

# Tema 3 – Nivel de Enlace

Redes de Computadores

Grado en Ingeniería Informática en Tecnologías de  
la Información

# ÍNDICE

1. Introducción
2. Delimitación de tramas
3. Control de flujo
4. Control de errores
5. Técnicas ARQ
6. Redes de área local
7. Control de acceso al medio
8. El modelo de referencia IEEE 802

# 1.- INTRODUCCIÓN

- **Funciones de la capa de enlace**
  - Realizar un transporte de datos libre de errores **salto a salto** entre dos nodos unidos por un enlace
  - Proporcionar una interfaz bien definida a la capa de red
  - Delimitación de las tramas
  - Detectar y corregir los errores de transmisión

# Introducción

- **Funciones de la capa de enlace**
  - Controlar el flujo para no saturar a los receptores
  - Controlar el acceso al medio cuando este sea compartido – Decidir cuando se puede transmitir información o está ocupado
  - Gestionar el envío de las tramas de forma directa por el enlace – Direcciones MAC

## 2.- DELIMITACIÓN DE TRAMAS

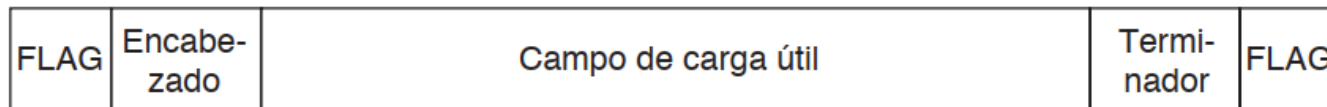
- La unidad básica de transmisión a nivel de enlace son las **tramas**
  - No coinciden necesariamente con el tamaño de los paquetes de nivel superior
- Es necesario acotar de alguna forma, el inicio y final de la trama
- Técnicas más habituales de delimitación
  - Relleno de bytes o inserción de caracteres
  - Inserción de bits
  - Violaciones de código

# Delimitación de tramas

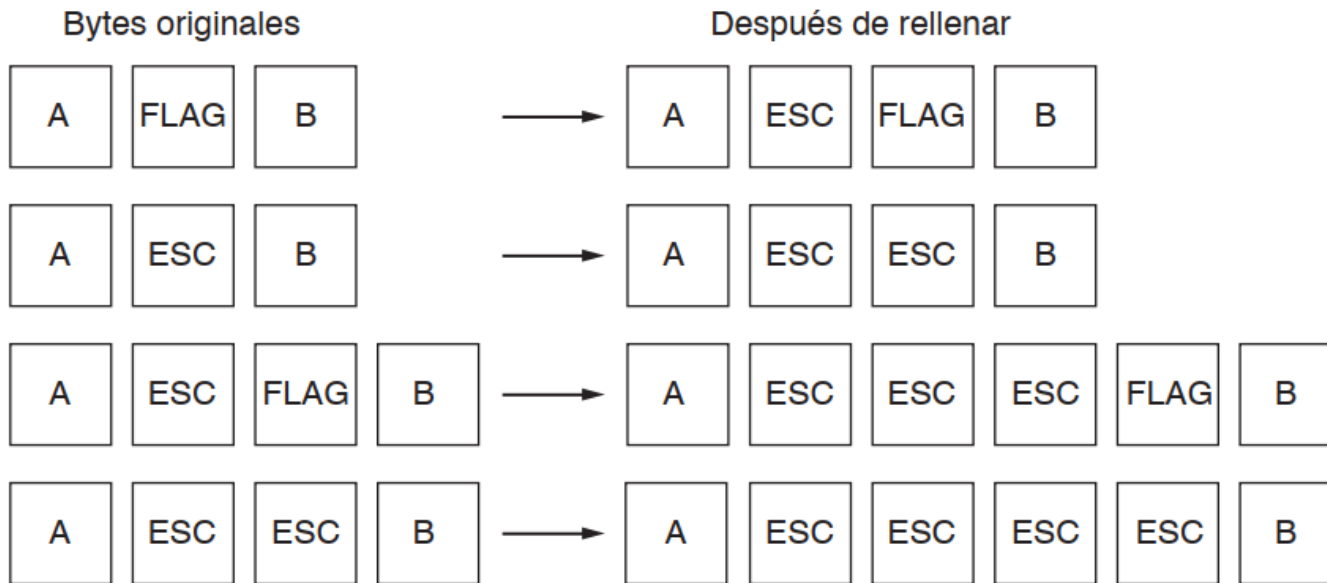
- **Inserción de caracteres**
  - Se emplean uno o más caracteres para indicar el comienzo o el fin de la trama
  - Suelen ser caracteres ASCII
  - Si alguno de los caracteres aparece en la propia trama, se inserta un caracter de escape, para indicar que no es el final de la trama
  - En el caso de que apareciera un caracter de escape, se añadiría otro previamente

# Delimitación de tramas

- Inserción de caracteres



(a)



[1]

# Delimitación de tramas

- **Relleno de bits**
  - Se utiliza una secuencia de bits para marcar el inicio o fin de la trama
  - Ejemplo HDLC (*High-level Data Link Control*)
    - Tramas delimitadas por 01111110
    - Si aparecen cinco 1s consecutivos en la trama, se añade un 0 a continuación
    - El receptor elimina los 0s en el destino



# Delimitación de tramas

- **Violaciones de código**
  - Es un método que funciona de forma conjunta con la capa física
  - Se aprovechan elementos no utilizados de la capa física como señales de limitación de trama
    - Voltajes diferentes a los utilizados para enviar la señal
    - Variaciones sin asignar en la codificación

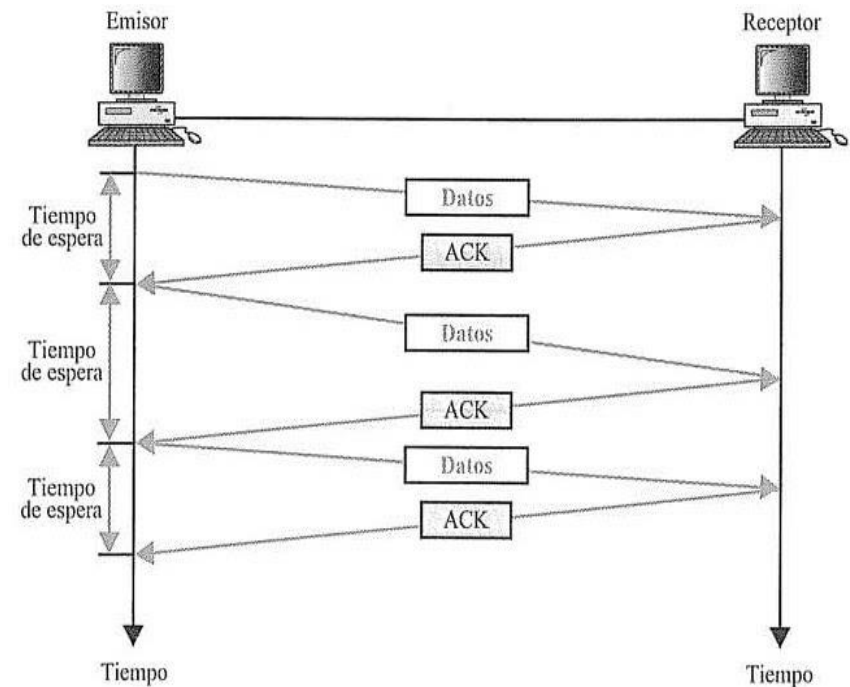
# 3.- CONTROL DE FLUJO

- **Evitar que el emisor sature al receptor**
  - Si la velocidad de envío es demasiado elevada, el receptor puede empezar a descartar tramas
    - Se puede solicitar al emisor que no envíe más tramas
    - Indicar que envíe más despacio
    - Preguntar por la cantidad de memoria libre al receptor
  - Esta tarea puede llevarse a cabo también en capas superiores, como TCP en el nivel de transporte

# Control de flujo

- **Parada y espera**

- Protocolo sencillo válido en un medio sin errores
- Cuando el emisor manda una trama, ha de esperar al asentimiento para transmitir la siguiente
- Uso del canal muy bajo



# Control de flujo

- **Ventana deslizante**

- Mismo funcionamiento que en el caso de TCP en el nivel de transporte
- Las tramas se etiquetan con un número de secuencia
- Es la base del funcionamiento de las técnicas ARQ, que se estudiarán más adelante
- Permite una utilización mucho más elevada del canal

# 4.- CONTROL DE ERRORES

- **Transmitir por un medio ruidoso degrada las tramas**
  - Se pueden producir dos situaciones
    - **Corrupción** de bits: La trama llega, pero algunos bits no son correctos
    - **Pérdida** de tramas: No llega nada de la trama
  - Es necesario controlar los posibles errores y corregirlos cuando sea posible
  - Dependiendo del medio de transmisión utilizado, puede ser más interesante detectar y retransmitir, que corregir

# Control de errores

- **Numeración de tramas**
  - El transmisor etiqueta cada trama con un número de secuencia
  - El receptor comprueba los números de trama recibidos
  - Permite detectar tramas perdidas
- **Códigos de redundancia**
  - Se añaden una serie de bits obtenidos a partir de una operación sobre los datos
  - Permite detectar tramas corruptas e incluso corregir bits erróneos

# Control de errores

- **Bit de paridad**

- Se añade un 1 si el número de 1s en el mensaje es par
- Se añade un 0 si el número de 1s en el mensaje es impar
- Trama: 011010 -> 0110100
- Si cambia un solo bit, el destino puede darse cuenta de que ha ocurrido un error
- **Distancia de Hamming**: Número de bits diferentes en dos palabras

# Control de errores

- **Algoritmos de detección**
  - **Suma de verificación**: La suma de diferentes partes de la trama permite tener un campo que ayuda a corregir
  - **Códigos de redundancia cíclica (CRC)**: Se calcula un polinomio que se divide por diferentes partes de la trama
- **Algoritmos de corrección**
  - Códigos de Hamming
  - Códigos de Reed-Solomon

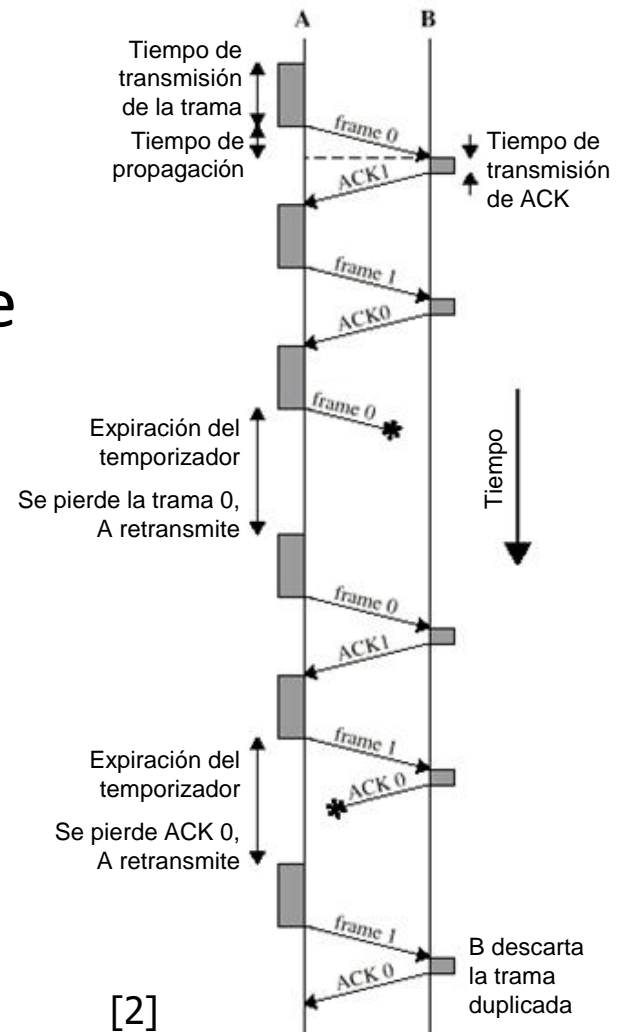


# 5.- TÉCNICAS ARQ

- **Solicitud de repetición automática**  
***(Automatic Repeat reQuest)***
  - Conjunto de técnicas para la transmisión de datos a través de un enlace que combinan distintos mecanismos de control de flujo y control de errores
  - Técnicas más comunes
    - ARQ de parada y espera
    - ARQ de ventana deslizante con rechazo simple
    - ARQ de ventana deslizante con rechazo selectivo

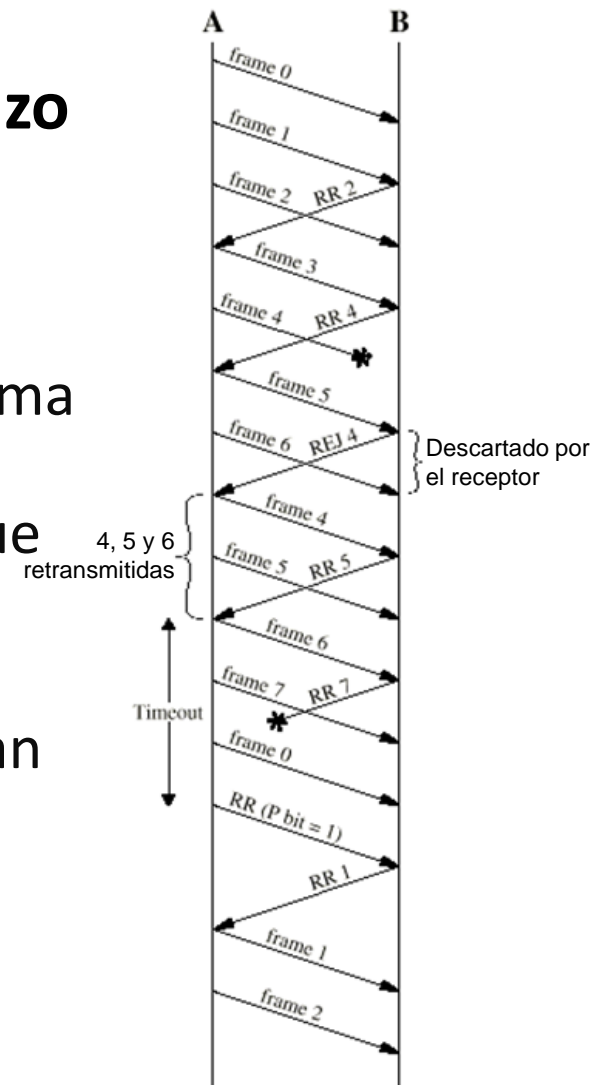
# Técnicas ARQ

- **ARQ de parada y espera**
  - Basado en la técnica de parada y espera estudiada previamente
  - Se utilizan temporizadores para el reenvío de las tramas no asentidas
  - Eliminación de duplicados



# Técnicas ARQ

- **ARQ con ventana deslizante y rechazo simple**
  - Basado en control de flujo mediante ventana deslizante
  - Receptor solicita retransmisión de trama dañada o perdida
  - Emisor repite trama solicitada y las que había enviado tras ella
  - Eliminación de duplicados
  - Las tramas fuera de orden se descartan
  - Se puede solicitar el reenvío de confirmaciones

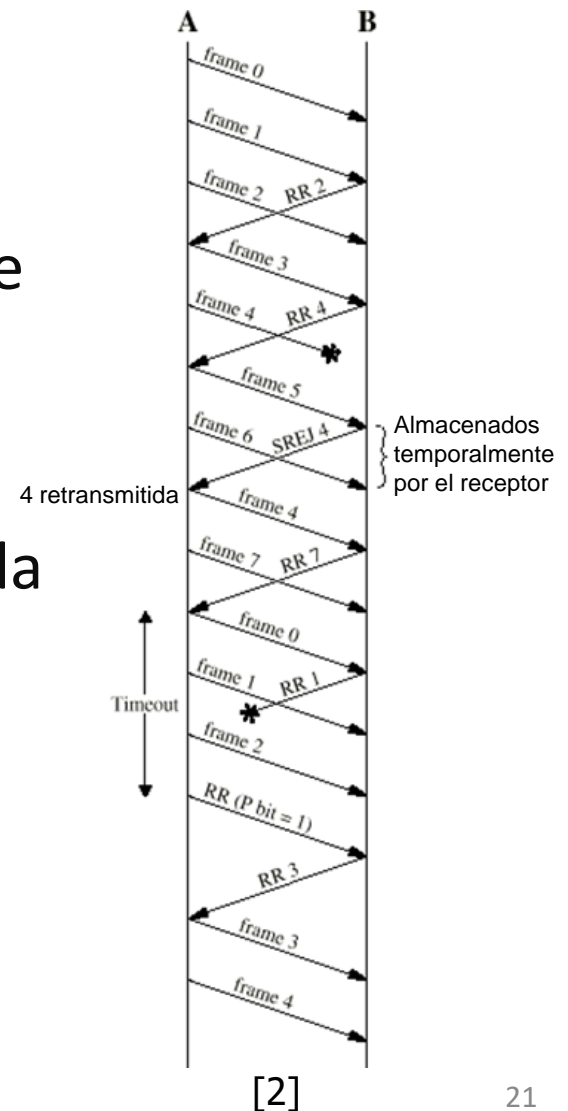


# Técnicas ARQ

- **Limitaciones en el tamaño de la ventana con ARQ con rechazo simple:**
  - Si se utilizan **k bits** para el número de secuencia, el tamaño máximo de la ventana es  **$2^k - 1$**
  - ¿Por qué?
    - Supongamos que se utilizan números de secuencia de 3 bits (0-7) y tamaño de ventana 8
    - El emisor envía la trama 0 y recibe de vuelta un RR1
    - A continuación el emisor envía las tramas 1,2,3,4,5,6,7,0 y recibe de vuelta un RR1
    - ¿Qué significa?
      - A.- Las 8 tramas se han recibido correctamente y RR1 es un asentimiento acumulativo para todo el bloque de tramas
      - B.- Las 8 tramas se han deteriorado y se está repitiendo el RR1 anterior

# Técnicas ARQ

- **ARQ con ventana deslizante y rechazo selectivo**
  - Basado en control de flujo mediante ventana deslizante
  - Receptor solicita retransmisión de trama dañada o perdida
  - Emisor repite sólo la trama solicitada
  - Las tramas fuera de orden pueden almacenarse
  - Se puede solicitar el reenvío de confirmaciones
  - Eliminación de duplicados



# Técnicas ARQ

- **Limitaciones en el tamaño de la ventana con ARQ rechazo selectivo:**
  - Si se utilizan  $k$  bits para el número de secuencia, el tamaño máximo de la ventana es  $2^{k-1}$
  - ¿Por qué?
    - Supongamos que se utilizan números de secuencia de 3 bits (0-7) y tamaño de ventana 7
    - El emisor envía las tramas 0 a 6
    - El receptor recibe correctamente las 7 tramas y envía un RR7
    - RR7 se pierde
    - El temporizador del emisor expira y retransmite todas las tramas
    - El receptor esperaba las tramas 7, 0, 1, 2, 3, 4 y 5
    - El receptor supone que la trama 7 se ha perdido y acepta las tramas 0 a 5 como tramas nuevas

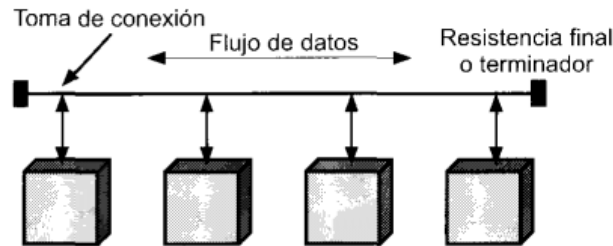
# 6.- REDES DE ÁREA LOCAL

- **Características**

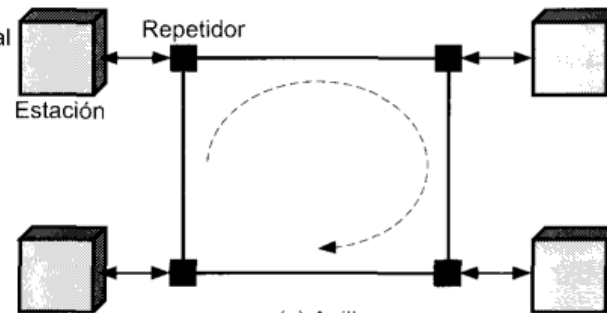
- *Local Area Network* (LAN)
- Medio de transmisión compartido por múltiples estaciones
- Cubren distancias relativamente reducidas
- Suelen tener unas tasas de transmisión bastante elevadas
- Tienen un bajo coste
- Usos principales
  - Redes de trabajo
  - Redes de respaldo y almacenamiento
  - Redes troncales

# Redes de área local

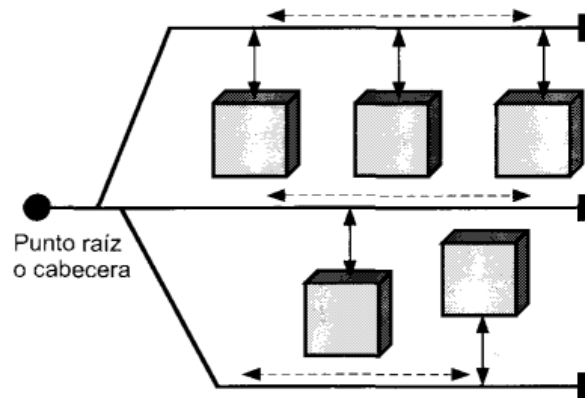
- Topologías



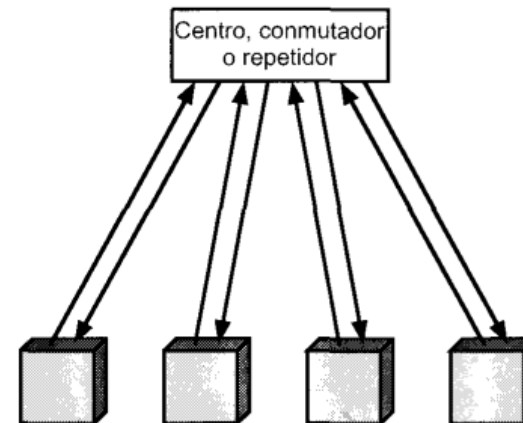
(a) Bus



(c) Anillo



(b) Árbol



(d) Estrella

[2]



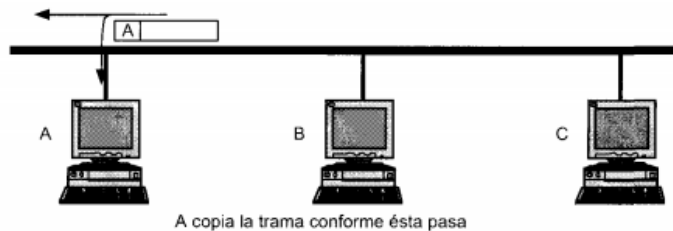
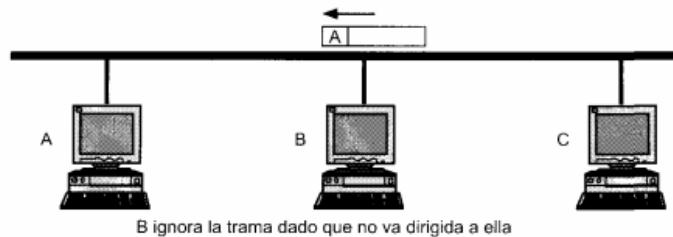
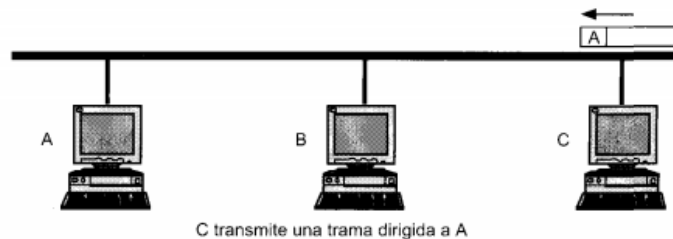
# Redes de área local

- **Topologías – Bus**

- Varios equipos conectados directamente a un mismo medio de transmisión lineal (Bus)
- Las tramas transmitidas se propagan por todo el medio
- Todos los equipos comprueban la dirección para saber si la trama va dirigida a ellos
- La señal es absorbida por los extremos del bus

# Redes de área local

- Topologías – Bus



# Redes de área local

- **Topologías – Problemas buses**
  - Es complicado encontrar la potencia de señal adecuada
    - Suficientemente alta para no ser sensible al ruido
    - No excesiva para evitar saturar el bus
  - La longitud de los buses es limitada – Se pueden extender mediante el uso de repetidores

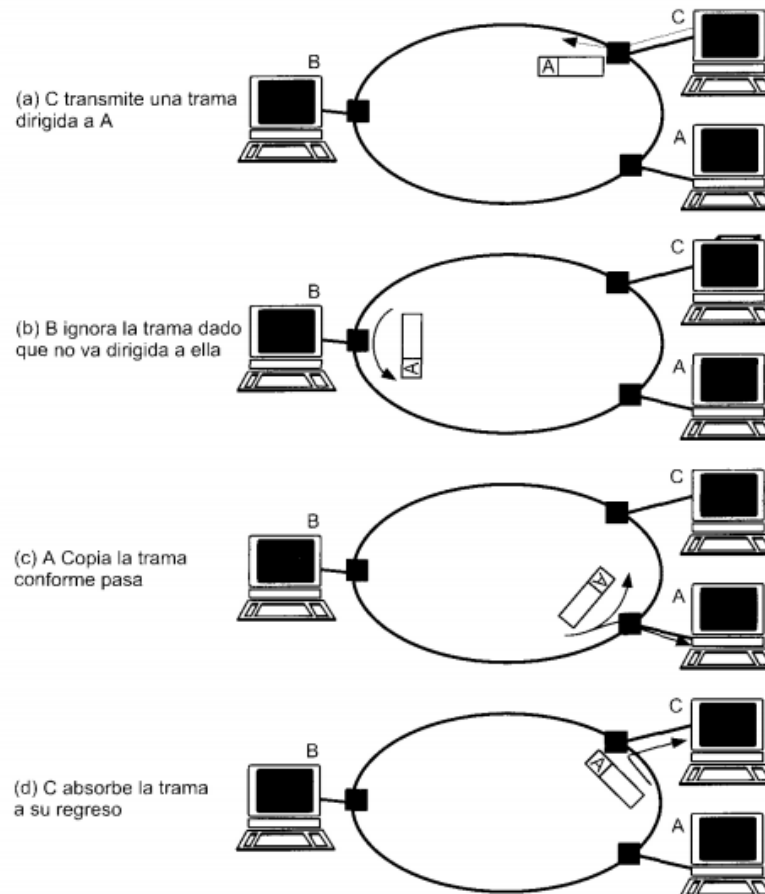
# Redes de área local

- **Topologías – Anillo**

- Formada por un conjunto de repetidores unidireccionales unidos por enlaces punto a punto
- Todos los equipos comprueban el campo de dirección de la trama y lo copian si va dirigido a ellos
- La estación de origen, retira la trama cuando le vuelve

# Redes de área local

- Topologías – Anillo



# Redes de área local

- **Topologías – Problemas anillo**
  - Sincronización entre estaciones: Si ocurre un pequeño desfase, no se sabe cómo o cuando seguir retransmitiendo
  - El fallo de un único repetidor o enlace inutiliza la red
  - Añadir una nueva estación al anillo implica parar el sistema

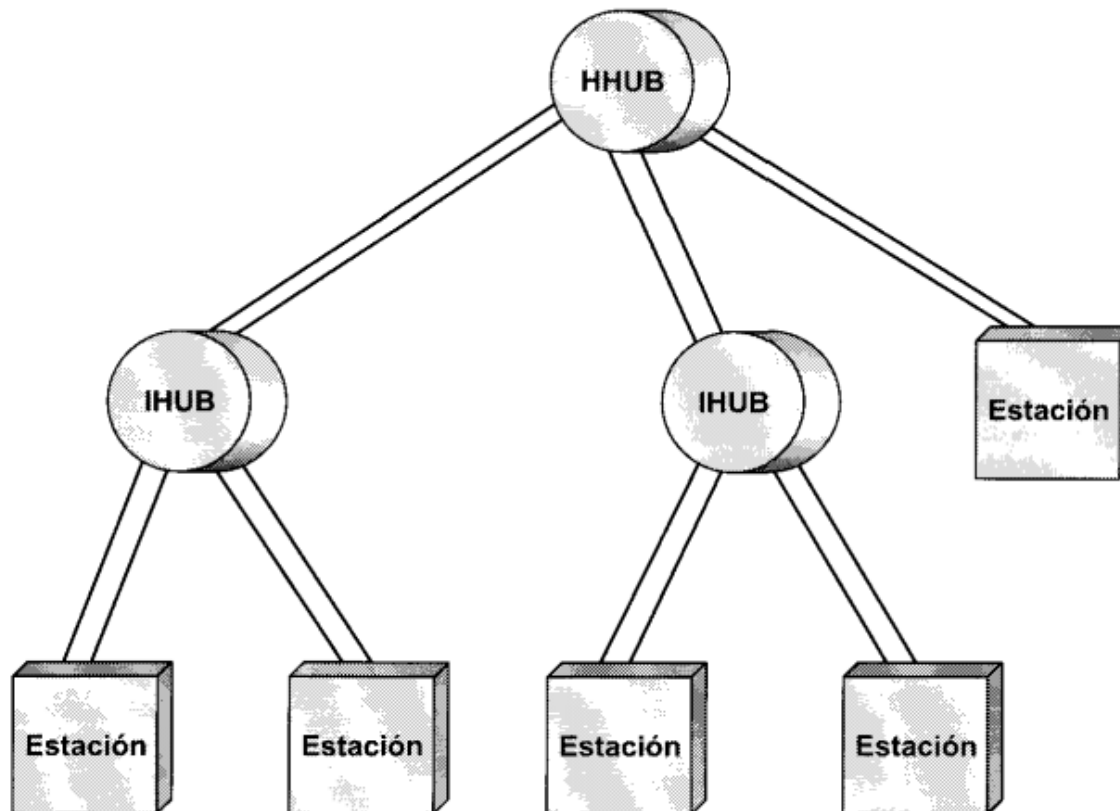
# Redes de área local

- **Topologías – Estrella**

- Cada estación está conectada a un nodo central
- El nodo central puede:
  - Difundir: Se retransmite la trama por todos los enlaces de salida
  - Conmutar: La trama solo se retransmite por el enlace adecuado
- Muy sensible ante fallos en el nodo central

# Redes de área local

- Topologías – Estrella varios niveles





# Redes de área local

- **Topologías – *Hubs y Switches***
  - *Hub* (concentrador)
    - Retransmite la señal a todas las salidas
  - *Switch* (conmutador)
    - Retransmite la señal solo por la salida adecuada
    - Utiliza una tabla de direccionamiento para conocer las MACs de los dispositivos
    - Conmutador lento: Comprueba el CRC de la trama
    - Conmutador rápido: Retransmite la trama en cuanto identifica la dirección de salida

# 7.- CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

- **Utilización del medio compartido**
  - Las estaciones transmiten de forma independiente
  - Se utiliza un mismo medio de transmisión
  - Cuando dos estaciones transmiten a la vez, se produce una colisión – Es necesario retransmitir
  - La gestión se realiza en una subcapa conocida como MAC (*Media Access Control*)
  - Se busca optimizar el uso del canal sin saturarlo

# Control de acceso al medio

- **Clasificación técnicas MAC**
  - Centralizadas – Una sola estación gestiona el acceso
    - Lógica de acceso sencilla
    - No es necesario coordinarse entre estaciones
  - Descentralizadas – Varias estaciones gestionan el acceso
    - Más robustas ante fallos
    - No se produce cuello de botella en la gestión

# Control de acceso al medio

- **Clasificación técnicas MAC**

- Síncronas

- Se pre-asigna una capacidad para cada conexión
    - No adecuado para LANs – Cantidad muy variable de elementos conectados y tráfico a ráfagas
    - Se utilizan técnicas de multiplexación
    - Casos de uso: Emisión radio, televisión, etc.

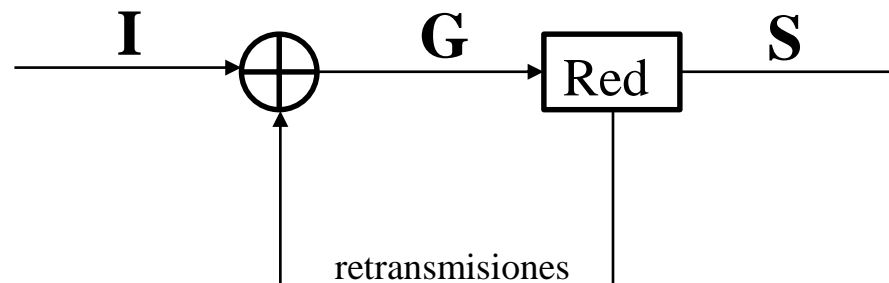
- Asíncronas o dinámicas

- Se consigue en cada trama, la capacidad necesaria para ella

# Control de acceso al medio

- **Modelado del tráfico**

- Tráfico fuente (**I**) – Tráfico que las máquinas intentan transmitir
- Tráfico cursado (**S**) – Tráfico que la red consigue entregar
- Tráfico en la red (**G**) – Tráfico que circula por la red



# Control de acceso al medio

- **Modelado del tráfico**
  - En todos los casos
    - $S = G \cdot \text{Probabilidad éxito}$
  - Si no se producen colisiones
    - $S = G = I$
  - Si se producen colisiones
    - $S < G$
    - $I < G$
    - Si la red no está saturada
      - $I = S$
    - Si la red está saturada
      - $S < I$

# Control de acceso al medio

- **Tipos de técnicas asíncronas**
  - **Contienda**
    - Las estaciones compiten por transmitir
    - Gestión distribuida
    - Bueno si la carga es baja y el tráfico a ráfagas
  - **Rotación**
    - Las estaciones transmiten de acuerdo a una serie de turnos
    - Puede ser centralizada o distribuida
    - Adecuado si hay muchas estaciones y mucha carga
  - **Reserva**
    - Las estaciones reservan parte de la capacidad del canal
    - Puede ser centralizada o distribuida
    - Bueno si hay pocas estaciones y mucha carga

# Control de acceso al medio

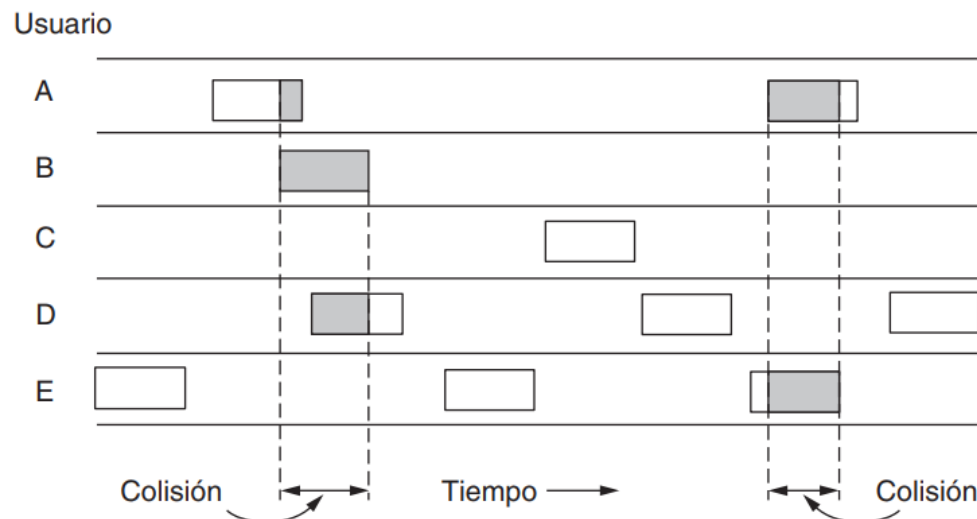
- **Técnicas de contienda**
  - Cuando se tienen datos, las estaciones intentan transmitir
  - Se tiene que escuchar el medio de transmisión
  - Es posible que se produzcan colisiones
  - En caso de colisión es necesario:
    - Detectar la colisión
    - Decidir cuándo retransmitir



# Control de acceso al medio

- **Técnicas de contienda - ALOHA**

- Protocolo muy sencillo que transmite cuando se tienen datos
- Si hay colisión, se espera un tiempo aleatorio y se vuelve a retransmitir
- Rendimiento con fuentes infinitas y llegadas exponenciales
  - $S = G \cdot e^{-2G}$

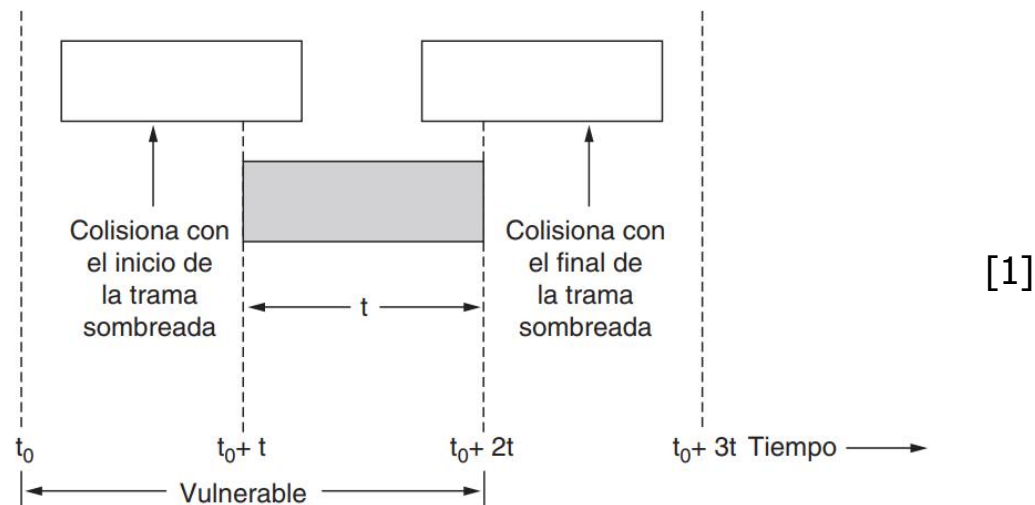


[1]

# Control de acceso al medio

- **Técnicas de contienda - ALOHA**

- Para transmitir una trama con éxito, no se puede solapar nada con ninguna otra trama
- Si hay alguna otra trama en el canal, ambas se perderán, aunque coincidan mínimamente
- Con tramas de tamaño constante  $t$ , una trama es vulnerable durante  $2t$

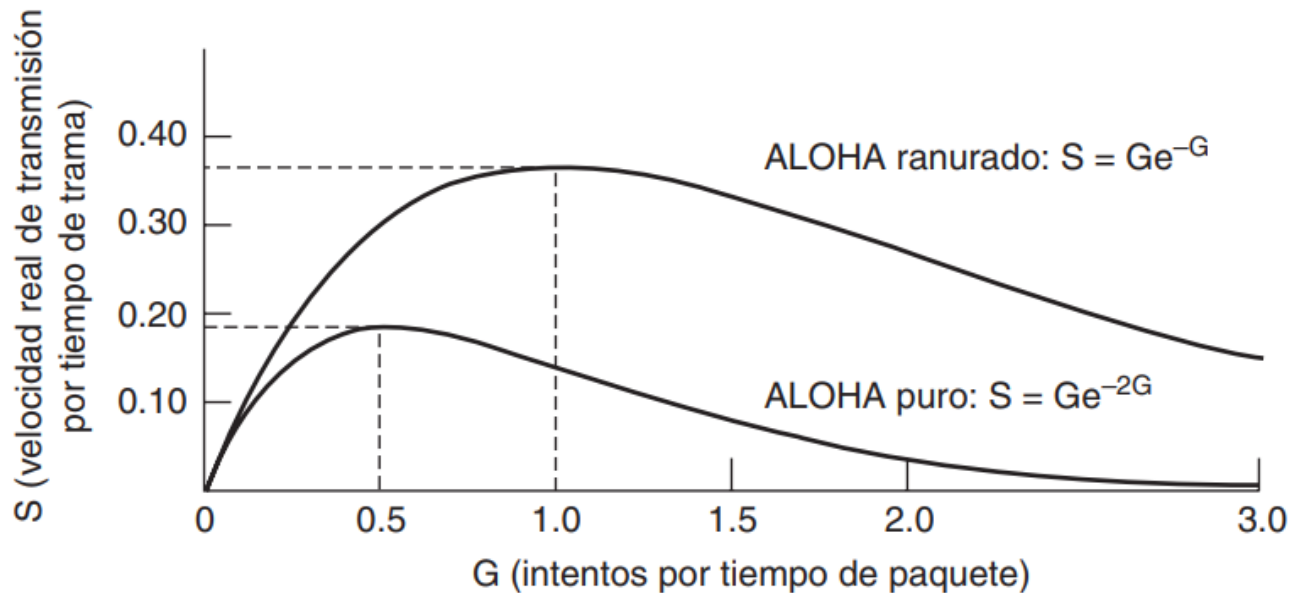


# Control de acceso al medio

- **Técnicas de contienda – ALOHA ranurado**
  - El tiempo se divide en ranuras de tamaño  $t$
  - Las estaciones solo pueden comenzar a transmitir una trama al comienzo de la ranura
  - La probabilidad de colisión es menor – Sólo si hay otra transmisión en la misma ranura
  - Rendimiento:
    - $S = G \cdot e^{-G}$

# Control de acceso al medio

- Técnicas de contienda – ALOHA vs ALOHA ranurado
  - Máximos:
    - ALOHA:  $G = 0.5 \rightarrow S \sim 0,184$
    - ALOHA ranurado:  $G = 1 \rightarrow S \sim 0,368$



# Control de acceso al medio

- **Técnicas de contienda – CSMA**
  - Acceso múltiple por detección de portadora (*Carrier Sense Multiple Access*)
  - Las estaciones están escuchando el medio de transmisión
  - Esperan a que el canal esté libre para empezar a transmitir
  - Motivos para las colisiones:
    - Dos estaciones empiezan a transmitir a la vez al acabar otra
    - Debido al retardo de propagación

# Control de acceso al medio

- **Técnicas de contienda – CSMA persistente-1**
  - Funcionamiento
    - Las estaciones escuchan el medio
    - Si está ocupado, esperan hasta que quede libre
    - Si está vacío, transmiten
    - Si hay colisión
      - Se espera un tiempo aleatorio
      - Se vuelve al primer paso
  - Problema
    - Se suelen producir colisiones al final de los envíos de tramas

# Control de acceso al medio

- **Técnicas de contienda – CSMA no persistente**
  - Funcionamiento
    - Las estaciones escuchan el medio
    - Si está ocupado
      - Se espera un tiempo aleatorio
      - Se vuelve al primer paso
    - Si está vacío, transmiten
    - Si hay colisión
      - Se espera un tiempo aleatorio
      - Se vuelve al primer paso
  - Problema
    - Medio desaprovechado justo tras el fin de una transmisión

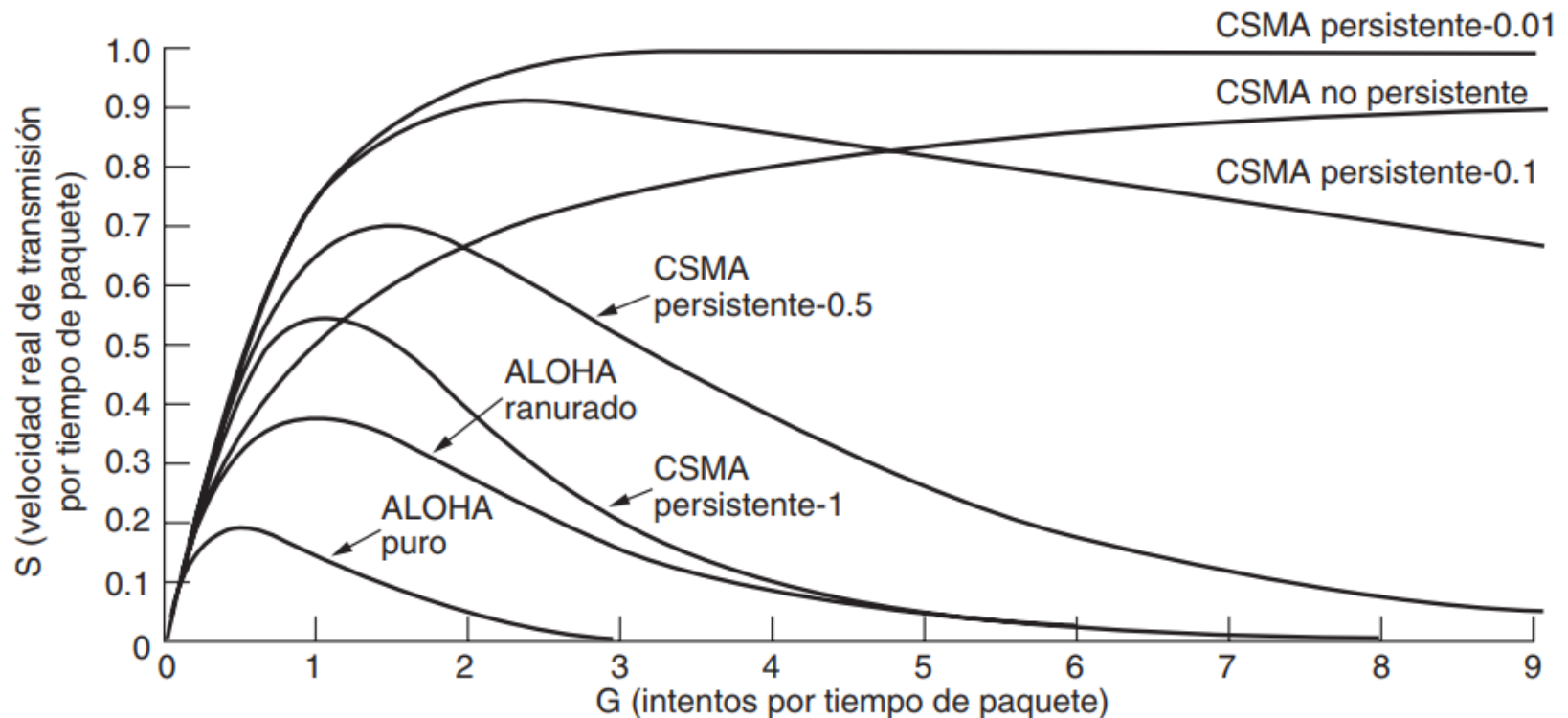
# Control de acceso al medio

- **Técnicas de contienda – CSMA persistente-p**
  - Funcionamiento
    - Las estaciones escuchan el medio
    - Si está ocupado, esperan hasta que quede libre
    - Si está vacío
      - Transmiten con probabilidad  $p$
      - Se vuelve al primer paso con probabilidad  $(1-p)$
    - Si hay colisión
      - Se espera un tiempo aleatorio
      - Se vuelve al primer paso
  - Se busca un equilibrio entre reducir el número de colisiones y el tiempo de desocupación



# Control de acceso al medio

- Técnicas de contienda – rendimiento



[1]

# Control de acceso al medio

- **Técnicas de contienda – CSMA/CD**
  - Problema común en técnicas CSMA
    - El medio permanece inutilizable durante el tiempo que dos tramas colisionan
  - Técnica CSMA con detección de colisión (*CD – Collision Detection*)
    - Las estaciones escuchan mientras transmiten
    - Si detectan colisión:
      - Transmiten una pequeña señal de interferencia
      - Abortan el envío

# Control de acceso al medio

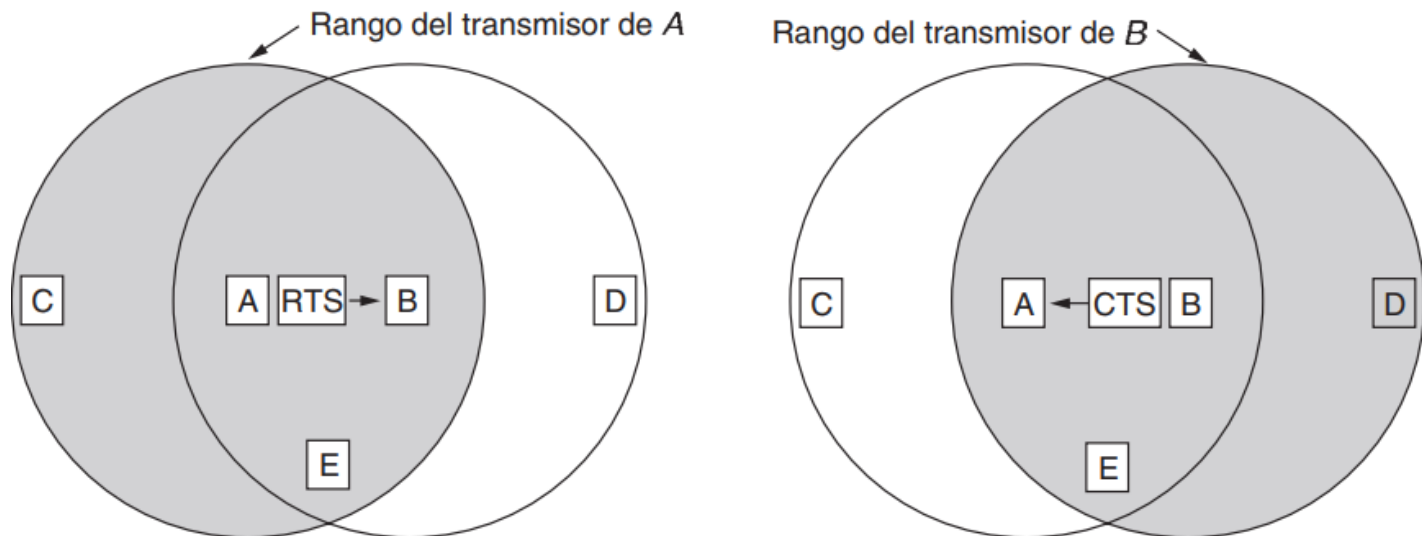
- **Técnicas de contienda – MACA**
  - Las técnicas CSMA no son adecuadas para redes inalámbricas – Es difícil detectar las colisiones, puede haber estaciones “ocultas”, etc
  - Acceso múltiple con evitación de la colisión (*Multiple Access with Collision Avoidance*)
    - No se escucha el medio para detectar colisiones
    - Evita colisiones entre estaciones que no se ven
  - Problemas
    - Las colisiones no son detectadas por la capa MAC
    - Se reenvían cuando lo detectan las capas superiores – Mucho tiempo después de la colisión

# Control de acceso al medio

- **Técnicas de contienda – MACA**

- Funcionamiento

- Se utilizan RTS (*Request to send*) y CTS (*Clear to send*) para bloquear el medio
    - Si se produce colisión durante el envío, se espera durante un tiempo aleatorio antes del reintento



# Control de acceso al medio

- **Técnicas de rotación**

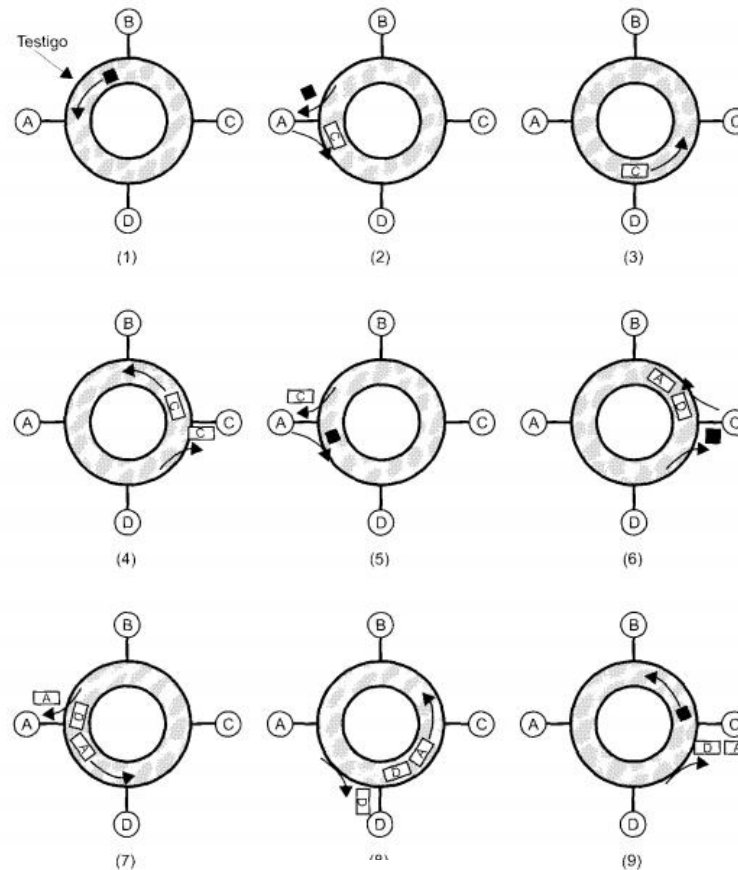
- Las máquinas transmiten en orden – No se producen colisiones
- Técnicas basadas en sondeo (centralizadas)
  - Una estación controladora da el turno al resto de estaciones
  - Las estaciones informan a la controladora al acabar
- Técnicas basadas en el paso de testigo (distribuidas)
  - Existe una trama que hace de testigo
  - La estación que tiene el testigo puede transmitir
  - El testigo se pasa al acabar de transmitir o pasar un tiempo determinado

# Control de acceso al medio

- **Técnicas de rotación – Token ring**
  - Utiliza una topología en anillo
  - Se basa en el uso de un testigo para efectuar la transmisión
  - Una estación espera a tener el testigo para enviar sus tramas
  - Cuando la trama pasa por la estación de destino, esta la copia y la mantiene en el anillo
  - Una vez que las tramas vuelven a la estación de origen, esta libera el testigo y lo pone de nuevo en el anillo

# Control de acceso al medio

- Técnicas de rotación – Token ring



[2]

# Control de acceso al medio

- **Técnicas de reserva**

- El tiempo se divide en diferentes instantes:

- Periodos de contención

- Las estaciones indican que quieren transmitir

- Periodos de transmisión

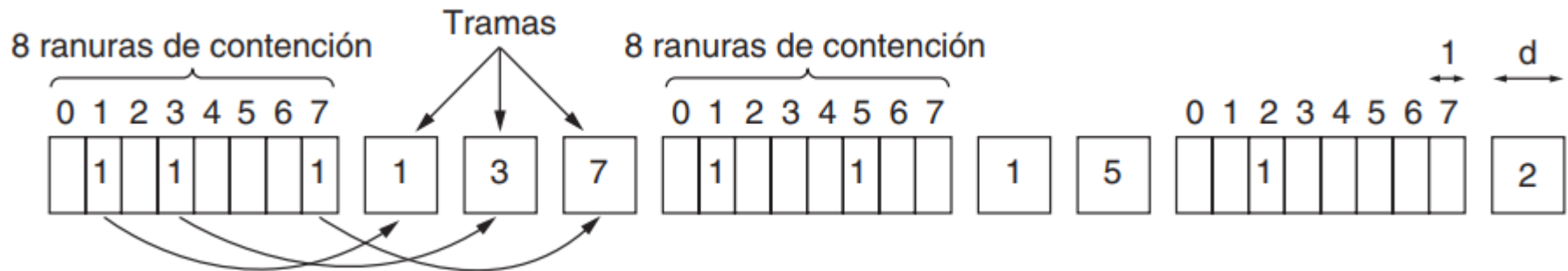
- Las estaciones transmiten los datos en los instantes que han reservado previamente

- No se producen colisiones, ya que nos garantizamos que no se transmita a la vez



# Control de acceso al medio

- **Técnicas de reserva - Mapa de bits**
  - El periodo de contención se divide en ranuras de reserva
    - Cuando tiene datos para transmitir, rellena su ranura con un 1
  - En el periodo de transmisión
    - Se espera tanto tiempo como tramas fueron reservadas
    - Las tramas se transmiten en orden

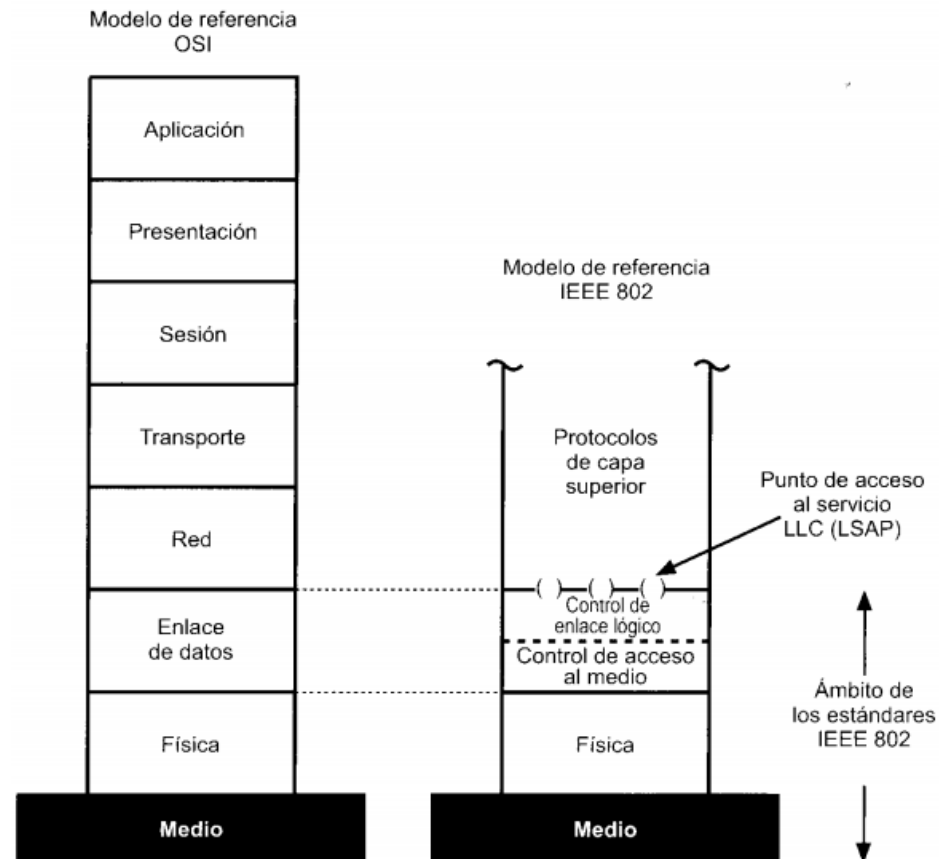


# 8.- ESTÁNDARES IEEE 802

- Se encargan de definir algunos de los estándares más utilizados hoy en día
  - 802.3 – Ethernet
  - 802.11 – WiFi
  - 802.15 – WPAN (Bluetooth, Zigbee)
  - 802.16 – WiMax
- Se utiliza sobre todo en los niveles más bajos del modelo OSI

# Estándares IEEE 802

- Modelo de referencia



# Estándares IEEE 802

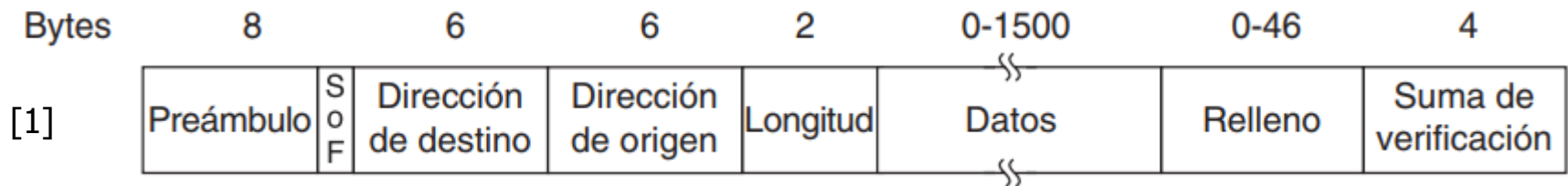
- **Subcapa de control de enlace lógico**
  - Tiene que comunicarse con la capa de red y la capa MAC
  - Se encarga de la gestión de flujo, unificar diferentes especificaciones de la capa MAC, agrupación de los bits, etc.
  - Ofrece tres tipos de servicios
    - No orientado a conexión sin confirmación
    - Orientado a conexión con confirmación
    - No orientado a conexión con confirmación
  - En IEEE 802.2 se implementa el protocolo *Logic Link Control* (LLC), utilizado en los estándares IEEE 802

# Estándares IEEE 802

- **Subcapa de control de acceso al medio**
  - Gestiona el acceso al medio compartido
    - Dicha gestión cambia en función del estándar 802.x utilizado
  - Direcciona las MACs de origen y destino en el propio medio compartido
  - Detecta errores de entramado o interferencias en los bits

# Estándares IEEE 802

- **802.3 Ethernet – Formato de trama**



– Preámbulo: Siete veces seguidas la cadena 10101010

- Permite la sincronización entre emisor y receptor

– *Start of Frame* o comienzo de trama

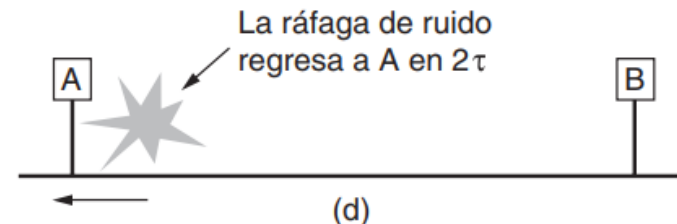
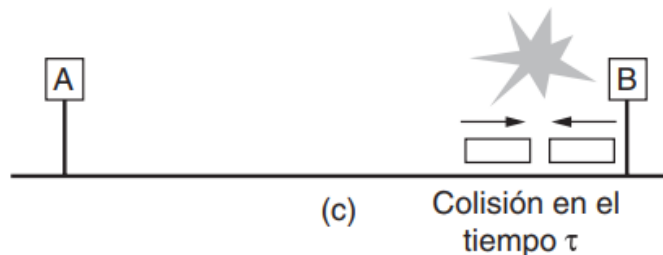
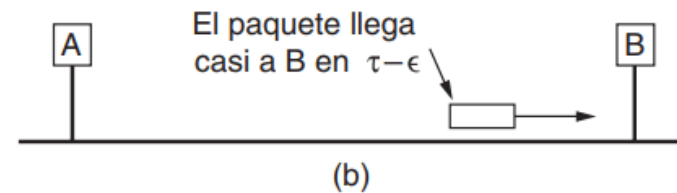
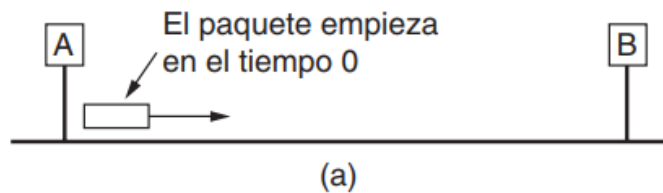
- La última secuencia del preámbulo 10101011, para indicar que se inicia la trama
- Direcciones de origen y destino: Direcciones MAC de las máquinas que emiten y reciben

# Estándares IEEE 802

- **802.3 Ethernet – Formato de trama**
  - Longitud: Tamaño del campo de datos LLC
  - Datos: Información recibida de la capa LLC
  - Relleno: Bytes añadidos por si la trama no tiene el tamaño mínimo para evitar colisiones
  - Suma de verificación: Se utiliza para calcular el CRC y comprobar que no ha ocurrido ningún error en la transmisión
    - Se utilizan todos los campos excepto el preámbulo y la propia suma de verificación

# Estándares IEEE 802

- **802.3 Ethernet – Intervalo de contención**
  - Tiempo mínimo necesario para que una estación que empieza a transmitir, se de cuenta de una colisión mientras está transmitiendo
    - 2 veces el tiempo de propagación del canal





# Estándares IEEE 802

- **802.3 Ethernet – CSMA/CD con retroceso exponencial binario**
  - Sirve para determinar el tiempo de espera después de una colisión
  - Tras  $k$  colisiones, con  $k \leq 10$ 
    - Se espera  $n \cdot t_{prop}$  con  $n$  elegido entre 0 y  $2^k - 1$
  - Tras  $k$  colisiones, con  $10 < k \leq 16$ 
    - Se espera  $n \cdot t_{prop}$  con  $n$  elegido entre 0 y 1023
  - Si hay más de 16 colisiones, se desiste

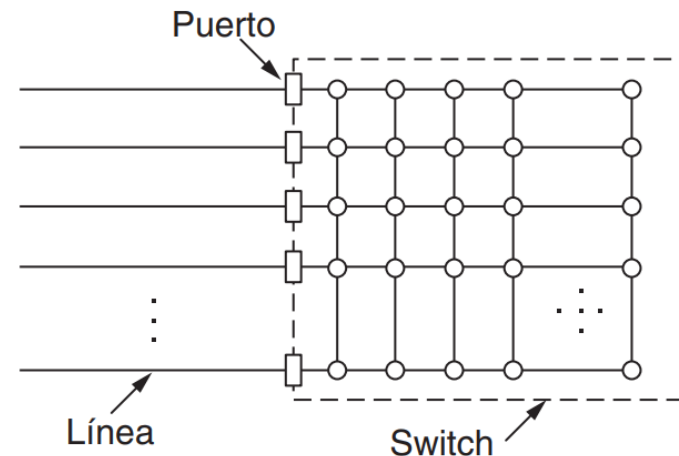
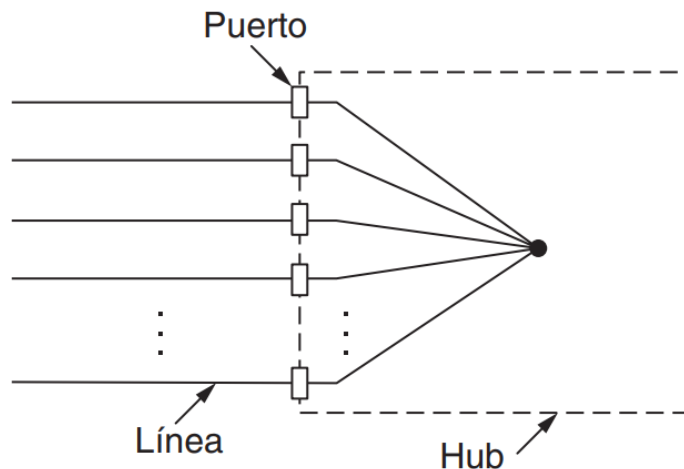
# Estándares IEEE 802

- **802.3 Ethernet – Direcciones MAC**
  - Cada tarjeta tiene asociada una dirección MAC
  - Está compuesta por 48 bits representados en hexadecimal en grupos de 8
  - Los tres primeros octetos identifican al fabricante
  - Cada tarjeta tiene una dirección de red única
  - Ejemplo
    - 1a:2b:3c:4d:5e:60 – 1A2B.3C4D.5E.60
    - FF:FF:FF:FF:FF:FF – FFFF.FFFF.FFFF

# Estándares IEEE 802

- **802.3 Ethernet conmutada**

- Originalmente se colocaban repetidores y **concentradores** para aumentar el tamaño de la red, conocidos como **hubs**
- Aunque cada máquina estuviera conectada a un cable diferente, el **hub** repetiría la señal por todos los cables, por lo que realmente las estaciones estarían compartiendo el medio
- Aparece una solución conmutada, los **switchs**, que repiten solo la trama por la salida correspondiente



[1]

# Estándares IEEE 802

- **802.3 Ethernet conmutada - *Switchs***
  - Son una solución más compleja y cara, aunque con el paso del tiempo se ha abaratado y hoy en día es la opción más utilizada
  - Los *switchs* permiten separar dominios de colisión, mejorando el rendimiento de la red
  - Poseen tablas en las que relacionan interfaces de salida con direcciones MAC
  - En el caso de enviarse una dirección de difusión, la retransmitiría por todas las salidas

# Estándares IEEE 802

- **802.3 Ethernet - ARP**

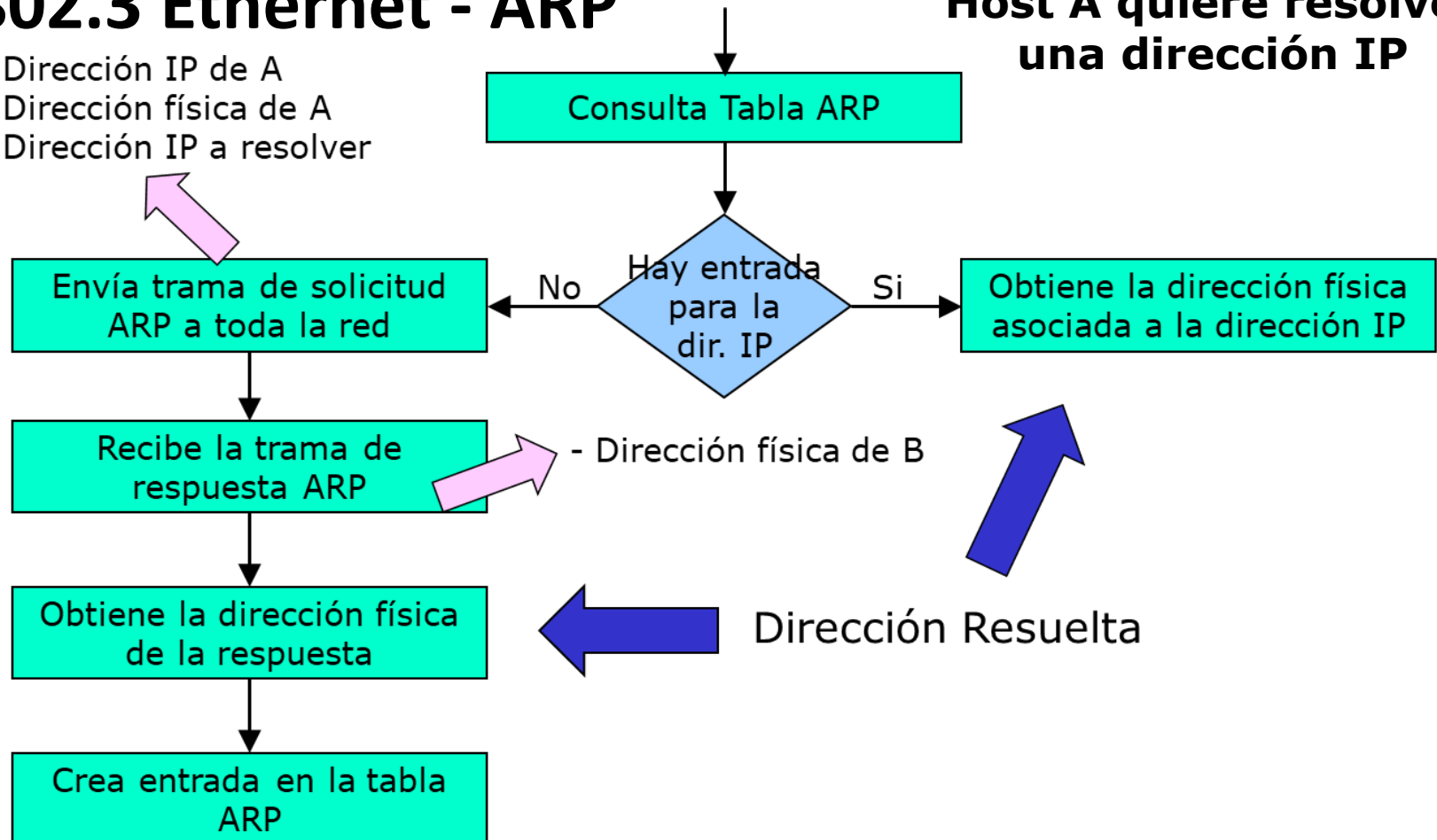
- Protocolo de Resolución de Direcciones (*Address Resolution Protocol*)
- Se encarga de obtener las direcciones MAC de las máquinas, a partir de una dirección IP
- Es un protocolo que se implementa en equipos que también poseen nivel de red – Almacenan unas tablas que relacionan MACs con IP
- Su variante inversa es RARP (*Reverse ARP*), que asigna direcciones IP a partir de las MAC – Hoy en día en desuso, principalmente sustituido por DHCP

# Estándares IEEE 802

## • 802.3 Ethernet - ARP

- Dirección IP de A
- Dirección física de A
- Dirección IP a resolver

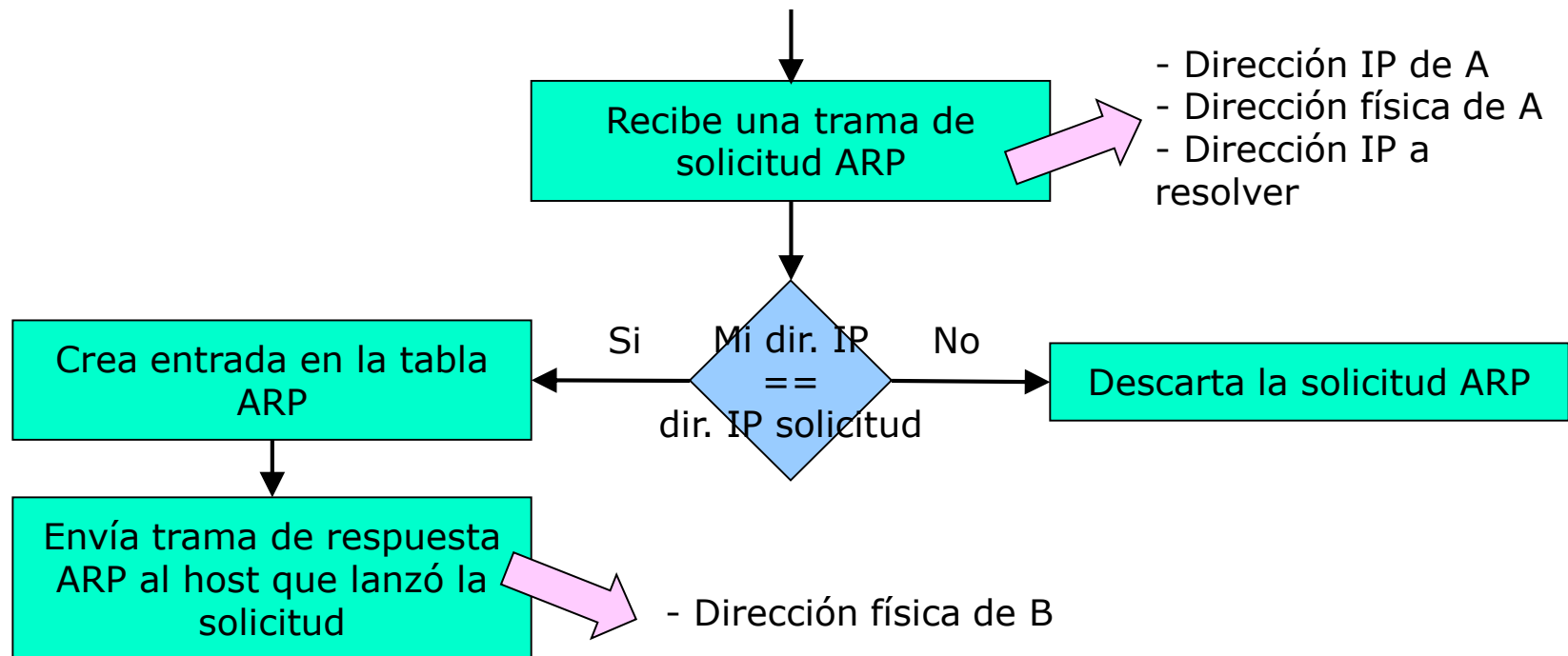
**Host A quiere resolver una dirección IP**



# Estándares IEEE 802

## • 802.3 Ethernet - ARP

**Host B recibe la trama de solicitud ARP de A**



# Estándares IEEE 802

- **802.3 Ethernet - Actualizaciones**

- *Fast Ethernet* – 802.3u

- Aumenta la velocidad hasta 100 Mbps
    - Incluye autonegociación para facilitar la retrocompatibilidad

- *Gigabit Ethernet* – 802.3ab

- Alcanza 1Gbps
    - Extensión de portadora y ráfagas de trama para ampliar el rango de alcance de la red

- *X Gigabit Ethernet y Terabit Ethernet*

- Mejoras sucesivas que amplían la velocidad y el alcance de las redes de tipo *Ethernet*



# Estándares IEEE 802

- **802.11 WiFi**

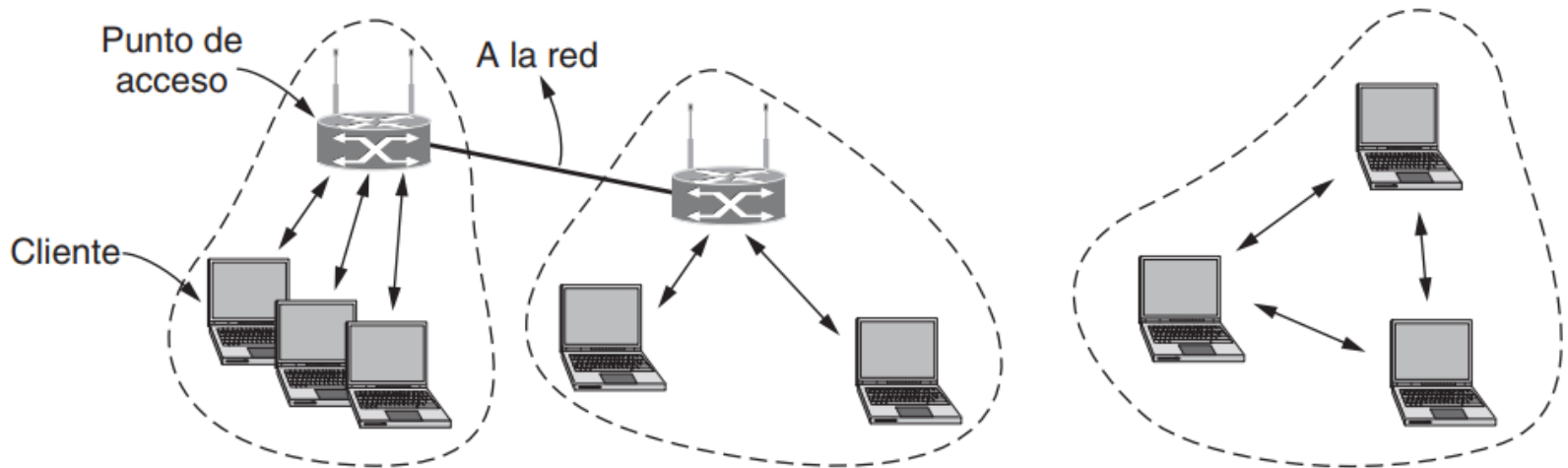
- Define un estándar de comunicaciones inalámbrico de corto alcance
- Es necesario utilizar bandas del espectro electromagnético que estén libres
- Requiere de diferentes técnicas de acceso al medio que *Ethernet* u otros estándares cableados
- Al igual que otros estándares 802, divide el nivel de enlace en dos subcapas, buscando aislar al nivel de red

# Estándares IEEE 802

- **802.11 WiFi**

- Puede utilizarse para conectarse a la red de Internet, o para crear una red local

- Elemento clave: Punto de acceso o *Access Point* (AP)



# Estándares IEEE 802

- **802.11 WiFi – Servicios**
  - Asociación: Permite a una estación, conectarse a un AP u otra estación
  - Disociación: Permite que una estación notifique su intención de abandonar una celda
  - Reasociación: Cambiar de un AP a otro sin necesidad de desasociarse
  - Autenticación: Identificar a una estación para saber si puede o no conectarse a la red
    - WEP (*Wired Equivalent Privacy*)
    - WPA (*WiFi Protected Access*)

# Estándares IEEE 802

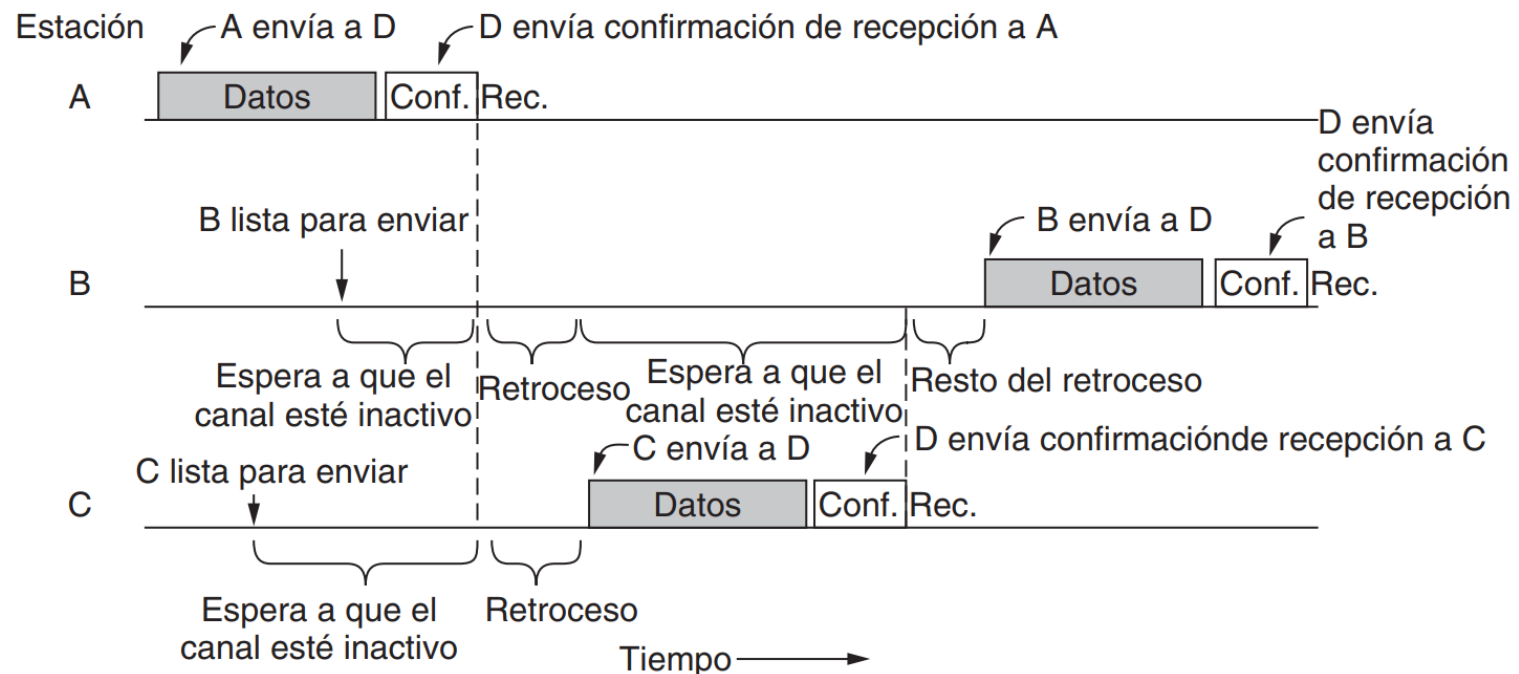
- **802.11 WiFi – Capa física**
  - Utiliza los espectros de 2.4Ghz y 5Ghz
  - Ha evolucionado utilizando canales con anchos de banda desde 20 hasta 160 Mhz
  - *Multiple Input - Multiple Output (MIMO)*
  - Multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM - *Orthogonal frequency-division multiplexing*)
  - Mejoras en la eficiencia y el alcance, usado también en redes de telefonía móvil

# Estándares IEEE 802

- **802.11 WiFi – Capa acceso al medio**
  - No se puede escuchar y transmitir a la vez
    - Señal de llegada mucho más débil que transmitida
  - CSMA/CA – CSMA con evitación de colisiones (*Collision Avoidance*)
    - Cuando se tiene una trama para transmitir, se escucha el medio y si se está libre, transmite
    - Si está ocupado, se espera a que se acabe y se espera un tiempo aleatorio para transmitir
    - Si durante la espera aleatoria, alguien transmite, el tiempo de espera se “pausa”

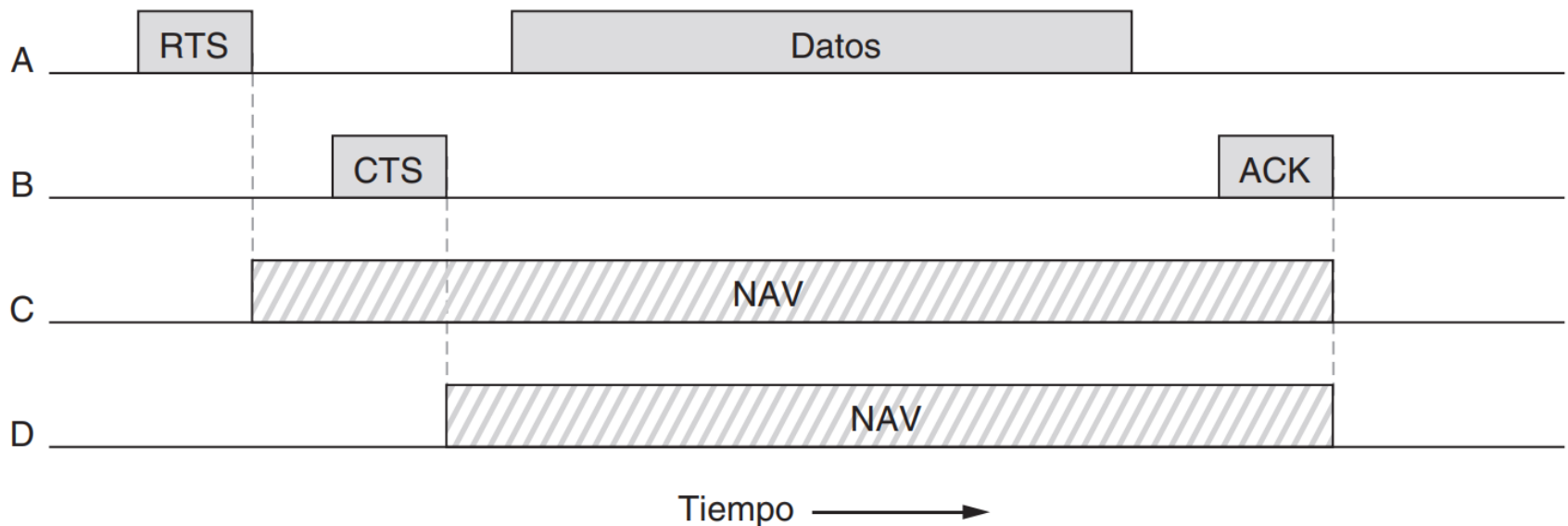
# Estándares IEEE 802

- **802.11 WiFi – Capa acceso al medio**
  - Se utilizan confirmaciones de recepción



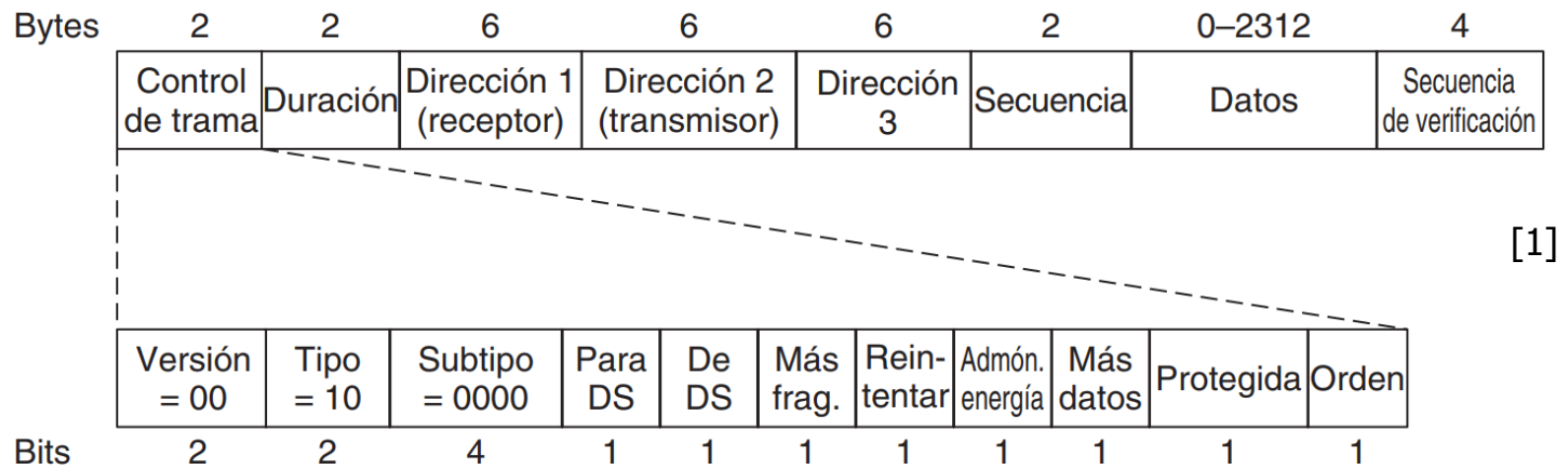
# Estándares IEEE 802

- **802.11 WiFi – Capa acceso al medio**
  - CSMA/CA se complementa con NAV (*Network Allocation Vector*)
  - Permite evitar el problema de las estaciones ocultas



# Estándares IEEE 802

- 802.11 WiFi – Formato de trama



- Versión: Actualmente 00, pero podría cambiar en el futuro
- Tipo: Gestión (00), control (01) o datos (10)



# Estándares IEEE 802

- **802.11 WiFi – Formato de trama**
  - Subtipo: RTS (1011), CTS (1100), ACK (1101), etc.
  - Para/De DS: Definen si el envío es entre estaciones de una misma red, entre estación y AP o entre APs
  - Más fragmentos: Indica si la trama se ha partido para enviarse por el medio
  - Reintentar: Especifica si la trama es un reenvío
  - Admón. Energía: Utilizado por el emisor para indicar que va a entrar en modo de ahorro de energía
  - Protegida: Especifica si la trama fue cifrada

# Estándares IEEE 802

- **802.11 WiFi – Formato de trama**

- Orden: Indica al receptor que la capa superior espera que la secuencia llegue en riguroso orden
- Duración: Tiempo de espera de las demás estaciones antes de comprobar el canal (NAV)
- Direcciones: Origen y destino en la red local. La tercera dirección es el destino fuera de la red local
- Secuencia: Numera las tramas para detectar duplicados
- Datos: Información pasada por la capa superior
- Suma de verificación: Comprobación que la trama llegó correctamente

# Referencias

- [1] Redes de ordenadores, 5ª Ed., Andrew S. Tanenbaum, Prentice Hall
- [2] Comunicaciones y redes de computadores, 6ª Ed., William Stallings, Prentice Hall