

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
Área de Ingeniería Telemática

Control de acceso al medio

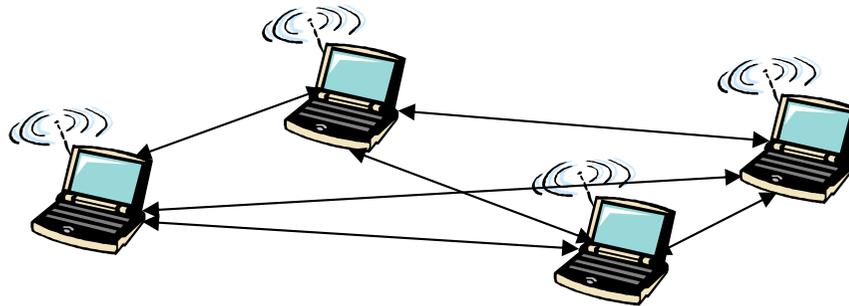
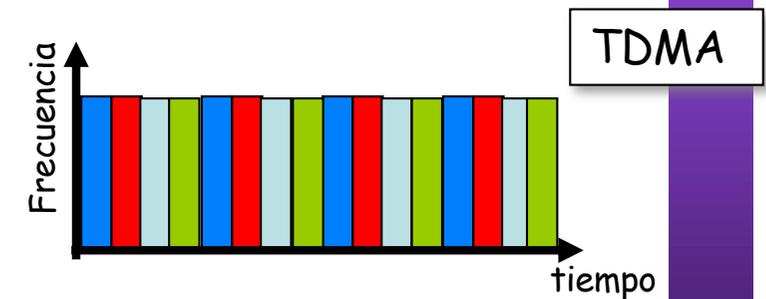
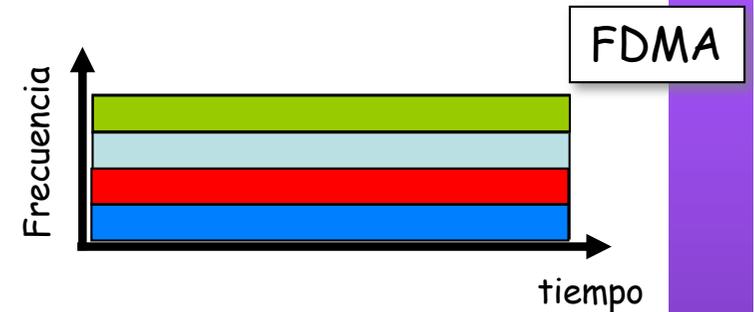
Area de Ingeniería Telemática
<http://www.tlm.unavarra.es>

Arquitectura de Redes, Sistemas y Servicios

MAC en redes inalámbricas

Medio compartido

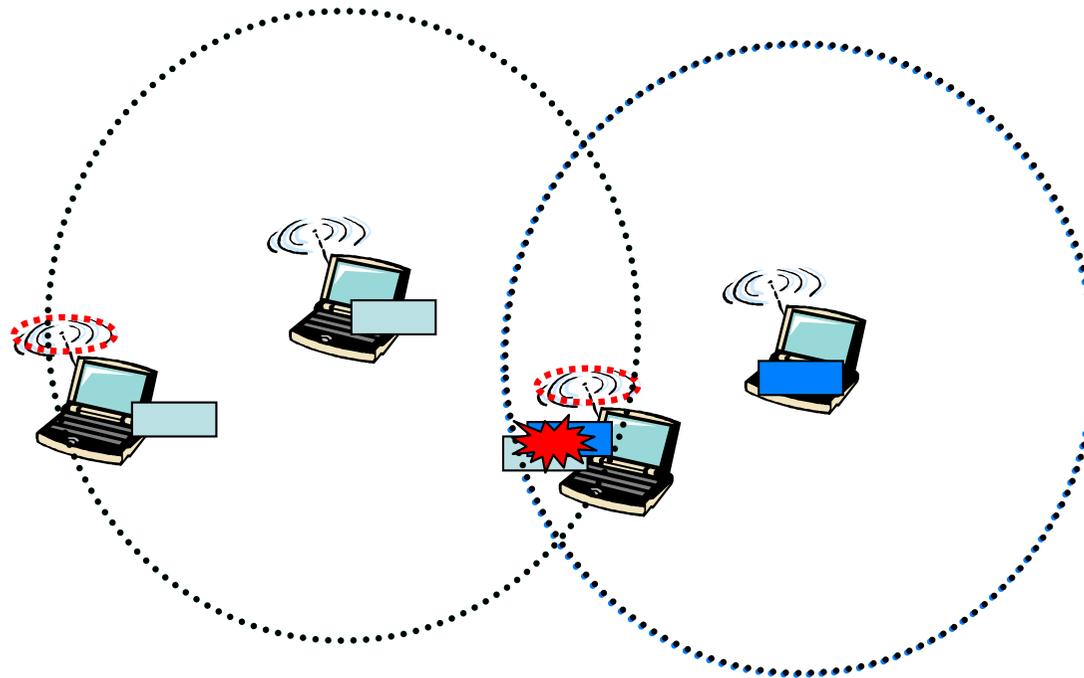
- Acceso múltiple por división de frecuencia
 - Diferentes portadoras para los diferentes enlaces
 - Requiere gran número de ellas y su BW está infrutilizado
- Acceso múltiple por división en el tiempo
 - Reservar slots de tiempo para la transmisión de cada enlace
 - Intervalos de tiempo infrutilizados
- CDMA, OFDMA, SDMA, PDMA, etc



Suponiendo que la señal de cada uno puede llegar a cualquier otro

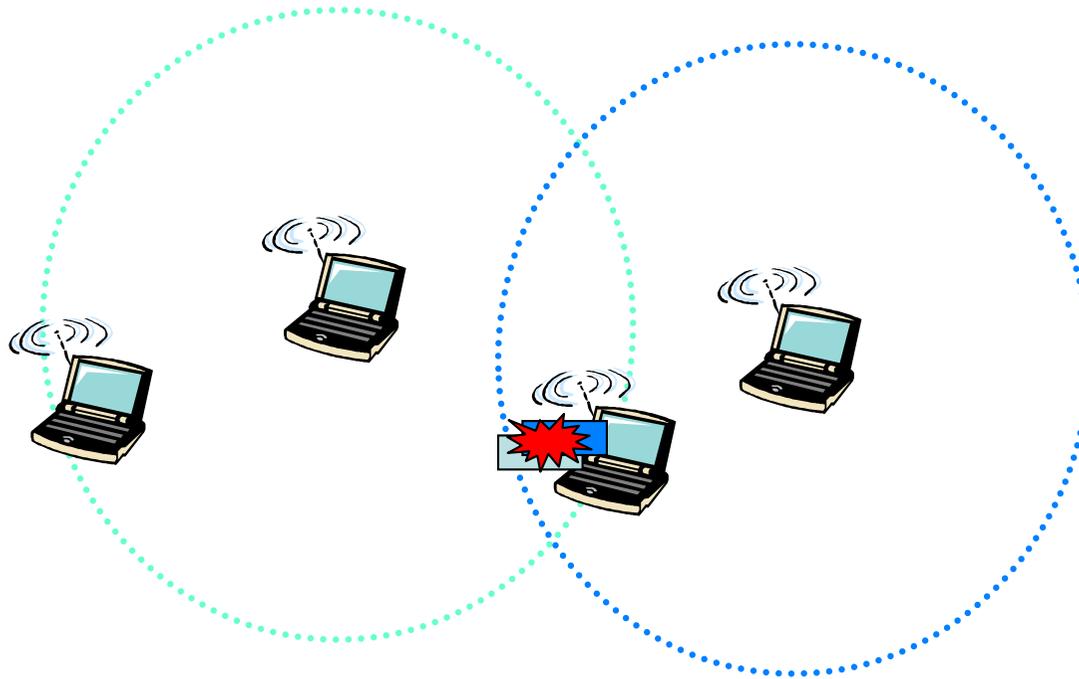
Acceso aleatorio

- Se reparten el uso del medio en el tiempo sin reserva
- Dos estaciones pueden transmitir aprox. al mismo tiempo
- Problema: en el receptor ambas señales físicas se suman
- Requiere coordinación: Control de Acceso al Medio (MAC)
- Problema común (no exclusivo) del entorno inalámbrico (no sucede en enlaces punto a punto)



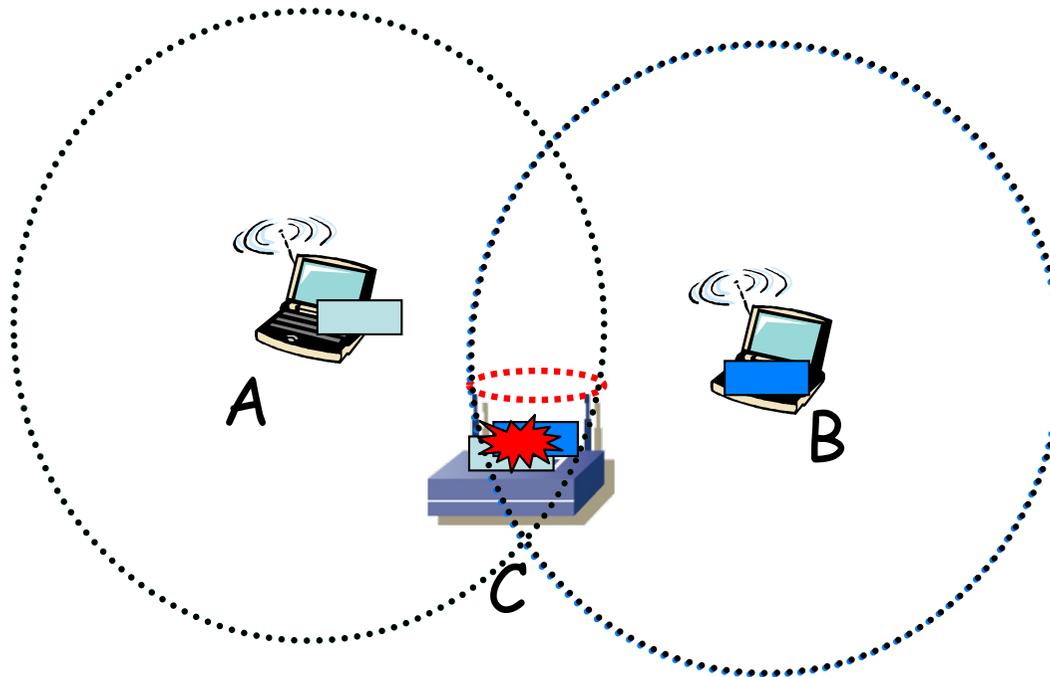
Colisiones y retransmisiones

- La colisión resulta en que no se reciba correctamente ninguna de las tramas
- El transmisor de cada una deberá volver a enviarla e intentar no colisionar de nuevo, ¿cómo lo consigue?
- ¿Cómo sabe que ha colisionado?
- En realidad, tampoco cuando tiene éxito tiene forma de saberlo



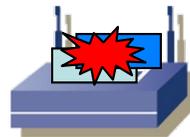
Terminal oculto

- Una estación no sabe nada de las estaciones fuera de su alcance
- A nunca recibe las transmisiones de B, ni viceversa
- C está dentro del alcance de ambos
- Los mensajes de ambos pueden colisionar en C



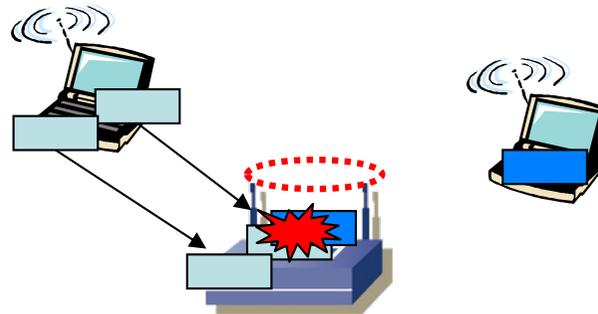
Control de acceso al medio

- Hay que resolver problemas:
 - Detectar si se ha recibido con éxito (puede hacerlo la capa 2 u otra superior) si es que nos interesa una transmisión fiable
 - Decidir cuándo retransmitir
 - Mejorar la decisión de cuándo transmitir



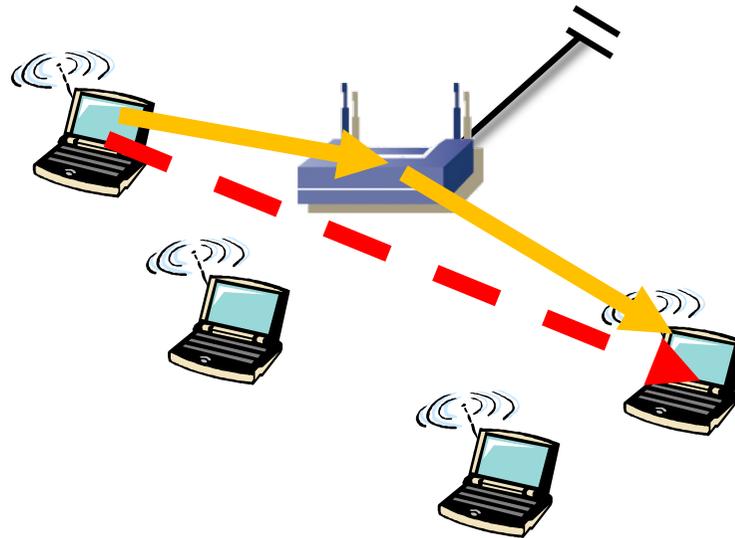
Control de acceso al medio

- Tiene un impacto:
 - En el retardo: Tiempo hasta detectar la colisión y de transmitir (y propagar) más de una vez si colisiona
 - En el throughput: En el mismo tiempo podemos hacer llegar menos datos que si no hubiera colisiones



Control de acceso al medio

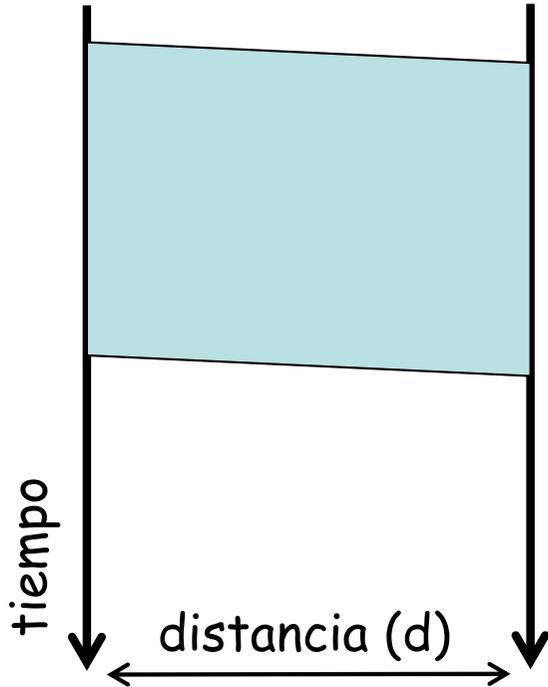
- Ejemplo:
 - WLAN 802.11g a 54 Mb/s
 - Comunicación a través de AP entre dos STAs
 - No supera los aproximadamente 20 Mb/s
 - Y eso con dos estaciones donde solo una transmite a la otra



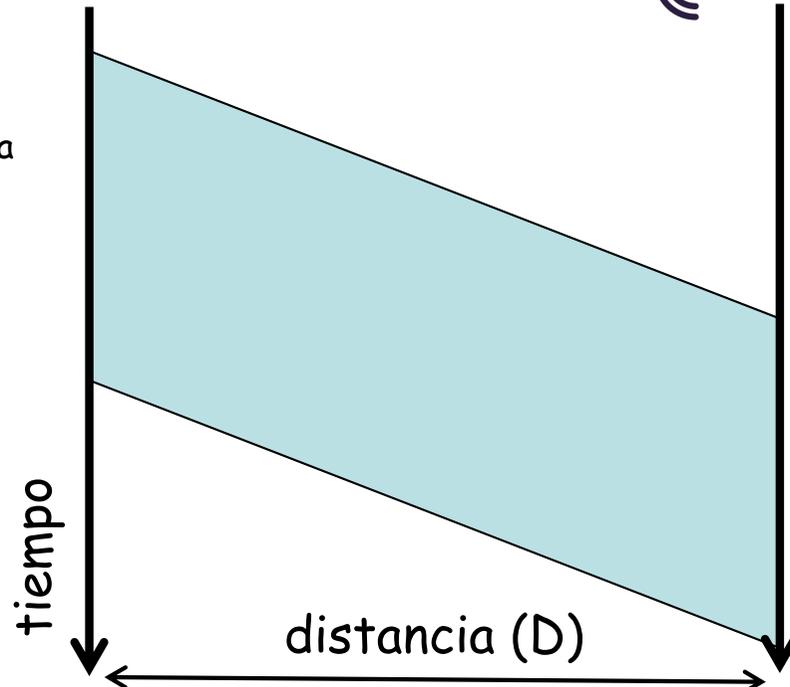
Control de acceso al medio

- Ejemplo:
 - WLAN 802.11g a 54 Mb/s
 - Comunicación a través de AP entre dos STAs
 - No supera los aproximadamente 20 Mb/s
 - Y eso con dos estaciones donde solo una transmite a la otra
- ¿Cómo impacta el número de STAs?
- ¿Cómo impacta la cantidad de tráfico que generen?
- ¿Cómo impacta el patrón de tráfico que generen?
- ¿Cómo impacta la distancia entre la estación y la base (si es que existe base)?
- ¿Cómo podemos optimizar el tráfico efectivo que atraviesa la red modificando el mecanismo de MAC?
- ¿Cómo impacta al retardo (por ejemplo para VoIP)?

Retardos de propagación muy diferentes



No están a escala



- WiFi 802.11: Distancias de centenas de metros (μs)
- Satélite de órbita baja: Centenas de Km (centenas de μs)
- Órbita geoestacionaria: Aproximadamente 36.000 Km (120 ms)
- Comparable o no con tiempo de transmisión según su tasa

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
Área de Ingeniería Telemática

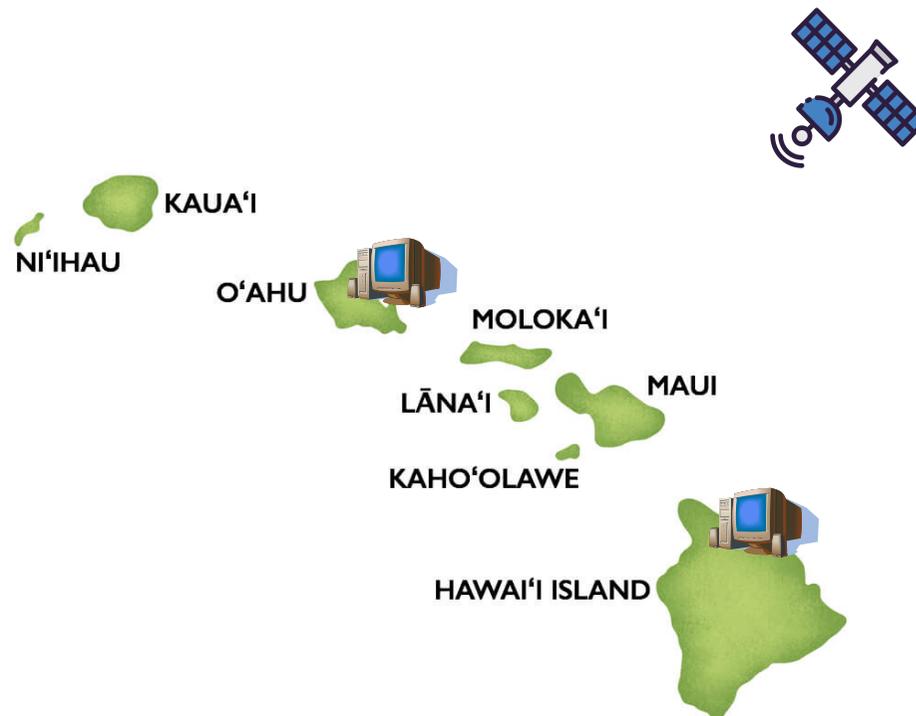


ALOHA

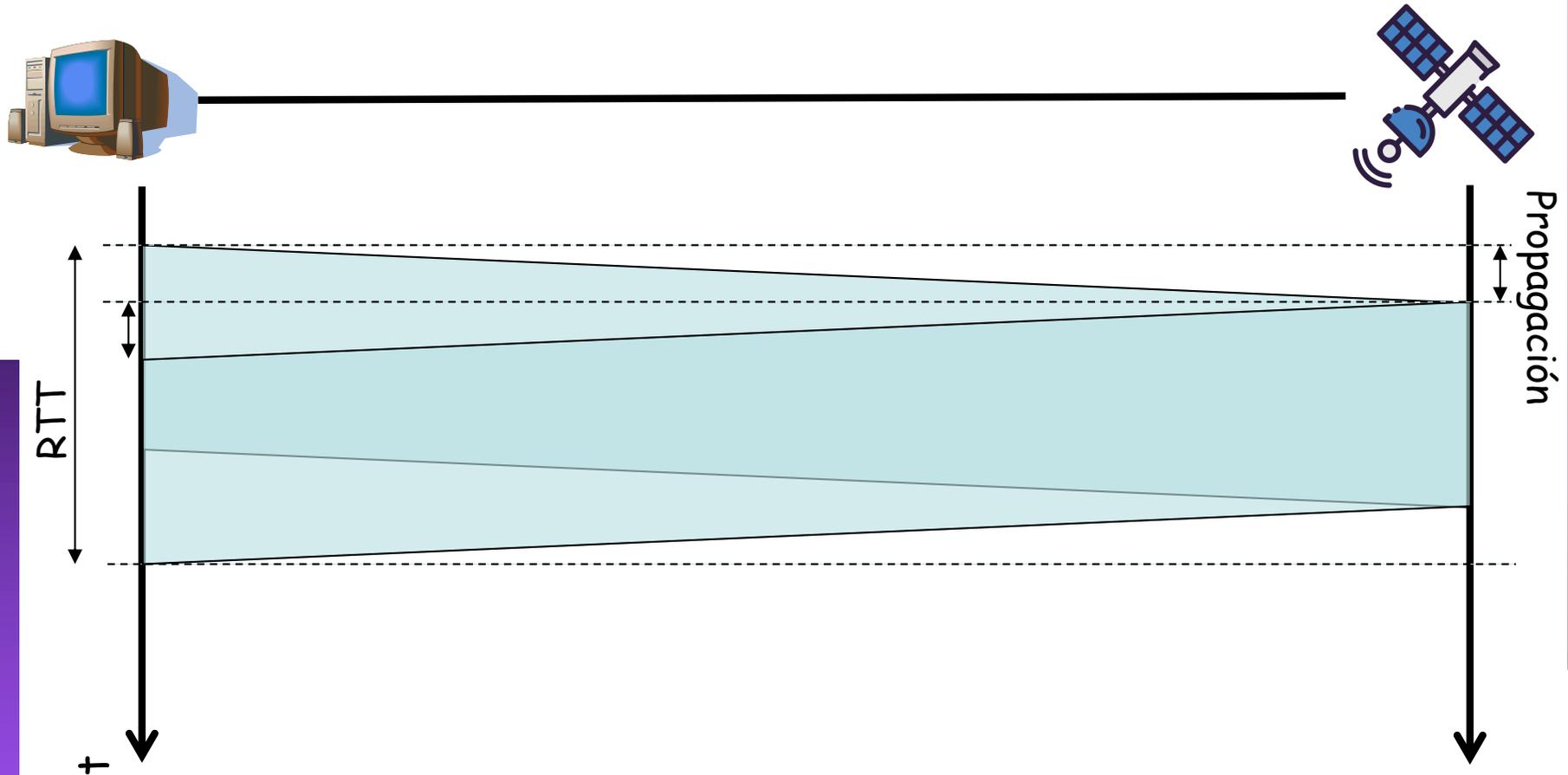


ALOHA-net

- Una de las primeras redes de ordenadores basada en comunicación inalámbrica
- Desarrollada en la Universidad de Hawaii
- Para la comunicación entre las islas a través de satélite



RTT

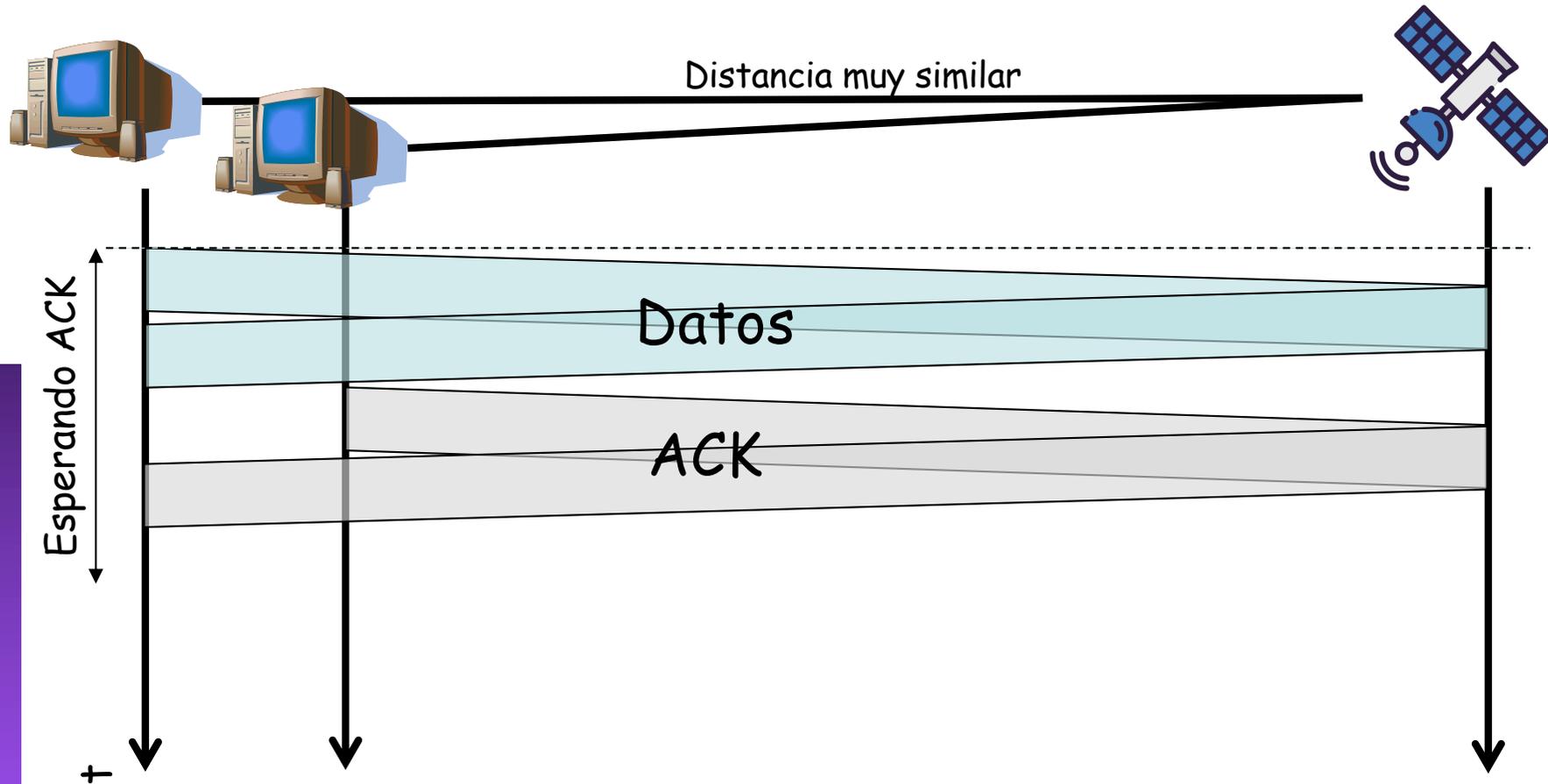


- Satélite repetidor en capa física (no *store&forward* como en WiFi)
- “Round Trip Time” (RTT)
- En ALOHA-net las tasas de transmisión eran bajas (Kb/s)

Protocolo ALOHA

- Formato de mensajes, cuándo enviar mensajes y qué hacer ante recibirlos
- Formato:
 - Las tramas incluyen direcciones de estación origen y destino
- Acciones:
 - Cuando una estación tiene una trama la envía
 - La trama incluye dirección del origen y del destino
 - Incluye un código de detección de errores
 - Se queda escuchando
 - Si una estación recibe correctamente una trama que es para ella
 - Envía una trama de confirmación/acknowledgement (ACK) al origen
 - Transmisor de la trama de datos
 - Si recibe el ACK en el tiempo prefijado pasa a la siguiente
 - Si no recibe ACK vuelve a transmitir la trama contando intentos
 - Si excede un número de intentos pasa a la siguiente trama

ACK

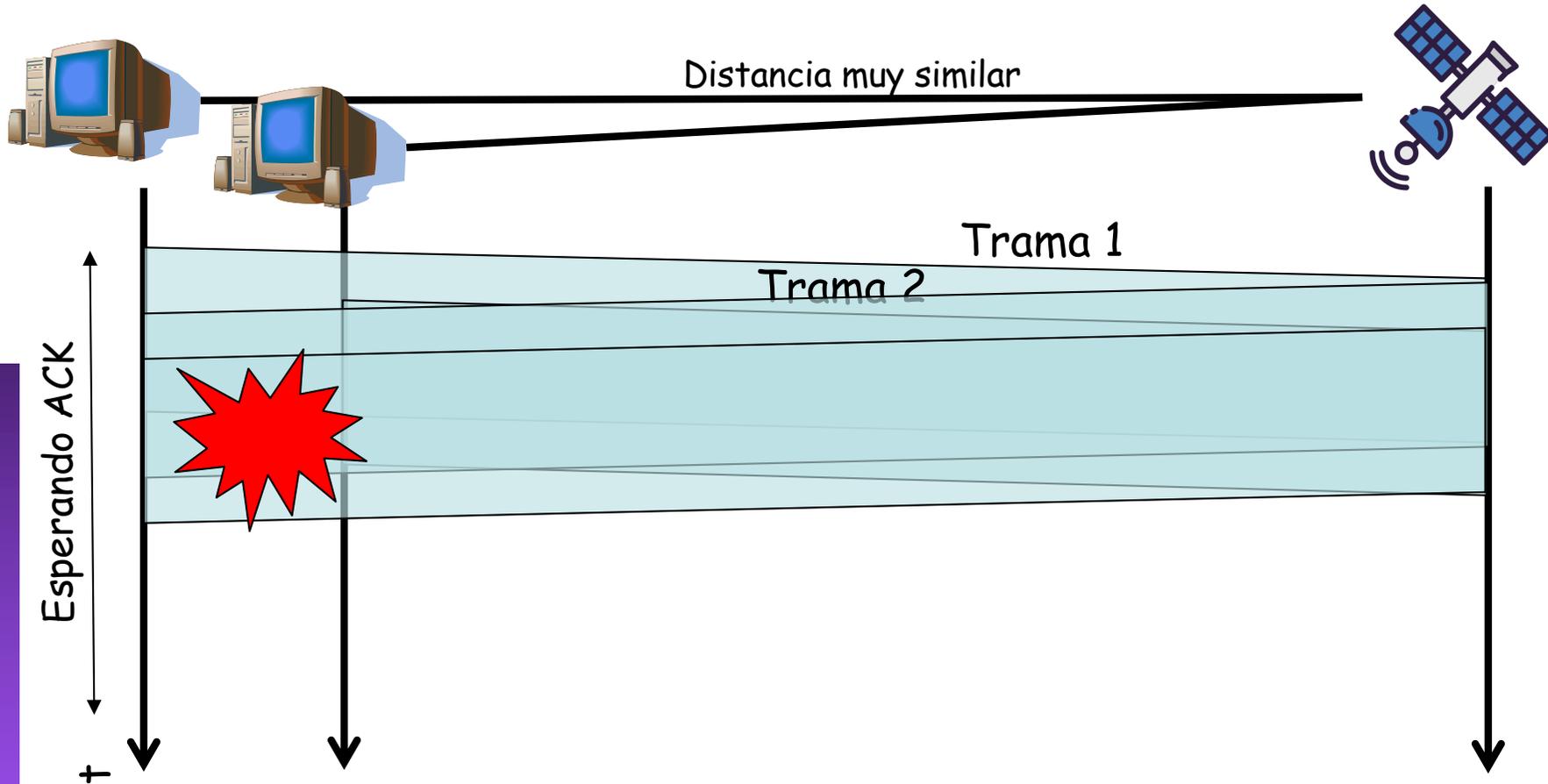


- Las estaciones no reciben la señal de las otras estaciones hasta que la devuelve el satélite
- Espera ACK suficiente tiempo (timeout = $2 \times \text{RTT} + \text{margen}$)

No recibimos ACK si

- La estación destino no responde
 - No es un problema del protocolo
- Errores por ruido
 - Problema en nivel físico
 - Aliviado con códigos
- Colisiones

Colisión



- Una trama puede ser de datos o de ACK
- Hará retransmisión tras transcurrir el tiempo de espera al ACK
- Tiempo de espera incluye componente aleatoria para evitar repetir
- Separación entre estaciones tiene efecto despreciable en retardo
- La colisión no depende de RTT, solo de que una trama se empiece a transmitir mientras se está transmitiendo otra

No recibimos ACK si

- La estación destino no responde
 - No es un problema del protocolo
- Errores por ruido
 - Problema en nivel físico
 - Aliviado con códigos
- **Colisiones**
 - Depende de la cantidad de estaciones
 - Depende de la cantidad de paquetes que quieran enviar
 - Depende del patrón de generación y sus tamaños
 - Se puede aliviar con técnicas de control de acceso al medio

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
Área de Ingeniería Telemática

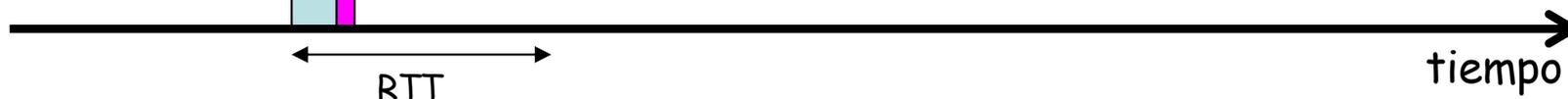
ALOHA: Rendimiento

Estudio de colisiones

- Aproximadamente misma distancia desde cada terminal al satélite
 - Entonces mismo RTT
 - Podemos representar una sola línea temporal de envíos
- Colisión se detecta un RTT después, pero está determinada por el tiempo de envío (...)

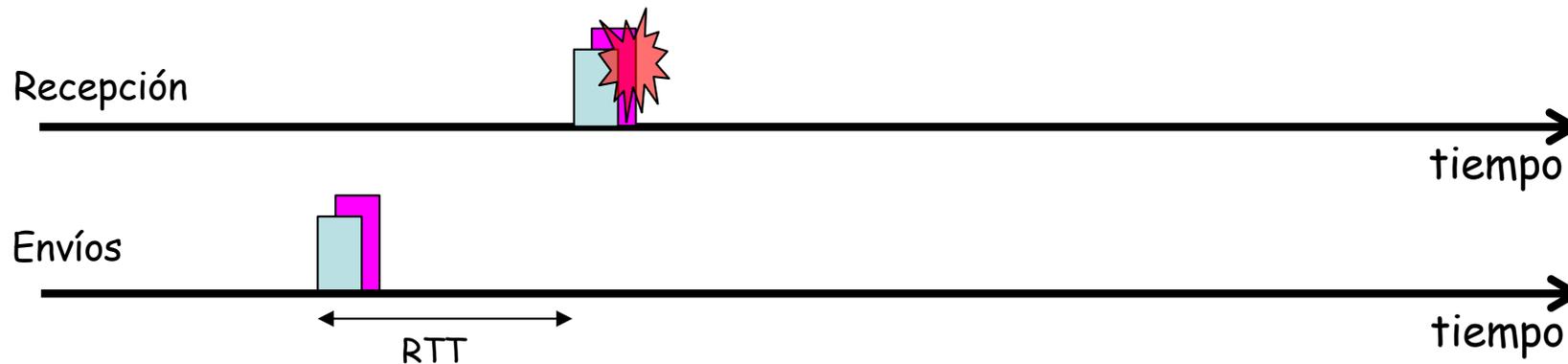
Usuario 1
Usuario 2

Envíos



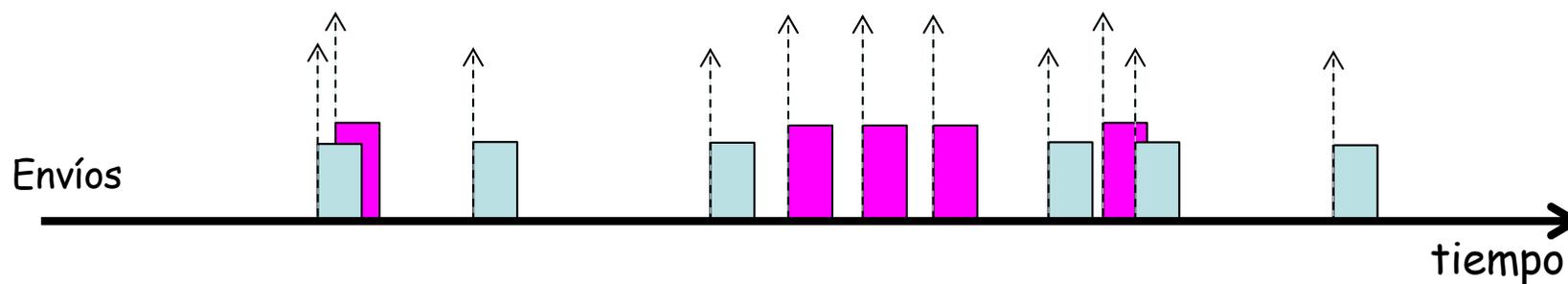
Estudio de colisiones

- Aproximadamente misma distancia desde cada terminal al satélite
 - Entonces mismo RTT
 - Podemos representar una sola línea temporal de envíos
- Colisión o no está determinado por el tiempo de envío
- Podemos estudiar las colisiones estudiando los instantes de envío



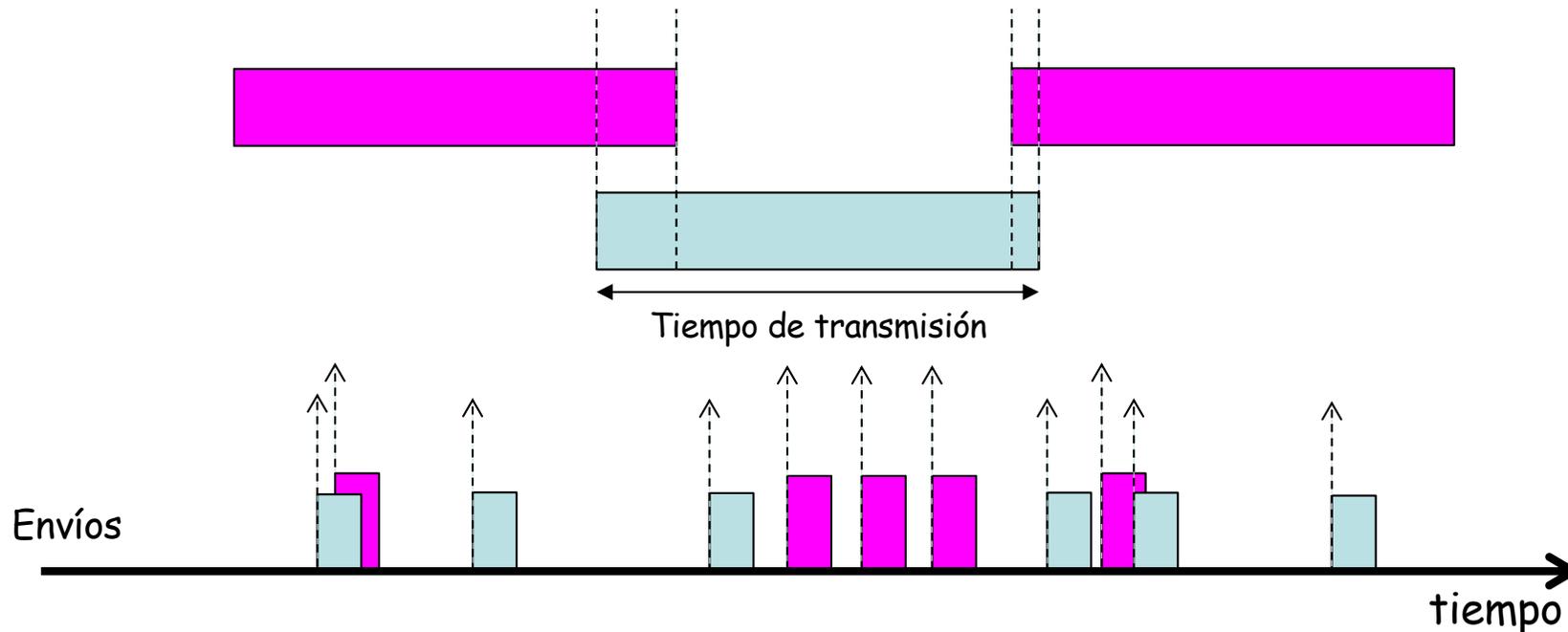
Instantes de llegada

- Cada nueva trama a enviar la caracterizaremos con:
 - El usuario que la envía
 - Instante en el que se genera o se comienza a enviar
 - Su tamaño o su tiempo de transmisión



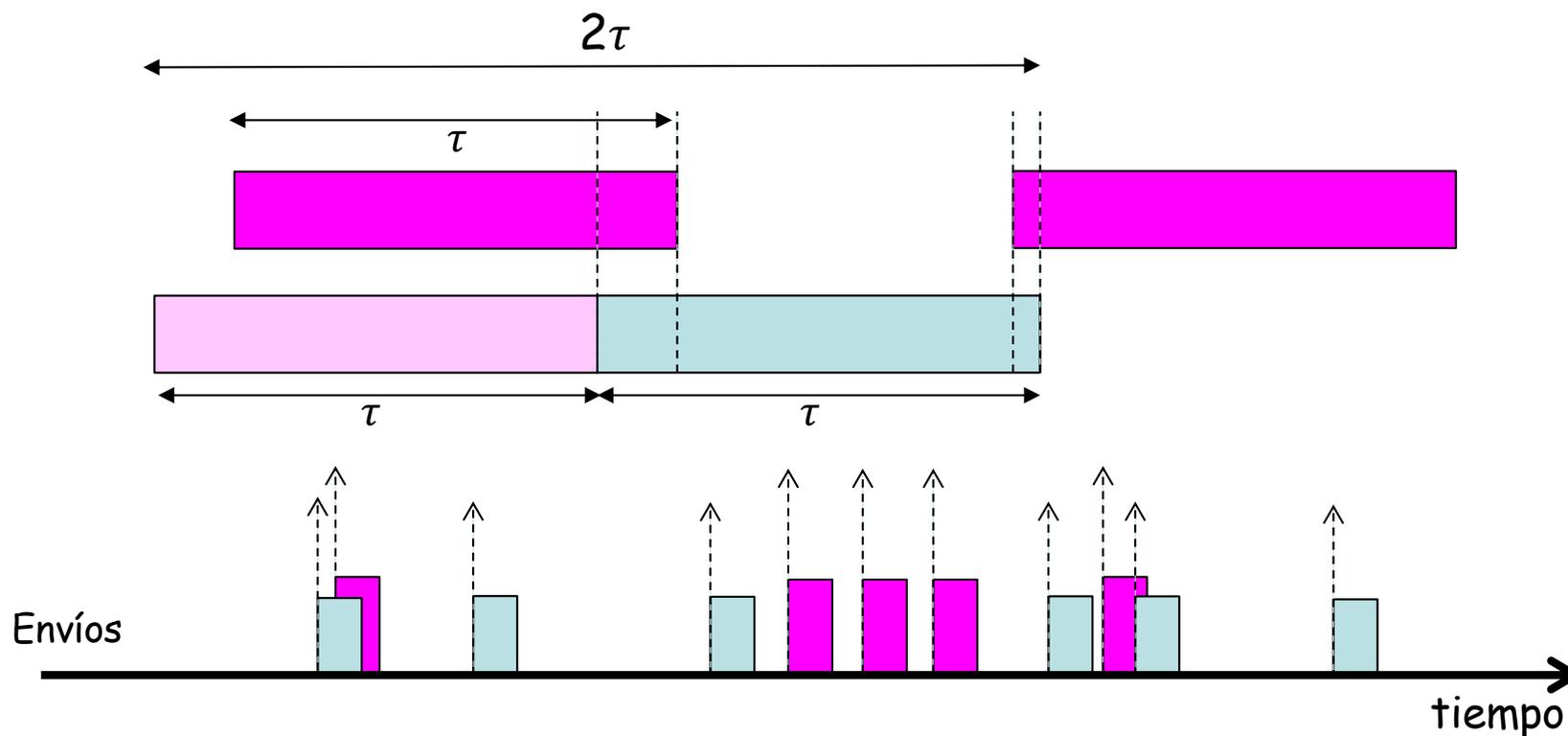
Ventana de colisión

- Se produce colisión si coincide en el tiempo el envío de dos tramas
- Cada trama tiene una “ventana de colisión” que es todo su tiempo de transmisión
- Colisiona con una trama que comience o termine su transmisión dentro de su ventana de colisión



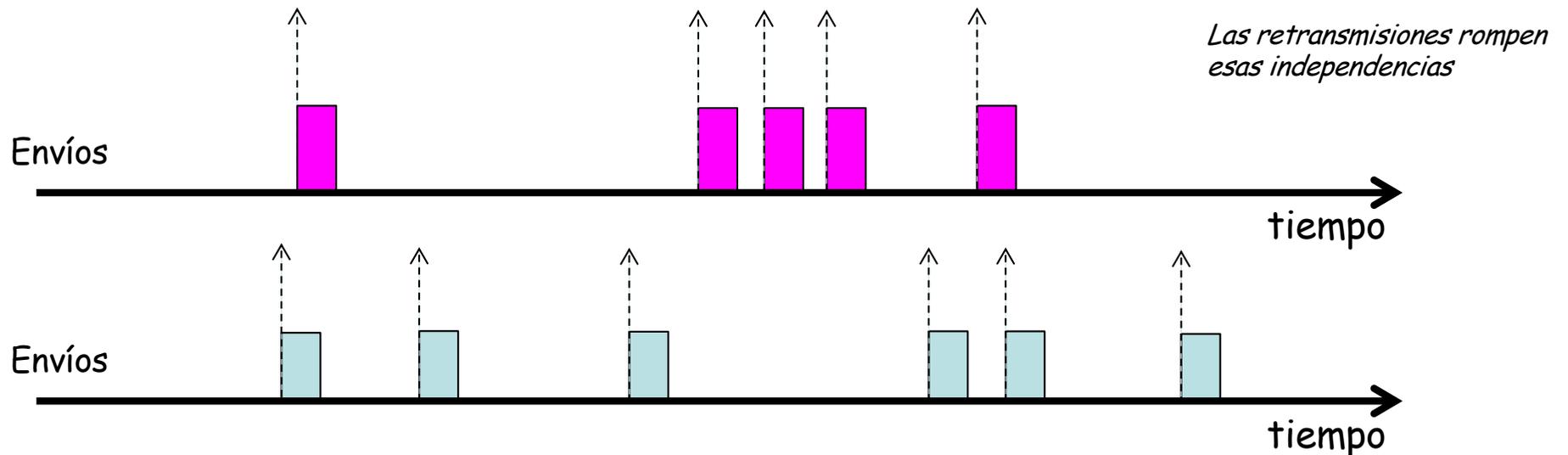
Ventana de colisión

- Suponemos paquetes de tamaño constante y duración τ
- Colisiona si la trama de otro usuario comienza dentro de un tiempo τ antes o durante el τ de su duración
- Hay todo un intervalo 2τ durante el cual no debe haber inicio de transmisión
- Si comienza antes o después de ese intervalo no colisiona



Aproximaciones del modelo

- El tiempo hasta la retransmisión es “grande” comparado con el tiempo de transmisión
- Los tiempos entre llegadas de un usuario son independientes
- El proceso de llegadas de un usuario y de cualquier otro son independientes
- Si el número de procesos multiplexados es suficientemente grande, el resultante tiende a un proceso de Poisson
- Por supuesto si cada uno es un proceso de Poisson, el multiplexado también lo es



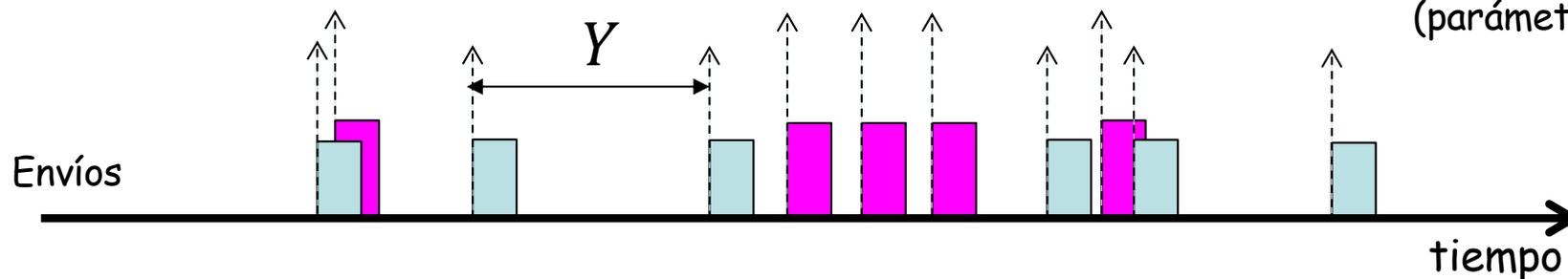
Aproximaciones del modelo

- Suponemos que el proceso multiplexado es un proceso de Poisson de tasa λ (llegadas por unidad de tiempo)
- Eso quiere decir que en un intervalo de tiempo cualquiera T , la cantidad de llegadas viene descrita por una variable aleatoria de Poisson con parámetro λT
- λ es el número medio de llegadas en un intervalo $T=1$
- El tiempo entre dos llegadas consecutivas sigue una variable aleatoria exponencial con parámetro λ

Número de llegadas $P(X = x|\lambda) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}, x = 0, 1, 2, \dots$

Tiempo entre llegadas $P(Y \leq y) = 1 - e^{-\lambda y}, y \geq 0$ $E[X] = \lambda$

$\mu =$ tasa de llegadas
(parámetro)

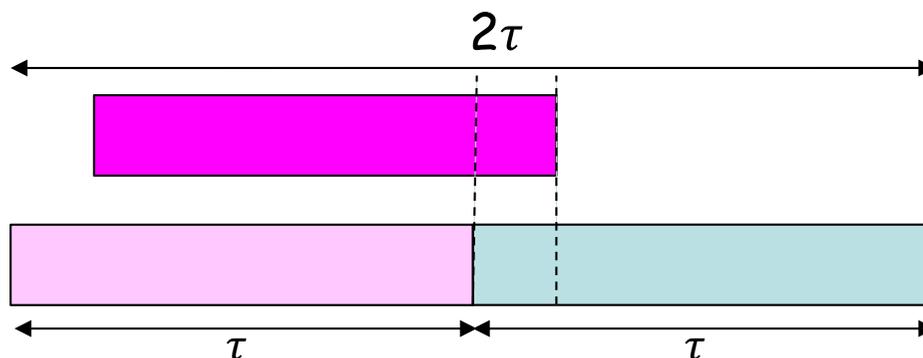


Probabilidad de colisión

- Se producirá una colisión si se produce otra llegada en un intervalo de anchura 2τ
- Probabilidad de que no haya colisión será la probabilidad de que el tiempo entre dos llegadas sea al menos 2τ

$$P(Y > 2\tau) = 1 - P(Y \leq 2\tau) = 1 - (1 - e^{-2\tau\lambda}) = e^{-2\tau\lambda}$$

Tiempo entre llegadas $P(Y \leq y) = 1 - e^{-\lambda y}, y \geq 0$



Probabilidad de colisión

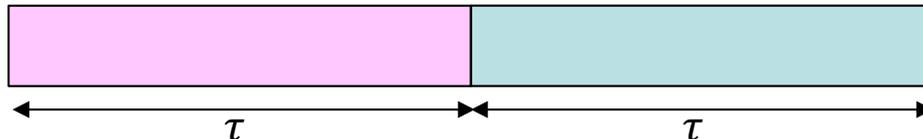
- O podemos calcularlo a partir de la distribución de Poisson
- La probabilidad de que no haya ninguna llegada en ese tiempo

$$P(X = 0 | 2\tau\lambda) = \frac{(2\tau\lambda)^0 e^{-2\tau\lambda}}{0!} = e^{-2\tau\lambda}$$

- Es la fracción de las llegadas que no colisiona
- Si tenemos λ llegadas por unidad de tiempo, tenemos $\lambda e^{-2\lambda\tau}$ paquetes transmitidos con éxito por unidad de tiempo

Número de llegadas $P(X = x | \lambda) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}, x = 0, 1, 2, \dots$

Número de llegadas en intervalo de anchura T $P(X = x | \lambda T) = \frac{(\lambda T)^x e^{-\lambda T}}{x!}, x = 0, 1, 2, \dots$



upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
Área de Ingeniería Telemática

ALOHA: Análisis

Carga ofrecida

- λ llegadas por unidad de tiempo, con tiempo de transmisión τ
- ¿Qué es $\lambda\tau$?
- λ son paquetes/segundo, τ son segundos/paquete
- $\lambda\tau$ no tiene unidades, hablamos de “Erlangs”
- Llamamos “volumen de tráfico ofrecido” a la cantidad de “trabajo” que se le trae al sistema
- El “trabajo” es enviar ese tráfico, eso es lo que ocupa el enlace
- En un intervalo de 1s se traen en promedio $\lambda\tau$ unidades de trabajo (enviar λ pkts, cada uno ocupa el enlace τ segundos)
- Es decir, se va a ocupar el enlace en media durante $\lambda\tau$ segundos cada segundo
- Ejemplo:
 - Llegan 70000 pkt/s y cada uno tarda $12\mu\text{s}$ en transmitirse, eso son $70000 \times 12\mu\text{s} = 0.84\text{s}$ de trabajo cada segundo
 - Cada segundo hay en media 0.84s que el enlace está ocupado
- “Carga” ofrecida



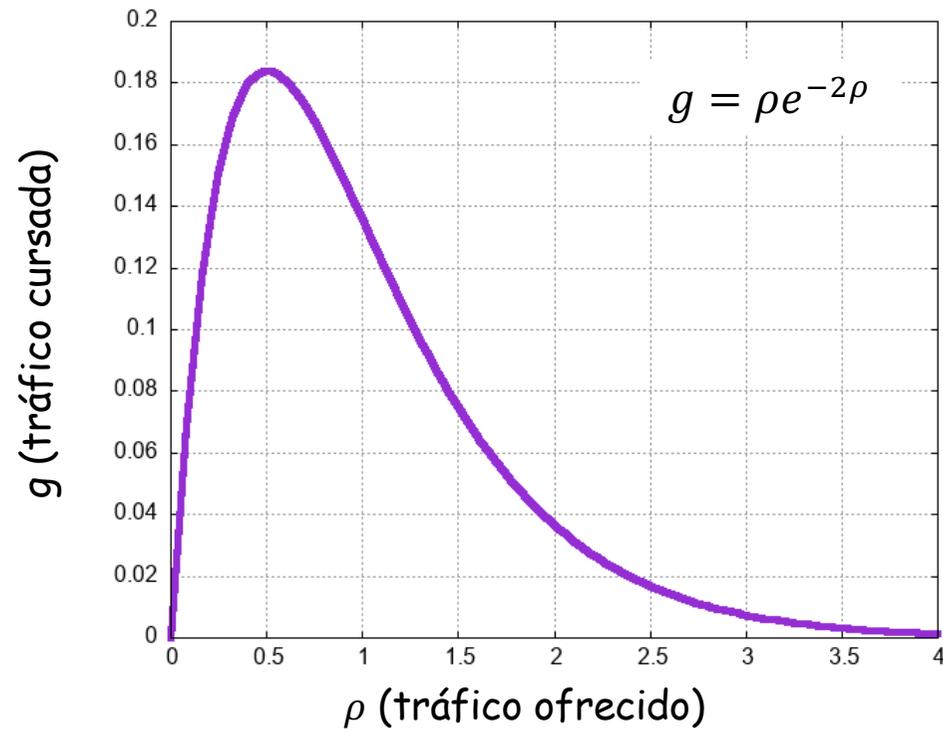
Carga cursada

- $e^{-2\lambda\tau}$ es la probabilidad de que un paquete se curse con éxito
- Es la proporción del tráfico ofrecido que se cursa
- ¿Qué es $\lambda\tau e^{-2\lambda\tau}$?
- Multiplica $\lambda\tau$ (la carga ofrecida) por la probabilidad de éxito en cursarla
- $\lambda\tau e^{-2\lambda\tau}$ es la carga o tráfico cursado
- Definimos la carga ofrecida: $\rho = \lambda\tau$
- Entonces la carga cursada es $g = \rho e^{-2\rho}$

- ¿Cómo varía esa carga cursada con la carga ofrecida? $g = f(\rho)$
- Intuitivamente:
 - Cuanta más carga ofrezcamos más se podrá cursar
 - Pero también puede haber más colisiones...

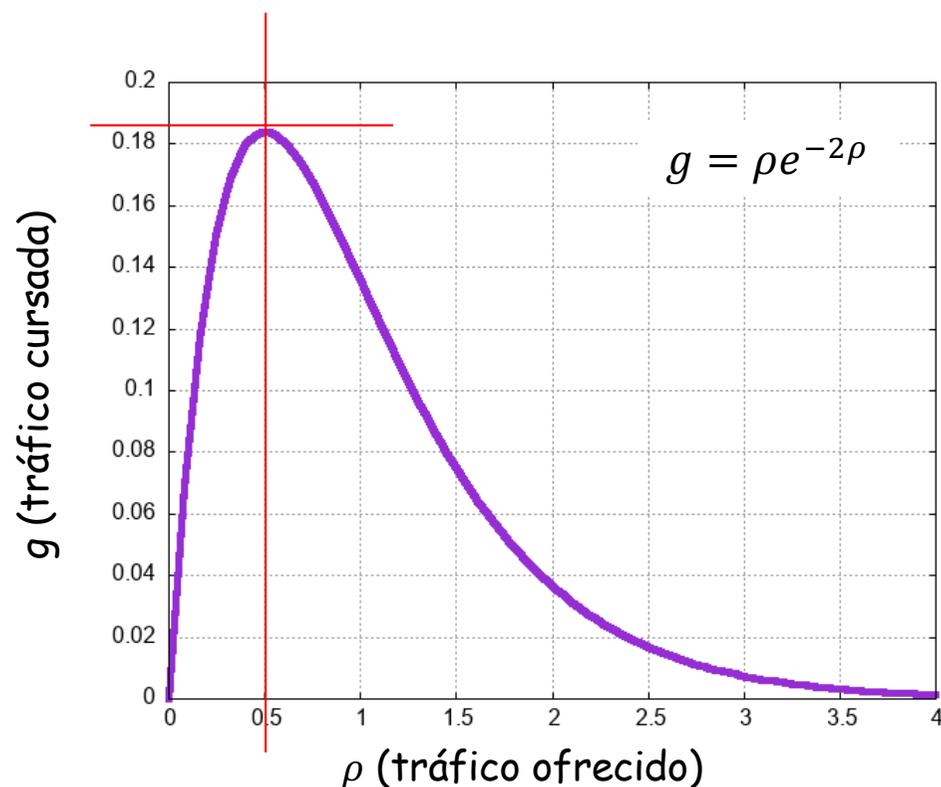
Análisis

- Carga cursada $g = \rho e^{-2\rho}$



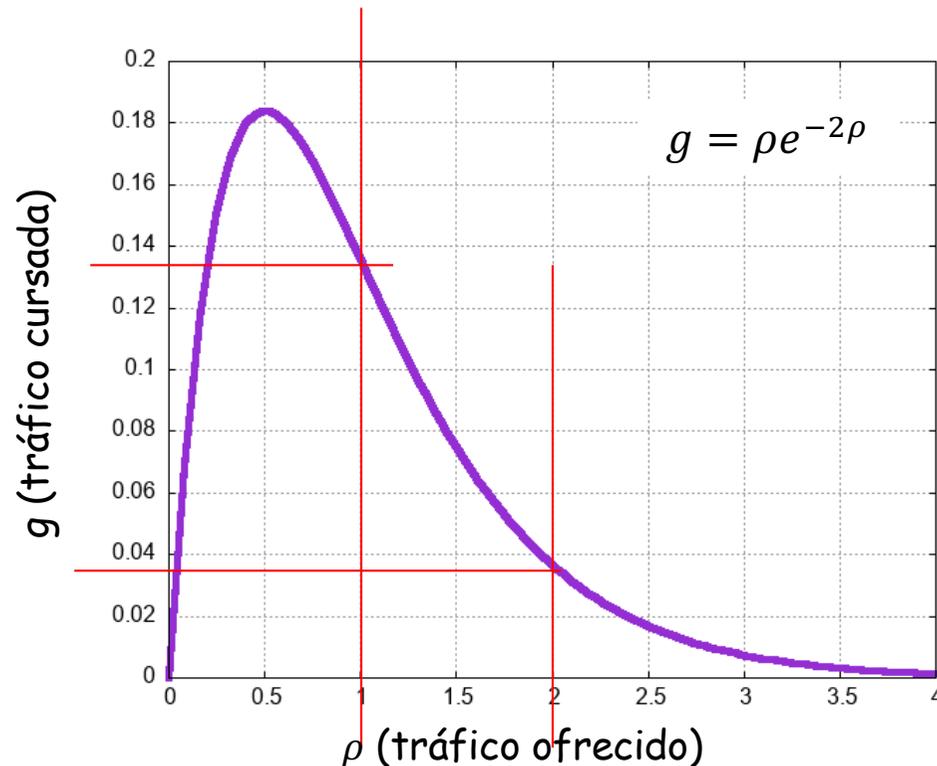
Análisis

- Máximo en $\rho = 0.5$
- Máxima intensidad de tráfico de 0.18 Erlangs
- Eso es una ocupación del canal (útil) del 18.4%
- Es decir, si el canal fuera por ejemplo de 1 Mb/s serían 180Kb/s



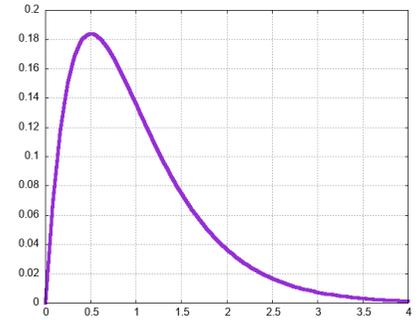
Análisis

- Con más carga conseguimos aún menos throughput
- Queríamos una utilización del 100%, pero eso requiere llegadas perfectamente ordenadas
- Con llegadas de Poisson y $\rho=1$ la utilización es de solo del 13%
- Con 200% de carga frente a la capacidad, solo el 3.7%
- Gran cantidad de colisiones y retransmisiones



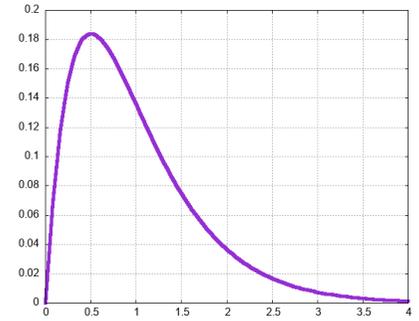
ALOHA: Análisis

- No depende del tiempo de propagación
- Tampoco del tamaño concreto de los paquetes
- Ni de la tasa de transmisión
- El cálculo es dependiente de las hipótesis (modelo de Poisson)
- Simulaciones dan resultados muy parecidos
- Interiorizad esto: Tienes un canal de 100 Mb/s por el que en media pasarán solo 18 Mb/s
- Por supuesto si el medio físico es a 200 Mb/s obtendrás 36 Mb/s, el doble, pero seguirá siendo un 18%



ALOHA: Análisis

- No depende del tiempo de propagación
- Tampoco del tamaño concreto de los paquetes
- Ni de la tasa de transmisión
- El cálculo es dependiente de las hipótesis (modelo de Poisson)
- Simulaciones dan resultados muy parecidos
- Interiorizad esto: Tienes un canal de 100 Mb/s por el que en media pasarán solo 18 Mb/s
- Por supuesto si el medio físico es a 200 Mb/s obtendrás 36 Mb/s, el doble, pero seguirá siendo un 18%
- ¿Duele? A mí como ingeniero sí
- No es culpa del medio físico, de interferencias, potencia de la señal, etc
- Es culpa del algoritmo de reparto del uso del medio
- ¡ Ingéniate uno mejor !



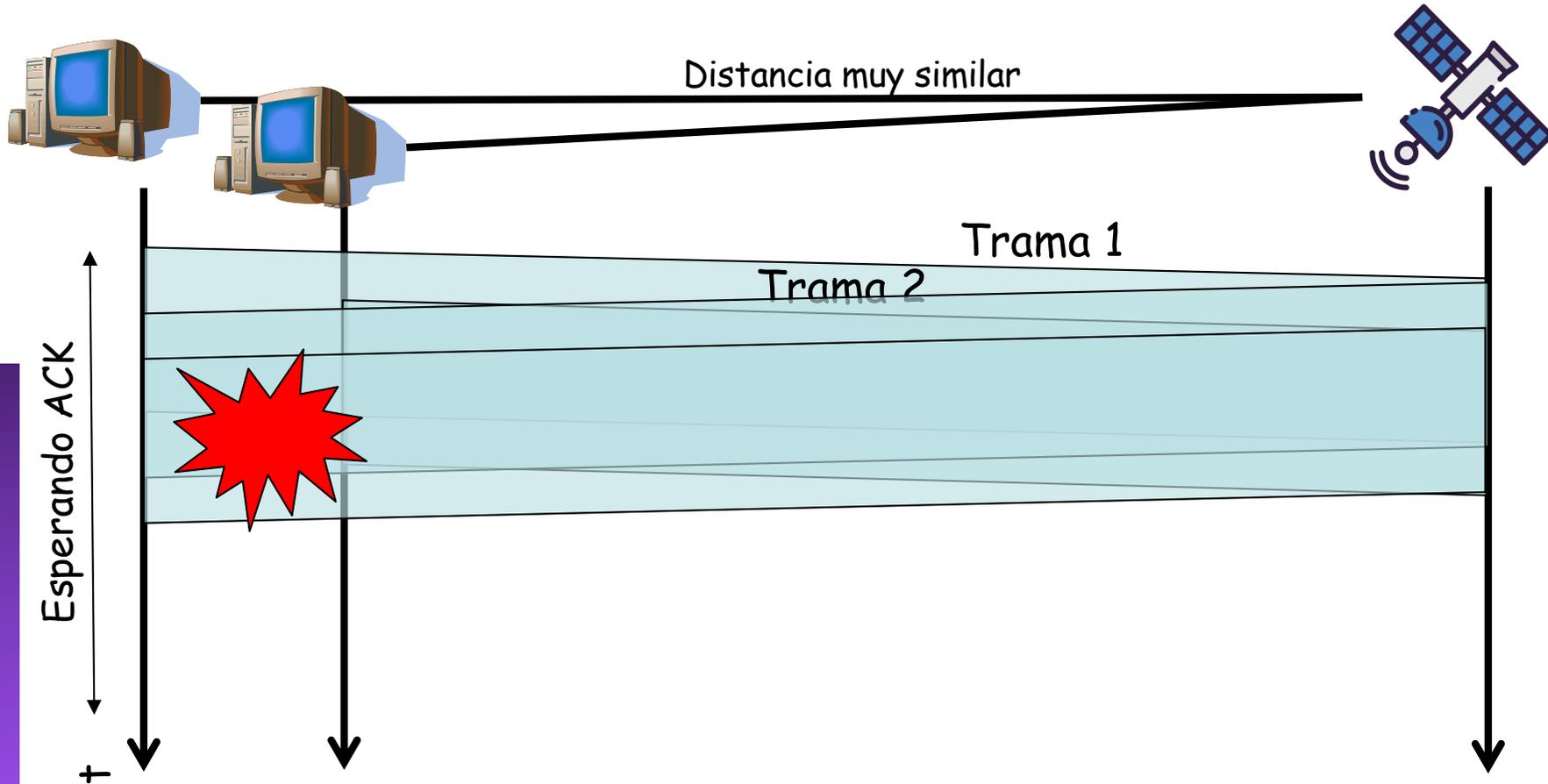
upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
Área de Ingeniería Telemática

ALOHA ranurado

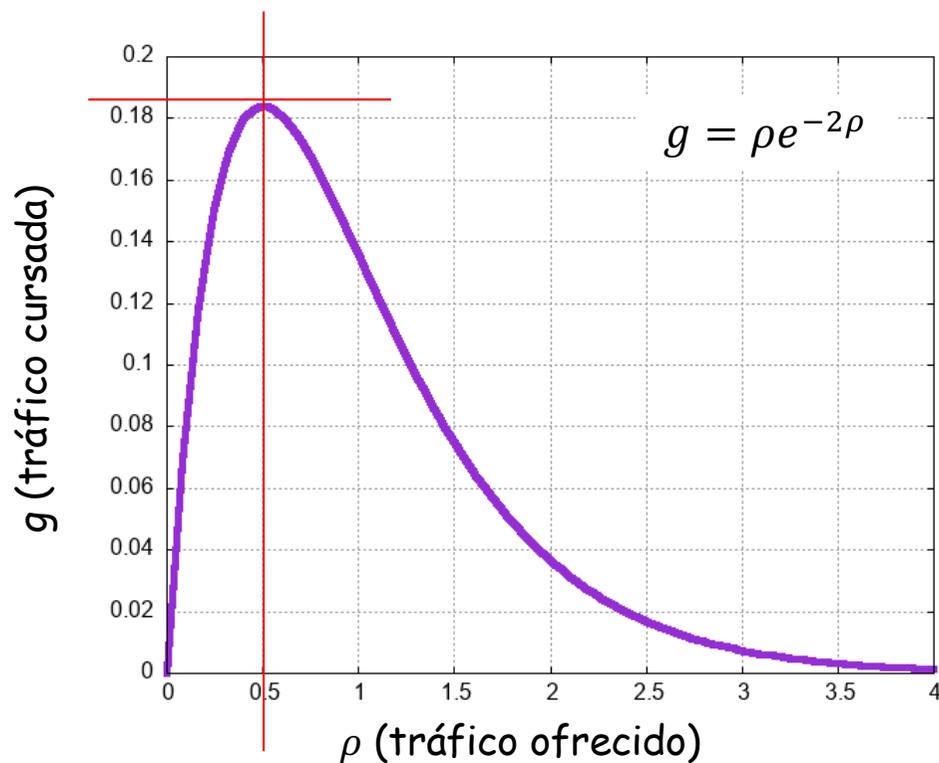
ALOHA: Colisiones



- Una trama puede ser de datos o de ACK
- Hará retransmisión tras transcurrir el tiempo de espera al ACK
- Tiempo de espera incluye componente aleatoria para evitar repetir
- Separación entre estaciones tiene efecto despreciable en retardo
- La colisión no depende de RTT, solo de que una trama se empiece a transmitir mientras se está transmitiendo otra

ALOHA: Análisis

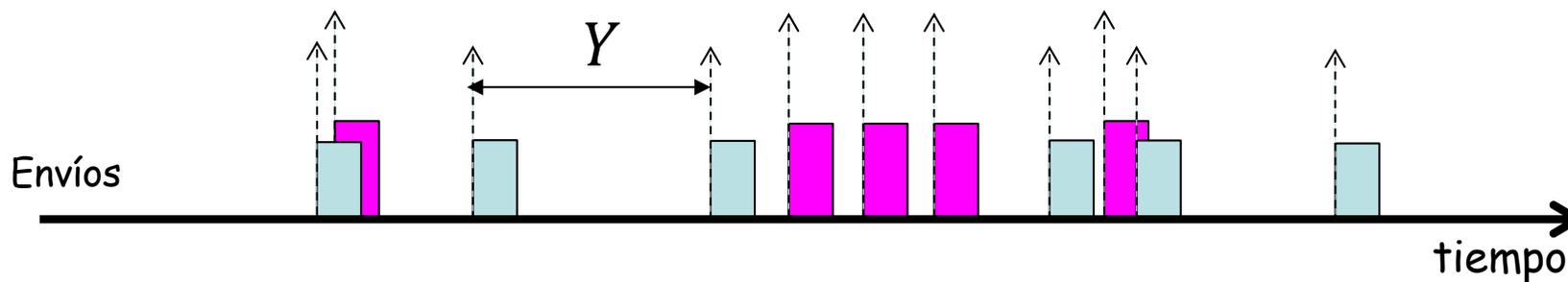
- Probabilidad no colisión: $P(Y > 2\tau) = e^{-2\tau\lambda}$
- Carga cursada: $g = \rho e^{-2\rho}$
- Máxima intensidad de tráfico de 0.18 Erlangs (ocupación del 18%)



Tiempo entre llegadas:

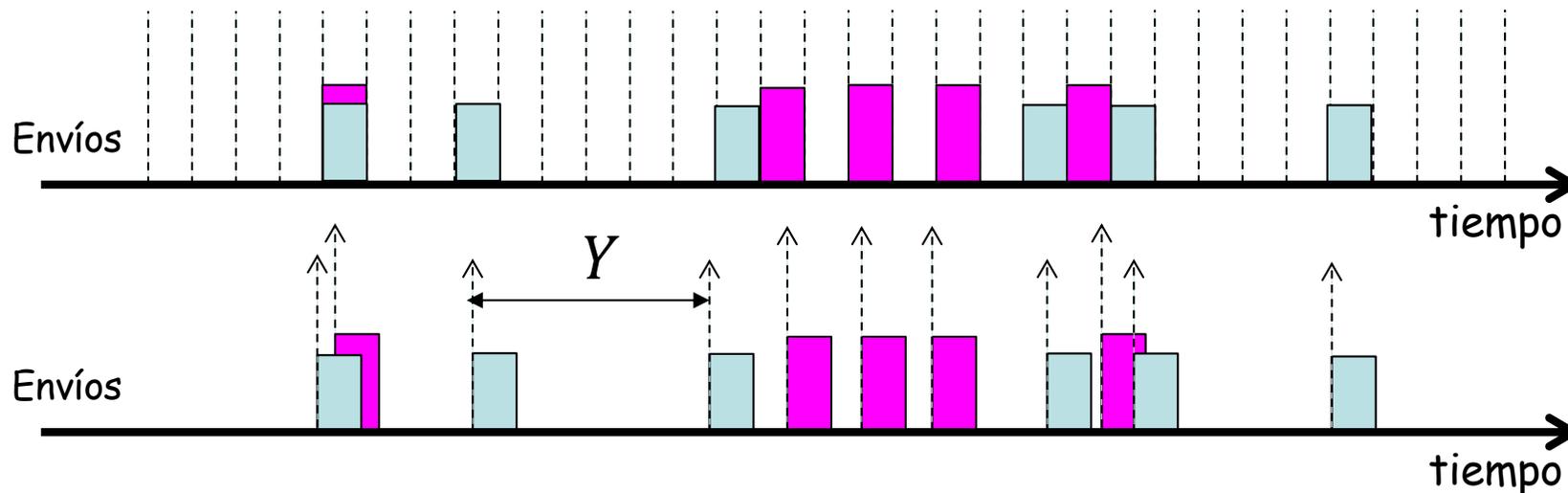
$$P(Y \leq y) = 1 - e^{-\lambda y}, y \geq 0$$

$$E[Y] = 1/\lambda$$



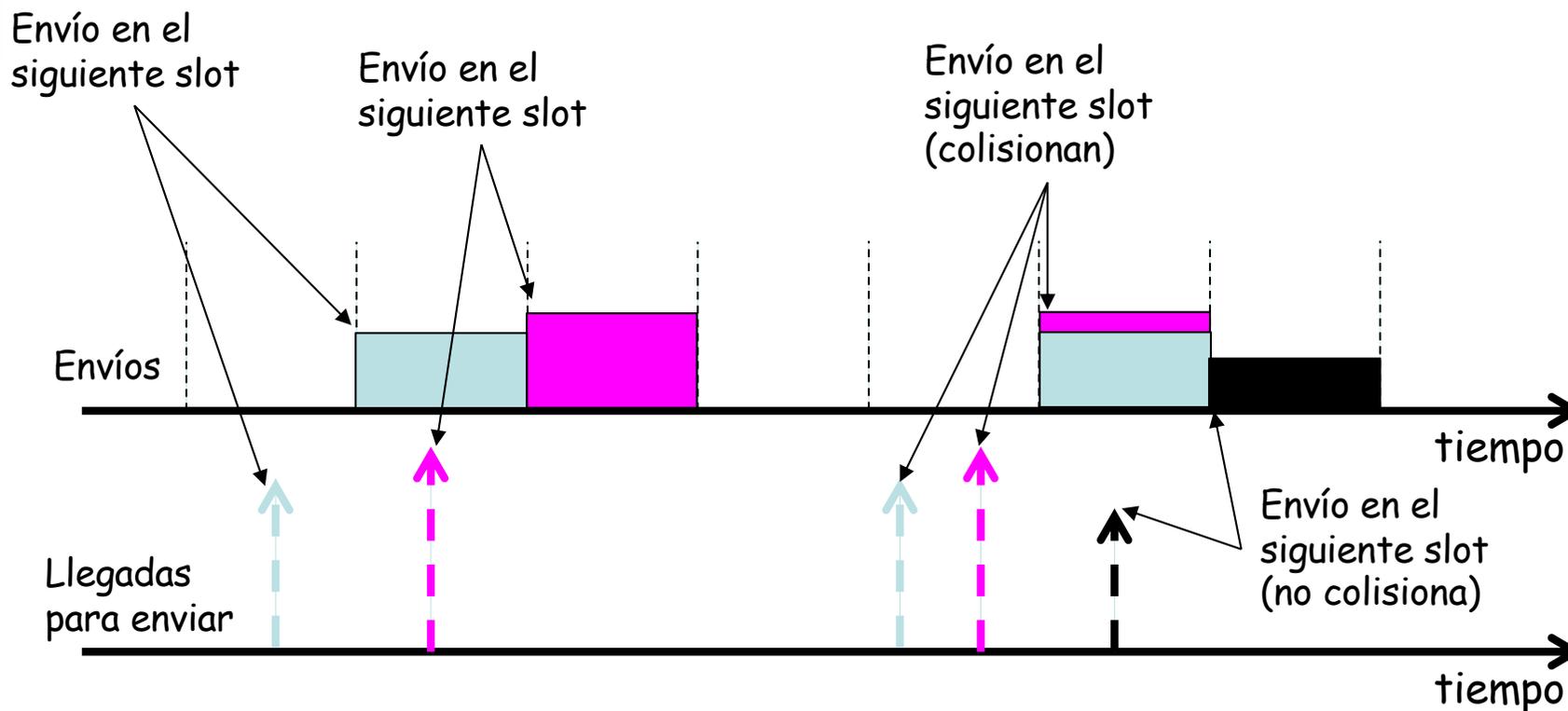
Slotted ALOHA

- No se puede transmitir en cualquier instante sino solo dentro de una "ranura" o "slot"
- Una llegada en un intervalo tiene que esperar al comienzo del siguiente slot
- Ranurar el tiempo requiere sincronizar las estaciones
- Lo cual es un problema en sí mismo



Análisis

- Ahora solo se produce colisión si hay más de una llegada en el mismo intervalo de duración τ (no en 2τ)



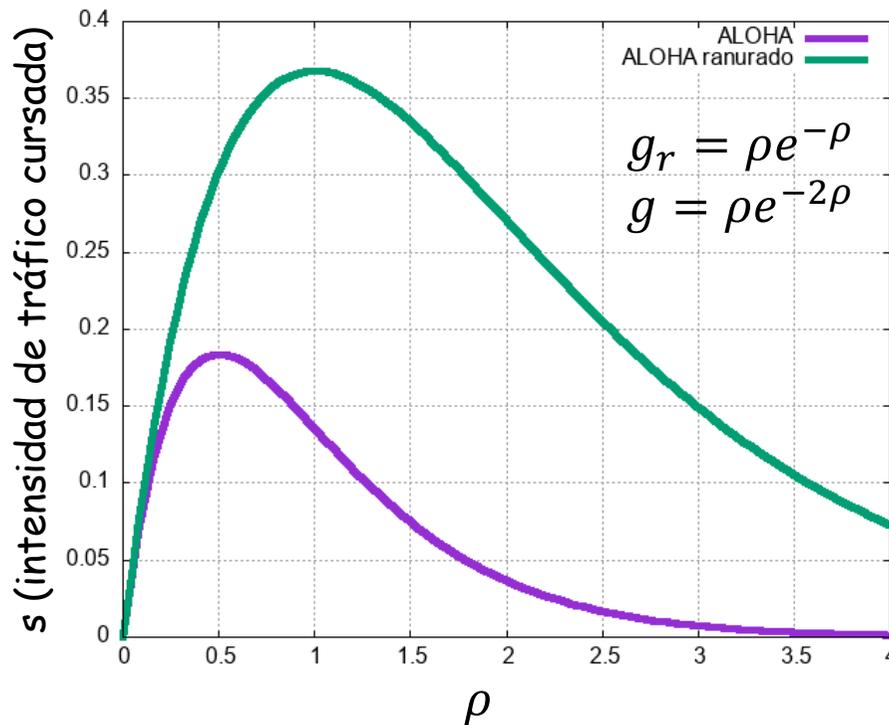
Análisis

- Ahora solo se produce colisión si hay más de una llegada en el mismo intervalo de duración τ (no en 2τ)

$$P(Y > \tau) = 1 - P(Y \leq \tau) = 1 - (1 - e^{-\tau\lambda}) = e^{-\tau\lambda}$$

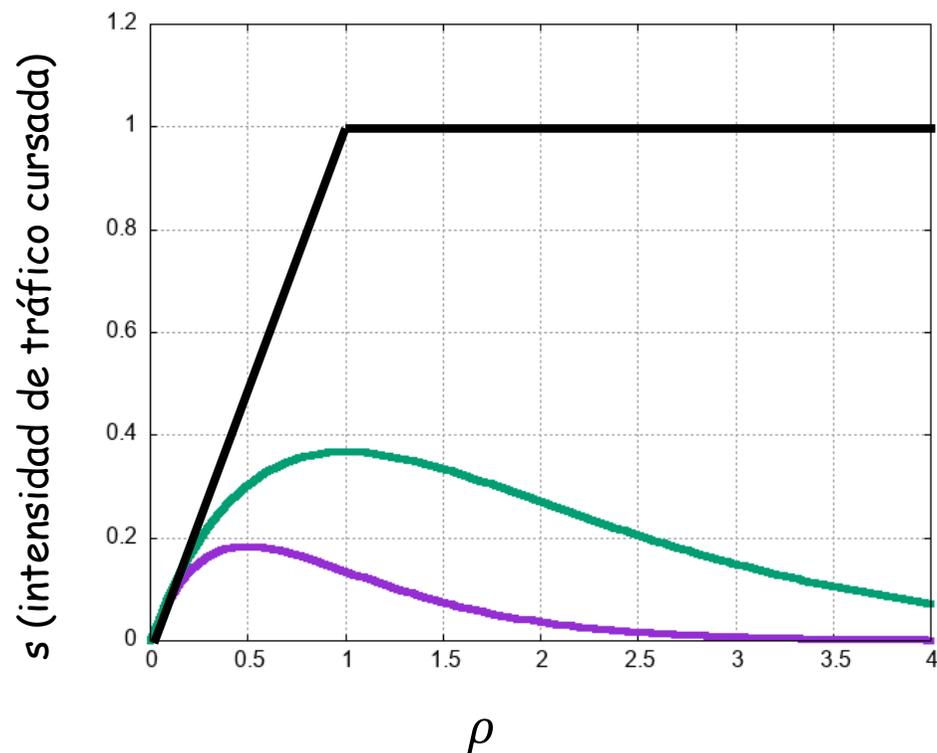
$$g_r = \rho e^{-\rho}$$

- Máximo para $\rho=1$ es el doble (36%)
- Mayor retardo (esperar al siguiente slot temporal)



Objetivo

- Aún estamos muy lejos del ideal
- Es un primer paso, simple, veremos cómo mejorarlo (complicándolo)



ALOHA hoy en día

- En otros protocolos se emplean algoritmos similares
- Por ejemplo, en protocolos para redes de cable (TV por cable) hay un intervalo de tiempo en contienda