

UNIDAD N° 2: Redes de área local – LAN

Evolución histórica de las redes de área local. **Componentes y características técnicas de las redes LAN. Normas del IEEE relacionadas con las redes LAN. Niveles y subniveles (LLC y MAC) de una LAN. Direcciones MAC. Protocolos y topologías lógicas y físicas de las redes LAN. Protocolos de acceso aleatorio y determinístico. Protocolo CSMA/CD e IEEE 802.3. Sistema de detección de colisiones. Algoritmo exponencial binario para el tratamiento de las colisiones. Tramas: Ethernet e IEEE 802.3, diferencias. Implementación de redes Ethernet de acceso compartido y conmutado. Características de los hubs y de los switches. Red Gigabit Ethernet, características. Comparación del rendimiento de los diferentes tipos de implementaciones de redes LAN Ethernet. Protocolo IEEE 802.3. Sistema de acceso al medio basado en el “paso de testigo” (Token). Token Ring (paso de testigo en anillo). Norma IEEE 802.5.**

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO

CONEXIÓN - **ACCESO AL MEDIO** - FLUJO – ERRORES

Protocolos de reservación (sin colisión)

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO ACCESO AL MEDIO

• Protocolos de Gestión del Canal

Determinan qué estación puede usar el canal en cada momento.

○ **Protocolos Primario/Secundario** (Maestro/Esclavo)

Una estación gestiona el uso del canal

■ Ej. Sondeo/Selección

○ **Protocolos de Igual a Igual**

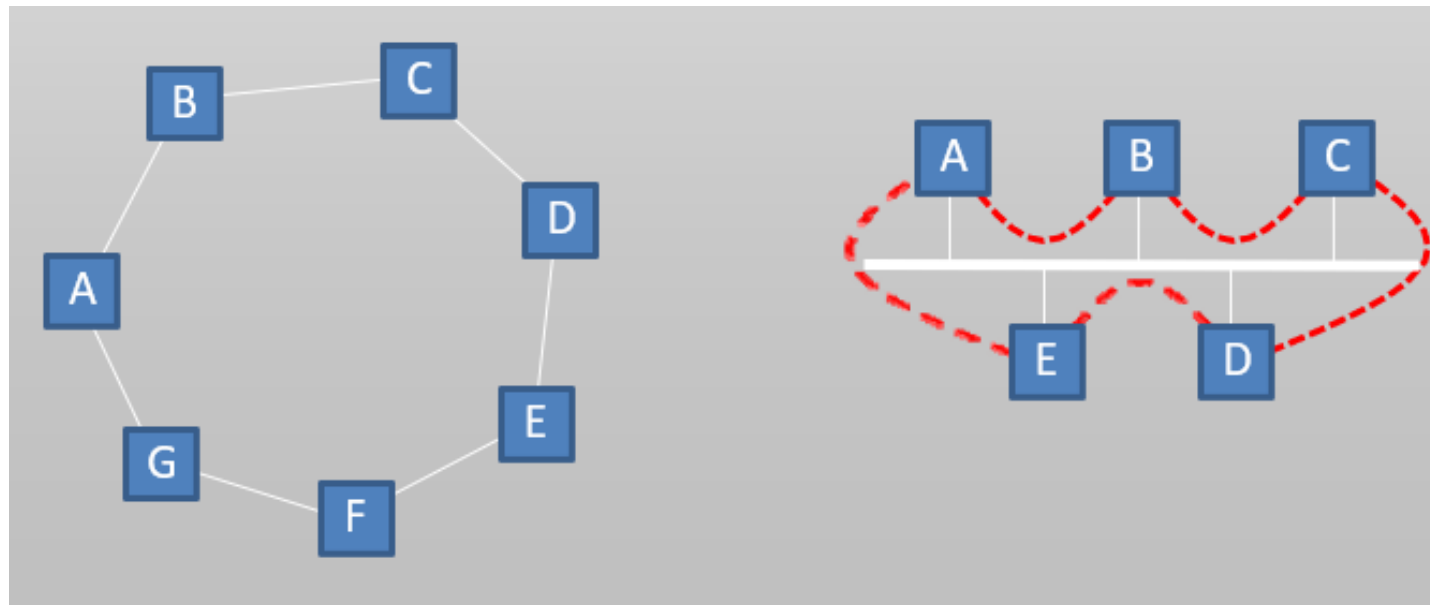
No hay una estación que controle el canal

Con prioridad o sin prioridad

Ej. 1. Paso de testigo - 2. Detección de portadora

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO ACCESO AL MEDIO

- Protocolos de Igual a Igual (CON / SIN PRIORIDAD): **Paso de testigo en anillo**
 - Empleado en redes con topología en anillo y en anillo lógico
 - El control de acceso al medio se realiza mediante una trama especial (**testigo**)



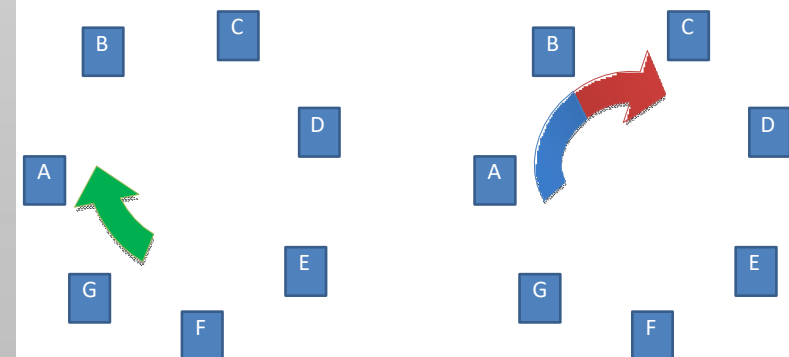
**Protocolos
de
reservación
(sin colisión)**

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO ACCESO AL MEDIO

- Protocolos de Igual a Igual (**SIN PRIORIDAD**): **Paso de testigo en anillo**

- Flujo de datos en un único sentido
- El testigo puede estar en dos estados:
 - **Ocupado**: Alguna estación está transmitiendo
 - **Libre**: El canal está libre
 - Solo la estación que recibe el testigo libre puede transmitir. Para ello:
 - » Marca el testigo como ocupado
 - » Envía a la siguiente estación el testigo seguido de sus datos
 - » Solo la estación destino lee los datos
 - » La estación emisora al recibir de vuelta el testigo y los datos:
 - Elimina los datos
 - Marca el testigo como libre
 - Envía el testigo a la siguiente estación aunque quiera enviar más datos

- Se evita que una estación monopolice el anillo
- En el anillo lógico se eliminan las colisiones
- Se pueden establecer prioridades



MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO ACCESO AL MEDIO

- **Protocolos de Igual a Igual (CON / SIN PRIORIDAD): Paso de testigo en bus**
 - Empleado en topologías en bus
 - El acceso al medio se realiza como si se tratase de un anillo real
 - Se elimina la posibilidad de colisión
 - Cada estación sabe cuál es su sucesora
 - No es necesaria una ordenación específica de las estaciones
 - Solo quien posee el testigo puede usar el canal
 - Todas las estaciones escuchan el canal, pero solo la sucesora de la que emite “presta atención”

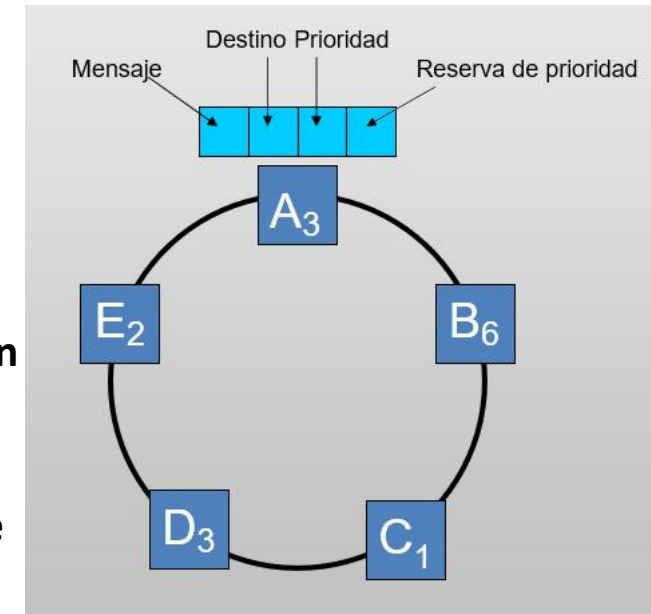
Protocolos
de
reservación
(sin colisión)

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO ACCESO AL MEDIO

- Protocolos de Igual a Igual (CON / SIN PRIORIDAD): **Paso de testigo con prioridad**

- Cada estación tiene asignada una prioridad de entre 8 posibles (ej. 1=máxima prioridad, 8=mínima prioridad)
- El testigo tiene un campo **prioridad** y otro **reserva de prioridad**
 - Una estación puede transmitir si tiene igual o mayor prioridad que la marcada en el testigo y el testigo está libre
 - Si el testigo está ocupado y se quiere reservar para la próxima transmisión
 - ❑ Sólo lo puede hacer si se tiene igual o mayor prioridad que la marcada en campo reserva de prioridad
 - ❑ Guarda la reserva de prioridad del testigo y pone su prioridad
 - ❑ Al terminar su transmisión pone en el testigo la reserva de prioridad que guardó

**Protocolos
de
reservación
(sin colisión)**



MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO

CONEXIÓN - **ACCESO AL MEDIO** - FLUJO – ERRORES

Protocolos de contienda (conflicto)

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO ACCESO AL MEDIO

Protocolos de Igual a Igual (SIN PRIORIDAD): **CSMA (Acceso Múltiple con Detección de Portadora)**

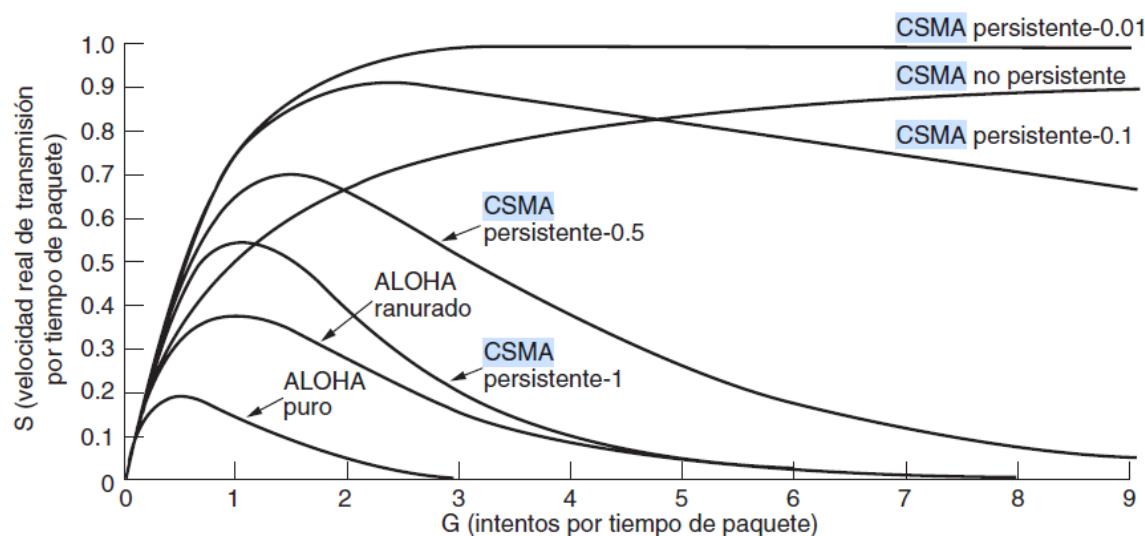


Figura 4-4. Comparación de la utilización del canal contra la carga para varios protocolos de acceso aleatorio

- **ALOHA:** las tramas se transmiten en tiempos completamente arbitrarios. La máxima velocidad real de transmisión ocurre cuando $G=0.5$, con $S=1/2e$, **~0.184** (un uso del canal $\leq 18\%$).
- **ALOHA ranurado:** cada trama se Tx cuando tiene su ranura (tpo discreto). Alcanza su máximo valor en $G=1$, con una velocidad real de transmisión de $S=1/e$, **~0.368** (doble de ALOHA puro). Mejor rendimiento: 37% de ranuras vacías, 37% de éxitos y 26% de colisiones.

ALOHA puro y sentó las bases para el control de acceso al medio en redes tipo Ethernet y WiFi.

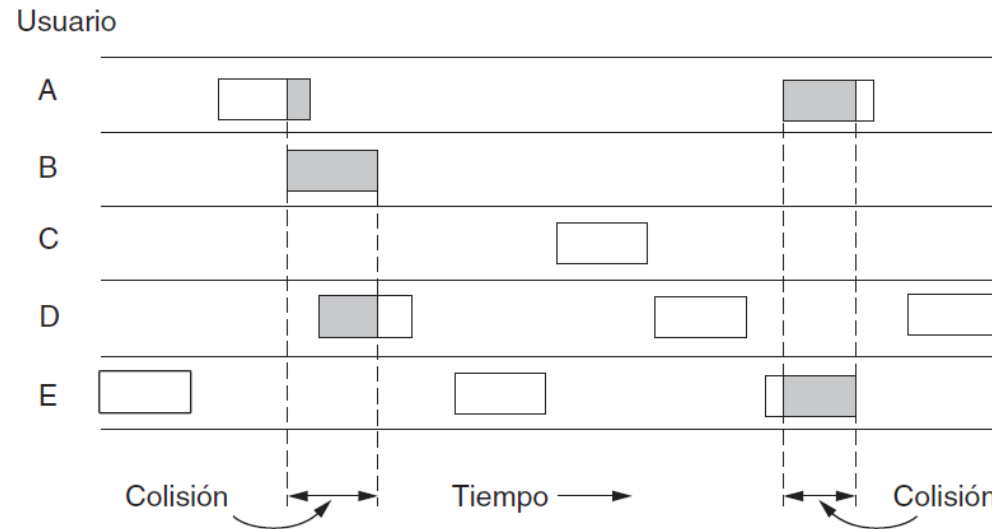
MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO

ACCESO AL MEDIO

Protocolos de Igual a Igual (SIN PRIORIDAD): **CSMA (Acceso Múltiple con Detección de Portadora)**

ALOHA

Estados posibles de una computadora con ALOHA



Si hay colisión,
se retransmite
luego de un
tiempo
aleatorio.

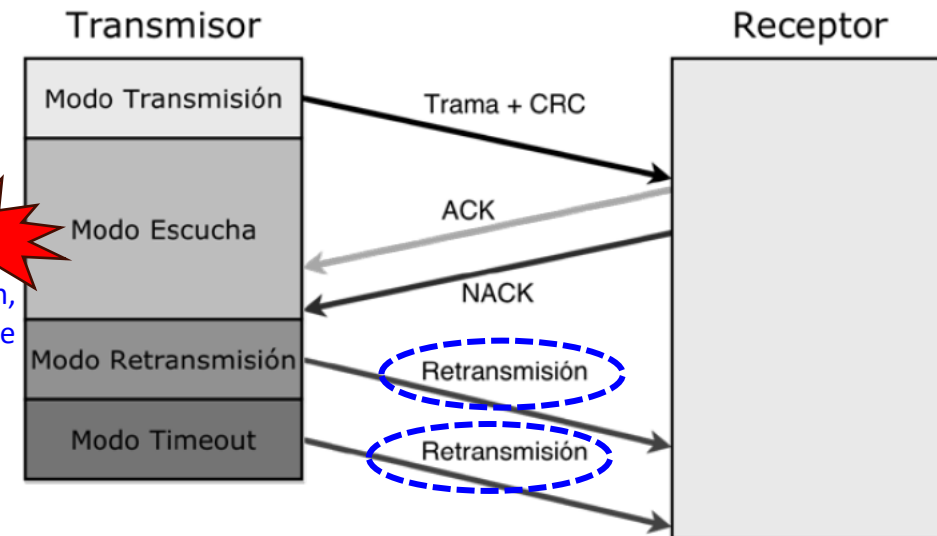


Figura 4-1. En ALOHA puro, las tramas se transmiten en tiempos completamente arbitrarios.

- Todas las tramas tienen la misma longitud L
- Las máquinas **no pueden generar tramas** mientras están transmitiendo o retransmitiendo.
- El grupo de máquinas transmite o retransmite siguiendo una Distribución de Poisson. **P (frec media) de que ocurra un determinado número de eventos durante cierto período de tiempo.**

Particularidades de ALOHA ranurado

No se permite que una estación envíe cada vez que el usuario escribe una línea. Se le obliga a esperar el comienzo de la siguiente ranura.

Usos de ALOHA ranurado

(1970) >> uso experimental.

('80) Acceso a Internet a través de cable >> para asignar un canal compartido entre varios usuarios competidores.

(~2000) RFID >> para que varias etiquetas RFID se comunicaran con el mismo lector RFID.

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO

ACCESO AL MEDIO

Protocolos de Igual a Igual (SIN PRIORIDAD): **CSMA (Acceso Múltiple con Detección de Portadora)**

- Para que una estación pueda realizar una **transmisión exitosa**, necesita **disponer del medio de transmisión durante T [seg]**, pero si otra estación transmite dentro de los T [seg] previos o los T [seg] posteriores, se producirá una colisión.
 - >> **Ventana de colisión o de contienda = $2T$ (vulnerable a la interferencia por el acceso de otros dispositivos).**
- Es decir que, una vez que un dispositivo accede al medio, para poder realizar una **transmisión exitosa** precisaría que el resto de las máquinas no transmitiera durante ese tiempo.

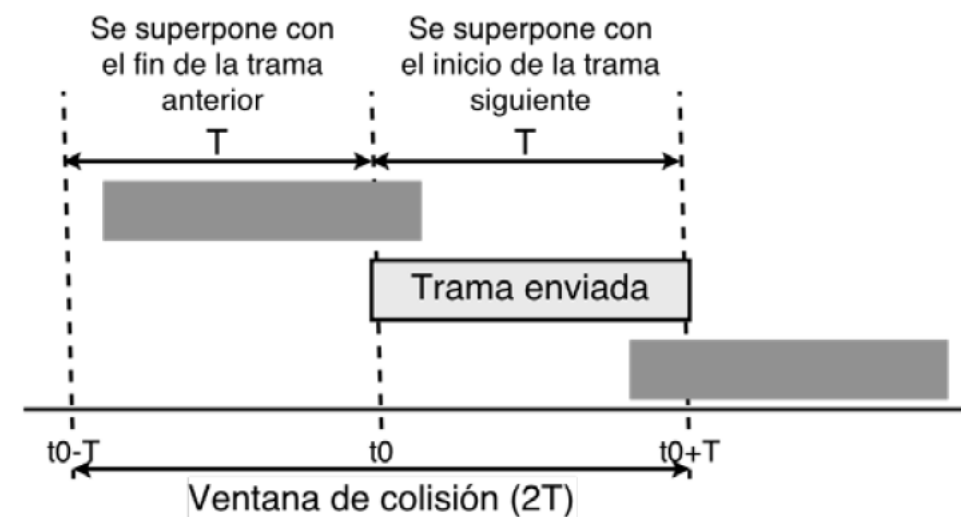


Figura 5.2 - Vulnerabilidad en ALOHA puro.

Se define T como el tiempo [seg] necesario para transmitir una trama.

Resulta $T = L/r_b$, siendo r_b la velocidad sobre el canal medida en *bps*.

Valor máximo de eficiencia: en ALOHA puro sólo durante 18.4% del tiempo, como máximo, se pueden realizar transmisiones exitosas. BAJA EFICIENCIA

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO ACCESO AL MEDIO

- **Protocolos de Igual a Igual (SIN PRIORIDAD):** **CSCD (Escucha de Portadora con Detección de Colisión).**
 - **Antes de transmitir se escucha el canal:**
 - Si está libre → transmitir
 - Si está ocupado → esperar
 - Si dos estaciones ven a la vez el canal libre, ambas empiezan a transmitir a la vez → **colisión**
 - Hay varios métodos para conseguir el control del canal teniendo en cuenta las colisiones:
 - Escucha de portadora **1**-persistente
 - Escucha de portadora **No**-persistente
 - Escucha de portadora **p**-persistente

Mejor solución

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO ACCESO AL MEDIO

Protocolos de Igual a Igual (SIN PRIORIDAD): **CSMA (Acceso Múltiple con Detección de Portadora)**

- **CSMA persistente-1.** Cuando una estación tiene datos por enviar, primero escucha el canal para saber si alguien más está transmitiendo en ese momento.
 - Si el canal está inactivo, la estación envía sus datos.
 - Por el contrario, si el canal está ocupado, la estación espera hasta que se desocupa. A continuación, la estación transmite una trama.
 - Si ocurre una colisión, la estación espera una cantidad aleatoria de tiempo y comienza de nuevo.
- El protocolo se llama **persistente-1** porque la estación transmite **con una probabilidad de 1 cuando encuentra que el canal está inactivo.**
 - A mayor cantidad de intentos, más colisiones.

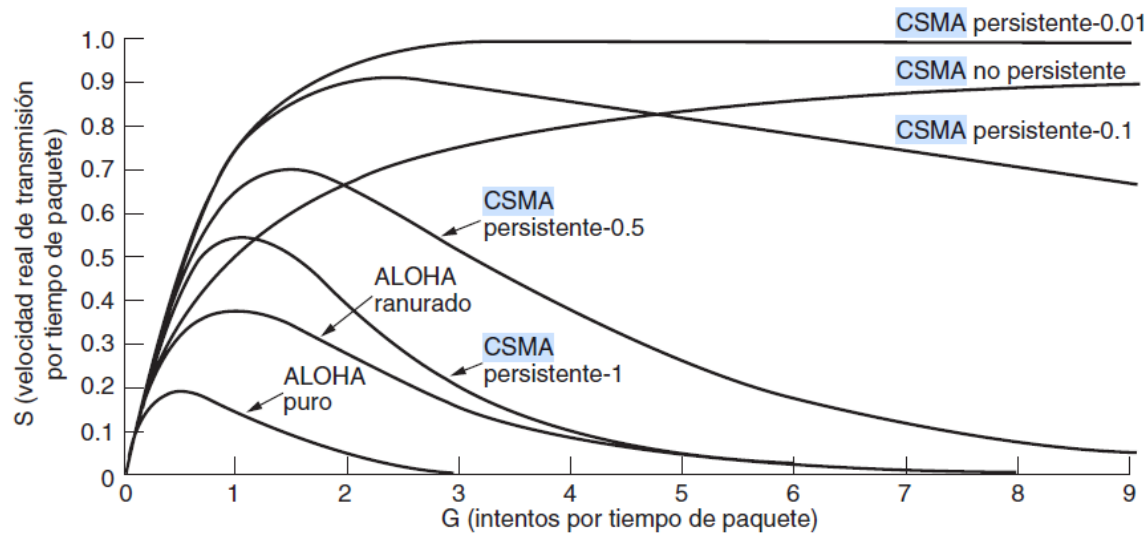


Figura 4-4. Comparación de la utilización del canal contra la carga para varios protocolos de acceso aleatorio

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO ACCESO AL MEDIO

Protocolos de Igual a Igual (SIN PRIORIDAD): **CSMA (Acceso Múltiple con Detección de Portadora)**

- **CSMA no persistente.** Cuando una estación tiene datos por enviar, primero escucha el canal para saber si alguien más está transmitiendo en ese momento.
 - Como antes, si nadie más está transmitiendo, comienza a hacerlo.
 - Pero si el canal ya está en uso, la estación no lo escuchará de manera continua con el fin de tomarlo de inmediato al detectar el final de la transmisión anterior, sino que esperará un periodo aleatorio y repetirá el algoritmo.
- Este algoritmo conduce a un **mejor uso del canal**, pero **produce mayores retardos que el CSMA persistente-1.**

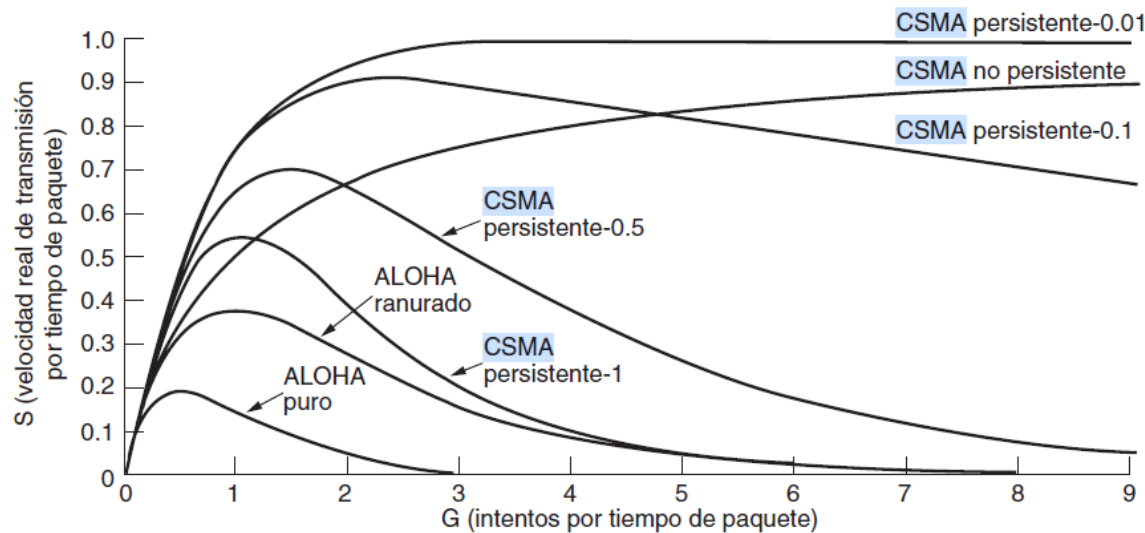


Figura 4-4. Comparación de la utilización del canal contra la carga para varios protocolos de acceso aleatorio

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO ACCESO AL MEDIO

Protocolos de Igual a Igual (SIN PRIORIDAD): **CSMA (Acceso Múltiple con Detección de Portadora)**

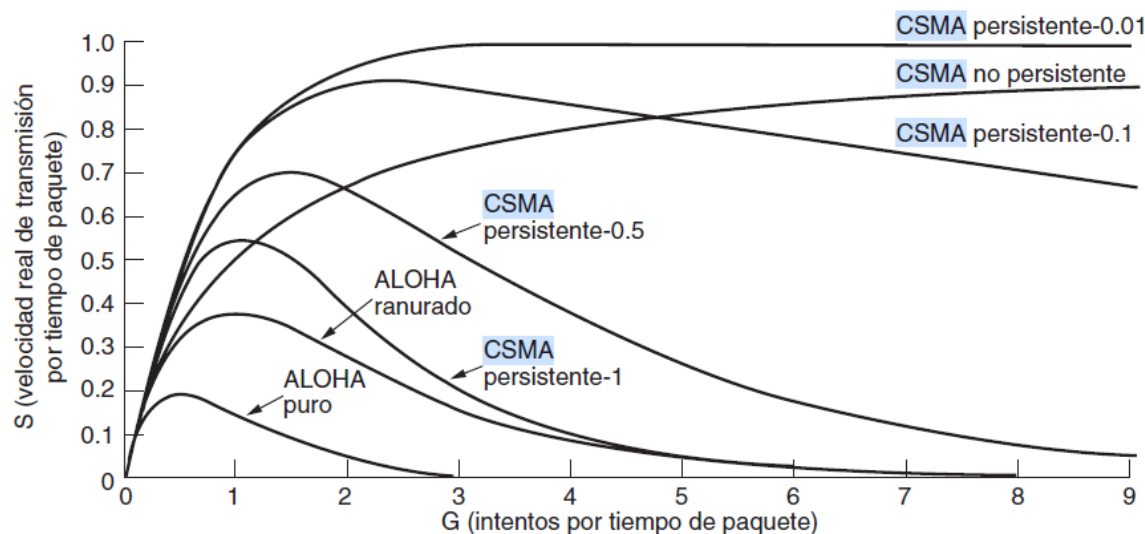


Figura 4-4. Comparación de la utilización del canal contra la carga para varios protocolos de acceso aleatorio

- **CSMA persistente-p.** Cuando una estación está lista para enviar, escucha el canal.
 - Si se encuentra inactivo, la estación transmite con una probabilidad p .
 - Con una probabilidad $q=1-p$, se posterga hasta la siguiente ranura. Si esa ranura también está inactiva, la estación transmite o posterga una vez más, con probabilidades p y q .
 - Este proceso se repite hasta que se transmite la trama o hasta que otra estación comienza a transmitir.
- En el segundo caso, actúa como si hubiera ocurrido una colisión (espera un tiempo aleatorio y comienza de nuevo).
- Si al principio la estación detecta que el canal está ocupado, espera hasta la siguiente ranura y aplica el algoritmo anterior.
- **IEEE 802.11 usa una versión refinada del CSMA persistente-p. Combinación de CSMA/CA con MACAW**

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO ACCESO AL MEDIO

Protocolos de Igual a Igual (SIN PRIORIDAD): **CSMA con detección de colisiones**

- Los protocolos CSMA persistentes y no persistentes son una mejora respecto a ALOHA:
 - Aseguran que ninguna estación empezará a transmitir mientras el canal esté ocupado.
 - Pero si dos estaciones detectan que el canal está inactivo y empiezan a transmitir al mismo tiempo, sus señales de todas formas sufrirán una colisión.
 - Otra mejora es que las estaciones detecten rápidamente la colisión y dejen de transmitir de inmediato (en vez de esperar a terminar las transmisiones).
 - Esta estrategia ahorra tiempo y ancho de banda: **CSMA/CD**.
 - **Base de LAN Ethernet (IEEE 802.3).**

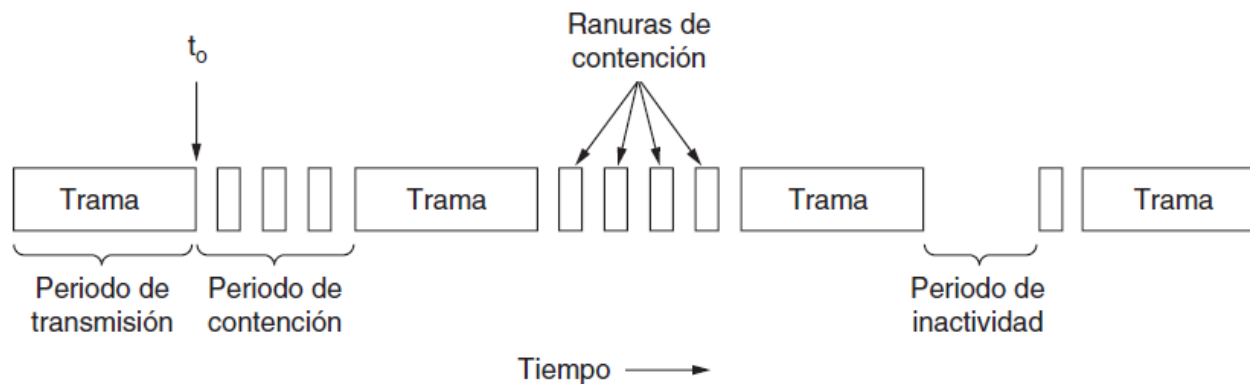


Figura 4-5. CSMA/CD puede estar en estado de contención, de transmisión o inactivo.

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO ACCESO AL MEDIO

Protocolos de Igual a Igual (SIN PRIORIDAD): CS 1-persistente

- Antes de transmitir se escucha el canal:
 - Si está libre → transmitir
 - Si está ocupado → escucha continua y transmisión al quedar libre
 - Colisión → espera aleatoria y retransmisión
- Ventaja
 - Alta ocupación del canal
- Desventaja
 - Alto número de colisiones

Protocolos de Igual a Igual (SIN PRIORIDAD): CS No-persistente

- Antes de transmitir se escucha el canal:
 - Si está libre → transmitir
 - Si está ocupado → espera aleatoria y escucha
 - Colisión → espera aleatoria y retransmisión
- Ventaja
 - Bajo número de colisiones
- Desventaja
 - Baja ocupación del canal

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO

ACCESO AL MEDIO

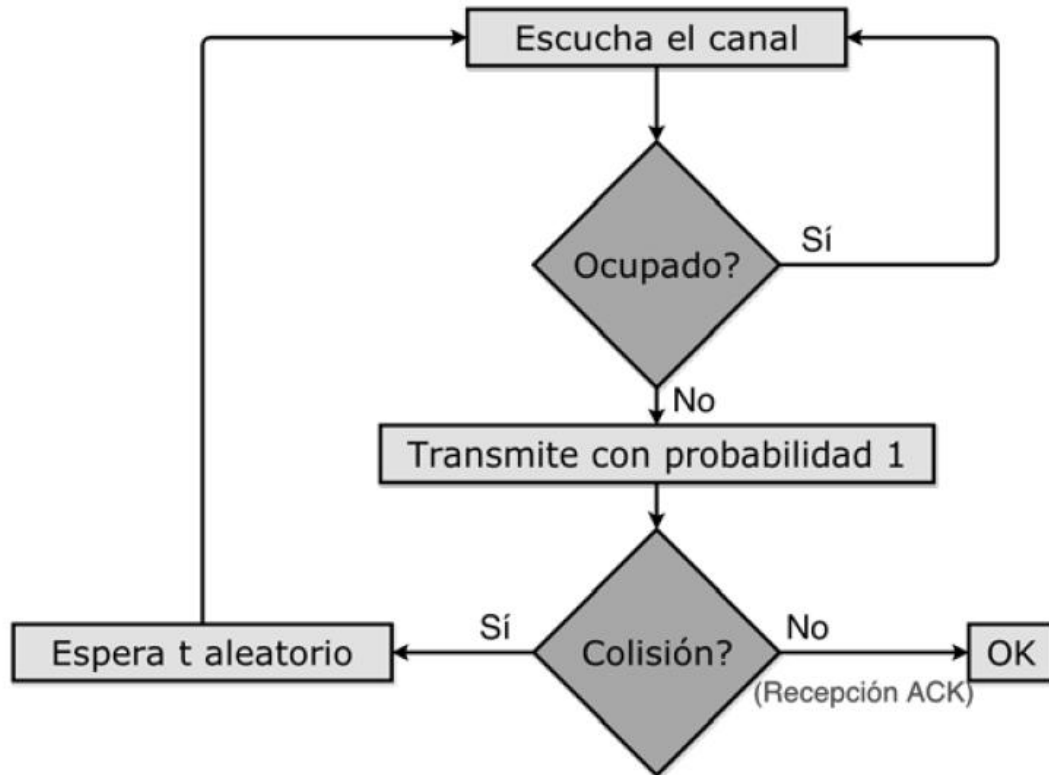


Figura 5. 5 - CSMA persistente-1.

Protocolos de Igual a Igual (SIN PRIORIDAD): **CS 1-persistente**

- Antes de transmitir se escucha el canal:
 - Si está libre → transmitir
 - Si está ocupado → escucha continua y transmisión al quedar libre
 - Colisión → espera aleatoria y retransmisión
- Ventaja
 - Alta ocupación del canal
- Desventaja
 - Alto número de colisiones

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO ACCESO AL MEDIO

Protocolos de Igual a Igual (SIN PRIORIDAD): **CS** **No**-persistente

- Antes de transmitir se escucha el canal:
 - Si está libre → transmitir
 - Si está ocupado → espera aleatoria y escucha
 - Colisión → espera aleatoria y retransmisión
- Ventaja
 - Bajo número de colisiones
- Desventaja
 - Baja ocupación del canal

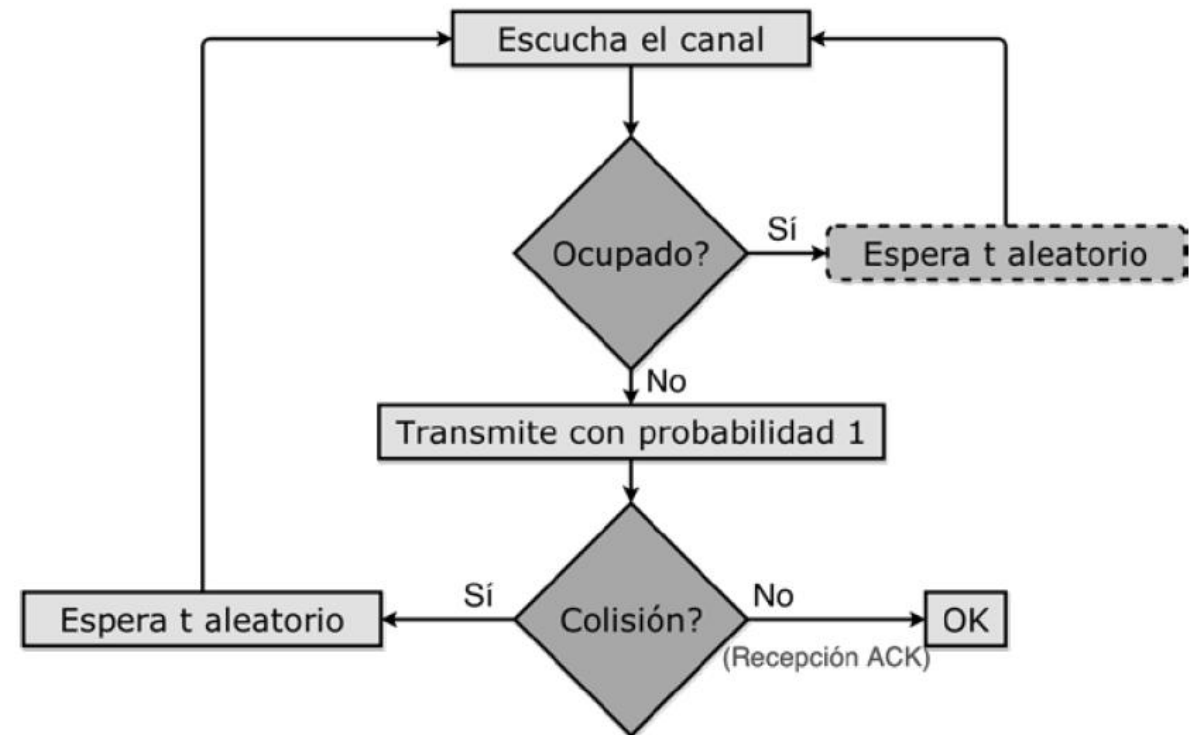


Figura 5.6 - CSMA No persistente.

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO

ACCESO AL MEDIO

Protocolos de Igual a Igual (SIN PRIORIDAD): **CS 1-persistente**

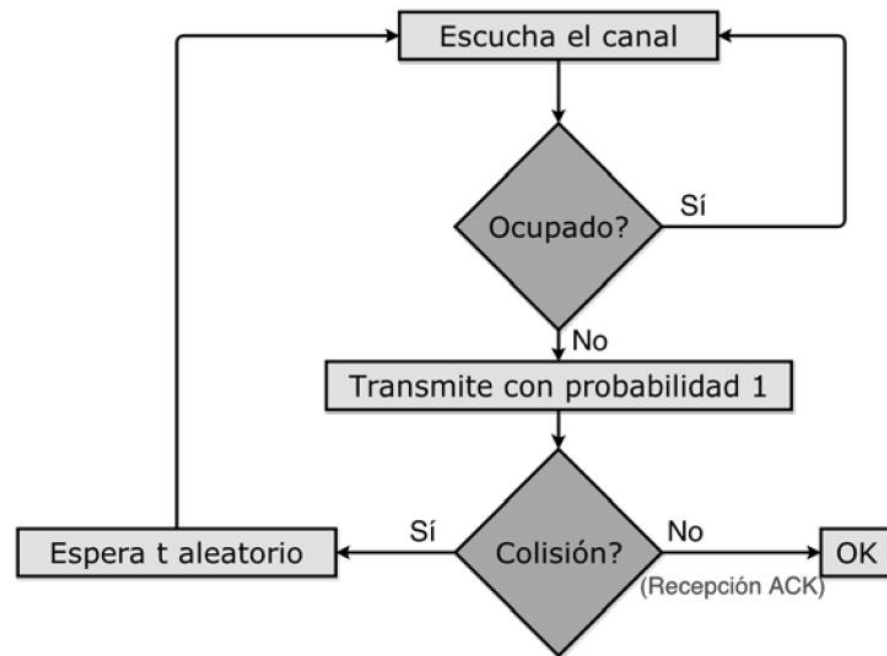


Figura 5. 5 - CSMA persistente-1.

Protocolos de Igual a Igual (SIN PRIORIDAD): **CS No-persistente**

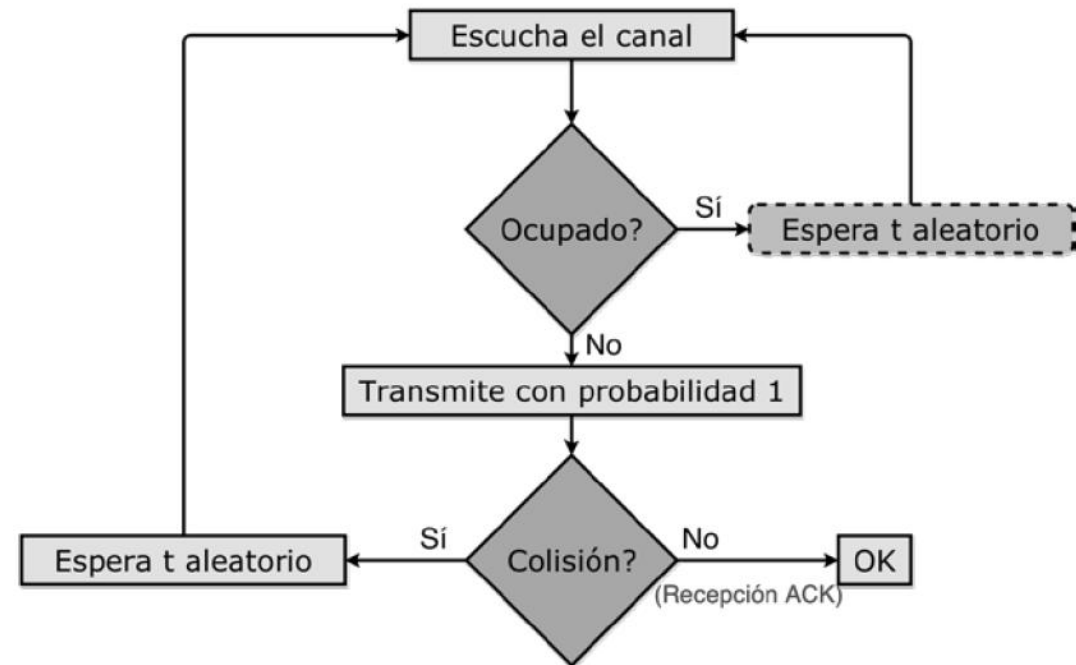


Figura 5.6 - CSMA No persistente.

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO ACCESO AL MEDIO

- **Protocolos de Igual a Igual (SIN PRIORIDAD): Escucha de Portadora p-persistente.**
 - Se divide el tiempo en intervalos de una trama
 - Si está libre → transmitir en el intervalo actual con probabilidad P , esperar al siguiente intervalo con probabilidad $1-p$
 - Si está ocupado → espera aleatoria y escucha
 - Colisión → espera aleatoria y retransmisión
 - Compromiso entre la alta ocupación del canal y el bajo número de colisiones

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO ACCESO AL MEDIO

- Protocolos de Igual a Igual (SIN PRIORIDAD): **Escucha de Portadora p-persistente.**
 - Se divide el tiempo en intervalos de una trama
 - Si está libre → transmitir en el intervalo actual con probabilidad P , esperar al siguiente intervalo con probabilidad $1-p$
 - Si está ocupado → **espera aleatoria y escucha**
 - **Colisión** → **espera aleatoria y retransmisión**
 - Compromiso entre la alta ocupación del canal y el bajo número de colisiones

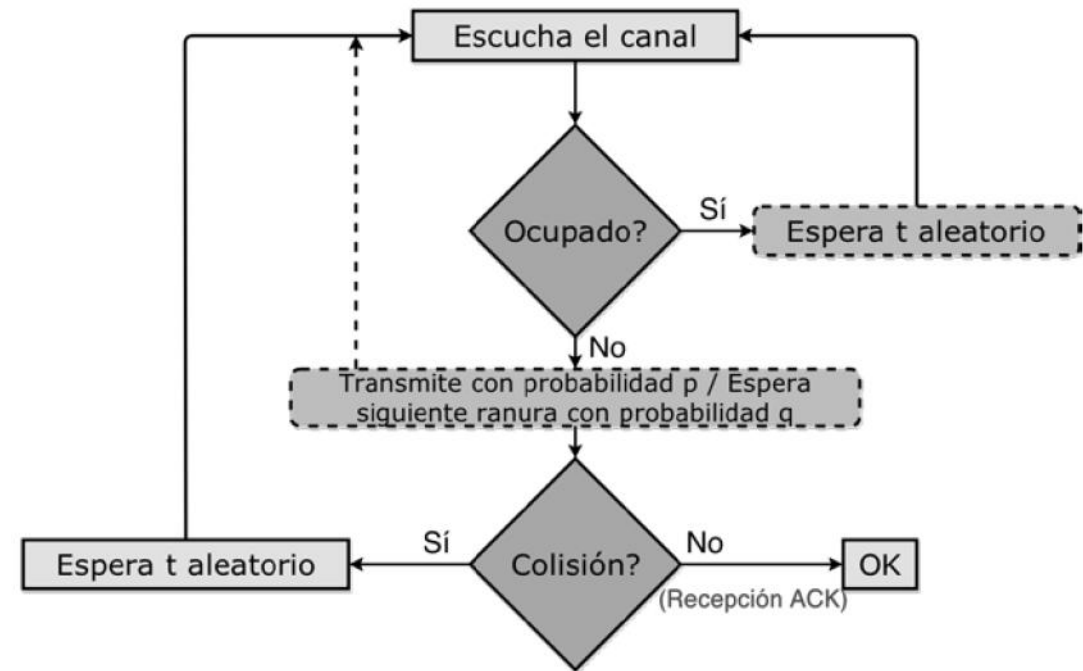


Figura 5.7 - CSMA persistente-p

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO ACCESO AL MEDIO

- **Protocolos de Igual a Igual (SIN PRIORIDAD): Escucha de Portadora p-persistente.**
 - **Ventana de colisión**
 - Retardo de la propagación de la señal
 - Distancia entre las estaciones
 - Durante unos instantes una estación ve libre el canal, aunque esté ocupado
→ **colisión**
 - Al aumentar la ventana de colisión se incrementa el número de colisiones
 - El sistema de escucha de portadora no es adecuado en WAN por el gran tamaño de la ventana de colisión
- **Objetivo:** minimizar las colisiones y el tiempo en el que el canal está desocupado.
- **Resultados:**
 - Se comporta peor que CSMA 1-persistente en el caso de tráfico moderado,
 - pero en situaciones de congestión evita el efecto de aumento promedio en cola de espera.
- **Uso:** WiFi.

CASO DE USO: CSMA/CD.

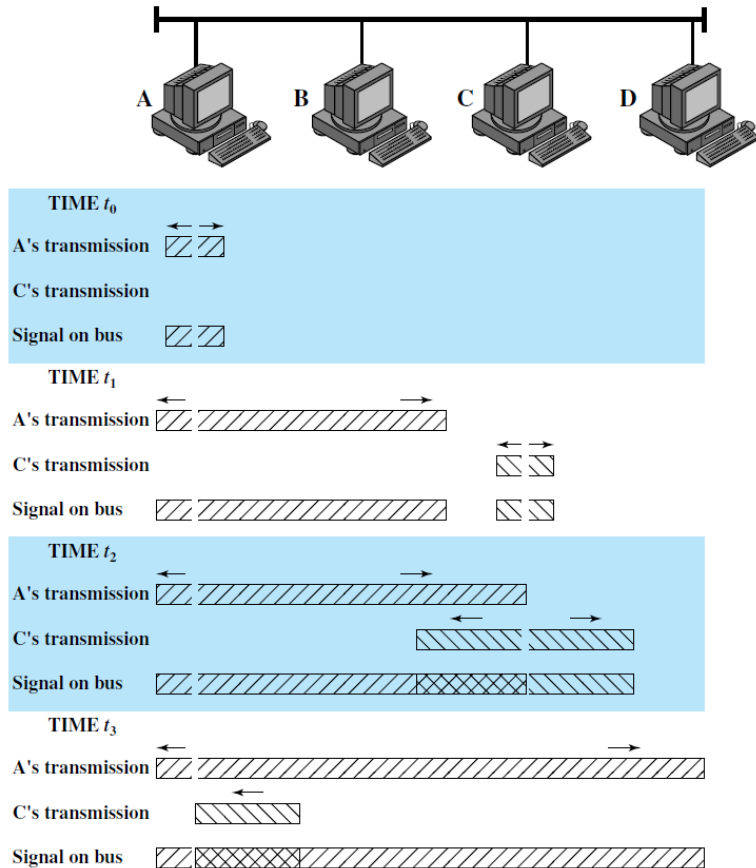


Figure 16.2 CSMA/CD Operation

CSMA/CD es una variante que se puede usar en situaciones en las que se puede escuchar a la vez que transmitir.

Método de acceso utilizado por las redes cableadas tipo Ethernet.

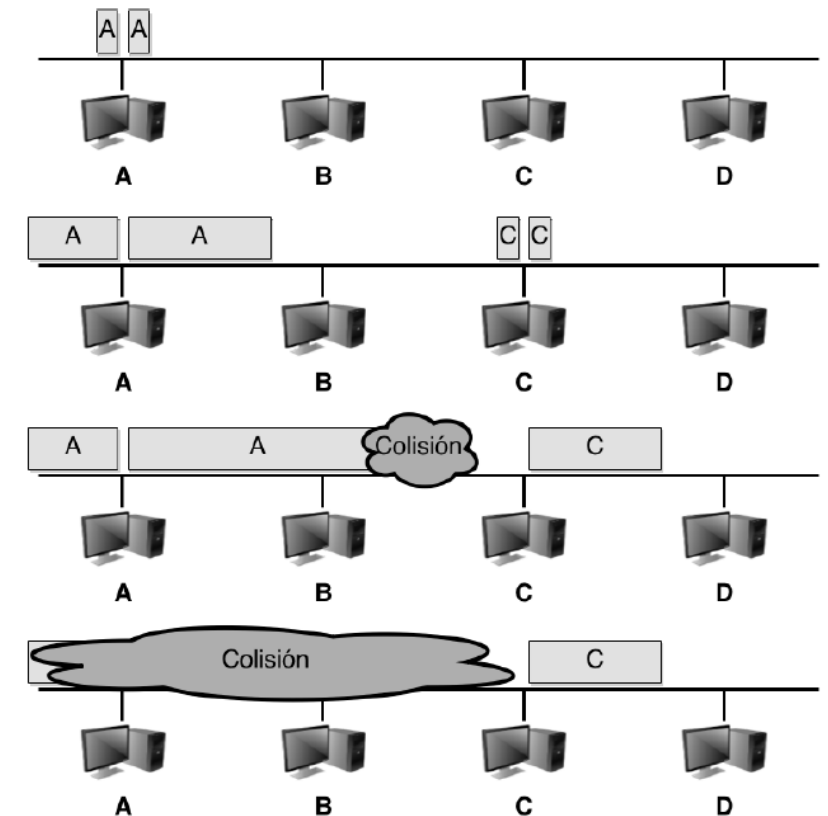


Figura 5.9 - Detección de Colisión.

CASO DE USO: CSMA/CD

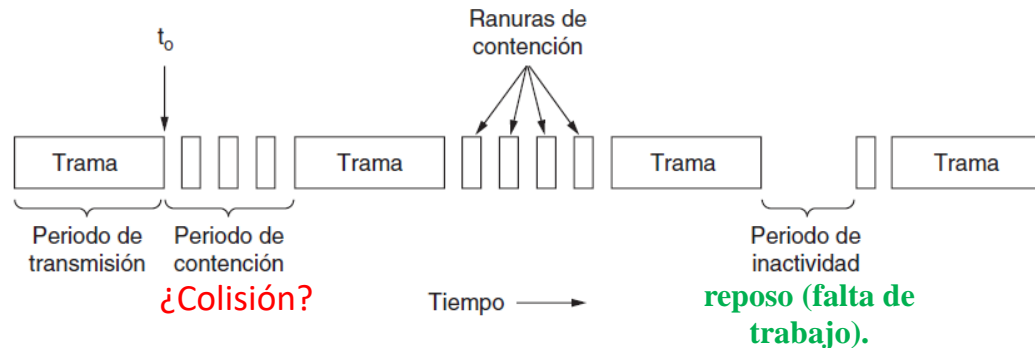


Figura 4-5. CSMA/CD puede estar en estado de contención, de transmisión o inactivo.

- En el punto marcado como t_0 , una estación ha terminado de transmitir su trama.
- Cualquier otra estación que tenga una trama por enviar puede intentar hacerlo ahora.
- Si dos o más estaciones deciden transmitir en forma simultánea, habrá una colisión.
 - Si una estación detecta una colisión, aborta la transmisión, espera un tiempo aleatorio (algoritmo de Back Off) e intenta de nuevo (suponiendo que ninguna otra estación ha comenzado a transmitir durante ese lapso).
- **Tiempo mínimo para detectar la colisión:** tiempo que tarda la señal en propagarse de una estación a otra.
 - En el peor caso, una estación no puede estar segura de que ha tomado el canal hasta que ha transmitido durante 2τ sin detectar una colisión. (τ : tiempo que tarda una señal en propagarse entre las dos estaciones más lejanas). $V_c = 2\tau$
 - Podemos pensar en la contención de CSMA/CD como un sistema ALOHA ranurado con un ancho de ranura de 2τ .
- **Requisitos:**
 - Mejorará en forma considerable el desempeño si el tiempo de la trama es mucho mayor que el tiempo de propagación. Las tramas deben ser lo suficientemente largas como para permitir la detección de la colisión antes de que finalice su propia transmisión.
 - Para resolver la atenuación del cable es necesaria la limitación del diámetro máximo de la red, o sea de la distancia máxima entre las máquinas más alejadas (Cableado Estructurado).

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO

CONEXIÓN - ACCESO AL MEDIO - FLUJO – ERRORES

Algoritmo exponencial binario para el tratamiento de las colisiones

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO

ACCESO AL MEDIO – ERRORES -

CASO DE USO: CSMA/CD (Ethernet básica con Hub)

- Tras una colisión, el tiempo se divide en ranuras discretas (2τ).
Tiempo de ranura (Ethernet) = 51,2 μ seg.
- Después de la primera colisión, cada estación espera 0 ó 1 tiempo de ranura al azar (antes de intentarlo de nuevo).
- Si dos estaciones entran en colisión y ambas escogen el mismo número aleatorio, habrá una nueva colisión.
- Después de la segunda colisión, cada una escoge 0, 1, 2 ó 3 (al azar) y espera ese tiempo de ranura.
- En general, después de i colisiones se elige un número aleatorio entre 0 y $2^i - 1$, y se salta ese número de ranuras (al llegar a 10 colisiones el intervalo de aleatorización se congela en un máximo de 1 023 ranuras).
- Después de 16 colisiones, el controlador se detiene e informa a la computadora que fracasó. La recuperación posterior es responsabilidad de las capas superiores.

RETROCESO (ESPERA) EXPONENCIAL BINARIA

1. Sea $n \leftarrow 1$ el número de colisiones experimentadas en la transmisión del frame en cuestión.
2. Generar un número entero aleatorio uniforme $K \in \{0, 1, \dots, 2^m - 1\}$, donde $m = \min(n, 10)$.
3. Esperar $K \times 512$ tiempos de bit antes de retransmitir.
4. $n \leftarrow n + 1$.
5. Ir a 2 si $n < 16$.

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO

ACCESO AL MEDIO – Ethernet (**Slot time**)

Notas técnicas:

- El **slot time** se define como el tiempo máximo que se necesita para que una señal viaje por el cable y regrese (ida y vuelta) en la distancia máxima permitida.
- El valor típico de slot time fue definido en **512 bits**, lo que corresponde a:
 - **51.2 μ s en 10 Mbps**
 - **5.12 μ s en 100 Mbps**
 - **0.512 μ s en 1 Gbps**
- En **full-duplex**, el concepto de colisiones desaparece, y por tanto, el slot time ya no es necesario.
- Las tecnologías modernas (desde **1 Gbps en adelante**) **no usan CSMA/CD** porque trabajan casi exclusivamente en modo **full-duplex con switches**.

<https://www.ieee802.org/3/>

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO

ACCESO AL MEDIO – Ethernet sobre Cobre (**cable UTP**)

Tecnología	Velocidad	Longitud máx.	Slot Time	Observaciones
10BASE-T	10 Mbps	100 m	51.2 μs (512 bits)	CSMA/CD activo ; slot time basado en la distancia máxima del cable.
100BASE-TX	100 Mbps	100 m	5.12 μs (512 bits)	Igual tamaño en bits, pero menor tiempo; aún se usa CSMA/CD .
1000BASE-T	1 Gbps	100 m	0.512 μs (512 bits)	Usa CSMA/CD solo en modo half- duplex (raro hoy). Full-duplex elimina colisiones.
10GBASE-T	10 Gbps	100 m	No aplica	Siempre full-duplex; CSMA/CD eliminado .

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO

ACCESO AL MEDIO – Ethernet sobre Cobre (**Fibra óptica**)

Tecnología	Velocidad	Longitud máx.	Slot Time	Observaciones
100BASE-FX	100 Mbps	Hasta 2 km	5.12 μ s	Igual a 100BASE-TX; se puede usar CSMA/CD.
100BASE-FX	100 Mbps	Hasta 2 km	5.12 μ s	Igual a 100BASE-TX; se puede usar CSMA/CD.
100BASE-FX	100 Mbps	Hasta 2 km	5.12 μ s	Igual a 100BASE-TX; se puede usar CSMA/CD.

MECANISMOS DE CONTROL DE TRÁFICO ACCESO AL MEDIO – Ethernet (**Resumen**)

Comparativo de Estándares Ethernet BASE-X

Norma	Velocidad	Medio fisico	"X" significa	Cableado	Observaciones
10BASE-T	10 Mbps	Par trenzado (UTP)	T = Twisted Pair	Cat 3 o superior	Primera Ethernet sobre cobre. Use 2 pares.
100BASE-T	100 Mbps	Par trenzado (UTP)	TX = Transmit (Par trenzado Cat 5)	Cat 3	Poca adopción. Usa 4 pares para alcanzar 100 Mbps.
100BASE-FX	100 Mbps	T4 = 4 pares	T4 = 4 pares	Half	Poca adopción. Usa 4 pares para alcanzar 100 Mbps
1000BASE-T	100 Mbps	Fibra óptica	Multimodo (ST. SC)	Full	Transmisión óptica. Menor interferencia
1000BASE-SX	1 Gbps	Fibra óptica	SX = Short wavelength	Full	Usa los 4 pares simultaneamente (transmision-bidireccional)
10GBASE-T	10 Gbps	Fibra óptica	LX = Long wavelength	Full	Mayor alcance (hasta 5 km)
10GBASE-T	10 Gbps	Par trenzado (UTP)	T = Twisted Pair	Full	Alta velocidad sobre cobre. Requiere control de interferencia

HOJA DE RUTA DE ETHERNET

BACK TO THE FUTURE OF ETHERNET

EST. 1973

CLOUD PROVIDERS

Cloud providers widely adopted 10G servers in 2010 to support hyperscale data centers. By the 2020s, the growing demand for AI and Machine Learning applications required faster connectivity, leading hyperscalers to transition from 25G/lane speeds to 50G, 100G, and beyond. These warehouse-scale data centers utilize a diverse mix of active and passive copper cables, multi-mode and single-mode fiber, and emerging technologies like Linear Pluggable Optics (LPO) to support 100G, 200G, 400G, and 800G interconnects. The challenge remains balancing bandwidth growth with power efficiency and cooling innovations to sustain rapid scaling.

Over the past decade, the gap between Telco and Cloud provider networking needs has narrowed, particularly with the global expansion of 5G services. Historically, telcos drove technology advancements to match end-user and equipment demands, while cloud and hyperscale providers prioritized higher density, faster speeds, and energy-efficient interconnects. Today, the two sectors are more aligned than ever, fostering greater collaboration to develop and deploy scalable, high-performance networking solutions that meet both enterprise and consumer market needs.

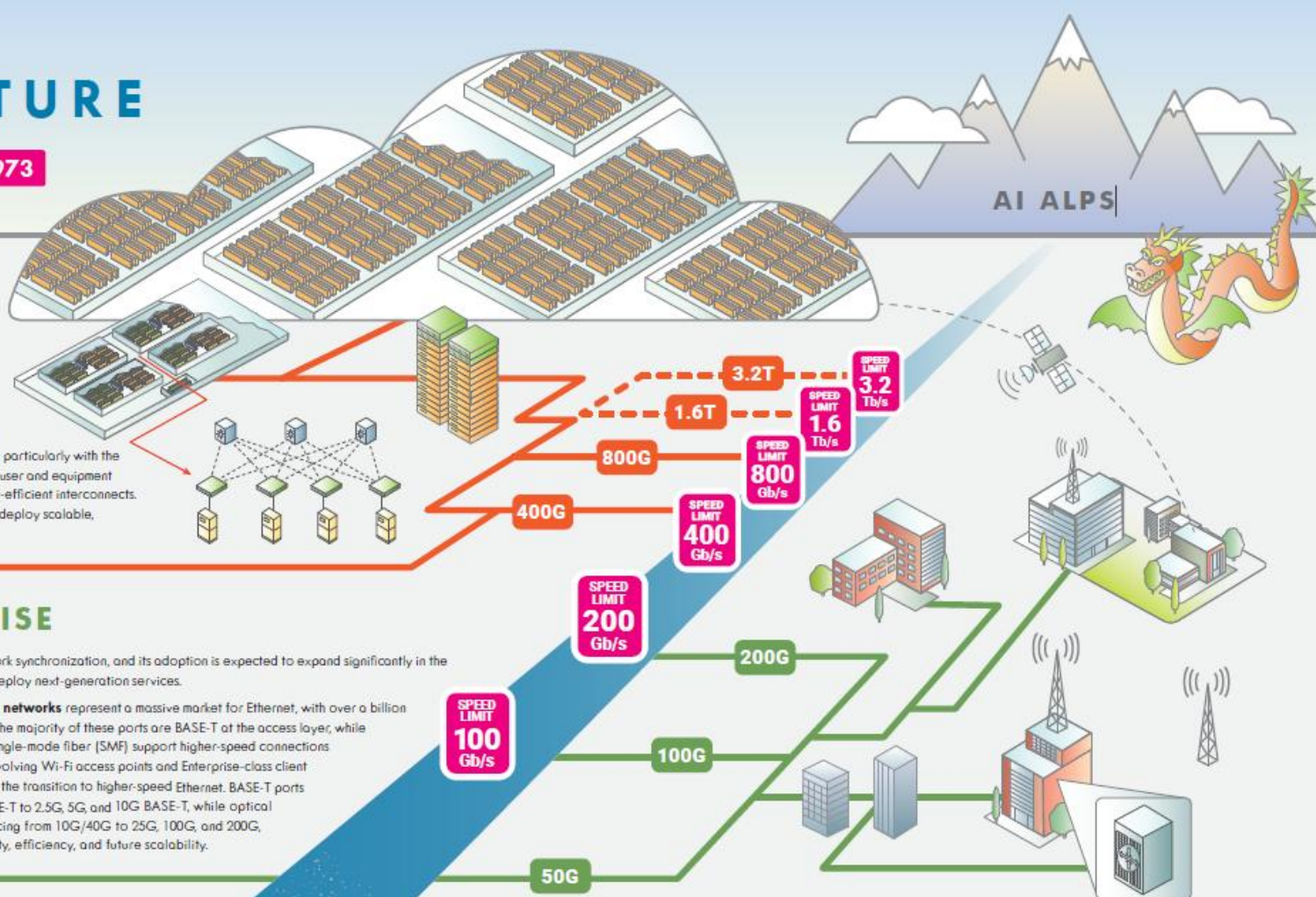
SERVICE PROVIDERS & ENTERPRISE

Service providers have long been at the forefront of high-speed Ethernet innovation, driving advancements in router connections, EPON, optical transport (OTN) client optics, and wired and wireless backhaul. The global rollout of 5G networks has intensified demand for fronthaul and backhaul solutions, accelerating Ethernet's evolution toward higher speeds and longer distances.

With consumer video consumption surging, bandwidth requirements show no signs of slowing. Service provider networks continue to push Ethernet speeds forward, with 1.6 Tb/s on the horizon to meet growing data demands. Synchronous Ethernet (SyncE) has become a

cornerstone of 5G network synchronization, and its adoption is expected to expand significantly in the coming years as Telcos deploy next-generation services.

Enterprise and campus networks represent a massive market for Ethernet, with over a billion ports shipping annually. The majority of these ports are BASE-T at the access layer, while multi-mode (MMF) and single-mode fiber (SMF) support higher-speed connections deeper in the network. Evolving Wi-Fi access points and Enterprise-class client devices are accelerating the transition to higher-speed Ethernet. BASE-T ports are shifting from 100BASE-T to 2.5G, 5G, and 10G BASE-T, while optical ports are rapidly advancing from 10G/40G to 25G, 100G, and 200G, ensuring greater capacity, efficiency, and future scalability.



EVOLUCIÓN DE ETHERNET BASADA EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL

- Los avances en **Ethernet** están siendo impulsados por las capacidades de la **Inteligencia Artificial (IA)** y el **Aprendizaje Automático (ML)**.
- Estos desarrollos están llevando las **velocidades de Ethernet más allá de los 400G**, para soportar el entrenamiento y la inferencia de modelos de lenguaje grandes (LLMs).
- La arquitectura de los **centros de datos impulsados por IA** está evolucionando, utilizando una **combinación de soluciones de cobre y fibra para satisfacer las crecientes demandas de ancho de banda**.
- Además, se están introduciendo estándares como **Ultra Ethernet** y **Ultra Accelerator Link (UALink)** para optimizar la comunicación en infraestructuras basadas en IA, abordando tanto la escalabilidad como la eficiencia en clústeres de procesamiento masivo.
- Estos avances aseguran que Ethernet continúe evolucionando para satisfacer las necesidades de las **redes de próxima generación impulsadas por IA**.

<https://ethernetalliance.org/wp-content/uploads/2025/03/2025-Ethernet-Roadmap-2-Sided-Web-03-17-2025.pdf>

