

Tema 3

Tecnologías de Redes de Área Local

Redes de Computadores

Curso 2017/2018
Segundo semestre

Objetivos

- Conocer los estándares clave de las Redes de Área Local (LANs).
- Estudiar las técnicas de acceso al medio utilizadas en las LAN.
- Conocer los dispositivos necesarios para poder implementar una LAN.
- Conocer los aspectos fundamentales y comprender la necesidad de las VLAN (Redes de Área Local Virtuales)

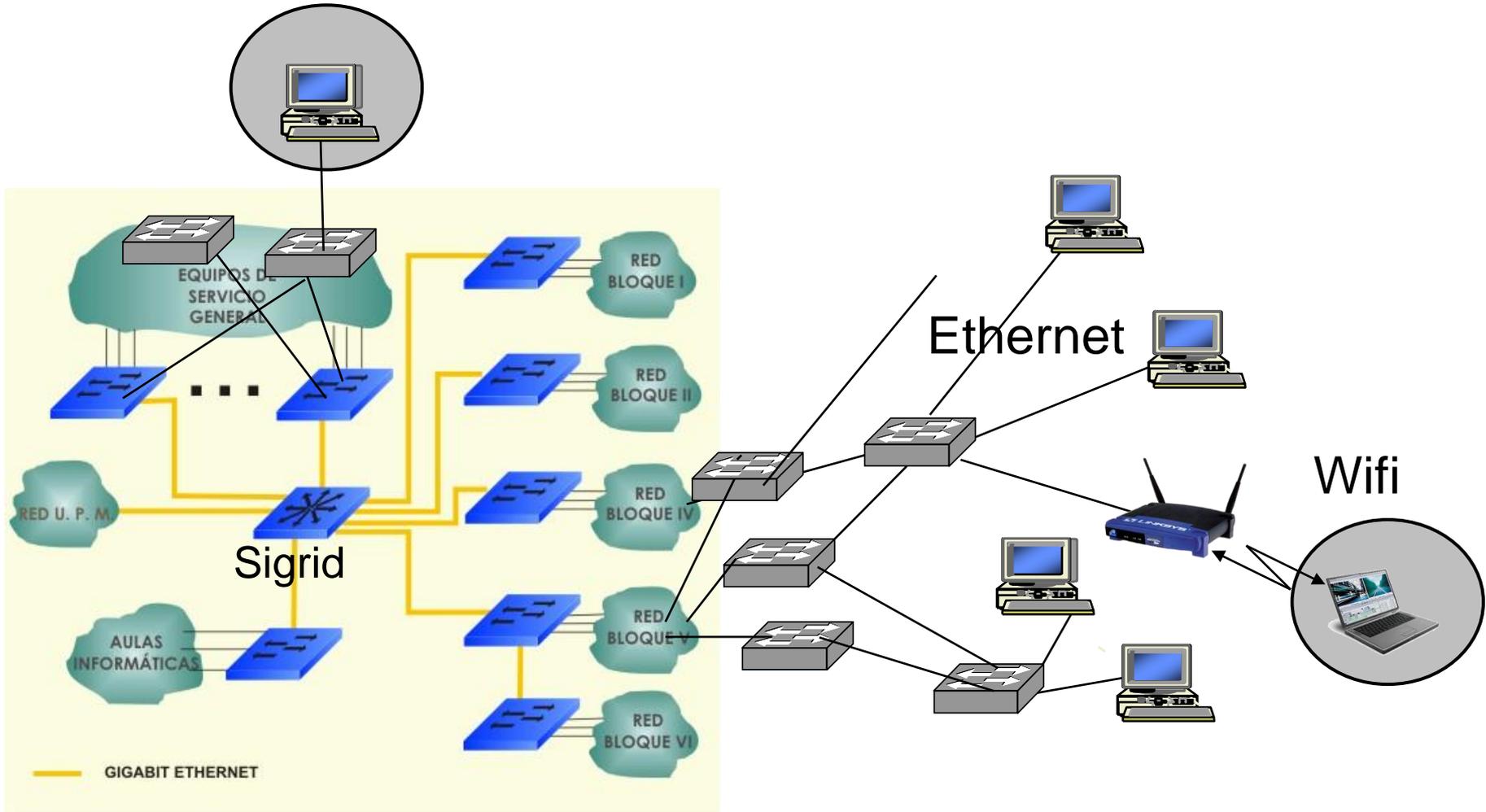
Bibliografía

- “**Computer Networks**”, Fifth Edition, Andrew S. Tanenbaum and David J. Wetherall. Pearson Education, Inc. 2011.
- “**Computer Networks. A Top-Down Approach**”, First Edition. Behrouz A. Forouzan & Firouz Mosharraf. Mc Graw Hill, 2011.
- “**Data and Computer Networks**”, 9th Edition, W. Stallings. Prentice Hall, 2010.
- “**802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide**”. Second Edition, M.S. Gast, O’Reilly, 2002.

Índice del tema

- ▀ 3.1 Redes de Área Local con cable: **Ethernet**
- ▀ 3.2 Redes de Área Local Virtuales: **VLANs**
- ▀ 3.3 Redes de Área Local **Inalámbricas (Wifi)**

Red F.I. Conexión de terminales en red



3.1 Ethernet

- Arquitectura
- Encapsulación
- Direccionamiento físico
- Switches

Redes de cable (Ethernet)

- ▮ Ethernet:
 - Es la tecnología LAN más ampliamente utilizada
 - Incluye nivel de enlace y nivel físico
 - Se corresponde con una familia de tecnologías definidas en los estándares Ethernet e IEEE 802.2 y 802.3
 - Soporta transferencias de datos a 10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps y hasta 100 Gbps.

- ▮ Estándares Ethernet:
 - Ethernet: Definen protocolos de nivel 2 y tecnologías de nivel 1
 - IEEE: contempla dos subniveles de nivel de enlace: 802.2: LLC (Logical Link Control) 802.3: MAC (Media Access Control)

Historia de Ethernet

Robert Metcalfe 1970

+ David Boggs; Xerox
Palo Alto; 1973-1976

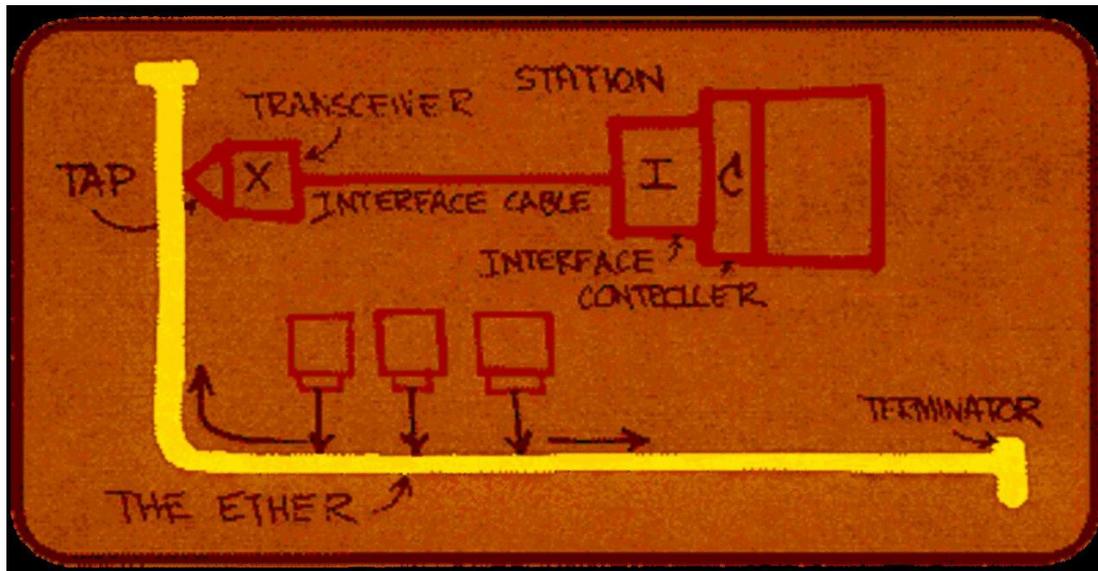


Diagrama de Ethernet
realizado por Metcalfe

Ethernet (en alusión al éter como portador de ondas en el espacio).
Empleaba CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)

En 1979 Metcalfe dejó Xerox y fundó 3Com

En 1990 Metcalfe, ya multimillonario, se retiró de 3Com

Digital, Intel and Xerox (DIX) formaron un consorcio para estandarizar Ethernet. La primera versión de Ethernet conocida como trama DIX versión 1 fue publicada en 1980 y la versión utilizada hoy es la versión 2 conocida como Ethernet II

Ethernet II vs. IEEE 802.3

- Estándares de redes cableadas
 - **Ethernet II**
 - Estándar industrial de 1982
 - Encapsula IP directamente en tramas Ethernet
 - Versión actualmente en uso
 - **IEEE 802.3**
 - Estándar de IEEE desde 1985
 - Utiliza LLC como subnivel superior de nivel de enlace
 - Requiere de SNAP para encapsular IP en tramas Ethernet
 - Encapsulación sí utilizada en WiFi
 - El **Subnetwork Access Protocol** (SNAP) es un protocolo estandarizado en norma IEEE 802 que permite encapsular diferentes protocolos utilizando un SAP (Service Access Point) público.
 - Utilizado todavía por algunos protocolos de control (STP)

IEEE 802.3 y Ethernet II

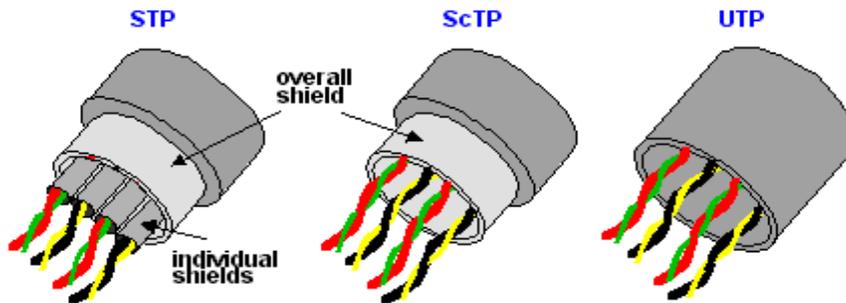
Formato de trama

7 Octetos	1 Oct.	6 Oct.	6 Oct.	2 Oct.	0 a 1.500 Oct.	4 Oct.	
Preámbulo	SFD	Dirección destino	Dirección origen	Long. ó Tipo	LLC y/o Datos	Relleno 0 - 46	SVT

- **Preámbulo:** Para sincronización; 7 octetos con el siguiente patrón: 10101010.
- **SFD** (*Start Frame Delimiter*) : delimitador de comienzo trama: 10101011
- **Dirección MAC destino**
- **Dirección MAC origen**
- **Longitud o Tipo.** Longitud para IEEE 802.3; Tipo para Ethernet II
 - > 0x0600 (1.536): **Tipo** (ej: 0x800: IP; 0x0806: ARP)
 - < 0x600: **Longitud** del campo de datos (transporta una PDU 802.2)
- **LLC y/o Datos:** datos de nivel superior
 - LLC si es 802.3
 - Datos (IP) si es Ethernet II
- **Relleno** para alcanzar la longitud mínima de trama: 64 bytes (sin incluir el preámbulo, ni SFD)
- **SVT:** Secuencia de Verificación de Trama

Ethertypes comunes	
IPv4	0x0800
IPv6	0x86DD
ARP	0x0806
802.1Q	0x8100
Tramas Jumbo	0x8870
MPLS	0x8847

Par trenzado



- STP: Shielded Twisted Pair
- ScTP: Screened Twisted Pair
- UTP: Unshielded Twisted Pair

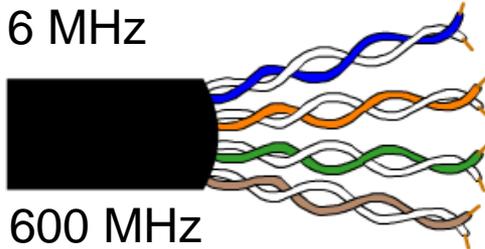
UTP			
Categoría	Ancho de banda (100 m)	Velocidad	Aplicaciones
Cat 1	400 KHz	1 Mbps	Redes telefónicas (acceso)
Cat 2		4 Mbps	
Cat 3	16 MHz	16 Mbps	Ethernet. 10 Base T
Cat 4		20 Mbps	
Cat 5	100-125 MHz	100 Mbps	Ethernet. 100/1000 Base T
Cat 5e	100-125 MHz	1Gbps	Ethernet. 100/1000 Base T
Cat 6	250 MHz	1Gbps	1 Giga Base T
Cat 7	600 MHz	10 Gbps	10 Giga Base T

Tipos de cable: cobre

Ethernet

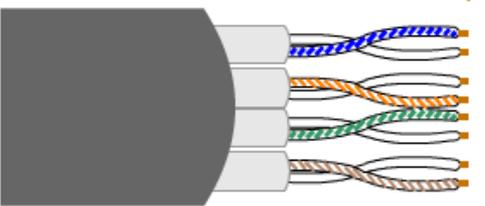
UTP: Unshielded Twisted Pair (Par trenzado no apantallado)

16 MHz



Categoría 3
(UTP)

600 MHz



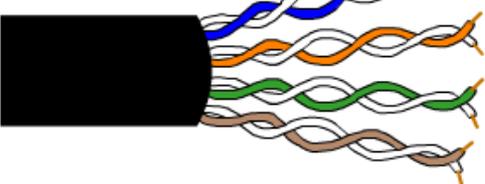
Categoría 7
(ScTP)

250 MHz



Categoría 6
(UTP)

100-125 MHz



Categoría 5 y 5e
(UTP)

"Screened UTP". Es un cable UTP de pares trenzados sin apantallar individualmente, pero con una pantalla exterior general debajo de la cubierta de protección en forma de hoja de papel aluminio

- ✓ Los cables de **Cat. 5 y 5e** (UTP) son los más típicos
- ✓ Se utilizan para la transmisión de datos
- ✓ Cat. 5 soportan **100 Mbps** y pueden soportar 1000 Mbps, aunque no está recomendado
- ✓ Cat. 5e soporta **1 Gbs**

Tipos de cable: fibra

Ethernet

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ : longitud de onda

c: velocidad de la luz

f : frecuencia

1 micra = 10^{-6} m

1 nm = 10^{-9} m

1 THz = 10^{12} Hz



Tipos de Ethernet

- **Ethernet (IEEE 802.3)**
 - Obsoleto. **10 Mbps**
 - Codificación Manchester

- **Fast Ethernet (IEEE 802.3u)**
 - **100 Mbps**
 - 100Base-TX
 - 2 pares de cobre de categoría 5 o superior
 - Codificación 4B/5B + MLT-3
 - 100m por segmento (200m entre estaciones)
 - 100Base-FX
 - 2 filamentos de fibra óptica multimodo
 - Codificación 4B/5B + NRZI
 - 2km por segmento
 - Señal en línea : pulso de luz/no luz
 - 1bit/baudio

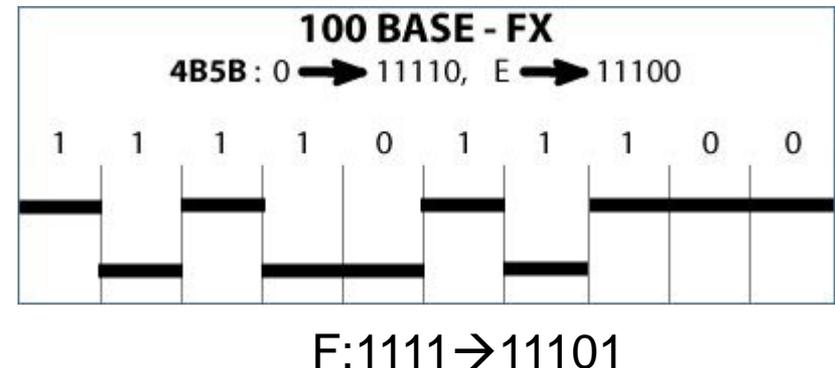
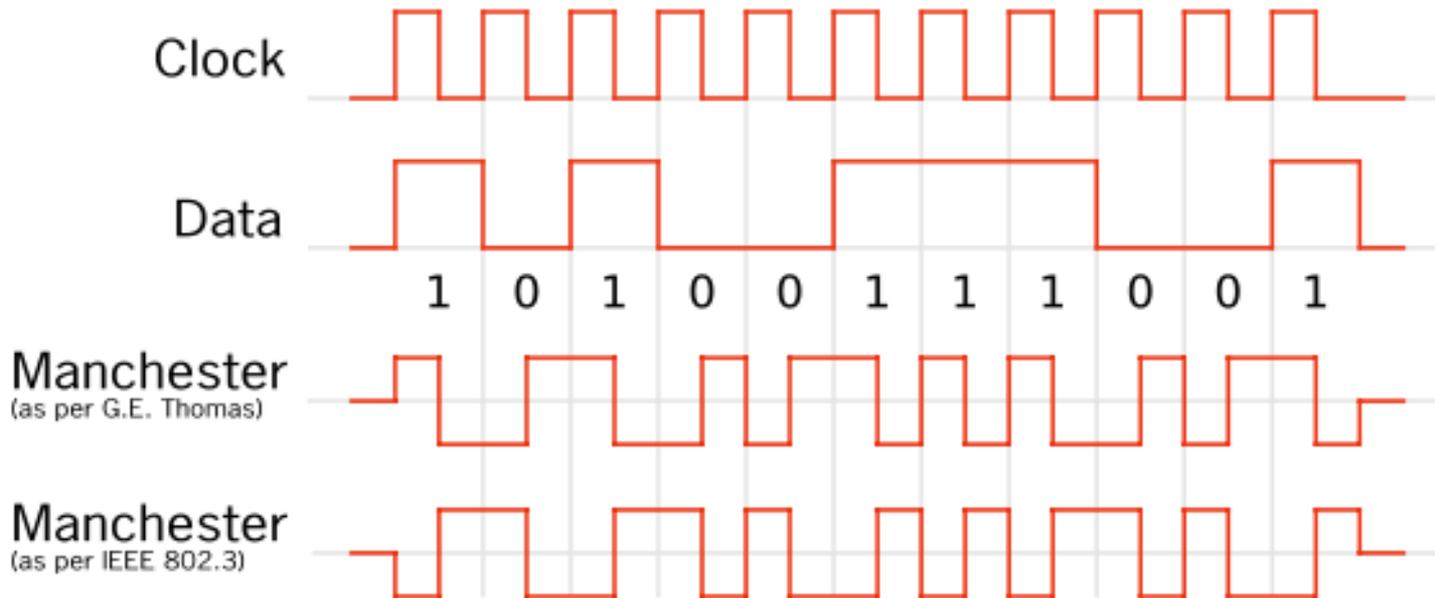


Tabla de codificación 4B5B

Data (Hex)	(Binary)	4B5B code
0	0000	11110
1	0001	01001
2	0010	10100
3	0011	10101
4	0100	01010
5	0101	01011
6	0110	01110
7	0111	01111
8	1000	10010
9	1001	10011
A	1010	10110
B	1011	10111
C	1100	11010
D	1101	11011
E	1110	11100
F	1111	11101

Ethernet a 10 Mbps



$C \text{ baudios} = 2 W \text{ Hz};$

Codificación Manchester: $T_{\text{bit}} = 2T \text{ baudio}; 2 \text{ baudios/bit}$

$V = 10 \text{ Mbps}; C = 20 \text{ Mbaudios};$

$W = 20/2 = 10 \text{ MHz}$

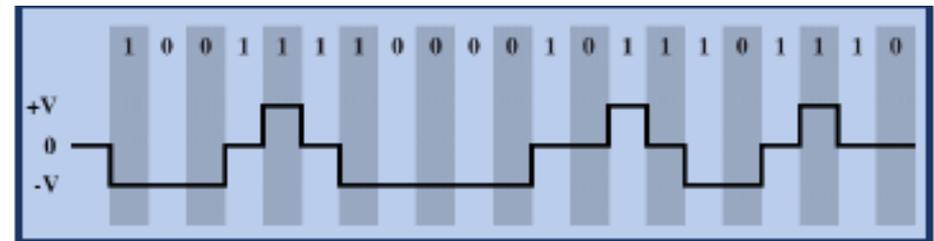
Fast Ethernet. Nivel físico

4B/5B

- Codificación de línea que mapea grupos de 4 bits en grupos de 5 bits para asegurar más transiciones con el fin de proporcionar información de reloj y mantener el sincronismo entre transmisor y receptor.
- Aumenta el régimen binario un 25 %
- De los 32 posibles valores de 5 bits se eligen sólo la mitad (16), que no tienen más de 3 ceros seguidos.
- Se transmite 1 bit/baudio; $W = V_s/2 = V_t/2$;
 $W = 125 \text{ Mbaudios}/2 = 62,5 \text{ MHz}$
- Permite usar frecuencias menores que con codificación Manchester (62,5 MHz frente a 100 MHz).

MLT-3 (Multi-Level Transmit)

- Transición en cada 1 binario
- 3 valores de tensión
- Si es un bit 0 mismo valor
- Si es un bit 1
 - Si el anterior fue $-V$ ó $+V$, entonces se codifica con 0
 - Si el anterior fue 0 se codifica con $+V$ ó $-V$ dependiendo si el anterior fue $-V$ o $+V$



Tipos de Ethernet

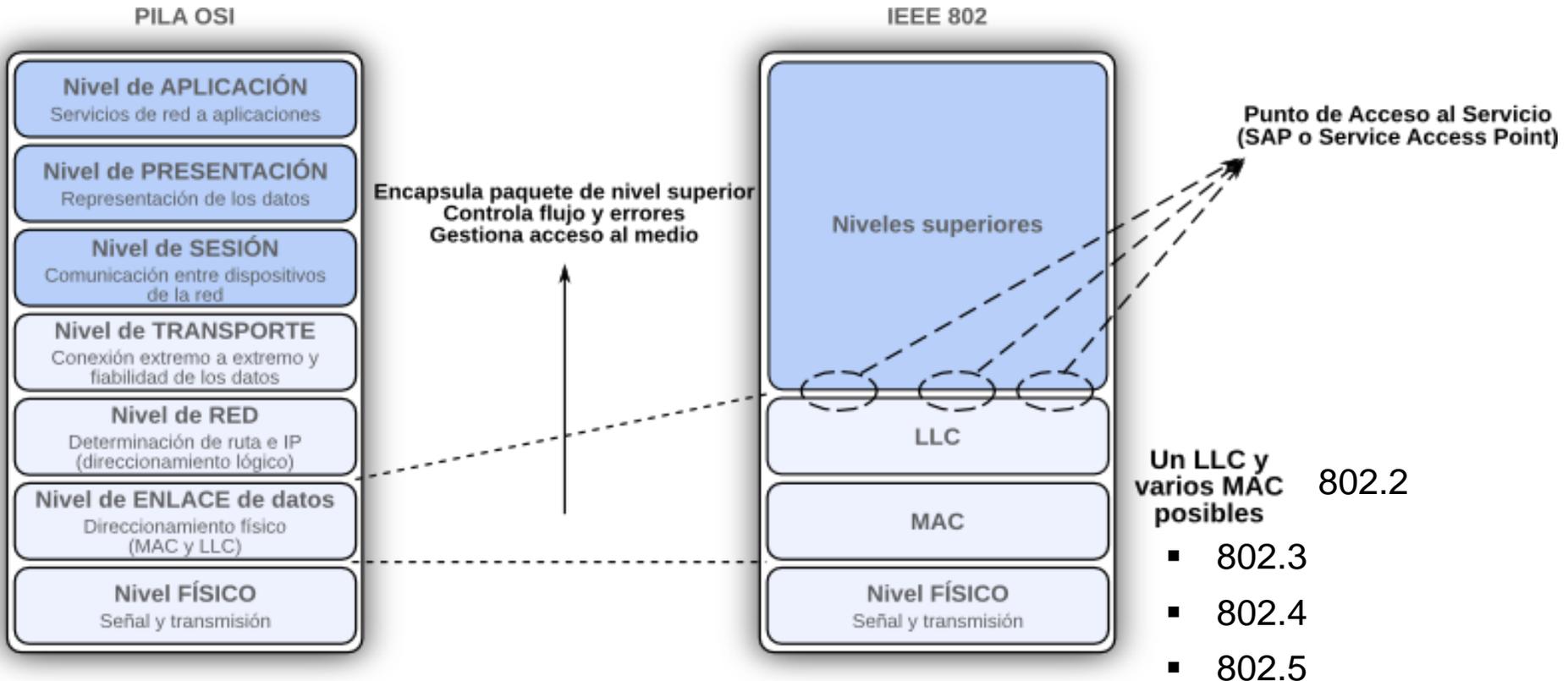
■ Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ab)

- 1.000 Mbps (1Gbps)
- 1000Base-T
 - 4 pares de cables de par trenzado UTP de categoría 5e, 6 o 7 , transmitiendo simultáneamente en ambos sentidos por cada uno de ellos y utilizando cancelación de eco
 - Velocidad de señalización 125 Mbaudios. Codificación multinivel PAM-5 (+2, +1, 0, -1, -2);
 - En cada par, cuatro símbolos representan 2 bits de datos; el quinto contiene la información FEC (Forward Error Control) y permite recuperar pérdidas de información causadas por ruido. 2bits/baudio
 - Velocidad de transmisión de 250 Mbit/s por par. ($125 \times \log_2 4$)
 - 100m por segmento
- 1000Base-LX
 - Fibra multimodo: hasta 550 metros
 - Fibra monomodo: hasta 5 kilómetros
 - Codificación 8B/10B con 1,25 Gbps en línea y codificación NRZ

■ 10 Gigabit Ethernet (10GE o 10GbE o 10GigE) (IEEE 802.3ae)

- 10.000 Mbps que se alcanzan normalmente sobre fibra, aunque también con UTP cat. 6 o superior

Subniveles LLC y MAC



Subniveles LLC y MAC

- ▣ **LLC (Logical Link Control)**
 - Controla la comunicación con los niveles superiores de la arquitectura
 - Recibe los datos del nivel de red (nivel 3) y les añade la cabecera necesaria para entregar el paquete a su destino

- ▣ **MAC (Media Access Control)**
 - Subnivel inferior del nivel de enlace de datos
 - Implementado en hardware, típicamente en la tarjeta de red del ordenador (NIC- Network Interface Card)
 - Dos funciones principales:
 - Encapsulación de datos
 - Control de acceso al medio

Subnivel IEEE 802.2 LLC

- Un protocolo LLC (802.2) común para varios protocolos MAC (802.3; 802.4; 802.5)
 - Se definieron 3 tipos de servicio y 4 protocolos (clase 1, clase 2, clase 3 y clase 4)
 - LLC clase 1: ofrece un servicio no orientado a conexión, sin confirmación, independiente del medio físico
- Identifica el protocolo de nivel superior mediante SAPs (*Service Access Point*)



Subnivel IEEE 802.2 LLC



- DSAP y SSAP identifican los protocolos de nivel superior
 - DSAP: SAP al que va dirigido el campo de datos
 - SSAP: SAP que generó el campo de datos
 - Se definió identificador para IP (=0x6) pero no para ARP
 - No puede utilizarse directamente para encapsular IP
 - Se utiliza **SNAP** (*Sub-network Access Protocol*) para encapsular IP
- El campo de información contiene los datos de nivel superior
 - Para tráfico IP: la cabecera SNAP seguida de los datos

Códigos de “tipo” Ethernet y “SAP”

Tipos Ethernet (Xerox)

Netware 8137

XNS 0600, 0807

IP 0800

ARP 0806

RARP 8035

SAP (IEEE)

NetWare 10,E0

XNS 80

NetBIOS F0

IP 06

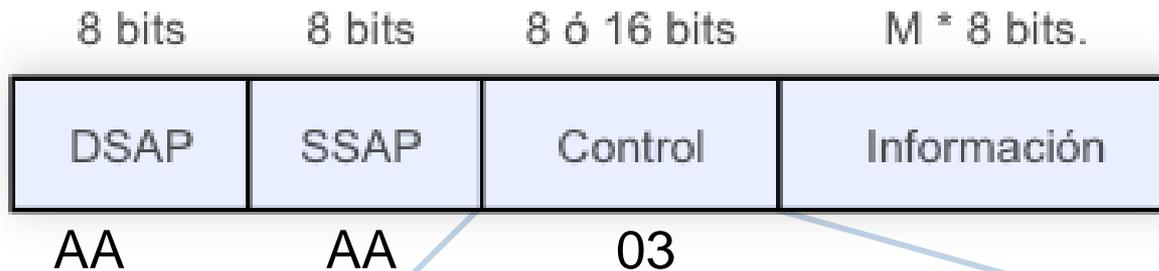
SNA 04,05,08,0C

X.25 7E

SNAP: AA

STP: 42

Subnivel IEEE 802.2 LLC (Clase 1)



menos significativo									más significativo		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10-16		
0	Nº seq. emisión							P/F	Nº seq recepción		
1	0	Superv.							P/F	Nº seq recepción	
1	1	Modif.		P/F	Modif.						

Tramas de Información

Tramas de Supervisión

Tramas no numeradas

0x03

1	1	0	0	0	0	0	0	0	Unnumbered Information
1	1	1	1	P/F	1	0	1		Exchange Identification
1	1	0	0	P/F	1	1	1		Test

Petición / Respuesta

Acceso y RAL

Cabecera SNAP

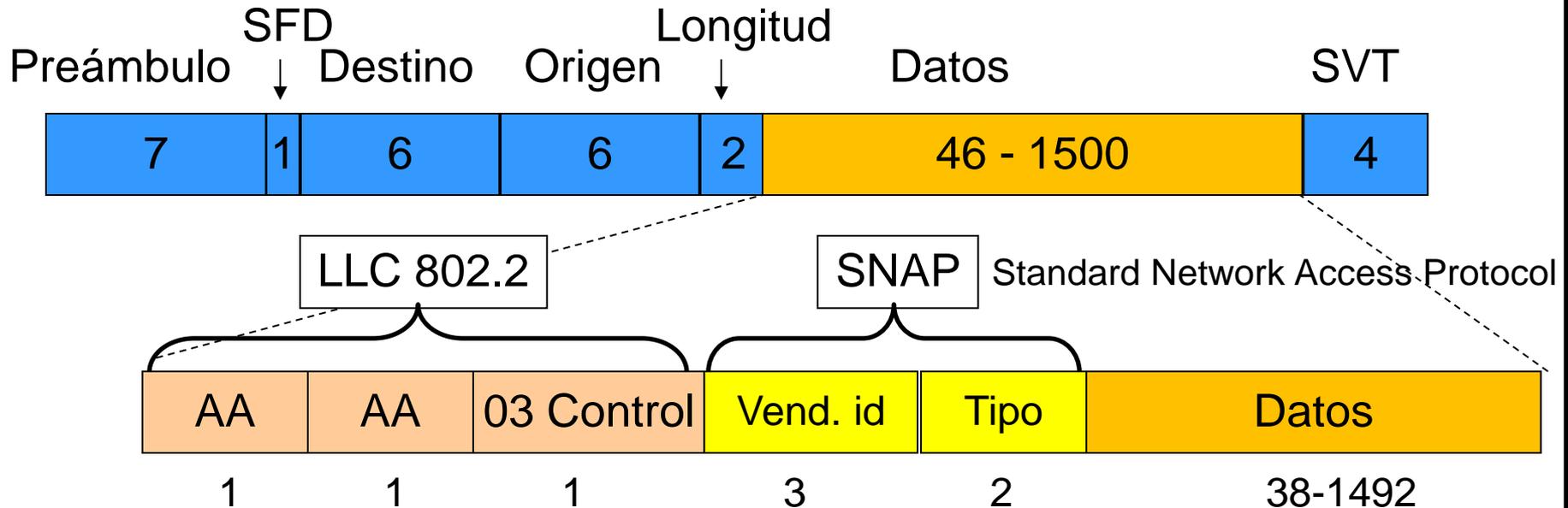
- Soporte a protocolos propietarios
 - Se utiliza un identificador de protocolos de 5 bytes.
 - **Código de Organización** (3 bytes)
 - Código único de organización (OUI) para protocolos propietarios
 - 0x0 para indicar encapsulación IP en Ethernet
 - **Tipo** (2 bytes)
 - *Ethertype* en encapsulación Ethernet



- Utilizado en encapsulación IP sobre 802.2

Cabeceras LLC1 y SNAP. Resumen

¡Para quienes no tienen asignación DSAP y SSAP de IEEE!



- **DSAP:** 1 byte, AA indica que hay una cabecera SNAP
- **SSAP:** 1 byte, AA indica que hay una cabecera SNAP
- **Control:** 1 byte, 03 indica trama LLC no numerada
- **SNAP:** 5 bytes, los 3 primeros identifican el vendedor, los dos últimos identifican el protocolo (SNAP es subconjunto de LLC 802.2).

Subnivel MAC

- ▣ **Encapsulación de datos**
 - Crea la trama antes de enviarla y la desmonta al recibirla
 - Añade una cabecera y un tráiler a la unidad de datos recibida del nivel de red
- ▣ Proporciona **tres funciones principales**:
 - **Delimitación de trama.** Identifica el grupo de bits que conforman la trama más sincronización entre nodos emisores y receptores
 - **Direccionamiento.** La cabecera Ethernet añadida a la trama contiene la dirección física (MAC) destino que permite que la trama sea enviada a su destino, y la dirección MAC origen.
 - **Detección de errores.** Cada trama Ethernet contiene un tráiler con código CRC para detectar errores de transmisión.

Subnivel MAC

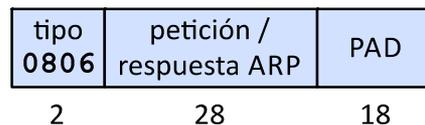
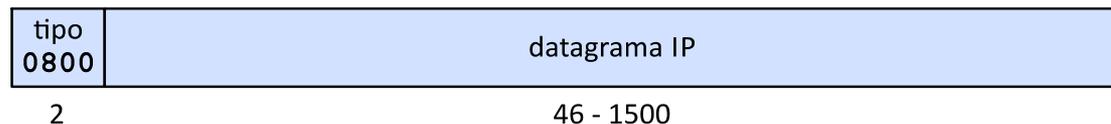
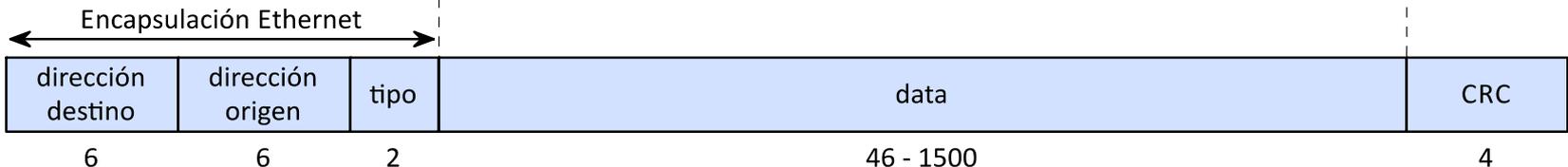
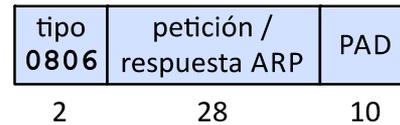
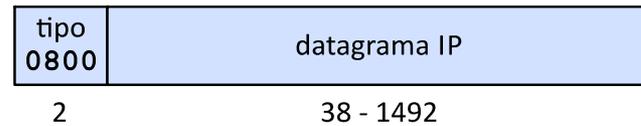
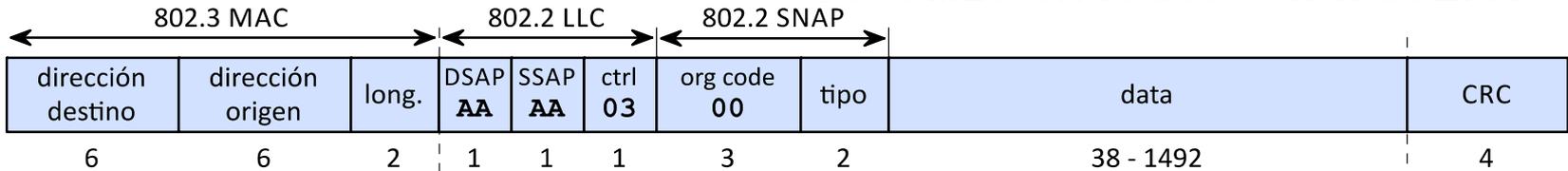
▮ Control de Acceso al Medio

- Responsable de poner las tramas en el medio y de quitarlas al llegar a destino
- Comunica directamente con el nivel físico
- En casos de utilización de medio de transmisión compartido, si múltiples dispositivos intentan acceder al medio para enviar datos a la vez, se produce una colisión.
- Ethernet proporciona un mecanismo para controlar cómo los nodos comparten el acceso al medio:
 - Tecnología CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*)
 - Hoy los terminales y dispositivos no comparten el medio de transmisión, por lo que no se utiliza
 - Hoy la tecnología CSMA se utiliza en redes Wifi

Encapsulación Ethernet

IEEE 802.2/802.3 vs. Ethernet – RFC 1024

Se utiliza en redes WIFI: 802.11



Encapsulación Ethernet

Tamaño de la trama Ethernet

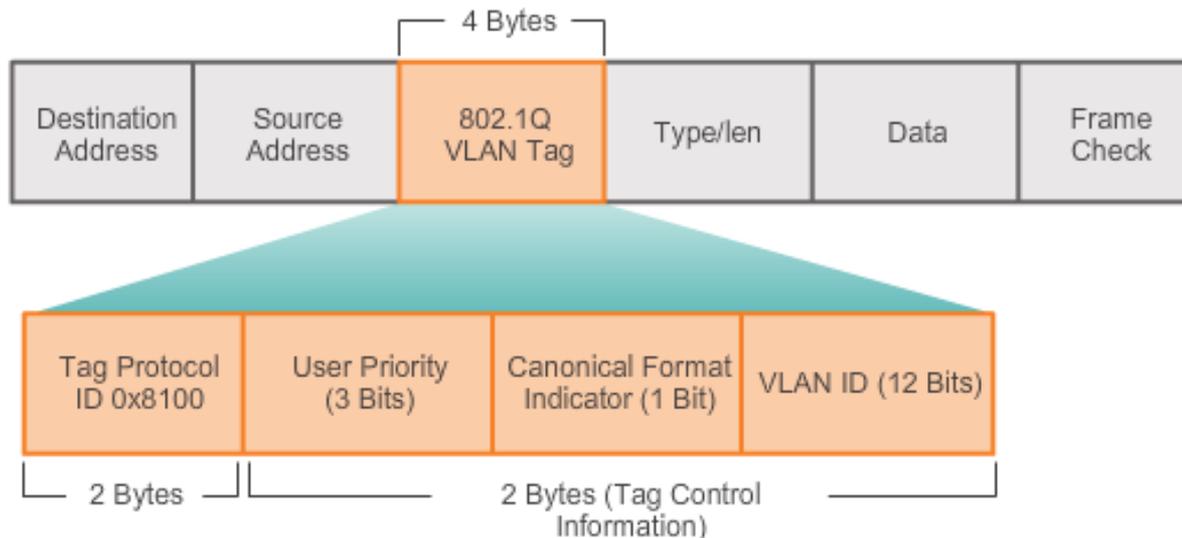
7 Octetos	1 Oct.	6 Oct.	6 Oct.	2 Oct.	0 a 1.500 Oct.	4 Oct.	
Preámbulo	SFD	Dirección destino	Dirección origen	Long. ó Tipo	LLC y/o Datos	Relleno 0 - 46	SVT

- Los estándares Ethernet II e IEEE 802.3 definen un tamaño mínimo de trama de 64 bytes y un máximo de 1.518 bytes (sin preámbulo y SFD)
- Si se transmite una trama de tamaño menor que el mínimo o mayor que el máximo, el dispositivo que la recibe la descarta

Encapsulación Ethernet

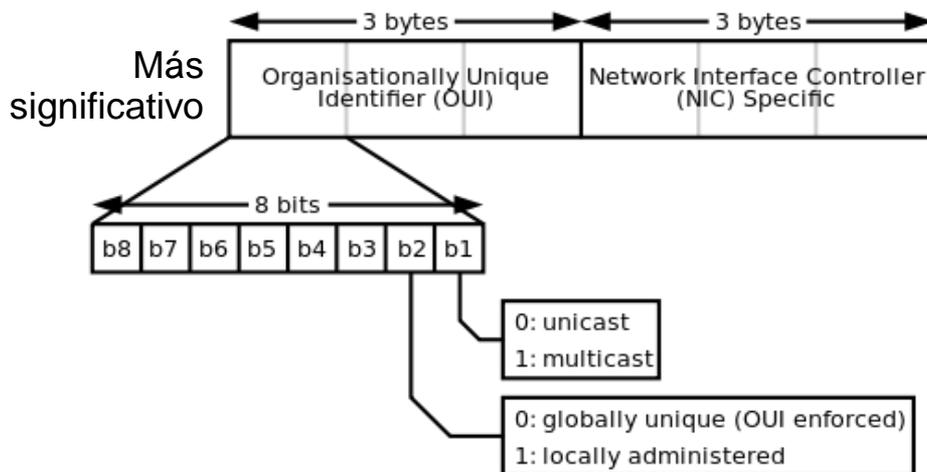
Tamaño de la trama Ethernet

- Existen tramas Ethernet con tamaño mayor que el estándar:
 - Tramas **Jumbo**, capaces de transportar hasta 9.000 bytes de datos. Pensadas para aumentar la eficiencia en Gigabit Ethernet
 - Tramas **Baby Jumbo** o tramas 802.1Q, utilizadas en VLANs. Contienen 4 bytes extra donde almacenar la etiqueta 802.1Q VLAN con información de la red de área local virtual. (Ver apartado VLAN)



Direcciones MAC

- Una dirección MAC Ethernet de nivel 2 es un valor binario de 48 bits representado como 12 dígitos hexadecimales.
 - **00:25:4B:A6:AF:5E** o **00-25-4B-A6-AF-5E** o **0025.4BA6.AF5E**
- Identificadores únicos
 - OUIS asignados por la Autoridad de Registro de IEEE. Identifica fabricantes



Menos significativo

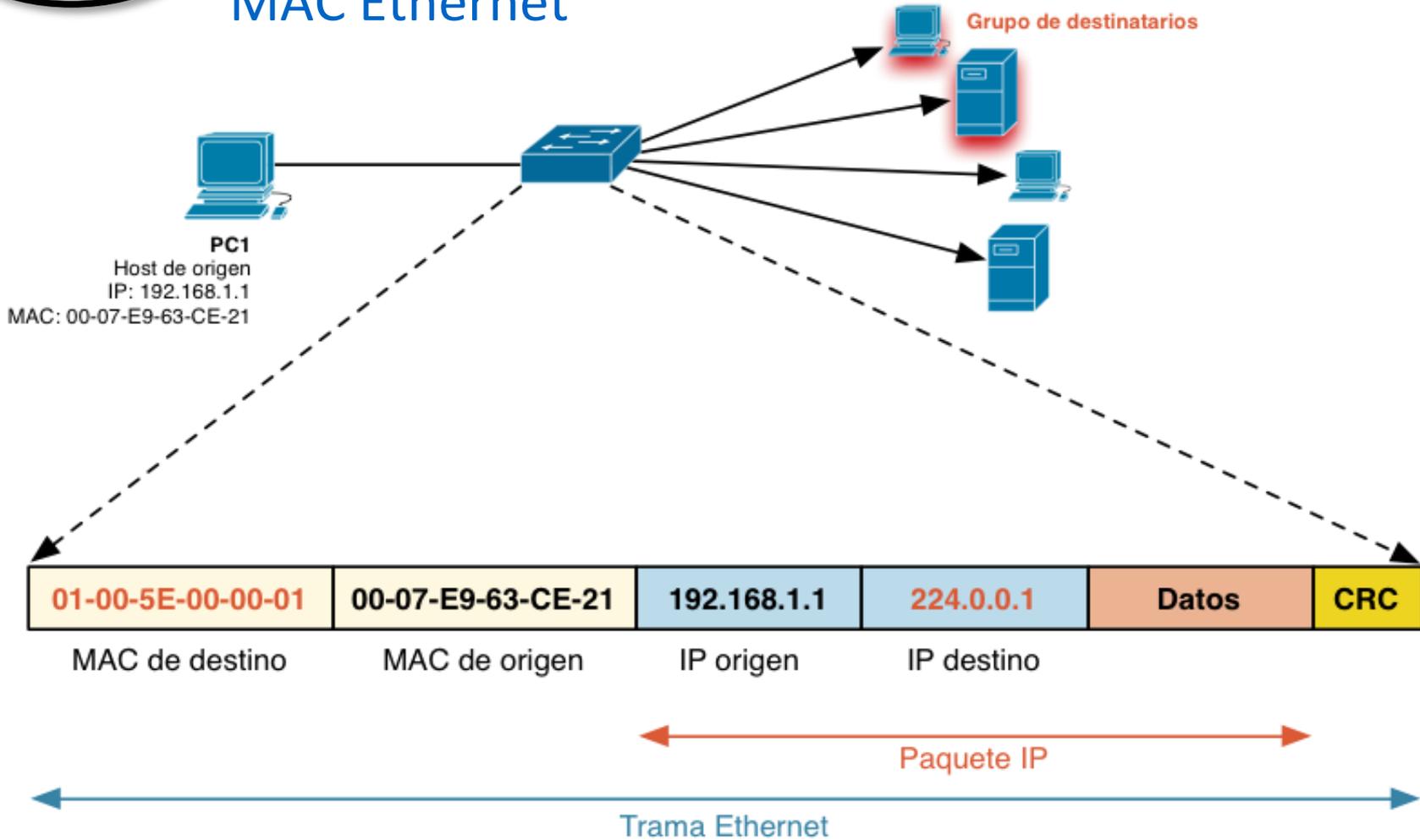
- Bit b1 del Byte más significativo
 - b1=0: Dirección *unicast*
 - b1=1: Dirección *multicast*
- Bit b2 del Byte más significativo
 - b2=0: Dirección única. OUI único del fabricante
 - b2=1: Dirección local, administrada localmente

Procesado de tramas

- Estaciones de trabajo, servidores, impresoras en red, switches y routers tienen direcciones MAC asignadas
- Una trama enviada a través de una red Ethernet contiene, en la cabecera, la dirección MAC de origen y destino
- Cada NIC comprueba si la dirección MAC de destino se corresponde con la dirección física del dispositivo (almacenada en RAM)
 - Si no coincide, se descarta la trama
 - Si coincide, la NIC pasa la trama al niveles superior

Direcciones MAC Multicast

MAC Ethernet



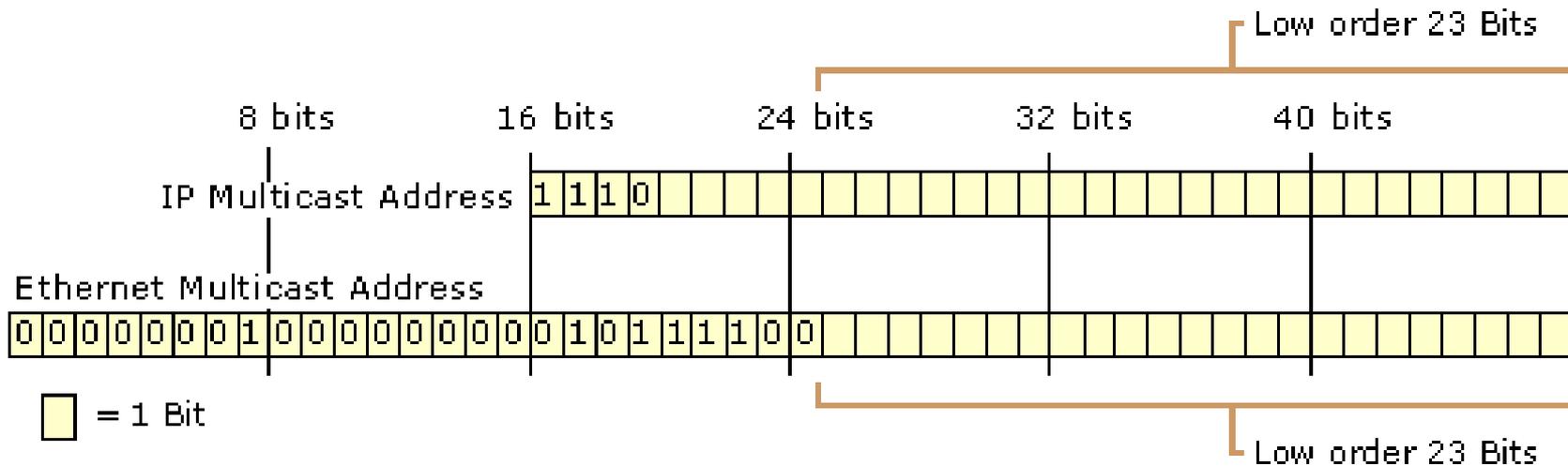
Una dirección Multicast MAC comienza siempre con 01-00-5E en hexadecimal

El rango de direcciones IPV4 multicast va de 224.0.0.0 a 239.255.255.255

Acceso y RAL

Mapeo de direcciones IP multicast a Direcciones Ethernet multicast

Para soportar IP multicast se han reservado el rango de direcciones Ethernet de 01-00-5E-00-00-00 a 01-00-5E-7F-FF-FF

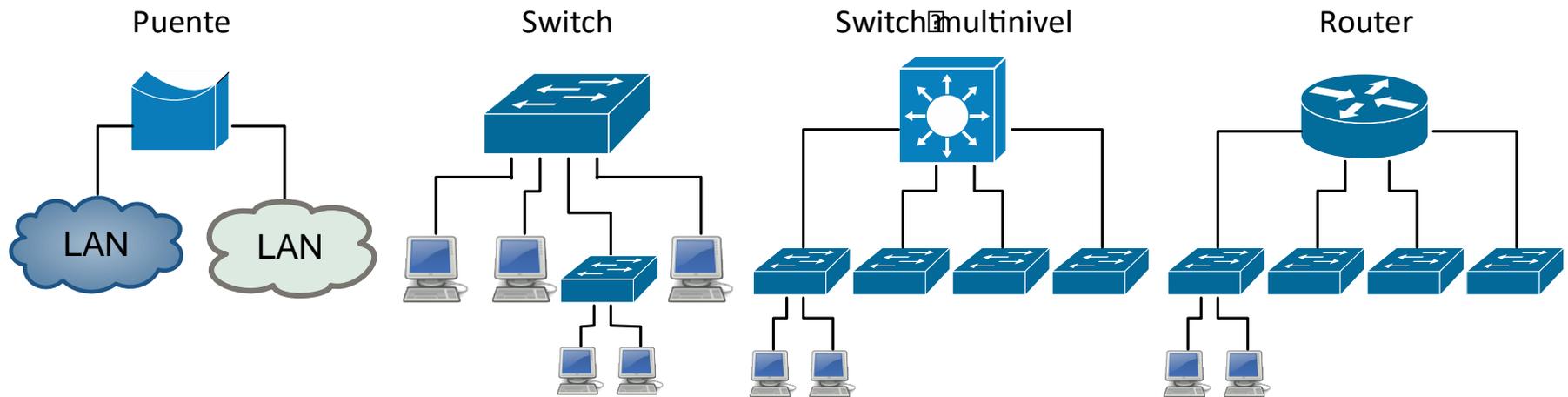


- Los últimos 23 bits de la dirección IP se mapean en los últimos 23 bits de la dirección Ethernet.
- Hay 5 bits de la dirección IP multicast que no se mapean en la dirección Ethernet, por lo que varias direcciones IP multicast (32) se mapean a la misma dirección Ethernet multicast.
- Se pueden entregar una trama con un paquete IP multicast a un terminal al que no va destinado. Lo descarta el nivel IP

Dispositivos de interconexión

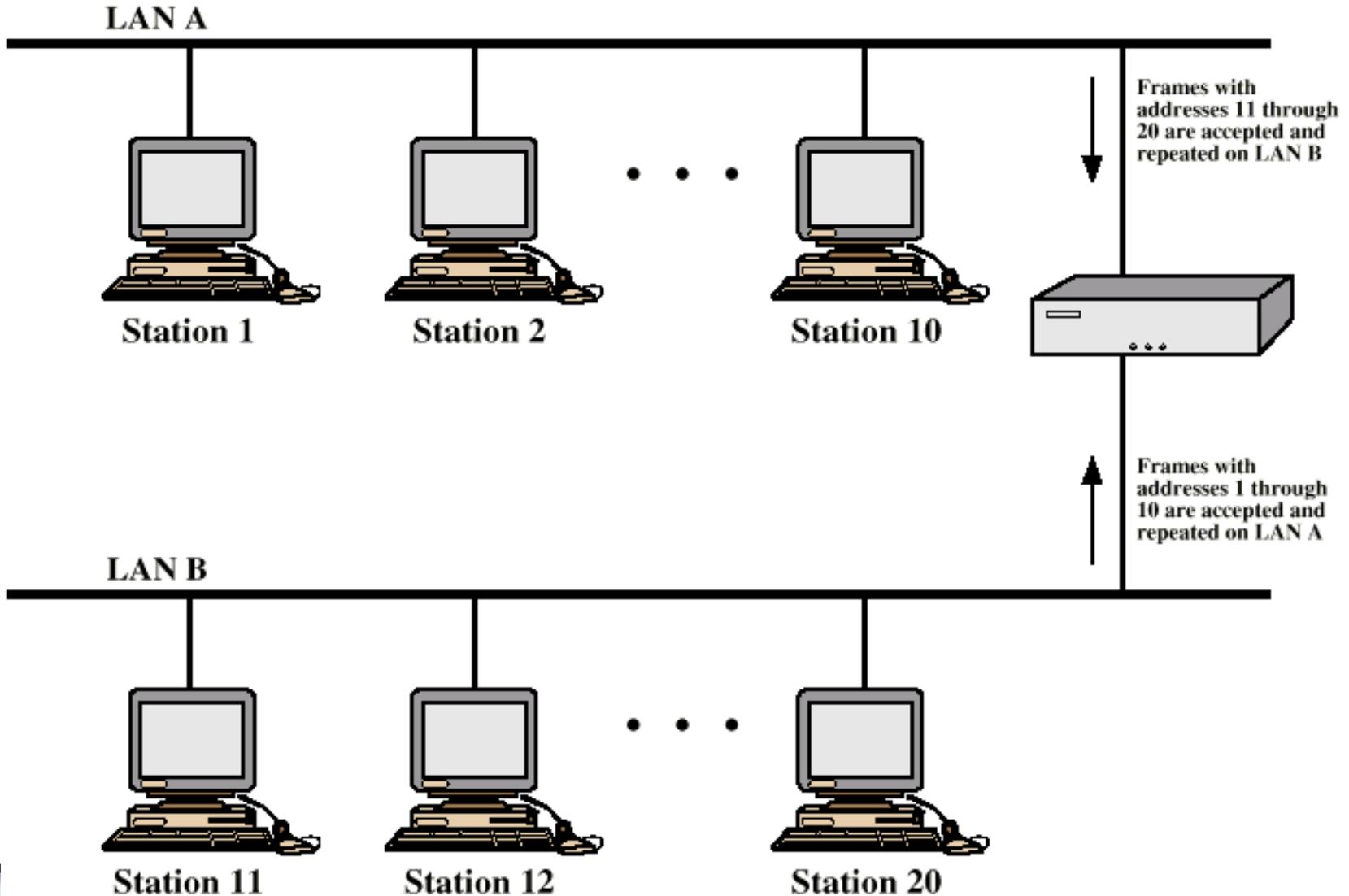
¿Cómo conectar entre sí las estaciones?

- Permiten conectar entre sí los diferentes elementos de red, y por tanto, crear las redes de área local.

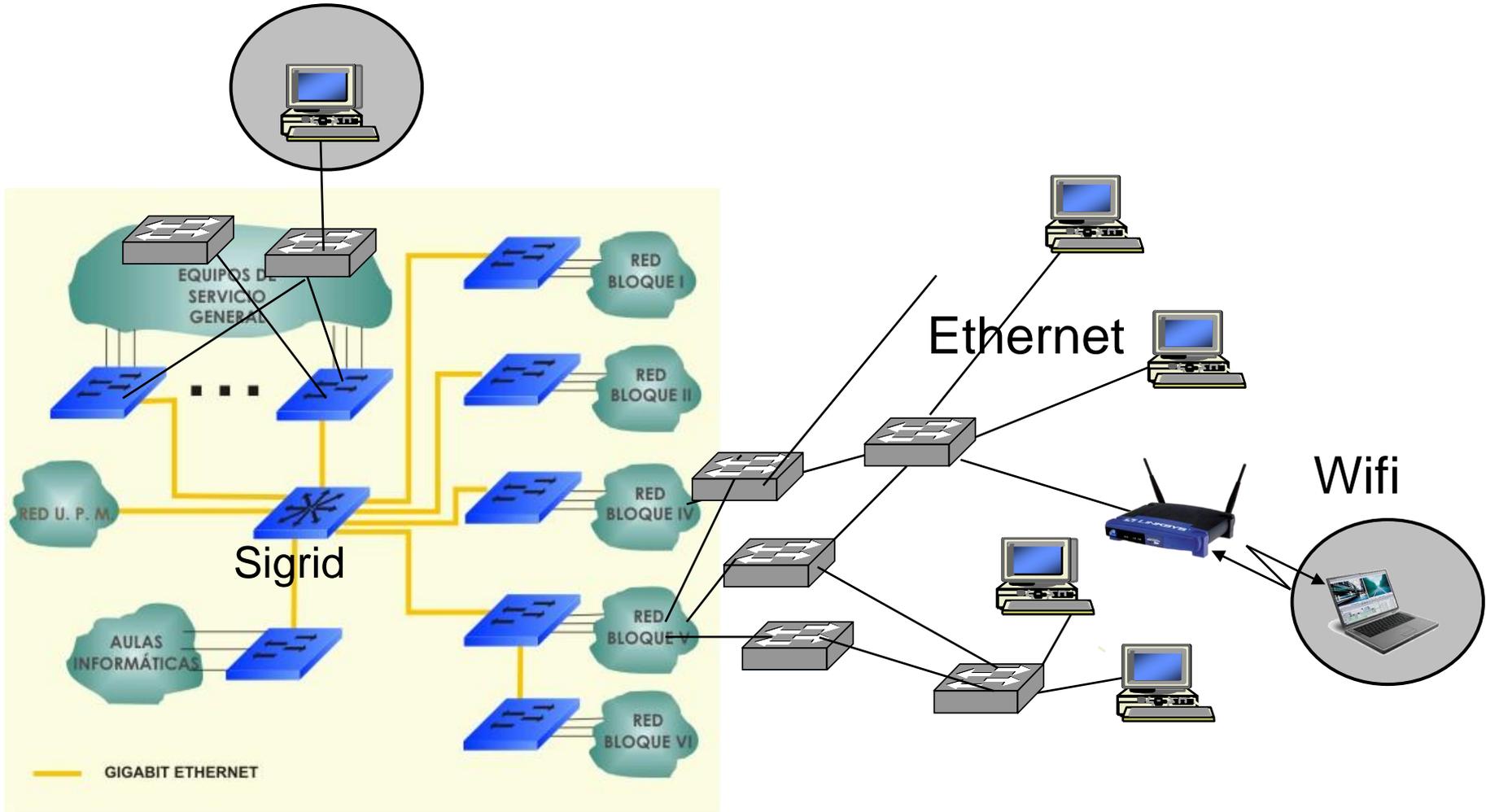


- Separan diferentes **dominios de colisión** y de **difusión**.

Funcionamiento de un puente



Red F.I. Conexión de terminales en red



Encapsulación Ethernet

Tamaño de la trama Ethernet

7 Octetos	1 Oct.	6 Oct.	6 Oct.	2 Oct.	0 a 1.500 Oct.	4 Oct.	
Preámbulo	SFD	Dirección destino	Dirección origen	Long. ó Tipo	LLC y/o Datos	Relleno 0 - 46	SVT

- Los estándares Ethernet II e IEEE 802.3 definen un tamaño mínimo de trama de 64 bytes y un máximo de 1.518 bytes (sin preámbulo y SFD)
- Si se transmite una trama de tamaño menor que el mínimo o mayor que el máximo, el dispositivo que la recibe la descarta

MTU = 1.500 octetos

Dispositivos de interconexión

Puentes

- Dispositivo que permite segmentar una LAN, creando varios dominios de colisión.
 - Extienden el rango de una LAN de forma transparente
 - Las LAN no tienen porque ser del mismo tipo
 - Punto de acceso WiFi: Puente WiFi <-> Ethernet
 - Almacenan temporalmente las tramas
 - Retransmiten en base a la dirección MAC de destino
 - No disponen de funcionalidad de control de flujo

Dispositivos de interconexión

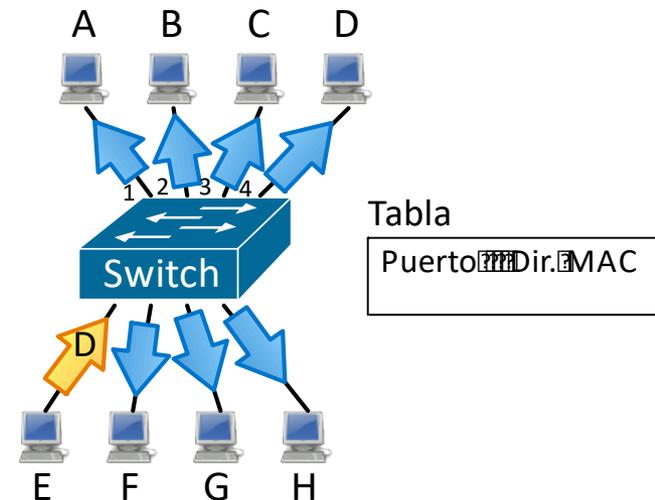
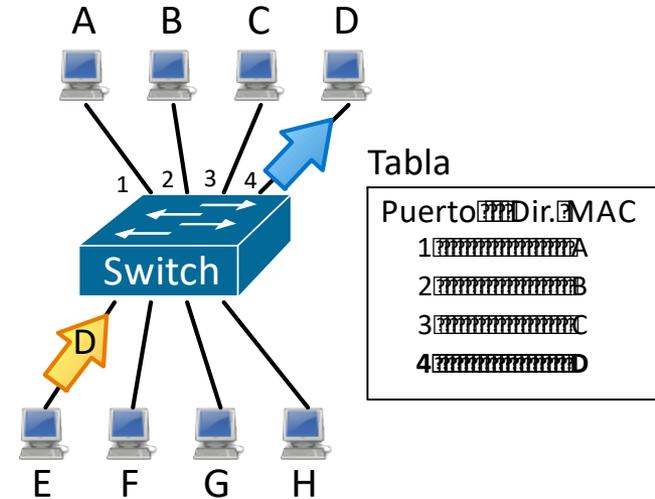
Switch. Conmutación de tramas Ethernet

- El *switch* es un dispositivo evolución del puente.
 - Es un puente multipuerto que permite comunicaciones simultáneas, separando dominios de colisión.
 - No necesita configuración:
 - Aprende las direcciones MAC de cada estación conectada a cada puerto
 - Construye tablas de conmutación en base a dichas MAC.
 - Si no conoce una dirección MAC (no está en sus tablas), difunde la trama por todos los puertos excepto por el que le ha llegado.
 - Técnicas de conmutación:
 - Almacenamiento y retransmisión (*Store and Forward*)
 - *Cut-through*

Dispositivos de interconexión

Switch. Funcionamiento básico

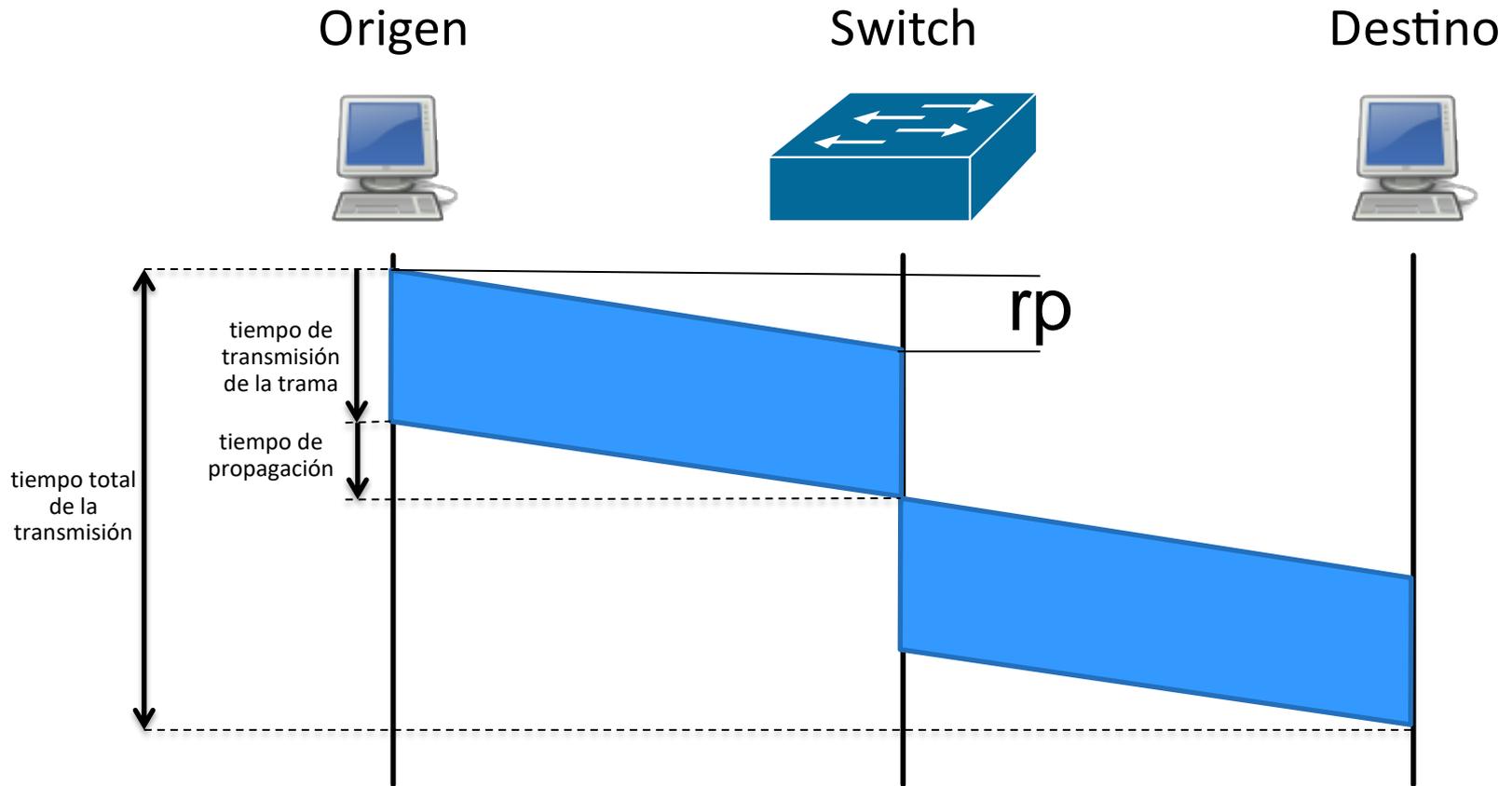
- Las tramas se retransmiten en función de la dirección MAC de destino
- Permiten el funcionamiento dúplex:
 - No hay colisiones
 - No hay limitación de distancia a nivel MAC
- Si la dirección Ethernet destino no está incluida en su tabla de encaminamiento, la trama se retransmite por todos los puertos del *switch* excepto por el que se recibió.
- Aprenden monitorizando las direcciones MAC origen de las tramas que conmutan



Dispositivos de interconexión

Switch. Técnicas de conmutación

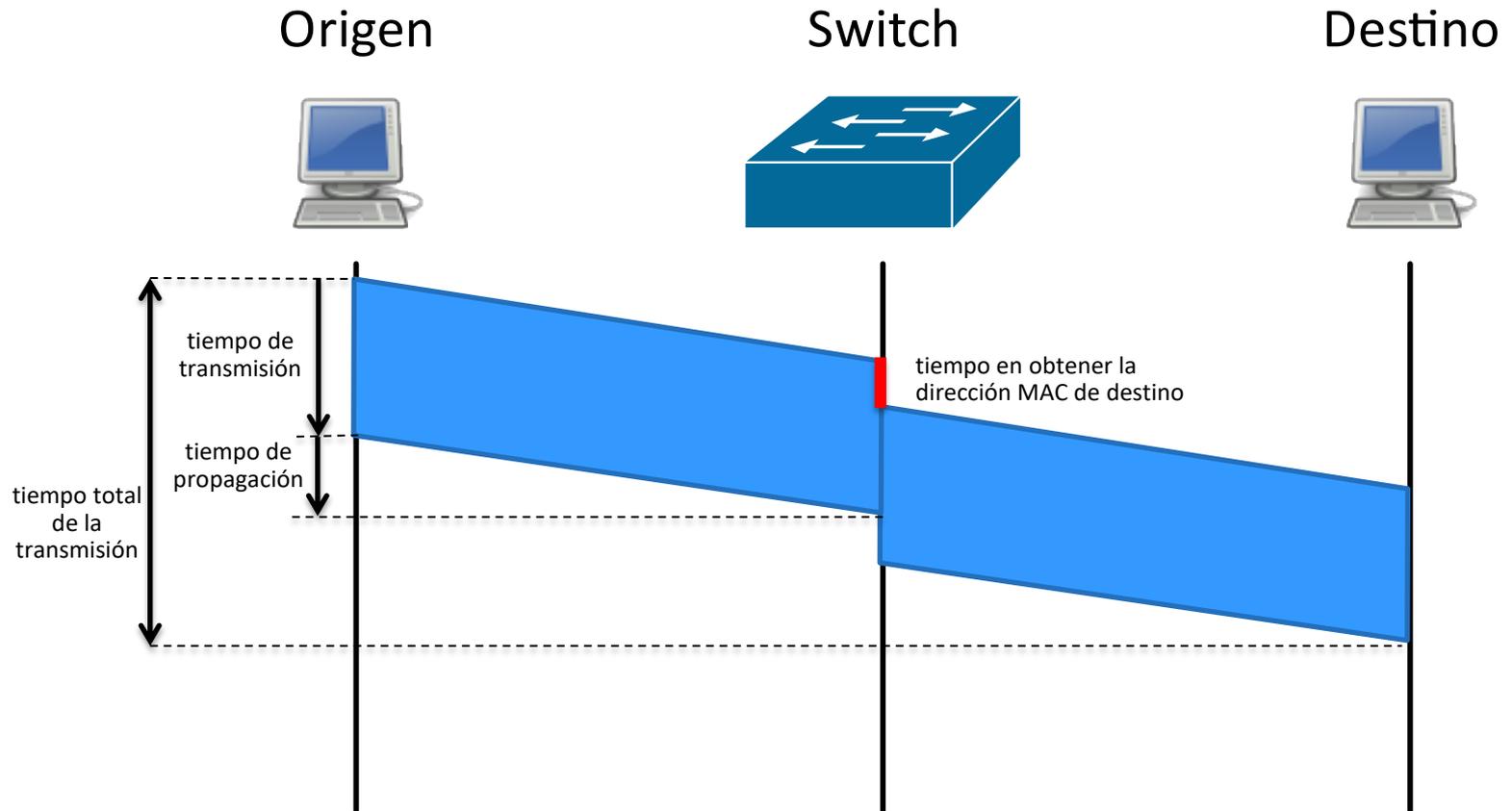
Almacenamiento y retransmisión



Dispositivos de interconexión

Switch. Técnicas de conmutación

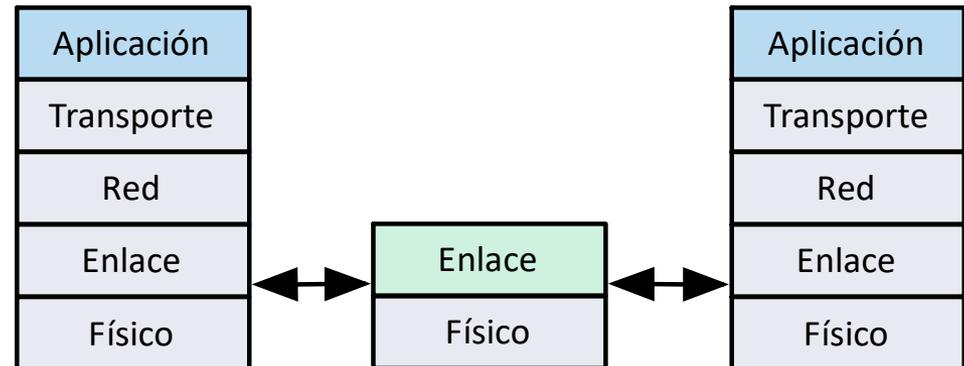
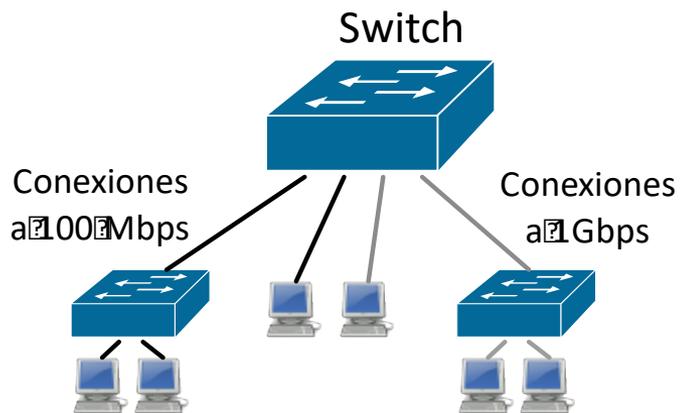
▮ *Cut-through*



Dispositivos de interconexión

Switch. Velocidad y Arquitectura

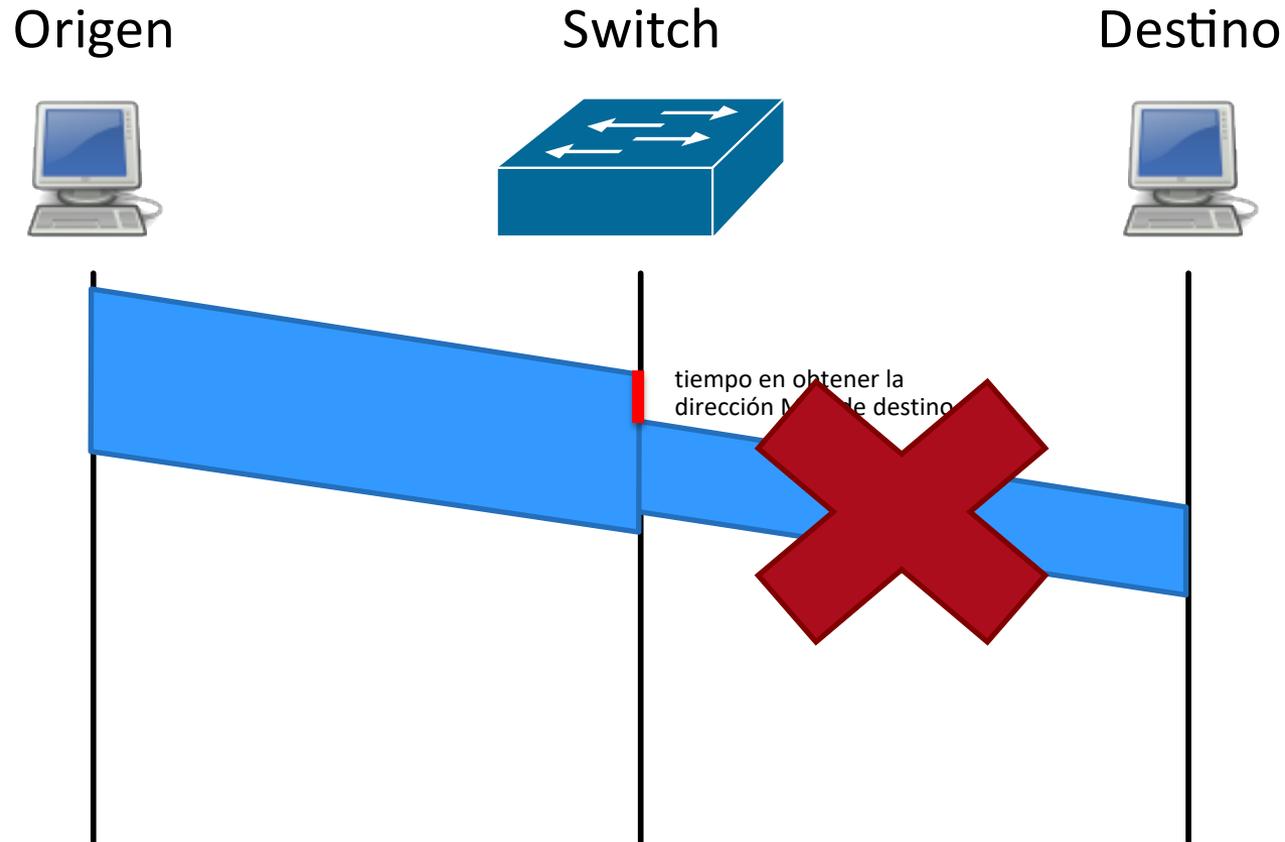
- Los *switch* permiten conectar dispositivos a diferente velocidad
 - No se puede utilizar *cut-through* hacia puertos más rápidos que el de recepción



Dispositivos de interconexión

Switch. Técnicas de conmutación

- *Cut-through* con mayor velocidad en salida

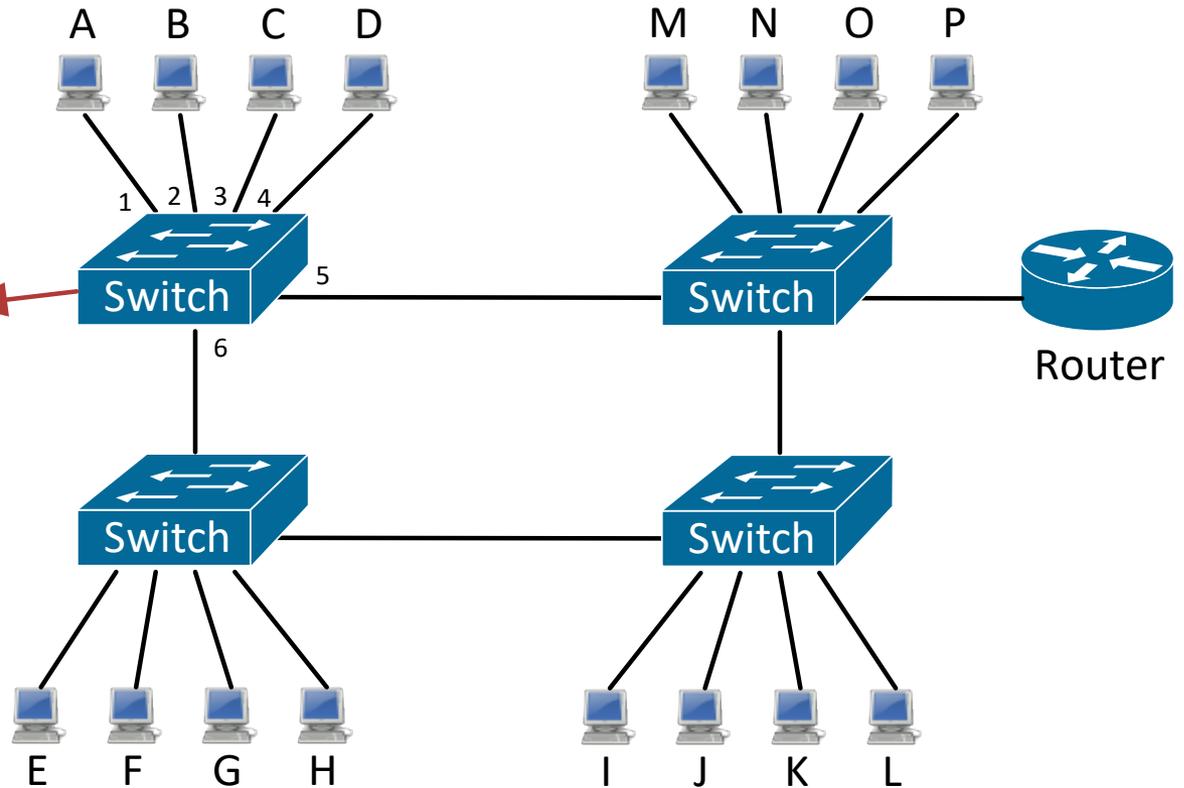


Dispositivos de interconexión

Switch. Bucles

Tabla de Encaminamiento

Puerto	Dir. MAC
1	A
2	B
3	C
4	D
5(6)	M, N, O, P
6(5)	E, F, G, H, I, J, K, L



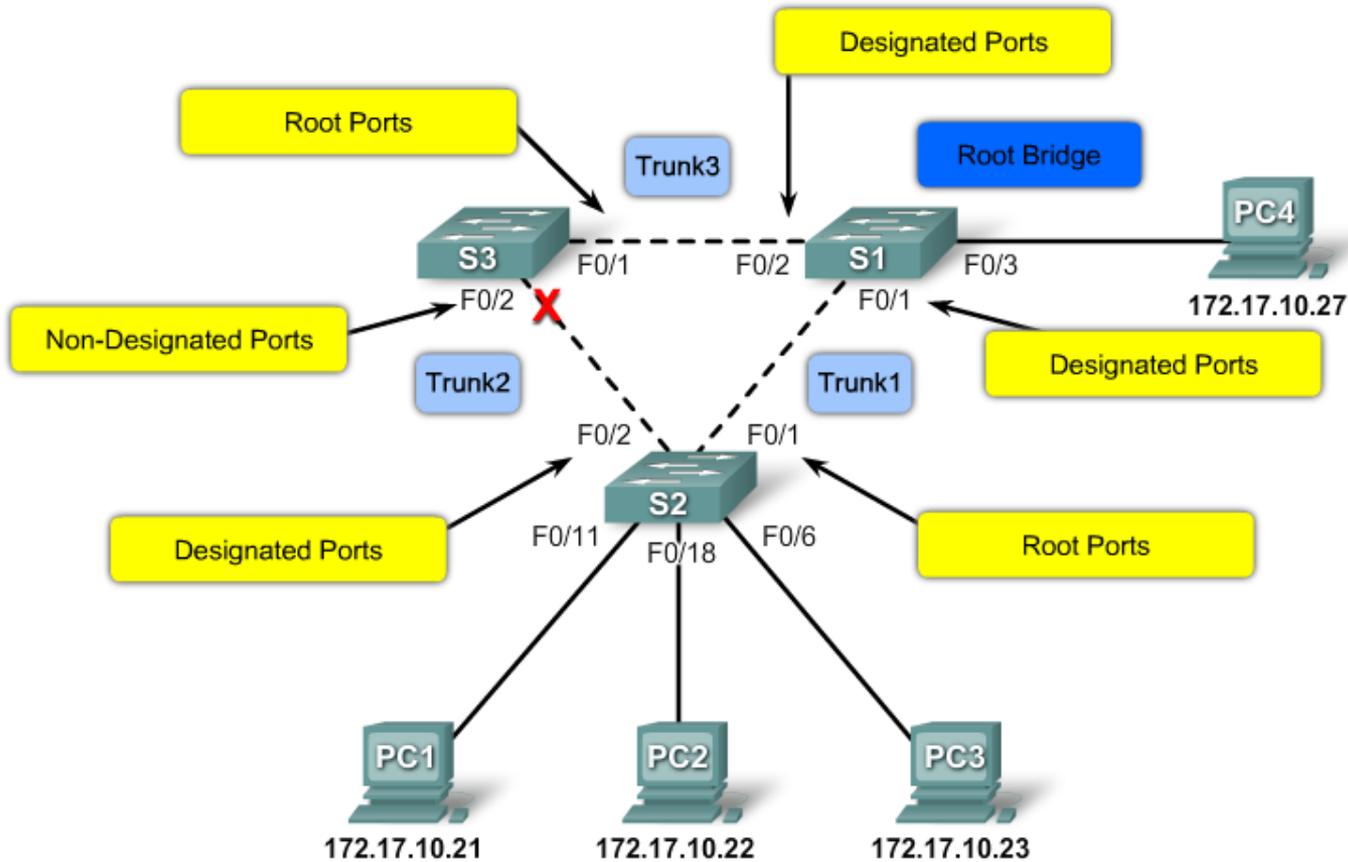
Dispositivos de interconexión

Switch. Limitaciones

- No limitan el dominio de difusión
- Son susceptibles a los bucles (*loops*)
 - Necesidad de utilizar mecanismos de poda de bucles
 - STP (*Spanning Tree Protocol*)
 - Aumenta la complejidad
 - Puede tener convergencia lenta

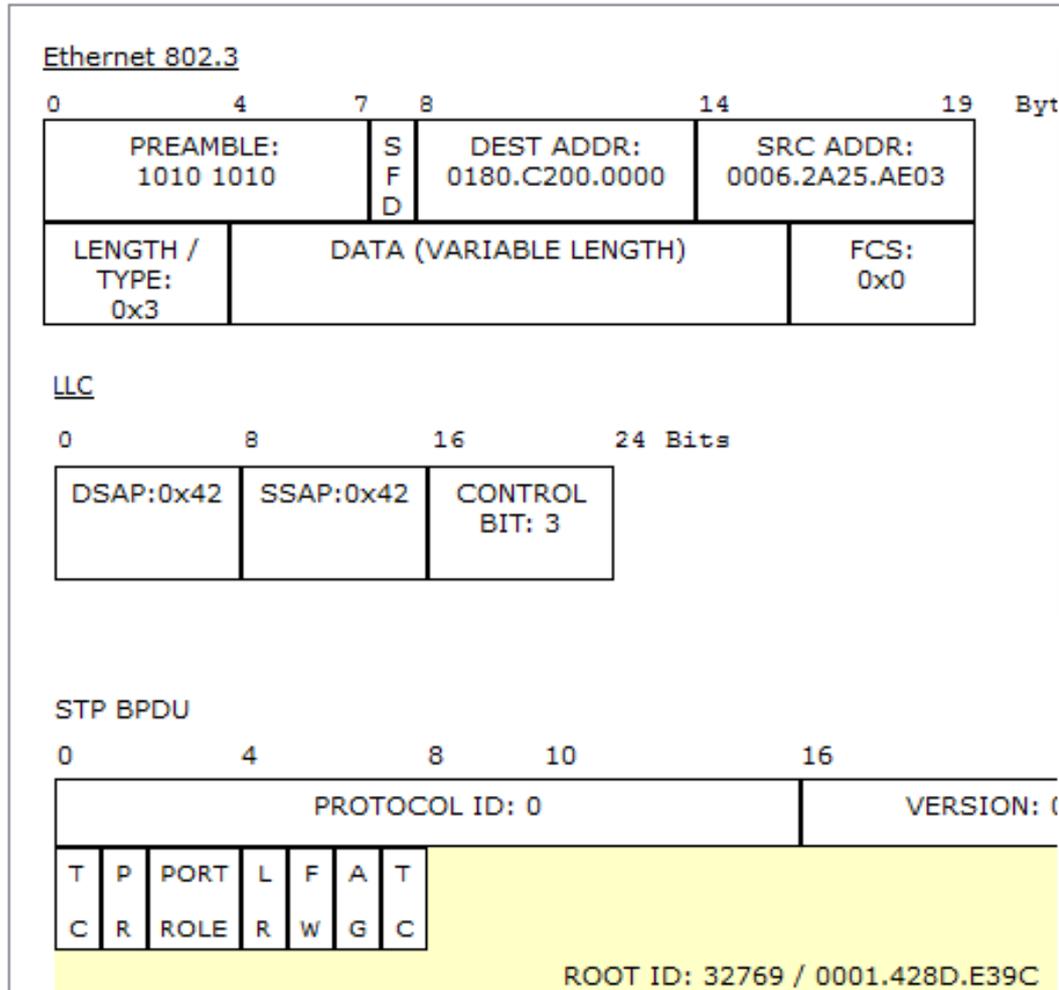
STP. Ejemplo

STP Algorithm



Ej: Unidad de datos STP

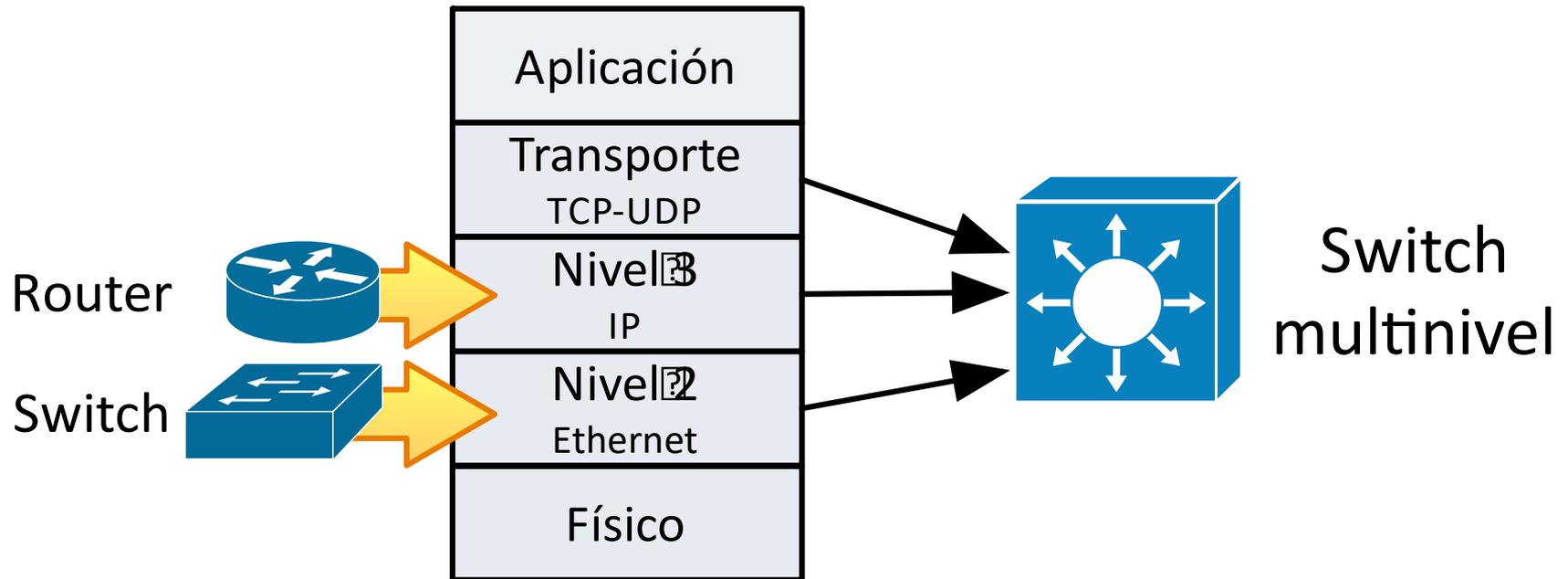
PDU Formats



Acceso y RAL

Dispositivos de interconexión

Switches y Routers. Switch Multinivel



Dispositivos de interconexión

Switches y Routers. Switch Multinivel

■ Switch Nivel 2

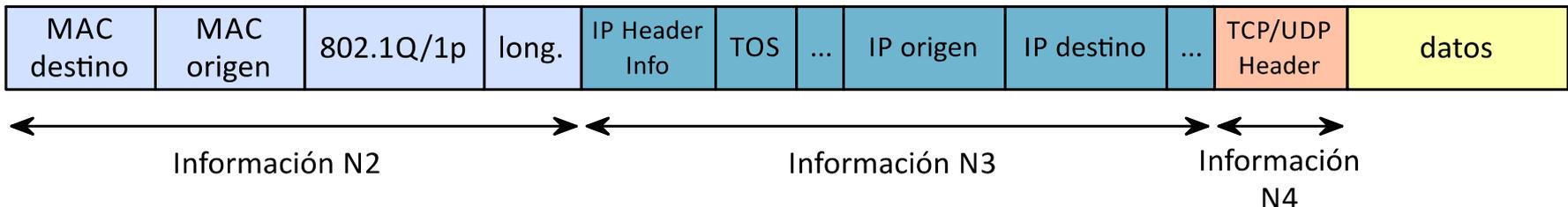
- Conmuta a partir de la dirección MAC

■ Switch Nivel 3

- Conmuta a partir de la dirección MAC dentro de una misma VLAN
- Incluye funcionalidad de nivel 3 (encaminamiento, filtrado, *multicast*, etc.)
 - Encamina utilizando las direcciones IP entre diferentes VLAN

■ Switch Nivel 4

- Filtra tráfico analizando los puertos TCP/UDP



Acceso y RAL

Dispositivos de interconexión

Control de flujo. Trama PAUSE

- ▀ Se ha definido un tipo de trama de control MAC, denominada PAUSE, que solamente se puede utilizar en estaciones dúplex.
- ▀ Cuando el dispositivo (terminal, conmutador, etc.) estima que se ha superado un determinado umbral de ocupación de buffers, transmite una trama PAUSE al dispositivo par implicado en la comunicación.
- ▀ Formato de la trama PAUSE:
 - ▀ MAC Destino: Se ha especificado la dirección multicast especial “01-80-C2:00:00:01”. Los switches no reenvían esta trama.
 - ▀ MAC Origen.
 - ▀ Tipo: Se ha especificado el valor “0x8808”
 - ▀ OpCode: Se ha especificado el valor: “0x0001”
 - ▀ Parámetros: Incluye un valor que especifica el tiempo durante el cual el terminal emisor debe cancelar la transmisión de más tramas de datos

Preámbulo	SFD	MAC destino 01:80:C2:00:00:01	MAC origen	tipo 0x8808	Opcode 0x0001	Params	Reserved	SVT
Bytes 7	1	6	6	2	2	2	42	4

Dispositivos de Interconexión

Autonegociación

- ▮ Puede ocurrir que los dos dispositivos implicados en una comunicación no soporten las mismas opciones (transmisión dúplex, control de flujo)
- ▮ La norma IEEE 802.3u define un mecanismo de autonegociación para que los dos extremos de una conexión física se pongan de acuerdo en los siguientes parámetros:
 - Velocidad de transferencia: 10, 100 o 1000 Mbps
 - Modo de trabajo: dúplex o semidúplex
 - Control de flujo: soportado o no
- ▮ La autonegociación también optimiza la labor de instalación de las RALs, anulando los posibles errores humanos que pudieran producirse en el desarrollo de esta actividad.
- ▮ El proceso de autonegociación lo realiza el nivel físico, y tiene lugar al arrancar los dispositivos o en una reinicialización efectuada por razones de mantenimiento.

3.2 Redes de Área Local Virtuales (VLANs)

- Introducción a las VLAN
- Tipos de VLAN
- Identificación de VLAN
- Encaminamiento entre VLAN

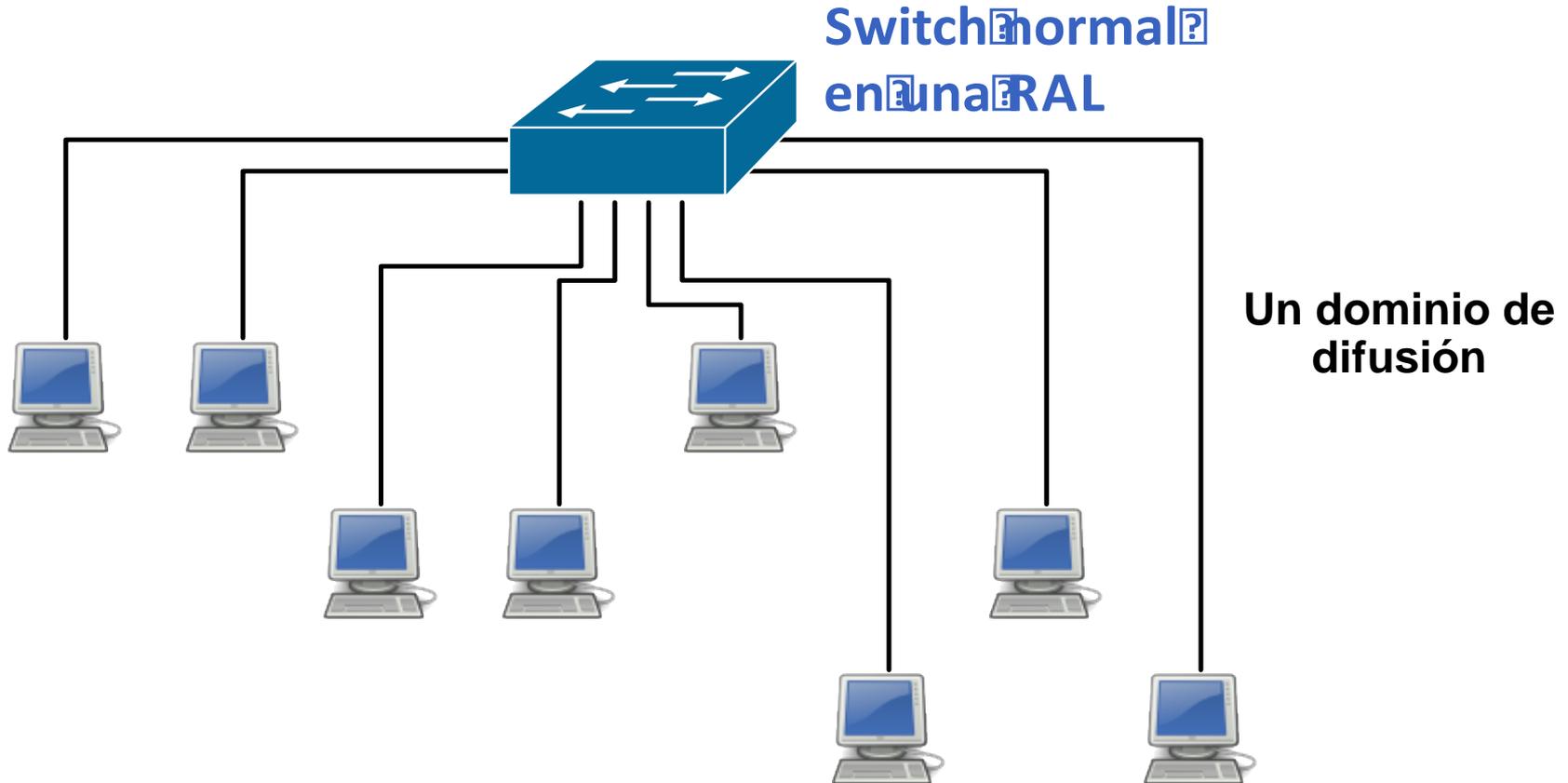
Redes de área local virtuales

Introducción a la tecnología VLAN

- ▀ Una red de área local virtual, o VLAN, es una partición lógica de una red física de nivel 2
 - La partición lógica tiene lugar en los “switches”
- ▀ Cada VLAN se corresponde con un dominio de broadcast
- ▀ Las VLAN están aisladas unas de otras a nivel 2, por lo que los paquetes destinados a una VLAN diferente deben llegar a través de un dispositivo con funcionalidad de nivel 3
- ▀ Los equipos agrupados dentro de una VLAN no son conscientes de la existencia de dicha VLAN

Redes de área local virtuales

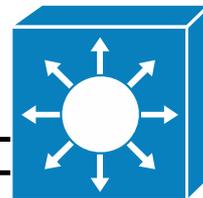
Introducción a la tecnología VLAN



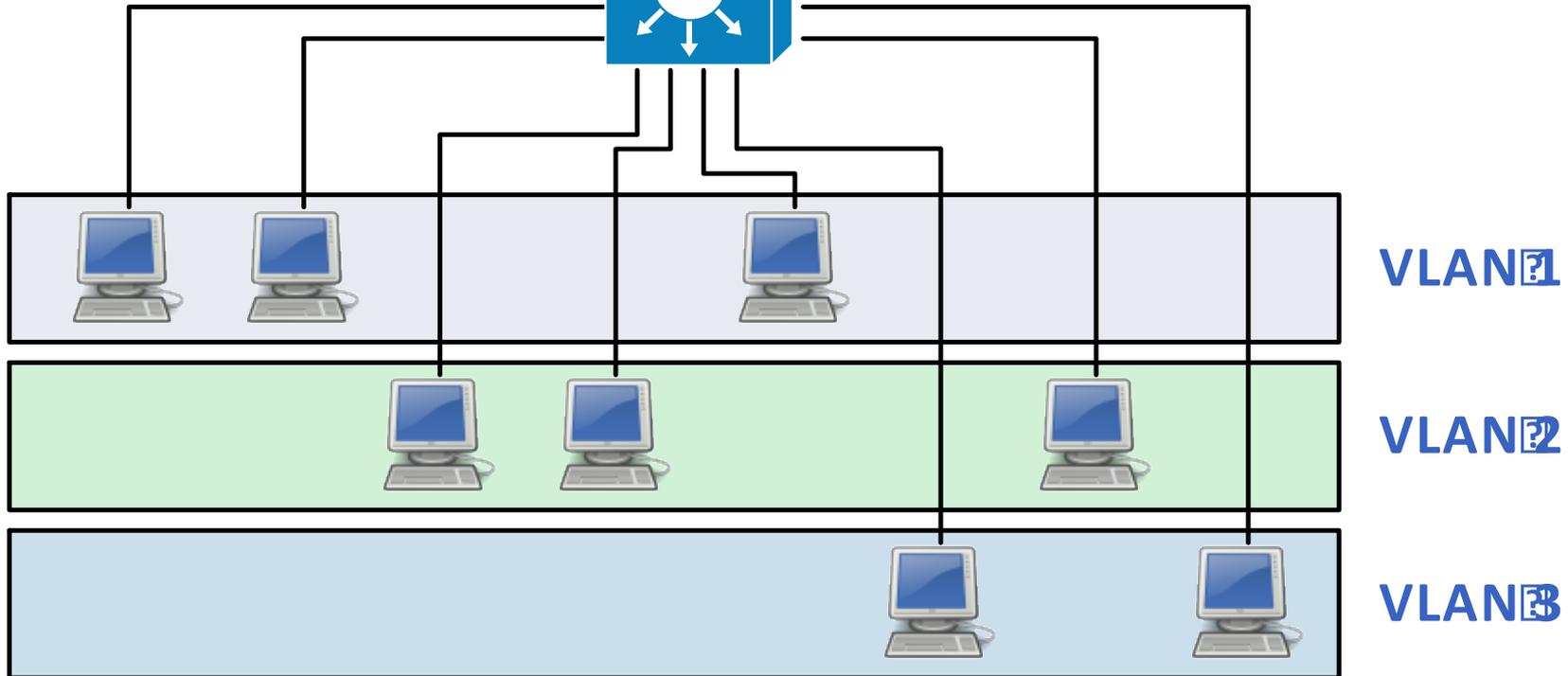
Acceso y RAL

Redes de área local virtuales

Introducción a la tecnología VLAN



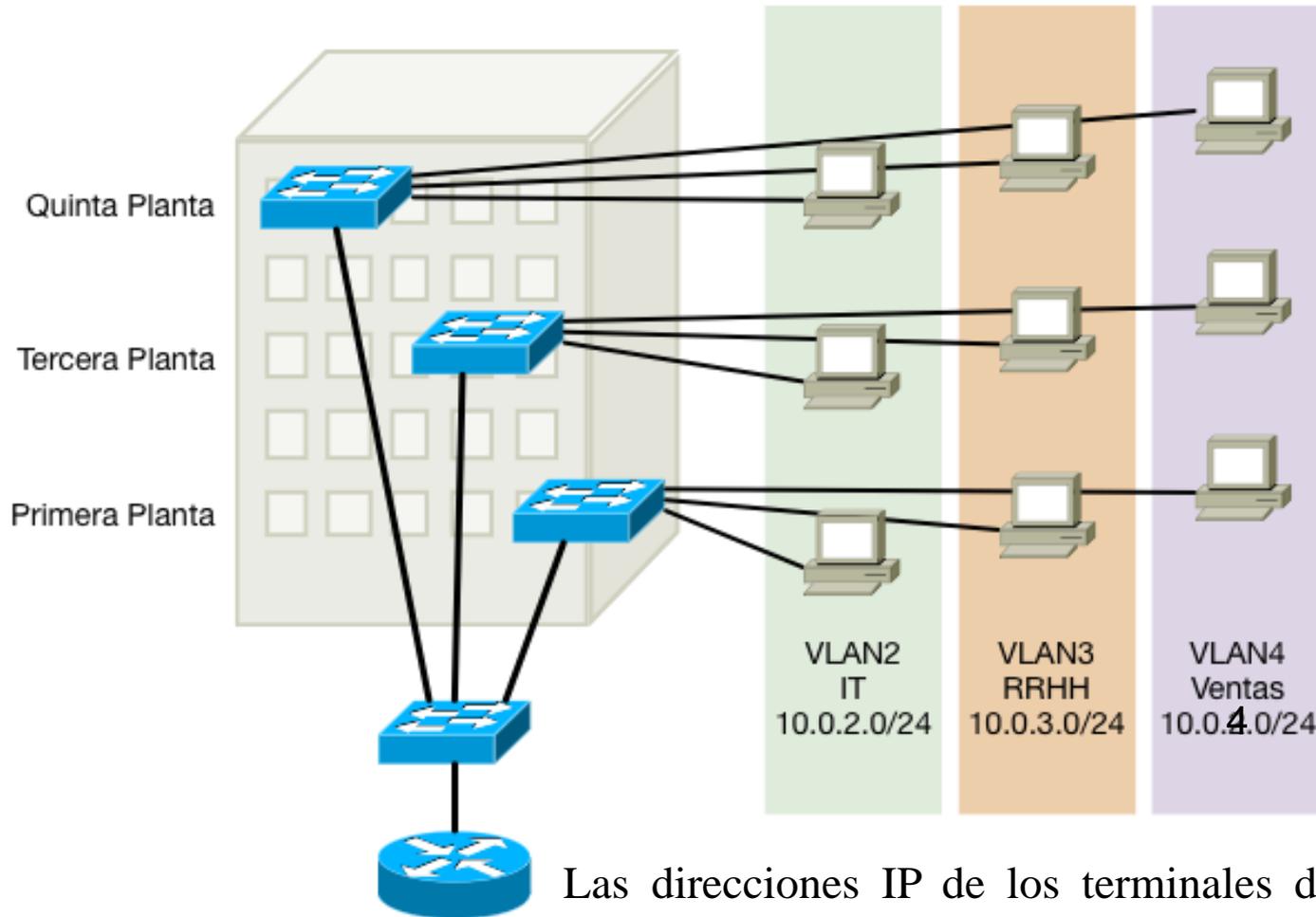
Switch con software VLAN



Tres dominios de difusión

Redes de área local virtuales

Introducción a la tecnología VLAN



Las direcciones IP de los terminales de cada VLAN deben ser de subredes diferentes

Beneficios de las VLAN

Introducción a la tecnología VLAN

- ▀ Seguridad
- ▀ Reducción de costes
- ▀ Mejor rendimiento
- ▀ Dominios de broadcast reducidos
- ▀ ...

Tipos de VLAN

Introducción a la tecnología VLAN

▮ **VLAN por defecto**

- VLAN a la que pertenecen todos los puertos de un switch cuando no están asignados a ninguna otra VLAN

▮ **VLAN de gestión y administración**

- Necesita IP por la que acceder a gestionar y administrar las redes de área local virtuales

▮ **VLAN de datos**

- VLAN de estudiantes, VLAN de profesores, etc...

▮ **VLAN de voz**

- Para tráfico VoIP, con QoS

Pertenencia a una VLAN. Identificación

- Por puerto de conexión al Switch
- Por dirección IP:
 - Las direcciones de los terminales de cada VLAN deben pertenecer a subredes distintas
- Por etiqueta 802.1Q:
 - Tramas *baby jumbo*, insertando un campo adicional.
 - Se utiliza en los enlaces troncales (*trunk*)

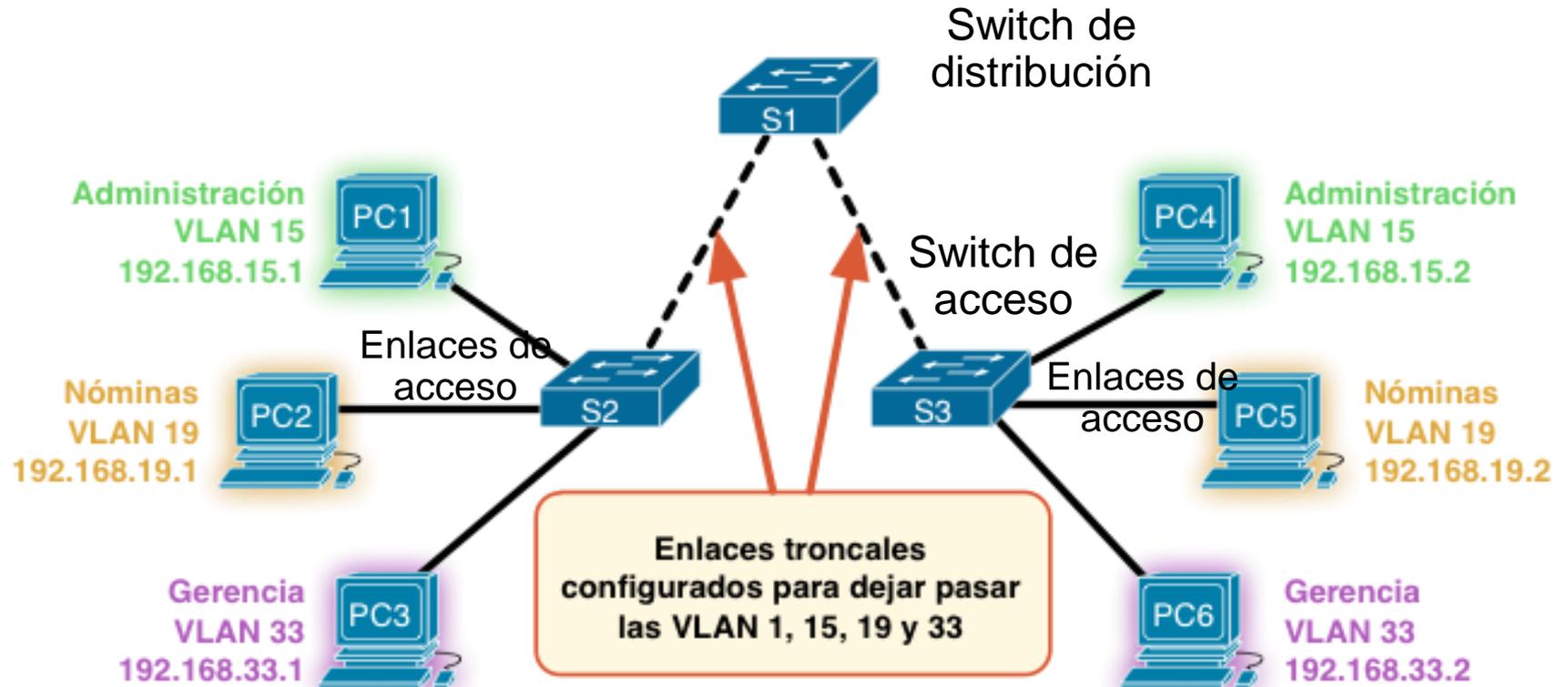
Enlaces troncales

VLAN en entornos con varios switches

- ▀ Un enlace troncal (*trunk*) es aquel que puede llevar datos de más de una VLAN
- ▀ Se establece típicamente entre switches, por lo que dispositivos pertenecientes a la misma VLAN pueden comunicarse a nivel 2 incluso cuando están conectados físicamente a diferentes switches
- ▀ Un enlace troncal no está asociado a ninguna VLAN concreta
- ▀ El protocolo de enlaces troncales más popular es **IEEE 802.1Q**

Enlaces troncales

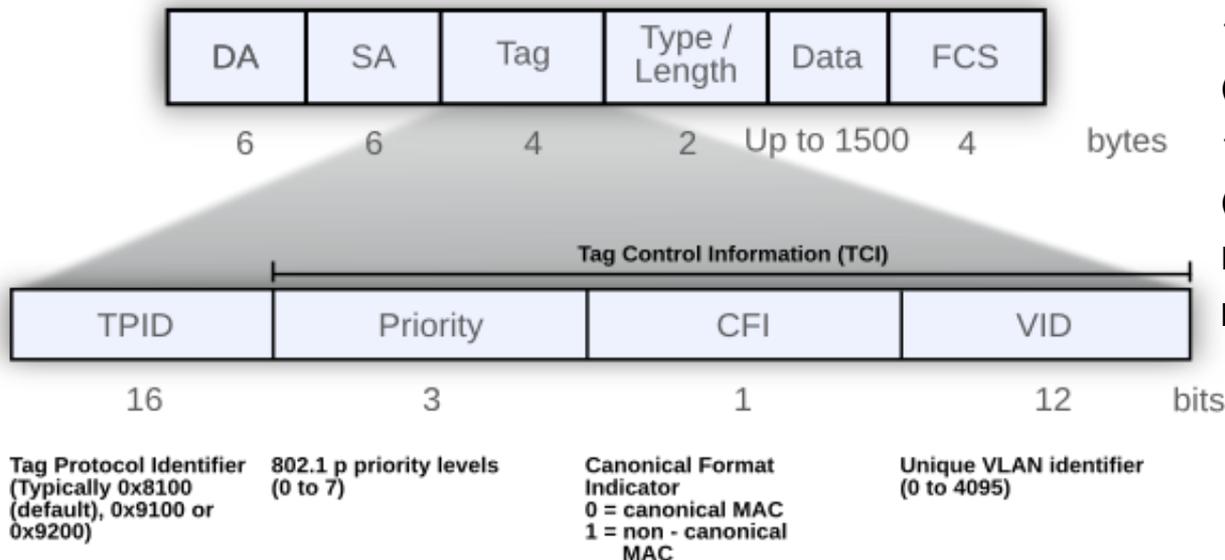
VLAN en entornos con varios switches



Dispositivos de interconexión

Formato de trama 802.1Q

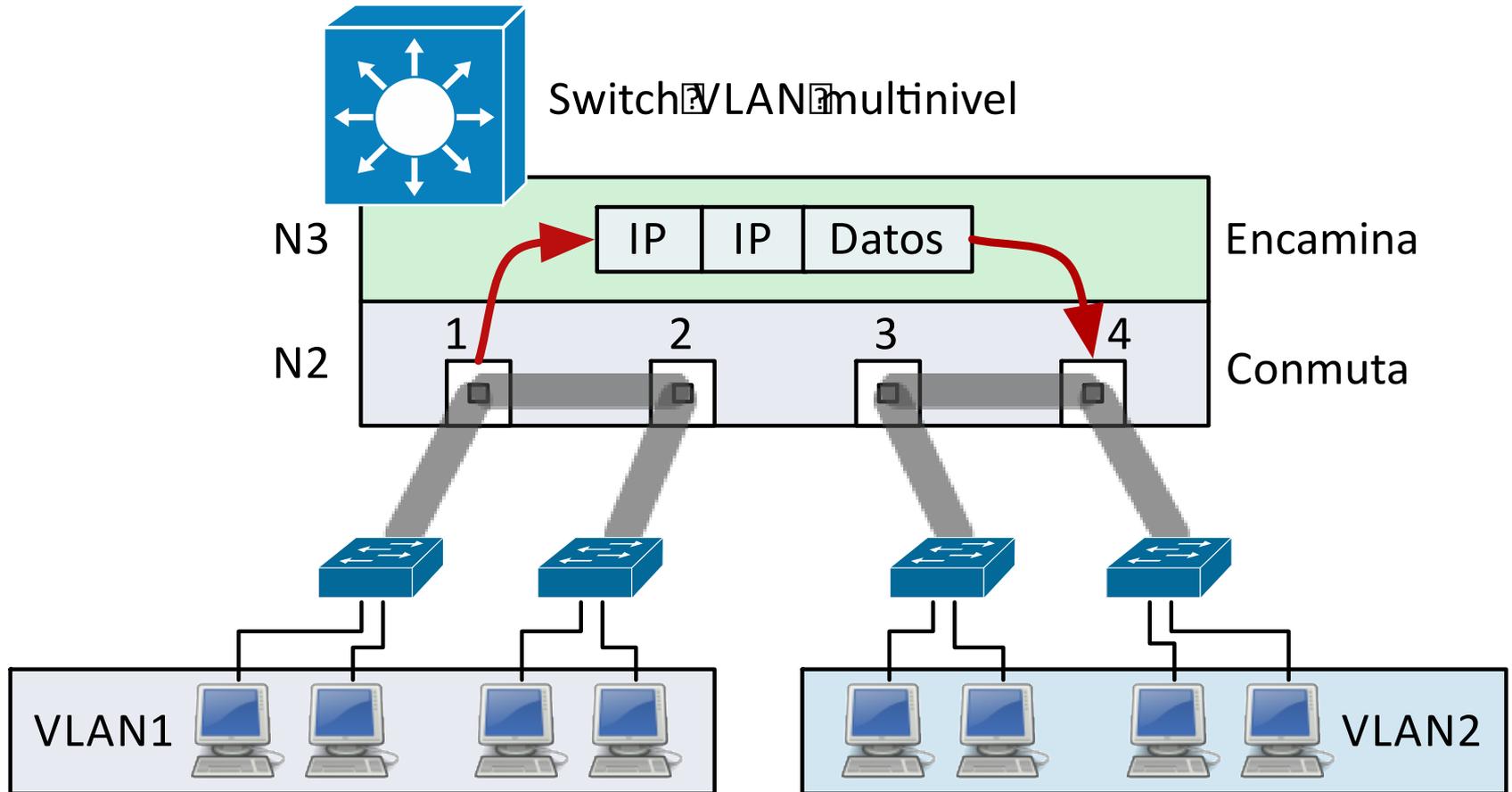
- ▀ Las estaciones envían y reciben tramas Ethernet normales.
- ▀ Los switches insertan la etiqueta, añadiendo un campo adicional a la trama Ethernet, y la retiran antes de entregar la trama a la estación de destino.
 - ▀ Usan tramas *baby jumbo*



10110001 in canonical
 (used in Ethernet) becomes
 10001101 in non-canonical
 (Used in Token Ring and
 FDDI), which in HEX is B1,
 becomes 8D

Encaminamiento entre VLANs

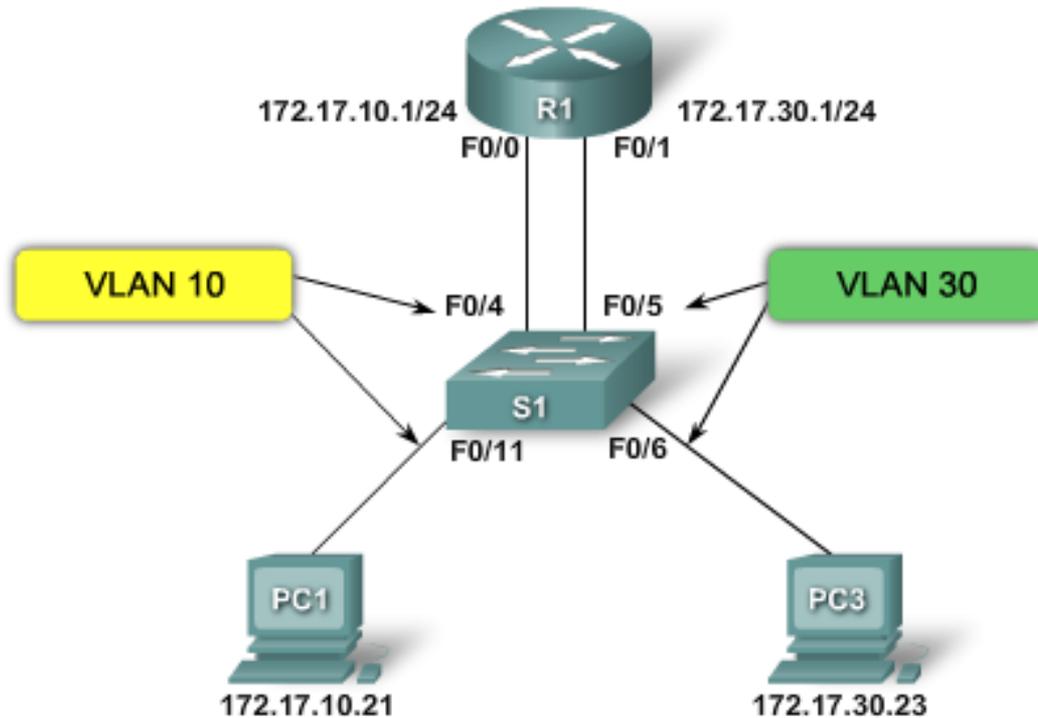
Uso de switch VLAN (multinivel)



Acceso y RAL

Encaminamiento entre VLANs

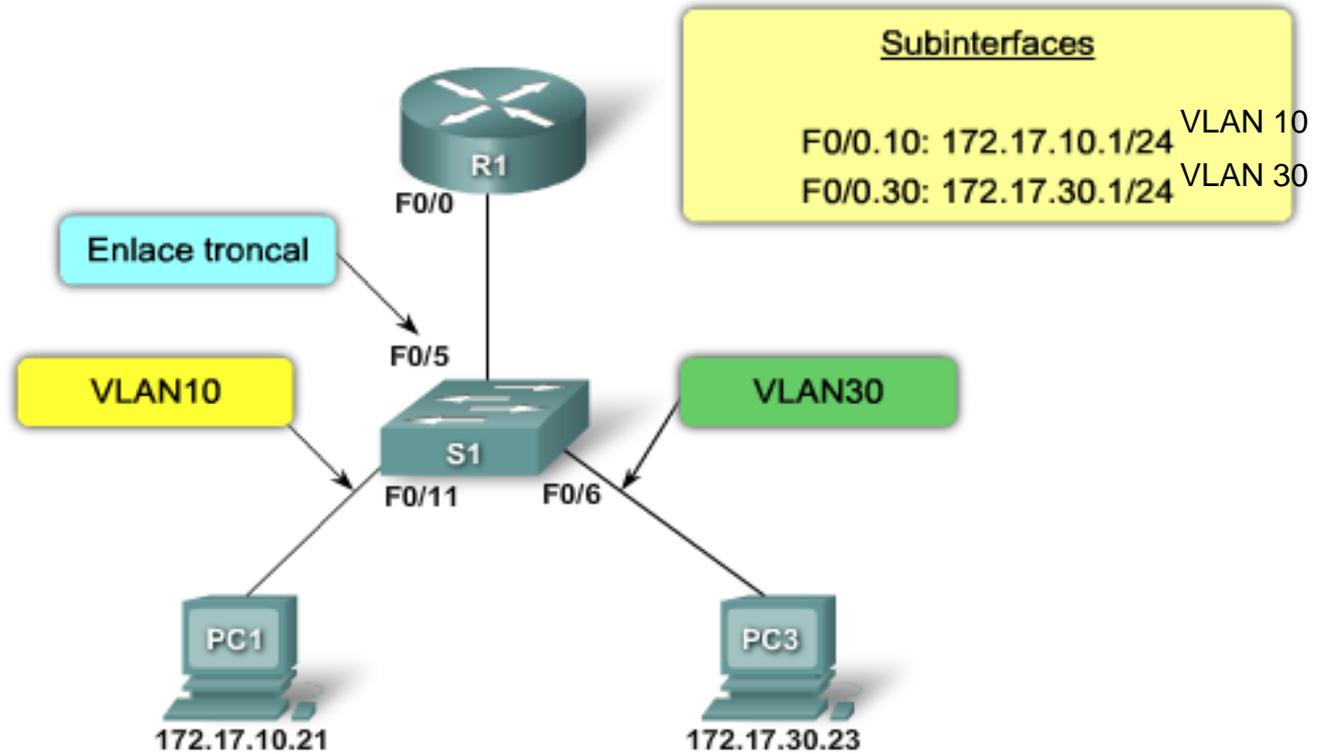
Uso de un router



Acceso y RAL

Encaminamiento entre VLANs

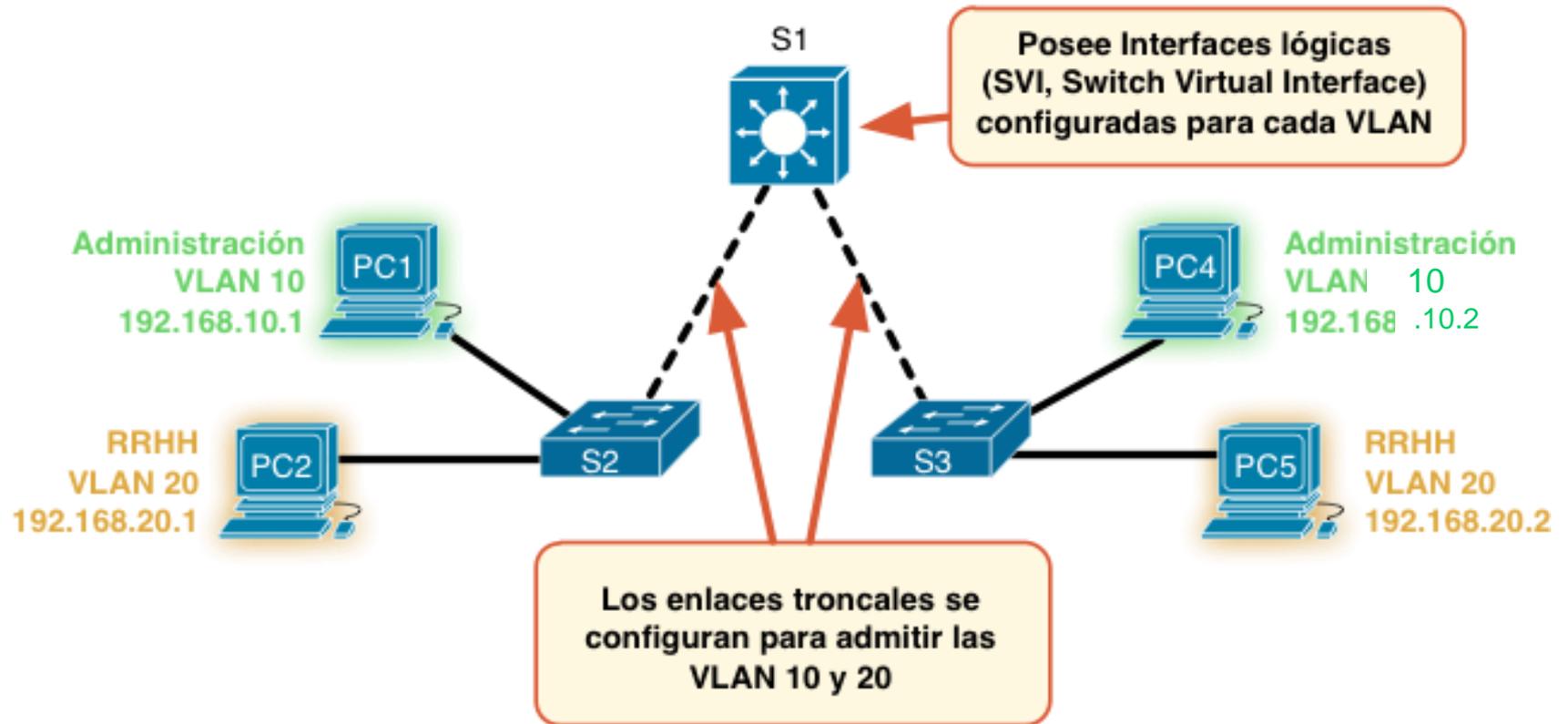
Uso de un router con enlace troncal



Las subinterfaces son interfaces virtuales asignadas a una interfaz física. Cada subinterfaz se configura con su propia dirección IP, máscara de subred y asignación de VLAN única,

Encaminamiento entre VLANs

Uso de switch VLAN (multinivel)

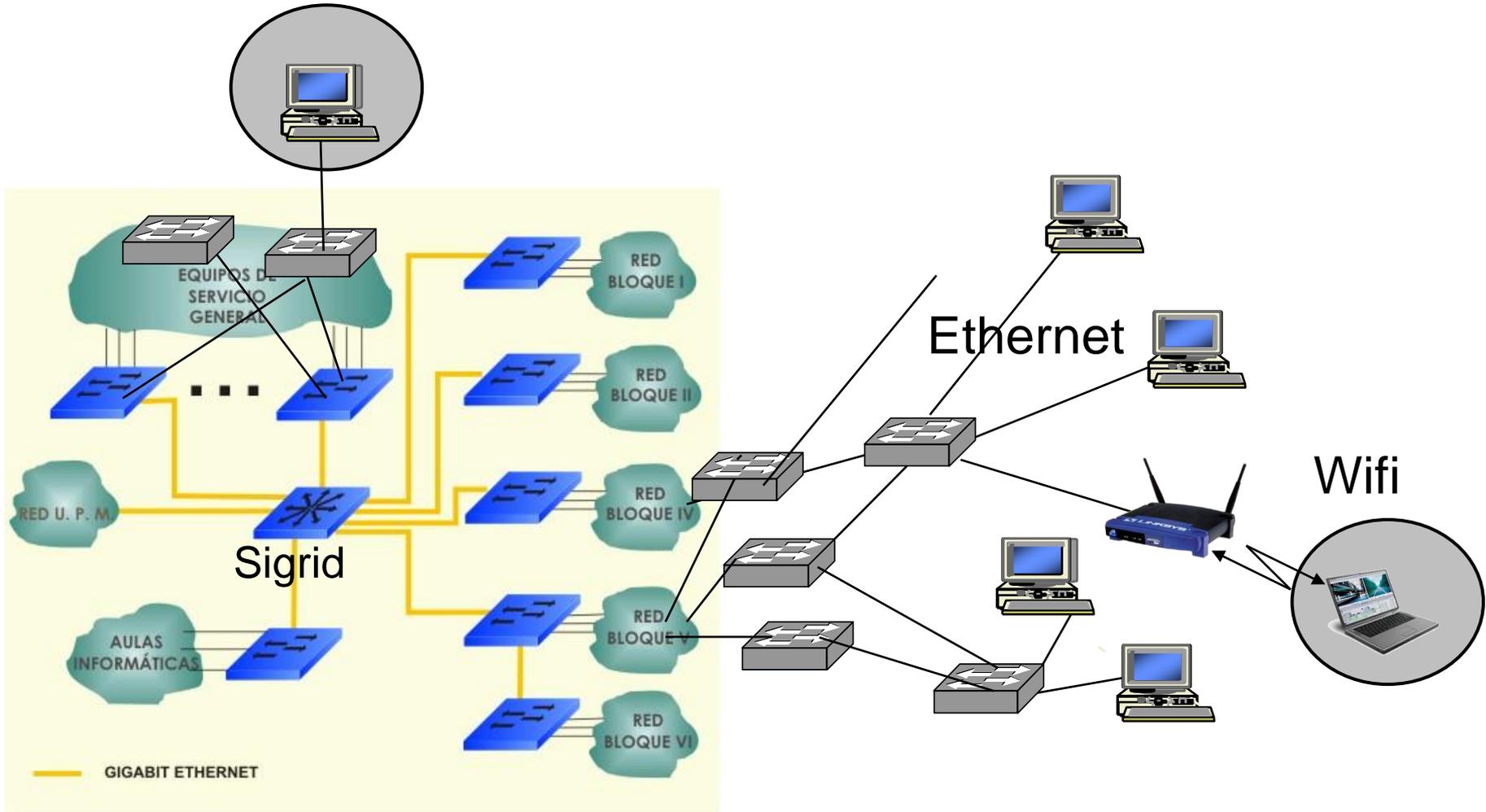


Acceso y RAL

3.3 Redes Inalámbricas

- Índice:
 - Tipos de redes inalámbricas
 - Encapsulación
 - CSMA/CA

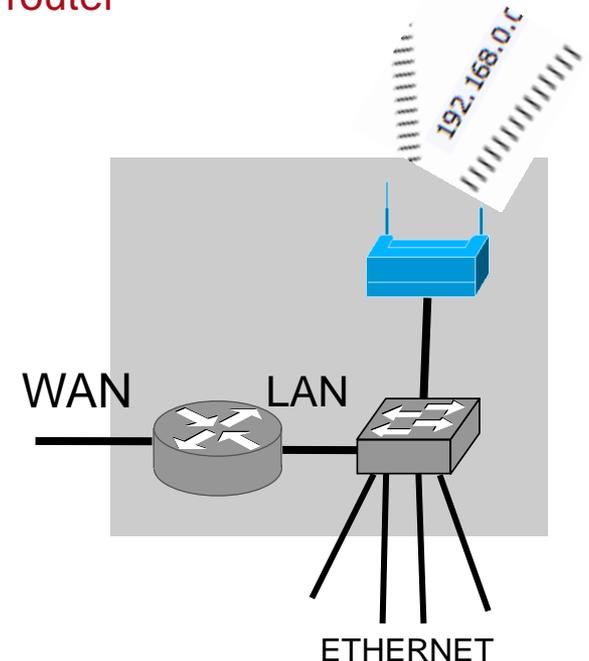
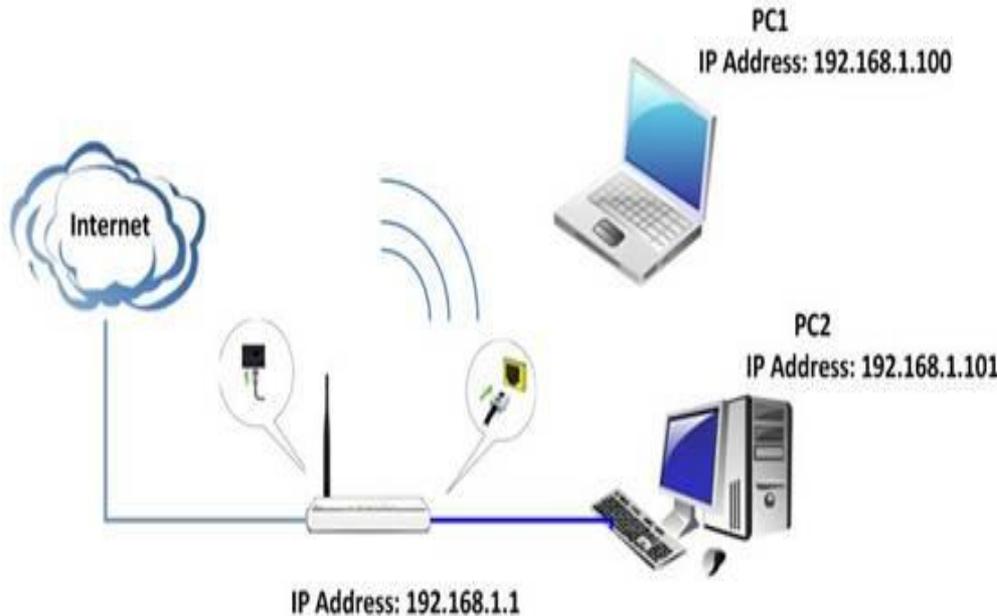
Red F.I. Conexión de terminales en red



Redes inalámbricas (WiFi)

IEEE 802.11

El router inalámbrico que los Operadores de Redes de Telecomunicaciones instalan en las casas de los clientes tiene el rol de **punto de acceso**, **switch** Ethernet y **router**



Wi-Fi es una marca de la Alianza Wi-Fi, la organización comercial que adopta, prueba y certifica que los equipos cumplen con los estándares 802.11 relacionados a redes inalámbricas de área local

Acceso y RAL

IEEE 802.11

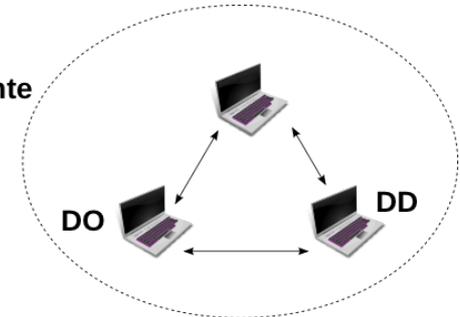
Tipos de redes

- Redes Independientes
 - Comunicación directa entre terminales
- Redes de Infraestructura
 - La comunicación entre dos terminales se hace a través del PA
- Redes Extendidas
 - Un PA se comunica con otro PA

BSS-Basic Service Set, Conjunto de Servicios Básicos

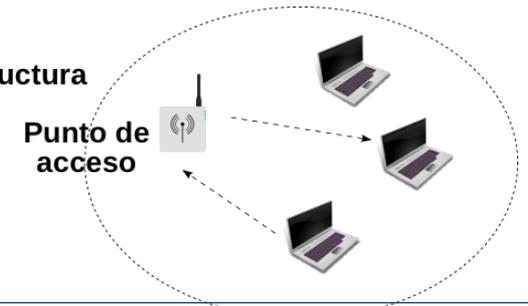
Conjunto de estaciones inalámbricas que coordinan el acceso al medio compartido mediante un procedimiento dado

BSS Independiente



BSA: Basic Service Area

BSS Infraestructura



Conjunto de Servicios Extendidos

ESS (Extended Service Set)

Portal: Permite la utilización de las redes Wifi . lintercepta todo el tráfico HTTP hasta que el usuario se autentifica. Muestra un mensaje de bienvenida a los usuarios e informa de las condiciones del acceso

Permite la comunicación entre varios PA

Acceso y RAL

Protocolo wifi (IEEE 802.11)

Conexión de terminales inalámbricos a la red de acceso

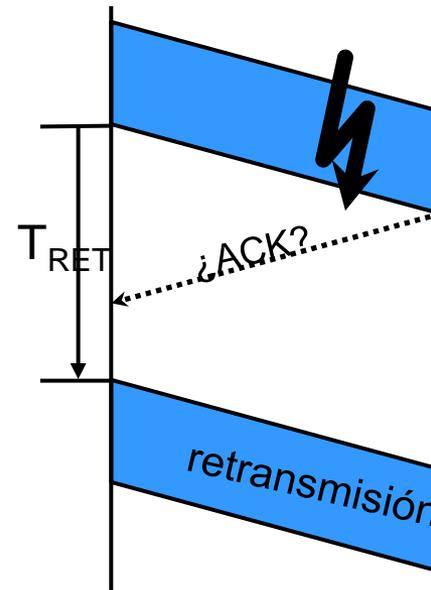
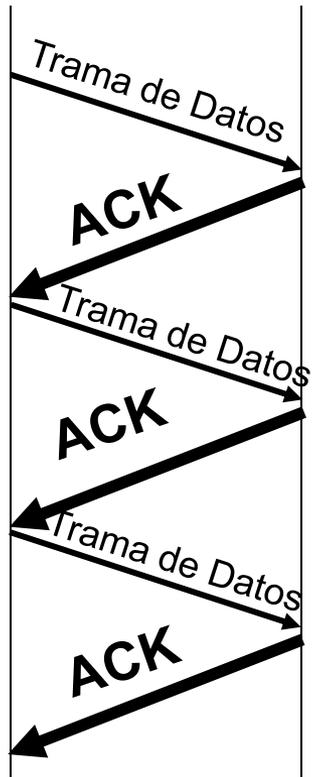
➤ Servicio fiable

- Numeración
- El receptor confirma cada trama recibida correctamente mediante una trama de control
- Detección de errores por CRC
- Recuperación de errores por retransmisión al vencimiento de temporizador
- Control de flujo mediante el mecanismo de parada y espera
- Mecanismo CSMA-*Carrier Sense Multiple Access* (**acceso múltiple por detección de portadora**) con esperas antes de transmitir: *CA-Collision Avoidance* (**prevención de colisiones**)

Control de flujo por parada y espera y recuperación de errores por vencimiento de temporizador

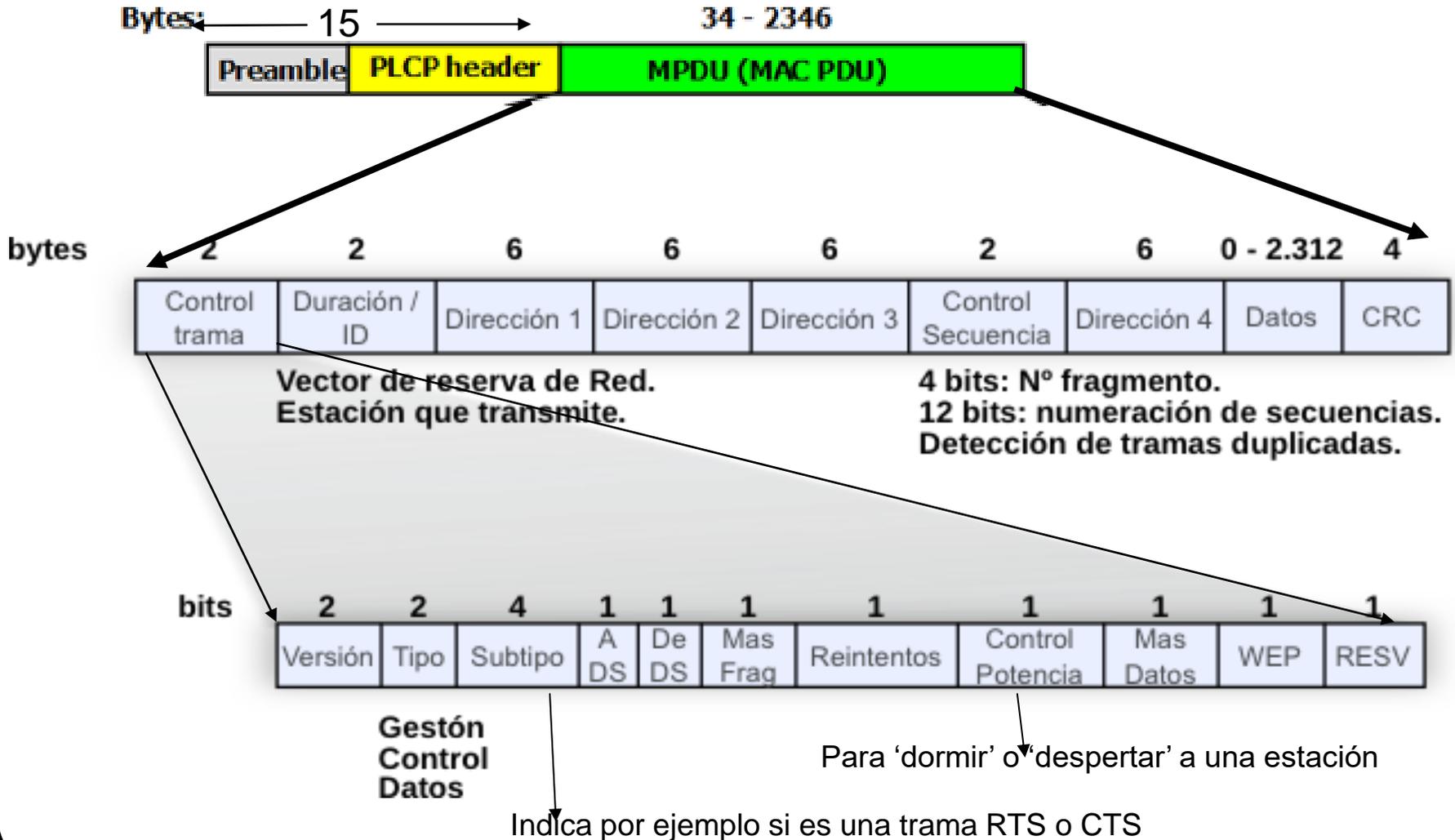
- La entidad emisora, una vez transmitida una trama, **SE PARA Y ESPERA** a recibir su confirmación antes de enviar una nueva trama.
- Al vencimiento del temporizador, si no se recibe validación se retransmite la trama
- La entidad receptora transmite un ACK si la trama se ha recibido correctamente

Emisor Receptor



Estructura de trama de datos 802.11

(PLCP) Physical Layer Convergence Procedure

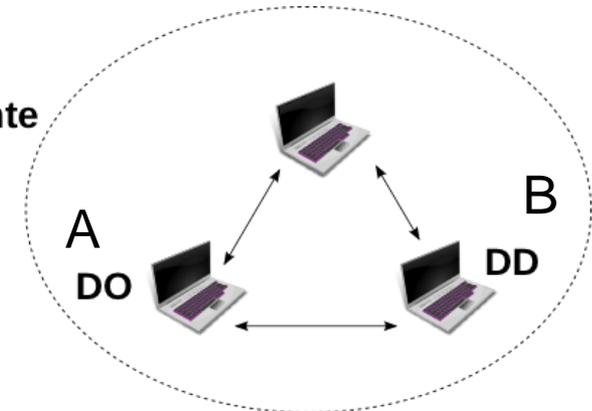


Redes inalámbricas

BSS (*Basic Service Set*)

- No existe Punto de Acceso (PA)
 - Red sin infraestructura
 - Generalmente temporales
 - Denominadas *ad-hoc*
- Comunicación directa entre las estaciones
 - **Función de Coordinación Distribuida (DCF)**
- Identificación
 - SSID: Cadena de texto que identifica la red
 - BSSID: MAC generada de forma aleatoria

BSS Independiente



BSA: Basic Service Area

SSID (Service Set Identifier)

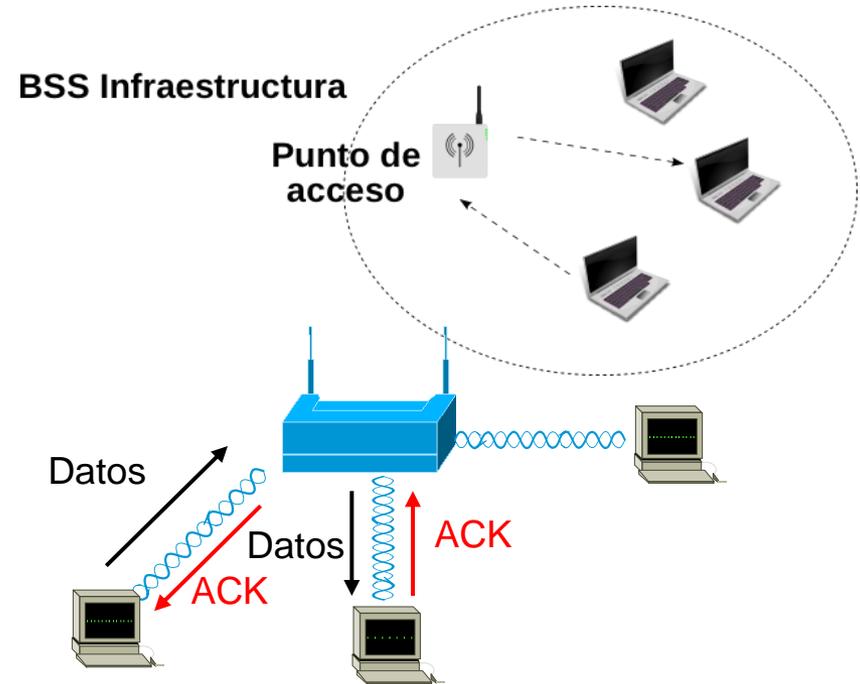
BSSID (Basic Service Set Identifier)



Redes inalámbricas

BSS-I (*Basic Service Set*) de Infraestructura

- ▮ Existe un Punto de Acceso
 - Acceso a red fija
- ▮ Las estaciones se comunican a través del punto de acceso
 - No se comunican entre ellas directamente
 - Deben estar asociadas al PA
 - Trama de gestión
- ▮ Identificación
 - SSID: Cadena de texto que identifica la red
 - BSSID: MAC de la interfaz WiFi del PA



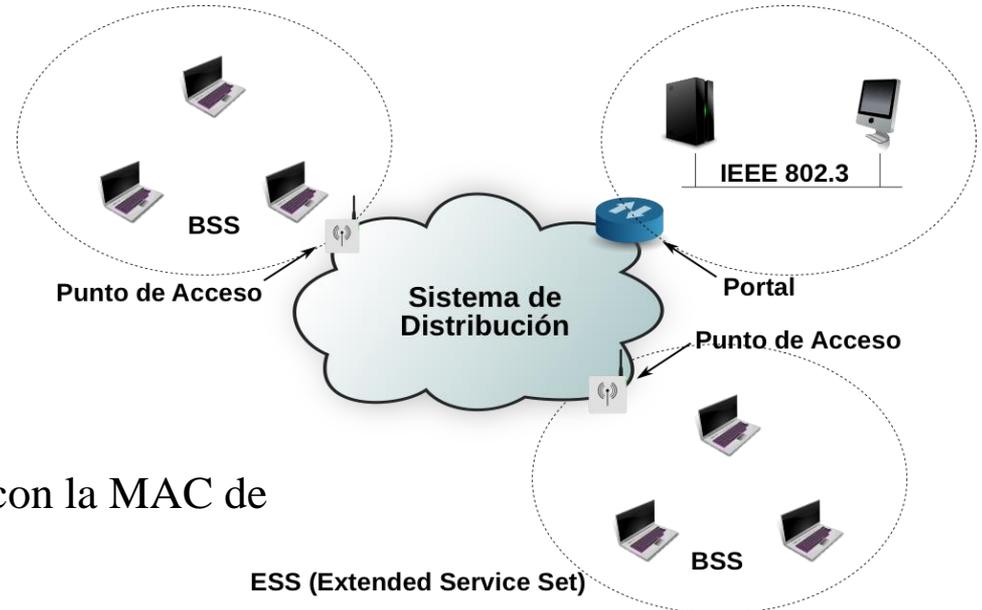
Redes inalámbricas

ESS (*Extended Service Set*)

- Comunicar diferentes BSS
 - Varios Puntos de Acceso
 - Conectados por un Sistema de Distribución (DS)
 - Generalmente Ethernet
 - Los PA actúan como puentes
 - **Portal**

- **Roaming**
 - Des-asociación
 - Re-asociación

- Identificación
 - SSID: identifica toda la red
 - BSSID: Cada BSS se identifica con la MAC de la interfaz WiFi de su PA



Redes inalámbricas

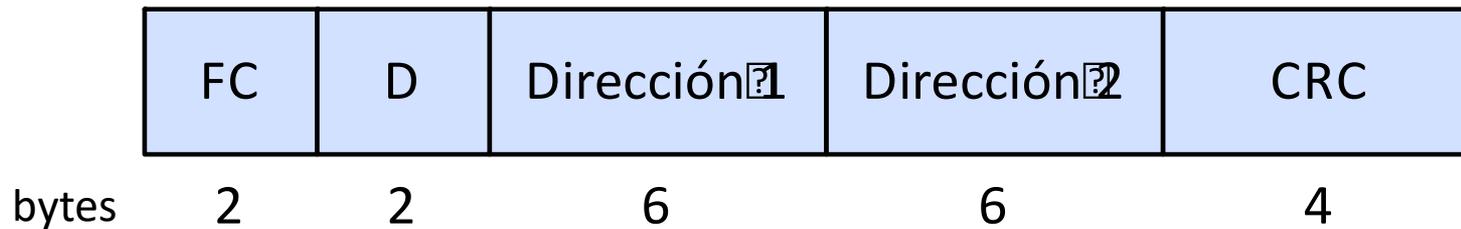
Tipos de tramas

- Datos
- Control
 - **Para el control de acceso al medio**
 - ACK, RTS, CTS
 - ACK: Validación de trama de datos
 - RTS. Request To Send: Reserva del canal
 - CTS: Clear To Send: Validación de la reserva por parte del receptor
- Gestión
 - **Beacon (Baliza)**
 - El PA advierte su presencia trasmitiendo 10 tramas *Beacon* por seg. Contiene información útil tal como el nombre de la red y las capacidades del PA.
 - **Probe (petición y respuesta)**
 - Permite a una estación preguntar si hay alguna red en un determinado canal
 - **Authenticate (petición y respuesta)**
 - Para autenticación de la estación frente al PA.
 - **Cada terminal comparte una clave con el PA**
 - **Associate (petición y respuesta)**
 - Para llevar a cabo el proceso de conexión de una estación con el PA.
 - **Disassociate (notificación)**
 - Para desconexión de un PA
 - **Reassociate (petición y respuesta)**
 - Para conectarse a un nuevo PA.
 - **Deauthentication (notificación)**

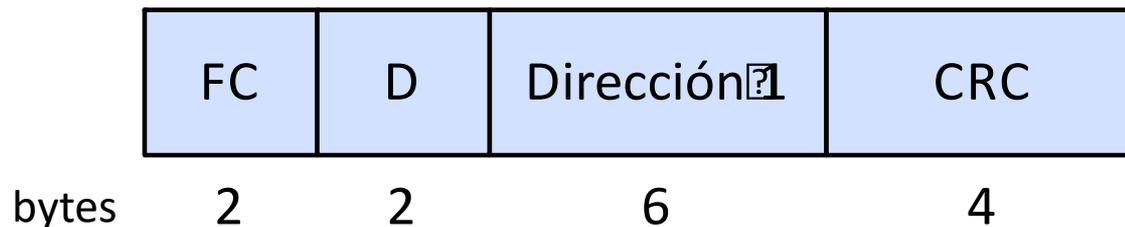
Redes inalámbricas

Estructura de tramas de control 802.11 (RTS/CTS)

Trama RTS



Trama CTS/ACK

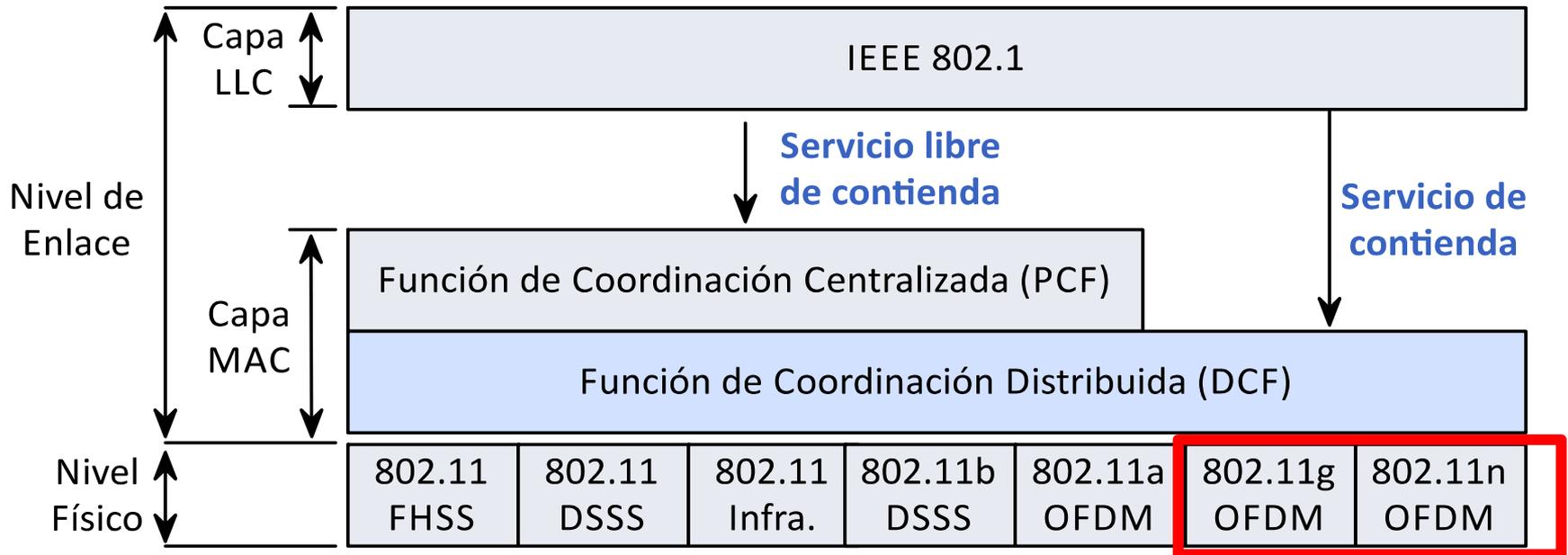


FC: Control trama
 D: Duración

Redes inalámbricas 802.11

Arquitectura de protocolos


 IP, ARP



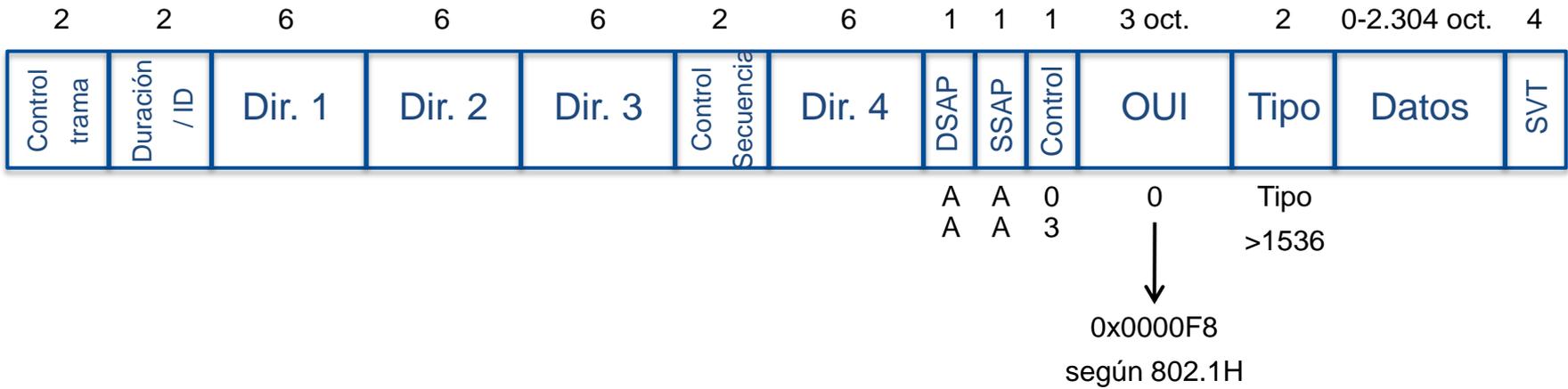
Acceso y RAL

Encapsulación de IP

IEEE 802.11 – RFC 1024 y IEEE 802.1H

- LLC-SNAP

42 octetos de control



- Similar a encapsulación 802.3
 - Identificador OUI diferente (0x0000F8)
- MTU generalmente restringida a 1.500 por compatibilidad

Redes inalámbricas

Direcciones MAC

- El subnivel MAC utiliza 4 direcciones

- Receptor

- Dispositivo receptor (terminal ó PA)

- Transmisor

- Dispositivo transmisor origen (terminal ó PA)

Interfaz aire

- Destino

- Estación MAC destino

- Origen

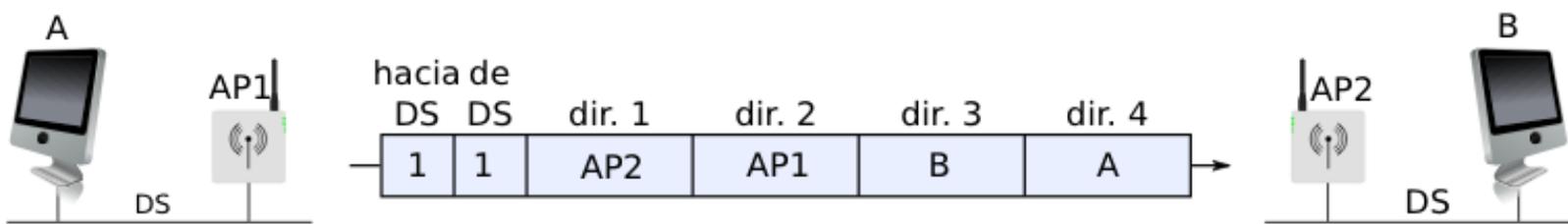
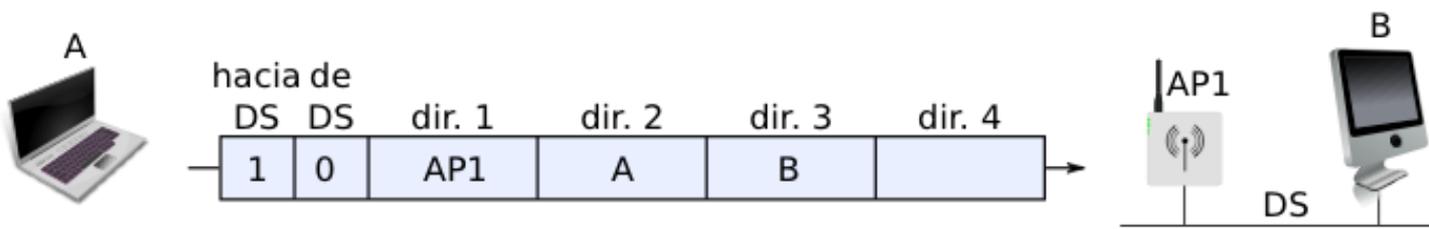
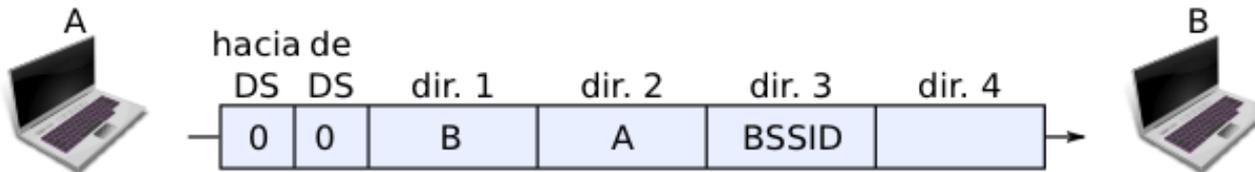
- Estación MAC origen

Sistema de
Distribución

En 802.11 es preciso indicar quien transmite la trama pues es a quien hay que enviar el ACK. Las direcciones del transmisor y receptor pueden ser diferentes de las de origen y destino de la trama

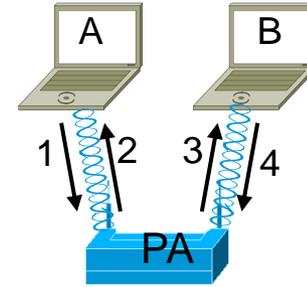
Redes inalámbricas Direcciones MAC

dir 1: Terminal ó PA receptor; dir 2: Terminal ó PA transmisor; dir 3: otro terminal

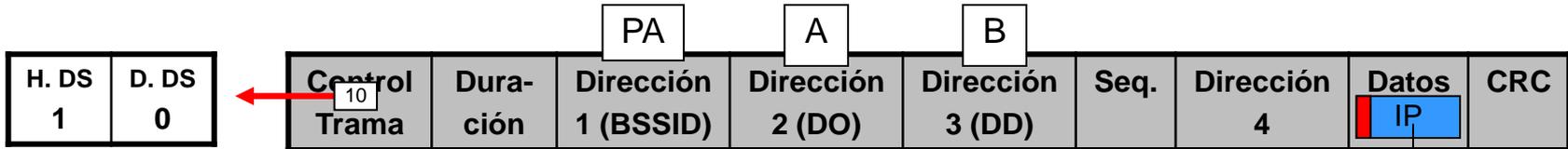


Acceso y RAL

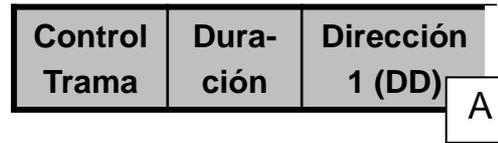
Ejemplo: trama de A a B



1: A envía la trama a PA:

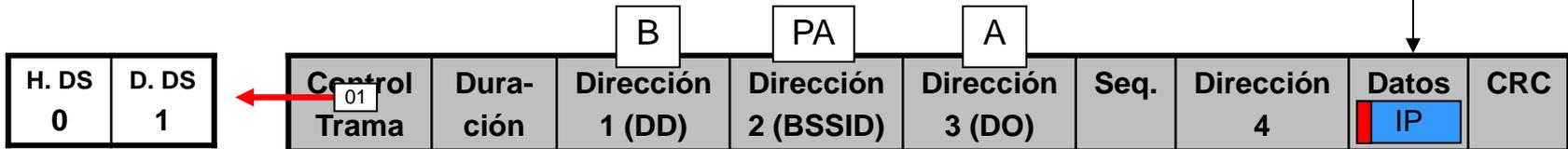


2: PA envía la trama ACK a A

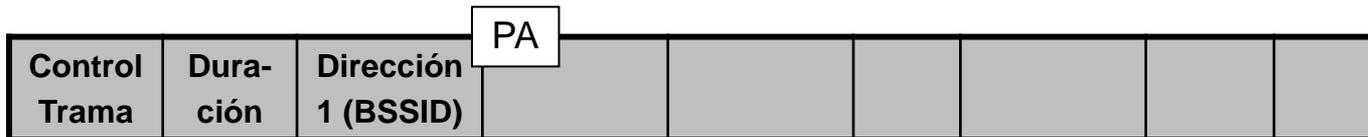


Se copia la dirección 2 de la trama anteriormente recibida

3: PA envía la trama a B:



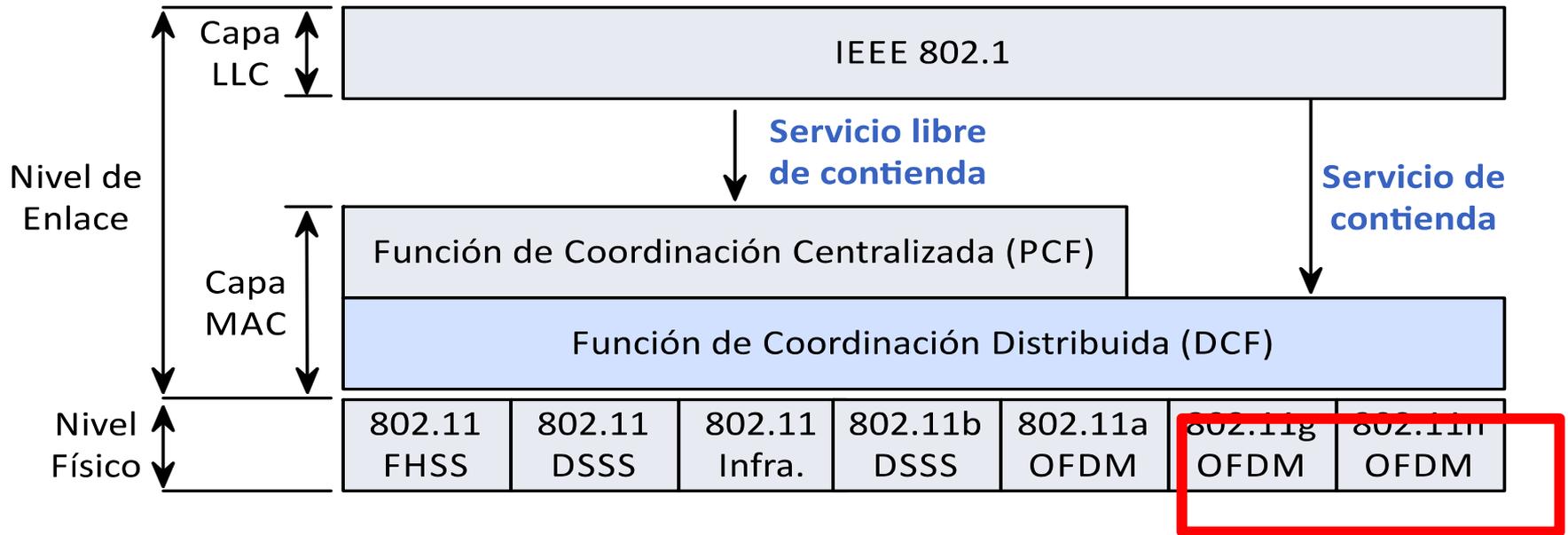
4: B envía la trama ACK a PA



Redes inalámbricas

Subnivel MAC 802.11

- Subnivel MAC



Control de Acceso al Medio

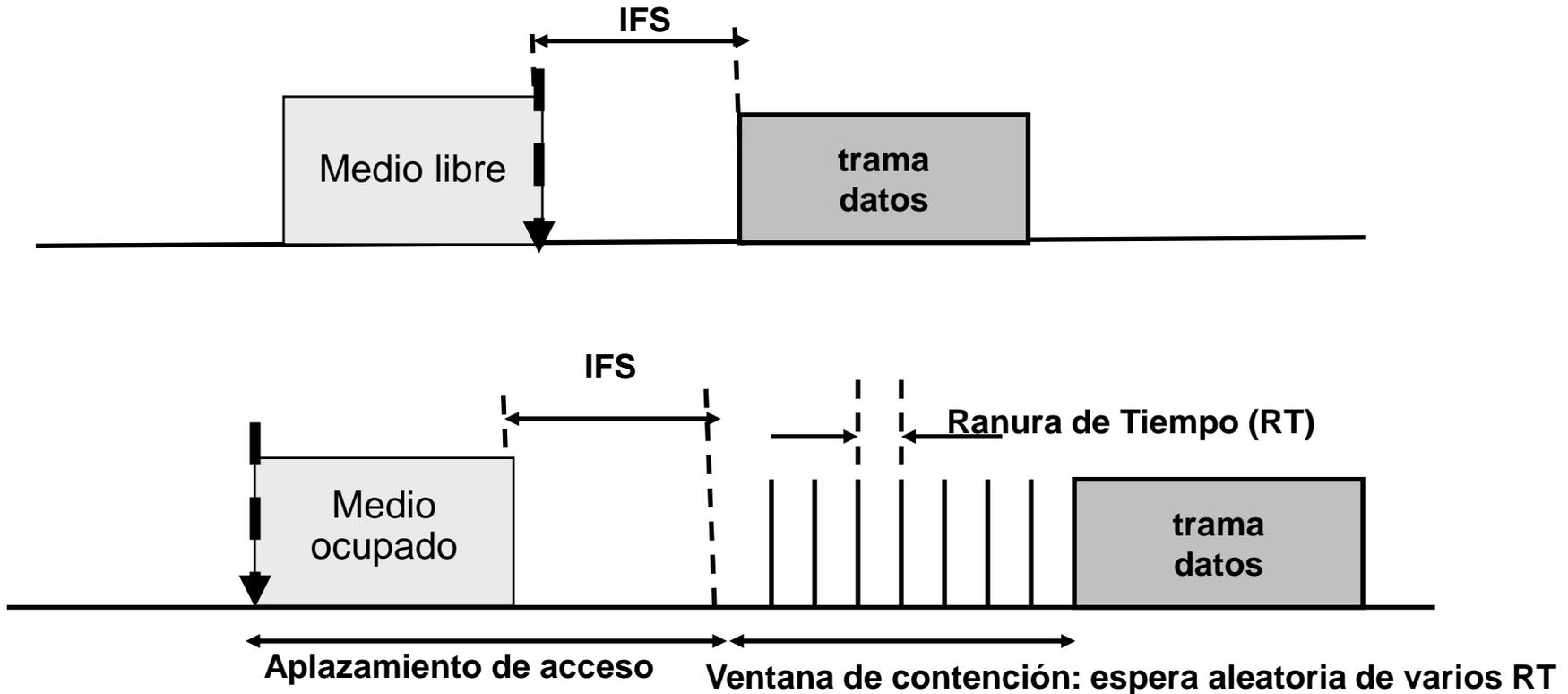
▀ El proceso CSMA:

- Se utiliza para detectar primero si el medio transporta o no una señal
- Las estaciones pueden transmitir en cualquier momento
- Si no se detecta una señal, el dispositivo transmite sus datos
- Si dos dispositivos transmiten a la vez, se produce una colisión de datos.

Función de coordinación distribuida

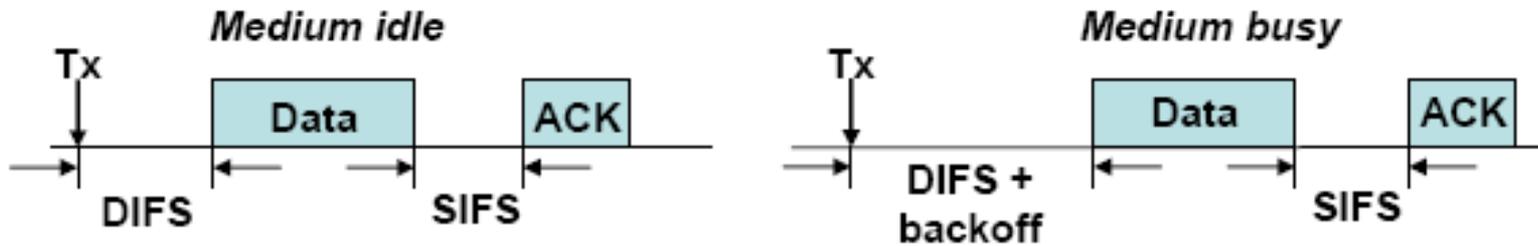
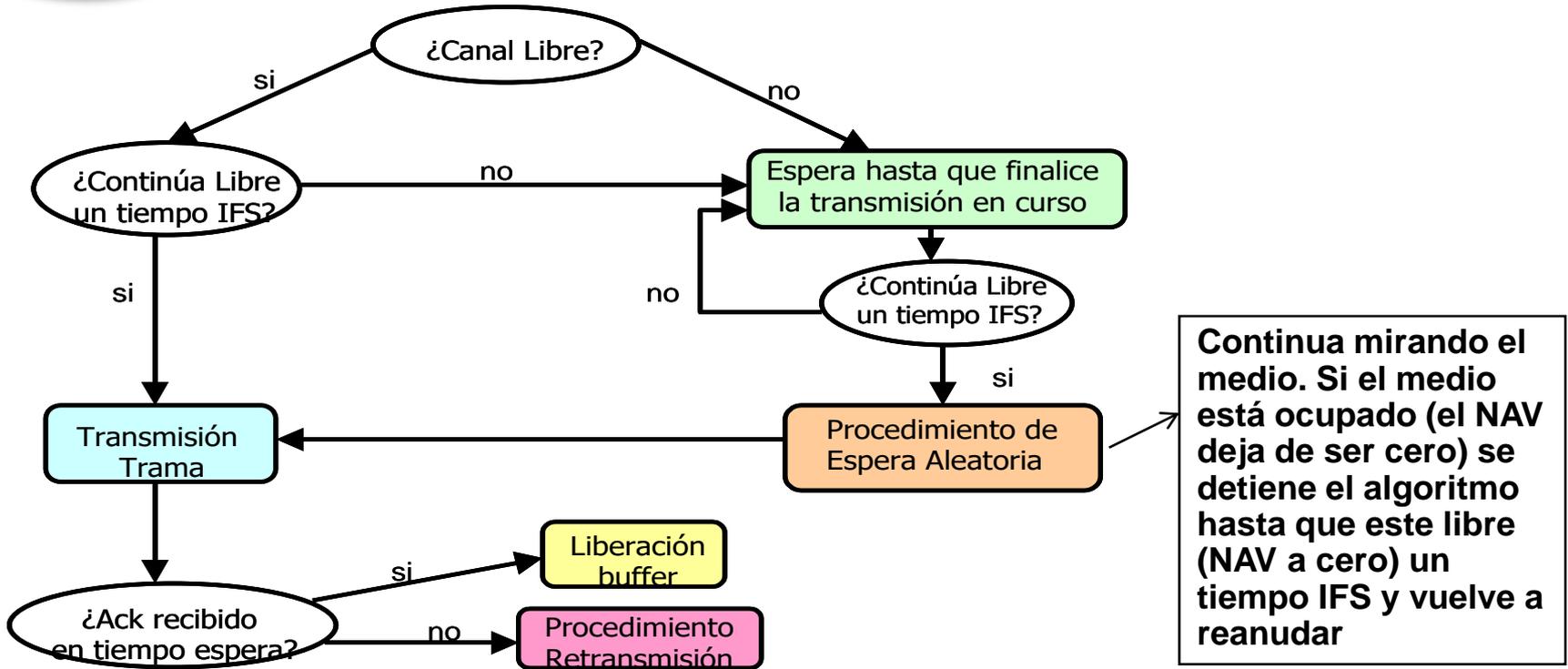
Todas las estaciones deben estar inactivas durante un periodo mínimo denominado “espacio entre tramas”: IFS Inter Frame Space

- Medio libre y sigue libre durante IFS: transmite
- Medio ocupado: espera a que finalice la transmisión en curso, después espera un IFS y si continua libre, espera un periodo aleatorio y después transmite



Acceso y RAL

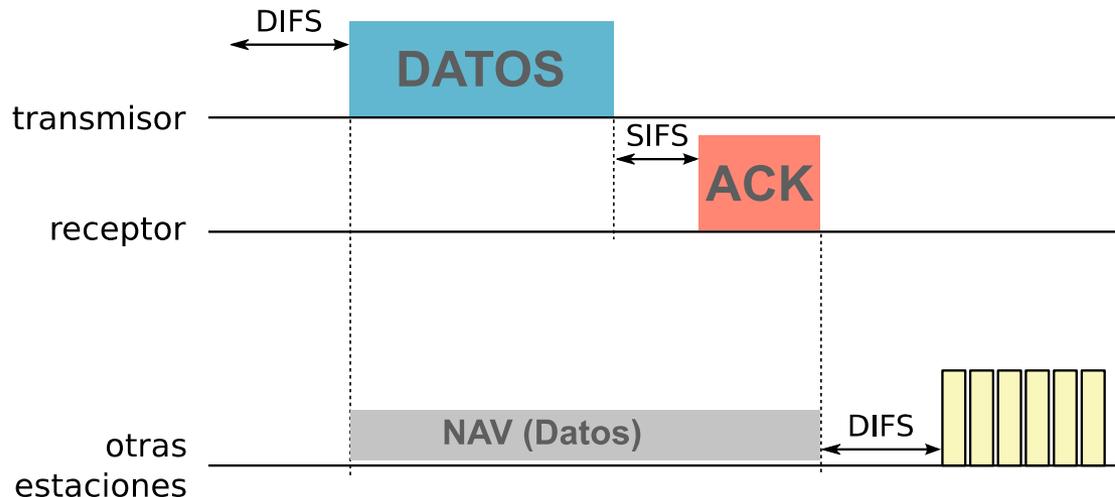
Función de coordinación distribuida (II)



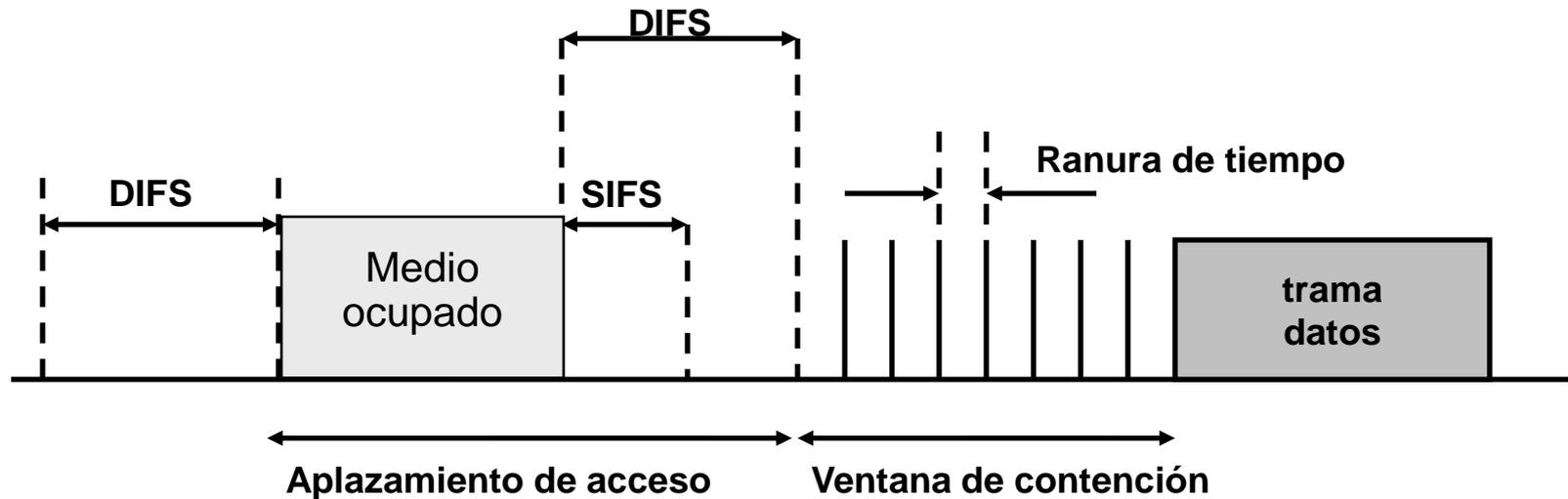
CSMA/CA

Mecanismo básico de acceso

- Se utilizan dos IFS diferentes
 - DIFS:** Espera obligada para cada estación con intención de transmitir datos
 - SIFS:** Espera menor para enviar confirmaciones
 - Tienen mayor prioridad y no esperan ventana de contienda



IEEE 802.11. Prioridades



DIFS: DCF – IFS: Tramas de datos y gestión normales en modo contienda

SIFS: Short IFS: ACK, CTS, Tramas de datos segmentadas

Colisiones

- Dos estaciones detectan el medio libre y deciden transmitir a la vez, o casi a la vez.
 - Riesgo mínimo.
 - Para una distancia entre estaciones de 100 m el tiempo que tarda en llegar la señal es de $0,33 \mu\text{s}$
- Dos estaciones a la espera (que habían detectado el medio ocupado) eligen el mismo número de intervalos (mismo tiempo aleatorio) para transmitir después de la emisión en curso.
 - En ese caso reintentan ampliando exponencialmente el rango de intervalos y vuelven a elegir.
 - Es similar a Ethernet salvo que las estaciones no detectan la colisión, deducen que se ha producido cuando no reciben el ACK esperado
- Estación oculta
 - Una estación escucha el canal libre pero otra estación está transmitiendo (a cierta distancia) y sus señales coinciden en el receptor

Función de Coordinación Distribuida (DCF). resumen

- Uso de CSMA/CA como mecanismo de acceso al medio
 - Espacio entre tramas (*InterFrame Space* ó IFS)
 - Esperas para evitar colisiones con transmisiones ya iniciadas
 - IFS variable para establecer prioridades
 - Ventana de Contención
 - Número aleatorio de slots de espera tras IFS
 - *Binary exponential back-off* (comienza con intervalo [0,1])
 - Muestreo del medio tras cada slot
 - No reinicio de cuenta si ocupado, sólo detención
 - Confirmaciones
 - Resolver colisiones o transmisiones erróneas

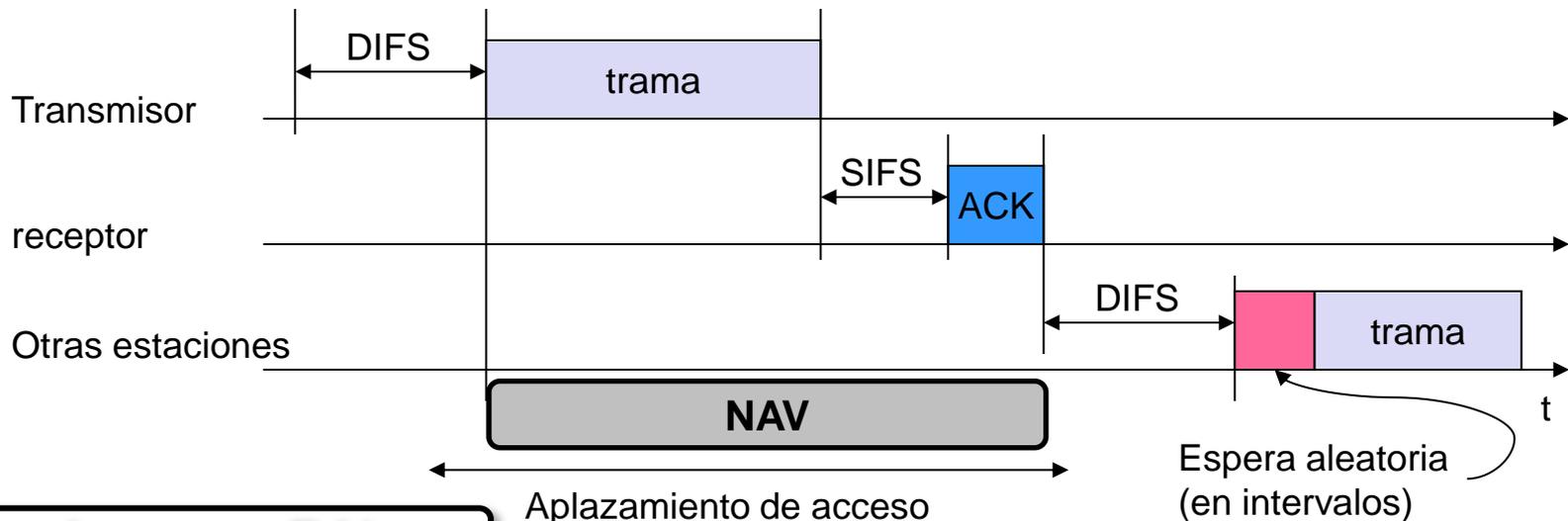
CSMA/CA

Detección de portadora virtual

- Cuando una estación transmite una trama de datos:
 - Incluye en la cabecera de la misma (campo “Duración”) información que permite a todas las estaciones del medio conocer el tiempo que estará ocupado el medio
 - Vector de Reserva (NAV, *Network Allocation Vector*)
- NAV es un contador de tiempo que debe pasar para que el canal quede libre
 - Se actualiza con el valor que aparece en cada trama salvo que sea más pequeño
 - Contador regresivo, hasta que llegue a cero
- Una estación comprueba primero la portadora virtual (NAV) y después detecta la portadora a nivel físico
 - No intenta transmitir mientras $NAV > 0$

Portadora lógica. Detección de canal virtual

- Este mecanismo del MAC de cada estación móvil consiste en el mantenimiento de un *Vector de Reserva de Red (NAV, Network Allocation Vector)* que indica las reservas realizadas por otras estaciones móviles
- Realmente el NAV es un contador de tiempo que indica el tiempo que debe pasar para que el canal quede libre. Se actualiza con el valor que aparece en cada trama, excepto si el nuevo NAV es más pequeño que el que ya había, en cuyo caso se ignora.
- El mecanismo de detección del estado ocupado/libre del medio, se realiza primero mediante la portadora virtual (NAV) y después por la detección de portadora a nivel físico. Una estación no intentará transmitir mientras $NAV > 0$

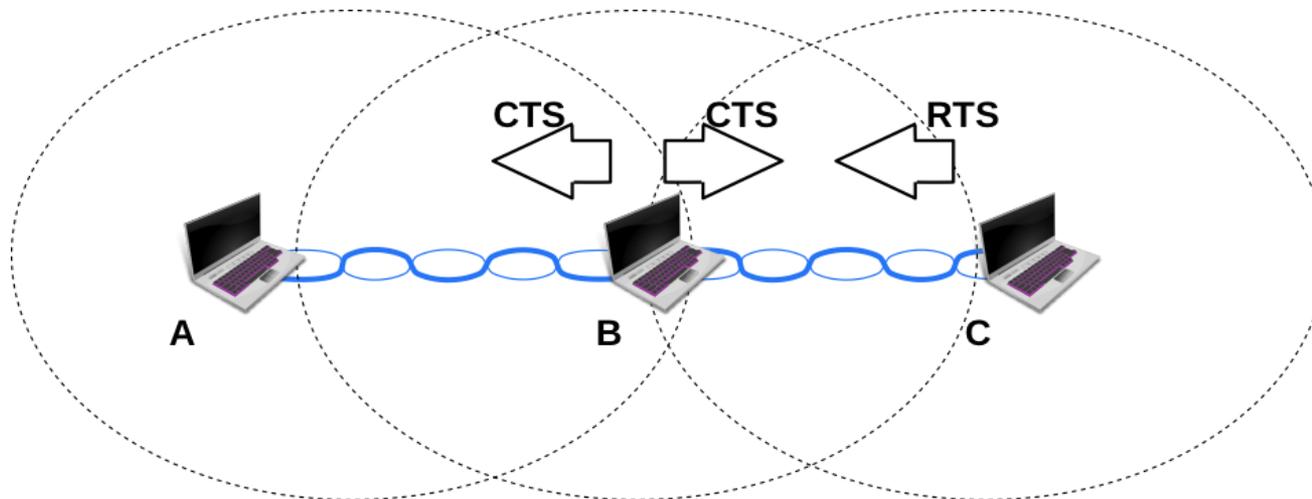


Acceso y RAL

CSMA/CA

Terminal Oculito

- ▮ Dos estaciones no se ven
 - Excesiva distancia entre ellas
- ▮ Provocan colisiones
 - No reciben los respectivos NAV



CSMA/CA

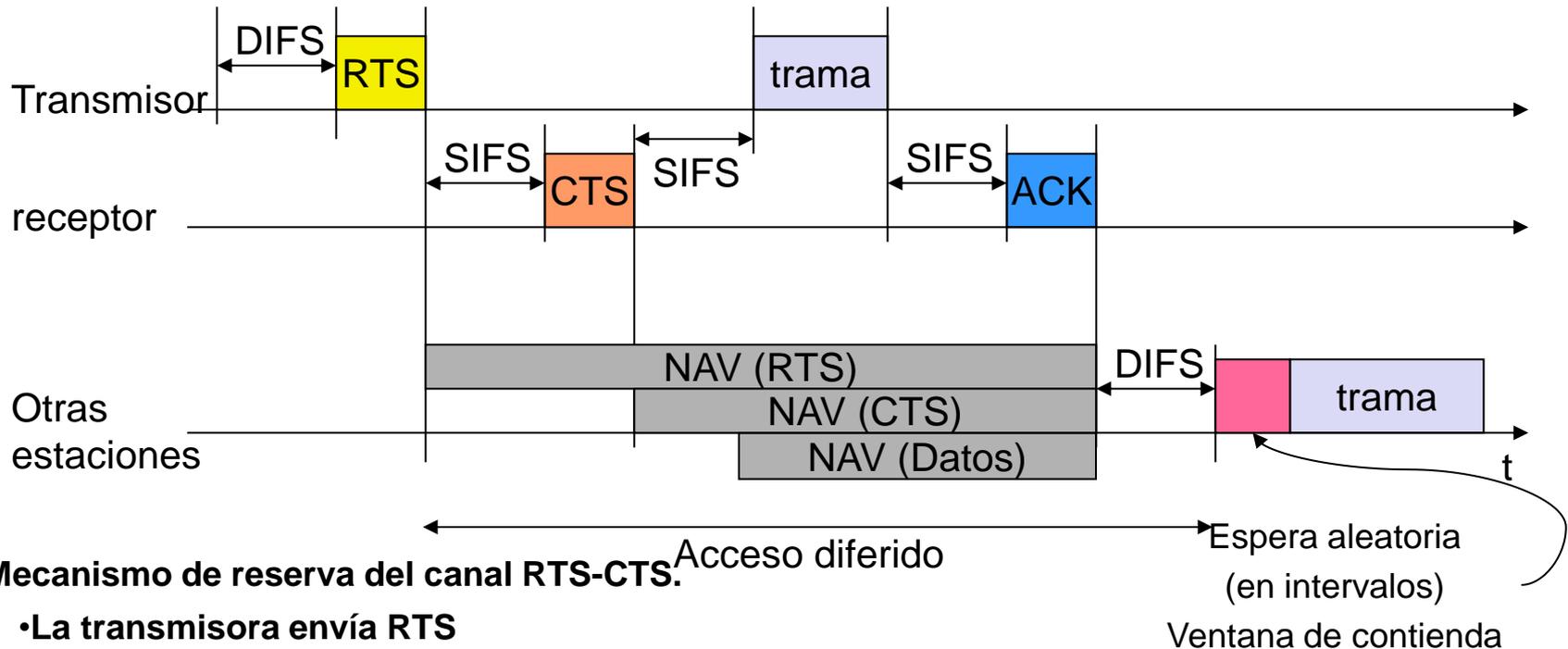
Mecanismo de reserva RTS-CTS

- ▣ Mecanismo de reserva de recursos
 - Útil en situaciones de mucha congestión
 - Evita el problema del Terminal Oculto

- ▣ Utilización de dos tramas de control
 - **RTS** (*Request to Send*): Solicitud para transmitir
 - **CTS** (*Clear to Send*): Permiso para transmitir y reserva de recursos (NAV) para todas las estaciones que lo reciban

- ▣ Se establece un umbral RTS-CTS
 - Tamaño de trama a partir del cual se requiere utilizar RTS-CTS
 - Evitar retransmitir tramas de gran tamaño

CSMA/CA. Mecanismo de reserva. RTS-CTS



Mecanismo de reserva del canal RTS-CTS.

- La transmisora envía RTS
- La receptora contesta con CTS
- Unas estaciones escuchan RTS y otras CTS
- RTS lleva información de duración de la trama
- No pueden enviar hasta que escuchen la trama ACK
- Se activa opcionalmente
 - Una trama que supera un umbral
 - Todas las tramas

• Portadora virtual

- Network Access Vector (Vector de Reserva de Red)
- Se actualiza con RTS y CTS
- Riesgo de colisión
- En las señales RTS-CTS

Acceso y RAL

Subnivel MAC 802.11

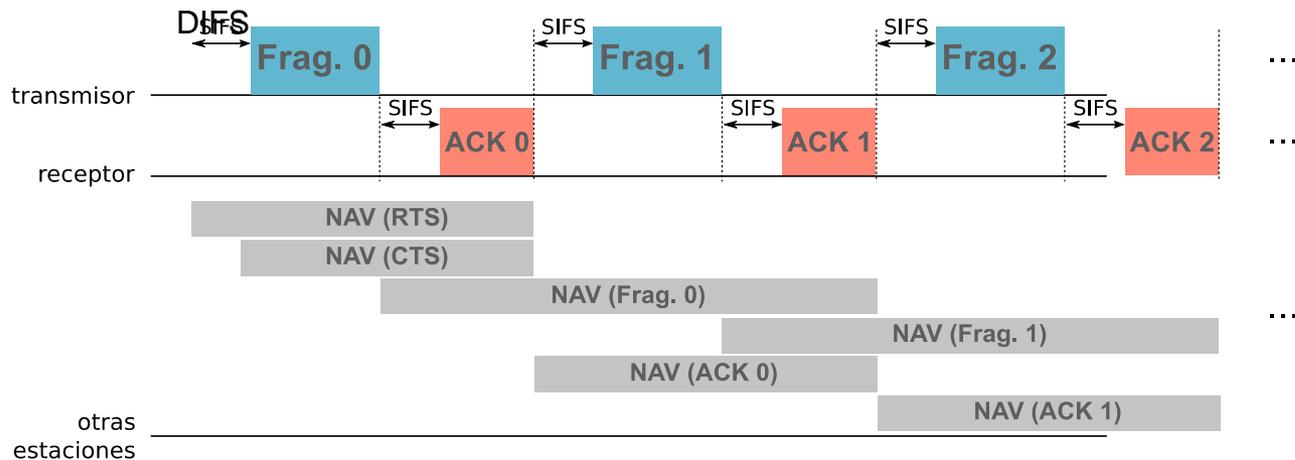
Fragmentación

Objetivo:

- Aumentar la fiabilidad al evitar retransmisiones en canales con altas tasas de error.

Operativa:

- Las tramas MAC se comparan con el parámetro *Umbral_Fragmentación*, de modo que si el tamaño de la trama MAC supera ese parámetro, la trama se dividirá en varios fragmentos.
- Todos los fragmentos son enviados secuencialmente. La estación mantiene control del canal esperando solo un periodo SIFS después de recibir el ACK de la estación destino. Cada fragmento enviado reserva el medio físico para el envío del siguiente fragmento utilizando el campo de “Duración” de la cabecera de la trama MAC.



Redes inalámbricas

Estándares



- Estándares **IEEE 802.11**
- Conocidos comúnmente como Wi-Fi.
- Utilizan CSMA/CA
- Distintas modalidades:
 - 802.11a: 54 Mbps, 5 GHz
 - 802.11b: 11 Mbps, 2.4 GHz
 - **802.11g: 54 Mbps, 2.4 GHz**
 - 802.11n: 600 Mbps, 2.4 y 5 GHz (300)
 - 802.11ac: 1 Gbps, 5 GHz
 - 802.11ad: 7 Gbps, 2.4 GHz, 5 GHz, y 60 GHz



- Estándar IEEE 802.15
- Soporta velocidades de hasta 3 Mbps
- Asocia dispositivos a una distancia de hasta 100 metros.



- Estándar IEEE 802.16
- Proporciona velocidades de hasta 1 Gbps
- Utiliza una topología punto-a-multipunto para proporcionar acceso de banda ancha inalámbrico

Redes inalámbricas

Medios y técnicas de transmisión

- ▮ **Infrarrojos**
 - Distancias cortas, omnidireccional, misma habitación. 1 ó 2 Mbits
- ▮ **FHSS** (*Frequency Hopping Spread Spectrum*)
 - Se transmite durante un cierto tiempo en una frecuencia y después se salta a otra frecuencia siguiendo una secuencia pseudo-aleatoria (1-2 Mbits)
- ▮ **DSSS** (*Direct Sequence Spread Spectrum*)
 - Utiliza una secuencia pseudo-aleatoria de 11 chips para expandir el flujo de datos a transmitir.
- ▮ **HR-DSSS** (*High Rate Direct Sequence Spread Spectrum*)
 - Uso de nuevo esquema de modulación CCK (*Complementary Code Keying*) agrupando 8 bits por símbolo para alcanzar transmisiones de hasta 11 Mbps
- ▮ **OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)
 - Se divide la banda en un gran número de portadoras con un ancho de banda reducido en cada una de ellas

Redes inalámbricas

Estándares 802.11

Estándar	Max. Velocidad	Frecuencia	Modulación	Compatibilidad
802.11a	54 Mbps	5 GHz	OFDM	No
802.11b	11 Mbps	2.4 GHz	DSSS, HR-DSSS	No
802.11g	54 Mbps	2.4 GHz	HR-DSSS, OFDM	802.11b
802.11n *	600 Mbps	2.4 ó 5 GHz	OFDM	802.11b/g
802.11ac *	1.3 Gbps	2.4 y 5 GHz	OFDM	802.11b/g/n

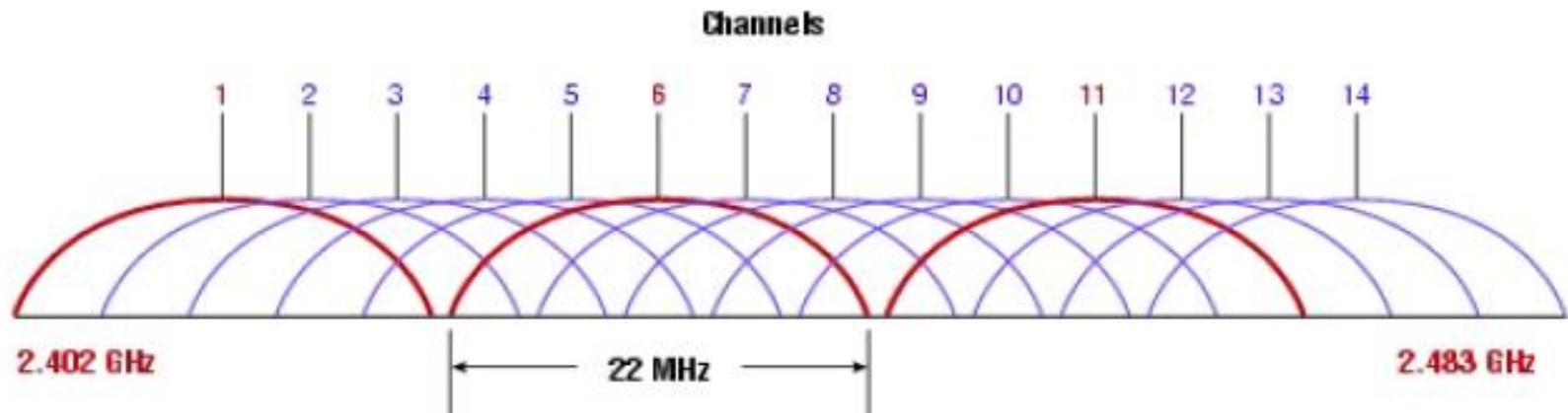
* Utilizan tecnología **MIMO**

Multiple Input – Multiple Output

Varios flujos simultáneos usando varias antenas

Canales DSS (banda de 2,4 GHz)

- IEEE 802.11 divide el espectro en 14 canales disponibles de 22 MHz. Si bien están superpuestos, por lo que interfieren entre sí, excepto el 1, 6 y 11.
- Aunque no todos los canales están disponibles en todos los países. En Europa se pueden usar 13 canales (en España 10-11, en Francia 10-13, etc.); en América 11 y en Japón 14.



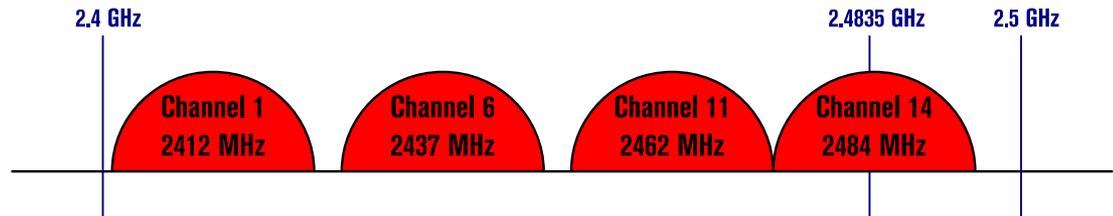
- Se configura en el PA y se selecciona automáticamente en los terminales

Redes inalámbricas

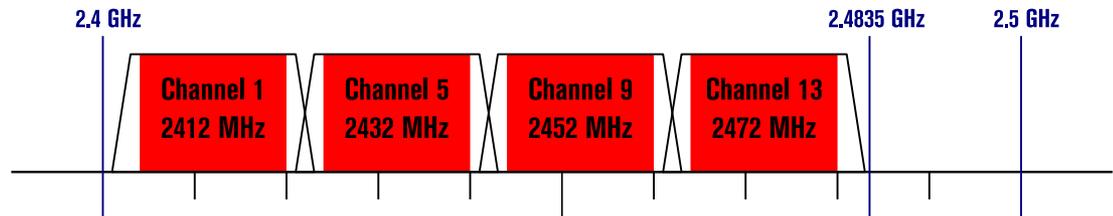
Solape de canales en banda de 2,4 GHz

- ▮ 13 Canales separados 5 MHz
 - 2,412 GHz – 2,472 GHz
- ▮ **DSSS** usa 22 MHz por canal
- ▮ **OFDM** usa 16,25 ó 33,75 MHz por canal
- ▮ Uso de canales configurado en el PA

802.11b (DSSS) Canales de 22 MHz



802.11g/n (OFDM) Canales del 20 MHz - 16,25 MHz usados por portadora



802.11n (OFDM) Canales del 40 MHz - 33,75 MHz usados por portadora

