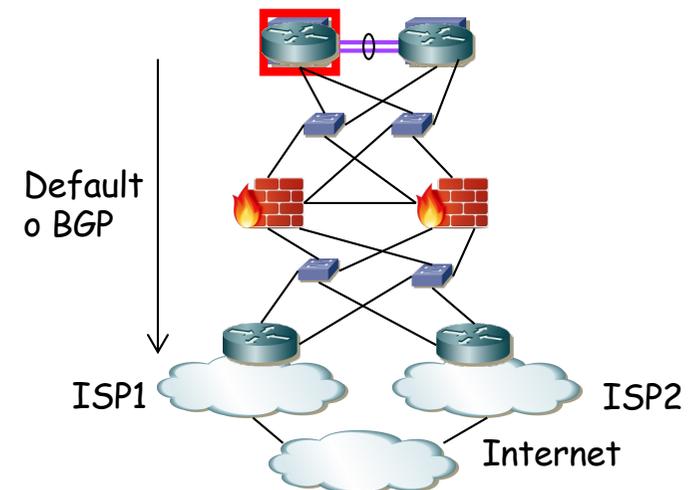
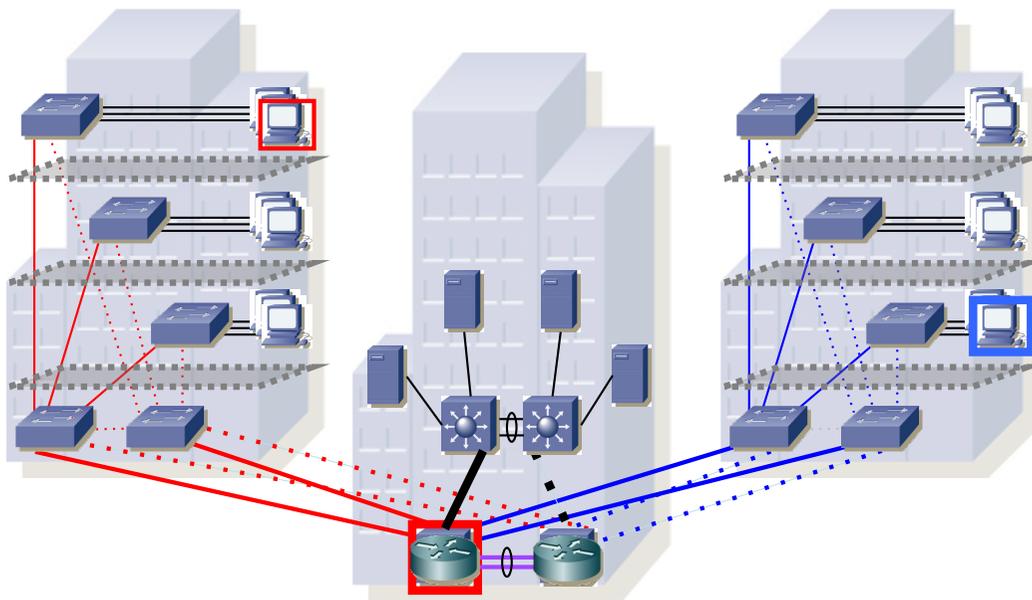
Capa 3 en distribución

- Con conmutadores capa 2/3 en la distribución las VLANs pueden restringirse a él y enrutar en ese sistema de distribución (con FHRP)
- ¿Interconexión mediante el core?
 - De nuevo podemos hacerlo en capa 2 (STP), por ejemplo con un FHRP
 - O en capa 3, también con un FHRP
 - O todo en capa 3 y emplear un protocolo de encaminamiento



Centralización de servidores

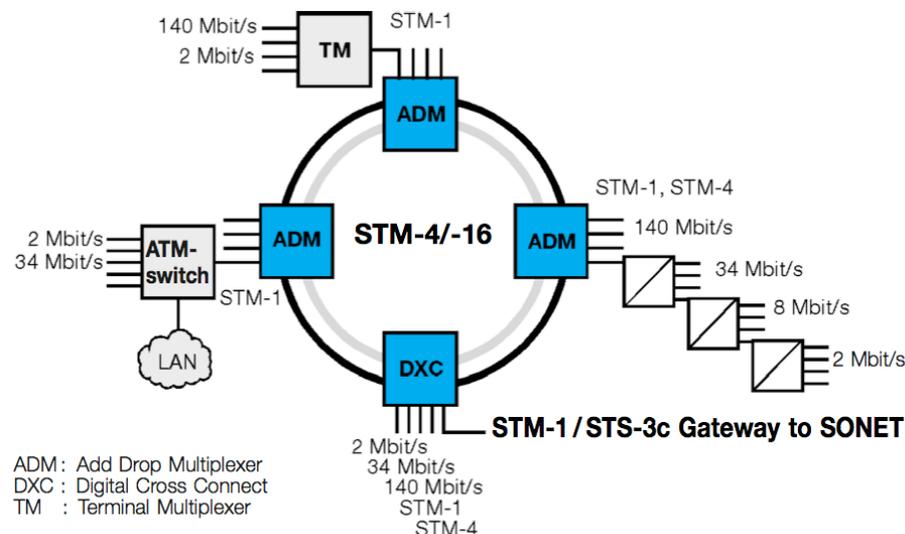
- Podemos tener una VLAN con servidores centralizados o repartirlos según servicio
- Al menos 2 NICs por servidor y repartirlas entre los dos conmutadores
- Cómo emplear esas NICs (una u otra o las dos a la vez) suele ser dependiente de la solución del fabricante de la NIC
- No vamos a entrar en esto pues llegando a los servidores tendríamos que hablar también de NATs, balanceadores, etc... (data centers)
- Conexión con el exterior desde el core, como otro bloque de distribución
- Por uno o dos ISPs. Firewalls y NATs
- Con todo tipo de redundancia de enlaces, equipos, un FHRP en cada LAN, encaminamiento dinámico, protocolos propietarios, etc
- Se puede emplear BGP para aprender las rutas a Internet y repartir tráfico entre los dos ISPs



Tema 4: Tecnologías WAN y de acceso

SONET/SDH

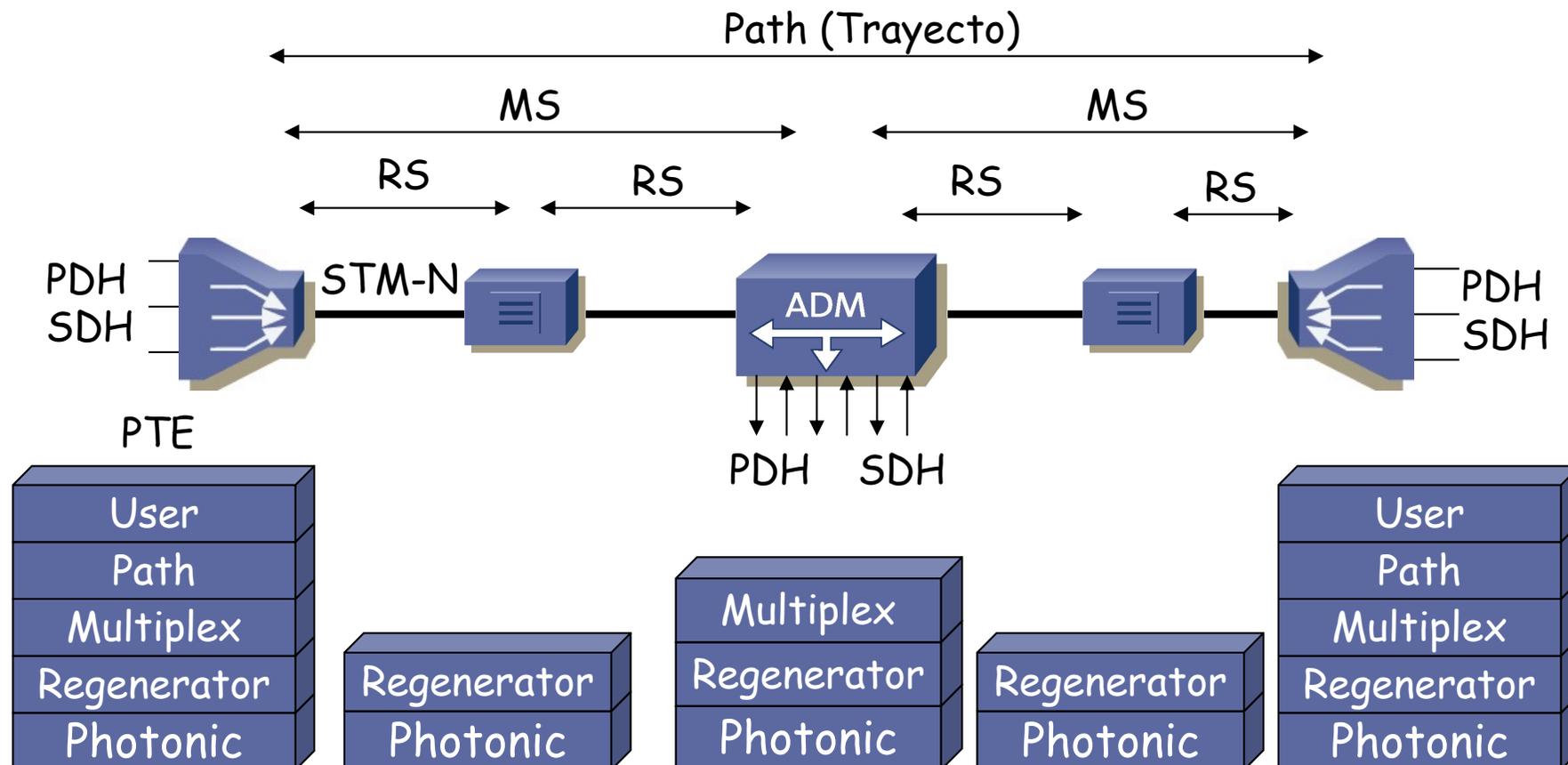
- Tecnología de transporte: especificaciones de *Network Node Interface* (NNI)
- Originalmente para transportar señales PDH (1.5, 2, 6, 34, 45 y 140 Mbps)
- Permite velocidades elevadas
- Equipos sincronizados, lo cual reduce la necesidad de buffering
- Simplifica la inserción/extracción de señales de baja velocidad sin demultiplexar
- Fácil de extender a mayores velocidades
- Compatible entre fabricantes
- Funcionalidades de recuperación ante fallos en los enlaces/nodos
- Hay tres redes: Transmisión, Sincronización y Gestión
- Límite de velocidad impuesto por la tecnología, no por la falta de estándar



SDH	OC Level	Line Rate (Mb/s)
STM-1	OC-1	51.84
STM-4	OC-3	155.52
STM-16	OC-12	622.08
STM-64	OC-48	2488.32
STM-256	OC-192	9953.28
	OC-768	39813.12

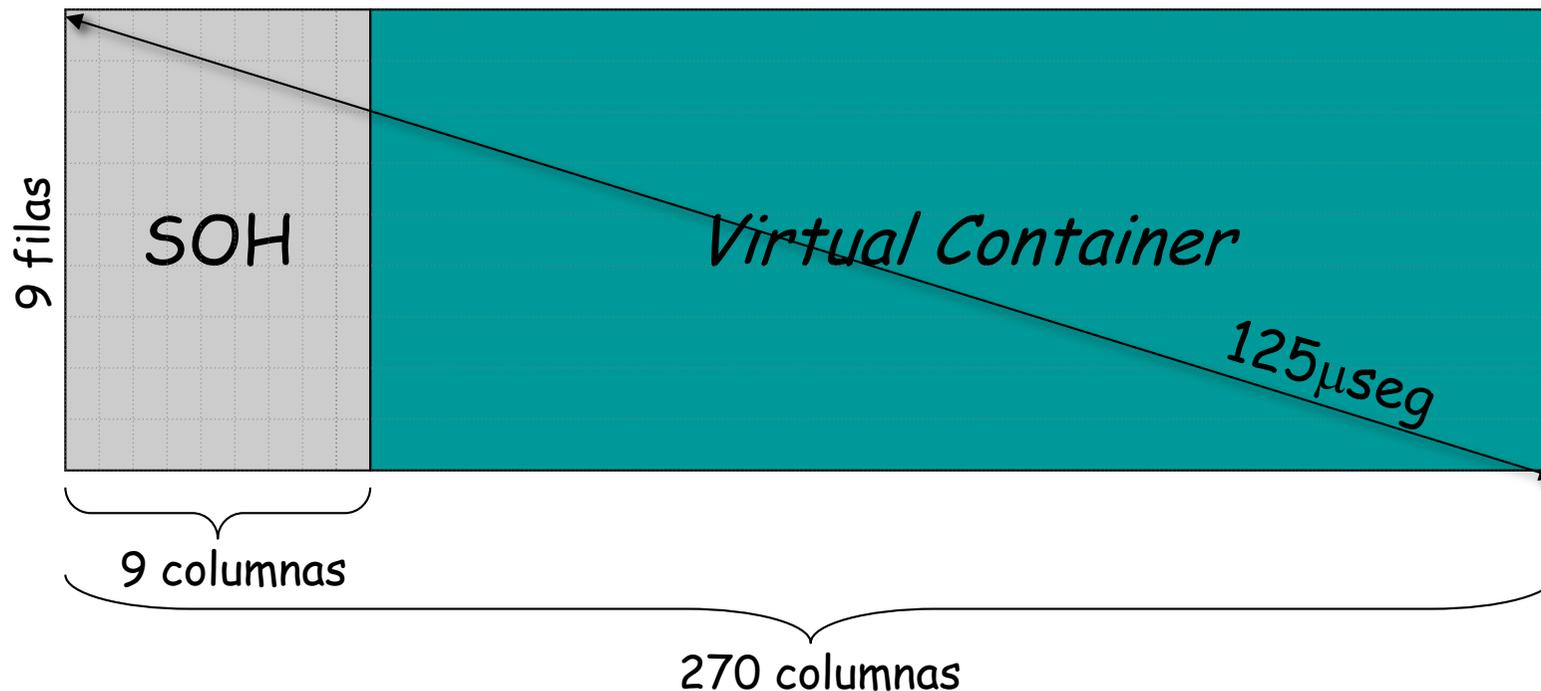
SDH: Elementos

- **MS** : *Multiplex Section* (Sección de Multiplexación)
- **RS** : *Regenerator Section* (Sección de Regeneración)



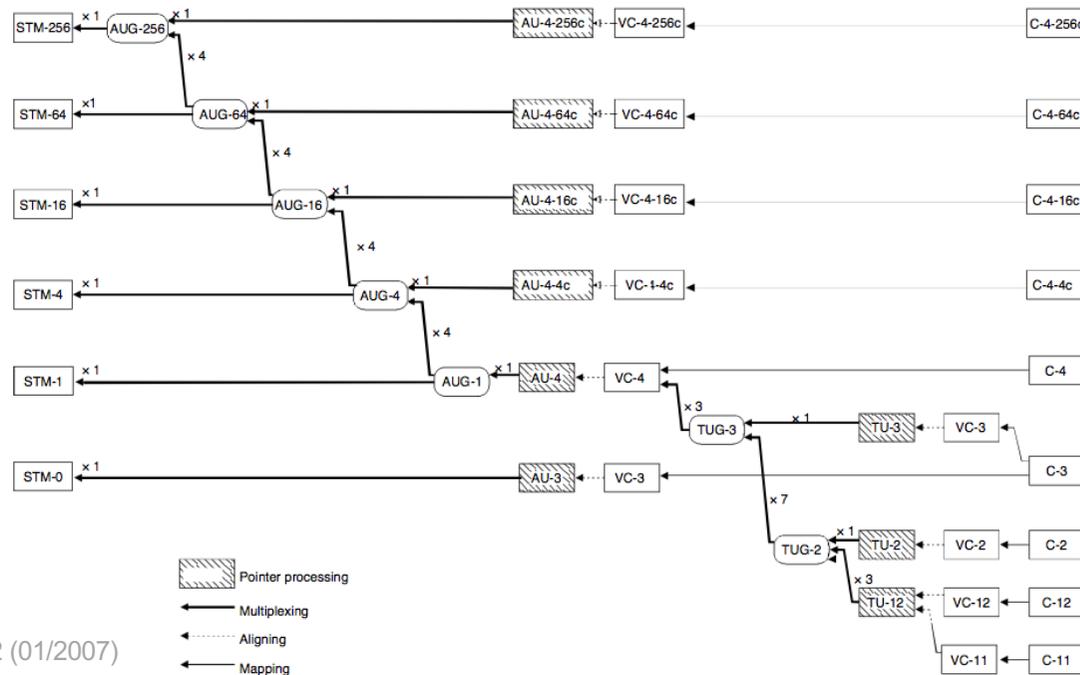
SDH: Trama

- La unidad básica es la trama siempre dura $125\mu\text{seg}$ (cualquier STM-N)
- La menor unidad es un byte; a 155.52 Mbps la trama es de 2430 Bytes
- 8.000 tramas/seg, 1 byte cada $125\mu\text{s}$ equivale a 64Kbps
- Hay 9 secciones con 9 bytes de sobrecarga
- Se suele representar la trama en forma matricial o rectangular (...)
- $64\text{Kbps} \times 9 \text{ filas} \times 270 \text{ columnas} = 155.52\text{Mbps}$
- SOH = *Section OverHead* (9 columnas)
- STM-N: duración de $125\mu\text{seg}$, 9 filas, $N \times 270$ columnas



Estructura de la trama STM-1

- Un STM-1 transporta un AUG (*Administrative Units Group*)
- Según G.707 un AUG puede transportar un AU-4 ó tres AU-3 pero ESTI recomienda solo la primera alternativa
- Existen contenedores de orden superior (C-4-Nc)
- Crean un VC-4-Nc (N=4, 16, 64, 256, etc), que es una sola unidad a la hora de conmutarlo por la red



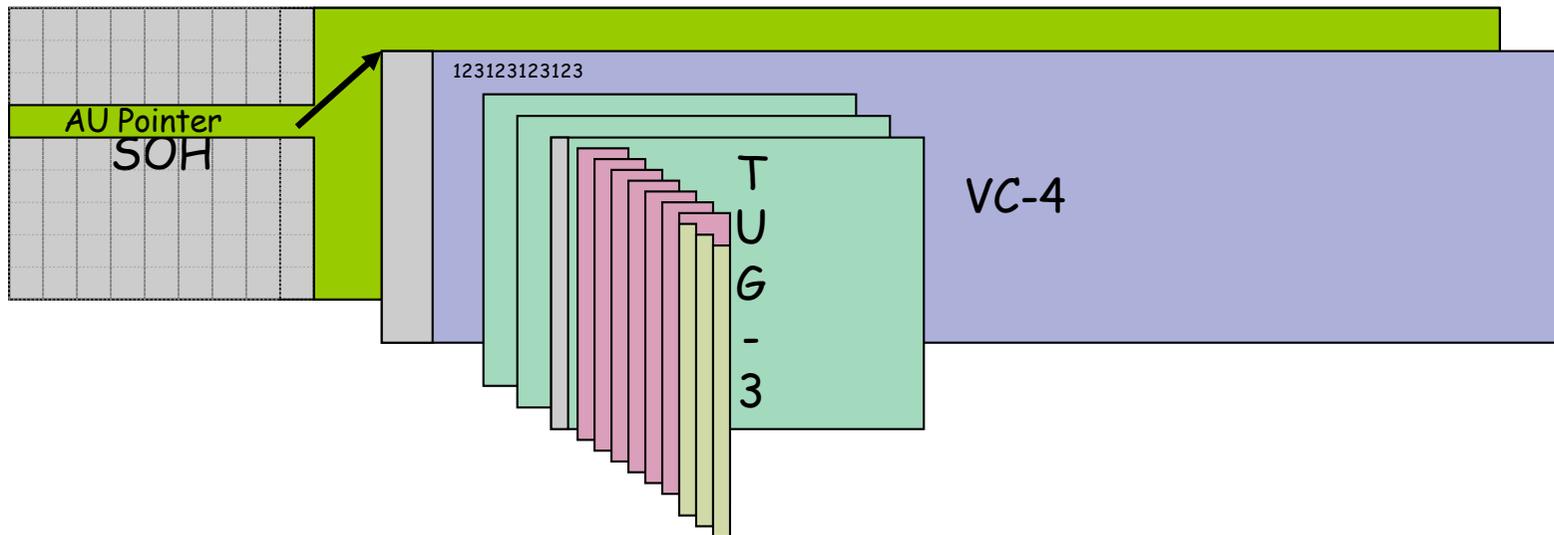
ITU-T Rec. G.707/Y.1322 (01/2007)

Contenedor	Velocidad (Kbps)	Ejemplos de cargas útiles PDH
C-12	2176	2048Kbps (E1)
C-2	6912	6Mbps (T2)
C-3	49536	45Mbps (T3) ó 34Mbps (E3)
C-4	149760	140Mbps (E4)

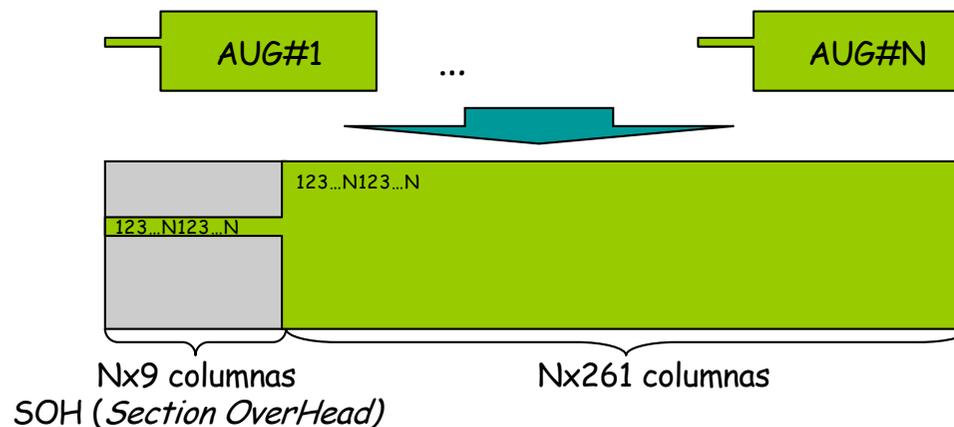
VC: Virtual Container
 TU: Tributary Unit
 TUG: Tributary Unit Group
 AU: Administrative Unit
 AUG: Administrative Unit Group

Estructura de la trama STM-1

- En un STM-1: 1 señal de 140Mbps (E4) ó 3 señales de 34/45 Mbps (E3/T3)
- Cada VC-3 puede sustituirse por 21 señales de 2Mbps (E1)
- Un AUG tiene 9 filas x 261 columnas más 9 bytes en la fila 4 (el puntero)



- El STM-N contiene una SOH de Nx9 columnas y un payload de Nx261 columnas
- Los N AUG están entrelazados por bytes



VC: Virtual Container
 TU: Tributary Unit
 TUG: Tributary Unit Group
 AU: Administrative Unit
 AUG: Administrative Unit Group

Concatenación (contigua)

Contigua

- El espacio que ocupan en la trama debe ser el equivalente a N contenedores virtuales VC-4 contiguos
- Algunos fabricantes sí permiten que no sean contiguos o incluso no sean múltiplo de 4

Virtual

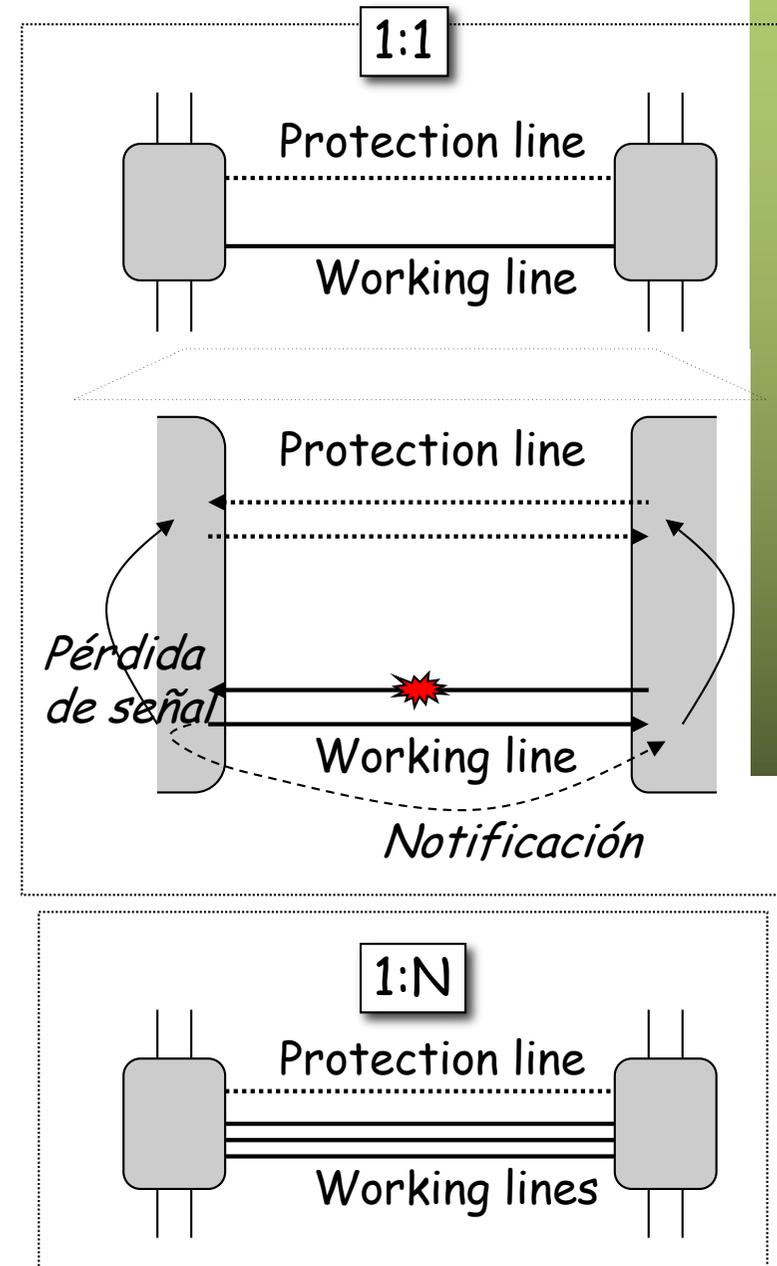
- Se pueden concatenar X tributarios (TUs) para formar un VC-X-v
- El resultado es un *Virtual Concatenation Group* (VCG), típicamente un VC-12-Xv (X=1...64) aunque podría ser un VC-4-Xv o VC-3-Xv
- Debe soportar al menos diferencias de delay de 125µs (hasta 256ms)
- La inteligencia de la concatenación está en los extremos
- Cada VC puede encaminarse independientemente
- Incremento y reducción de la capacidad añadiendo o retirando VCs
- LCAS (*Link Capacity Adjustment Scheme*):
 - Permite incrementar y reducir la capacidad añadiendo o retirando VCs mientras el grupo está en funcionamiento
 - Puede decrementar automáticamente la capacidad si uno de los miembros falla
 - Puede ser diferente la velocidad en cada sentido
- El extremo final reordena las tramas (diferente delay) con información de la cabecera SDH

Puntero de AU-4

- Permite que el VC-4 “flote” dentro de la trama AU-4
- Así se absorben las diferencias de fase y velocidad
- Lo forman los bytes H1, H2 y H3 de la SOH
- Con los bytes H1 y H2 se designa la ubicación del octeto en donde comienza el VC-4
- Miden relativo al final del puntero (0 quiere decir que el VC-4 comienza tras el último byte H3)
- Mide en palabras de 3 bytes
- Si la **velocidad** del AUG (contenedor) es **más rápida** que el VC-4 (contenido) (justificación positiva):
 - El VC-4 se va “retrasando”
 - El puntero aumenta en 1 periódicamente
 - Se introducen 3 bytes de relleno tras el puntero
- Si la **velocidad** del AUG (contenedor) es **más lenta** que el VC-4 (contenido) (justificación negativa):
 - El VC-4 se va “adelantando”
 - El puntero disminuye en 1 periódicamente
 - Se emplean los tres bytes H3 para ajustar el desfase
- Existe puntero en todos los TUs. Por ejemplo para localizar un VC-12

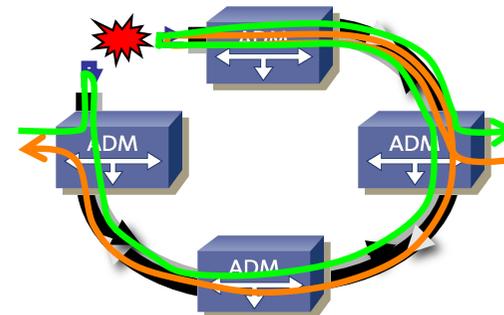
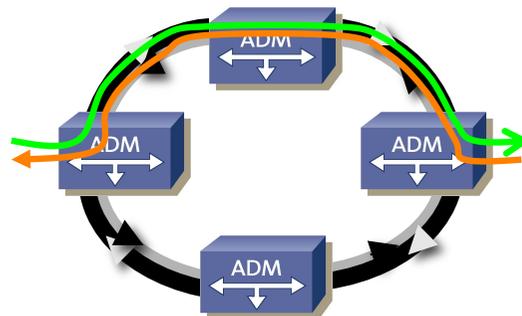
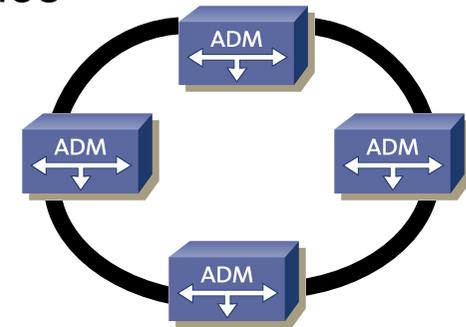
MSP (*Multiplex Section Protection*)

- *Protection* implica soluciones de backup precalculadas y preconfiguradas
- El tiempo de recuperación es muy corto
- Reserva considerables recursos para la protección
- *Restoration* implica calcular la solución (camino alternativo) cuando se produce el fallo
- El fallo se comunica al NMS (*Network Management System*)
- NMS calcula un camino alternativo y lo configura
- Mayores tiempo de recuperación
- Entre dos nodos
- Protección 1:1
 - Cada línea es protegida por otra
 - Si algo falla se pasa a usar el camino de protección
 - Cuando no se necesita la de protección se puede usar para tráfico extra
 - Tras recuperar el camino principal se puede volver a él (*revertive mode*)
- Normalmente se usan simultáneamente y se escoge la de mayor calidad (1+1)
- Protección 1:N (o M:N)
 - Varias líneas son protegidas por la misma
- Recuperación en 3-4 one-way delays + procesado



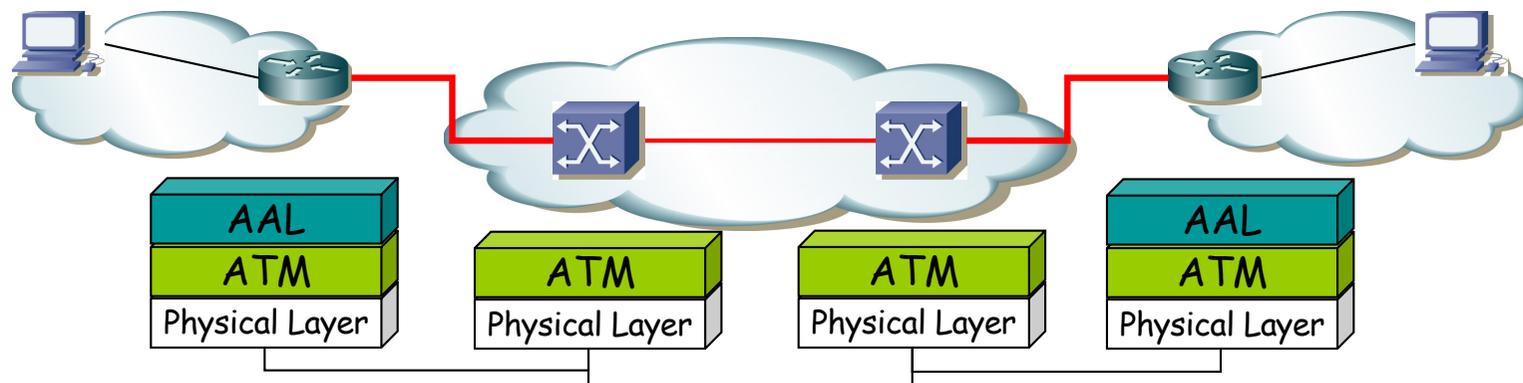
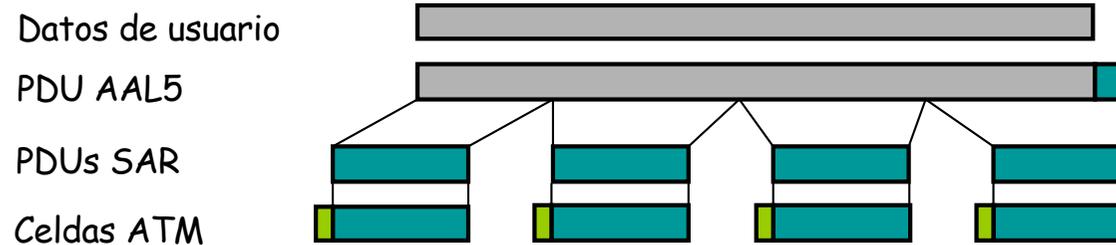
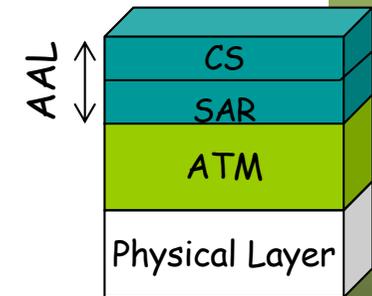
Anillos en SDH

- Perfectos para ADMs con solo 2 puertos de agregados
 - Más simples que DXCs
 - Más baratos que DXCs
 - Disponibles antes que DXCs
- ¡ Sencillas decisiones de encaminamiento !
- Existe un camino alternativo para protección
- Técnicas de protección: MS-SP Ring, MS-DP Ring, SNCP Ring, etc.
- *Multiplex Section - Shared Protection Ring*
- Se emplea solo **la mitad** de la capacidad en cada sentido
- Máximo 16 nodos
- Ante un fallo:
 - Nodos adyacentes lo detectan
 - Devuelven el tráfico por el otro sentido



ATM: Capa de adaptación

- Para el soporte de protocolos no basados en ATM
- Incluye dos sub-capas:
 - CS (*Convergence Sublayer*): Para el soporte de aplicaciones específicas
 - SAR (*Segmentation And Reassembly*): Adapta las tramas a celdas y viceversa
- AAL Type 5 (I.363.5): Empleado para el transporte de Ethernet e IP
 - Añade una cola (*trailer*) con padding, longitud y CRC
 - ¿Fin de trama? El 3º bit del campo PT en la última celda vale 1
 - No hay campo que indique el tipo de trama contenida
 - PDUs SAR en AAL5 no añaden cabeceras



Transporte sobre ATM (RFC 2684)

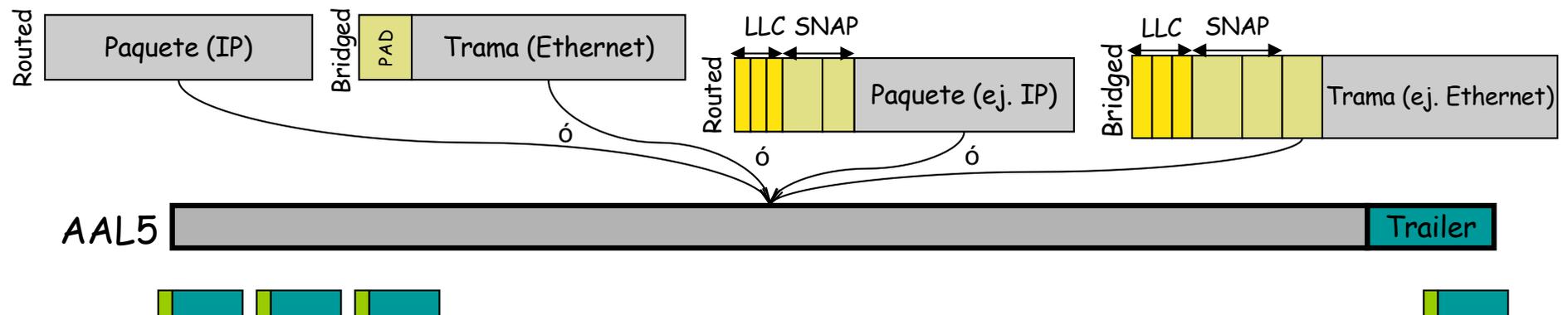
a.k.a. RFC 1483

“VC Multiplexing”

- Cada VC lleva tráfico de un solo protocolo
- Reduce la sobrecarga de cabeceras y de procesamiento por paquete
- “*Routed protocols*”: Protocolos “Enrutados” (IP, IPX...). Directamente en la trama
- “*Bridged protocols*”: Protocolos “Punteados” (Ethernet, FDDI...). *Padding* para alineamiento seguido por la trama
- Paquete IP+TCP sin datos ni opciones ocupa una sola celda
- Padding para que datos Ethernet comiencen en frontera de 32 bits

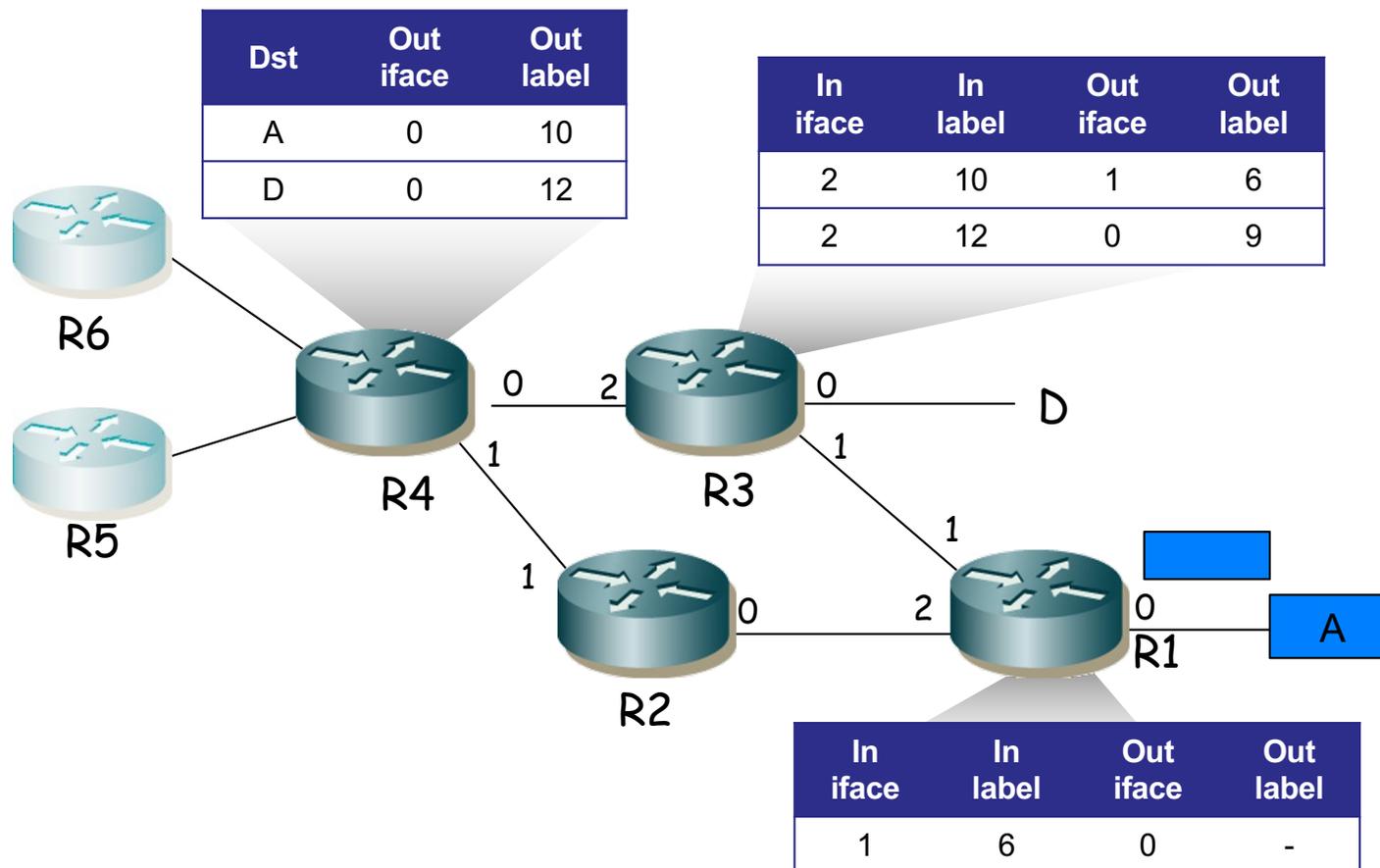
“LLC Encapsulation”

- AAL5. Permite multiplexar varios protocolos sobre un VC
- Soporta protocolos “*routed*” (IP, IPX...) y “*bridged*” (Ethernet, FDDI...)
- Dos formatos para “Routed PDUs”
 - ISO NLPID
 - 802.1a SNAP



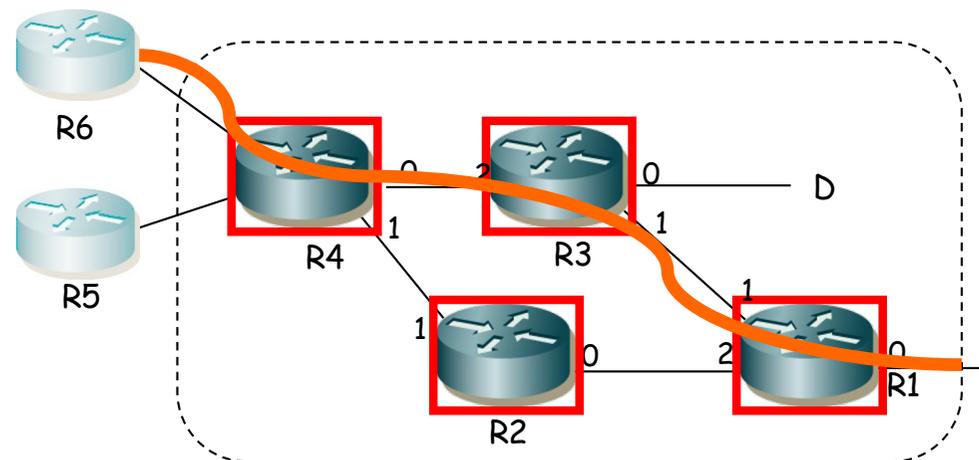
MPLS “forwarding”

- Inicialmente para ahorrarse el cálculo del *Longest-prefix-match* en los equipos de core
- Hoy en día para hacer *Traffic Engineering*
- Conmutación de paquetes, pero circuitos virtuales
- Heredero de ATM pero con paquetes de tamaño variable
- Inicialmente sin QoS



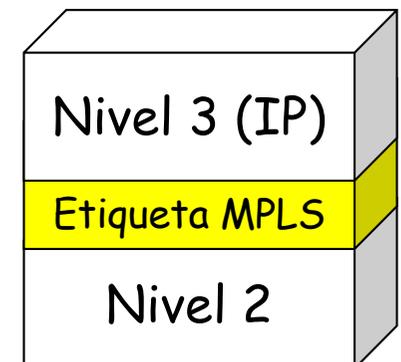
Terminología

- “MPLS domain”: conjunto contiguo de nodos MPLS bajo una misma administración
- “MPLS ingress node”: nodo frontera de un dominio en su tarea como entrada de tráfico al mismo
- “MPLS egress node”: nodo frontera de un dominio en su tarea como salida de tráfico del mismo
- “Label”: etiqueta numérica, corta, longitud fija, identifica a un FEC localmente a un enlace
- “Label Switching Router (LSR)” : nodo MPLS capaz de reenviar en base a etiquetas
- “Label Switched Path (LSP)” : camino a través de LSRs



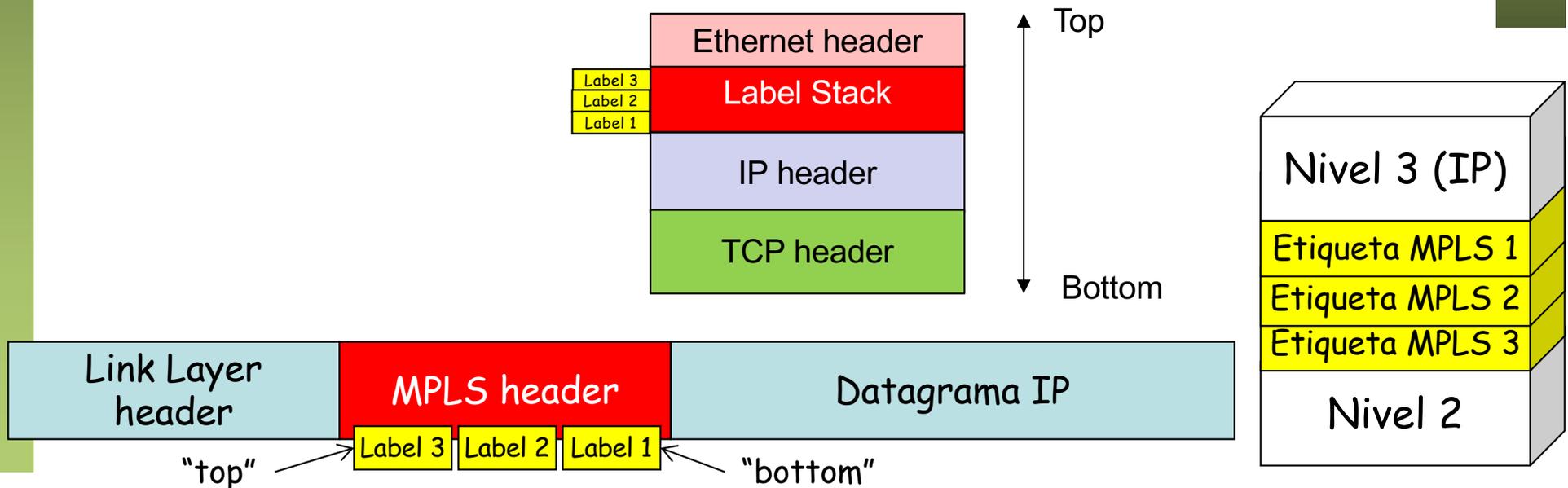
Label Stack

- La localización de la etiqueta depende de la tecnología que transporte los paquetes
- Una posibilidad es emplear un “*shim header*” entre cabecera del nivel de enlace y del protocolo transportado
- Hay otras opciones, por ejemplo si el transporte es sobre ATM se emplea el VPI/VCI como etiqueta
- A veces se dice que es una tecnología de nivel 2.5
- En realidad la etiqueta puede no ser única sino una “pila” de etiquetas (*label stack*) (...)



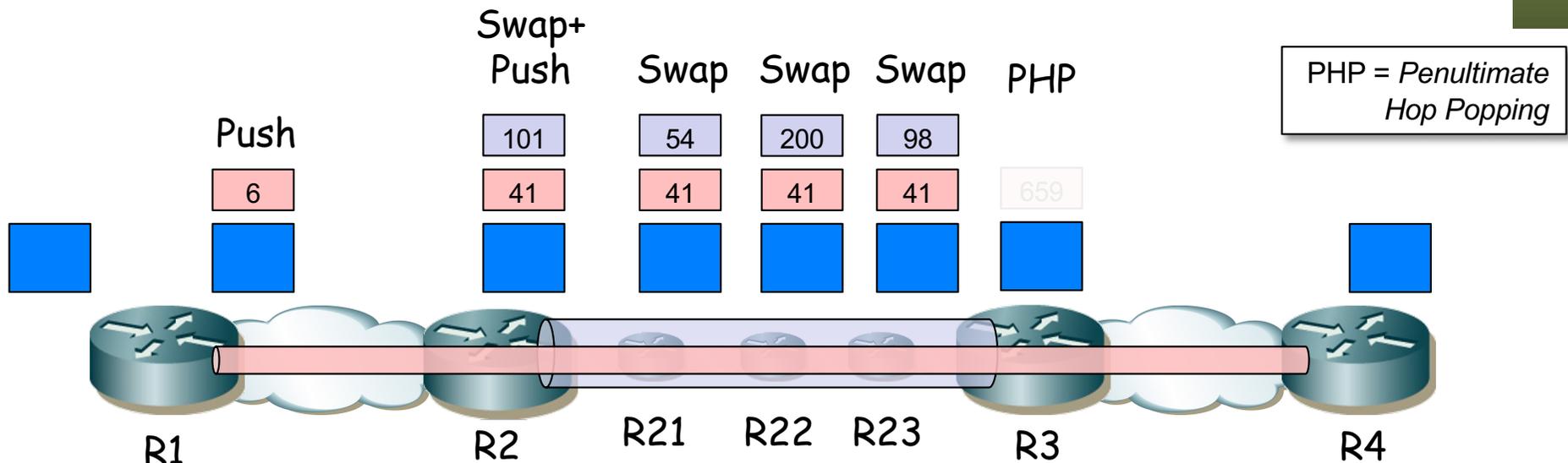
Label Stack

- La localización de la etiqueta depende de la tecnología que transporte los paquetes
- Una posibilidad es emplear un “*shim header*” entre nivel de enlace y protocolo transportado
- Si el transporte es sobre ATM se emplea el VPI/VCI como etiqueta
- A veces se dice que es una tecnología de nivel 2.5
- En realidad, la etiqueta puede no ser única sino una “pila” (*label stack*)
 - “top” de la pila comienza a continuación de la cabecera de nivel de enlace
 - “bottom” de la pila está junto a la cabecera de nivel de red
 - El procesado se basa siempre en la etiqueta exterior (“top”)
 - Un paquete sin etiquetar tiene profundidad 0 de pila



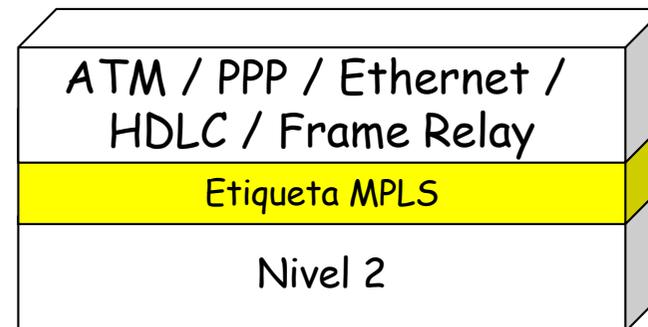
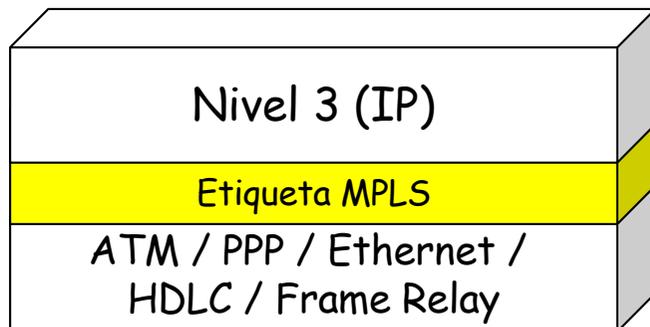
LSP Tunnels dentro de LSPs

- Por ejemplo LSP <R1, R2, R3, R4>
- R1 recibe paquetes sin etiquetar y les añade una etiqueta
- R2 y R3 no están directamente conectados
- R2 y R3 son “vecinos” mediante un túnel LSP
- R2 no solo hace swap de etiqueta sino también push de una nueva para el túnel
- R21, R22 y R23 conmutan en función de la etiqueta de nivel 2
- La etiqueta de nivel 2 es retirada por R3
- R3 (o cualquier penúltimo LSR) puede eliminar la etiqueta pues el de esgreso ya no la necesita



Transporte de/sobre MPLS

- Transporte de MPLS:
 - Sobre ATM (Etiqueta en el VPI/VCI)
 - Sobre PPP (campo protocolo 0x0281 y 0x0283)
 - Sobre Ethernet (Ethertypes 0x8847 y 0x8848)
 - Sobre HDLC
 - Sobre Frame Relay
- No solo paquetes IP sobre MPLS:
 - RFC 4905 “Encapsulation Methods for Transport of Layer 2 Frames over MPLS Networks”
 - y RFC 4906 “Transport of Layer 2 Frames Over MPLS”
 - Frame Relay, ATM (celdas o PDUs AAL5), Ethernet (simple o 802.1Q)
 - PPP, HDLC
 - Por supuesto, sobre ese nuevo layer 2, lo que queremos...

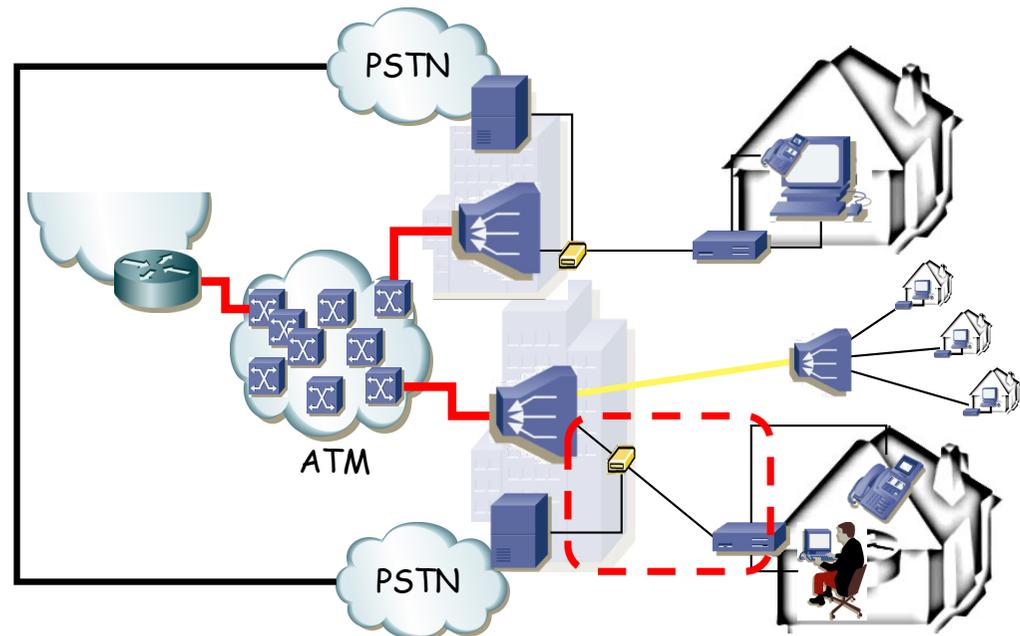


La primera/última milla

- *Core network*: Fibra, WDM, STM 256 (40Gbps), Ethernet 100-400Gb/s, “alta” velocidad
- *Metro network*: Fibra, WDM, alta velocidad
- *Usuarios*: PCs de gran potencia, interfaces gigabit Ethernet
- *Access network*: Cableada o inalámbrica, unos pocos Mbps (cable de cobre telefónico o red móvil 2G/3G)
- Previo a fibra hasta el hogar: *Cuello de botella en la primera milla*
- Actualización de esa primera milla:
 - Inicialmente el tráfico con Internet era reducido (e-mail, un poco de web...)
 - No se justificaba económicamente cambiar la red de acceso (red telefónica)
 - La burbuja de las dot-com no ayudó
- Hoy:
 - Fibra en la primera milla (no en todas partes) centenares de Mb/s
 - Red móvil decenas de Mb/s (compartida, problemas de cobertura)

xDSL

- xDSL: *x-type Digital Subscriber Line*
- Alta velocidad de datos
- Sobre par trenzado telefónico (*voice grade*) (*last/first mile*)
- Bucle diseñado para 4KHz
- Algunas tecnologías basadas en modems
- Cierta compatibilidad hacia atrás con telefonía vocal
- Otras emplean CSU/DSU (transmisión digital)
- No requiere un nuevo cableado al usuario (diferencia con HFC y FTTH)



Tipos de xDSL

HDSL = High bit-rate DSL G.991.1

SHDSL = Single-Pair HDSL = G.991.2 (similar a ETSI SDSL)

ADSL = Asymmetric DSL (G.992.1)

ADSL2 = Asymmetric DSL (G.992.3, 07/2002)

ADSL2+ = Asymmetric DSL 2 plus (G.992.5)

VDSL = Very high speed DSL (G.993.1)

VDSL2 = Very high speed DSL 2 (G.993.2)

Tecnología	Máx. Velocidad	Distancia	Medio	
HDSL	T1/E1	3,66Km	2-3 pares	Digital
SHDSL	Hasta 5.6Mbps ↑↓	3,66Km	1-2 pares	Digital
ADSL	1.5-6,1Mbps ↓ 16-640Kbps ↑	5,5Km	1 par	Analog.
ADSL2	8-12 Mbps ↓ 0,8-1Mbps ↑	2,5Km	1 par	Analog.
ADSL2+	24,5Mbps ↓ 1Mbps ↑	2,4Km	1 par	Analog.
VDSL VDSL2	55Mbps ↓ 30Mbps ↑ 100Mbps ↓↑	300m-1,4Km 2,5Km	1 par	Analog.

Tipos de xDSL

HDSL = High bit-rate DSL G.991.1

SHDSL = Single-Pair HDSL = G.991.2 (similar a ETSI SDSL)

- Popular como alternativa para transporte de T1/E1 sin repetidores
- Compatibilidad con otros DSLs en el mismo mazo
- La central puede alimentar el CSU/DSU del abonado

ADSL = Asymmetric DSL (G.992.1)

- Puede sincronizar ambos sentidos con diferentes velocidades
- Máxima velocidad de bajada permite más de 1 canal de TV
- Con POTS o RDSI. Emplea hasta 1.1MHz

ADSL2 = Asymmetric DSL (G.992.3, 07/2002)

- Soporta modo digital (sin POTS/RDSI), eso añade 256 Kb/s upstream
- Mejores resultados para líneas largas
- Mínimo 8 Mb/s down y 800 Kb/s up, hasta 12Mb/s down y 1Mb/s up
- Negociación inicial más rápida
- Soporta *Bonding* (8xn Mb/s sobre n pares) empleando IMA
- *Reach Extended ADSL2* (Anexo L, ADSL2-RE): A 5Km aún 1 Mb/s down
- *Extended Upstream* (Anexo M, EUADSL2): hasta unos 3 Mb/s reduciendo down
- En general hay que vigilar si en el mismo mazo de cables van diferentes alternativas de ADSL2 por problemas de interferencias

Tipos de xDSL

ADSL2+ = Asymmetric DSL 2 plus (G.992.5)

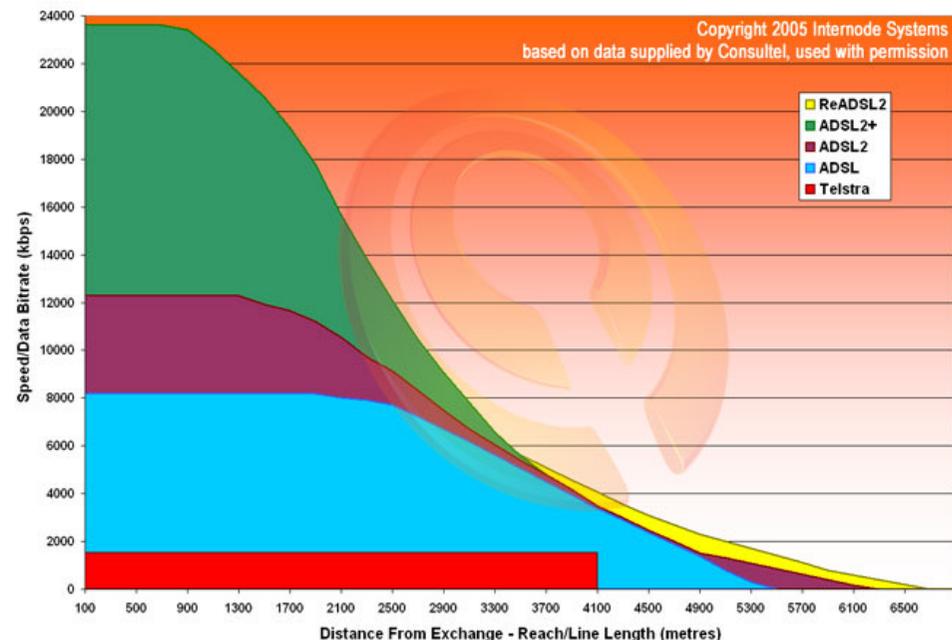
- Amplía el BW hasta 2,2MHz, anexo M incrementa la capacidad upstream
- Mínimo de 16 Mb/s down (hasta 24.5 Mb/s) y 800 Kb/s up
- Máxima velocidad solo en menos de 2.4Km

VDSL = Very high speed DSL (G.993.1)

- Velocidades simétricas o asimétricas
- Decenas de Mbps (downstream 55 Mb/s, upstream 15Mb/s)
- Emplea hasta 12MHz. Soporta modo digital

VDSL2 = Very high speed DSL 2 (G.993.2)

- Hasta 100 Mb/s upstream/downstream (usa 30MHz)
- Hasta 4096 portadoras
- Máxima distancia de unos 2500m
- Transporte STM, ATM o PTM
- Channel bonding
- Interoperable con ADSL_n



ADSL

- Una vez sincronizado no es adaptable
- La modulación permite mantener el canal ante ciertas cantidades de ruido
- G.992.1 contempla un DRA (Dynamic Rate Adaptation) para cambios ocasionales (lentos)
- Si no puede mantener la tasa se des-sincroniza (ADSL2 es más adaptable con SRA)
- DSLAM ATM
 - Básicamente un conmutador ATM
 - Conmuta las celdas del PVC del usuario

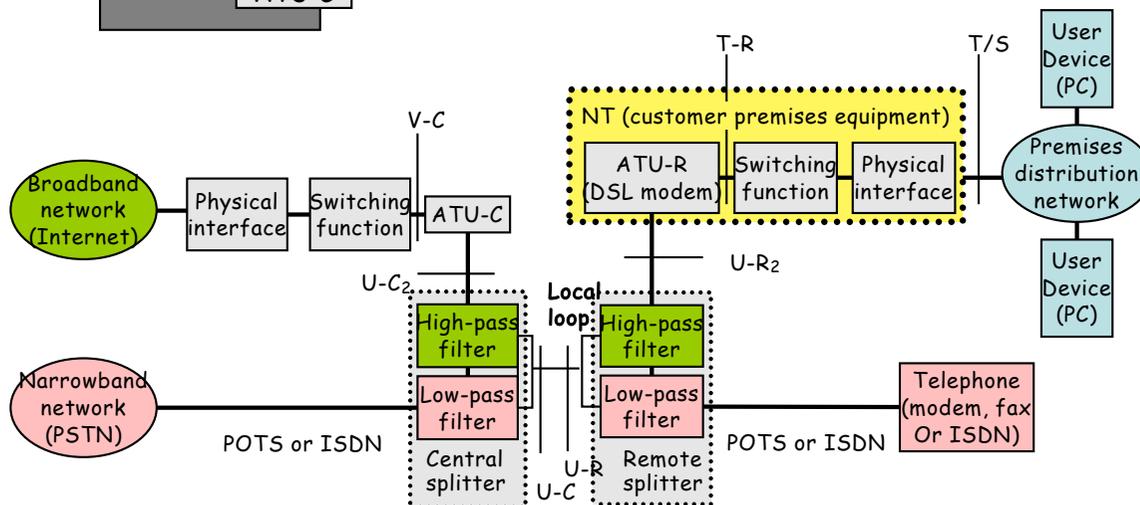
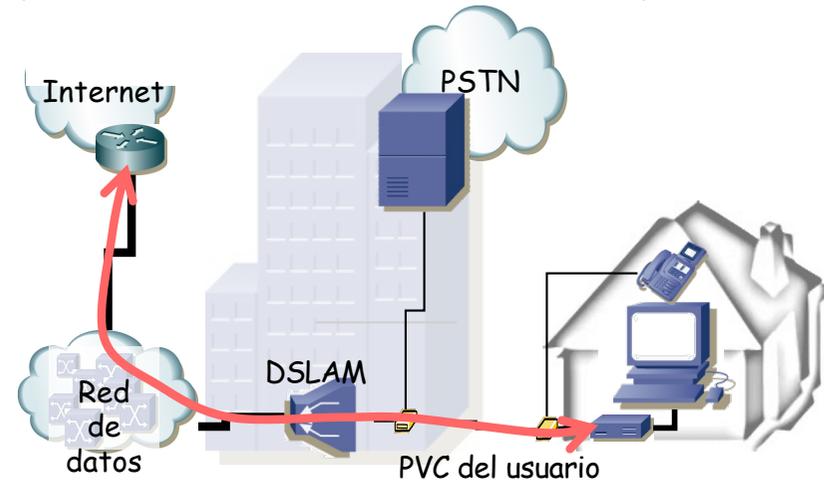
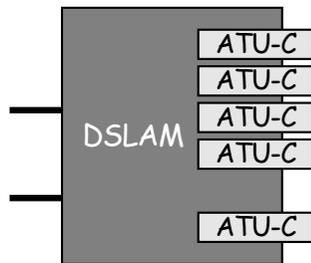
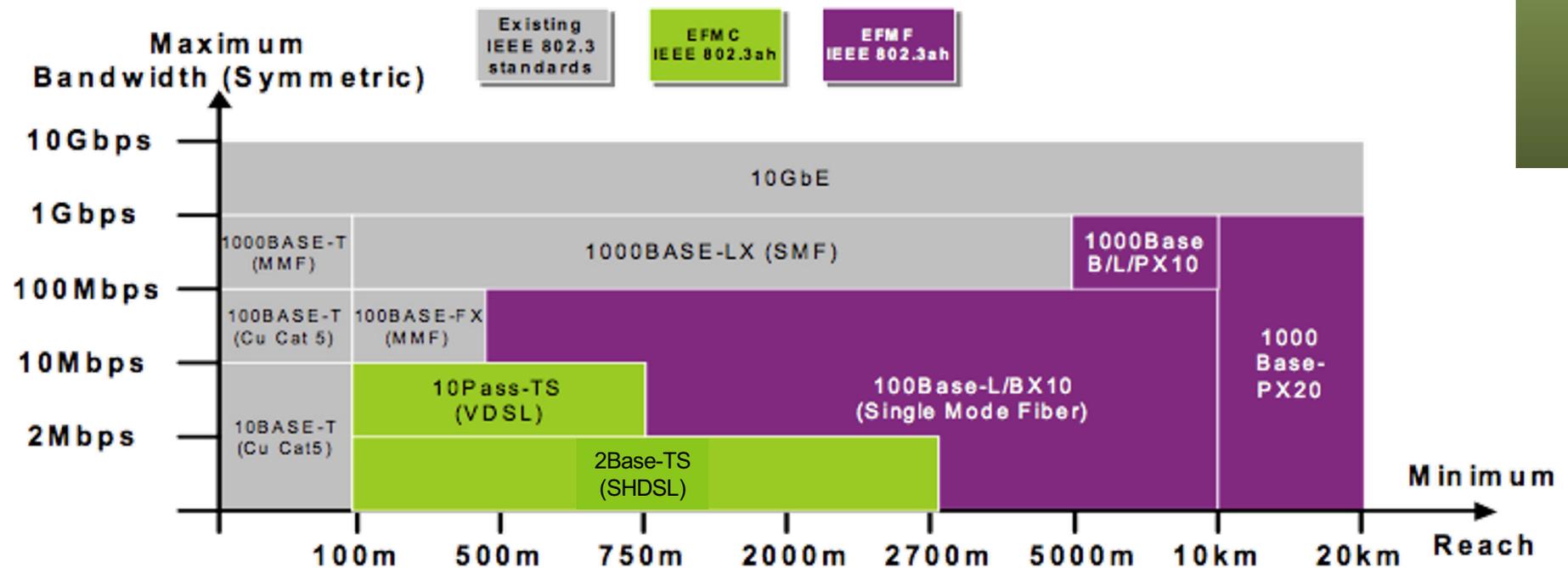


Figura 1-1/G.992.1 - Modelo de referencia del sistema ADSL

Ethernet in the First Mile

- 802.3ah (ya es parte de 802.3)
- EFMC: Ethernet in First Mile for voice-grade Copper
- EFMF: Ethernet in First Mile using point-to-point Fiber topology
- EFMP: Ethernet in First Mile using point-to-multipoint topology, based on Passive optical networks (PONs)



EFM punto-a-punto

Voice grade copper

- Solo full-duplex
- Los interfaces de ambos extremos son diferentes (CO side y CPE side)
- Velocidad simétrica
- 2BASE-TL: 2Mb/s@2700m, mín. 192Kb/s, máx 5.7Mb/s, basado en SHDSL
- 10PASS-TS: 10Mb/s@750m, basado en VDSL
- Son mínimos, equipos comerciales suelen soportar valores superiores

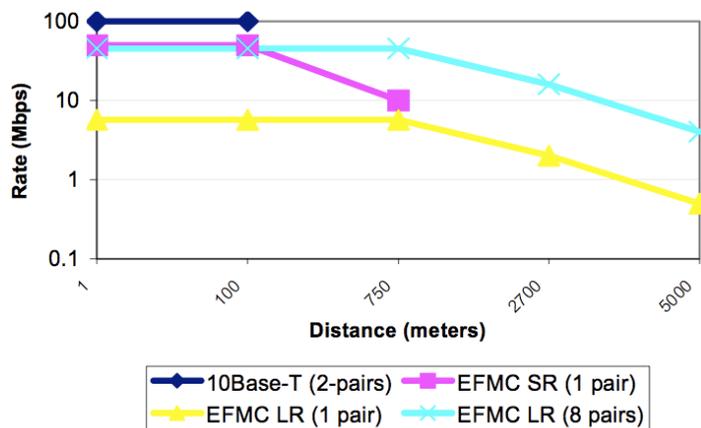
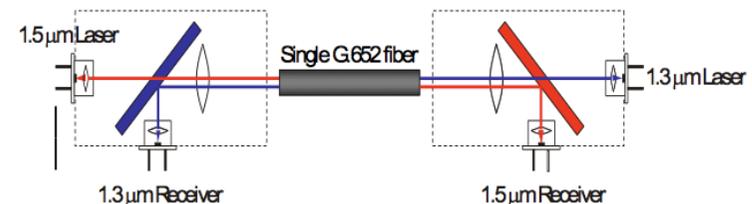
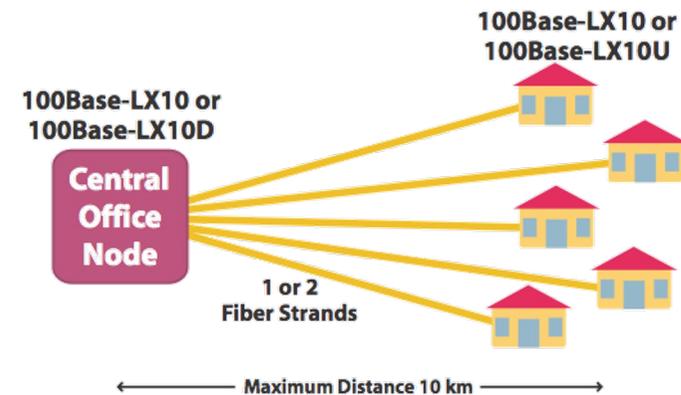


Figure 1: Distances and bandwidth for 10BASE-T, EFMC SR and EFMC LR

Fibra óptica

- 100Mb/s y 1000Mb/s
- 100BASE-LX10: Dos SMF (10km)
- 100BASE-BX10:
 - Una SMF
 - Diferente λ cada sentido (10km)
- 1000BASE-LX10:
 - Dos SMF (10km) o dos MMF (550m)
- 1000BASE-BX10: Una SMF (10km)



EFM PON (Passive Optical Network)

EPON:

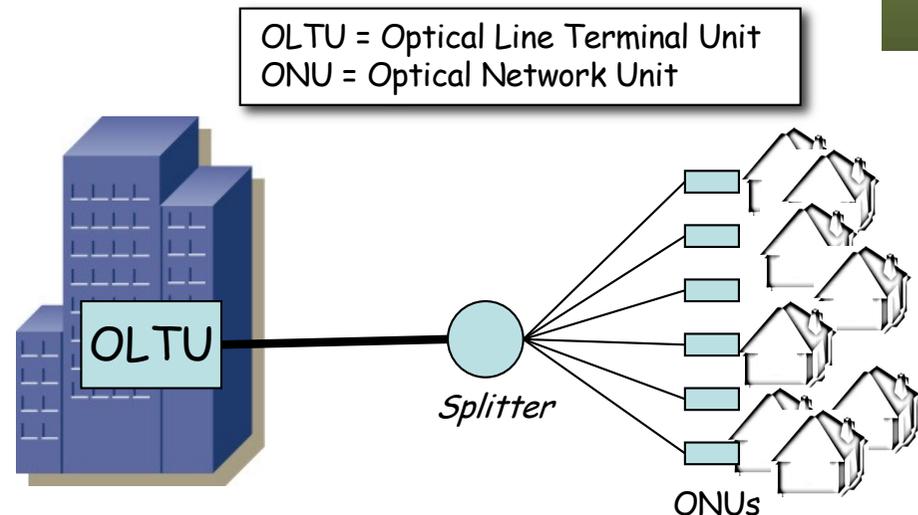
- Punto-a-multipunto pasiva
- Full-duplex, diferente λ up y down
- Los interfaces extremos son diferentes (*CO side* y *CPE side*)
- 1000BASE-PX10: SM, 10km
- 1000BASE-PX20: SM, 20km
- Split ratio de al menos 1:16
- OLT controla cuándo pueden transmitir las ONUs
- MAC: MPCP (Multi-Point Control Protocol)

NG-EPON 802.3ca (04/06/2020):

- Single SMF
- 25G-EPON: 25Gb/s downstream, 10Gb/s o 25Gb/s upstream
- 50G-EPON: 50Gb/s downstream, 10Gb/s, 25Gb/s o 50Gb/s upstream

10G-EPON (802.3av-2009):

- 10Gbps simétricos
- 10Gbps downstream y 1Gbps upstream
- Compatible con 1Gbps EPON: Cambia capa física, no MAC
- Al menos 10 y 20Km (según velocidad)
- Split ratio de 1:16 y 1:32



PONs ITU-T



A-PON (G.983.1): ATM PON, 155Mbps-1.2Gbps, 20Km

B-PON (G.983.x)

- Broadband PON, frame es un conjunto de celdas ATM
- Down: 155.52, 622.08 y 1244.16 Mb/s, up: 155.52 y 622.08 Mb/s
- Simétricos o asimétricos (todas las combinaciones con downstream \geq upstream)
- Fibra monomodo (un par o una sola con WDM - *diplex*)
- Split ratio de al menos 1:16 ó 1:32. Upstream TDMA

G-PON (G.984.x)

- Gigabit-capable Passive Optical Networks
- Downstream 2.4 Gb/s, up 1.2 ó 2.4 Gb/s (simétrico o asimétrico)
- Máxima distancia de 10-20 km (aceptaría hasta 60 km)
- Considera split-ratio de 1:64 ó 1:128, empleando una fibra única o un par
- Upstream TDMA, soporta transporte de ATM
- También encapsulado GEM (G-PON Encapsulation Method)
- Puede transportar flujos TDM (de varias formas)

XGPONs ITU-T-PON



XG-PON (G.987.x)

- 10-Gigabit-capable Passive Optical Network (NG-PON1 o XG-PON1)
- Downstream 10 Gb/s, upstream 2.4 Gb/s
- Compatible con G-PON (diferentes wavelengths)
- Encapsulado XGEM (puede transportar por sobre él Ethernet o MPLS)
- Hasta 60 km
- XGS-PON (ITU-T G.9807.1 2016)
 - 10 Gb/s simétricos (compatible con XG-PON)
 - 1:64 hasta 1:256 Split, al menos 20 km

NG-PON2 (G.989.x)

- 40-Gigabit-capable Passive Optical Network
- Mezcla de TDM y WDM, por lo que se le llama TWDM PON
- Básicamente 4 XG-PON empleando 4 longitudes de onda
- Downstream 40 Gbps (agregado), upstream 10-40 Gbps (agregado)
- Hasta 60Km, Split ratio de al menos 1:256

Competencia

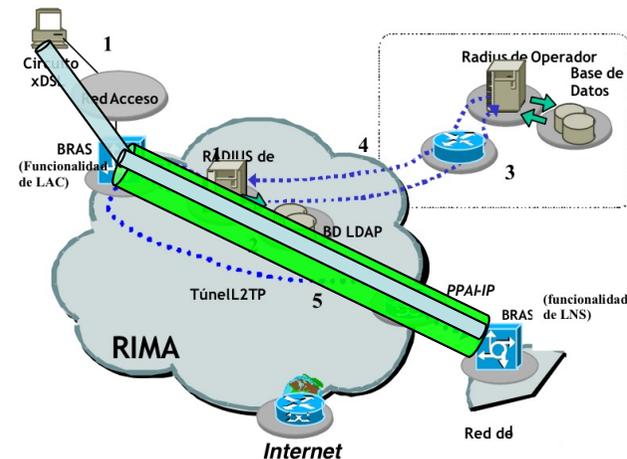
- Telefónica operador monopolista hasta finales de los
- Apertura a competencia le dejaba en ventaja
- Para favorecer la competencia se le ha obligado a vender servicios mayoristas
- Es decir, dar acceso a su red a operadores de la competencia
- El acceso físico hasta el abonado en su hogar/empresa puede ser propiedad de Telefónica, pero debe entregar el tráfico a otro operador con quien ha contratado servicio
- Hoy en día existen municipios fuera del control regulado porque en ellos ya existe oferta suficiente en competencia
 - Ofertas reguladas:
 - Oferta de Acceso al Bucle de Abonado (OBA)
 - Oferta de Interconexión de Referencia IP (OIR-IP)
 - Oferta de Referencia de Líneas Alquiladas (ORLA)
 - Mayorista de Acceso a Registros y Conductos (MARCo)
 - Referencia para el Acceso a los Centros emisores de Cellnex (ORAC)
 - Nuevo servicio Ethernet de Banda Ancha (NEBA)
 - Acceso desagregado virtual al bucle de fibra óptica (NEBA Local)

OBA: Oferta de acceso mayorista al Bucle de Abonado

- Acceso desagregado, *Unbundled Local Loop (ULL)*
 - Telefónica alquila el par de cobre del abonado
 - Se puede prestar cualquier servicio ADSL que permita la línea
 - El operador alternativo debe disponer de equipos en la central (hay más de 6.000)
 - Telefónica debe ofrecerle espacio (coubicación)
 - Dos variantes:
 - Desagregado compartido (*Shared Access*): Telefónica continúa ofreciendo el servicio telefónico
 - Completamente desagregado (*Full Unbundled*): Puede ofrecer cualquier servicio
- Acceso indirecto
 - Telefónica concentra el tráfico de los abonados seleccionados
 - Solo modalidades de ADSL que ofrezca Telefónica
 - GigADSL (red ATM de Telefónica, cerrada en 2019)
 - Concentra tráfico de un conjunto de usuarios hasta un PAI (Punto de Acceso Indirecto) por demarcación
 - Existen 109 demarcaciones

OBA: ADSL IP

- Servicio de Telefónica
- Transporte de tráfico IP de los accesos ADSL
- En vez de GigADSL emplea la red RIMA
- 3 PAI-IP (Puntos de Acceso Indirecto IP), 2 en Madrid y 1 en Barcelona con acceso desde cualquiera a todos los bucles de abonado bajo cobertura
- Existe la posibilidad a nivel provincial (50 PAIs)
- Se transportan sesiones PPP en túneles L2TP
- PPPoA o PPPoE, preferible PPPoE y único posible en VDSL2
- 2 tipos de servicio: Plata (best effort) y Oro (para empresas)
- PPP entre el usuario y el BRAS del operador (Broadband Remote Access Server)
- Encapsulado en túnel L2TP al atravesar RIMA
- Al pPAI-IP: STM-1, STM-4, STM-16 (mediante POS) o GigabitEthernet



NEBA

- Servicio mayorista de acceso indirecto con entrega en 50 Puntos de Acceso Indirecto Ethernet (PAI-E) de tramas Ethernet transparente a protocolos de nivel superior
- Sustituyó a GigADSL/RIMA
- Interfaces Ethernet entre equipo de cliente y nodo de acceso así como en los puntos de entrega del servicio
- Para tecnologías: ADSL2+/POTS, VDSL2, FTTH (GPON)
- Para ADSL requiere DSLAMs IP y solo los tienen instalados con puertos ADSL2+, por eso no da servicio ADSL básico ni RDSI
- Calidades de tráfico (con diferente BW): best effort, oro y real time (nuevo)
- Dentro de la red, 802.1ad (QinQ) empleando la C-VLAN para marcar al cliente y la S-VLAN para identificar al nodo de acceso
- Una única VLAN o VP/VC por usuario. Identificación de usuarios en la red mediante QinQ (802.1ad). S-VLAN indica el nodo de acceso. C-VLAN indica el cliente
- El CPE marca la calidad con 802.1p en el S-Tag

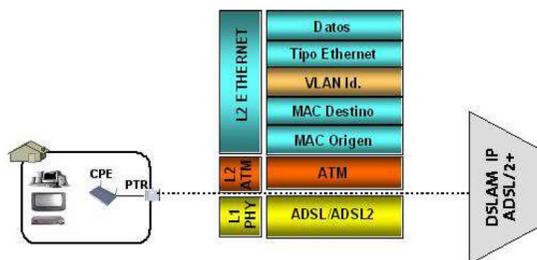


Figura 2: Estructura de protocolos para conexiones ADSL2+

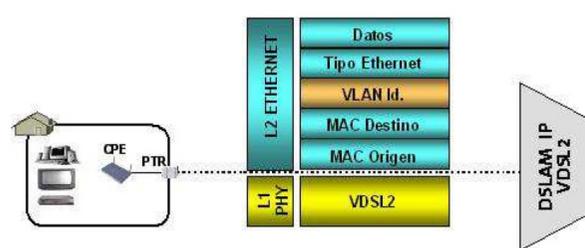


Figura 3: Estructura de protocolos para conexiones VDSL2

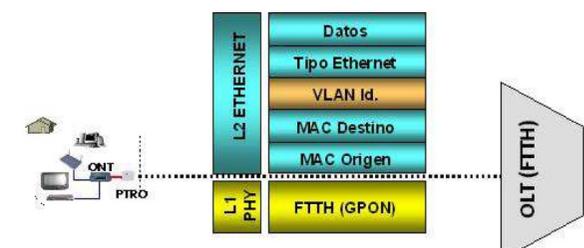


Figura 4: Estructura de protocolos para conexiones FTTH

NEBA Local

- Similar a NEBA provincial pero con incluyendo PAIs locales
- Para accesos FTTH
- Por ser GPON no se puede hacer un desagregado físico del bucle de fibra
- Transporte de tramas Ethernet
- Permite funcionalidad multicast
- Agrega el tráfico de clientes y lo entrega en un PAI-L
- Transporte con QinQ
- El modo de uso de la S-VLAN depende del fabricante de la OLT
- Entrega en interfaces Ethernet a 1 ó 10 Gb/s

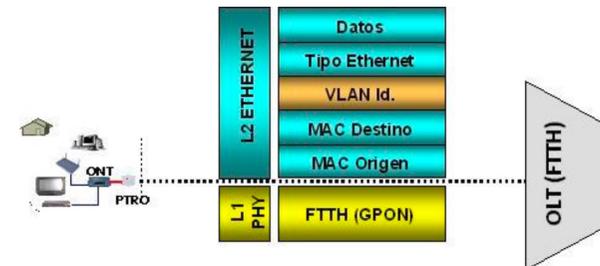


Figura 1: Estructura de protocolos para conexiones FTTH

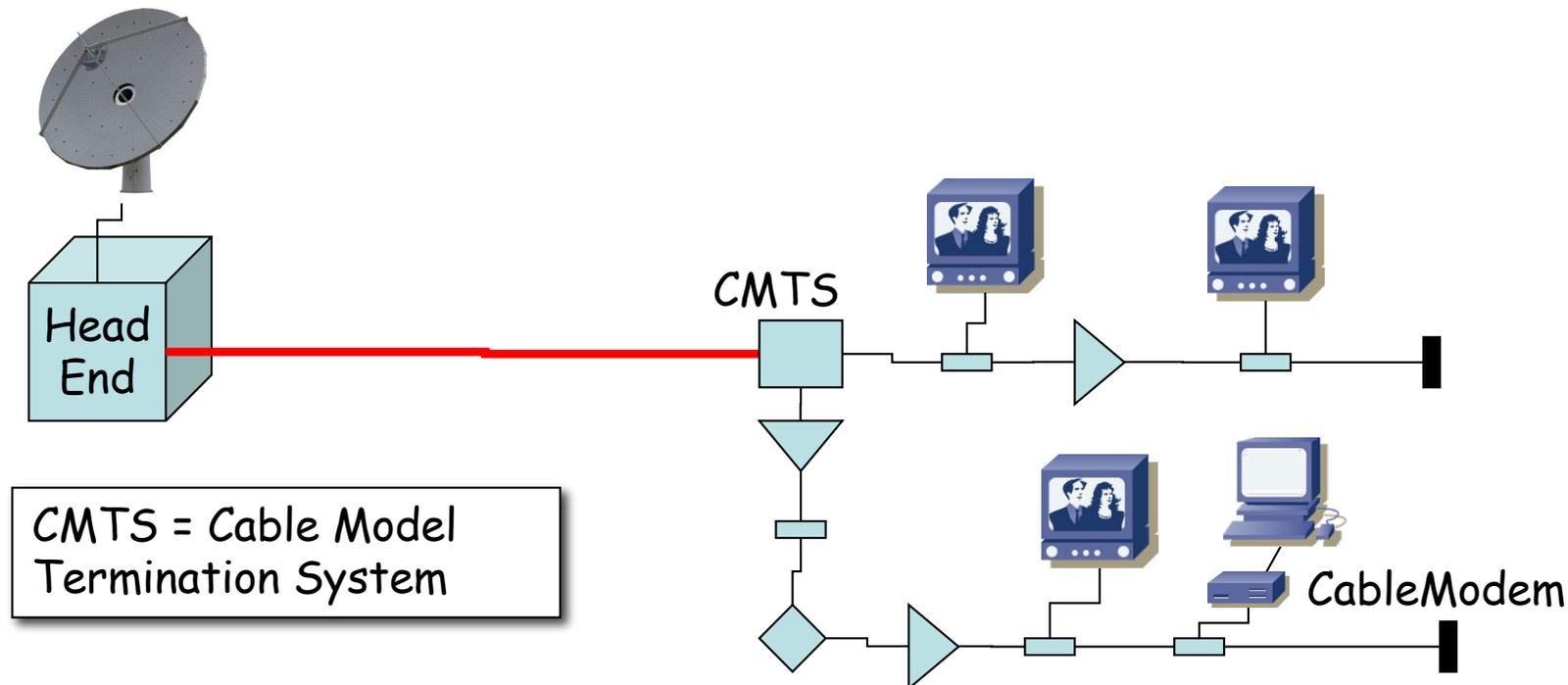
Modalidad	BE		ORO		RT	
	DOWN	UP	DOWN	UP	DOWN	UP
f1	300M	300M	50M	50M	2M	2M
f2	600M	600M	50M	50M	2M	2M
f3	1000M	1000M	100M	50M	7M	7M

Otros servicios regulados

- OIR-IP
 - Oferta de interconexión de referencia de llamadas sobre la red de comunicaciones VoIP de Telefónica
 - Es decir, en lugar de interconexión tradicional TDM/SS7
 - Permite interconectar llamadas VoIP sin tener que pasar por la red clásica TDM
 - Protocolos VoIP: SIP, SDP, RTP, RTCP
- MARCo
 - Oferta **M**ayorista de **A**cceso a **R**egistros y **C**onductos
 - Acceso al uso compartido de infraestructura de obra civil de Telefónica
 - Canalizaciones, conductos, elementos de registro y posters
- ORLA
 - Oferta de Referencia de Líneas Alquiladas Terminales (ORLA-T)
 - Circuitos PDH y SDH (hasta 155Mb/s)
 - 30 de abril de 2026 cierre de circuitos ORLA-T
 - Circuitos digitales dedicados de velocidades Ethernet (10, 100 y 1000Gb/s, desde 2020 también superiores) (ORLA-E)
 - “... características técnicas suficientes para emular servicios TDM ...”
 - Contratar capacidad (hasta STM-64) en las 9 rutas submarinas reguladas

Coaxial: TV

- Red CATV (Community Antenna TeleVision)
- En principio para resolver problemas de recepción en edificios
- Posteriormente auge al introducir canales enviados por satélite
- Añade acceso condicional (PPV) con RTB como canal de retorno
- FDM, canales de TV de 6-8MHz en 50-550MHz
- Posteriormente introducción de la TV digital
- Y de la tecnología óptica: HFC (Hybrid Fiber Coaxial)



Coaxial: DOCSIS

- DOCSIS = *Data Over Cable Service Interface Specification*
- Canal de retorno por el mismo coaxial
- Transmisión desde el usuario (upstream) en la banda 5-50 MHz
- Con TV digital el transporte por fibra puede ser por ejemplo SDH
- Telefonía mediante soluciones propietarias (no está normalizado)
- Aunque en ocasiones se han tendido pares de cobre en paralelo
- Upstream 5-50 MHz, downstream 550-860 MHz
- De consorcio CableLabs pero aceptado por ITU y ETSI
- Especifica nivel físico y MAC. Encapsulado MPEG
- Downstream: 30-50Mbps, Upstream: 10-30Mbps, por portadora
- Permite *channel bonding*
- Red troncal:
 - Un nodo primario atiende a 3-4 anillos secundarios
 - En un anillo secundario hay 5-6 nodos secundarios
 - Un nodo secundario da servicio a unos 2000 hogares

