



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD
DE INGENIERÍA**

**Licenciatura en Ciencias de la
Computación**

Redes de Computadoras

Unidad 2

Capa Física y capa de Enlace

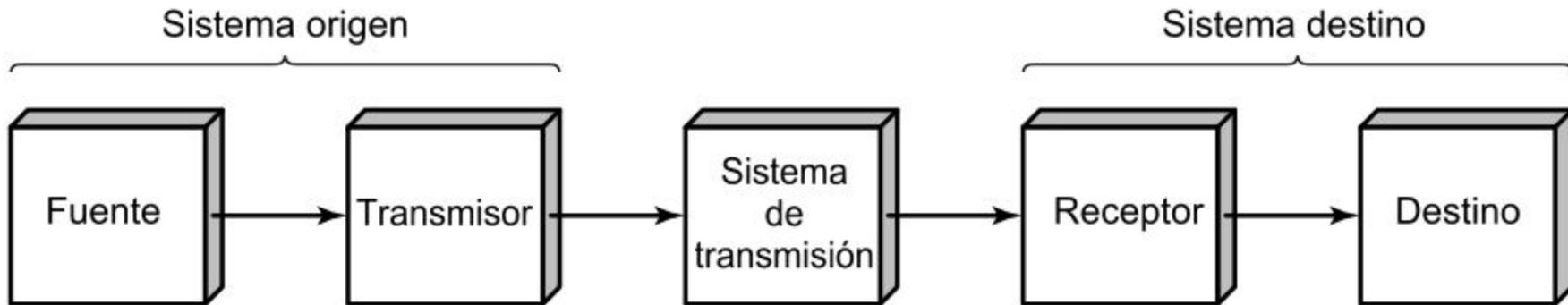


Temario

- ➔ ● **Capa Física.**
 - **Condiciones que afectan los canales de comunicaciones.**
 - **Algunas magnitudes y definiciones.**
 - **Transmisión en banda base, codificación.**
 - **Modulación.**
 - **Nociones de Fourier, ancho de banda y tasa de datos.**
 - **Ruido. Teorema de Shannon. Latencia del canal**
 - **Medios de transmisión**
 - **Multiplex**
- **Capa enlace**
- **La subcapa MAC**
- **Ejemplos de redes WAN**
- **Ejemplos de redes LAN**

Capa Física

- Servicios:
 - **Transmisión de bits a través del canal de comunicación físico.**
 - Transmisión no confiable (los bits pueden perderse).
- Problema a resolver por la capa física: Transformar los **bits** en **señales** que **puedan propagarse** por el medio de comunicación (modulación digital), y en el destino recuperar esos bits (demodulación digital).

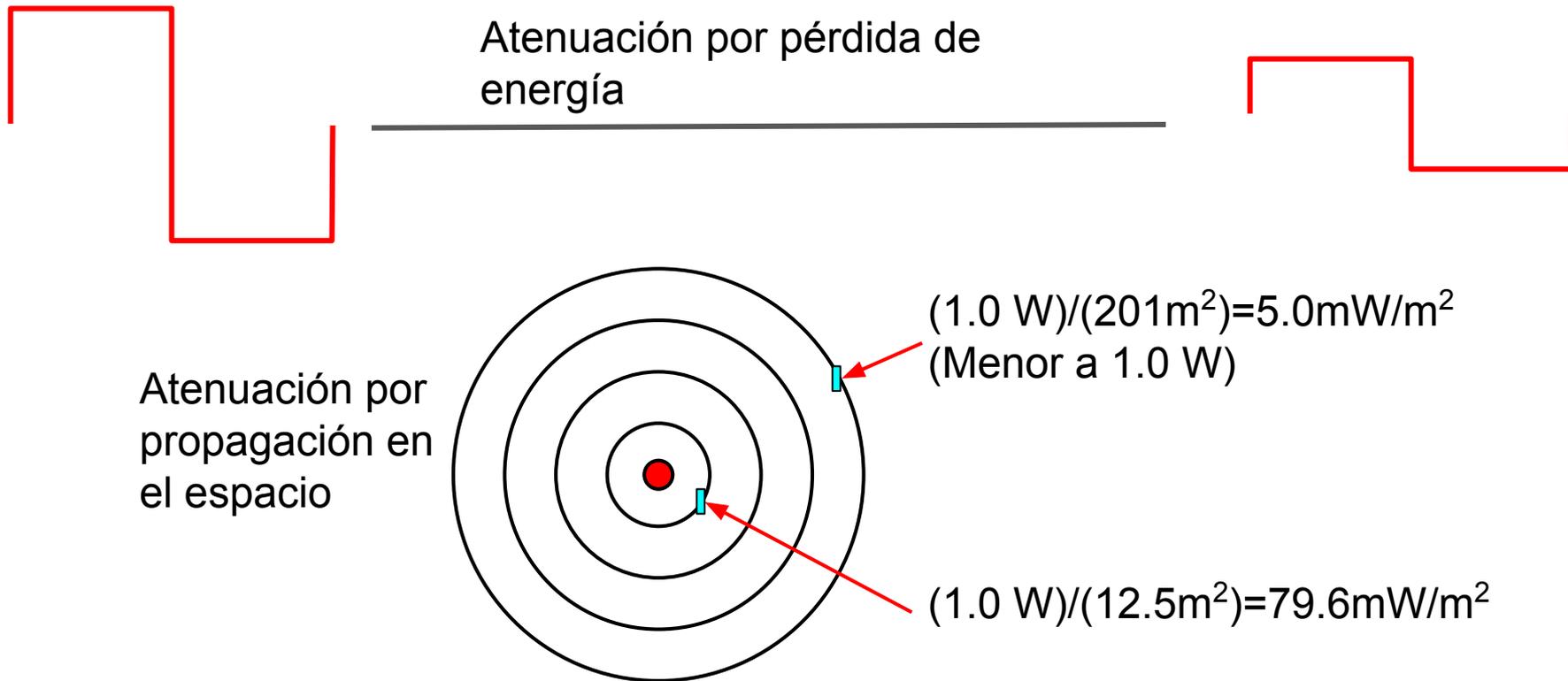


(a) Diagrama general de bloques

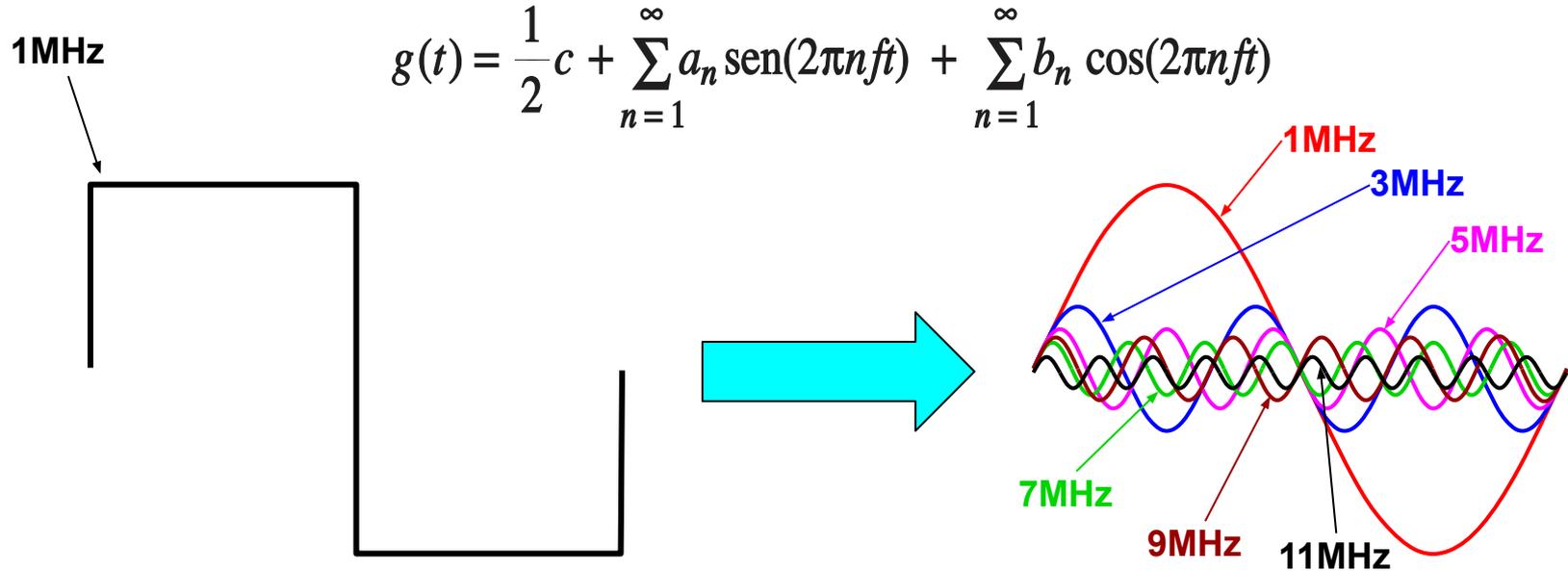




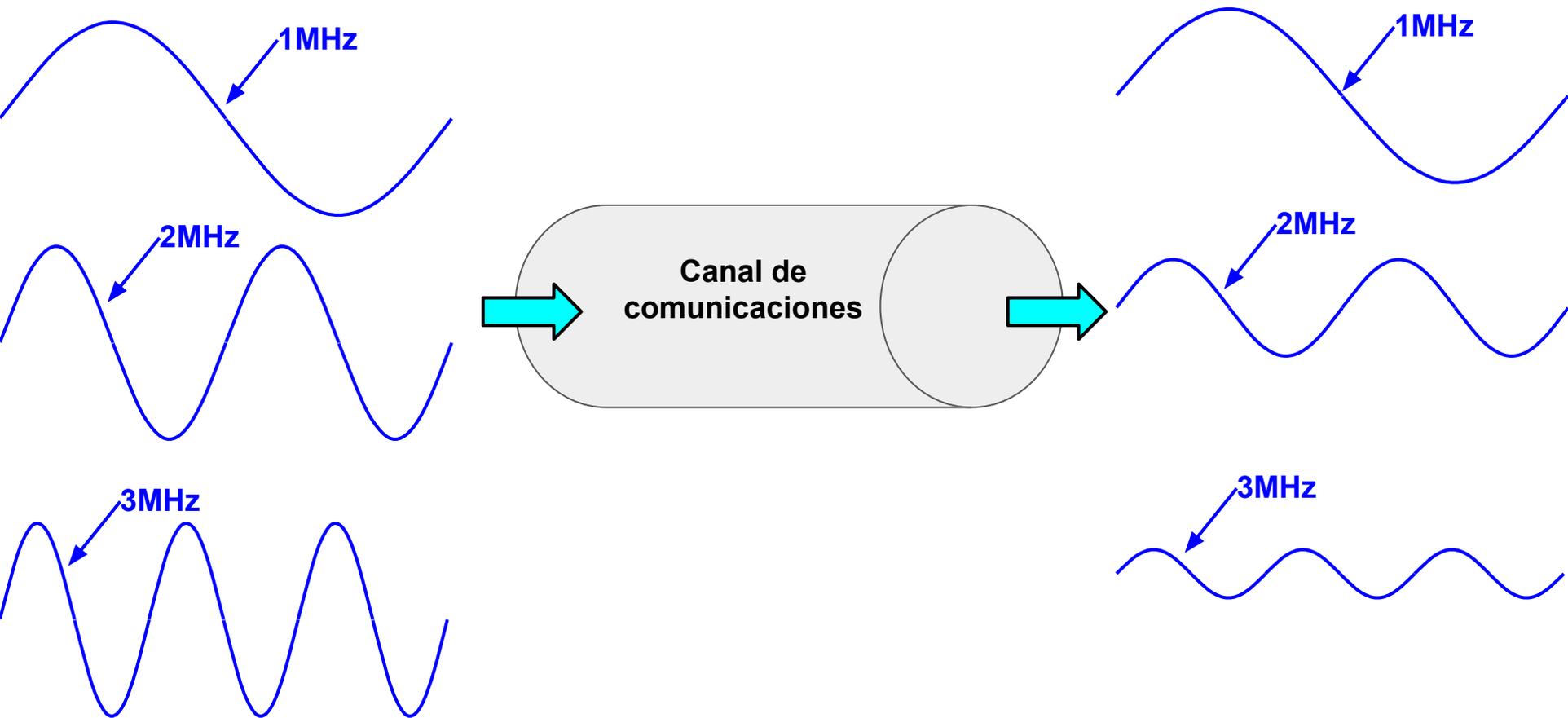
Atenuación y Distorsión por atenuación: Análisis de Fourier

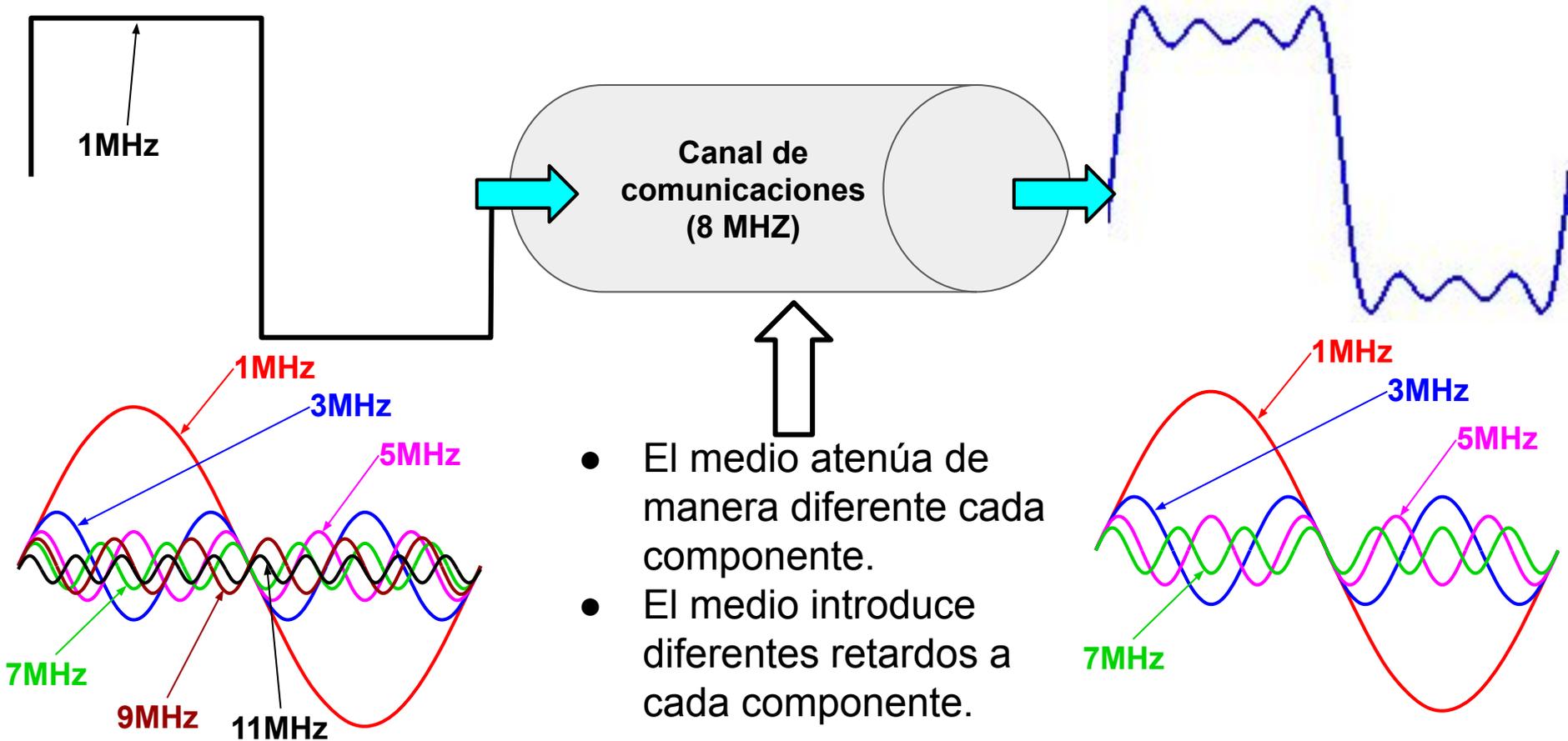


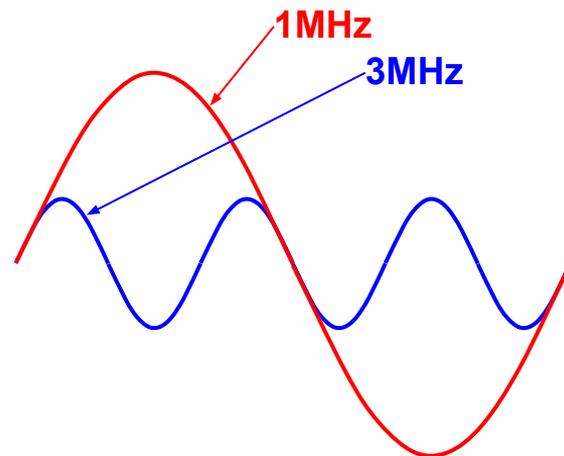
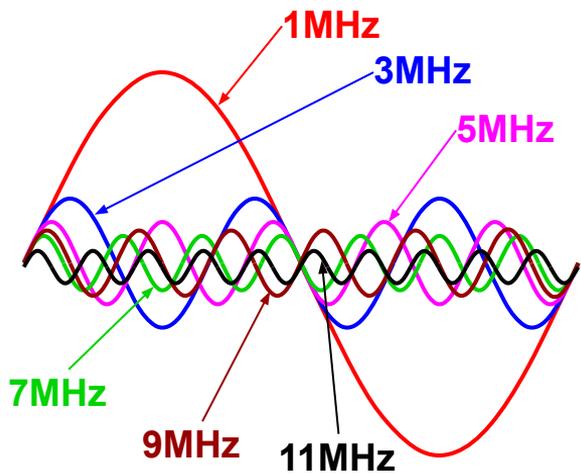
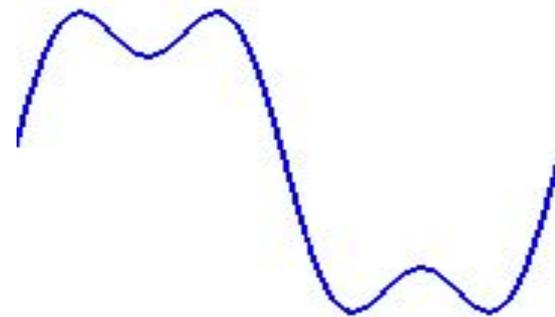
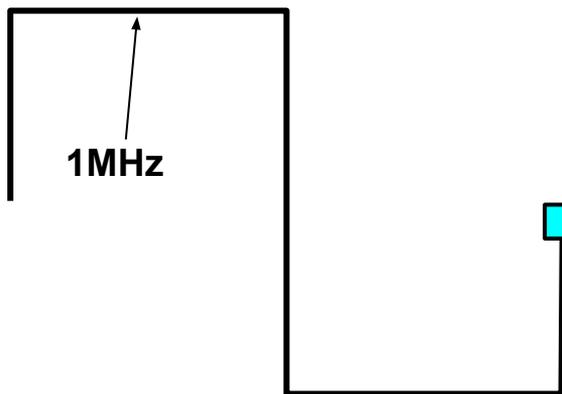
Atenuación, Distorsión por atenuación y por retardo: Análisis de Fourier



La señal está formada por la suma de infinitas componentes senoidales de diferentes frecuencias. Pero todos los canales tienen un límite máximo de frecuencia que pueden transmitir









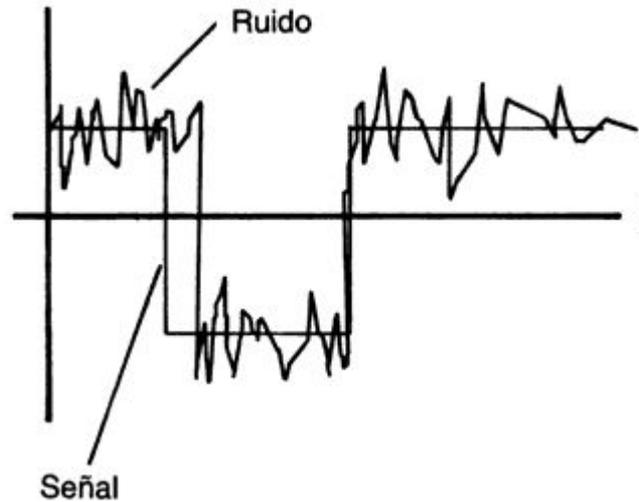
Ancho de banda - Diferentes definiciones

- Ingenieros Electrónicos: Frecuencia de la señal senoidal cuya potencia cae a la mitad.
 - Se mide en Hz (ciclos por segundo)
- Científicos de la computación: Máxima cantidad de bits por segundo que pueden transmitirse por un canal.
 - Se mide en bits/seg
 - También llamado capacidad del canal.



Ruido eléctrico

- Ruido eléctrico: Señales aleatorias que se introducen en el canal de comunicaciones, interfiriendo con la señal útil.



- Relación señal a Ruido = Potencia señal útil (S) / Potencia del Ruido (N).



Datos

transmitidos:

1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 1

Señal:



Ruido:



Señal más
ruido:



Instantes

de muestreo:



Datos recibidos:

1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1 1



Ruido eléctrico

- ¿De qué depende el nivel del **ruido**?
 - **Naturaleza del canal.**
 - El canal inalámbrico es muy ruidoso.
 - El cable coaxial es menos ruidoso.
 - La fibra óptica es muy poco ruidosa.
 - **Longitud del canal de comunicaciones.**
 - Si la longitud es mucha, se colocan amplificadores de señal
 - **Temperatura.**
 - **Ruido que el propio transmisor o receptor pueda introducir.**
 - **Otras fuentes de señales, etc.**

Teorema de Shannon

$$\text{Capacidad del canal (bps)} = \text{Ancho de banda} * \log_2 (1 + S/N)$$

↑
bits/seg

↑
(Máxima frecuencia
senoidal .Distorción)

Ejemplo:

- Ancho de banda: 1 MHz
 - S/R: 10000 (muy buena). Tasa de datos de 13 Mbps
 - S/R: 100 (mala pero aceptable). Tasa de datos de 6.7 Mbps

¿Cómo mejorar la relación S/N?, mejorando el aislamiento del canal, la tecnología del cableado, reduciendo la longitud, utilizando par trenzado, etc.

Latencia

- Tiempo que tarda un paquete desde que se transmite hasta que se recibe.
- Depende de muchos factores:
 - Características del canal
 - Dispositivos intermedios entre el transmisor y el receptor (routers, amplificadores, etc.).
 - Nivel de ocupación del canal¹.
- En cuanto a la latencia, dos parámetros importan:
 - La latencia de un paquete.
 - La diferencia de latencias entre diferentes paquetes.
 - Muy importante si se transmite voz o video en tiempo real.
- **La latencia no afecta al ancho de banda**

¹Se entenderá mejor cuando se vea subcapa MAC



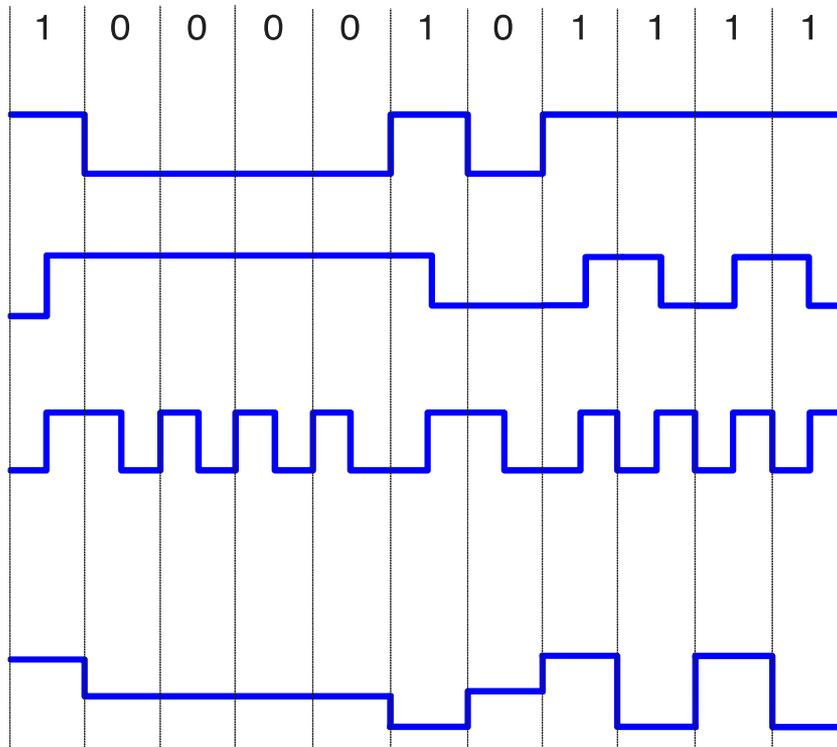
Transmisión en banda base y modulación.

- Formas de transmitir los bits:
 - Transmisión en banda base: Los unos y ceros se transmiten mediante diferentes niveles de una señal. La señal **no se adapta** al canal de comunicaciones.
 - Transmisión utilizando modulación: Se utiliza una señal que puede propagarse por el canal de comunicaciones. Los unos y ceros se transmiten sobre esta señal (algún parámetro de la señal de “modifica” según los bits a transmitir).
- Los bits pueden transmitirse en banda base, o la señal en banda base puede utilizarse para modular otra señal.



Transmisión en banda base: Esquemas de codificación

(a) Flujo de bits



(b) No retorno a cero (NRZ)

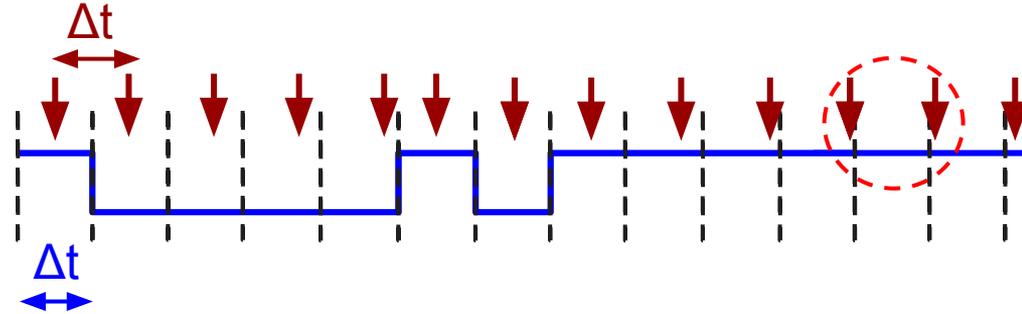
(c) NRZ invertido (NRZI)

(d) Manchester

(e) Codificación bipolar
(También inversión de marca
alternada, AMI)

Transmisión en banda base

- NRZ: 5 volts (u otro valor diferente de cero) para el 1, cero volts para el 0
 - Dificultad: Si hay muchos 0 o muchos 1, pocas transiciones, muy difícil recuperar el reloj.

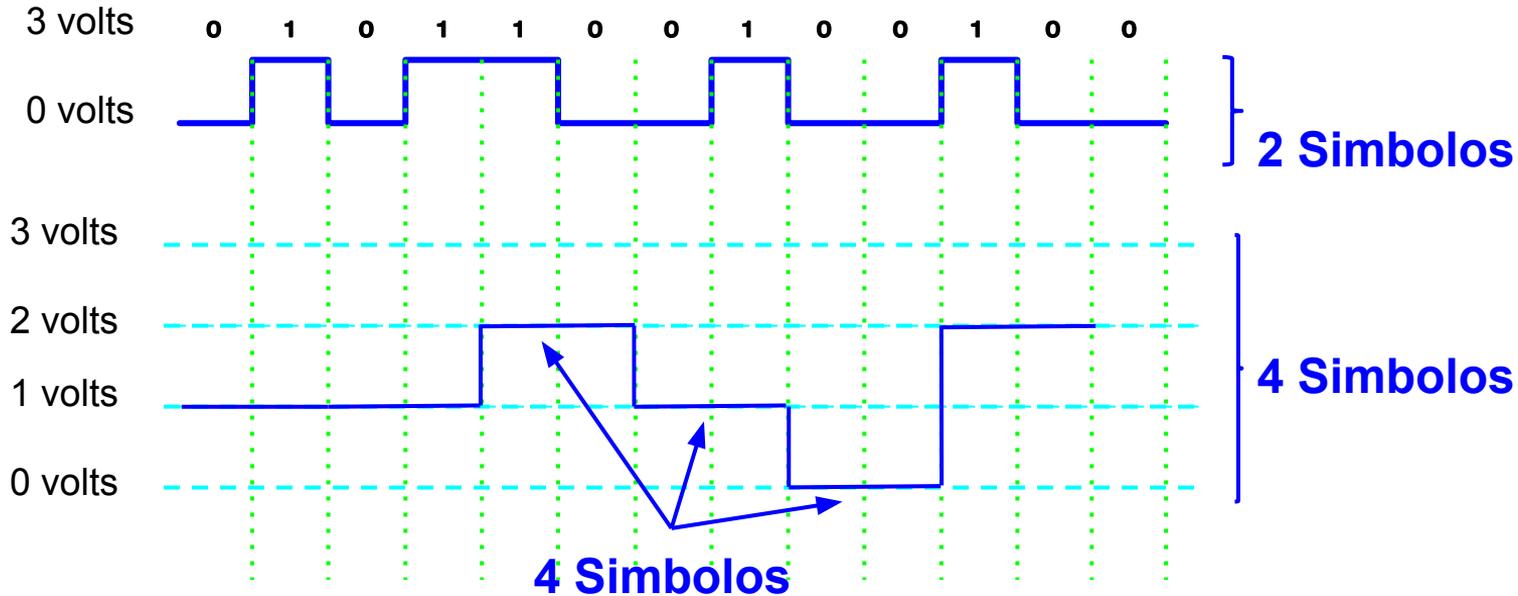


- NRZI: Para un 1 hay cambio a mitad del periodo, para un 0 no hay cambio.
 - Dificultad: difícil recuperar el reloj si hay muchos ceros.
 - Usada por USB.
- Manchester: Siempre hay transición a mitad del bit. Si es un uno, la transición es ascendente, si es un cero, es descendente.
 - Usada por Ethernet.
- Codificación bipolar: +5 volts o -5 volts para un 1, 0 volts para un 0.



Simbolo: Cada valor que puede tomar la señal portadora

- Puede transmitirse más de un bits por cada símbolo

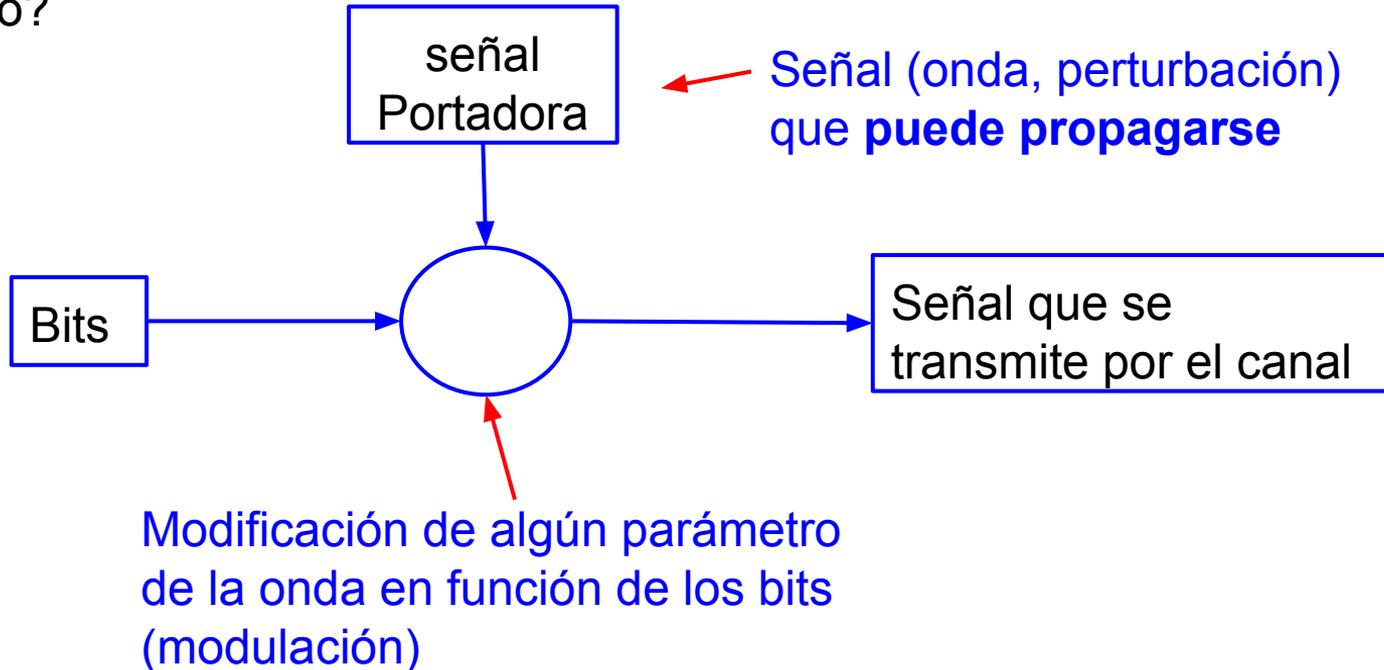


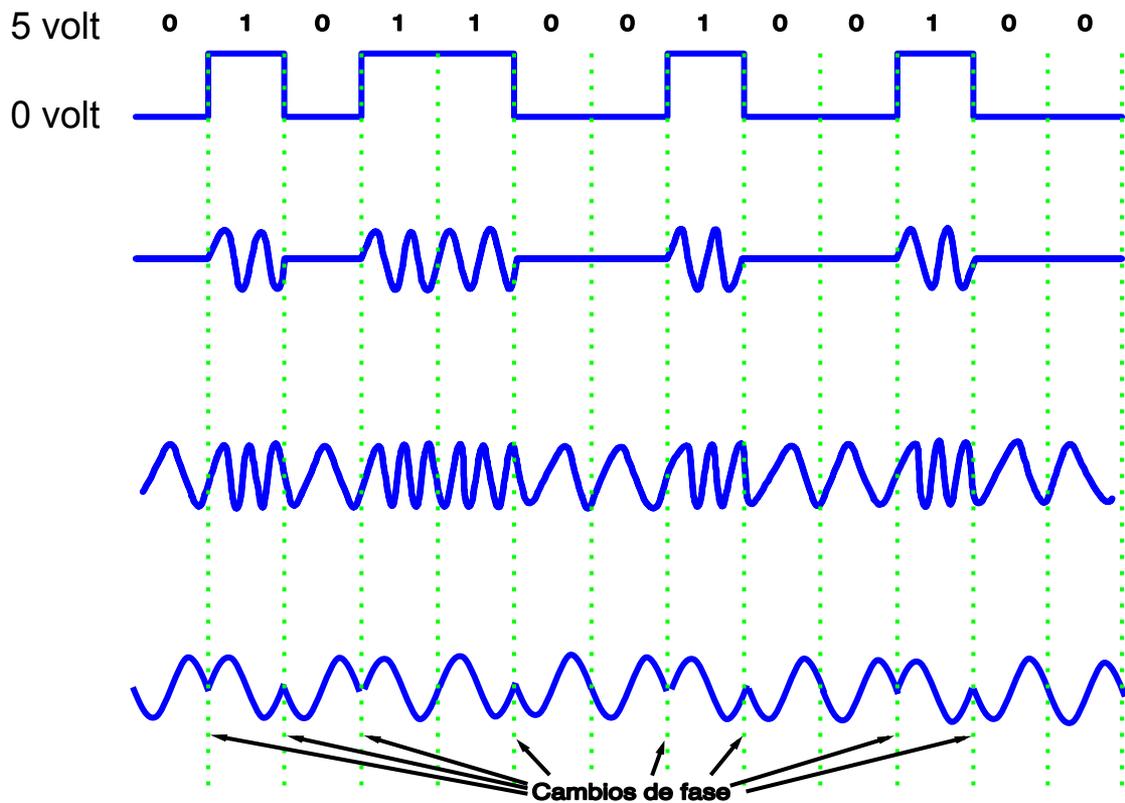
Ventajas y desventaja de transmitir más de un bit por símbolo

- **Ventaja: Menos cambios en la señal a propagar (el número de cambios por segundo tiene un límite que depende de la naturaleza del canal).**
- **Desventaja: Mientras mayor número de símbolos, mayor probabilidad de confundir uno con otro (es más fácil confundir 3 volts con 2 volts, que 3 volts con 0 volts).**

Capa Física: modulación

- ¿Cómo se transmite la información digital (unos y ceros) a través del canal físico?





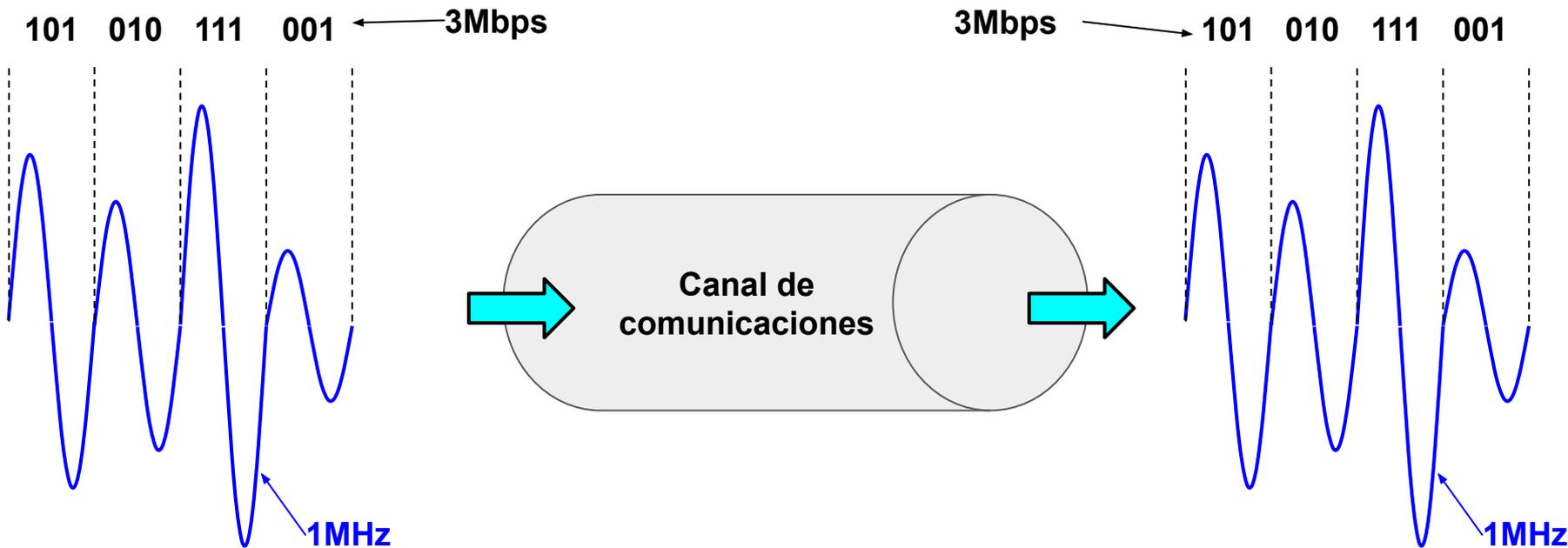
Algunas técnicas de modulación de frecuencia. Muy utilizado en redes inalámbricas.

Modulación Amplitud

Modulación Frecuencia

Modulación Fase 2PSK

Ejemplo: Modulación en amplitud



Sistemas actuales

Transmiten varios bits por símbolo, con modificaciones de amplitud y fase combinadas.

Ejemplos:

- QAM (Quadrature Amplitude Modulation): Se modifica tanto la amplitud como la fase de la señal a transmitir.
- OFDM: (Orthogonal Frequency Division Multiplexing): Se transmiten muchas portadoras. El flujo de bits se divide en esas portadoras.

IEEE 802.11ax utiliza 1024 símbolos diferentes (32 bits por símbolo), con diferentes fases y amplitudes cada uno.



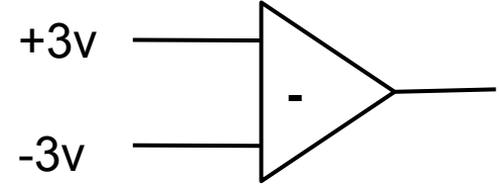
Medios de transmisión

- **Guiados:** La señal se confinan a lo largo de un canal físico.
 - Par trenzado.
 - Cable coaxial.
 - Fibra óptica.
- **Medios no guiados (inalámbrico):**
 - Wifi.
 - Transmisiones satelitales.



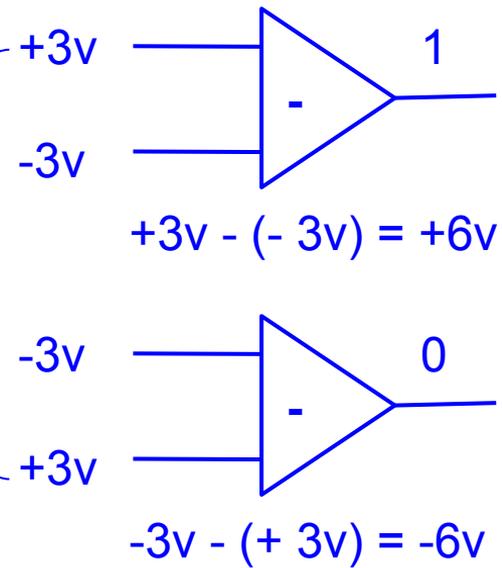
Medios de transmisión: Par trenzado

- Dos cables de cobre aislados y trenzados.
- La información se transmite como **diferencia de tensiones**.
- ¿Por qué trenzados?
 - Cada cable es una antena que transmite datos, al trenzarse, se cancelan (lo mejor posible) las transmisiones.
 - Cuando se colocan varios pares trenzados en un mismo cable, se minimiza la interferencia.
 - El ruido eléctrico que se induce en ambos es casi el mismo. Al hacer la diferencia, el ruido tiende a cancelarse.
- Usos actuales:
 - Sistema telefónico.
 - ADSL.



Medios de transmisión: Par trenzado

Par trenzado



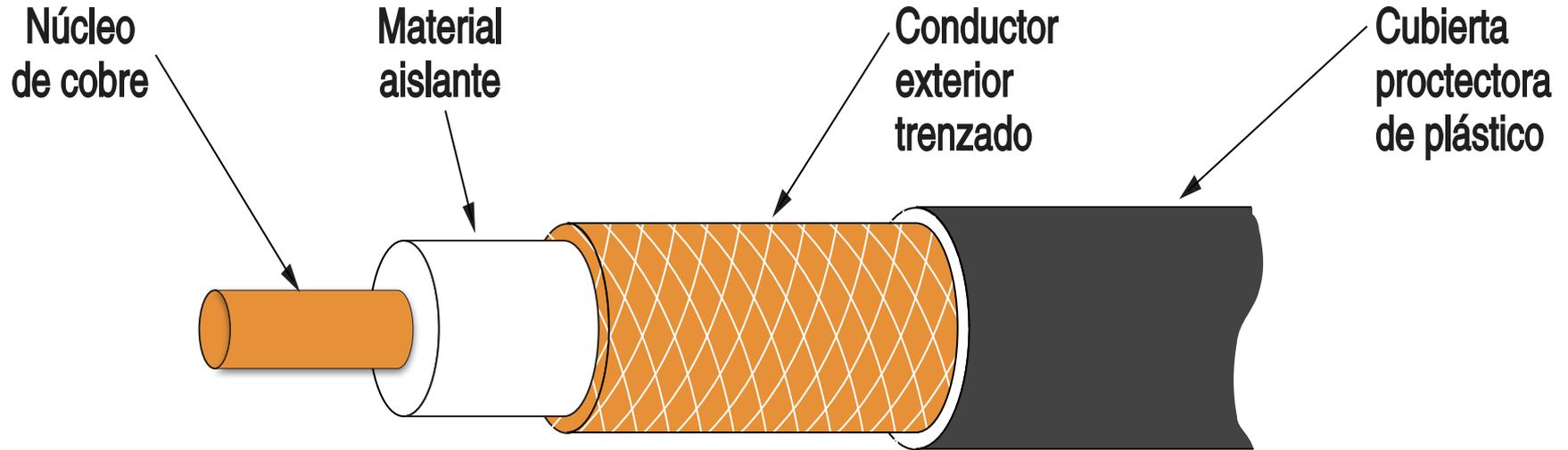


Medios de transmisión: Par trenzado

- Se clasifican en **categorias**.
 - Mientras mayor categoría, mejor el cable.
 - La diferencia está en:
 - El **número de “trenzas”** (vueltas).
 - **Calidad del aislante**, etc.
 - Presencia o no de **blindaje** y calidad del mismo.
 - Cat 1 a Cat 6 no poseen blindaje. Se conocen como cables **UTP (Unshielded Twisted Pair)**.
 - Cat 7 posee blindaje cada par y además el cable completo.
- Ejemplos:
 - Ethernet 100 Mbps utiliza dos pares (uno en cada dirección).
 - Ethernet 1 Gbps utiliza 4 pares.

Medios de transmisión: Cable coaxial

- Núcleo de cobre, recubierto con aislante, luego conductor.





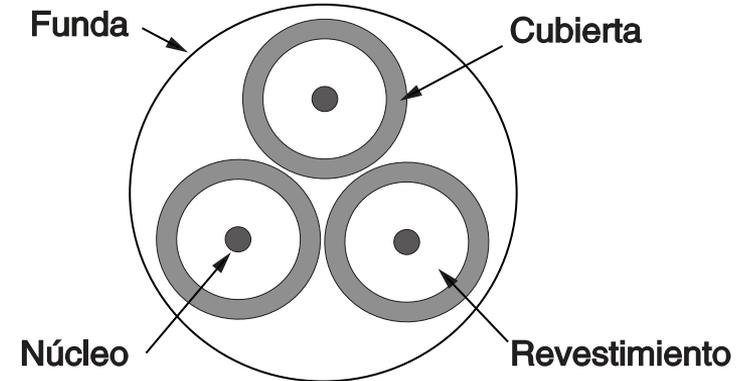
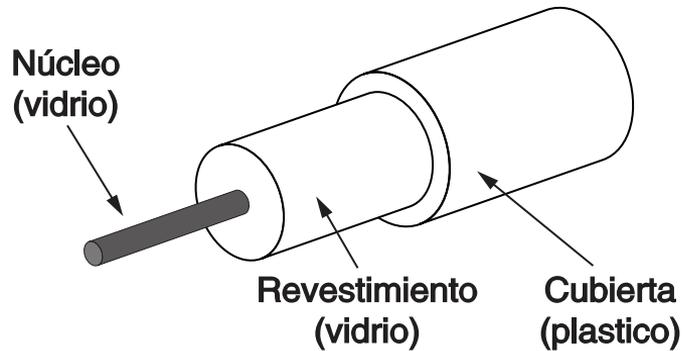
Medios de transmisión: Cable coaxial

- **Ventajas:**
 - **Mayor inmunidad al ruido (Mayor blindaje).**
 - **Mayor velocidad de datos (en bps)¹.**
 - **Mayor distancia.**
- **Desventajas:**
 - **Más costoso.**
 - **Más pesado.**
 - **Más rígido y difícil de cablear.**

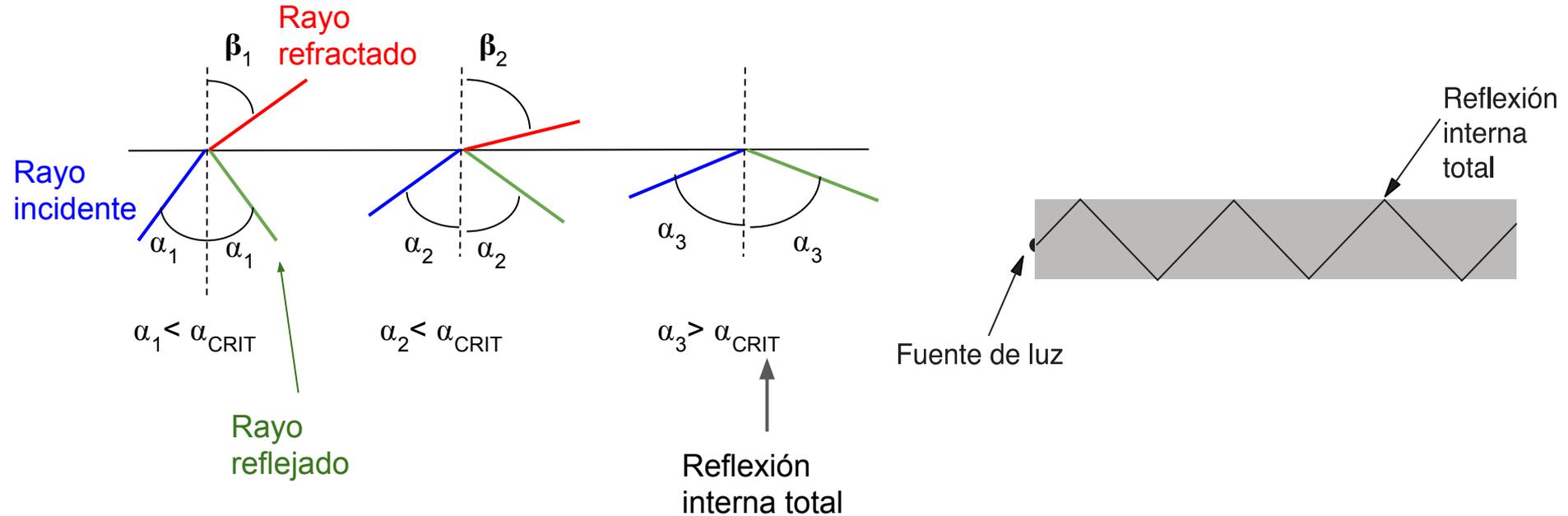
¹Teorema de Shannon: Tasa de datos = Ancho de banda * $\log_2 (1 + S/N)$

Medios de transmisión: Fibra óptica

- Fibra de vidrio que transmite señales luminosas



Medios de transmisión: Fibra óptica



Medios de transmisión: Fibra óptica

- **Ventajas:**
 - **Mucha mayor inmunidad al ruido.**
 - **Límite teórico de 50 Tbps una sola fibra¹** (el límite práctico es la **velocidad de conversión de señal eléctrica a luz**, y **viceversa** a la que los dispositivos electrónicos actuales pueden convertir).
 - **Menor costo en enlaces de gran longitud (km).**
- **Desventajas:**
 - **Necesidad de conversión de señal eléctrica - señal luminosa y viceversa.**
 - **Mayor costo en enlaces de poca longitud (red LAN).**
 - **Mayor dificultad y necesidad de cuidados en la instalación.**

¹Teorema de Shannon: Tasa de datos = Ancho de banda * $\log_2(1 + S/N)$



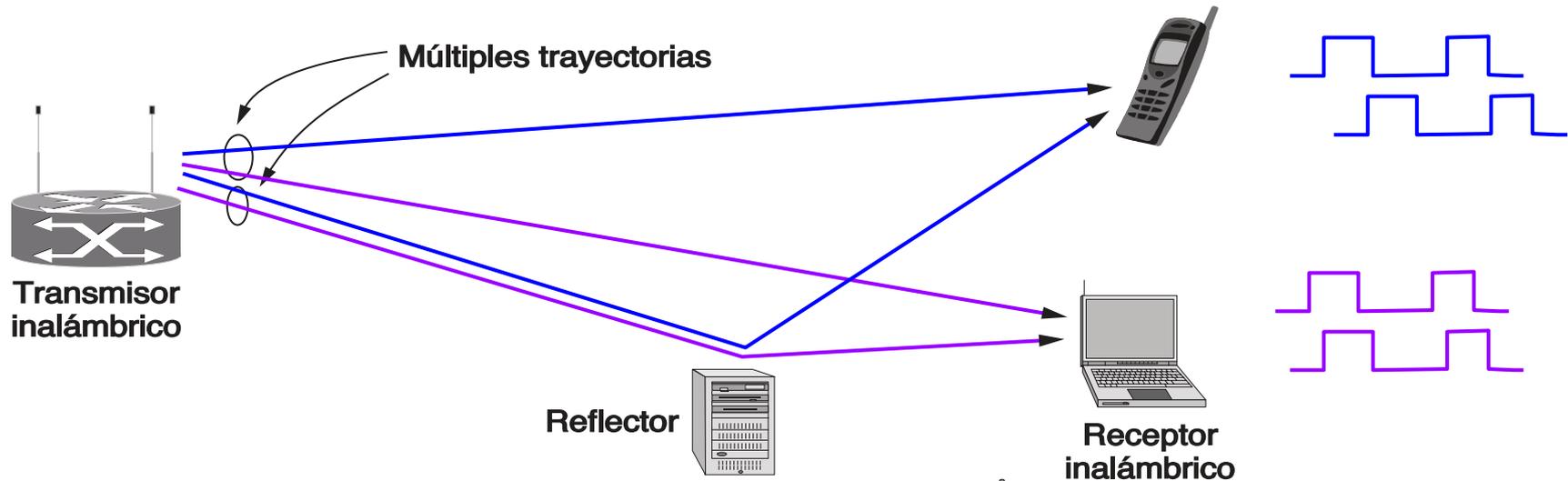
Medios de transmisión: inalámbrico

- “Sin alambres”. Ondas electromagnéticas (WiFi, ISPs que proveen Internet inalámbrico, teléfonos móviles, etc.).
- **Ventajas:**
 - **No requiere desplegar un medio físico (menor costo).**
 - **Permiten movilidad (muy deseado por los usuarios).**
- **Desventajas:**
 - **Muchas....**

Redes Inalámbricas: Dificultades

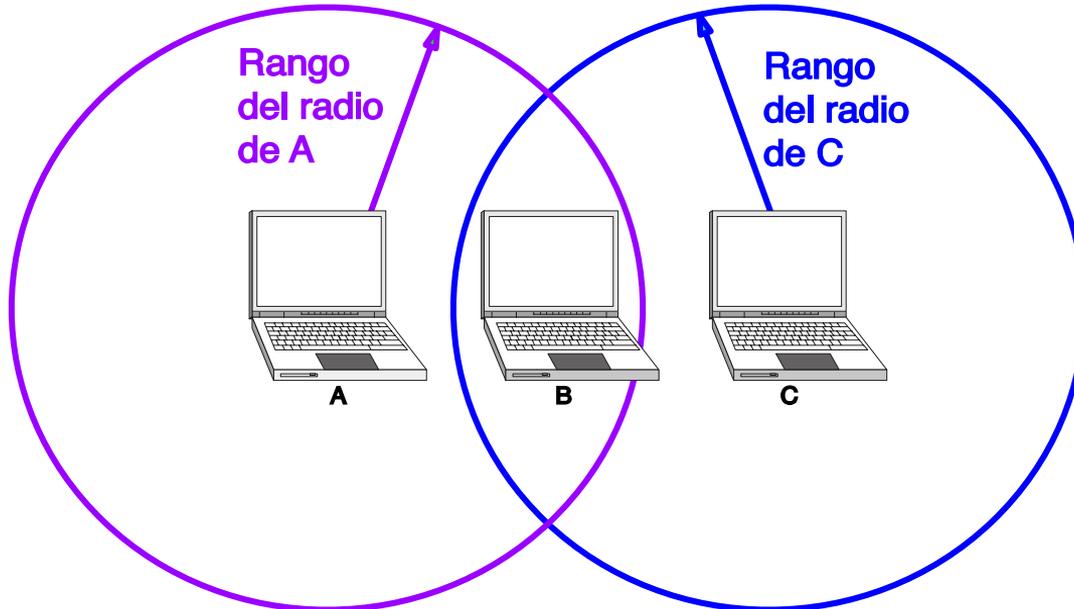
1) Multipath:

- **Ventajas:** Las señales se refuerzan
- **Desventaja:** Interferencias por diferentes longitudes de trayectos -> Limita el tiempo mínimo de un bit y por lo tanto la máxima frecuencia.



Redes Inalámbricas: Dificultades

2) Colisiones agravado por el rango limitado: En una red cableada (por ejemplo: Ethernet) todos los dispositivos se ven. **En una red Inalámbrica NO.**

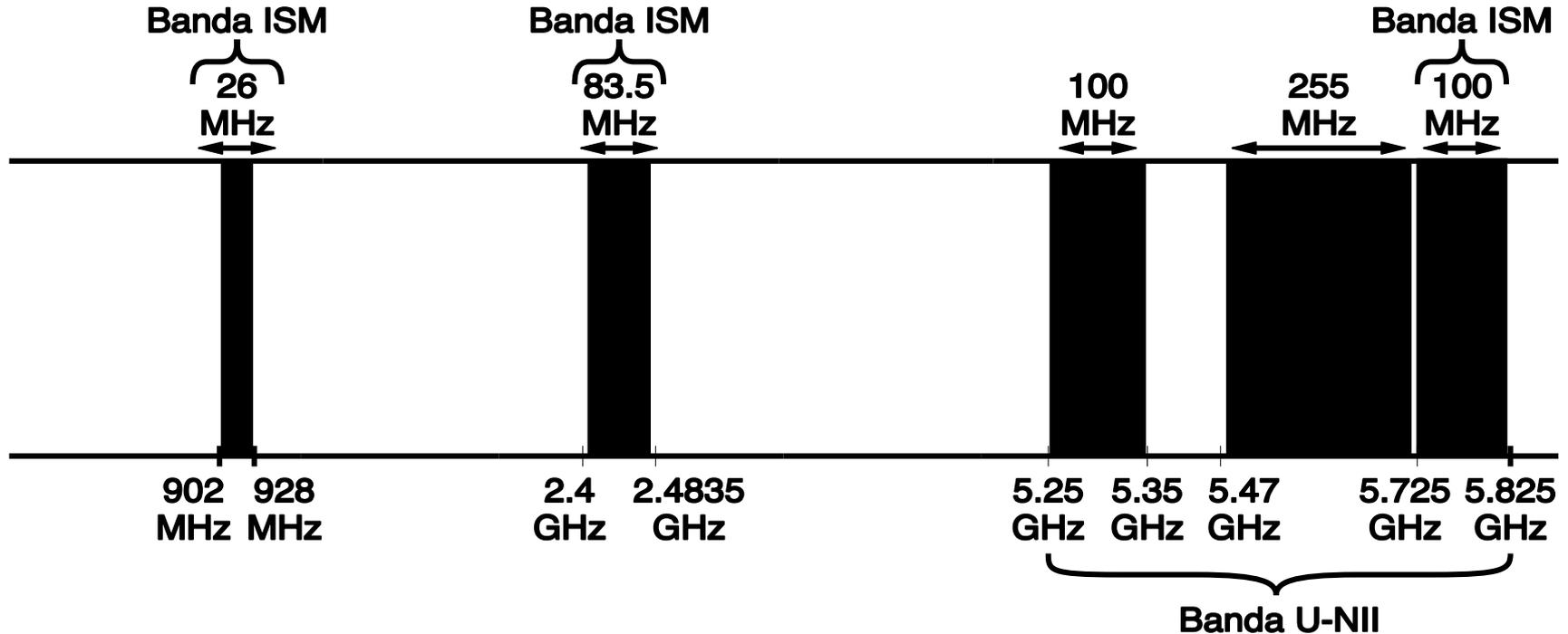


- A envía datos a B
- C no escucha a A y comienza a enviar datos a B.
- B no puede escuchar a ninguno.

Redes Inalámbricas: Dificultades

- 3) Medio común que **debe ser compartido por muchas redes**, sobre todo la banda ISM.
- 4) **Seguridad**: Todos dentro del alcance de la red pueden escuchar la señal y acceder, ver datos, etc.
- 5) **Atenuación**: La intensidad (Potencia/Área) Disminuye con $1/r^2$
- 6) Las ondas electromagnéticas son **absorbidas** por la lluvia, la humedad, obstáculos, etc. (sobre todo de alta frecuencia).
- 7) **Interferencia**: Otras fuentes de ondas electromagnéticas, motores, campos magnéticos o eléctricos variables, etc. pueden interferir y degradar la señal transmitida.
- 8) **Se requiere licencia** (que se debe pagar) para utilizar alguna frecuencia (**excepto las bandas ISM**).

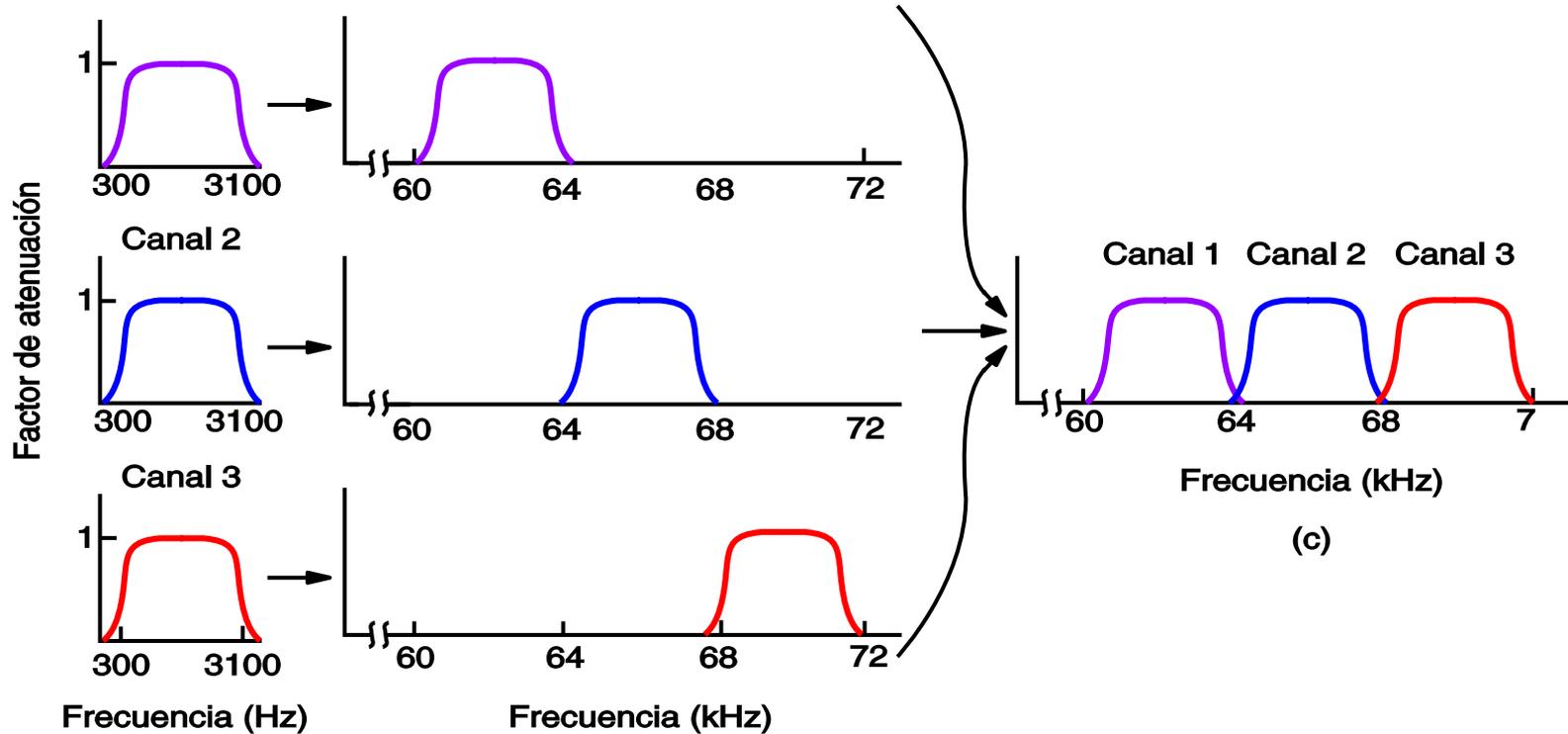
Banda ISM (Industrial, Scientific, Medical)





- **Bandas ISM:**
 - **No requiere licencia** si se cumplen ciertas normas:
 - Potencia máxima de 1 W (valores comunes: 1 mW)
- **Banda 2.4 GHz:**
 - Utilizada por 802.11 (WiFi), Bluetooth, ZigBee, hornos microondas, abridores de cocheras, teléfonos inalámbricos, etc.
 - Mucha competencia por el espectro
 - Banda de frecuencia muy saturada.
- **Banda 5 GHz:**
 - Menos ocupada que 2.4 GHz
 - Mayor velocidad (en bps)
 - Mayor frecuencia: Menor alcance, más afectada por objetos, humedad, difracción, etc.

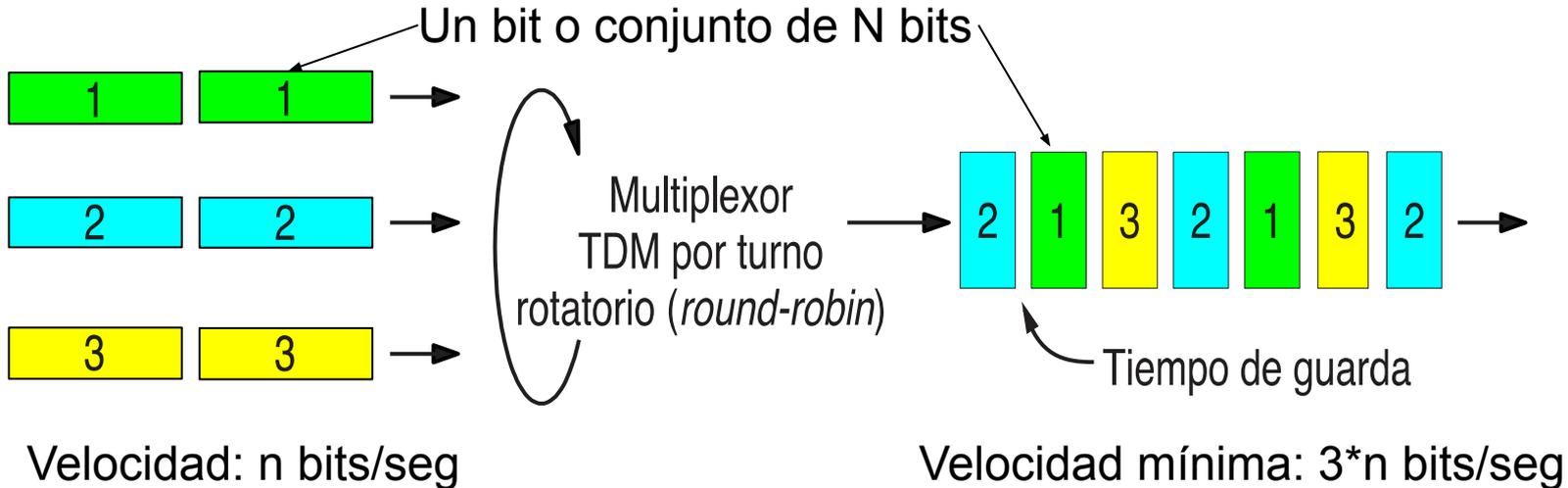
Multiplex por división de frecuencia



Multiplex

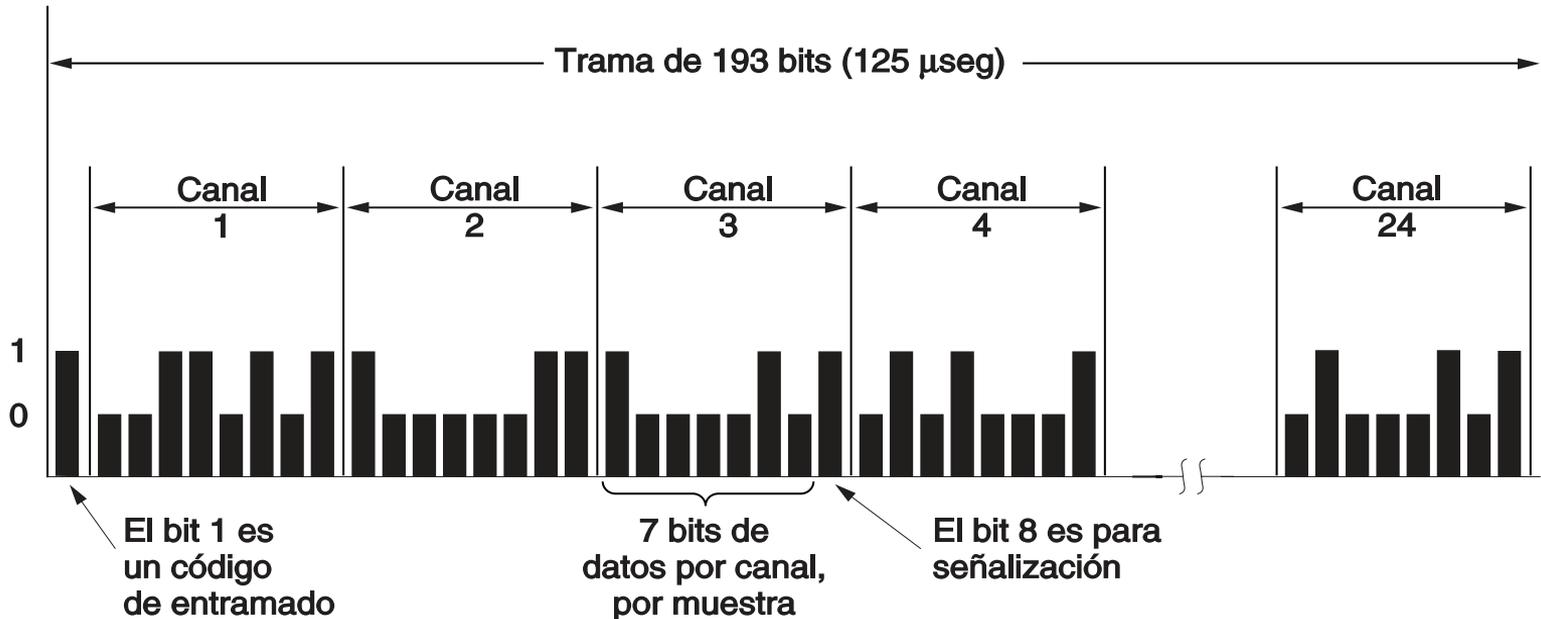
- Combinar varias señales analógicas o digitales para ser transmitidas sobre un mismo medio.

Multiplex por división de tiempo (TDM)



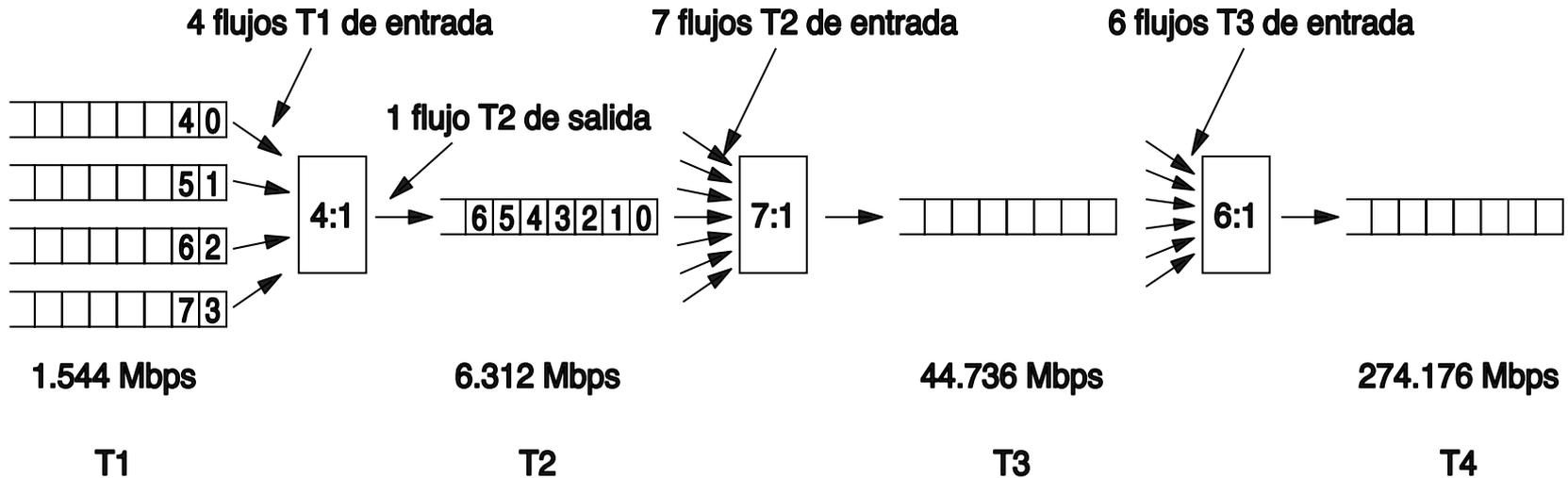
Ejemplo de TDM: portadora T1

- Multiplex de bytes



Ejemplo de TDM: portadora T1

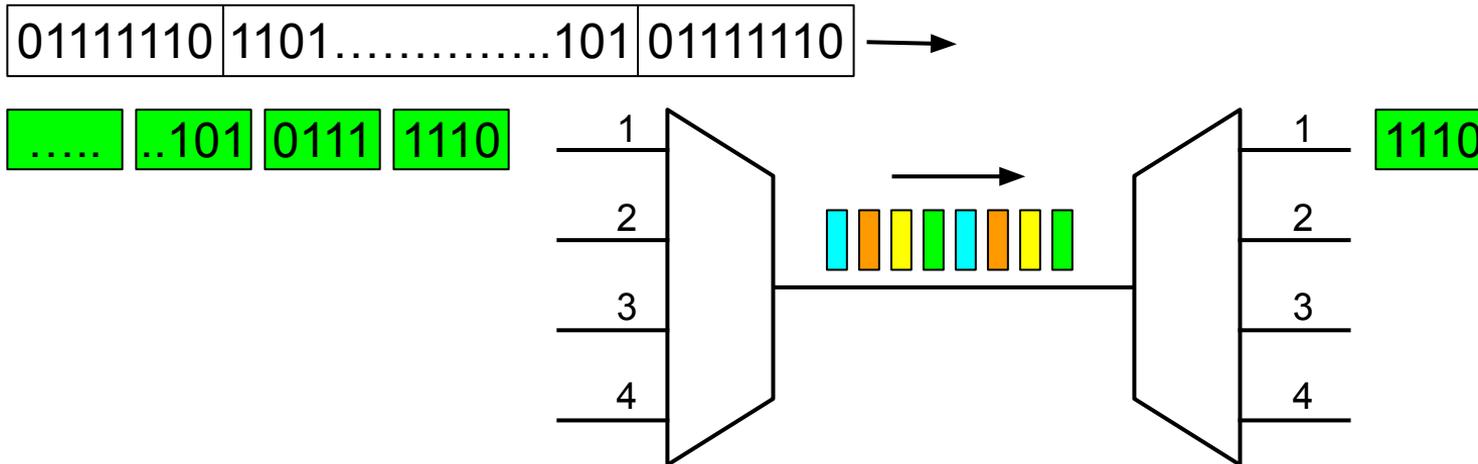
- Tramas multiplexadas mediante TDM pueden volver a multiplexarse



Otros tipos de multiplex

- Multiplex por división de longitud de onda (WDM: Wavelength Division Multiplexing).
- Acceso múltiple por división de código (CDMA: Code Division Multiple Access).
- Pueden utilizarse combinaciones (Ejemplo: Internet por cable de TV).

Ejemplo: Trama HDLC sobre TDM





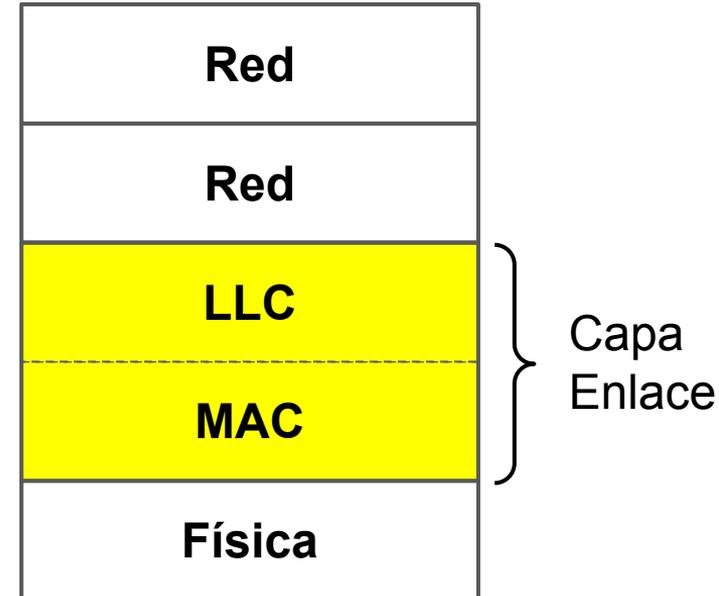
Temario

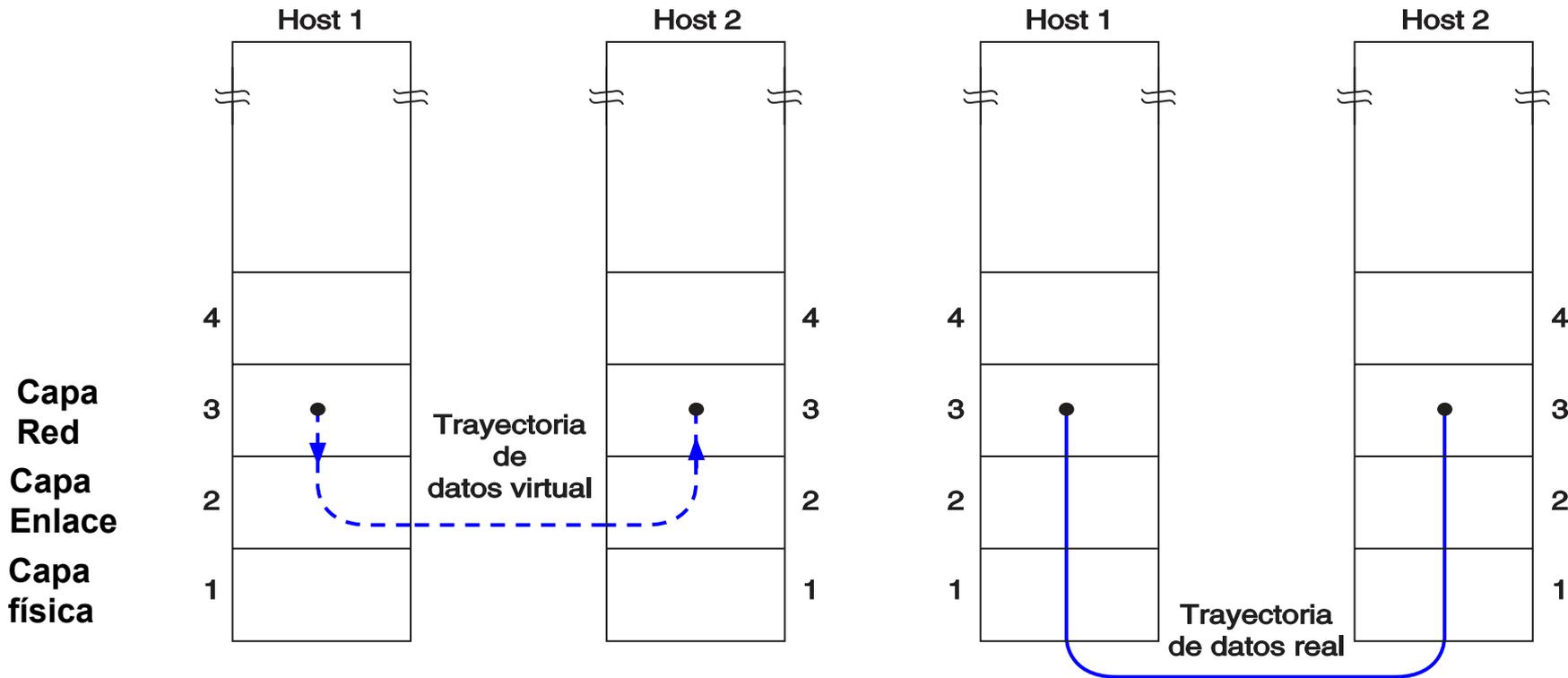
- Capa Física.
- ● Capa enlace
 - **Servicios.**
 - **Entramado.**
 - **Códigos de control y corrección de errores**
 - **Mensajes de retroalimentación**
 - **Control de Flujo. Parada y espera. Ventanas deslizantes.**
- La subcapa MAC
- Ejemplos de redes WAN
- Ejemplos de redes LAN

Capa de Enlace

Servicios:

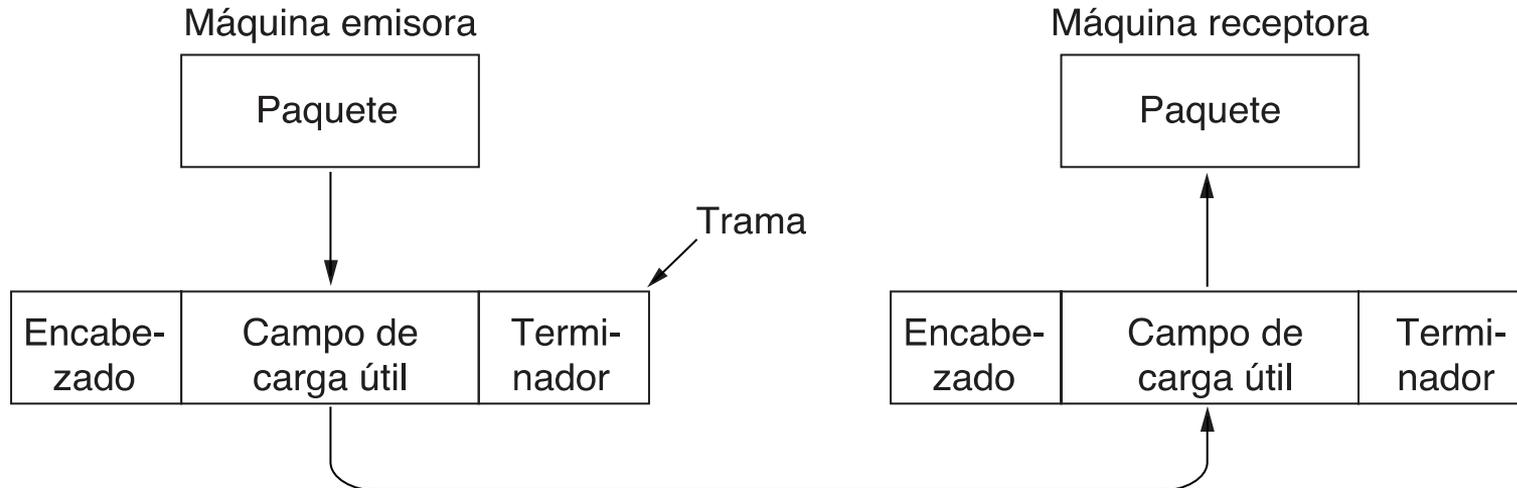
- Subcapa LLC (Logical Link Control) Envío de **paquetes de bits (tramas)** entre dos **máquinas adyacentes**, con diferentes tipos de servicios:
 - Confiable con conexión (Canales muy ruidosos).
 - Confiable sin conexión (Canales ruidosos).
 - No confiable sin conexión (Canales con muy poco ruido. Ethernet).
- Subcapa MAC: **Control de acceso al medio** y **direccionamiento** en redes por difusión.





Problemas a resolver en la capa de enlace:

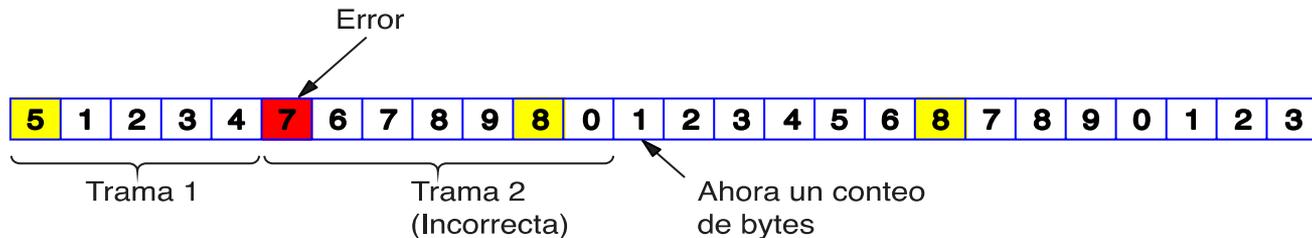
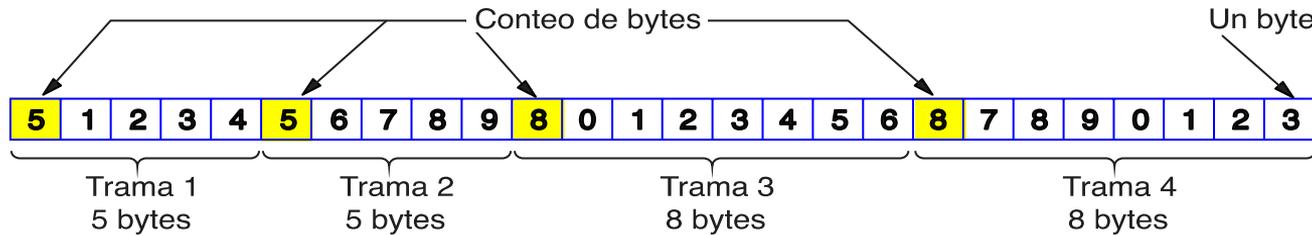
- **Entramado**. Trama: unidad básica de datos de trabajo de la capa de enlace (necesario para detectar errores).
- **Detectar y/o corregir errores** en la comunicación entre máquinas adyacentes.
- **Control de flujo** entre máquinas adyacentes.
- Controlar el **acceso al medio** (*lo veremos en la siguiente unidad*)



Entramado: Métodos para delimitación de tramas

- Campo con información de longitud de la trama.
- Bytes banderas.

Delimitación de tramas con información de longitud de trama



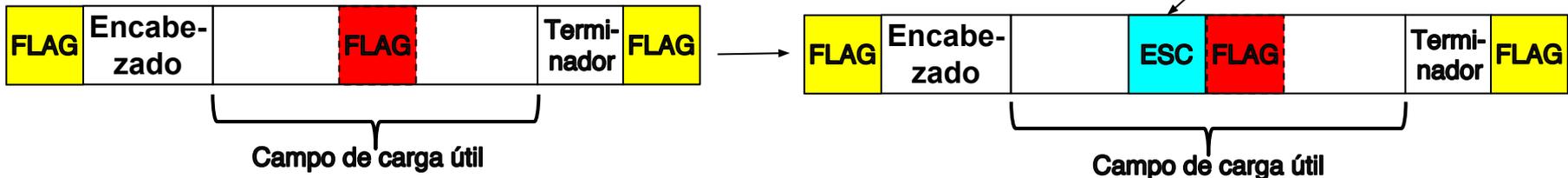


Delimitación de tramas con bytes bandera (o delimitador de trama)



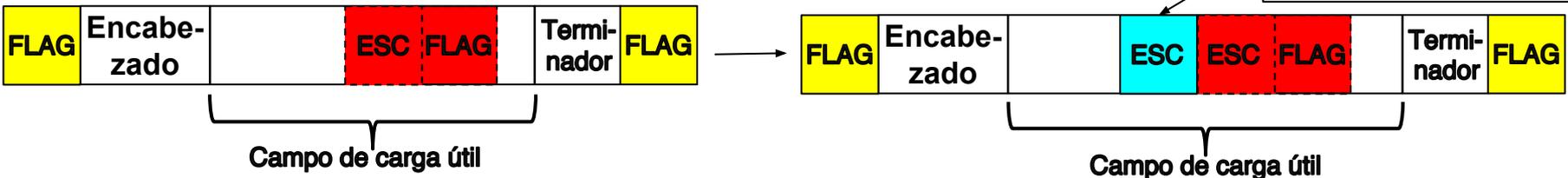
¿Qué ocurre si un byte de datos coincide con el byte de bandera?

Agregado. El receptor debe eliminarlo



¿Qué ocurre si en los datos aparece el ESC y los bytes de bandera?

Agregado. El receptor debe eliminarlo



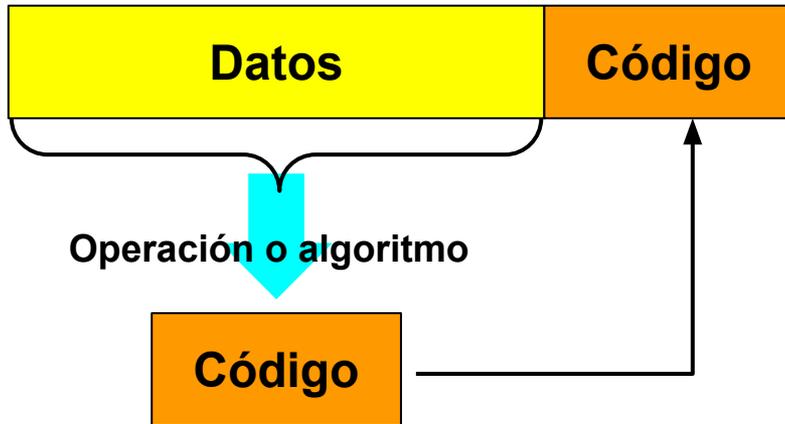
Control de errores

- Errores:
 - **Aislados** (error en un bit). Usualmente causados por ruido.
 - **Ráfaga** (N bits con errores en un bloque de $M \Rightarrow N$ bits). Usualmente causados por interferencias o desvanecimiento.
- Detección de errores
 - Agregar **información redundante**.
- Corrección de errores
 - Códigos de corrección de errores: agregar **más información redundante** que para detectar errores.
 - **Mensajes de retroalimentación** del receptor al transmisor y reenvío de mensajes con errores.

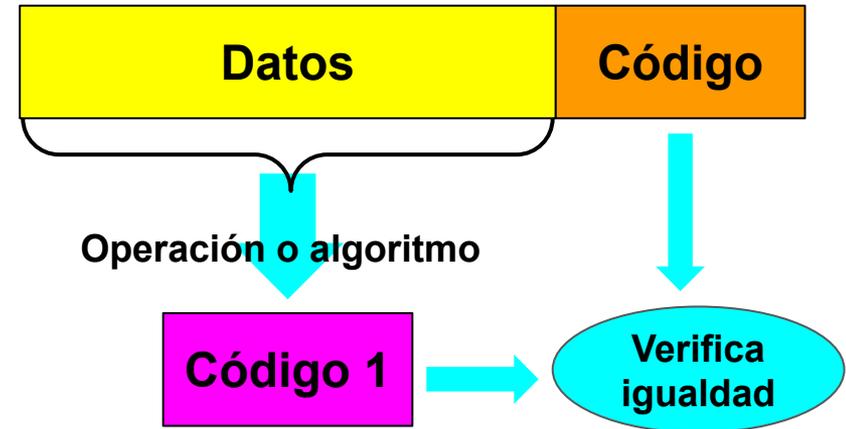
Códigos de detección de errores

- Se toman grupos de bits y se aplica un algoritmo sobre ellos, obteniendo un **código de verificación** (información redundante).
- El código se agrega al paquete de datos (en el encabezado o terminador).
- Emisor y receptor aplican la misma operación sobre los datos y verifican que el resultado coincida.

Emisor



Receptor





Códigos de detección de errores más importantes

- Paridad
- Códigos 4B/5B y similares
- Sumas de verificación
- Redundancia cíclica
- Basados en algoritmos HASH

Códigos de Paridad

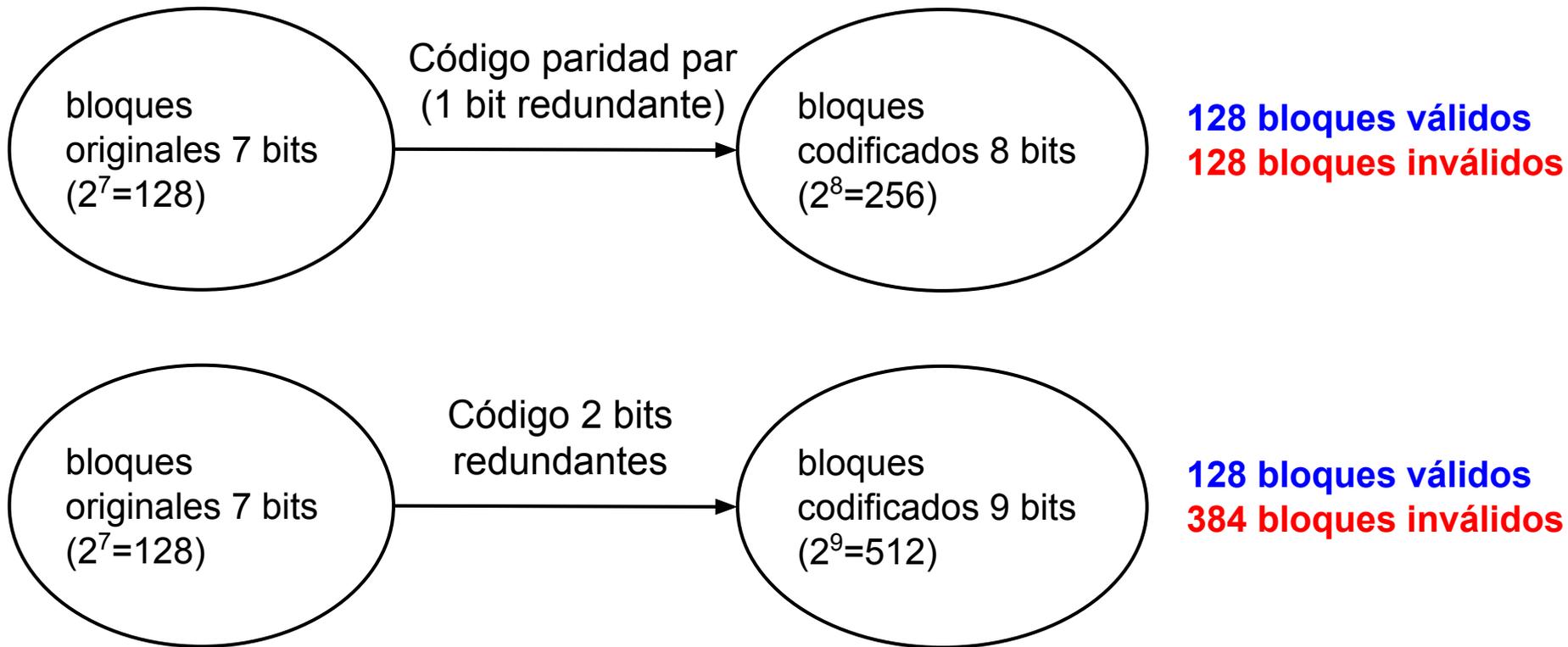
- Se **agrega un bit** a cada trama de manera que el número de **1s** sea par (o impar).
 - Paridad par: a la secuencia 10011010 se le agrega un 0, quedando 10011010**0**.
 - Paridad par: a la secuencia 10001010 se le agrega un 1, quedando 10001010**1**.
 - Un ruido podría producir: 10**1**01010**1**.
- **Problema: Si cambian dos bits, el error puede no ser detectado:**
 - 10001010**1**: 1**1**000**0**10**1** (La secuencia correcta y la secuencia con errores tienen ambas un número par de unos).

Potencia en los códigos de detección de errores

- Un código de detección de errores será más potente mientras:
 - **Más bits redundantes**: mayor número de secuencias inválidas (*ver filmina siguiente*).
 - **Mayor número de bits tengan que cambiar para que la secuencia resultante sea válida (distancia de Hamming)**.
 - Problema matemático difícil de resolver.
 - **Mientras más bits redundantes, menor velocidad de datos útiles.**
- Solución: profundos estudios matemáticos para la elaboración de estos códigos.

Existen algoritmos desarrollados por matemáticos que permiten mayor potencia de detección de errores sin necesidad de agregar muchos bits.

Códigos de detección de errores



Códigos de corrección de errores

- Se agrega información redundante que permite detectar y corregir errores.
 - Fundamento: ante un error, puede detectarse la secuencia correcta más cercana.
- Consideraciones de diseño de códigos de detección de errores:
 - **Mientras más bits redundantes, mayor posibilidad de corregir el error.**
 - **Mientras más bits redundantes, menor velocidad de datos útiles**
 - Solución: profundos estudios matemáticos para la elaboración de estos códigos.

Códigos de corrección de errores más importantes

- Códigos de Hamming.
- Códigos convolucionales binarios.
- Códigos de Reed-Solomon.
- Códigos de verificación de paridad de baja densidad.



Códigos de corrección de errores

Ejemplo código 2B/5B

00	00000
01	00111
10	11001
11	11110

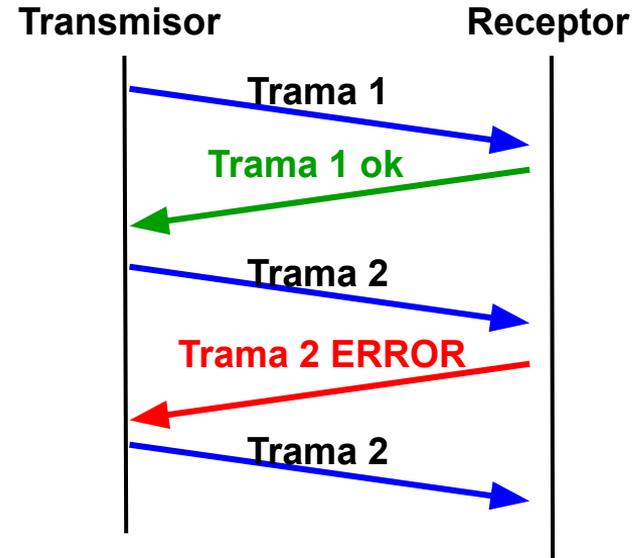
01001010111

0011100000110010011111110

- Si llega 00001, no pertenece a las secuencias válidas. Hay un error.
- 00001 está más cerca de 00000.

Mensajes de retroalimentación del receptor al transmisor

- Propósito: detección y corrección de errores y control de flujo.
- El receptor envía al transmisor mensajes indicando:
 - La **correcta** recepción de un mensaje: **retroalimentación positiva (ACK)**.
 - La **incorrecta** recepción de un mensaje: **retroalimentación negativa (NACK)**.
- Si llega un **NACK** al emisor, o nunca llega **ACK**, el transmisor puede reenviar la trama.
- No son suficientes, se necesitan:
 - **Números de secuencia**
 - **Temporizadores**

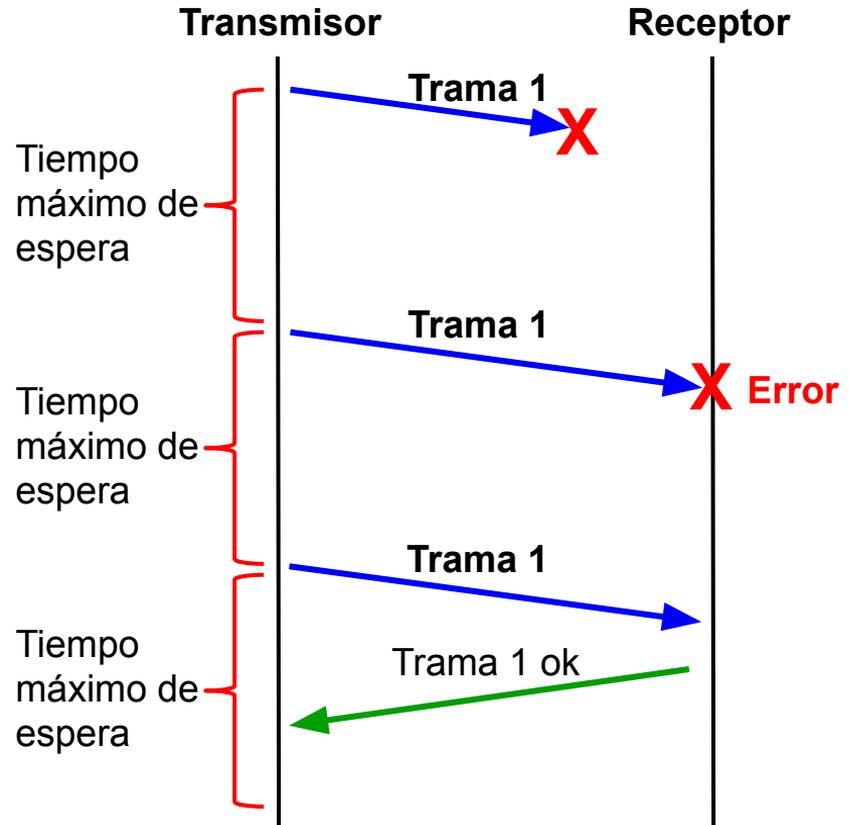


Funcionamiento con mensajes Ack y Nack

Mensajes de retroalimentación del receptor al transmisor

¿Por qué se requiere un **temporizador**?:

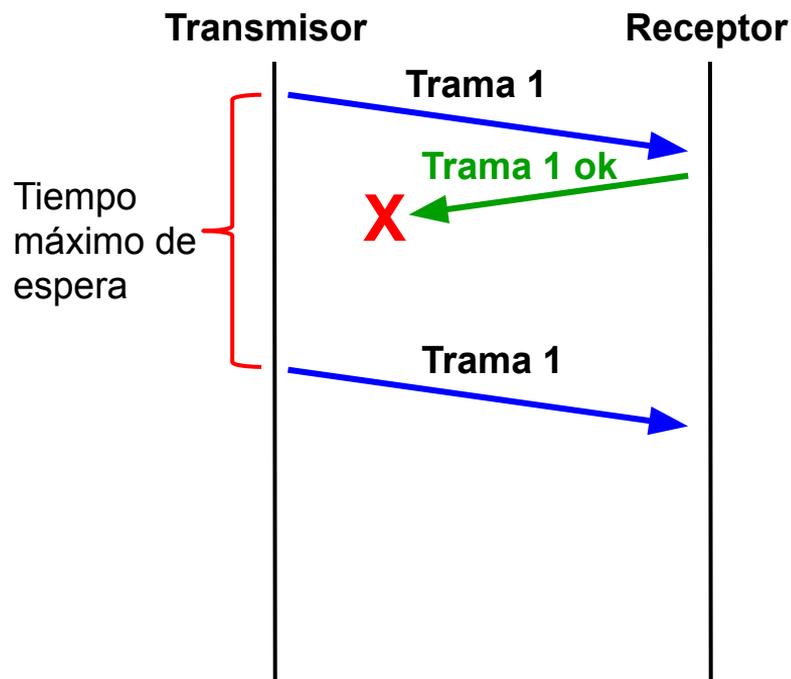
- La trama nunca llegó al receptor, o llega pero el receptor detecta errores.
- El receptor **no genera** no **ACK**.
- Un **Temporizadores en el emisor** se vence sin que haya llegado el Ack. Se reenvía la trama.



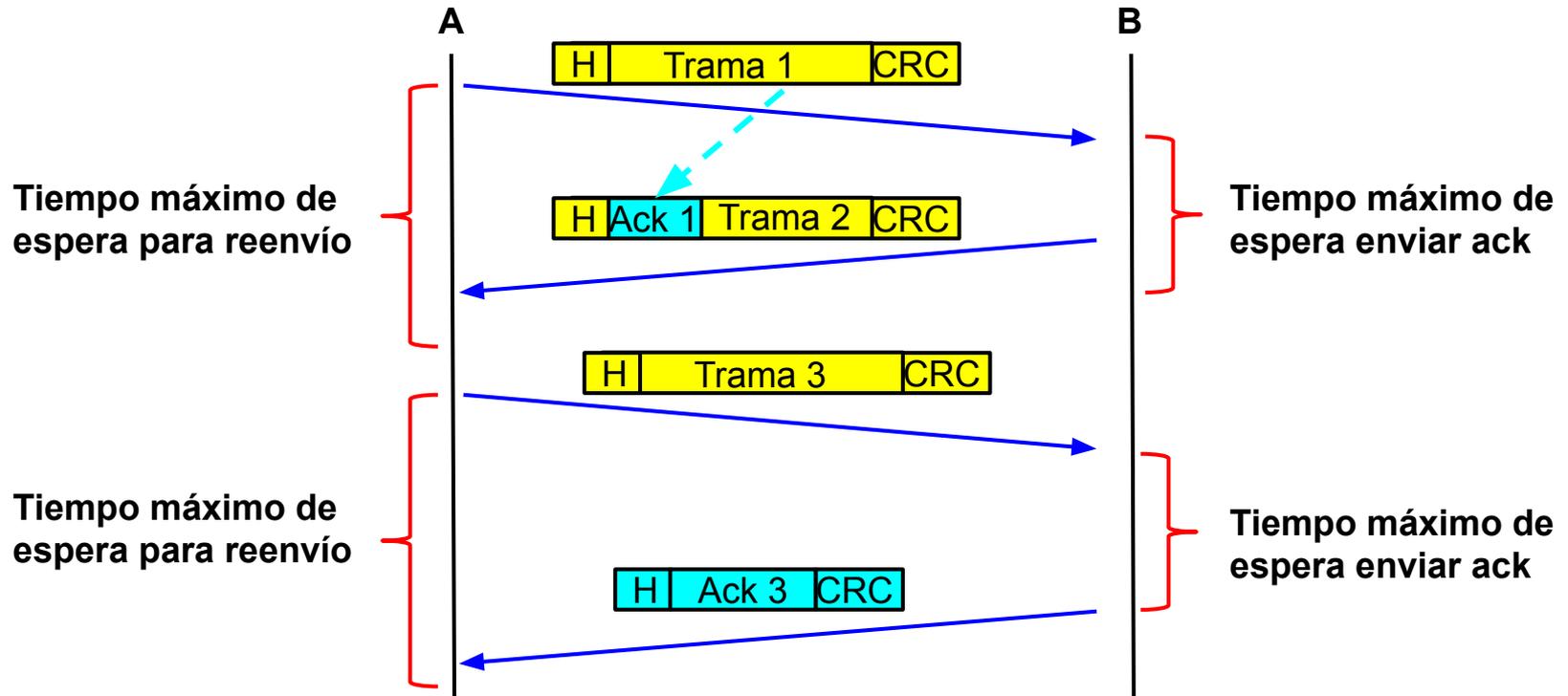
Mensajes de retroalimentación del receptor al transmisor

¿Por qué se requiere un **número de secuencia**?:

- **Si se pierde el ACK.**
 - El transmisor puede re-enviar una trama que había llegado bien, y el **receptor podría interpretarlo como una trama diferente.**
 - **Solución: Números de secuencia.** Si el receptor recibe dos tramas con el mismo número de secuencia, sabrá que es la misma trama.



Mensajes de retroalimentación con superposición





Mensajes de retroalimentación con superposición

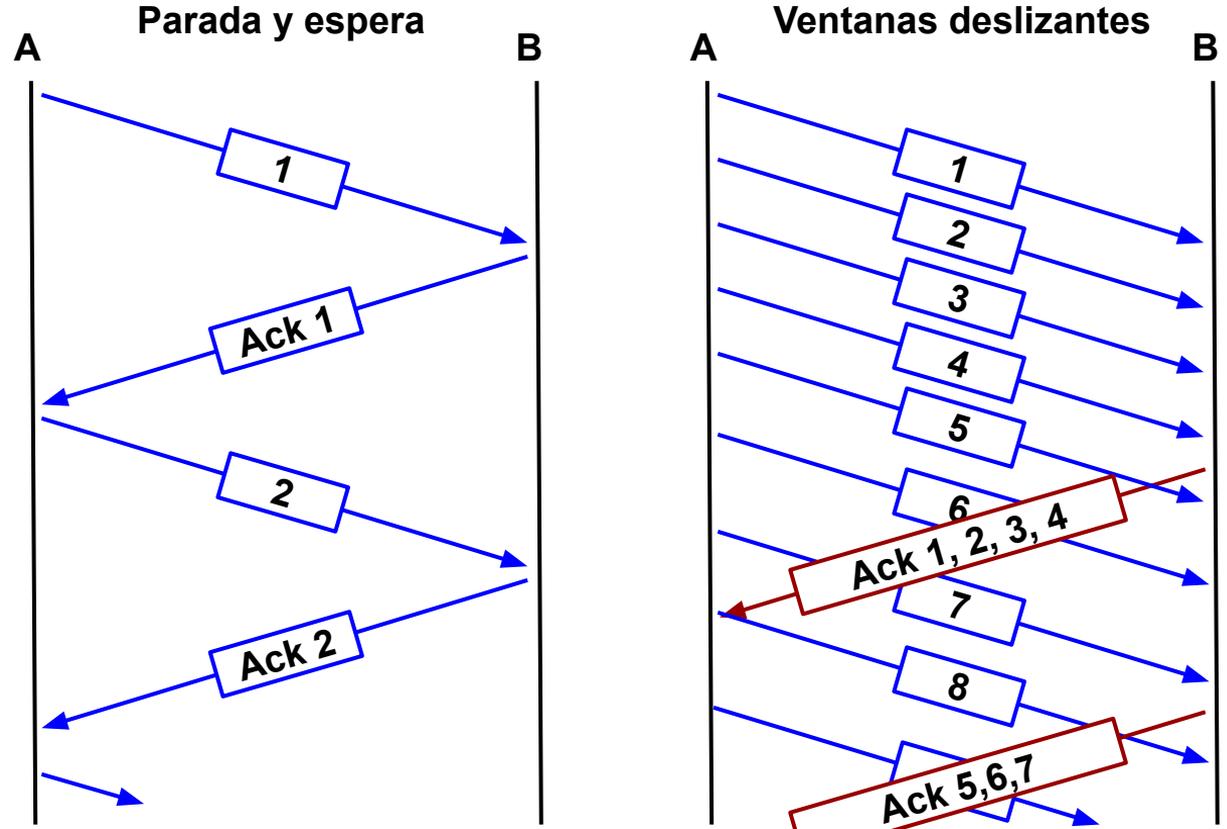
- **Superposición:** Si el canal es full-duplex, las tramas de reconocimiento pueden anexarse a tramas de datos.
 - **Ventajas:** El reconocimiento no necesita una trama propia, ya que se “incrusta” en una trama de datos, aprovechando el campo de verificación y encabezado de la trama de datos.
 - **Desventaja:** Es necesario esperar una trama de datos a la cual añadir el reconocimiento, **y podría caducar el temporizador del transmisor.**
 - **Solución: Combinar superposición, temporizadores en el receptor y tramas de reconocimiento independientes.**

Control de flujo

- Evitar que el transmisor **envíe datos a mayor velocidad** de las que el receptor las puede procesar.
 - El receptor posee memoria (llamada buffer) en la que deposita los datos que llegan. Antes de pasarlos a la capa superior, debe realizar algún procesamiento. Si los datos llegan a mayor velocidad de la que el receptor puede procesarlos, esta memoria se satura.
- **Control de flujo basado en retroalimentación:** El receptor envía mensajes **autorizando** el envío de más tramas.
- Dos tipos de control de flujo:
 - Protocolos de **parada y espera**.
 - Protocolos de **ventanas deslizantes**.

Protocolos de Parada y espera y de Ventanas deslizantes

- **Problema de los protocolos de parada y espera:** En canales con latencia alta, la comunicación se vuelve muy lenta.
 - **Solución:** Protocolos de ventanas deslizantes



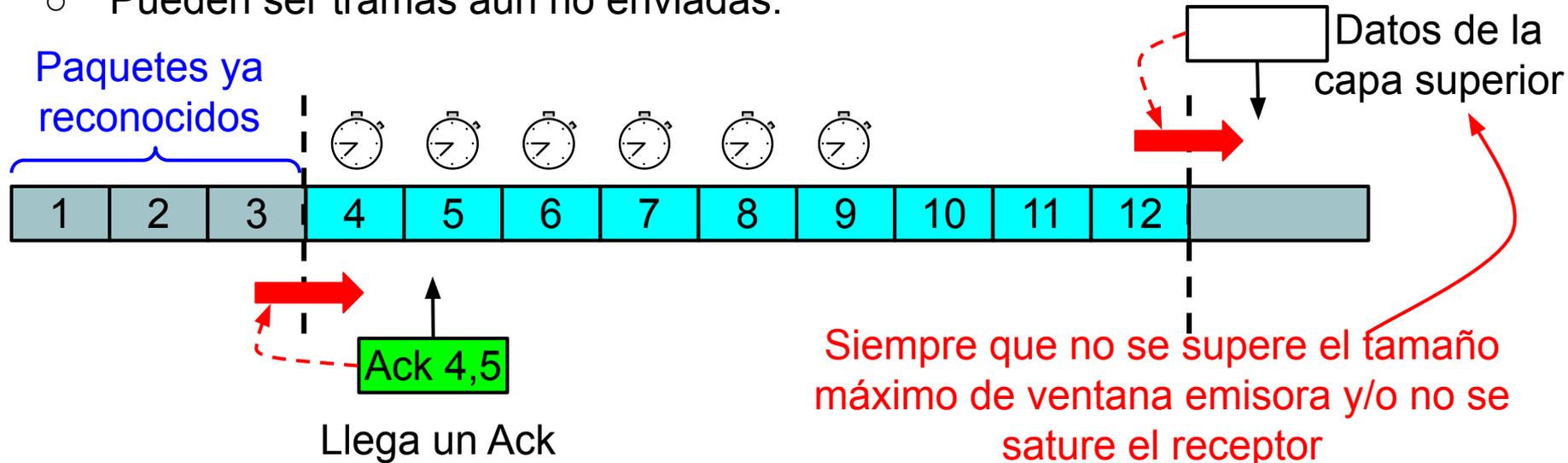


Protocolos de parada y espera

- Cuando el emisor envía una trama, no puede enviar otra hasta recibir un **mensaje de autorización de envío** desde el receptor.
 - Un Ack que actúa como “**mensaje de autorización de envío**”.
 - Cuando la capa de enlace del receptor recibe la trama, verifica que es correcta y la pasa a su capa de red, por lo que queda libre para procesar otra trama, envía el reconocimiento.
 - Puede haber mensajes específicos de **mensaje de autorización de envío**.
- Necesita:
 - Un canal bidireccional.
 - Temporizadores
 - Si se pierde un ack, el emisor nunca más enviará una trama.
- Útiles en canales de **baja latencia**.

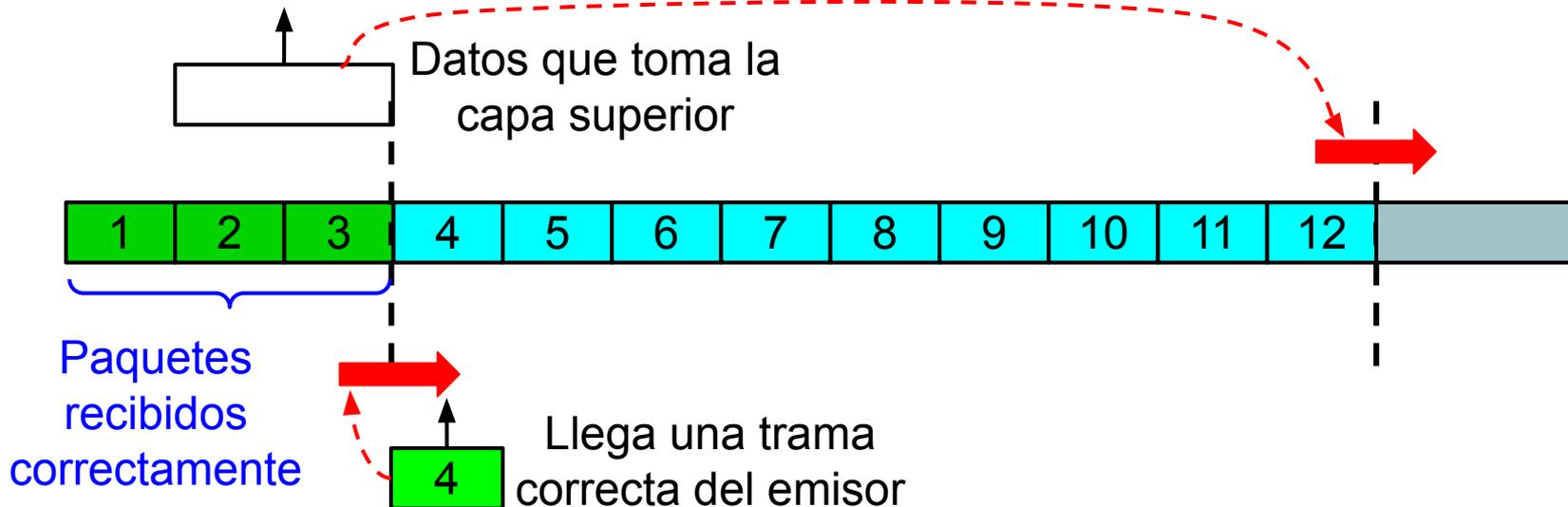
Protocolos de ventanas deslizantes

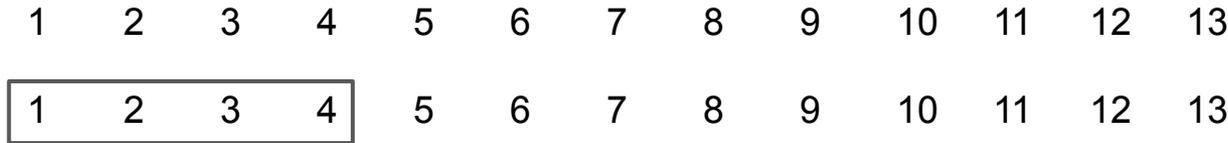
- **Ventana emisora:** conjunto de números de secuencias de tramas que el emisor tiene permitido enviar o reenviar. Conjunto de tramas que el emisor puede tener “en tránsito” en la red al mismo tiempo.
 - Pueden ser tramas ya enviadas que esperan su mensaje de reconocimiento.
 - Pueden ser tramas aún no enviadas.



Protocolos de ventanas deslizantes

- **Ventana receptora:** conjunto de números de secuencias de tramas que el receptor tiene permitido recibir (que está esperando).
 - Por ejemplo: tramas que no se recibieron anteriormente.
 - Tramas no muy alejadas hacia adelante (que indicarían que se han perdido un número grande de tramas intermedias).

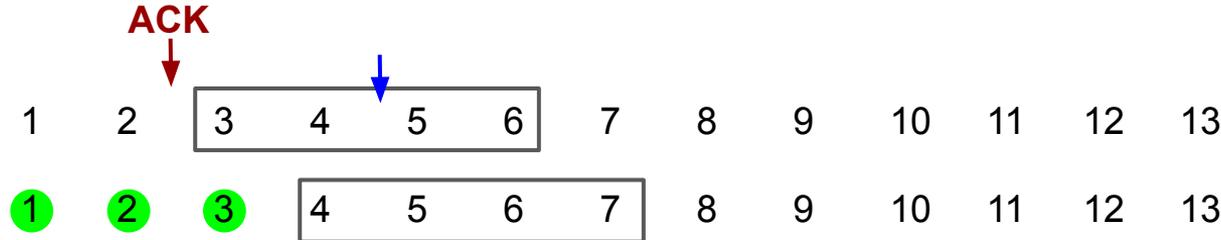




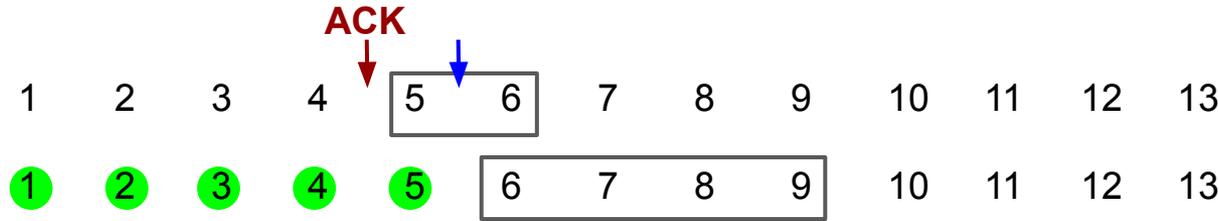
Situación inicial. Emisor sin datos para enviar



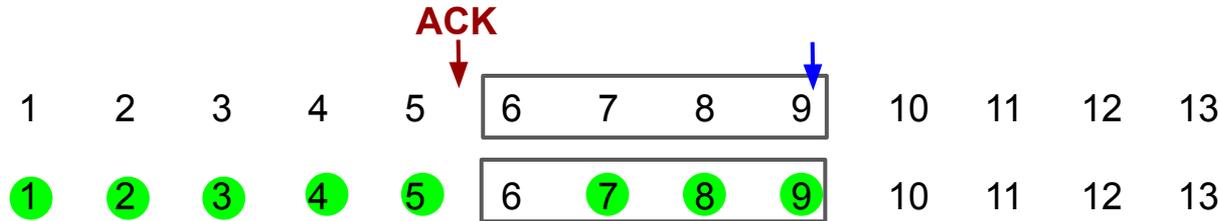
El emisor tiene 4 tramas para enviar. Se envió hasta la trama 3, pero aún no las recibe el receptor



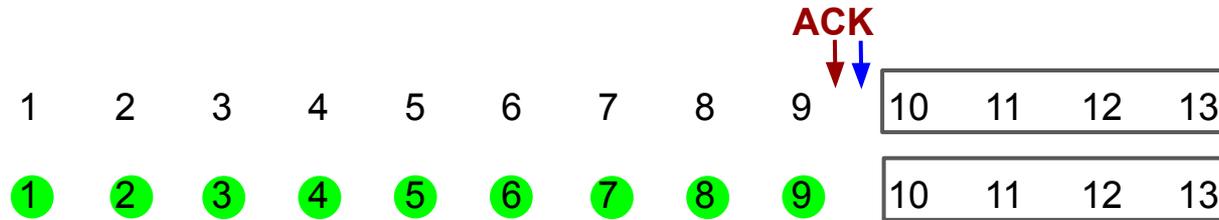
Se envió hasta la trama 4, El receptor recibió 3 tramas. El emisor recibió la confirmación de la correcta recepción de las tramas 1 y 2.



El emisor envió hasta la trama 5. El receptor recibió hasta la trama 5. El emisor recibió ack hasta la trama 4. El emisor después de la trama 6 no tiene más datos para enviar.



Se envió hasta la trama 9, la trama 6 nunca llegó al receptor, pero si la 7, 8 y 9



Respecto al anterior, se reenvió la trama 6 y se confirmó la recepción hasta la trama 9.



Temario

- Capa Física.
- Capa enlace
- ● **La subcapa MAC**
 - **Acceso múltiple con detección de portadora (CDMA)**
- Ejemplos de redes WAN
- Ejemplos de redes LAN

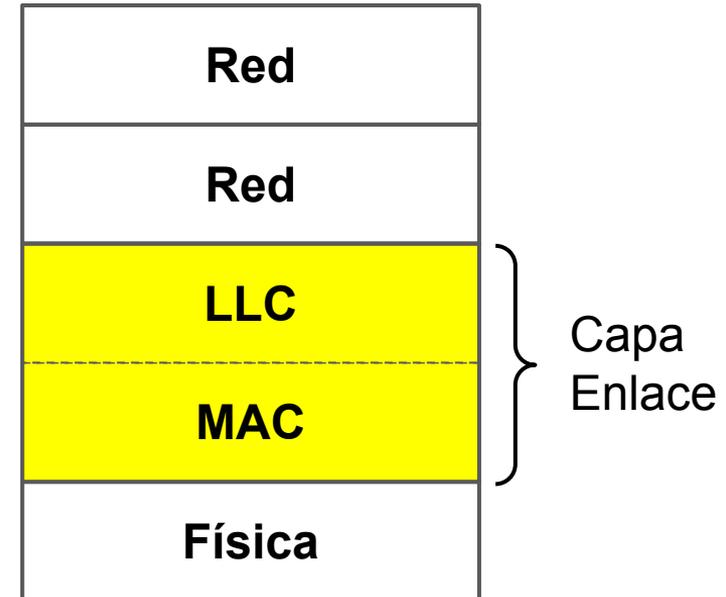
Repaso. De la unidad 1

Clasificación de las redes según tecnología de transición:

- Punto a punto
 - Formadas por enlaces que conectan pares individuales de máquinas.
- Difusión
 - Formadas por máquinas que **comparten** el canal de comunicación.
 - Una máquina envía y todas reciben.
 - Verificando el campo de dirección una máquina verifica si el mensaje está destinado a ella o no.
 - **Problema: Si dos máquinas envían datos al mismo tiempo, sus transmisiones interfieren, y ambas transmisiones se arruinan.**
 - Solución: Protocolo que determine en cada momento quién puede acceder (Protocolo MAC)

Subcapa MAC (**Medium Access Control**)

- Funciones:
 - Direccionamiento.
 - **Evitar o lidiar con colisiones.**
- El canal compartido puede ser:
 - Banda de frecuencias en el aire (inalámbrica).
 - Cables (Ethernet clásica o Ethernet conmutada half duplex)
- Asignación del canal:
 - **Estática**: Cada equipo posee una “porción” fija del canal (TDM o FDM).
 - **Dinámica**: Todos los equipos comparten completamente y todo el tiempo el canal.



Asignación estática del canal: FDMA

- FDMA (Frequency Division Multiple Access o acceso múltiple por división de frecuencia).
- Si hay **N usuarios**, el ancho de banda disponible se divide en **N canales**.
- Se asigna a cada usuario un canal de frecuencias.
- **Cada usuario transmite en su canal, sin interferir unos con otros. No hay colisiones.**
- **Problemas:**
 - **En los momentos en que haya menos de N máquinas transmitiendo, se desperdicia parte del ancho de banda (según el teorema de Shannon¹, eso significa bits/segundo perdidos).**
 - **Si nuevos usuarios quieren sumarse, no podrán hacerlo si todos los canales ya están ocupados.**

¹Teorema de Shannon: Tasa de datos = Ancho de banda * $\log_2 (1 + S/N)$

Asignación estática del canal: TDMA

- TDMA (Time Division Multiple Access o acceso múltiple por división de tiempo).
- Se define una duración total de trama.
- Se divide la trama en **N ranuras de tiempo** para **N usuarios**.
- Se asigna una ranura de tiempo a cada usuario.
- **Cada usuario transmite en su ranura de tiempo, sin interferir unos con otros. No hay colisiones.**

Problemas de la asignación estática del canal:

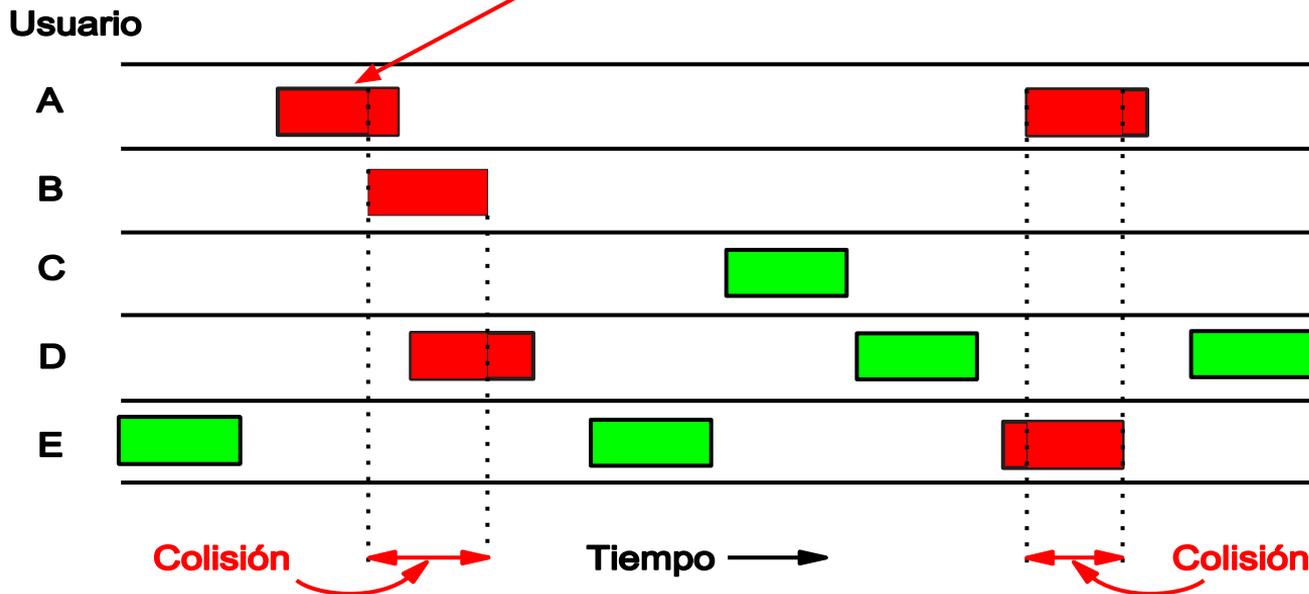
- **Cada vez que una máquina no tenga datos para transmitir en su ranura, la ranura se pierde.**
- **Si nuevos usuarios quieren sumarse, no podrán hacerlo si todas las ranuras están ocupadas.**

Asignación dinámica del canal

- Todos los usuarios pueden acceder al canal **todo el tiempo** y utilizando **todo el ancho de banda**.
- Objetivo: **Que no haya tiempo ni frecuencias desperdiciadas si al menos una máquina tiene que transmitir.**
- **Colisión: Si dos máquinas necesitan transmitir, sus señales se traslapan y la señal resultante no es útil, se pierde.**

Colisiones

Se pierden los paquetes completos,
aunque colisione solo un byte.



Protocolo ALOHA

- Primer protocolo de acceso múltiple. Universidad de Hawai, 1970.
- **Precursor de varias técnicas utilizadas hoy día.**
 - Cualquier transmisor puede transmitir en cualquier momento.
 - Si el receptor recibe el mensaje, comprueba la suma de verificación, y si es correcta, responde re-enviando la trama recibida.
 - Si el emisor recibe la trama re-enviada por el receptor, sabe que llegó con éxito -> **Concepto de confirmación de recepción.**
 - Si el emisor no recibe la trama re-enviada por el receptor en un tiempo específico¹, significa que hubo una colisión con otro emisor o un error.
 - Entonces, espera un **tiempo aleatorio** y **reenvía la trama**. -> **Concepto de retransmisión con demora aleatoria.**
Si el tiempo no es aleatorio, las mismas estaciones chocarán una y otra vez.

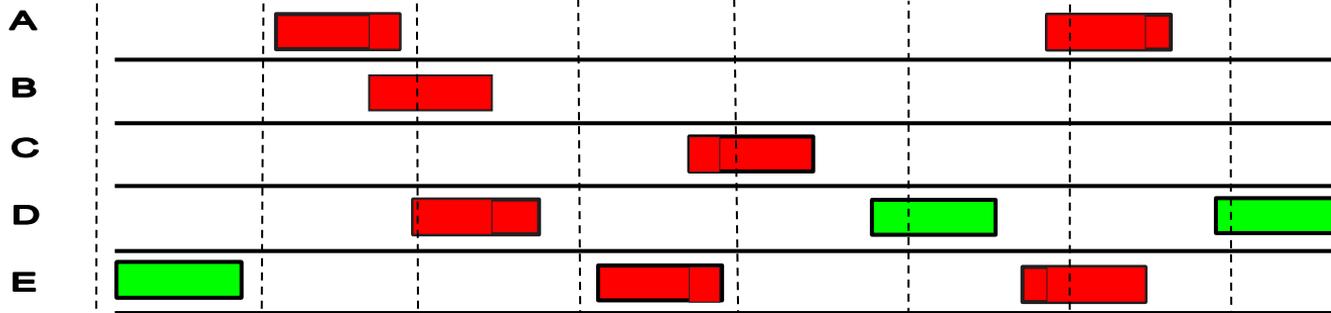
¹ Este tiempo es igual al tiempo máximo de propagación de la red ida y vuelta (estaciones más lejanas) más un tiempo fijo.

Protocolo ALOHA Ranurado

- ALOHA ranurado
 - En Aloha común: como cada máquina puede comenzar a transmitir en cualquier momento, **una máquina puede arruinar la transmisión de otra que había comenzado bien.**
 - Utilización máxima del canal: 18% (experimental). **Muy baja.**
 - En Aloha ranurado el tiempo se divide en ranuras.
 - Los emisores sólo pueden comenzar a transmitir al comienzo de una ranura (la transmisión se demora hasta el comienzo de una ranura).
 - Comienzo de ranuras marcado por un dispositivo central que envía tramas (llamadas Beacon) que indican el comienzo de las ranuras. -> **Concepto Beacon**
 - En promedio se demuestra matemáticamente que las colisiones disminuyen a la mitad.
 - Utilización máxima del canal 37%.

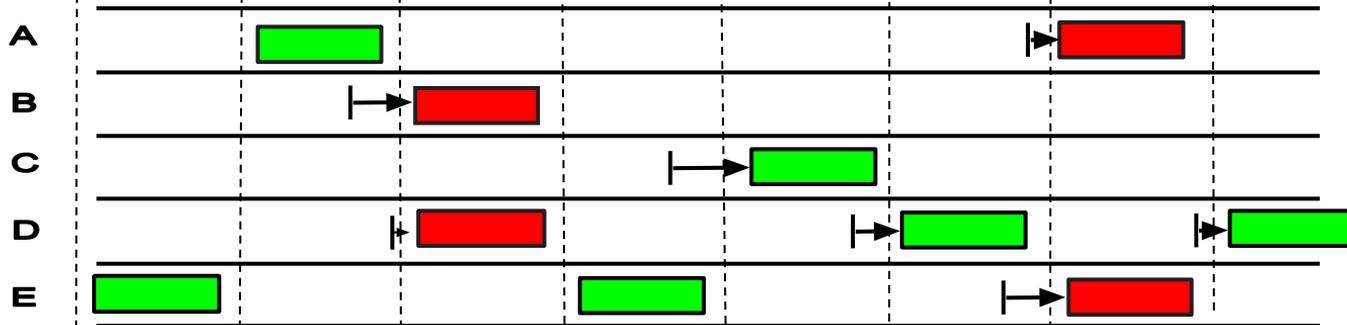


Usuario



Aloha común,
llegaron bien 3
paquetes.

Usuario

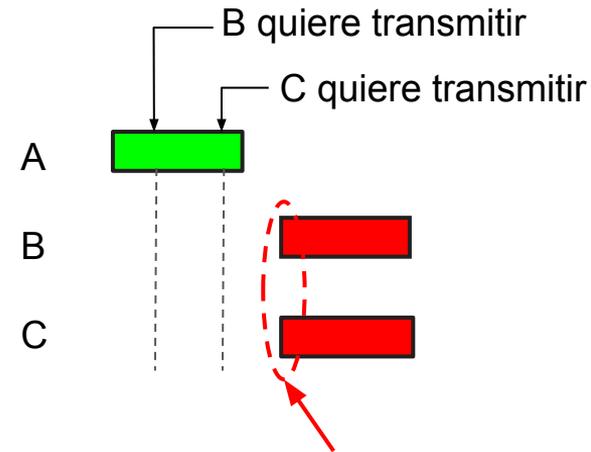


Aloha
ranurado,
llegaron bien 6
paquetes.

Protocolos de acceso múltiple con detección de portadora persistente CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

- **Fundamento:** Si el tiempo de propagación es pequeño¹, cuando una estación transmite una trama, el resto de estaciones lo sabrá casi inmediatamente.
- Si un dispositivo desea transmitir, primero **“escucha”** si el canal está ocupado.
 - Si el canal está inactivo: **Transmite**
 - Si el canal está ocupado: **Espera**
 - Si hay colisión: Espera un tiempo aleatorio antes de retransmitir.
- CSMA **persistente**: Si el transmisor detecta el canal ocupado, espera **escuchando continuamente** hasta que se desocupe.

- ¿colisiones?: Si

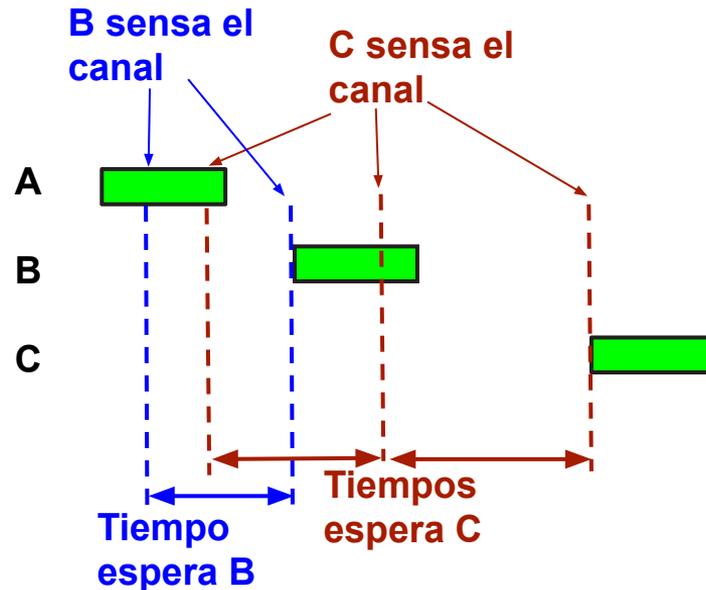


Colisión: B y C detectan que A terminó de transmitir y transmiten casi al mismo tiempo

¹Comparado con el tiempo de transmisión

CSMA No persistente

- CSMA NO-persistente: Si el transmisor detecta el canal ocupado, espera un **tiempo aleatorio** antes de volver a escuchar el canal. -> **Menos probabilidades de colisión.**



Problema: Aumentan
la latencia

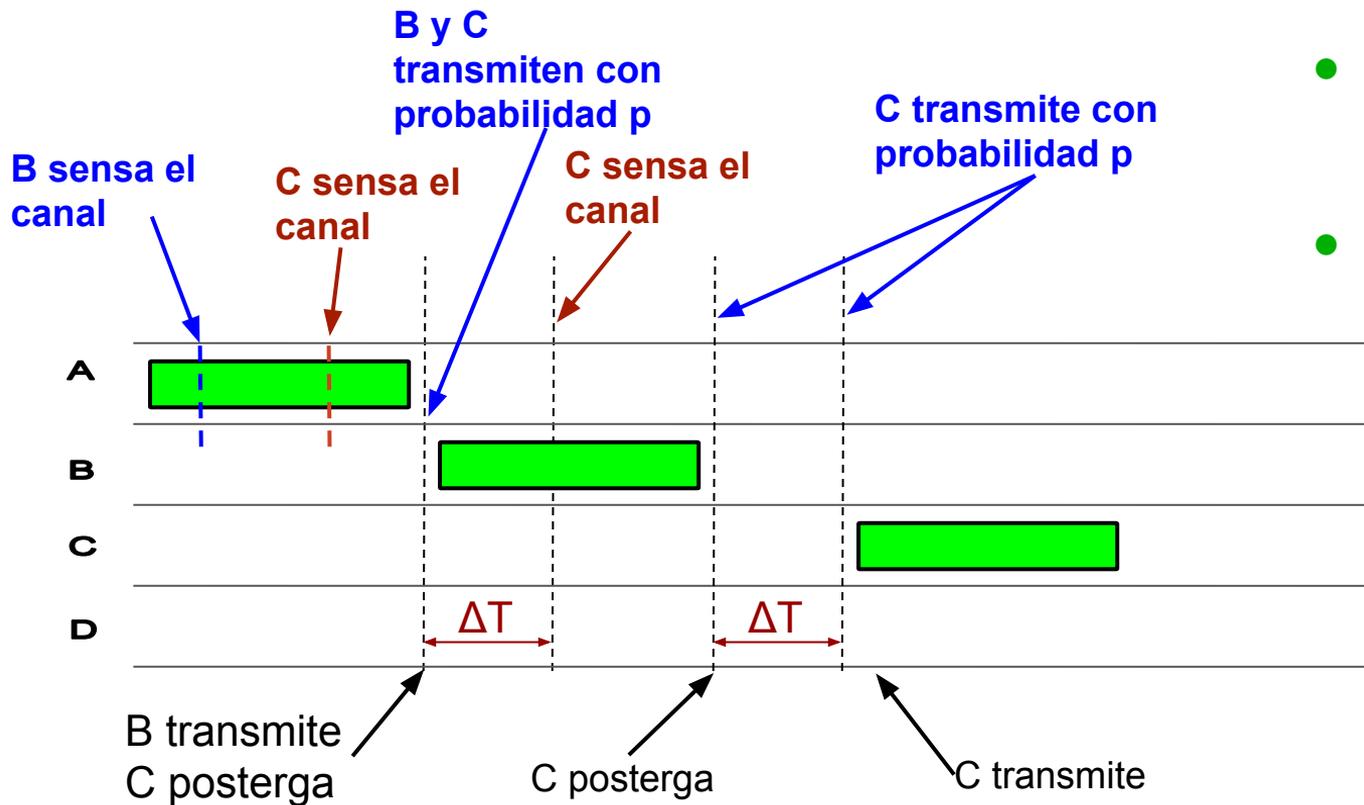


CSMA persistente -p

- Si el transmisor detecta el **canal desocupado**,
 - Transmite **probabilidad p**.
 - **Posterga** la transmisión con **probabilidad $q=1-p$** una unidad de tiempo (ΔT) y vuelve a intentar **transmitir probabilidad p**.
 - Si el transmisor detecta el **canal ocupado**
 - Escucha continuamente hasta detectar que el canal está desocupado (persistente).
-



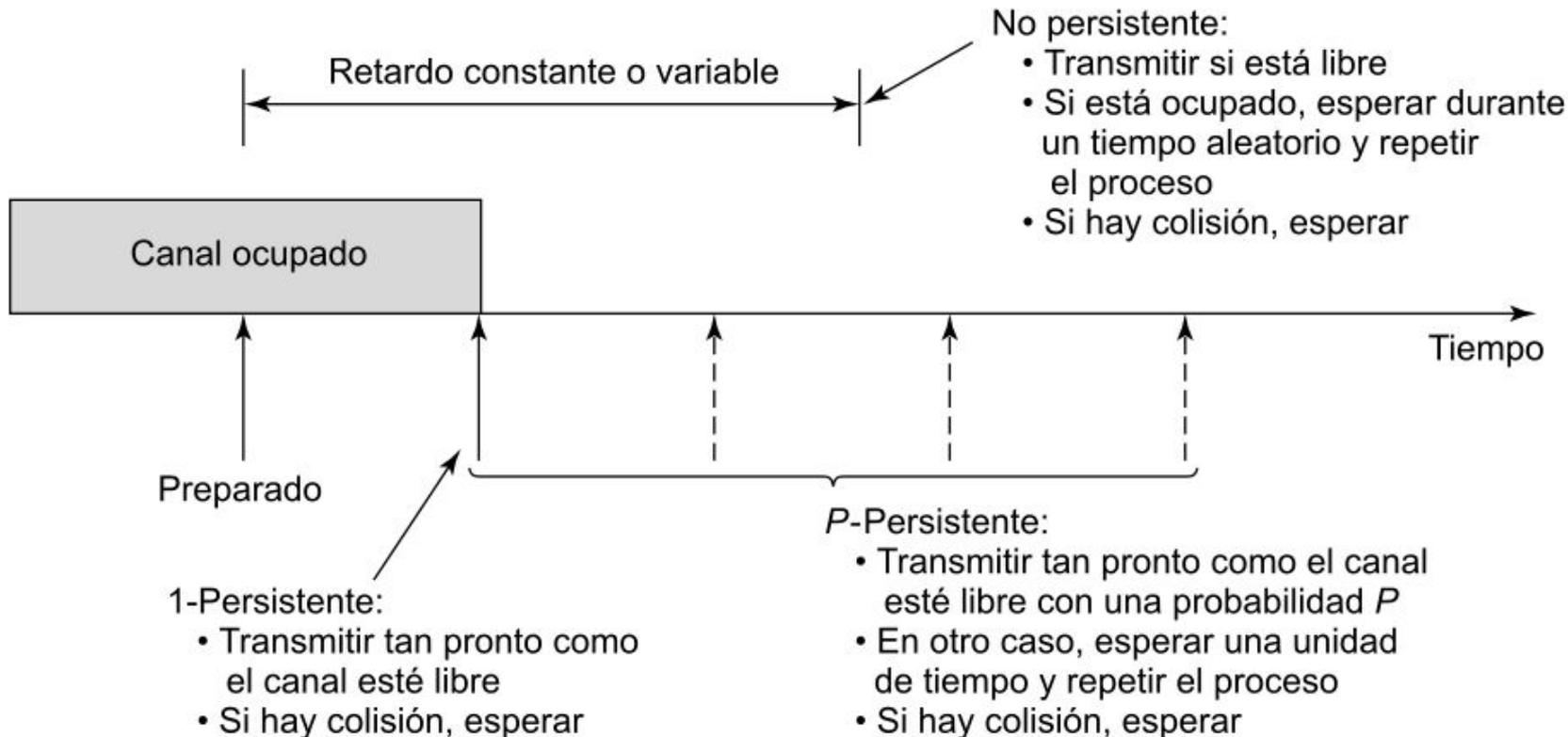
CSMA persistente -p



- Reduce la latencia respecto al CSMA no persistente.
- Disminuye la probabilidad de colisión respecto al CSMA persistente, pero no la elimina por completo

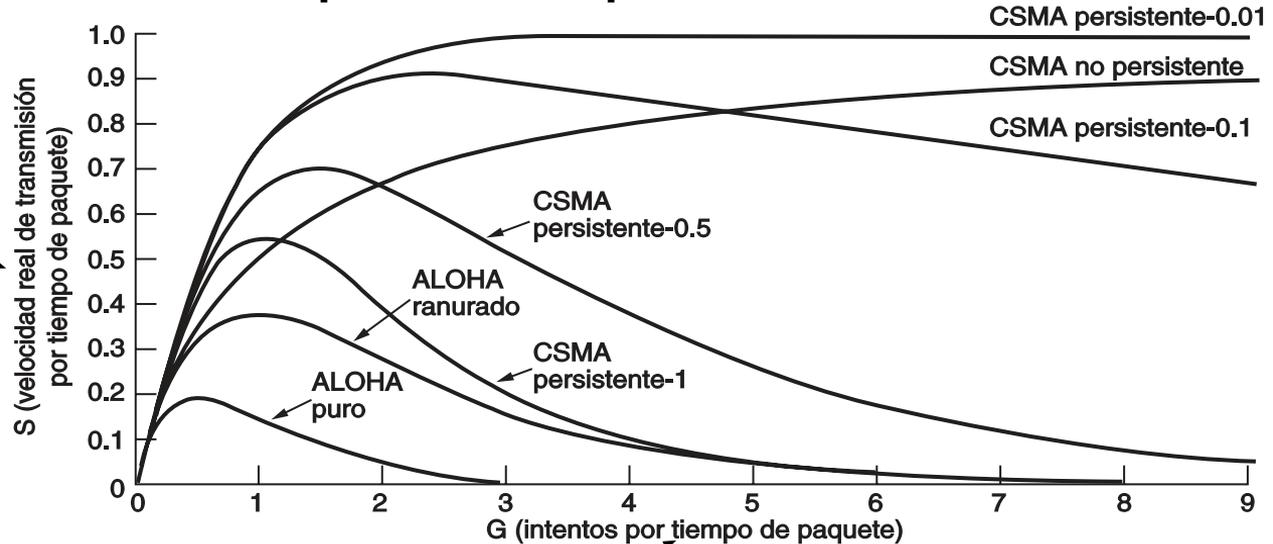


CSMA persistente, no persistente y persistente -p



Comparación Aloha, CSMA persistente, CSMA no persistente y CSMA persistente -p

Medida de cuántos
paquetes por unidad
de tiempo las
máquinas **logran**
realmente transmitir



Medida de cuántos paquetes por unidad de tiempo las
máquinas **intentan** transmitir (saturación del canal)



Conclusiones figura anterior

- Aloha puro:
 - responde bien cuando hay muy poco tráfico en el canal.
 - Si el tráfico en el canal aumenta levemente, las colisiones aumentan en gran medida, disminuyendo la cantidad de paquetes que son realmente enviados.
- El protocolo CSMA no persistente:
 - Responde muy bien cuando el tráfico en el canal es muy alto.
 - Pero para tráfico bajo la latencia hace que el canal esté sub-ocupado.
- Los protocolos con mejor respuesta son los CSMA persistente-p, pero el valor de p debe seleccionarse con cuidado.
 - Para tráfico elevado, son más eficientes valores pequeños de p .
 - Para tráfico bajo, son más eficientes valores altos de p .

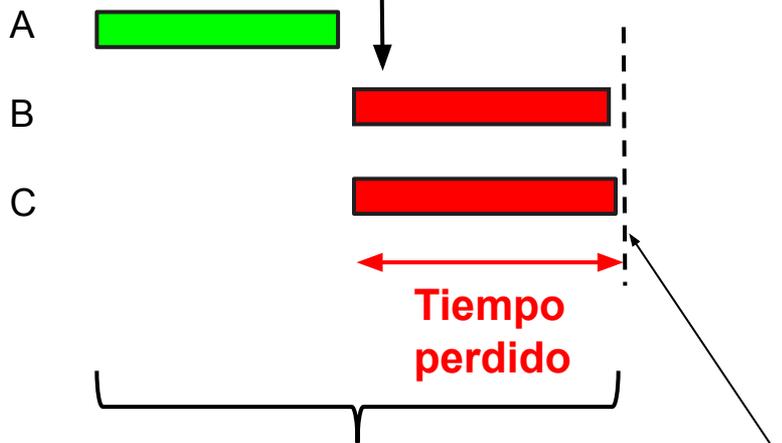
CSMA/CD (CD: Collision Detection o **detección de colisiones**)

- Todos los CSMA **tratan de evitar colisiones**, pero no las eliminan por completo.
 - **Problema: Una colisión es muy costosa.** Si dos emisores colisionan, las estaciones siguen transmitiendo tramas ya dañadas , **perdiendo tiempo.**
- CSMA/**CD**: Si se produce una colisión, **se detecta** y
 - **se detiene** la transmisión. **Esto ahorra tiempo.**
 - Se transmite una pequeña señal de interferencia para “avisar” al resto de las computadoras de la colisión.
- ¿Cómo se detecta una colisión? **El emisor transmite y recibe al mismo tiempo.**
Asume una colisión si:
 - Lo que transmite es diferente a lo que recibe (la comparación es a nivel de señales analógicas).
 - Recibe más potencia de la que transmite.
- **Utilizado en Ethernet y todo tipo de redes cableadas.**
- **No útil en redes inalámbricas (se verá luego el motivo)**



CSMA/CD

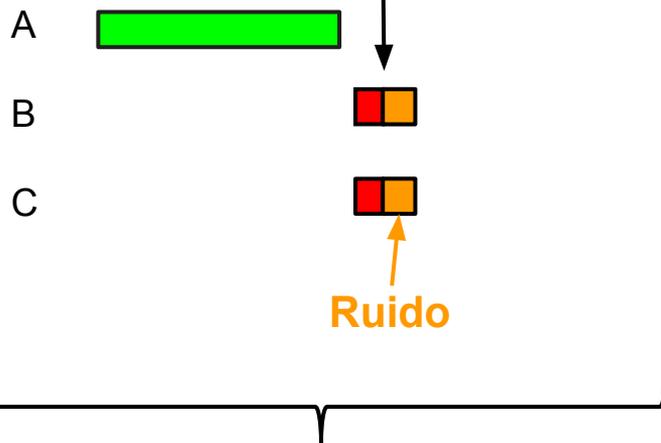
Las máquinas **No detectan** la colisión y continúan transmitiendo



Sin CD

Aquí las computadoras detectan datos recibidos con errores

Las máquinas **detectan** la colisión y cancelan la transmisión



Con CD

Tiempo de detección de colisión

- Los estándares fijan una longitud máxima del canal.
- τ es el tiempo de viaje de un paquete entre las máquinas en extremos opuestos de la red.
- En el peor caso, una máquina puede tardar 2τ en detectar una colisión (*ver las dos filminas siguientes*).
- **Problema: un paquete podría durar menos que 2τ , y la máquina origen no detectar la colisión.**
 - **Solución 1: código con confirmación de recepción.**
 - **Solución 2: paquetes con longitud mínima mayor a 2τ + retransmisión con tiempo de espera aleatorio luego de una colisión.**



A comienza a transmitir



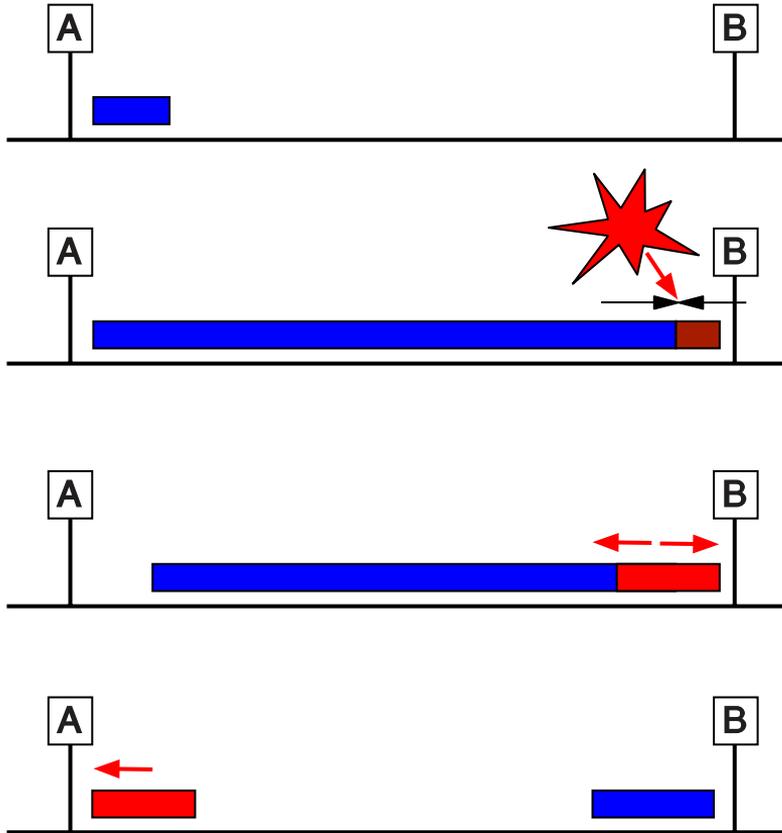
B comienza a transmitir, A continúa transmitiendo, comienzan a colisionar



El ruido se propaga en ambas direcciones. Cuando llega a B, B detecta la colisión y deja de transmitir. A sigue transmitiendo su trama, y el ruido sigue propagándose hacia A.



El ruido llega a A, A detecta la colisión y deja de transmitir. **Si A hubiera dejado de transmitir antes de que el ruido llegara a A, no hubiera detectado la colisión.**



A comienza a transmitir

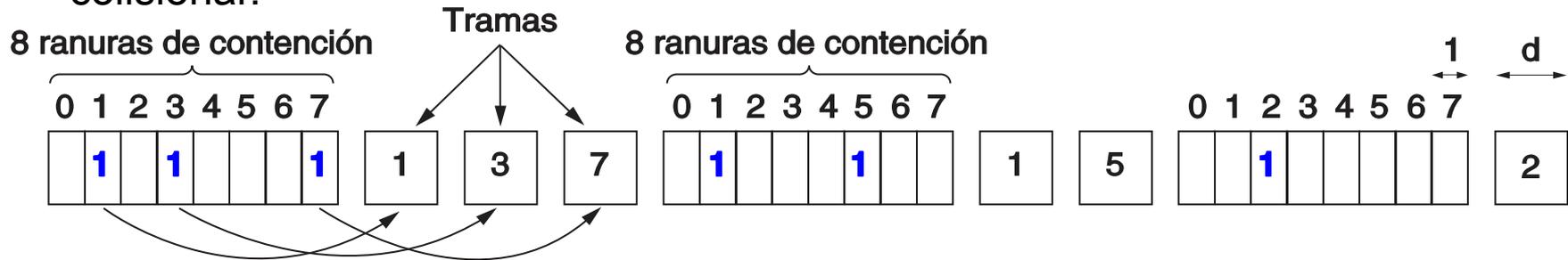
B comienza a transmitir, A continúa transmitiendo, comienzan a colisionar

El ruido se propaga en ambas direcciones. B detecta la colisión y deja de transmitir. A ha terminado de transmitir su trama. El ruido sigue propagándose hacia A. **A no detecta la colisión.**

El ruido llega a A. A ya no está transmitiendo su trama, por lo que **no escucha la interferencia entre su trama y el ruido.**

Protocolos libres de colisiones: Mapa de bits

- Mejora a TDMA.
- También llamado de reservación.
- Alternan periodos de contención, en los cuales cada máquina que tenga datos para transmitir, reserva un turno.
- Luego las máquinas que reservaron un turno, transmiten ordenadamente sin colisionar.



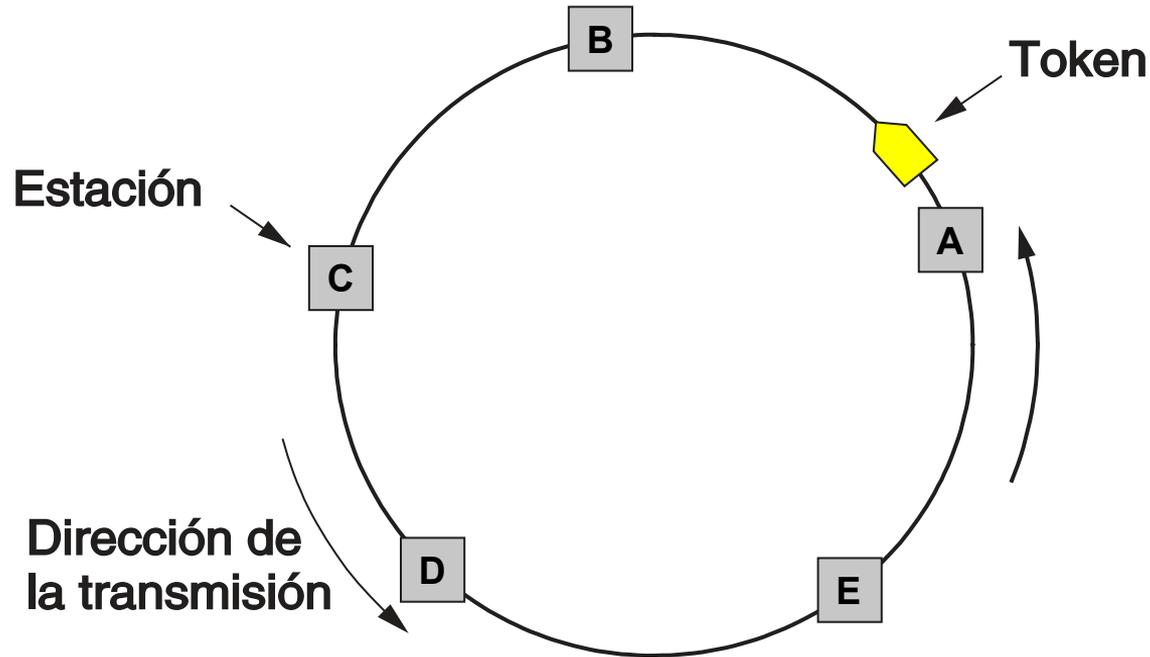
Protocolos libres de colisiones: Mapa de bits (explicación)

- Alterna periodos de contención (competencia por el medio) con periodos de transmisión.
- Durante el periodo de contención, cada estación tiene asignada una ranura de tiempo (TDMA).
- Si una estación tiene tramas para transmitir, transmite un bit en su ranura de tiempo.
- Al final del periodo de contención, las estaciones que reservaron comienzan a transmitir sus tramas en orden numérico.
 - Todas las máquinas conocen la secuencia de reserva de turnos y pueden detectar el comienzo y fin de cada trama, por lo que pueden transmitir ordenadamente sin colisiones.
- **Problema: sobrecarga de un bit (en el canal de comunicaciones hay bits que no son parte de los datos que se desean transmitir). No escala bien con miles de máquinas (habría miles de bits de sobrecarga).**

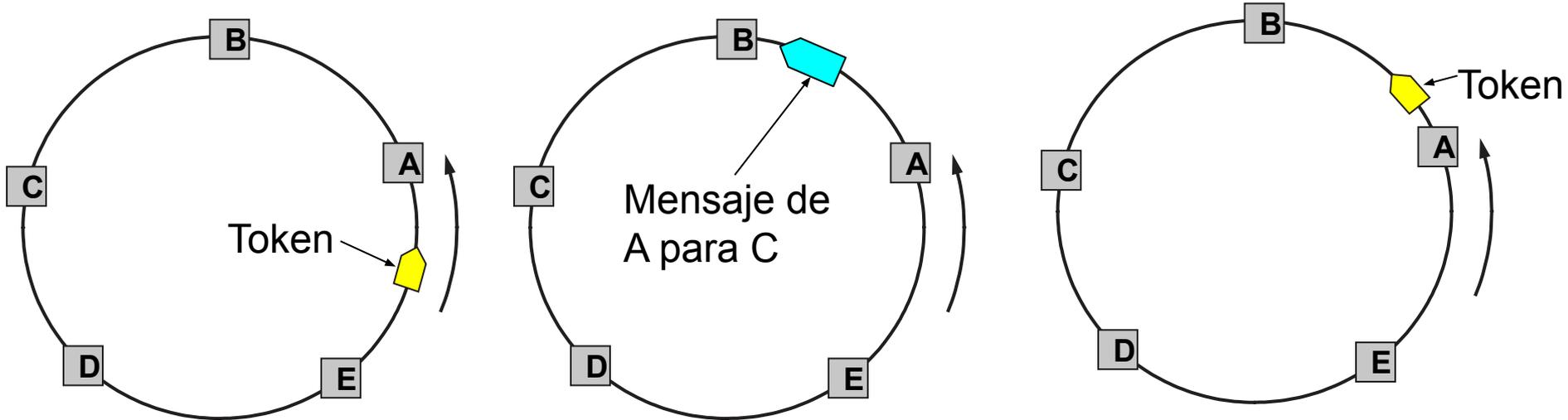
Protocolos libres de colisiones: Paso de token

- **Token**: pequeño mensaje que pasa de una estación a otra y cumple el papel de “**permiso para transmitir**”.
- Cuando una máquina recibe el token:
 - Si posee tramas para enviar, las envía, y luego pasa el token.
 - Si no posee tramas para enviar, pasa el token.
- **Token ring** (IEEE 802.5): La topología anillo se adapta bien con el acceso por paso de token.
- Alguna máquina debe quitar las tramas que circulan por la red, en primera instancia debe ser la máquina destino, y en segunda instancia, la máquina emisora.

Protocolos libres de colisiones: Paso de token



Protocolos libres de colisiones: Paso de token

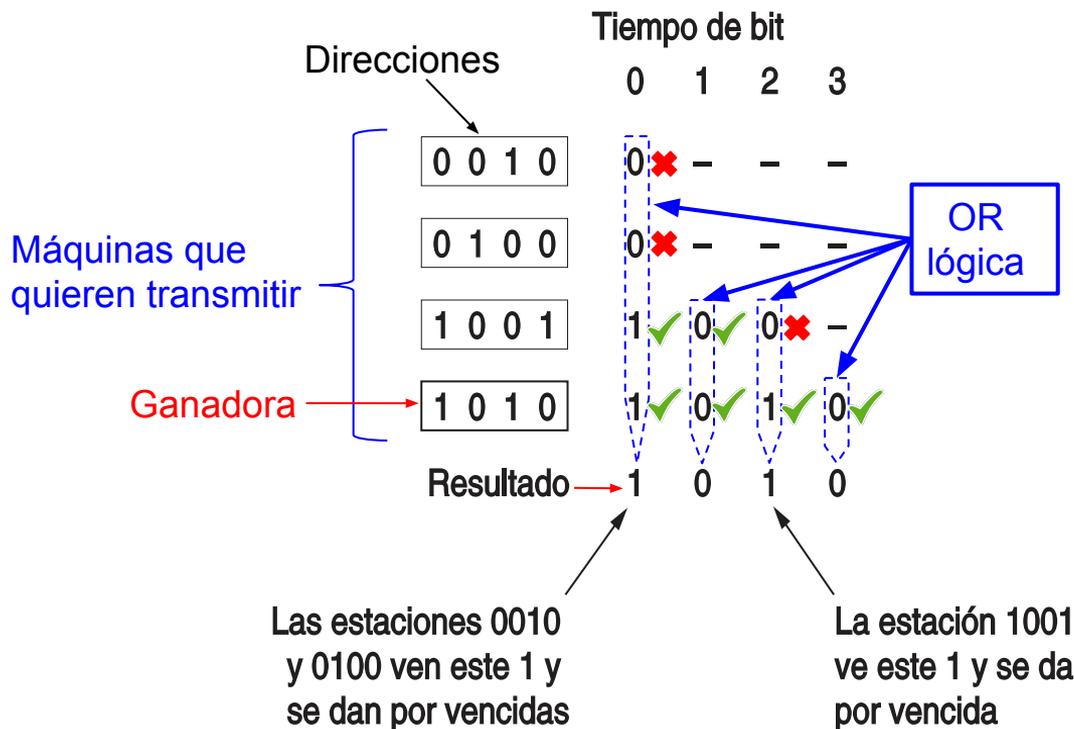


Existen muchas variantes y mejoras a este protocolo que no serán vistas por ser poco usado hoy día

Protocolos libres de colisiones: Protocolo descendente binario

- Si una máquina quiere enviar datos, comienza escribiendo su dirección en el bus.
- Si dos o más máquinas quieren enviar datos, comienzan a escribir sus direcciones en el bus común.
 - Cada máquina coloca su primer bit de dirección en el bus.
 - El bus realiza la operación lógica OR.
 - Aquellas máquinas cuyo primer bit **no coincide** con el resultado de aplicar la operación OR, **desisten de transmitir**.
 - Aquellas máquinas cuyo primer bit **coincide** con el resultado de aplicar la operación OR, **colocan su segundo bit** de dirección repitiendo el proceso.
- Protocolo **con prioridad**: Será seleccionada la máquina con dirección más alta.
- **Ventaja: no tiene sobrecarga.**
- **Desventaja: Las máquinas con dirección más baja deberán esperar para transmitir si la carga de la red es elevada (incluso podrían no poder transmitir).**

Protocolos libres de colisiones: Protocolo desdentende binario



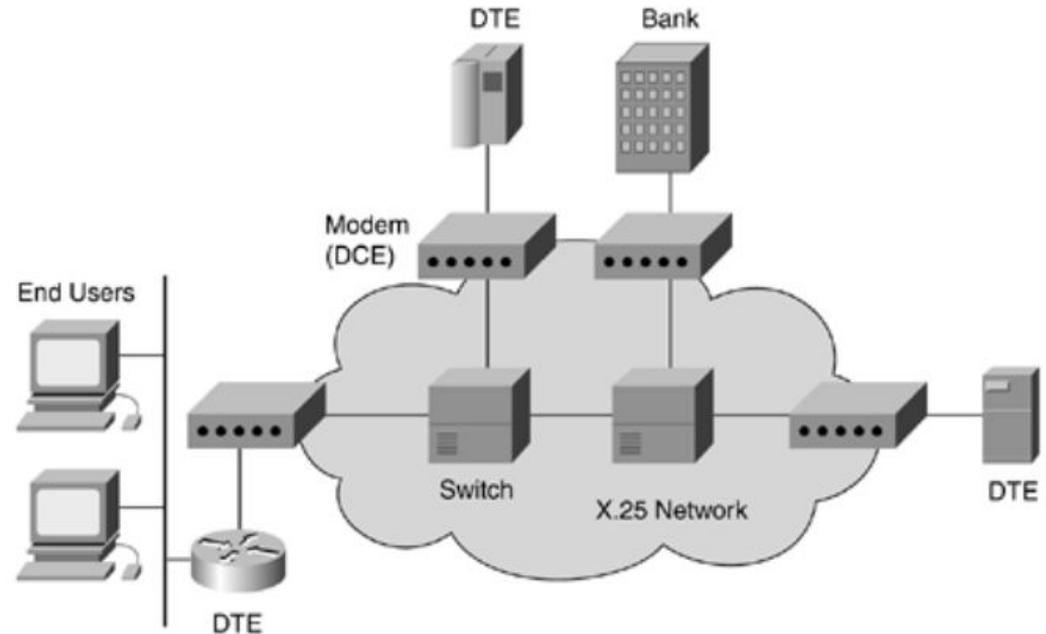


Temario

- Capa Física.
- Capa enlace
- La subcapa MAC
- ● **Ejemplos de redes WAN**
 - **Redes de transporte de datos**
 - **Redes de acceso o de última milla**
- Ejemplos de redes LAN

Ejemplos redes WAN de transporte

- X.25 (1974):
Conmutación de paquetes. Orientado a conexión.
 - Conmutadores PSE (packet-switching exchange), interconectados mediante líneas privadas o líneas telefónicas.
- No utilizadas hoy día.





Frame Relay

- Estándar para redes WAN. Red de conmutación de paquetes (les llama frames) orientada a conexión.
 - Basada en X.25.
 - Circuitos virtuales temporales o permanentes.
 - 1988 (norma I.122 ITU-T).
 - Define las capas física y de enlace.
- Realiza detección de errores. Descarta tramas erróneas.
- No realiza corrección de errores (red de mejor esfuerzo).
- No utilizadas hoy día.
 - En gran parte desplazada por otras tecnologías (mayormente MPLS y en menor medida ATM).



Frame Relay



DLCI: Data link connection identifier

C/R: Command response bit

EA: Address field extension bit (permiten direcciones de mayor longitud)



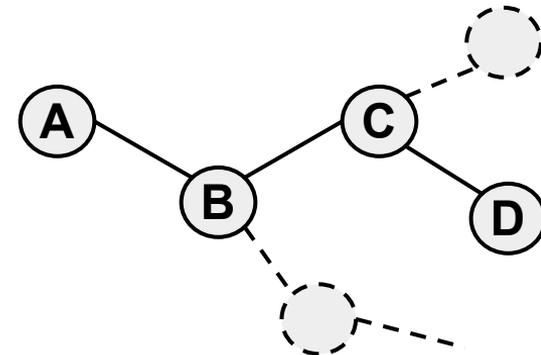
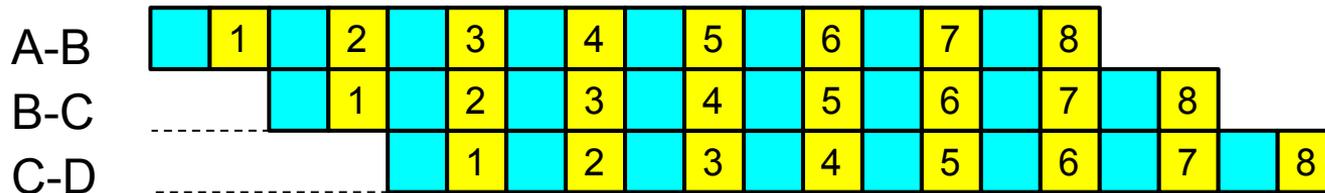
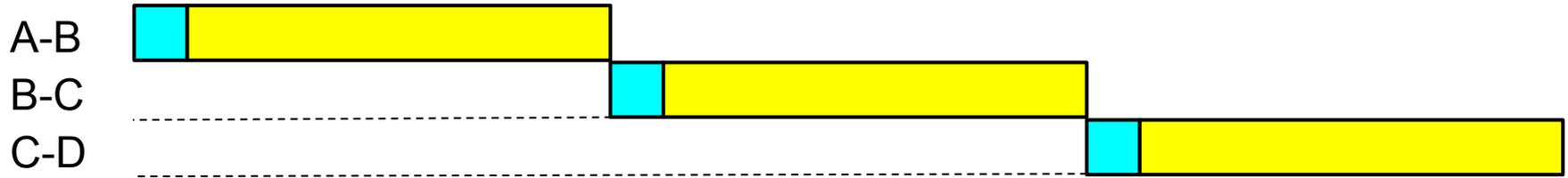
ATM (Asynchronous Transfer Mode)

- Definida por la norma ITU-T en 1987.
- **Conmutación de paquetes**, **orientada a conexión** y **multiplexado**.
 - Cada celda lleva un **identificador de conexión**.
- Paquetes de tamaño fijo y pequeños llamados celdas (el tamaño fijo permite menor tiempo de procesamiento de las celdas y menor variación en el delay).
 - 53 bytes, 48 datos y 5 de encabezado.
- Objetivos (según los autores):
 - Proveer capacidades de calidad de servicio y gestión del tráfico.
 - El usuario puede seleccionar el nivel de calidad de servicio.
 - Transportar datos, voz y video.
 - La mayoría de las funcionalidades implementadas en hardware (velocidad).
 - Pensado para conexiones permanentes (que están conectadas todo el tiempo) (probablemente su característica más importante hoy día).



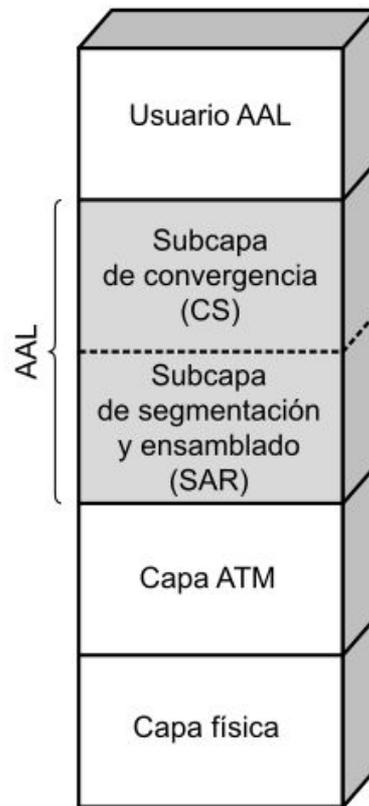
Tamaño de los paquetes

- Paquetes muy grandes o muy pequeños demoran más tiempo en ser transferidos.



ATM (Asynchronous Transfer Mode) - **Fragmentación**

- Es necesario **fragmentar** los paquetes de la capa superior y ensamblarlos nuevamente en el destino. Esto lo realiza AAL (ATM Adaptation Layer).
 - Trama AAL5: No tiene encabezado, solo un terminador. 48 bytes.
 - Relleno: Para que todas las tramas posean 48 bytes.
 - UU: información de usuario. Campo para que lo use la capa de aplicación. Actualmente no se usa.

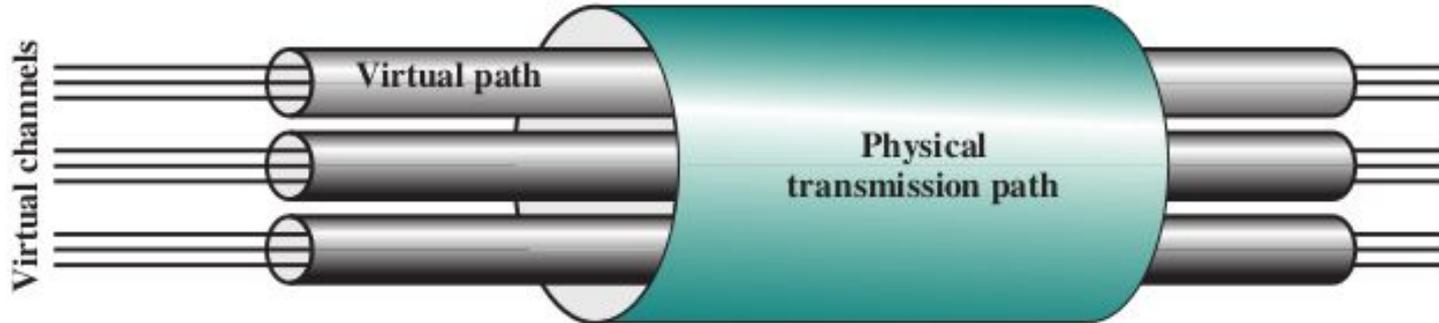


Trama AAL

Carga útil	Relleno	UU	Longitud	CRC
------------	---------	----	----------	-----



ATM (Asynchronous Transfer Mode)



- Circuitos y canales virtuales
 - Menor trabajo para la red, ya que todos los paquetes de todos los canales que comparten un camino son conmutados de la misma manera.
 - Futuros canales virtuales que compartan el mismo camino se establecen más rápidamente: La ruta ya está establecida, solo se debe ajustar reserva de recursos.



ATM (Asynchronous Transfer Mode)

- Usos actuales:
 - Parte de la arquitectura xDSL para multiplexado y conmutación.
 - Backbone de redes IP de algunos ISP.
- Algunos motivos de porqué no llegó a ser el estándar de-facto:
 - Se presentó como una competencia de IP, pero IP es más escalable y simple, y permite integración de tecnologías.
 - Las celdas de pequeño tamaño mostraron no ser una ventaja significativa para transportar tráfico.
 - Desarrollo de voz y video sobre IP.
 - Desarrollo e implementación de MPLS (trabaja en conjunto con IP y posee características superiores).

Ejemplos redes WAN de transporte: SONET/SDH

- Estándar de **capa física** para redes WAN de transporte de datos de fibra óptica.
 - Basado en TDM.
 - Inicialmente propuesto para transportar tramas SDn del sistema telefónico.
 - Luego empleado por los **ISPs** para **conectar enrutadores**¹ mediante enlaces de fibra óptica.
- SONET (Synchronous Optical NETwork): Estados Unidos y Canadá
- SDH resto del mundo.
- Topologías punto a punto, anillo.
- Tecnología síncrona: **Siempre transmite bits**, haya o no información para enviar.
 - Necesita separador de tramas.

¹Veremos que es un enrutador en la unidad 4: Capa de Red.



SONET/SDH

- Evolución de 3 generaciones:
 - 1° generación: Tramas T1/E1 para multiplexar llamadas telefónicas digitalizadas).
 - 2° generación: SONET y SDH (multiplex por división de tiempo).
 - 3° generación: Multiplex por división de longitud de onda (WDM: Wavelength Division Multiplexing y DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing). Porta tráfico IP, celdas ATM y tráfico SONET/SDH.
- También fueron diseñados para transportar:
 - Celdas ATM (interconectando conmutadores ATM).
 - Tramas PPP o HDLC (sobre los cuales puede transportarse IP e interconectar routers).
- Suelen referirse como Red de Transporte Óptica (OTN)

SONET/SDH

Jerarquía de señales:

SONET Designation	ITU-T Designation	Data Rate	Payload Rate (Mbps)
STS-1/OC-1	(SDH)	51.84 Mbps	50.112 Mbps
STS-3/OC-3	STM-1	155.52 Mbps	150.336 Mbps
STS-12/OC-12	STM-4	622.08 Mbps	601.344 Mbps
STS-48/OC-48	STM-16	2.48832 Gbps	2.405376 Gbps
STS-192/OC-192	STM-64	9.95328 Gbps	9.621504 Gbps
STS-768	STM-256	39.81312 Gbps	38.486016 Gbps
STS-3072		159.25248 Gbps	153.944064 Gbps

STS-N

STM-N/3

N*51.84 Mbps

N*50.112 Mbps

STS: synchronous transport signal (STS-1:: 810 octetos transmitidos cada 125 μ s (51.84 Mbps).

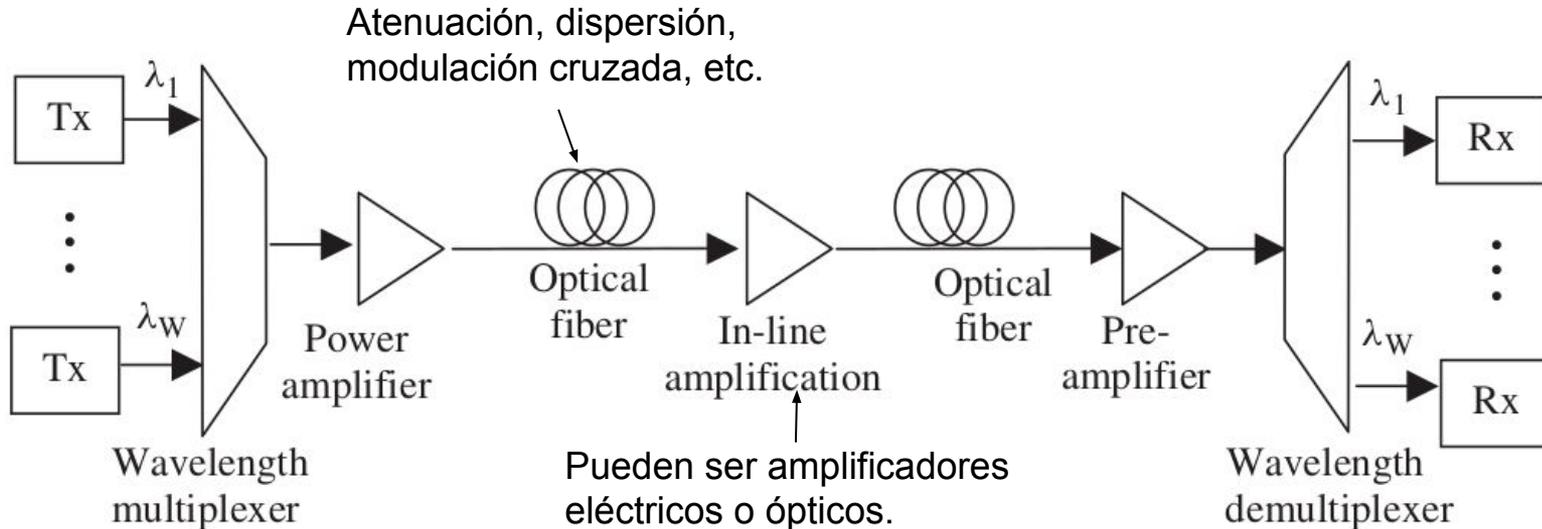
STM: synchronous transport module (STM)

OC: optical carrier (OC)

Nota: ATM fue originalmente diseñado para transportarse sobre tramas SONET STS-3

WDM y DWDM

- WDM (Wavelength Division Multiplexing) y DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).
 - Mismo concepto que FDM: Transportar distintas señales en diferentes longitudes de ondas o “colores”.
 - Conmutadores eléctricos o ópticos.



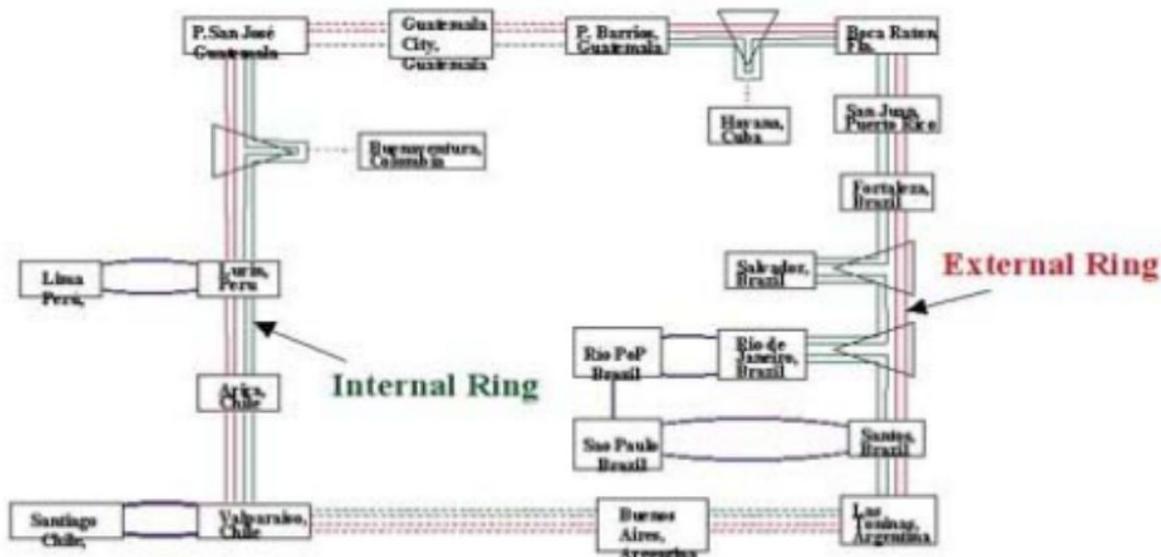
WDM y DWDM

- DWDM: Norma de ITU-T G.692, con longitudes de onda en torno a 1550 nm.
 - Menor atenuación y zona donde trabajan los amplificadores ópticos.

- Separación muy pequeña entre longitudes de onda (0.8 nm o 100 GHz).
- Conceptualmente no hay diferencia con WDM.

Channel code	λ (nm)						
18	1563.05	30	1553.33	42	1543.73	54	1534.25
19	1562.23	31	1552.53	43	1542.94	55	1533.47
20	1561.42	32	1551.72	44	1542.14	56	1532.68
21	1560.61	33	1590.12	45	1541.35	57	1531.90
22	1559.80	34	1550.12	46	1540.56	58	1531.12
23	1558.98	35	1549.32	47	1539.77	59	1530.33
24	1558.17	36	1548.52	48	1538.98	60	1529.55
25	1557.36	37	1547.72	49	1538.19	61	1528.77
26	1556.56	38	1546.92	50	1537.40	62	1527.99
27	1555.75	39	1546.12	51	1536.61	–	–
28	1554.94	40	1545.32	52	1535.82	–	–
29	1554.13	41	1544.53	53	1535.04	–	–

Ejemplo: Cable submarino SAM-1





Ejemplo: Cable submarino SAM-1

- Cable submarino SAM-1 (South America-1):
 - 25000 km. Año 2001.
 - 4 pares de fibra STM-64 (jerarquía SDH).
 - DWDM de 48 longitudes de onda.
 - Velocidad inicial: 40 Gbps (solo SDH).
 - Velocidad actual: 1.92 Tbsp (con DWDM-SDH).
 - Propiedad de Telefónica (España).
 - Equipamiento:
 - Porción submarina: TyCom
 - Porción terrestre: Nortel

Cable submarino más rápido (2021): Marea.

- Propiedad de Facebook, Microsoft, Telxius.
- 200 Tbps. 8 pares de fibras. 25 longitudes de onda.

Ejemplos redes WAN de acceso: protocolo PPP (Point-to-Point Protocol)

- **Capa enlace.**
- Servicio orientado a conexión.
- Puede transportar paquetes de varios protocolos a través de diferentes tipos de capas físicas punto a punto o por difusión.
 - Ejemplos: IP sobre SONET, IP sobre ADSL (estos dos son la aplicación más importante), IP sobre Ethernet, etc.
- Estandarizado por varios RFCs: RFC 1661 y 1662.
- Características que ofrece:
 - Entramado.
 - Detección de errores.
 - Mecanismo para negociar opciones con la capa de red.
 - Cifrado y compresión de datos.

Trama PPP

Bytes 1 1 1 1 a 2 Variable 2 a 4 1

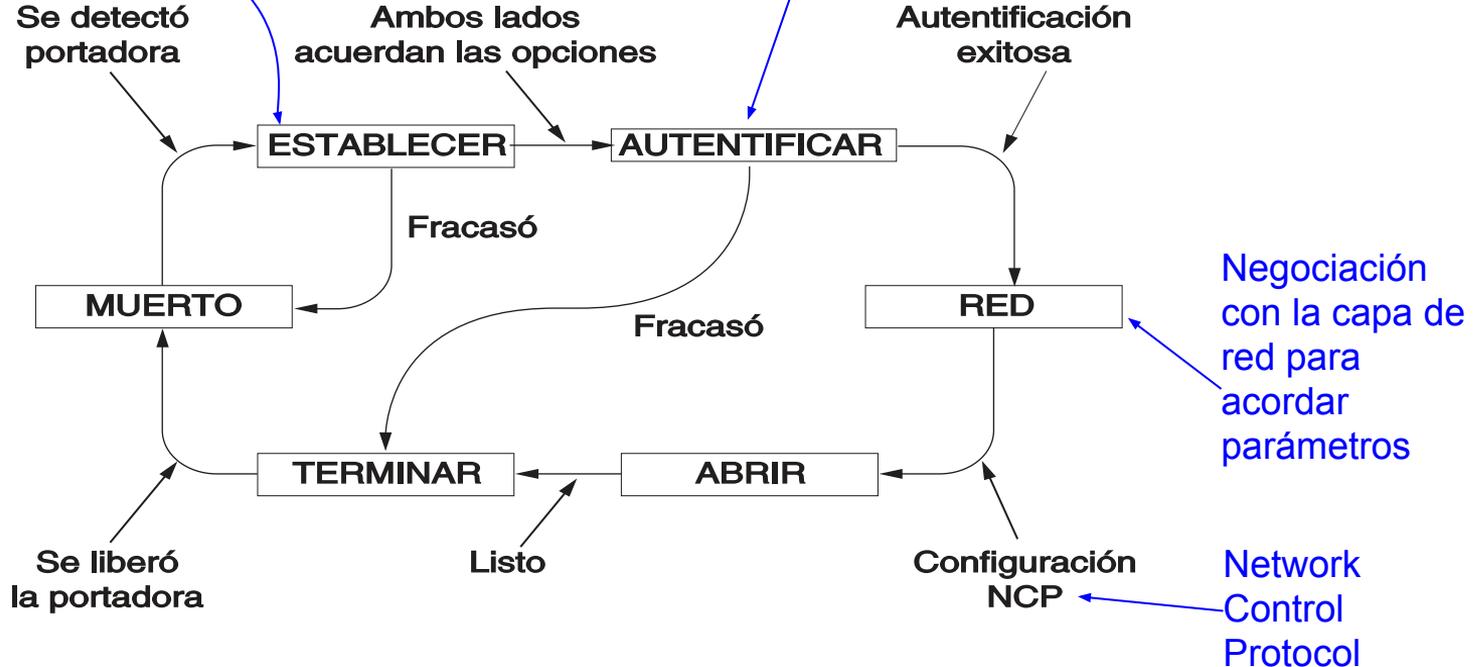
Bandera 01111110	Dirección 11111111	Control 00000011	Protocolo	Carga útil	Suma de verificación	Bandera 01111110
---------------------	-----------------------	---------------------	-----------	------------	-------------------------	---------------------

- Bandera (7E): Separan las tramas unas de otras (si la bandera aparece en la carga útil, se agregan secuencias de escape).
- Dirección:
 - Si se establece a FF, todos deben aceptar la trama (enlaces punto a punto).
- Control: varias opciones (tipo de trama, tamaño del campo suma de verificación, etc.)
- Protocolo: Indica el protocolo del paquete encapsulado en el campo carga útil.

Funcionamiento de PPP

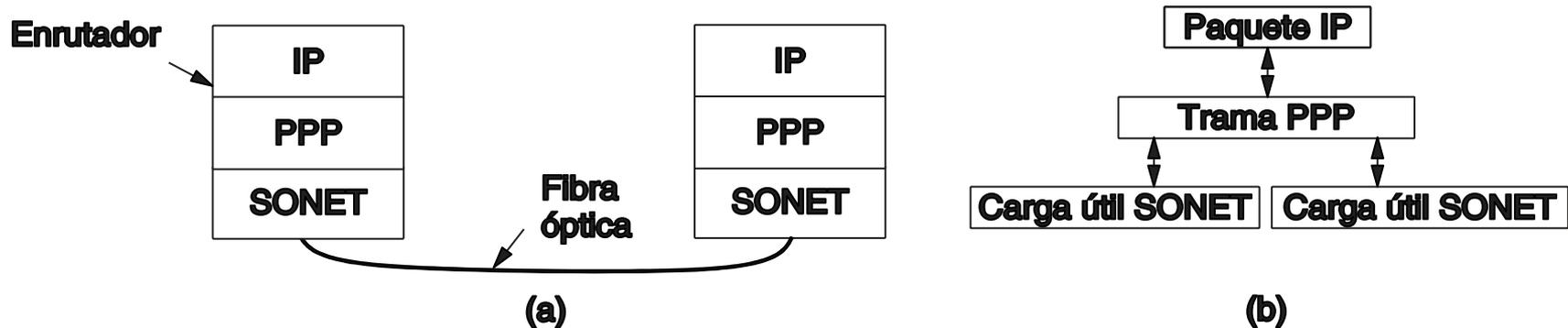
Ejemplo: protocolos de
autenticación CHAP o PAP
(se verá en la unidad 7)

Intercambio
de tramas de
configuración
para acordar
parámetros de
comunicación



Protocolo PPP sobre SONET

- Problema: ¿Cómo transportar paquetes IP (capa de red) de tamaño variable sobre SONET? (SONET transporta un flujo de bits continuo, haya o no datos para enviar).
- **Solución: PPP utiliza bytes de bandera si no hay datos para enviar y el byte dirección se establece a FF.**



Redes de última milla o redes de acceso

- Redes que permiten la conexión de las LAN de los clientes a las redes de transporte de datos (backbone) de los ISP.
- xDSL (Digital Subscriber Line)
 - **ADSL** (Asymmetric DSL).
 - HDSL (high data rate DSL).
 - **VDSL** (Very high-bit-rate Digital Subscriber Line). 20 Mbps simétricos o asimétricos. Combinado con FTTC.
 - SDSL (Symmetric DSL)
- Cable modem (DOCSIS: Data Over Cable Service Interface Specification).
 - Internet a través de cable coaxial de TV.
- Red de fibra óptica pasiva: xPON (Passive Optical Network)
 - APON: ATM Passive Optical Network.
 - EPON: Ethernet sobre redes ópticas pasivas. (Asia y Europa)
 - GPON: Gigabit-capable Passive Optical Network. (América)
- Redes WAN inalámbricas.



Ejemplos redes WAN de acceso: Módem telefónico y DSL (Digital Subscriber Line)

- Objetivo: Aprovechar cables telefónicos ya instalados para proveer Internet.
- Sucesor del Módem analógico: Mismas frecuencias para datos y voz (0 Hz a 4.0 KHz).
 - Requiere realizar una llamada telefónica para conectarse a Internet.
 - No se puede hablar y usar Internet al mismo tiempo.



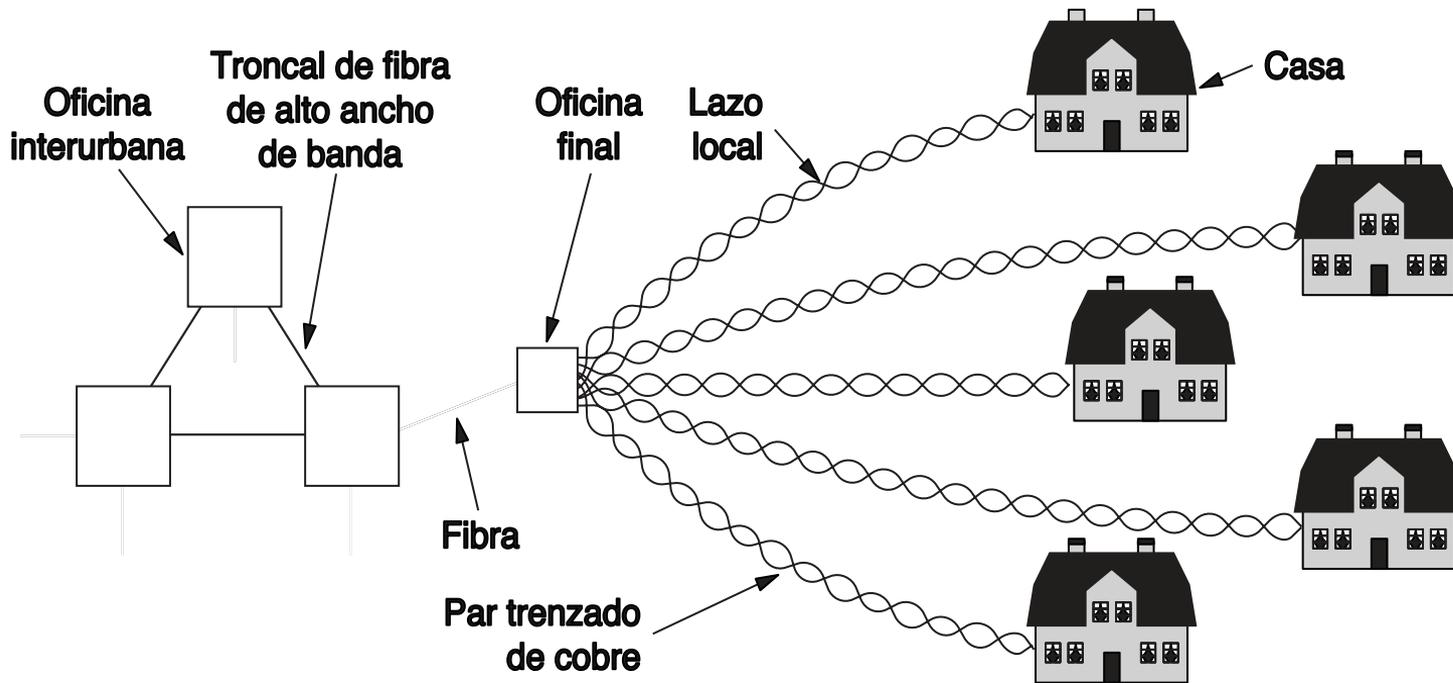


Ejemplos redes WAN de acceso: Módem telefónico y DSL (Digital Subscriber Line)

- DSL: Datos y voz se transmiten en diferentes bandas de frecuencia. (El sistema telefónico utiliza cables con capacidad de hasta 1 MHz para transmitir voz en el ancho de banda de 0 Hz a 4.0 KHz).
 - DSL transmite voz en la banda de frecuencias de 0 Hz a 4.0 KHz y datos en la banda de 25 KHz hacia arriba).
 - Se puede hablar y acceder a Internet al mismo tiempo.
 - Existen muchos tipos de DSL (Digital Subscriber Line), el más común es **ADSL** (Asymmetric Digital Subscriber Line).



Línea telefónica analógica y ADSL





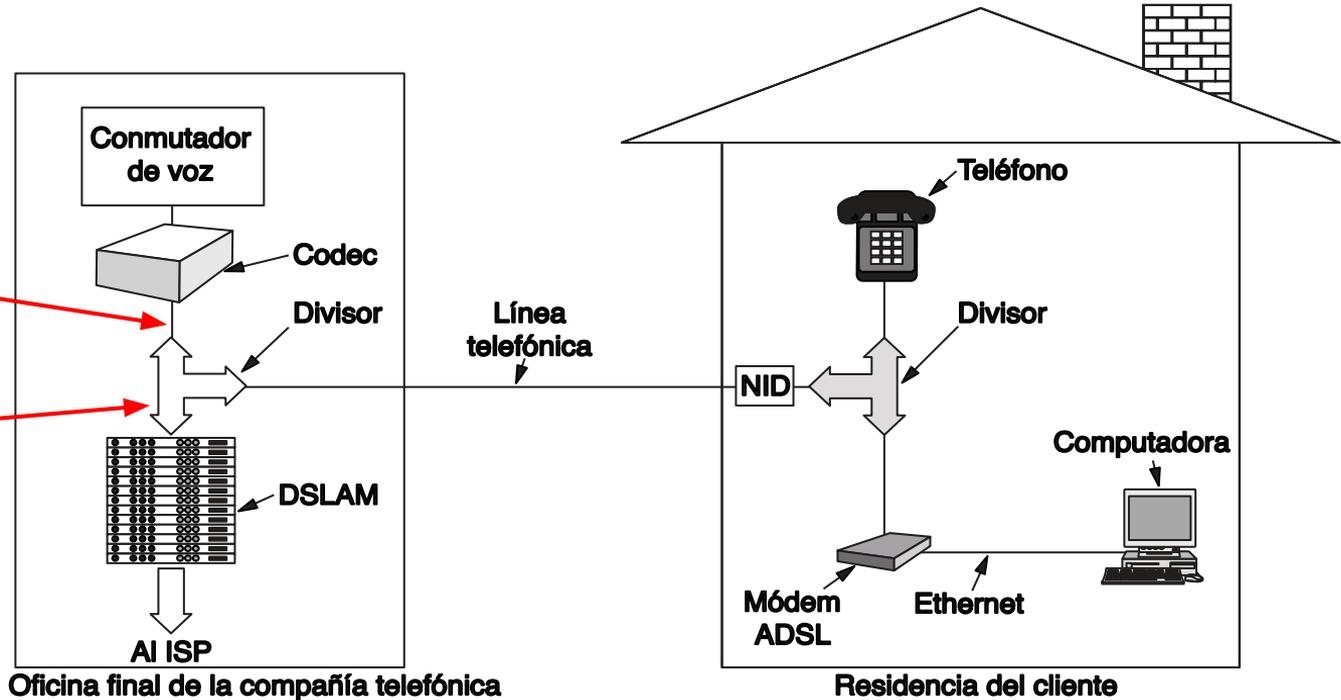
Conexión de los usuarios a los ISP: DSL (Digital Subscriber Line)

Ejemplo de FDM



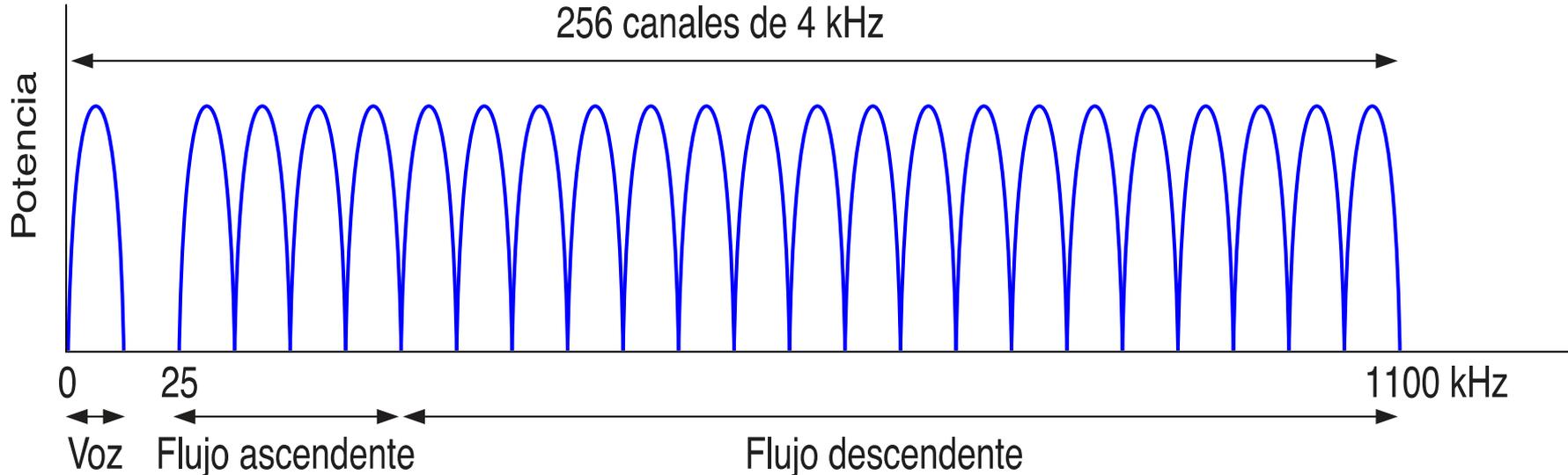
**Frecuencias entre
300-3400 Hz**

**Frecuencias por
encima de 25KHz**



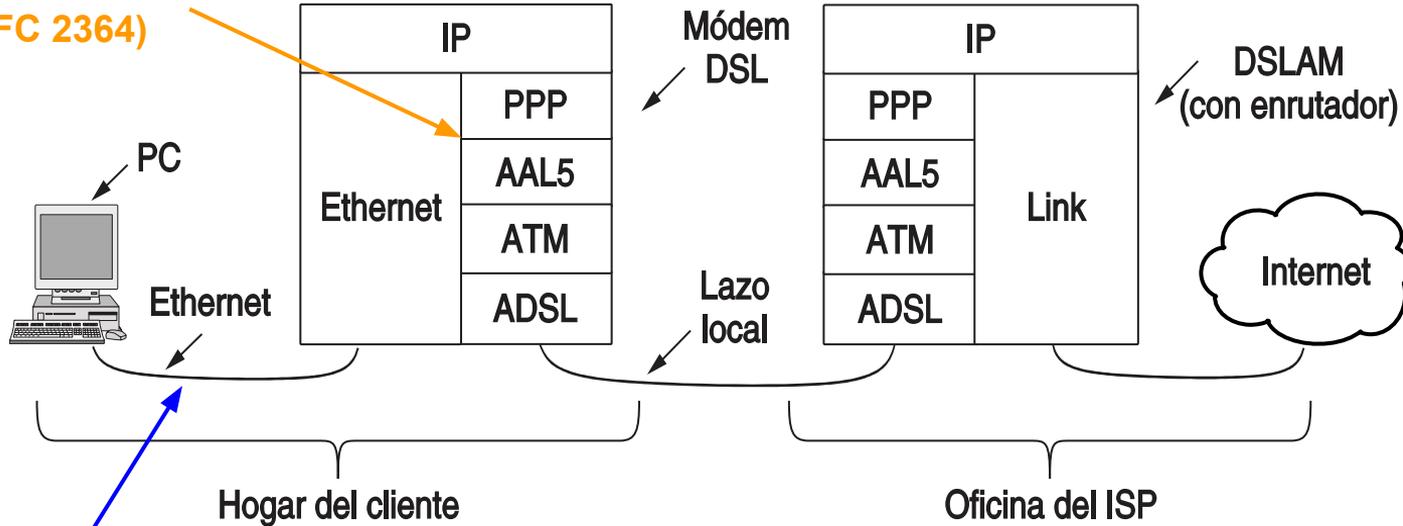
Frecuencias utilizadas en ADSL (Digital Subscriber Line)

- El estandar define 256 canales de 4KHz
- El proveedor elige que canales utilizar (depende de la calidad de los cables).



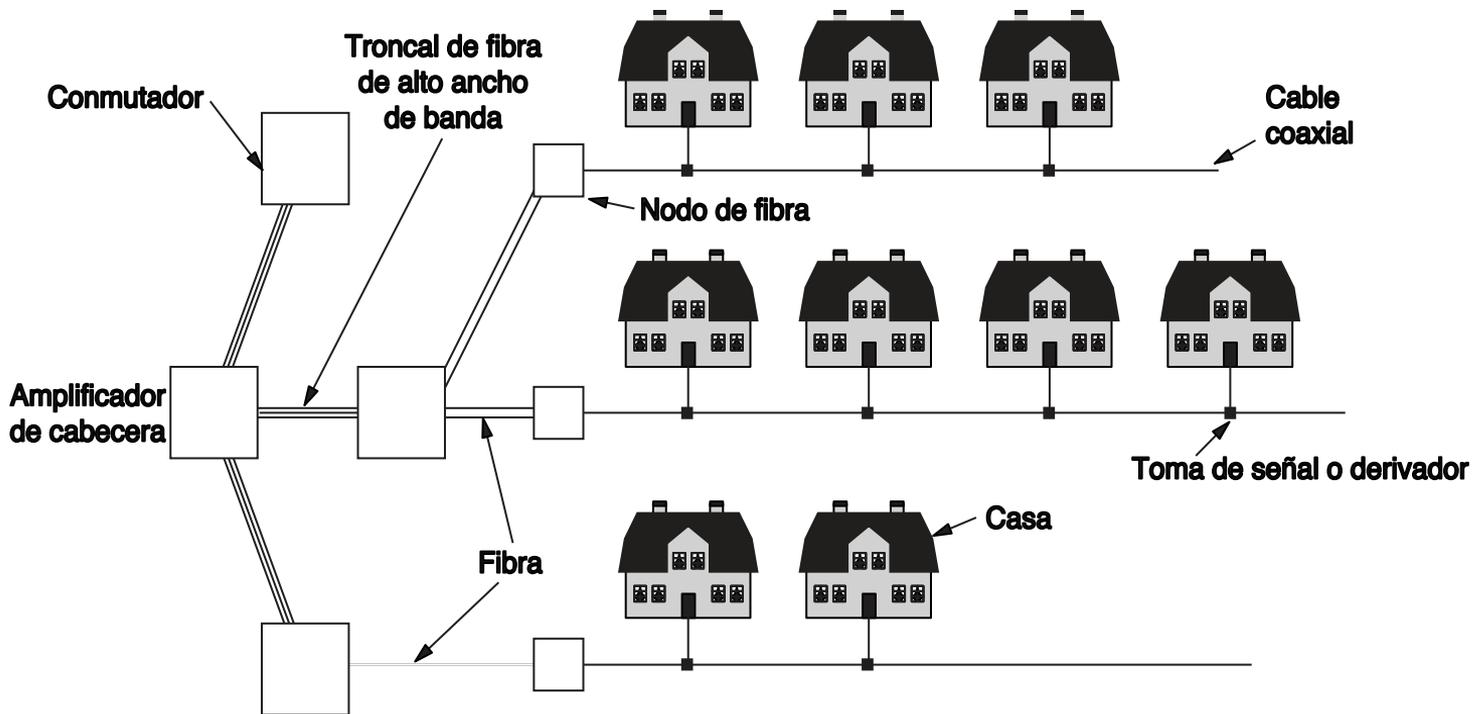
Funcionamiento de PPP sobre ADSL

**PPPoA: PPP over
ATM (RFC 2364)**

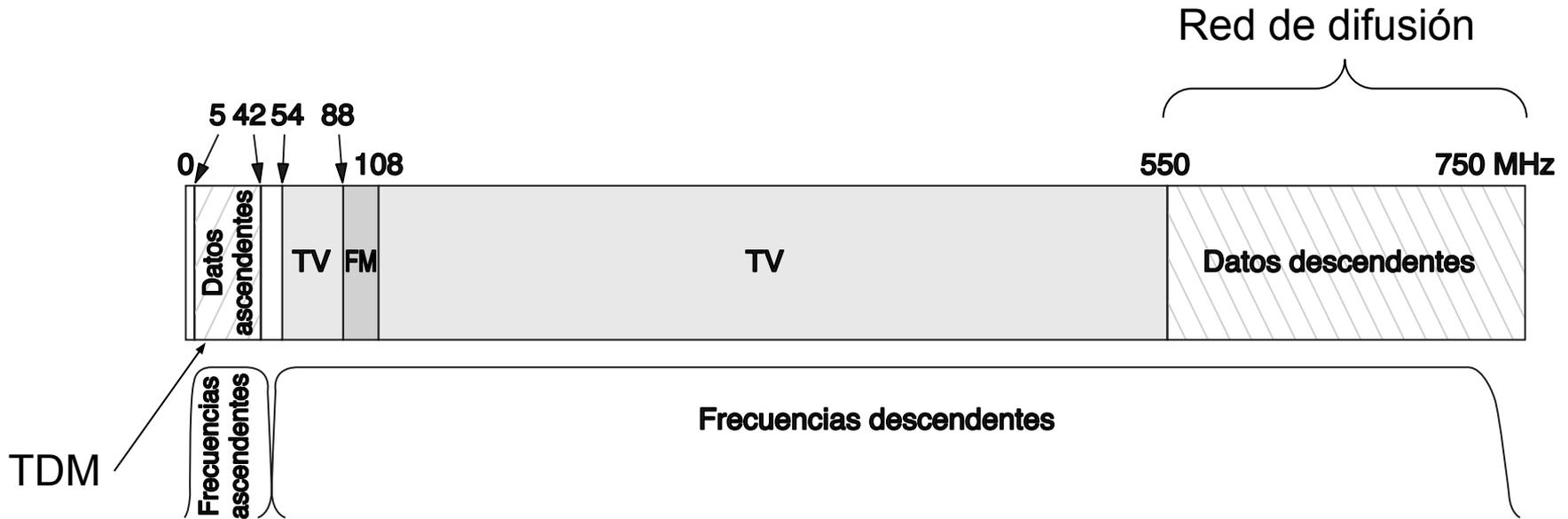


**Los métodos más
comunes son Ethernet
y IEEE802.11**

Ejemplos redes WAN de acceso: Cable coaxial (televisión por cable)



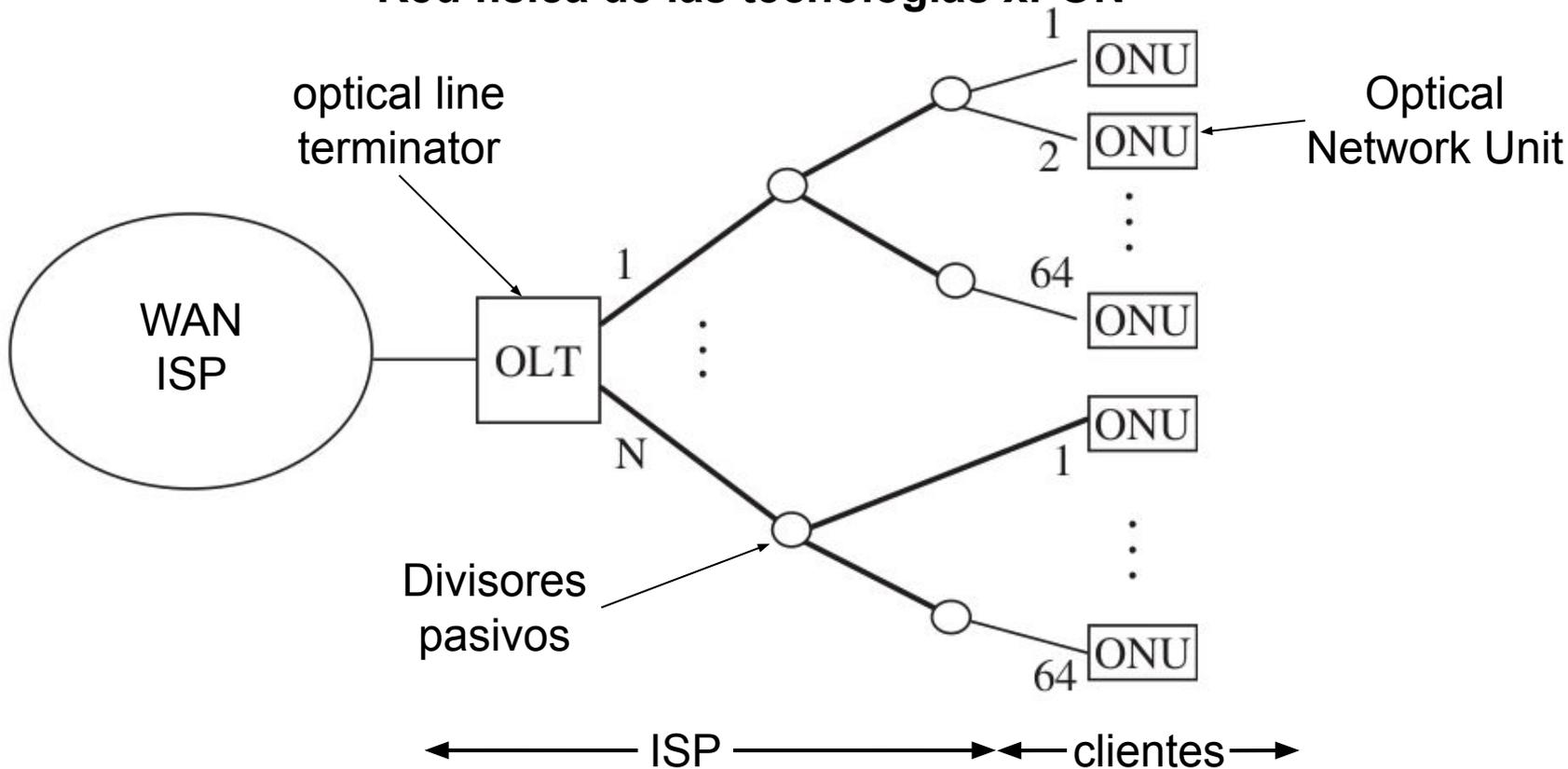
TDM y FDM en Internet por cable de TV



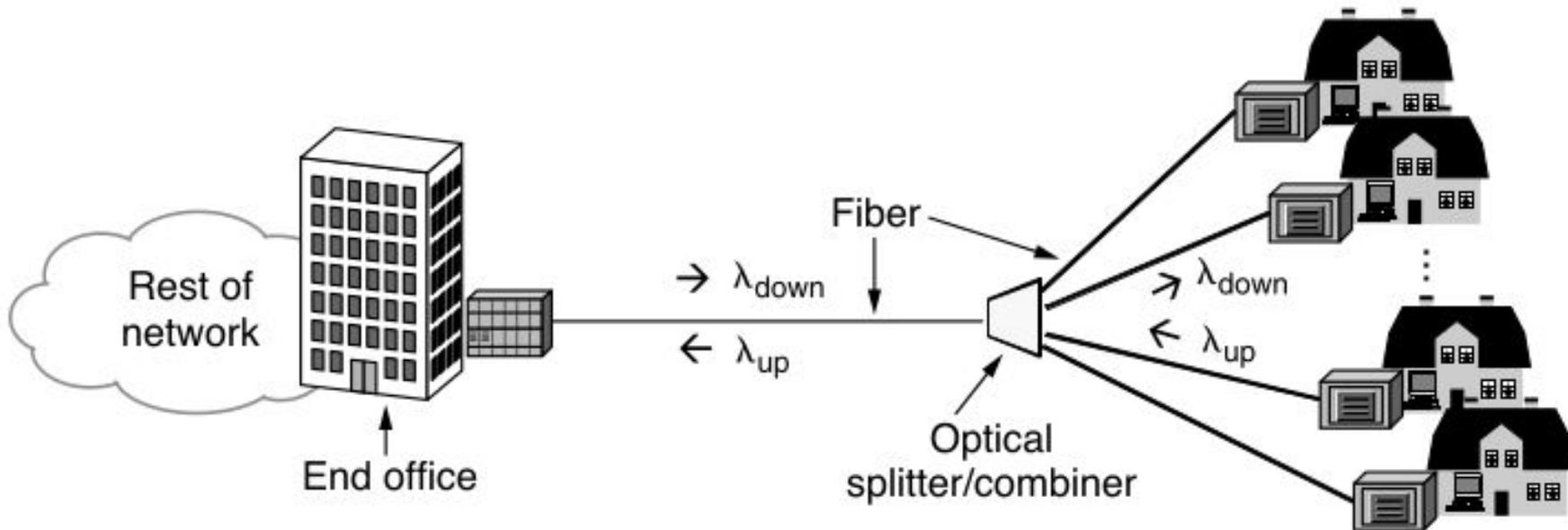
Redes de acceso de fibra óptica pasiva

- **xPON: Passive Optical Network.** Tecnología para última milla a través de fibra óptica.
 - **BPON: Broadband Passive Optical Network** (norma G.983)
 - **APON: ATM Passive Optical Network.**
 - **EPON: Ethernet sobre redes ópticas pasivas**
 - **GPON: Gigabit-capable Passive Optical Network.**
- **Redes pasivas** (sin componentes eléctricos o que entreguen energía).
- **Topología árbol.**
 - La señal generada en el OLT (Optical Line Terminator) se divide pasivamente en las ramificaciones del árbol hasta llegar a los clientes.
- **Downstream:** por broadcast (todos reciben lo que es enviado a un usuario).
- **Upstream:** todos los usuarios envían sus datos a través de un canal compartido.
 - Se necesita un mecanismo para evitar colisiones (se usa TDMA por permisos).

Red física de las tecnologías xPON



- Se emplea WDM para separar el downstream del upstream



Evolución de GPON

Standard	G-PON ITU-T G.984	XG-PON ITU-T G.987	XGS-PON ITU-T G.9807	NG-PON2 ITU-T G.989
Number of wavelengths per direction	1	1	1	4 to 8
Data rate(s) per wavelength downstream (Gbps)	2.5	10	10	10, 2.5
Data rate(s) per wavelength upstream (Gbps)	1.25	2.5	10	10, 2.5
Total data rate in the downstream and upstream (Gbps)	2.5/1.25	10/2.5	10/10	40/40 80/80

Años:

2003

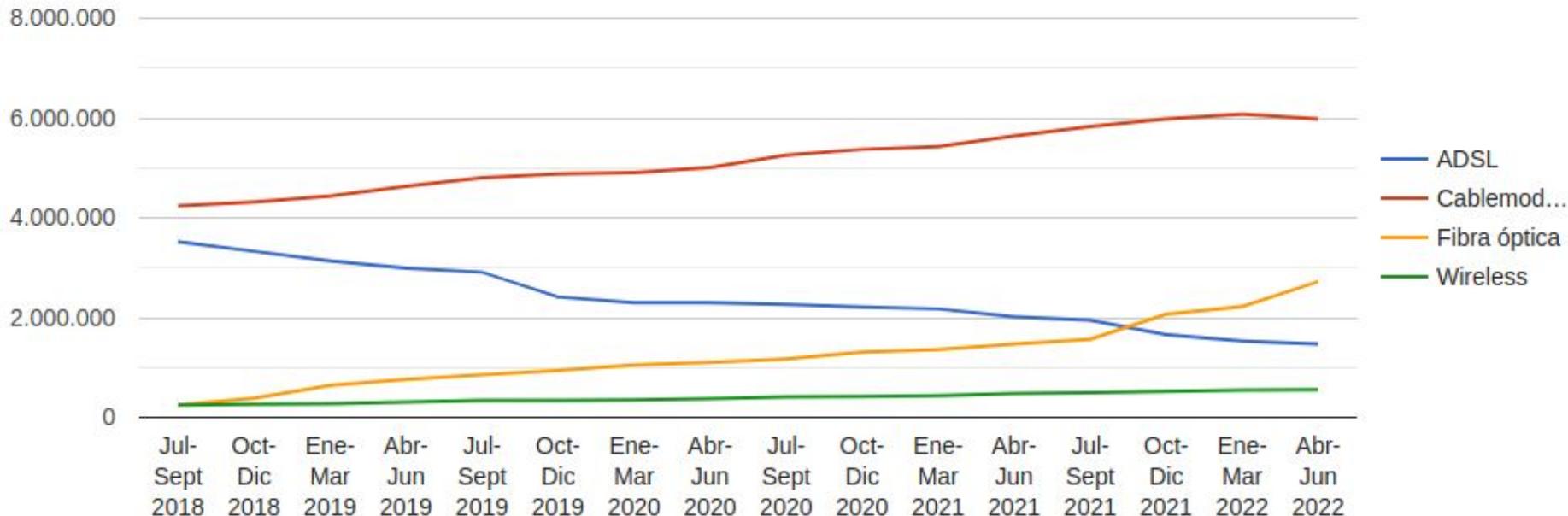
2010

2016

2020

Redes de acceso a Internet en Argentina

- ADSL fue la tecnología dominante antes de 2017.
- La caída en el uso de ADSL en Argentina es por el incremento de la fibra óptica y el cablemodem.



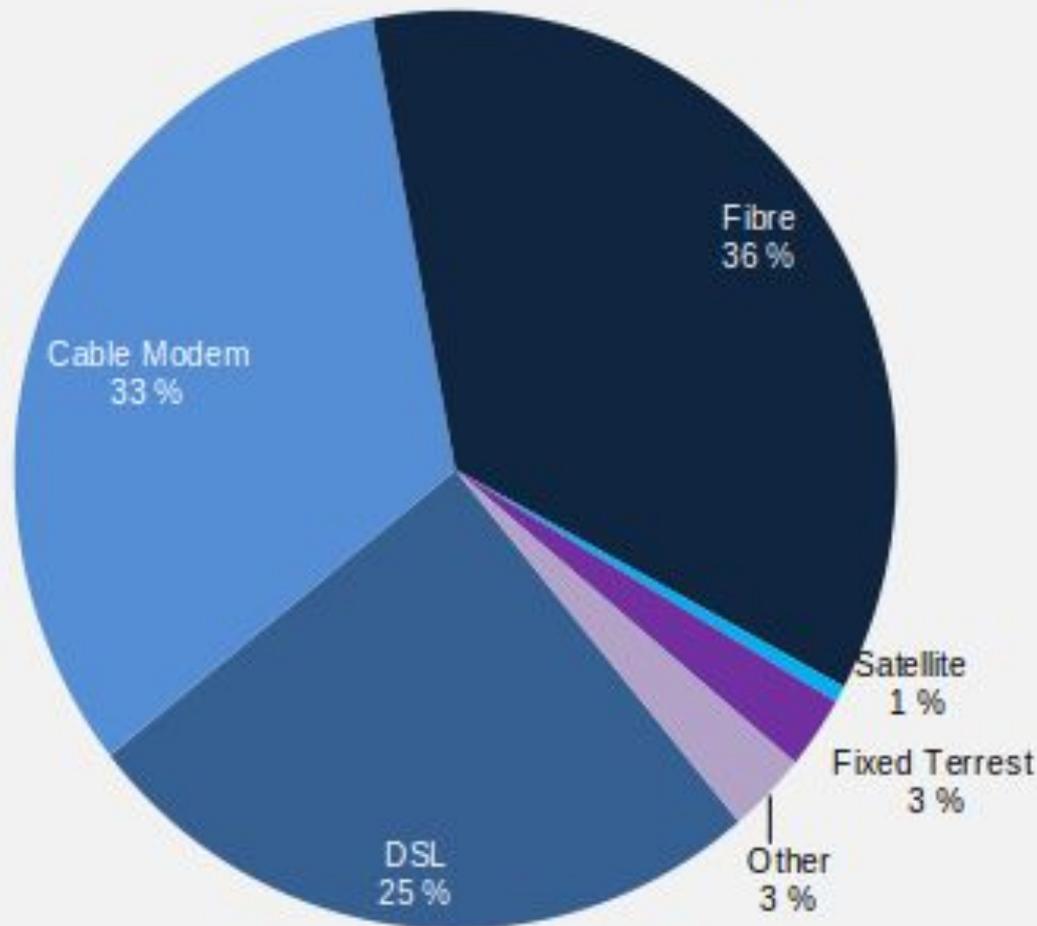


Redes de acceso a Internet en el mundo 2022

Fuente: OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development).

<https://www.oecd.org/digital/broadband/broadband-statistics/>

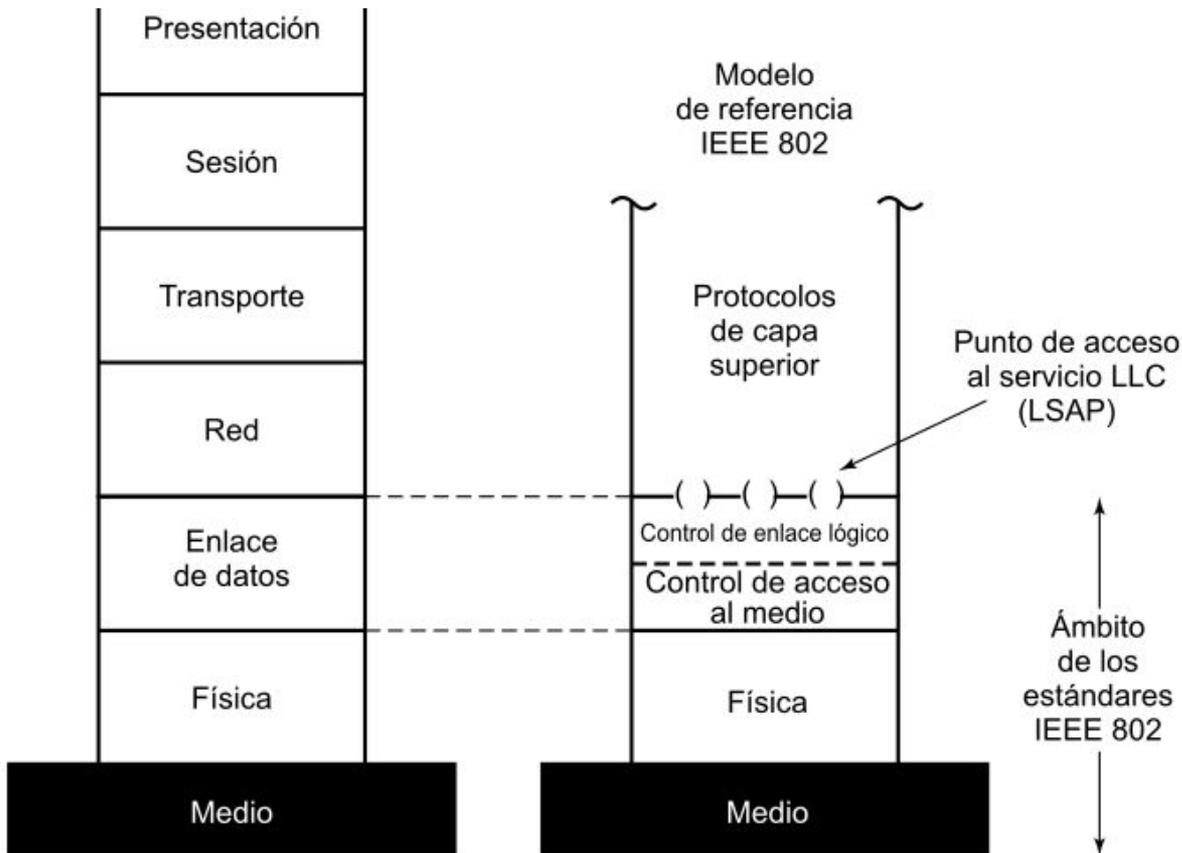
OECD Fixed broadband subscriptions, by technology, June 2022





Temario

- Capa Física.
- Capa enlace
- La subcapa MAC
- Ejemplos de redes WAN
- ● **Ejemplos de redes LAN**



Familia de normas IEEE 802
(Familia de normas para las capas físicas y de enlace en redes LAN)

- Control de enlace lógico:
 - Control de errores
 - Control de flujo
 - Interfaz capa superior
- Control de acceso al medio (MAC):
 - Entramado y desentramado.
 - Acceso al medio.

Ejemplo de redes LAN: Ethernet (IEEE 802.3)

- Red cableada.
- Dos tipos:
 - **Ethernet clásica** (casi en desuso).
 - **Ethernet conmutada** o “switchheada” (**la gran mayoría de las redes LAN cableadas son de este tipo**).
- Surge de un artículo científico¹ y tesis doctoral. Varias patentes de Xerox.
- Estándar IEEE 802.3: estándar para Ethernet.
 - **Al principio la estandarización no tuvo mucho éxito.**
 - Hoy día coexisten ambos estándares.
- Realiza **detección de errores**, pero no **corrige errores** (canal muy poco ruido).
 - Paquetes con errores son descartados.

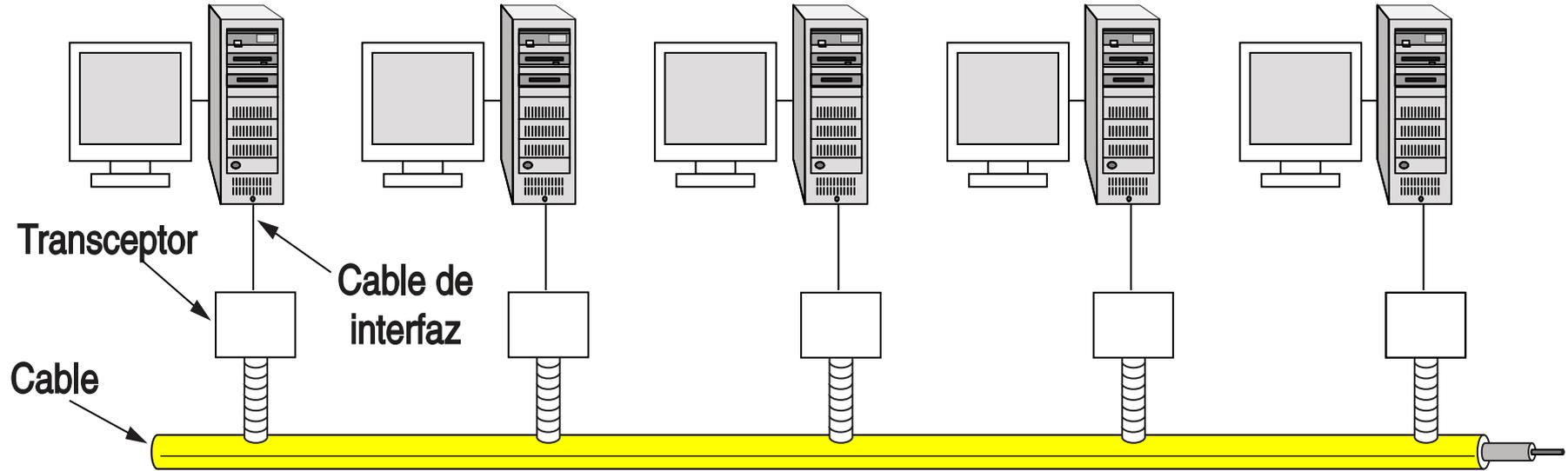
¹ Robert M. Metcalfe, David R. Boggs, “Ethernet: distributed packet switching for local computer networks”, Communications of the ACM Journal, Volume 19 Issue 7, July 1976



Ethernet clásica

- **Cable coaxial:**
 - Ethernet gruesa: Cable RG-8X de 6.1 mm de diámetro
 - Longitud máxima segmento 500 m
 - 100 máquinas por segmento de cable.
 - Ethernet delgada: Cable RG-58 de 5 mm de diámetro (más flexible).
 - Longitud máxima por segmento 185 m, 30 máquinas por segmento de cable.
- Repetidores para interconectar segmentos y ampliar el alcance de la red (máximo 4, ya que introducen demoras).
- **Código Manchester** versión inicial.

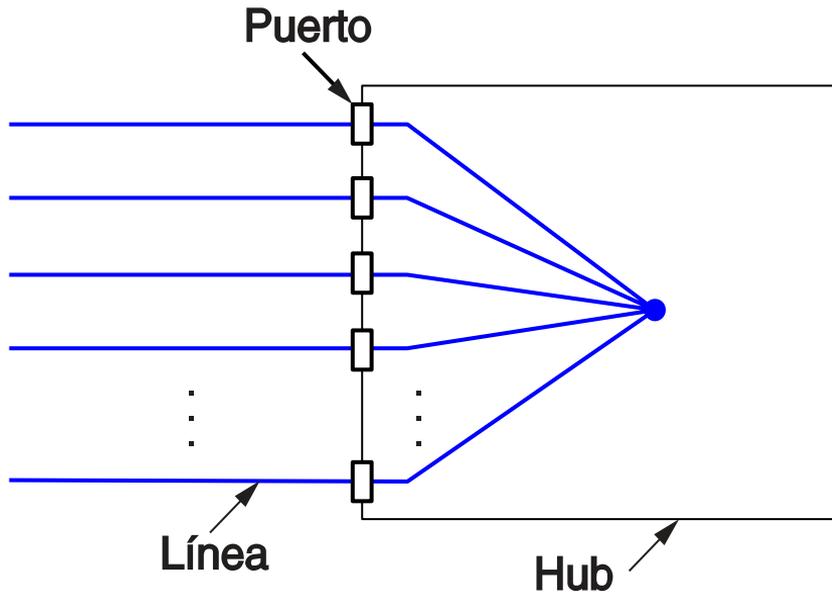
Ethernet Clásica



Evolución de la Ethernet clásica

- Durante los primeros años de Internet, todos los edificios, oficinas, casas tenían cables telefónicos (par trenzado) **y era común reutilizarlos para Ethernet**. Pero los cables telefónicos tienen **menor ancho de banda**.
 - Solución: **IEEE 802.3i (10BASE-T) introduce el par trenzado para Ethernet (reduce la longitud a 150 metros)**.
- **Ethernet clásica es half-duplex**. Solución:
 - **Full-duplex**: Dos pares trenzados (luego dos fibras ópticas o una fibra óptica con multiplex por división de longitud de onda).
- **Dificultad** de que un cable **una (o recorra) todas las máquinas**.
 - **Si el cable se daña, toda la red se ve perjudicada** (un número grande de máquinas pueden quedar desconectadas de Internet).
 - **Solución: Hub**

Primera modificación de la Ethernet clásica: Hub (concentrador)



- Los cables se unen dentro del Hub.
- Eléctricamente es igual a un cable coaxial que conecta todas las máquinas.
- Cables: pares trenzados telefónicos.
- **Ventaja: Si un cable se daña, solo sale de servicio una máquina, no un grupo de máquinas.**
- **Es más fácil la conexión.**
- **Desventaja: Sigue teniendo la misma cantidad de ruido de la Ethernet clásica.**



Evolución de la Ethernet clásica

- Necesidad de mayor velocidad. Soluciones:
 - Introducción de **Fibra óptica** (100Base-FX.)
 - Mejoras al cableado:
 - Cable UTP categoría 3: 100Base-T4.
 - Cable UTP categoría 5: 100Base-TX.
 - Utilización de **más de dos pares trenzados (4,6 u 8)**, dividiendo el flujo de bits en varios flujos.
 - Codificación **4B/5B** en lugar de Manchester (menos transiciones).
- Necesidad de compatibilidad: Nuevas versiones son compatibles con versiones anteriores
 - Las placas de red pueden realizar autonegociación.

Comparación código 4B/5B vs Manchester

- Objetivo: Recuperar el reloj a partir de los datos
 - Objetivo adicional código 4B/5B: Detección de errores.

Código 4B/5B: secuencias de 4 bits se transforman

en secuencias de 5 bits:

$2^4=16$ $2^5=32$

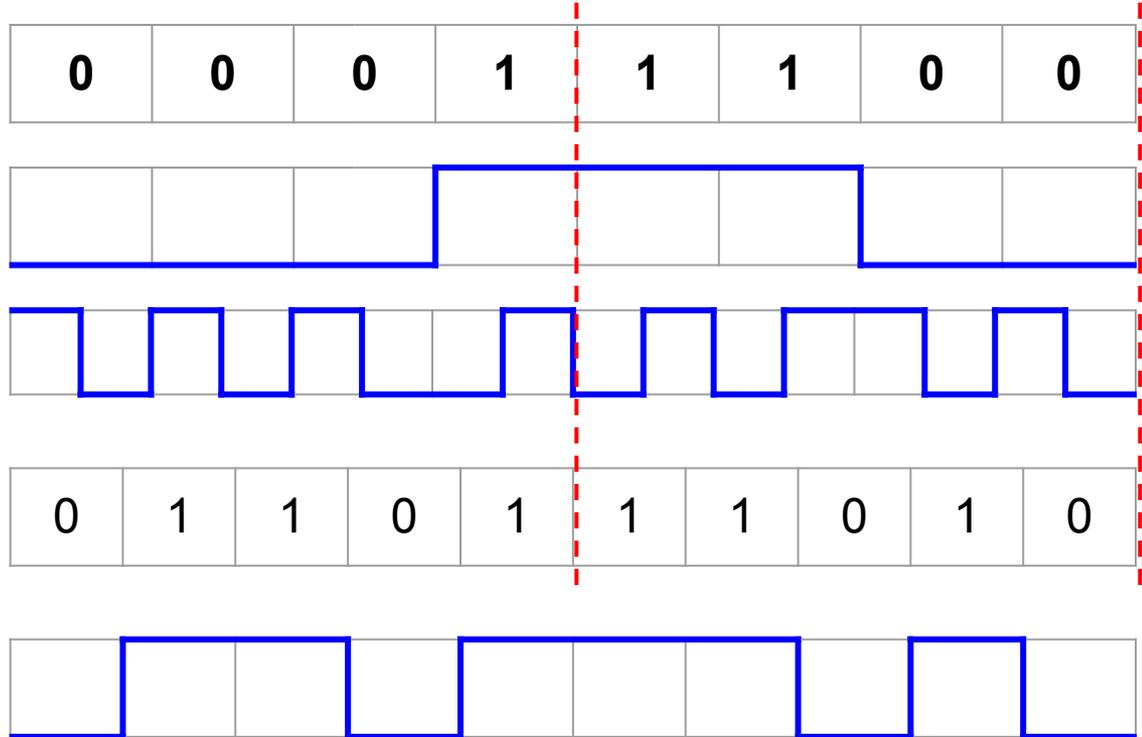
0000 -> 01010

0001 -> 01101

.....

1100 -> 11010

**Ventaja adicional de
4B/5B: Permite detectar
errores**



Ethernet: convenciones de nombres (resumen)

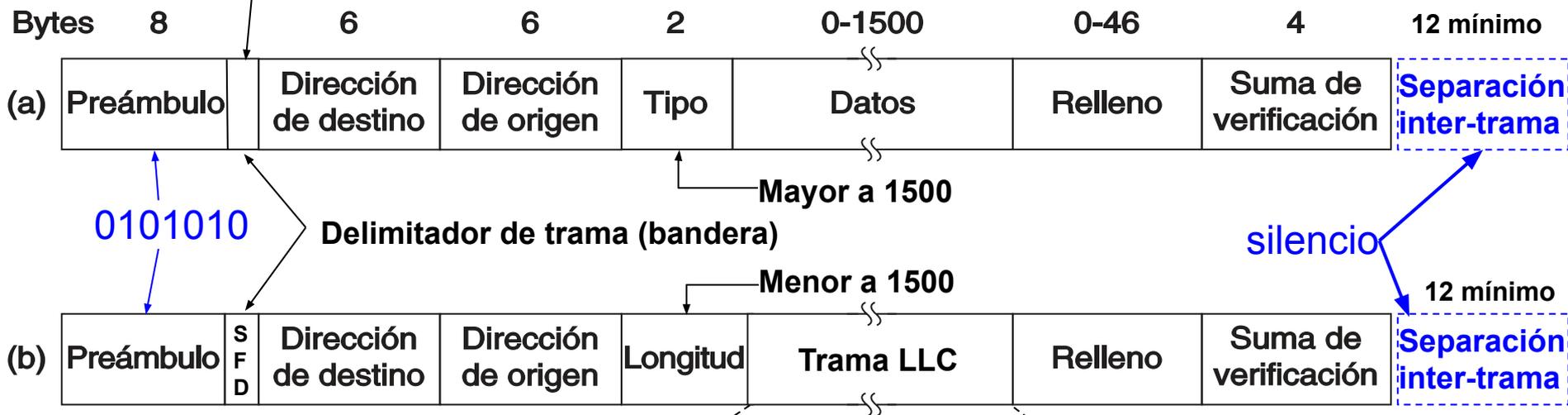
- **Número:** indica velocidad en Mbps (ejemplo: 10, 100, 1000, etc.)
- **Banda de transmisión:**
 - Base: banda base
 - Pass: Banda pasante
- **Letras que indican medio:**
 - T (Twisted pair) par trenzado.
 - S,L,E,F o Z: distintos tipos de fibra óptica.
 - B: fibra óptica bidireccional (multiplex por división de longitud de onda).
- **Letras que indican codificación:**
 - X: 8B/10B (o 4B/5B según versión)
 - R: 64B/66B
 - Ninguna letra: Manchester



Ethernet: convenciones de nombres (resumen)

- Cada tipo de red posee características especiales no implícitas en el código:
 - Ejemplo:
 - Algunas permiten hubs, otras no.
 - Algunas utilizan control de flujo, otras no.
- Ejemplos:
 - 10Base-T: 10 Mbps de velocidad, transmisión en banda base, par trenzado, codificación Manchester.
 - 100Base-TX: 100 Mbps de velocidad, transmisión en banda base, par trenzado, codificación 4B/5B.
 - 1000Base-SX: 1000 Mbps de velocidad, transmisión en banda base, fibra óptica, codificación 4B/5B.
 - 10GBASE-SR: 10Gbps de velocidad, transmisión en banda base, fibra óptica, codificación 64B/66B.

Delimitador: 11 **Trama Ethernet (Ethernet II) y IEEE 802.3**



(a) Trama Ethernet

(b) Trama IEEE 802.3

Encabezado LLC

Trama Ethernet

- Preámbulo: Secuencia **1010101010...**, permite sincronizar relojes.
- Delimitador de trama (bandera): último byte del preámbulo, **1010101011**.
 - En IEEE 802.11 se llama SFD (Start of Frame Delimiter)
- Dirección destino: es una red de difusión, es necesario indicar dirección destino (6 bytes).
- Dirección origen: 6 bytes.
- Tipo (**Ethernet**): Indica el tipo de datos del campo datos. Así la capa de red sabe cómo tratar estos datos (a qué protocolo de red entregárselo).
- Longitud (IEEE 802.3): Longitud del campo Datos.
- Relleno: La trama necesita al menos 64 bytes para que CSMA/CD funcione (tamaño mínimo $> 2\tau$).
- Separación inter-trama (IPG o InterPacket gap): separación mínima entre tramas: 070707070707..... (hexadecimal.)



Diferencia entre Ethernet y IEEE 802.3

- **Problema de IEEE 802.3: no tiene un campo tipo datos.**
 - **El software de la capa de red no sabe cómo procesar los datos.**
 - Solución propuesta por IEEE:
 - Crear un protocolo que opere sobre IEEE 802.3 (tipo LLC).
 - Definir una trama LLC con un encabezado de 8 bytes.
 - Dos bytes del encabezado conforman el “tipo de datos”.
- **Unificación entre Ethernet y IEEE 802.3: Aproveché que los valores del “Tipo” en Ethernet eran mayores a 1500 y que la longitud máxima del campo datos es 1500.**
 - Si el campo “Tipo/Longitud” es menor a 1500, la trama es IEEE 802.3 y el campo “Tipo/Longitud” contiene la longitud de la trama y el campo datos contiene una trama LLC.
 - Si el campo “Tipo/Longitud” es mayor a 1500, la trama es Ethernet, el campo “Tipo/Longitud” contiene el tipo de datos en el campo Datos (protocolo capa red), y el campo Datos tiene un paquete de datos de capa de red.

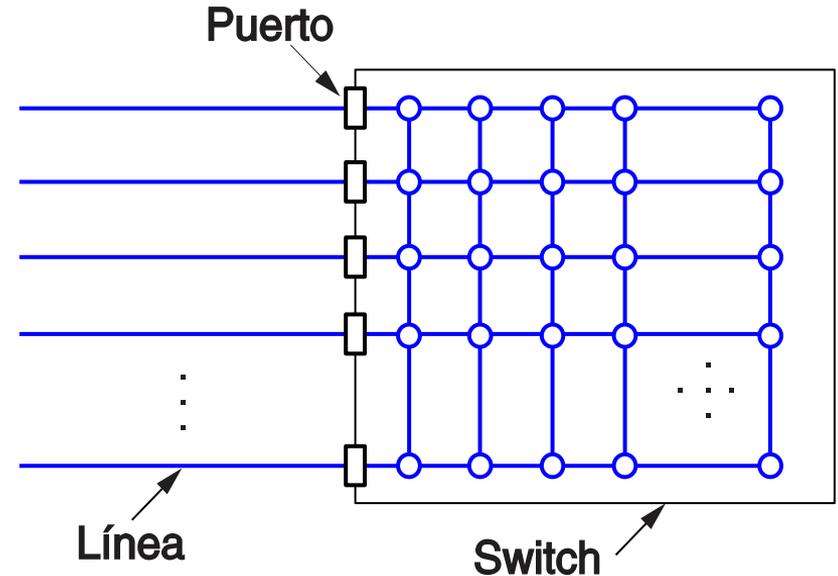


Direccionamiento MAC (Ethernet y WiFi)

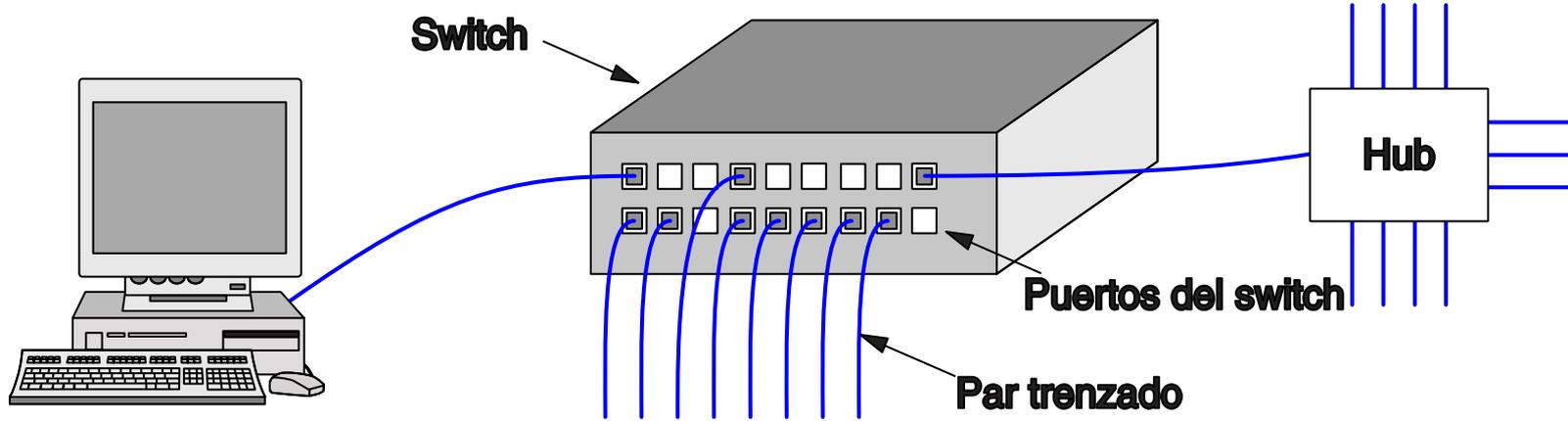
- **Direccionamiento MAC** (estandarizada por IEEE).
- 48 bits (6 bytes, 2^{48} direcciones o $2,8 \cdot 10^{14}$):
 - Representación: **D4:C9:EF:80:E1:3E**
 - Cada interfaz Ethernet tiene una dirección **única en el mundo**.
 - Los primeros 3 bytes los asigna IEEE a empresas u organizaciones que fabrican interfaces Ethernet.
 - Los últimos 3 bytes los asignan las empresas u organizaciones que fabrican placas Ethernet.
- Tipo de direccionamiento: Se define con el primer bit:
 - Si comienzan con 0: es una dirección específica.
 - Si comienzan con 1: multicast o broadcast (todos unos).

Ethernet conmutada: Switch (conmutador)

- Cuando llega una trama Ethernet a un puerto, el switch la envía únicamente al puerto donde está conectada el destino.
- Los puertos no están eléctricamente conectados. **Menor ruido.**
- Pueden enviarse y recibirse más de una trama al mismo tiempo **sin colisionar.**
- Si se envían dos tramas al mismo puerto destino, el switch incluye **buffers de memoria** para almacenar las tramas y enviarlas de una a la vez.

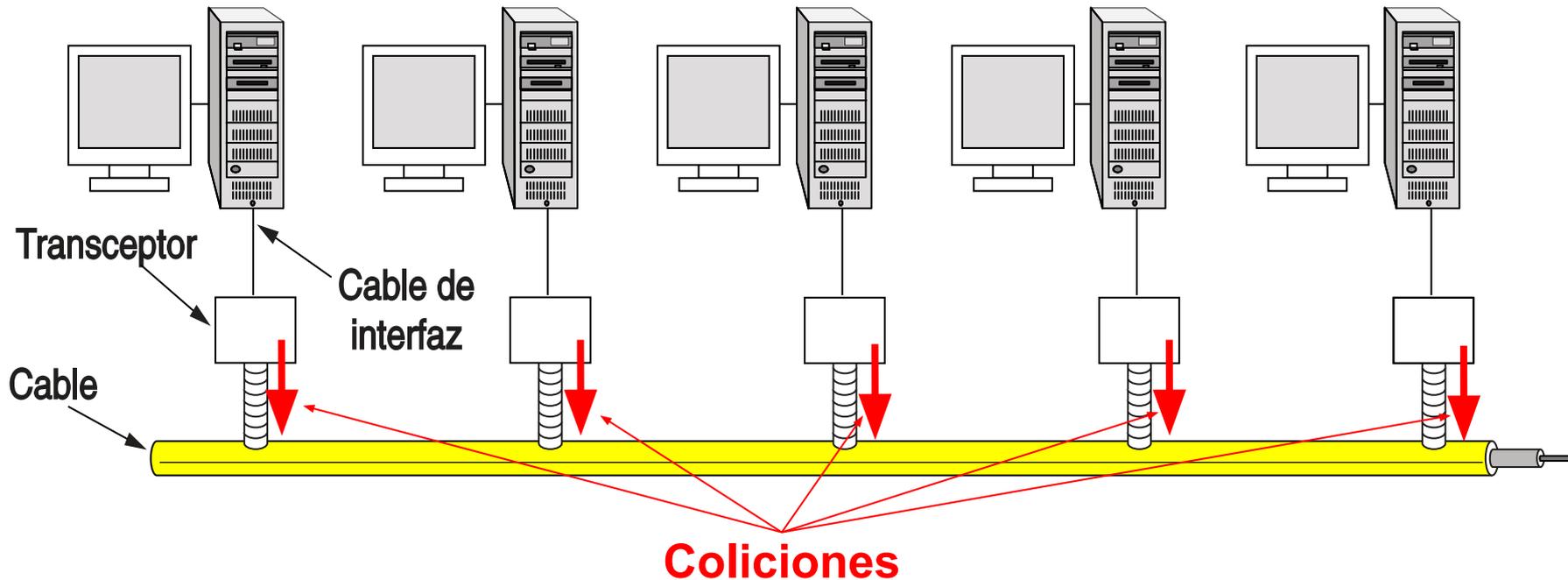


- Con un Switch, pueden conectarse Hub y otros switches en cascada.



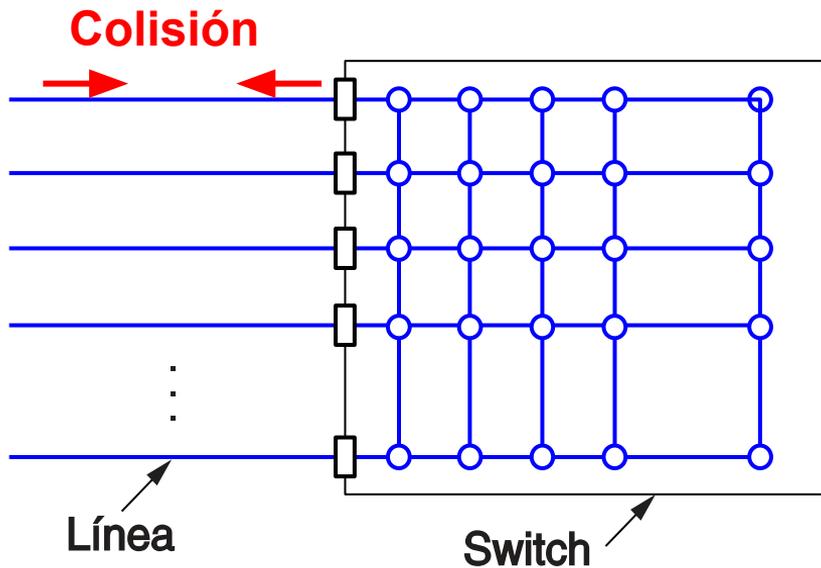
Los Switches reducen significativamente las colisiones, permiten enviar varias tramas al mismo tiempo y brindan mayor seguridad respecto a las Ethernet clásicas.

Acceso múltiple en Ethernet clásica

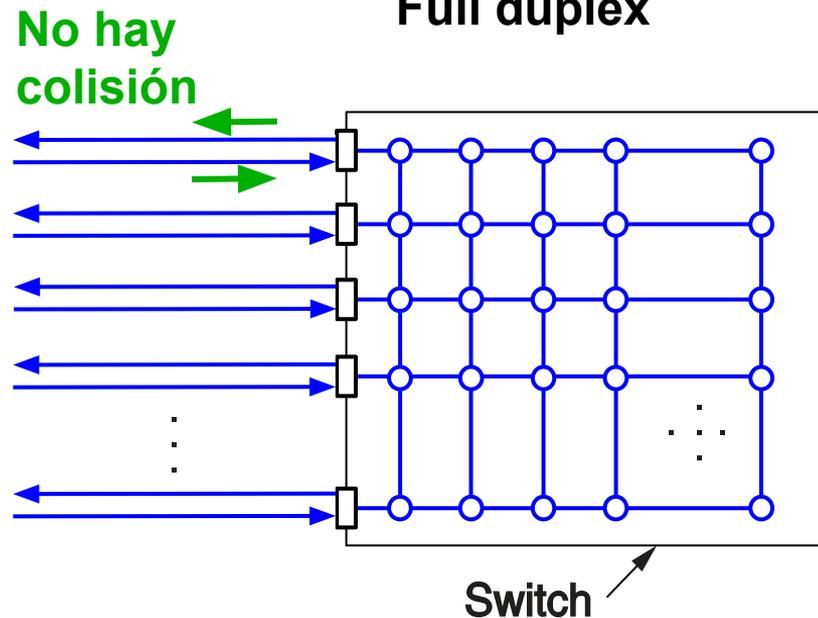


Acceso múltiple en Ethernet conmutada

Half duplex



Full duplex



Algoritmo de retroceso exponencial binario de Ethernet.

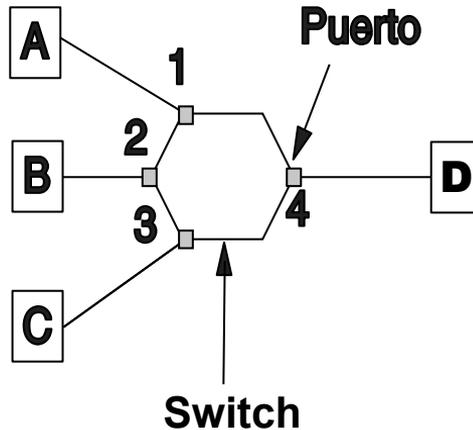
- Ethernet usa CSMA/CD persistente-1 con **contención ranurada**, con un agregado.... **Retroceso exponencial binario**.
- **Problema: alta probabilidad de colisión**.
- Se definen **ranuras de tiempo de contención** cuya duración es igual al tiempo de propagación ida y vuelta en el peor de los casos (2τ).
- Luego de una **primera colisión**, la máquina espera **0 o 1 ranuras** de tiempo (aleatoriamente) antes de volver a intentar (primer reintento).
- Si colisiona nuevamente (con la misma u otra máquina). Entonces esperarán **0, 1, 2 o 3** ranuras de tiempo antes de volver a intentar (segundo reintento).
- Si vuelve a colisionar, esperan **0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 o 7** ranuras de tiempo antes de volver a intentar (tercer reintento).
- Si colisiona por “n” vez, esperan un número de ranuras de tiempo entre 0 y $2^n - 1$ (n-esimo reintento).

Retroceso exponencial binario de Ethernet.

- Si se llega a 10 intentos, se establece el tiempo de espera aleatorio entre 0 y $2^{10} - 1 = 1023$ ranuras de tiempo (1023 es el valor máximo).
- Si se llega a 16 intentos sin lograr entregar la trama, se informa a la capa superior que ocurrió un error.
- **Ventaja: Se adapta dinámicamente al número de máquinas.**
 - Pocas máquinas: **con n pequeño funciona bien**, pero con **n grande habría retardos muy grandes.**
 - Muchas máquinas: **con n pequeño colisionarán muchas veces**, pero con **n grande funcionará bien.**
 - **El valor adecuado de n máximo depende del tamaño de la red, y el protocolo converge dinámicamente al valor óptimo.**
- Es también utilizado en otras áreas de las ciencias de la computación: scheduling de hilos, aplicaciones cliente-servidor, etc.
- **Desventaja: Estaciones que trasmite poco tendrán prioridad.**

Asignación de puertos

¿Cómo sabe el Switch por cual puerto enviar un dato para que llegue al destino?



- Necesita saber **a qué puerto** enviar un dato para que **llegue a destino**.
- Las computadoras al conectarse envían mensajes.
- Los switches aprenden a qué puerto está conectada cada máquina (dirección MAC).
- Esa información permite unir diferentes tipos de redes Ethernet.

Ejemplo de redes LAN: Capa física de IEEE 802.11 (WiFi)

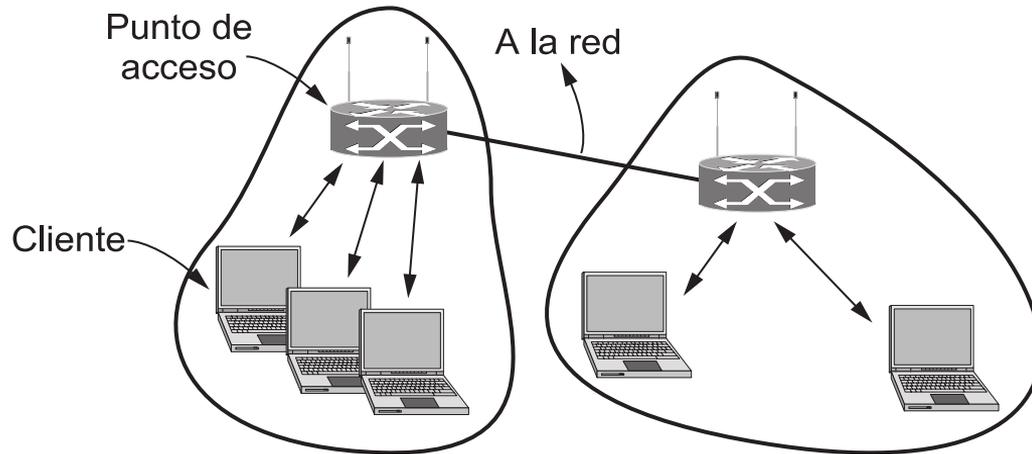
Estándar para la capa física y subcapa MAC para redes LAN inalámbricas.

Modos de funcionamiento:

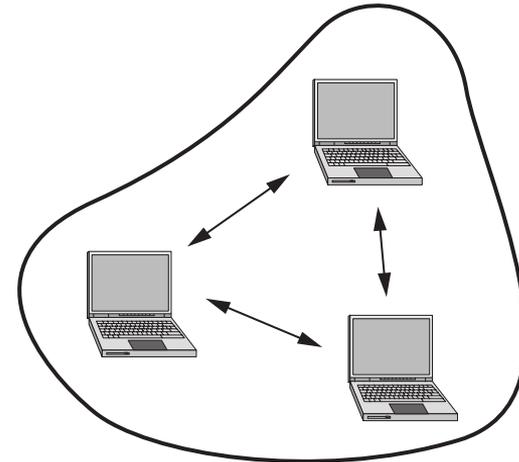
- **Infraestructura:**
 - Todos los dispositivos se conectan a un **Access Point**. (AP)
 - El AP puede conectarse a otra red (usualmente Internet).
 - El AP puede tener funcionalidad de enrutador.
 - Todos los dispositivos se comunican a través del AP.
- **Ad Hoc:**
 - No hay AP.
 - Las computadoras pueden comunicarse unas con otras punto a punto.

Ejemplo 3: IEEE 802.11

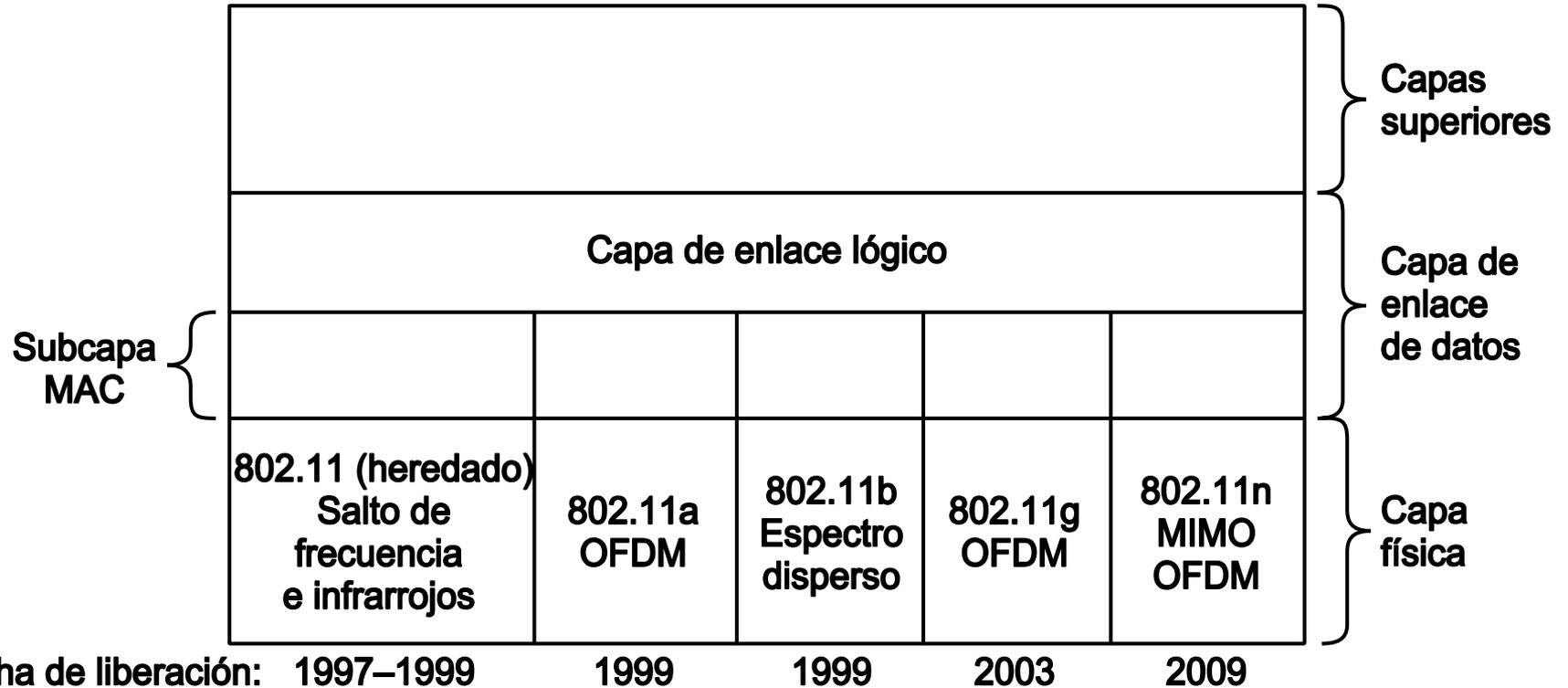
Modo Infraestructura



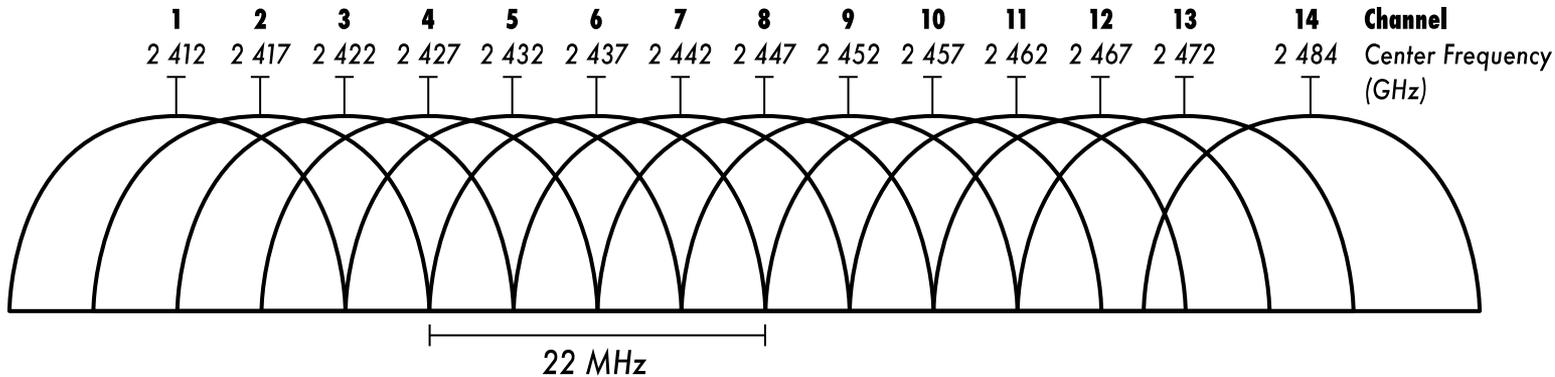
Modo Ad Hoc



Capas Enlace y Física IEEE 802.11



IEEE 802.11 Canales 2.4 GHz



- 2.4 GHz: 14 canales de 20 MHz superpuestos (3 canales no superpuestos)
- 5 GHz: 181 canales de 20 MHz (21 canales de 20 Mhz no superpuestos)
 - **Diferencias sobre qué canales pueden utilizarse en cada país**
- *Herramientas de análisis: LinSSID (Linux), WiFi Analyzer (Android)*

Capa enlace de IEEE 802.11

- Control de Flujo + retransmisión de tramas erróneas: **protocolo de parada y espera** con número de secuencia (latencia muy baja)
- Problema de un canal inalámbrico: **Mucho ruido -> Alta probabilidad de errores.**
- Soluciones:
 - Detección de errores + códigos de corrección de errores + retransmisión.
 - Reducir tasa de bits.
 - Señal débil -> Tasa de transmisión baja
 - Señal fuerte -> Tasa de transmisión alta
 - Fragmentar tramas.

¹Teorema de Shannon: Tasa de datos = Ancho de banda * $\log_2 (1 + S/N)$

Capa enlace de 802.11: Fragmentación de tramas

- Si p es la probabilidad de error en un bit (valor conocido, depende del canal).
- $(1-p)$: Probabilidad de entregar correctamente 1 bit.
- $(1-p)^n$: Probabilidad de entregar correctamente una trama de n bits.

Ejemplo:

$$p=1 \times 10^{-4} ; n=12144 \rightarrow (1-p)^n=0.3$$

$$p= 1 \times 10^{-4} ; n=4048 \rightarrow (1-p)^n=0.667$$

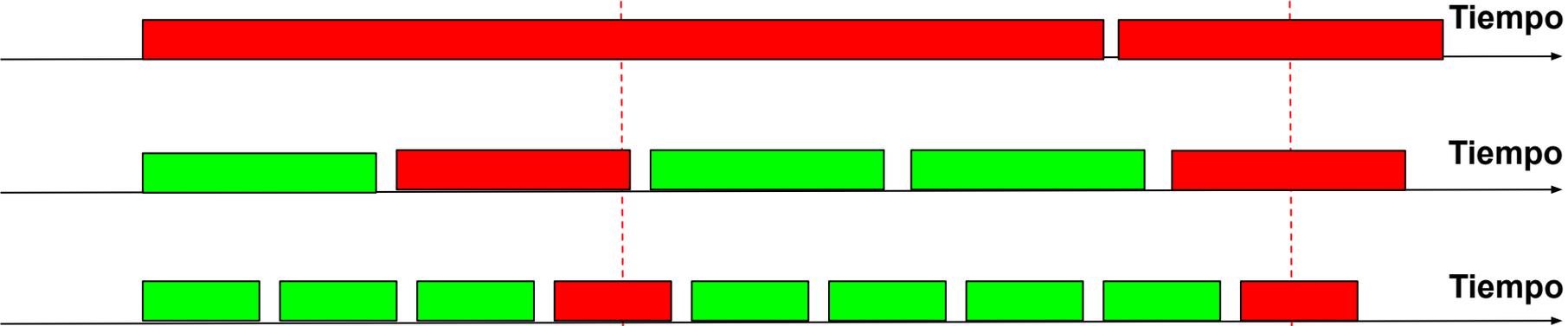
$$p= 1 \times 10^{-4} ; n=1024 \rightarrow (1-p)^n=0.902$$

**Ruido que produce
un error**

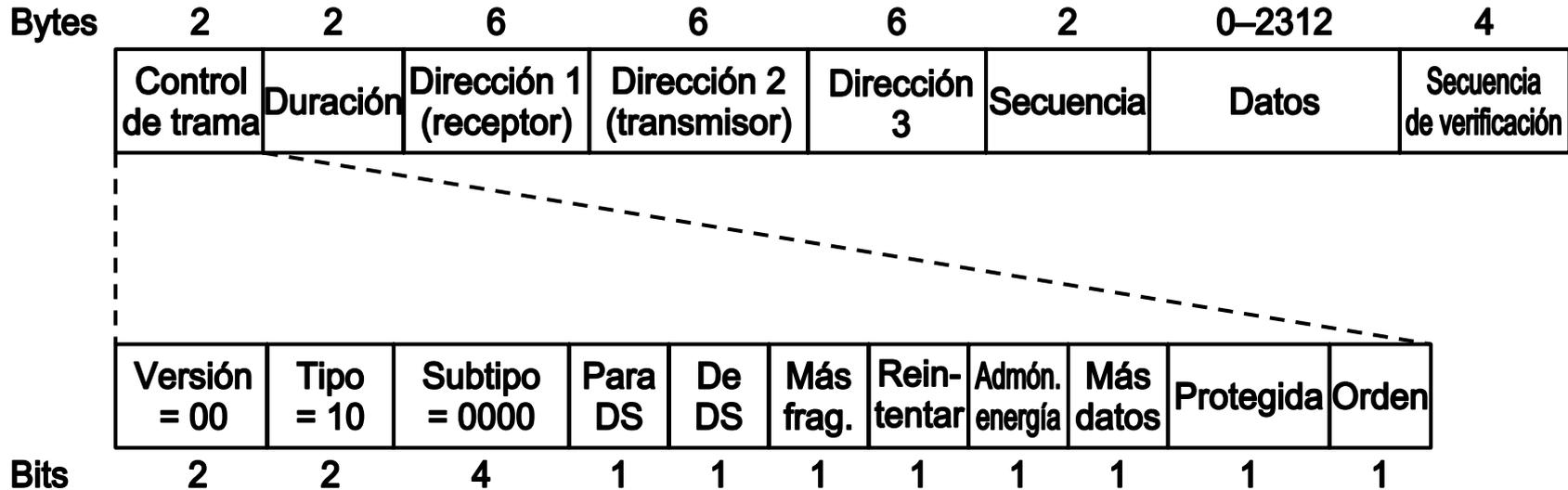
Tiempo

Tiempo

Tiempo



Trama definida por el estándar 802.11



Trama 802.11: Explicación de los campos

- **Duración:** Tiempo necesario para transmitir la trama, incluyendo confirmación de recepción.
 - Presente en todos los tipos de tramas
 - Utilizado por las estaciones para configurar el NAV.
- **Direcciones:** Receptor, Transmisor, Dirección distante (El AP es un ruteador, que puede enviar tramas a Internet, a otra red, etc).
- **Secuencia:** Enumera las tramas. Permite detectar tramas duplicadas o faltantes.
 - 12 bits para el número de trama
 - 4 bits para el número de fragmento
- **Datos:** Datos útiles para la capa superior.



Trama 802.11: Explicación de bits del campo control de trama

- Versión de protocolo: Se establece como 00. Permite que futuras versiones funcionen en una misma celda.
- Tipo: Datos, Control o Administración
- Subtipo: Depende del campo Tipo (Ejemplo, para tramas de control, puede valer RTS o CTS).
- Para DS y De DS: la trama va hacia o viene de la red conectada a los APS.
- Más fragmentos: indica que siguen más fragmentos.
- Reintentar: Retransmisión de una trama que se envió antes.
- Administración de energía: indica que el emisor va a entrar al modo de ahorro de energía.

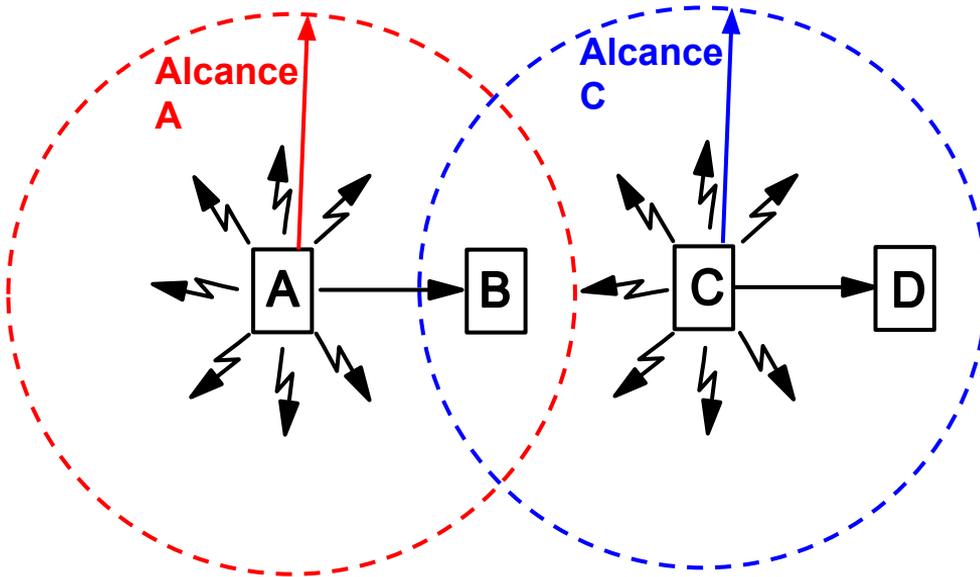


Trama 802.11: Explicación de bits del campo control de trama

- Más datos: el emisor tiene tramas adicionales para el receptor.
- Trama protegida: el cuerpo de la trama se cifró por seguridad.
- Orden: indica al receptor que la capa superior espera que la secuencia de tramas llegue de modo riguroso en orden.

Acceso al medio en redes WiFi: CSMA/CA

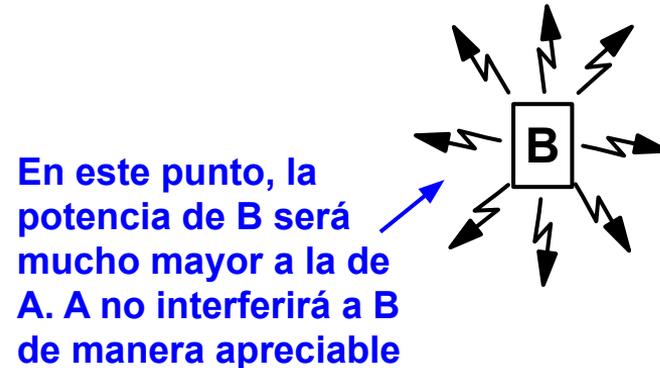
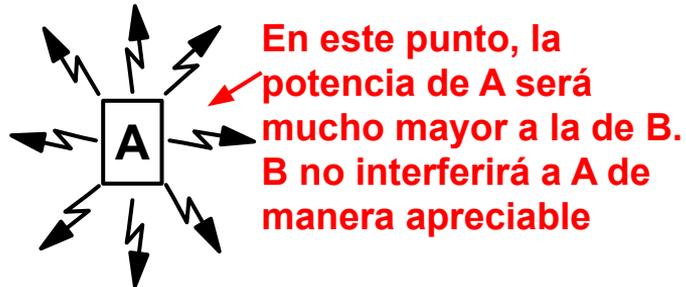
Problema de la terminal oculta



- A está transmitiendo a B
- C no escucha a A, asume el canal libre, y comienza a transmitir a D.
- **En la región común las tramas colisionan.** B recibe tramas dañadas.

Problema del mecanismo de detección de colisiones (CD) en redes inalámbricas

- **CD** se basa en enviar y al mismo tiempo recibir lo que hay en el canal, para verificar si una transmisión de otra máquina interfiere y daña los datos transmitidos.
- **En redes inalámbricas, en la vecindad de un nodo, la potencia recibida de otra máquina puede ser millones de veces menor a la potencia transmitida, por lo que difícilmente otra máquina provocará una perturbación a las tramas transmitidas.**



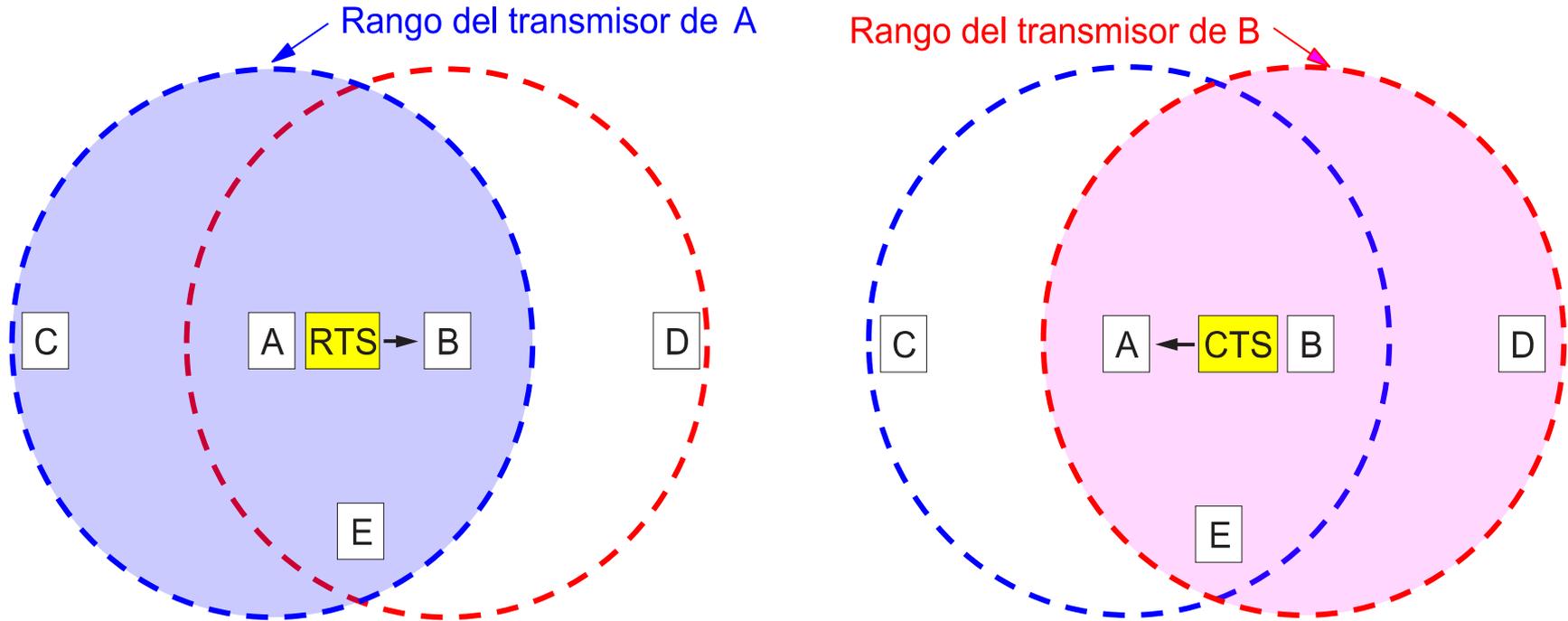
CSMA/CA (CA: Collision Avoidance o prevención de colisiones)

- Utilizado en IEEE 802.11 (WiFi)
- Combina:
 - CSMA: (acceso múltiple con detección de portadora “**virtual**” y física)
 - CA (Collision Avoidance o prevención de colisiones)
- El estándar IEEE 802.11 define dos modos de coordinar la comunicación:
 - PCF (Point Coordination Function) **coordinación centralizada**: Una estación se encarga de controlar el acceso al medio. **Ineficiente (sobre todo si la red comparte el espacio físico con otras)**.
 - DCF (Distributed Coordination Function) **coordinación distribuida**: todas las máquinas colaboran en decidir quién y cuándo accede al medio. **Más eficiente (CSMA/CA es de este tipo)**.

Implementación de **CA** en IEEE 802.11

- Tramas **RTS** (Request To Send o Solicitud para enviar) y **CTS** (Clear To Send o Libre para enviar):
 - **RTS**: Enviada por quien quiere comenzar una transmisión.
 - **CTS**: Enviada por el destino de los datos **cuando está preparado** para recibirlos.
- Si el emisor **recibe el CTS**, sabe que en la **zona del receptor no hay una transmisión** en curso y por lo tanto puede transmitirle sus datos.
- Si el emisor **no recibe el CTS**, no puede enviar datos.
- Todas las estaciones que reciben el RTS o el CTS sabrán que comenzará una transmisión, y no enviarán datos hasta que dicha transmisión termine.

CSMA/CA

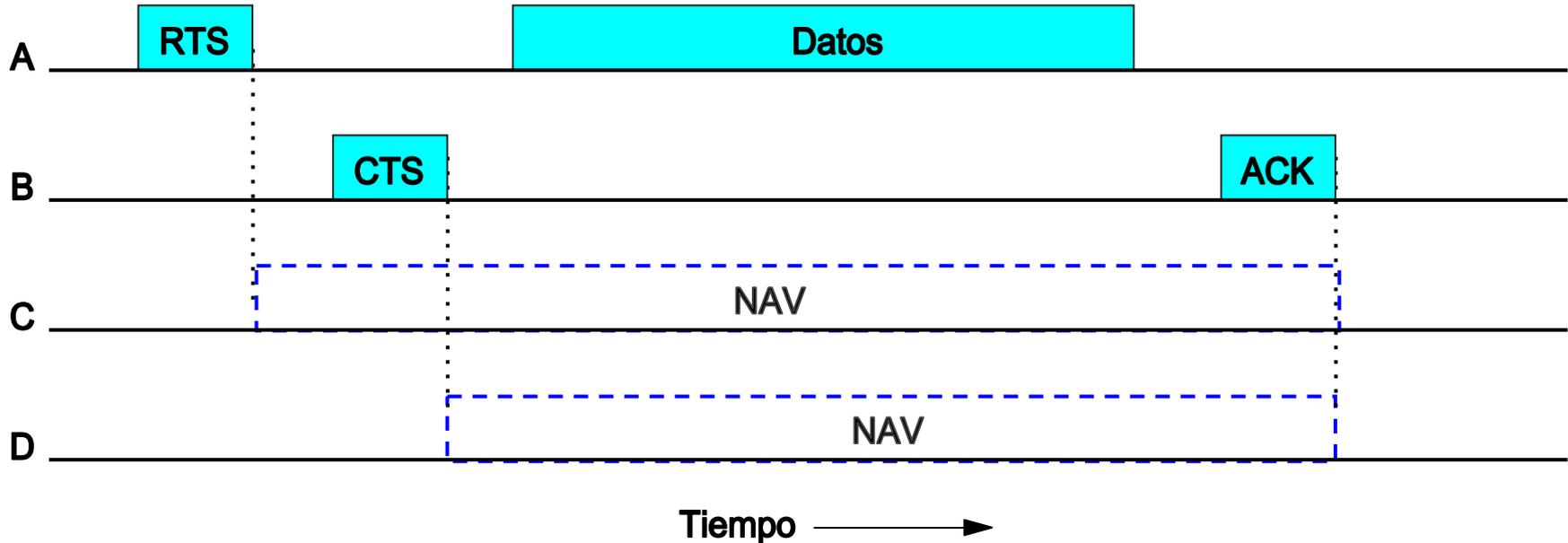


CSMA virtual

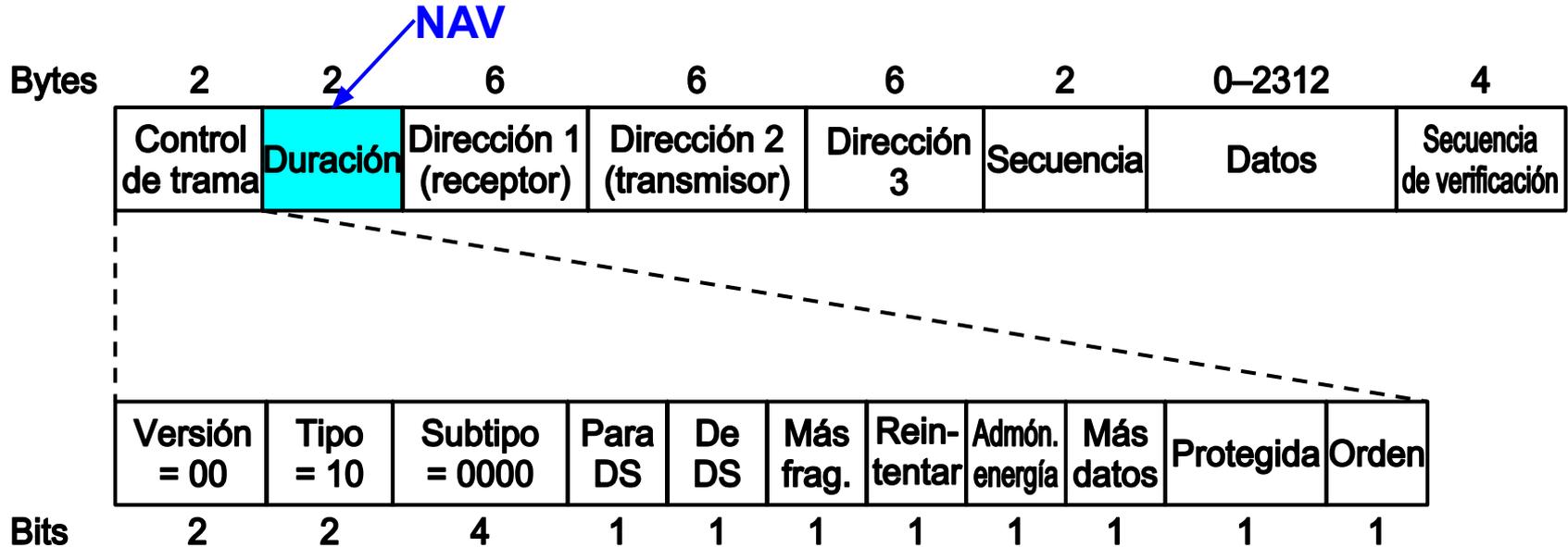
- Cada trama (datos, RTS y CTS) lleva el campo “**duración**” o **NAV** (Network Allocation Vector o Vector de Asignación de Red) que indica cuánto **tiempo tardará en completarse la transmisión**, incluyendo la confirmación de recepción (ack).
- Cualquier máquina que escuche una trama, lee el NAV, y sabe que el canal estará ocupado durante el tiempo indicado en el campo NAV.
 - No necesita escuchar el canal para saber si está ocupado, lo sabe porque lee el NAV de las tramas que recibe (CSMA virtual).
 - IEEE 802.11 combina CSMA virtual (NAV) y física (Escucha del canal).

Funcionamiento del campo duración o NAV

A y B difunden el tiempo que durará la comunicación en el NAV. C y D esperan durante el tiempo indicado por el NAV antes de intentar acceder al canal.



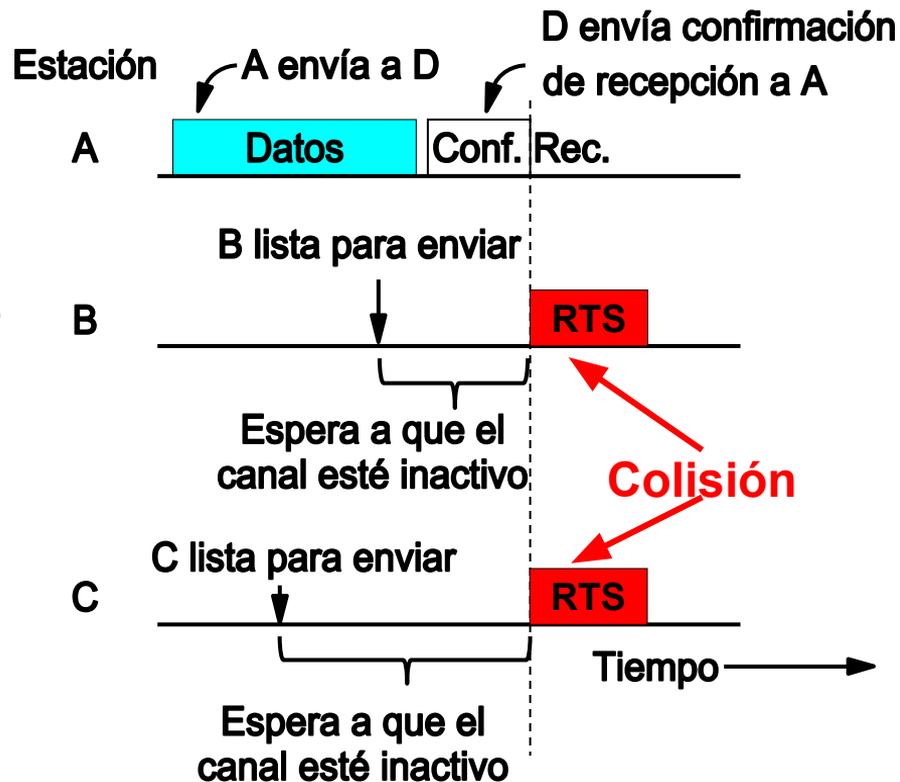
Trama definida por el estándar 802.11

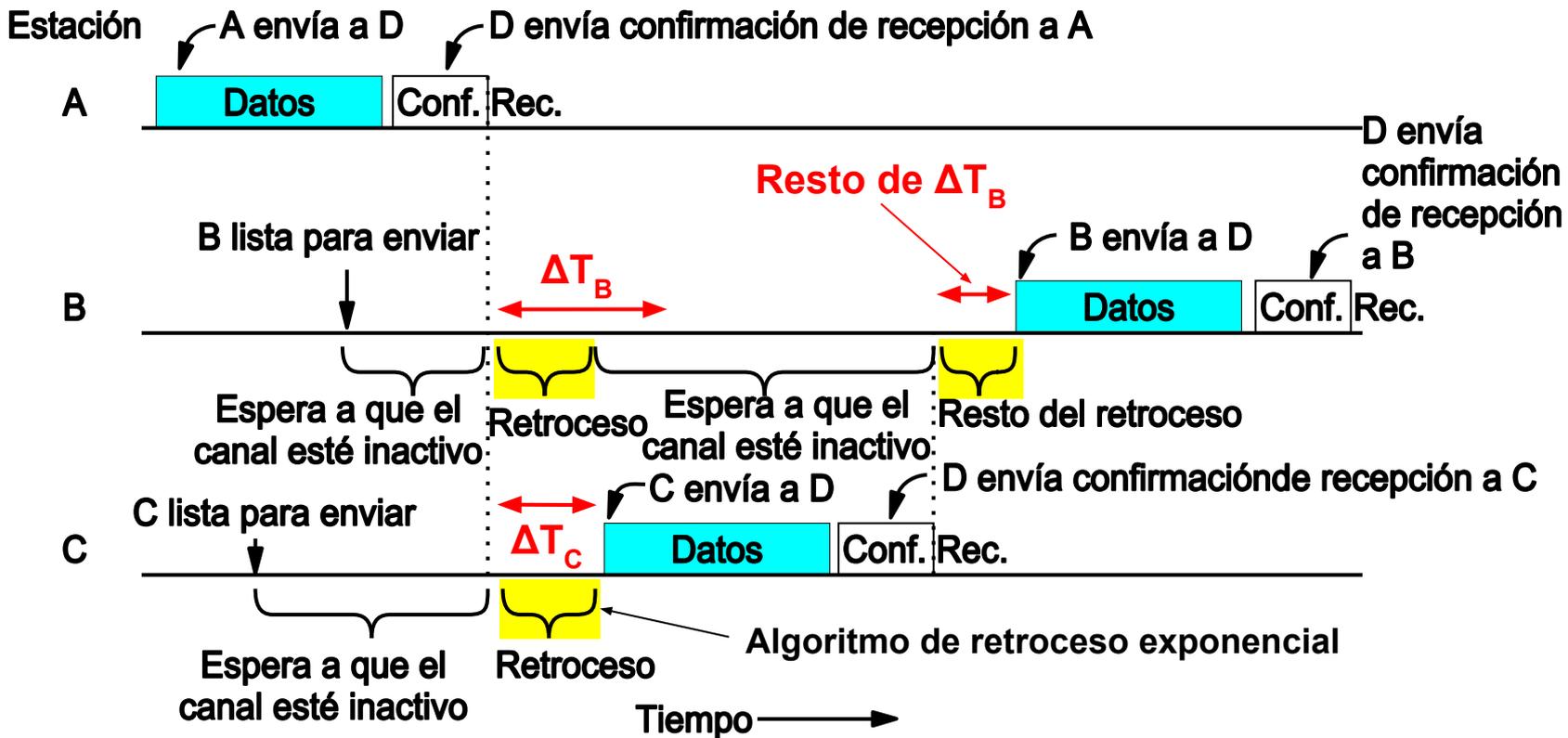


Existen algunas variaciones. Por ejemplo, las tramas RTS y CTS, poseen solo un campo de dirección y no poseen campo de datos.



- **Problema:** Aún pueden haber colisiones, si dos máquinas envían dos RTS al mismo tiempo....
- Ocurrirá si dos máquinas están esperando que el canal se libere para transmitir. Cuando esto ocurra, colisionaran sus RTS.
- **Solución:** las máquinas que esperan que el canal se libere, no deben transmitir en el instante en que el canal se libere. Deben esperar un tiempo aleatorio (retroceso exponencial).
 - Si esperan el mismo tiempo para reenviar el RTS, colisionarán una y otra y otra vez.





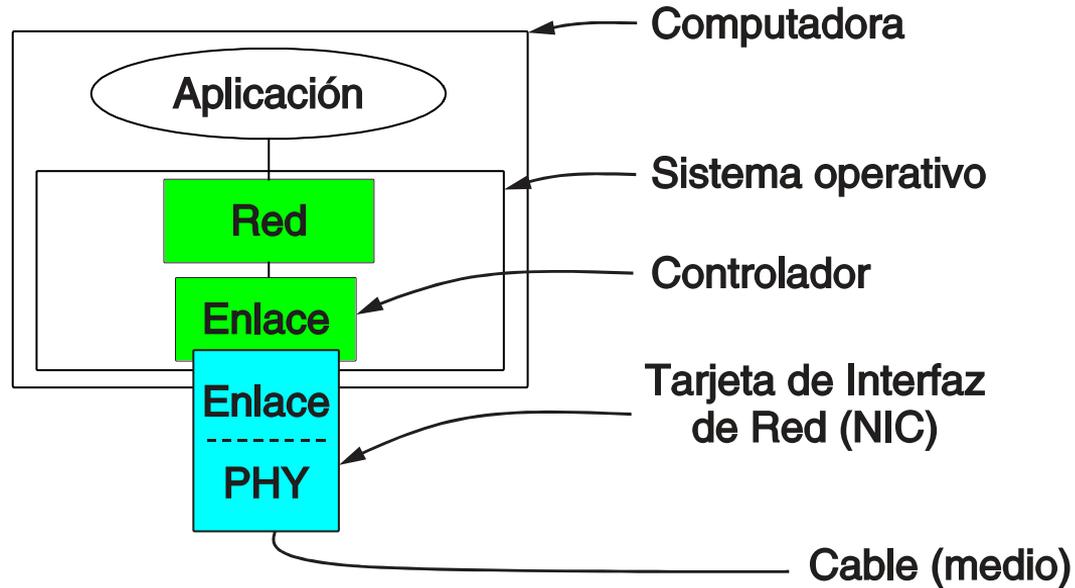
Ethernet vs IEEE 802.11 (Wifi): algunas diferencias y similitudes

	Ethernet	IEEE802.11
Retroceso exponencial binario	Si, cuando se detecta una colisión.	Si, antes de cualquier transmisión.
Detección de errores	Si	Si
Retransmisión de tramas con errores	No, descarta tramas con errores. Canal con muy poco ruido	Si. Canal muy ruidoso. Protocolo de parada y espera (latencia baja)
Confirmación de recepción	No	Si.
Mecanismo para tratar con colisiones	CSMA/CD (con detección física de transmisión en curso)	CSMA/CA (con detección física y virtual de transmisión en curso)
Fragmentación.	No	Si, para disminuir la cantidad de bytes reenviados.

Implementación típica de las capas Física y de Enlace TCP/IP

- Implementación típica: Tanto la capa física como **parte** de la capa de enlace se implementan en hardware, y la otra parte de la capa de enlace se implementa como parte del SO.
- Otras implementaciones:
 - Implementar la capa de enlace completamente por software.
 - Implementar lo mínimo en hardware, esto es, parte de la capa física, e implementar el resto de la capa física y la totalidad de la capa de enlace en software.
 - Ejemplo: softmodem (modem por software).

Implementación típica de las capas TCP/IP



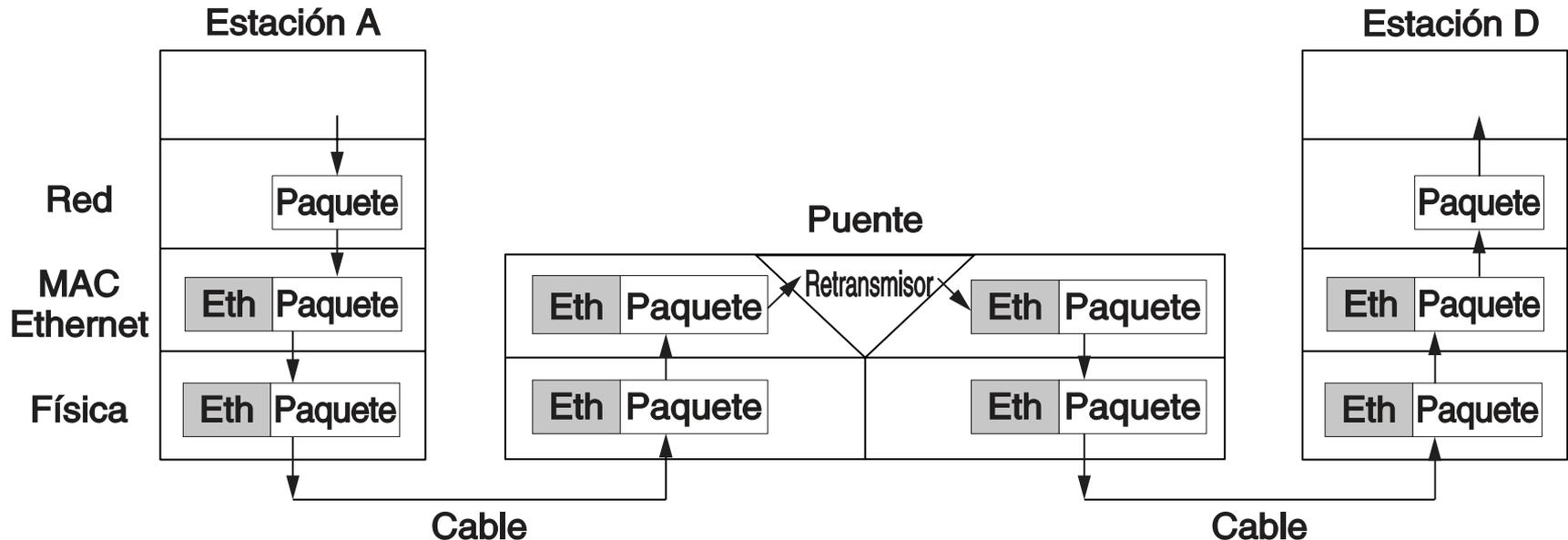


Interconexión de redes LAN

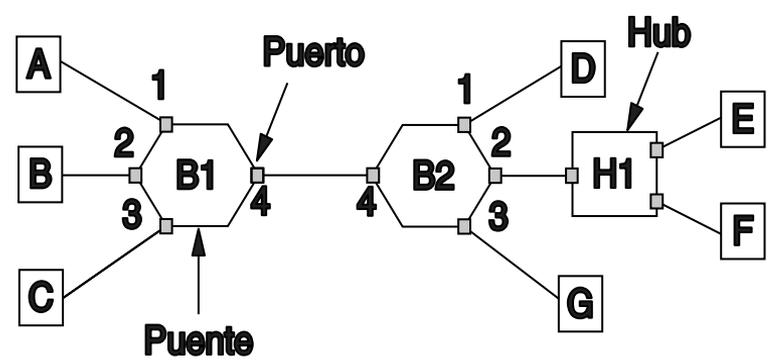
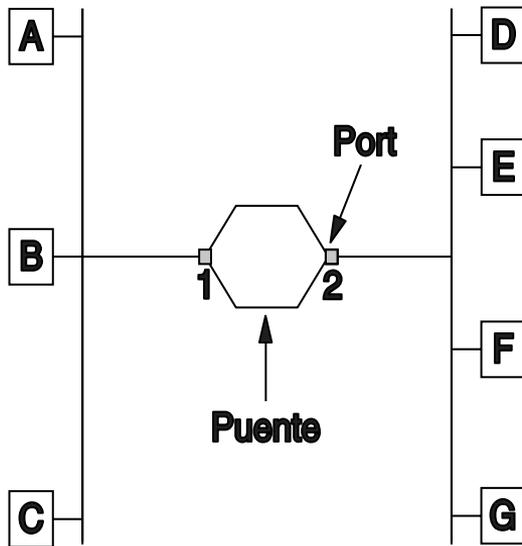
- **Motivación:**
 - Conectar diferentes redes LAN de una empresa u organización.
 - Formar una red de redes.
 - **Fiabilidad:** Los problemas en una de las LANs unidas por **puentes** no afectan a toda la red, sino sólo a la LAN local.
 - **Performance:** Una red LAN dividida en varias LANs posee mayor performance si el tráfico interno de cada LAN individual es mayor que el tráfico entre LANs.
- **Puente:** dispositivo para interconectar dos redes **de igual tecnología:**
 - **Ejemplos:**
 - Para redes Ethernet: Switch
 - Para redes IEEE 802.11: extensor de red o puente.

Puentes entre redes LAN

- Captura tramas cuya MAC destino no está en la LAN origen, y las envía a la LAN destino.
- Si el destino está en la misma LAN origen, no captura ni reenvía la trama.

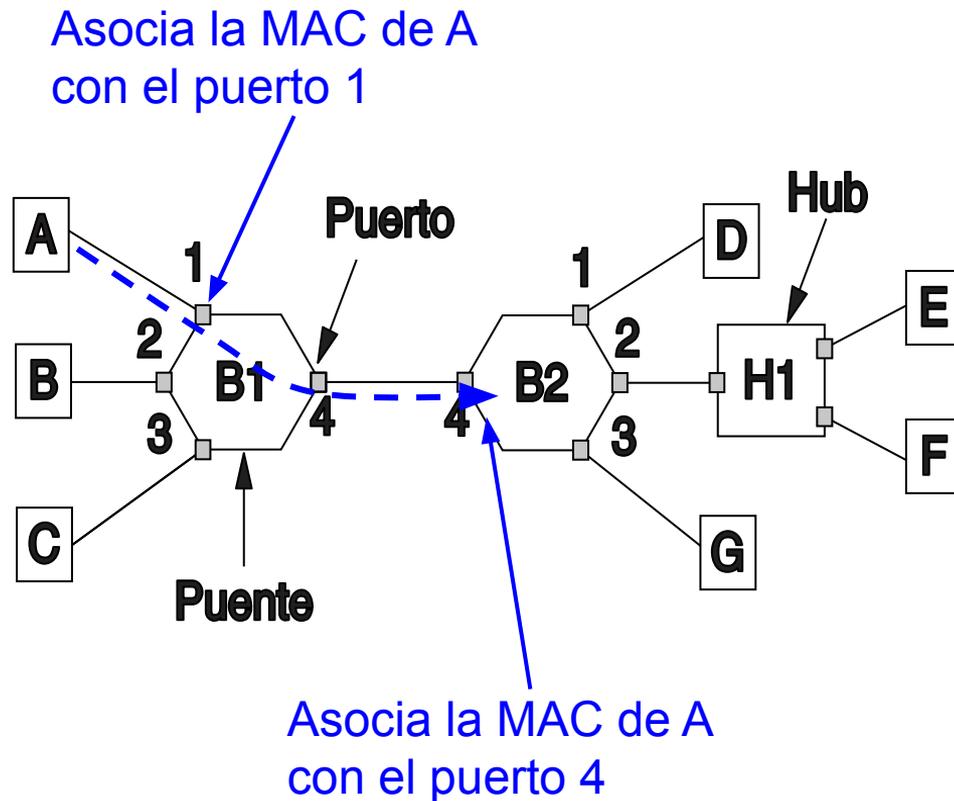


Ejemplos de Redes Ethernet unidas a través de puentes



Interconexión de redes LAN (Switches)

- Tabla de B1:
 - Máquina A, puerto salida 1
 - Máquina F, puerto salida 4
 - Máquina C, puerto salida 3
 -
- Tabla de B2:
 - Máquina A, puerto salida 4
 - Máquina F, puerto salida 2
 - Máquina C, puerto salida 4
 -

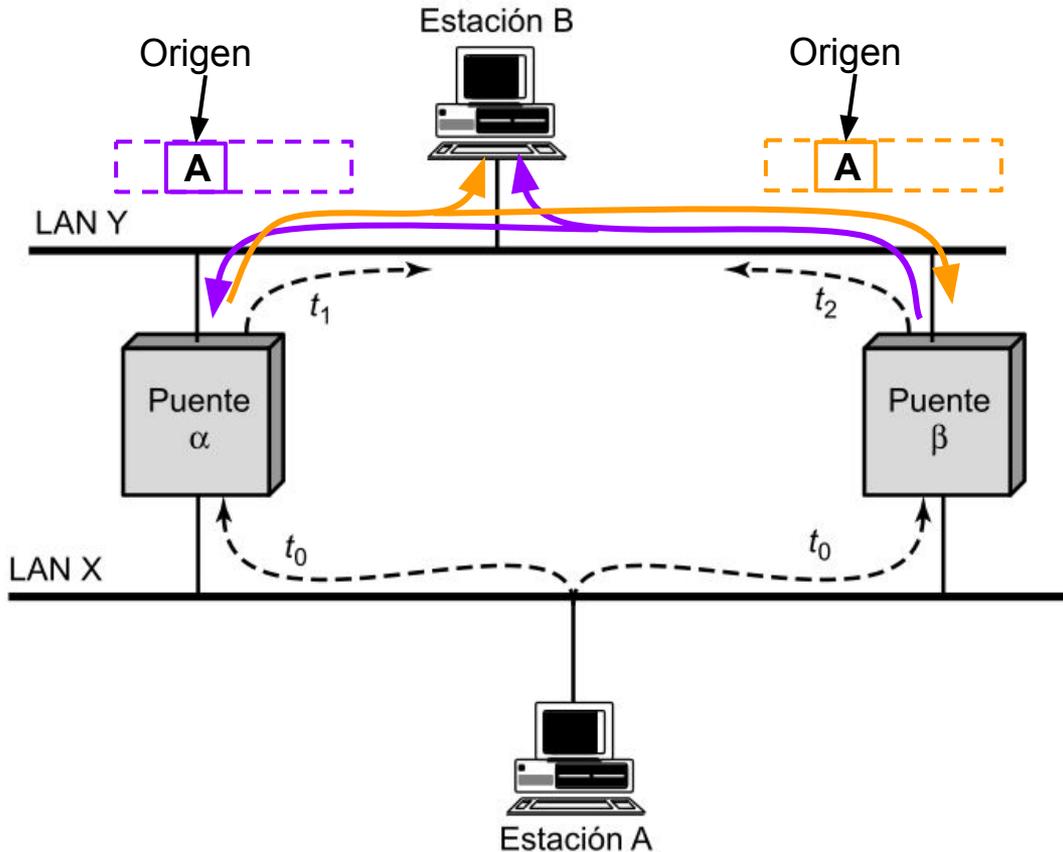




Interconexión de redes LAN (Switches)

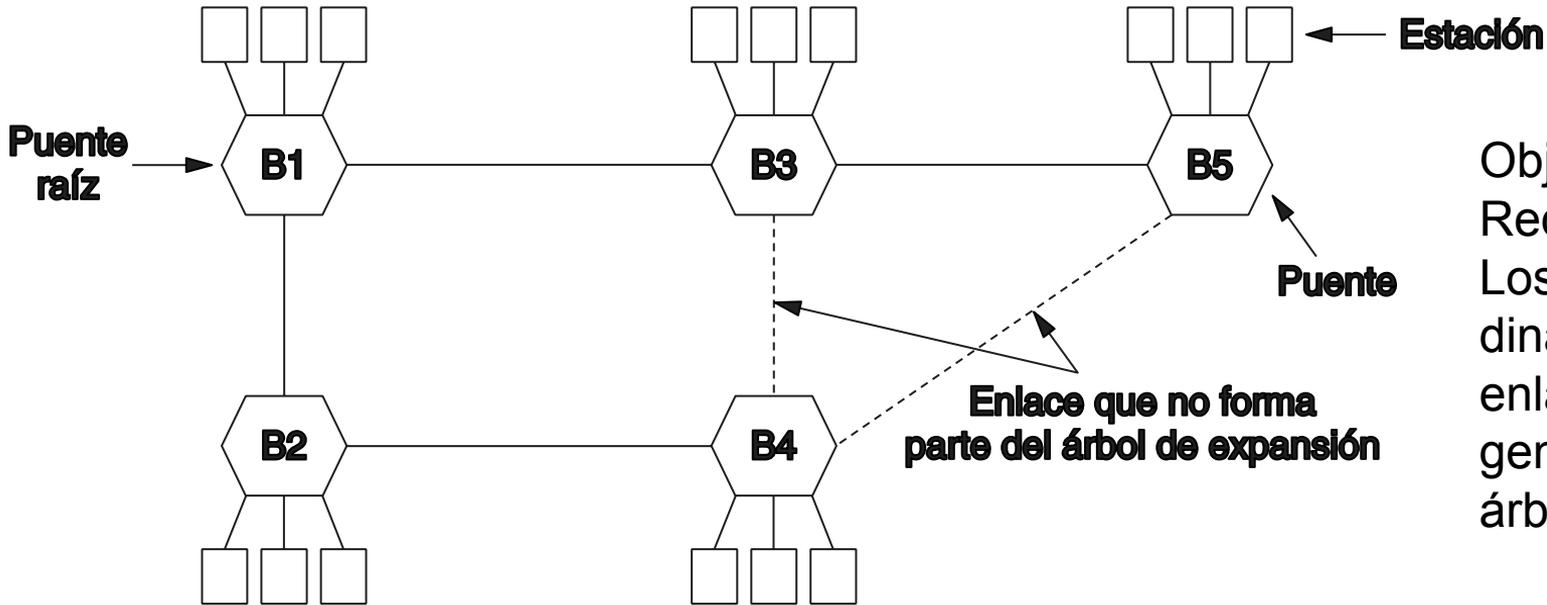
- Las tablas se completan **dinámicamente** usando diferentes técnicas:
 - **Inundación**: Envía **peticiones de eco** por inundación.
 - **Aprendizaje hacia atrás**: Analizar las direcciones de origen de las tramas y por cual puerto llegaron.
- Por cada máquina se activa un temporizador.
 - Si una máquina transcurre un tiempo límite sin enviar datos, se elimina de la tabla.
 - Si la máquina envía una trama, se reinicia el temporizador.

Problema: Bucles



- A envía una trama a B
- Ambos puentes lo reenvían a B.
 - B recibe una trama duplicada.
- Ambos puentes reciben un paquete proveniente de A a través de la LAN Y.
 - Actualizan sus tablas indicando que la ruta hacia A es a través de la LAN Y.
 - **A nunca más recibe tramas.**
 - **Solución: Árboles de expansión. Protocolo STP** (Spanning Tree Protocol)

Enlaces redundantes y bucles: **Árbol de expansión.**



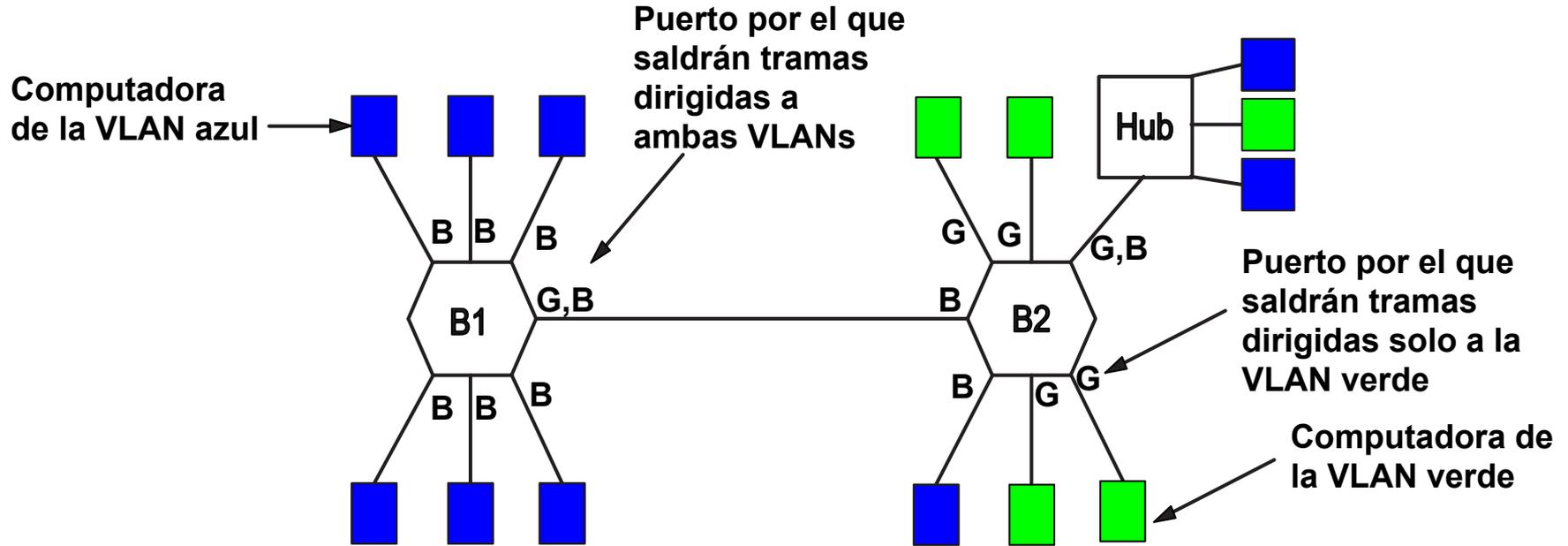
Objetivo:
Redundancia.
Los árboles son dinámicos. Si un enlace falla, se genera un nuevo árbol.



LAN virtuales (VLANs)

- Se establecen LAN virtuales sobre una misma LAN física.
- Motivación:
 - Separar por departamentos, secciones, etc., usuarios conectados a una misma LAN física.
 - Seguridad.
 - Tareas que demandan diferentes características.
 - Separar el tráfico por difusión.
 - Aislar fallas.
- Se requieren switches especiales para este propósito.
 - Deben armar tablas de configuración que indiquen qué puertos están asociados a cada VLAN.

LAN virtuales (VLANs)





LAN virtuales (VLANs)

- Si una máquina de la VLAN azul envía una trama a una máquina cuya ubicación es desconocida, el switch reconoce de que VLAN es por el color del puerto.
- Se inundan solo las máquinas de la VLAN azul, no las verdes.
- Una trama de la VLAN verde nunca se enviará al switch B1, ya que el mismo no tiene máquinas de la VLAN verde.
- Algunos puertos pueden pertenecer a ambas VLANs.