



Acceso múltiple de paquetes y el protocolo Aloha

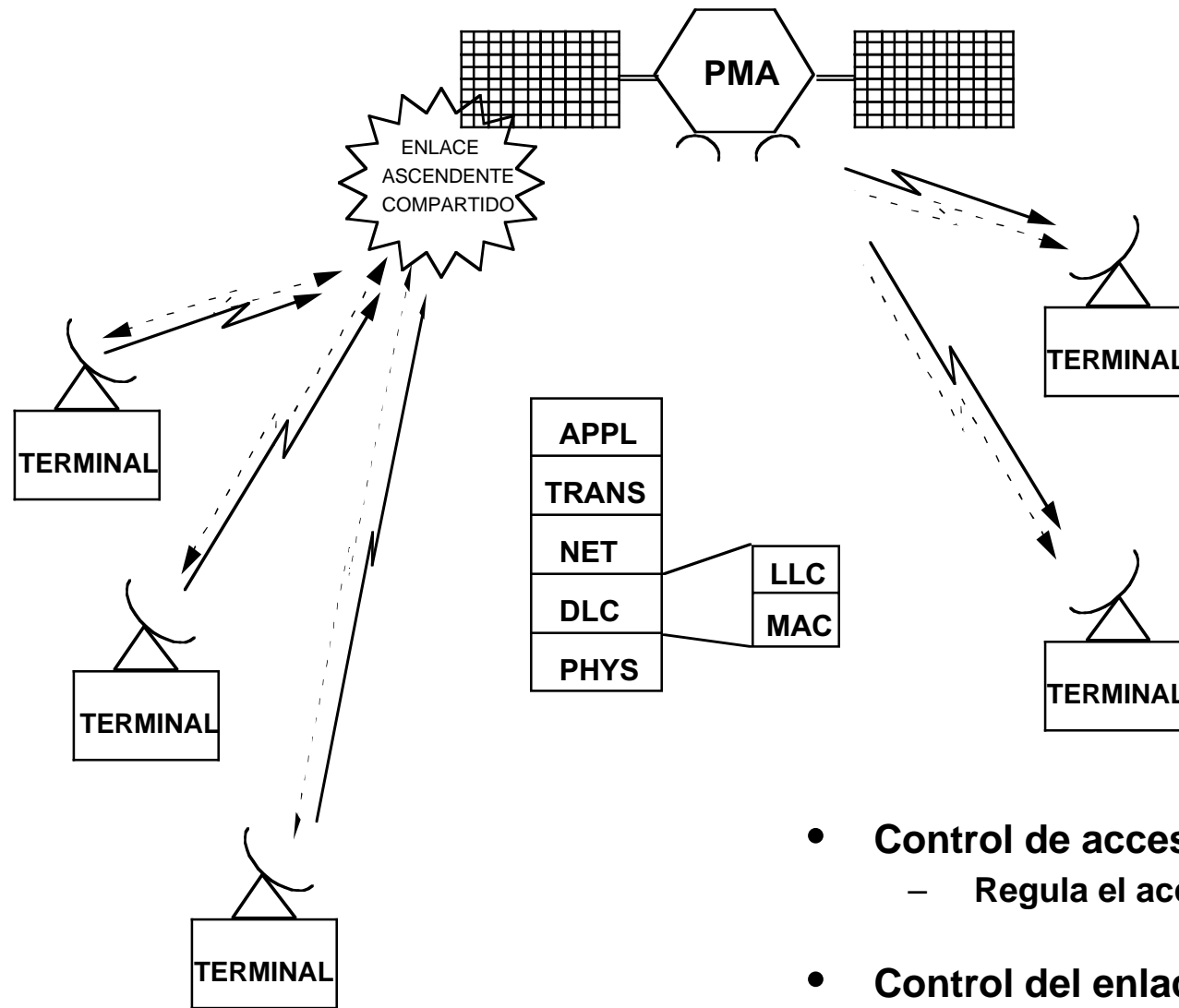
Eytan Modiano

MIT

Departamento de aeronáutica y astronáutica



Acceso múltiple de paquetes



- **Control de acceso al medio (MAC)**
 - Regula el acceso al canal
- **Control del enlace lógico (LLC)**
 - Todas las otras funciones DLC



Ejemplos de canales de acceso múltiple



- **Redes de área local (LANs)**
- **Canales satélite**
- **Radio inalámbrica**
- **Características del canal de acceso múltiple**
 - **Medio de transmisión compartido**
 - Un receptor puede oír a múltiples emisores
 - A un emisor lo pueden oír múltiples receptores
 - **El problema principal del acceso múltiple está en establecer el canal entre los usuarios:**
 - Los nodos no saben cuándo los otros nodos tienen datos que enviar
 - Es necesario coordinar las transmisiones



Enfoques del acceso múltiple



- **Asignación fija (TDMA, FDMA, CDMA):**
 - A cada nodo se le asigna una fracción determinada de ancho de banda
 - Equivalente a la conmutación de circuitos
 - Muy ineficaz para el tráfico con factor de bajo rendimiento

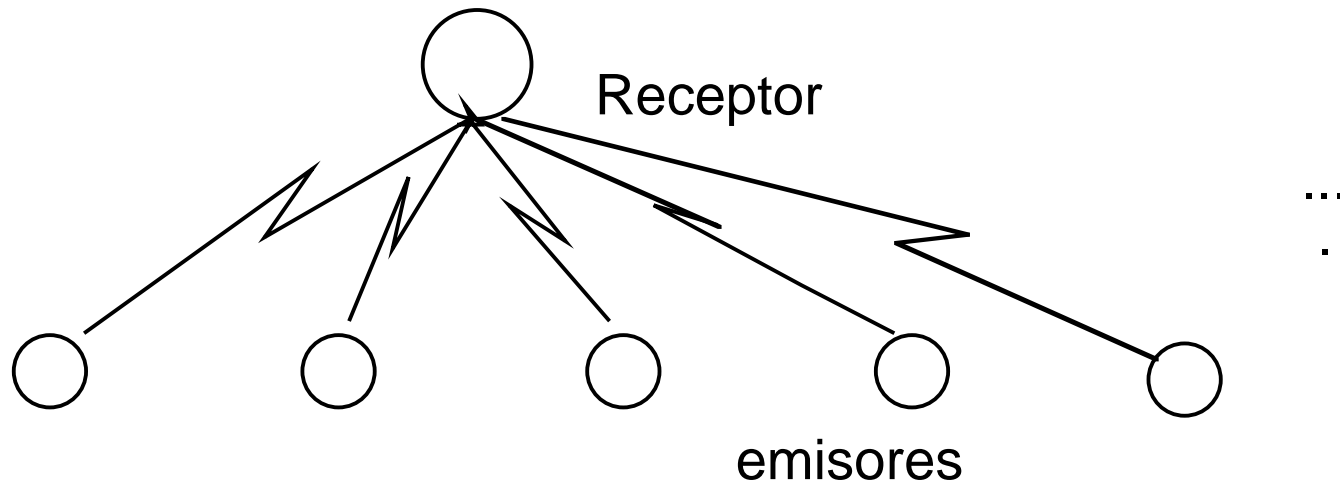
- **Sistemas de contienda:**
 - Sondeos
 - Reservas y gestión
 - Acceso aleatorio



Aloha



Un solo receptor; varios emisores



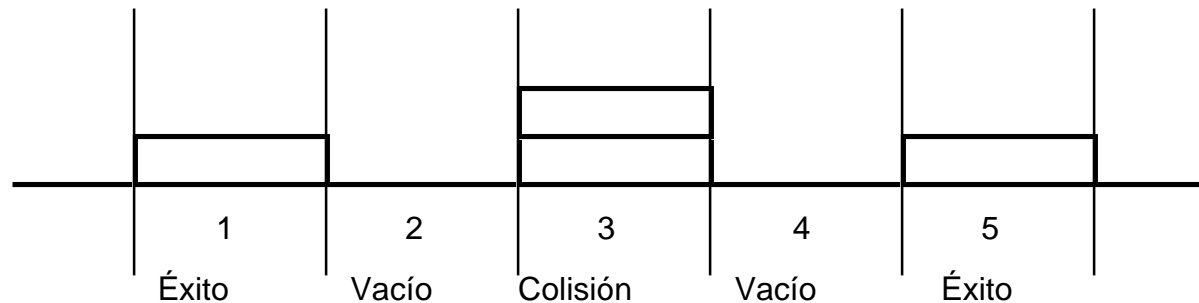
Ej.: sistema de satelites, inalámbrico



Aloha con slots (divisiones o intervalos)



- El tiempo se divide en “slots” de un paquete de duración:
 - Ej.: paquetes de tamaño fijo
- Cuando un nodo tiene un paquete para enviar, espera hasta el inicio del siguiente slot para enviarlo:
 - Requiere sincronización
- Si ningún otro nodo intenta transmitir durante ese slot, la transmisión tendrá éxito:
 - De lo contrario, se puede producir una “colisión”
 - Los paquetes que colisionan se retransmiten tras un tiempo de espera aleatorio





Supuestos en el Aloha con slots



- Llegadas externas de Poisson
- Sin captura:
 - Los paquetes que colisionan se pierden
 - También son posibles los modelos de captura
- Respuesta inmediata:
 - Vacío (0), éxito (1) y colisión (e)
- Si durante un slot llega un nuevo paquete, se transmite en el siguiente slot
- Si se produce una colisión en una transmisión, el nodo se pone en modo de espera y va acumulando paquetes:
 - Sea n el número de nodos en modo de espera



Aloha con slots

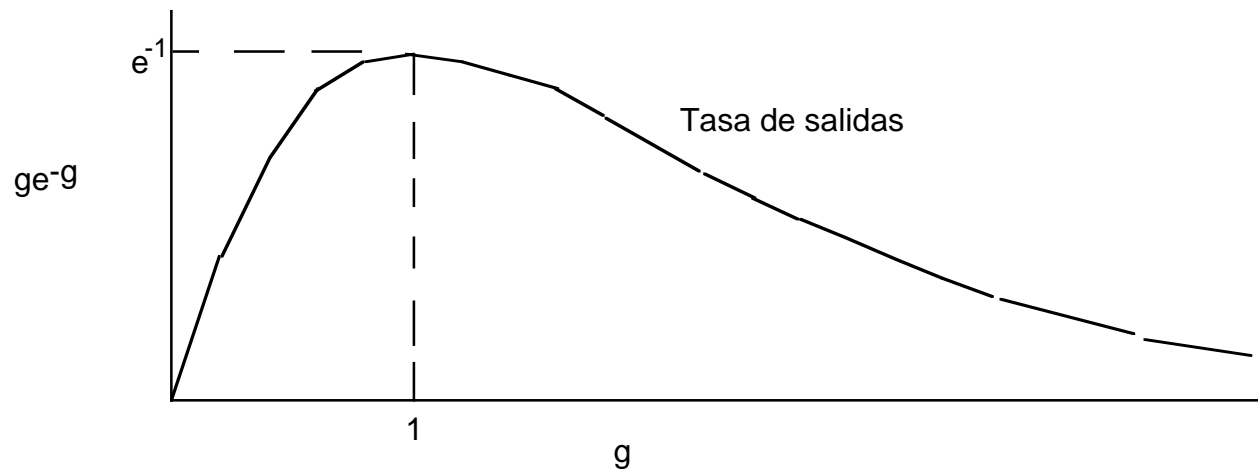


- **Sea $g(n)$ la tasa de intentos (número esperado de paquetes transmitidos en un slot)**
 - **El número de paquetes que se intentan enviar por slot es aproximadamente una variable aleatoria de Poisson de media $g = \lambda + n \cdot q_r$**
 - q_r = probabilidad de que un paquete en espera se retransmita en un slot
 - n = número de paquetes en espera
 - **$P(m \text{ intentos}) = g^m e^{-g} / m!$**
 - **$P(\text{vacío}) = \text{probabilidad de que no haya ningún intento en un slot} = e^{-g}$**
 - **$p(\text{éxito}) = \text{probabilidad de que haya un intento en un slot} = g e^{-g}$**
 - **$P(\text{colisión}) = P(\text{dos o más intentos}) = 1 - P(\text{vacío}) - P(\text{éxito})$**



Tasa de transferencia de Aloha con slots

- La tasa de transferencia es la fracción de slots que contienen transmisiones eficaces = $P(\text{éxito}) = ge^{-g}$
 - Cuando el sistema es estable, la tasa de transferencia debe ser igual a la tasa de llegadas externas (λ)



- ¿Qué valor de $g(n)$ maximiza la tasa de transferencia?

$$\frac{d}{dg(n)} ge^{-g} = e^{-g} - ge^{-g} = 0$$

$$\Rightarrow g = 1$$

- $g < 1 \Rightarrow$ demasiados slots vacíos
- $g > 1 \Rightarrow$ demasiadas colisiones

$$\Rightarrow P(\text{éxito}) = ge^{-g} = 1/e \approx 0.36$$

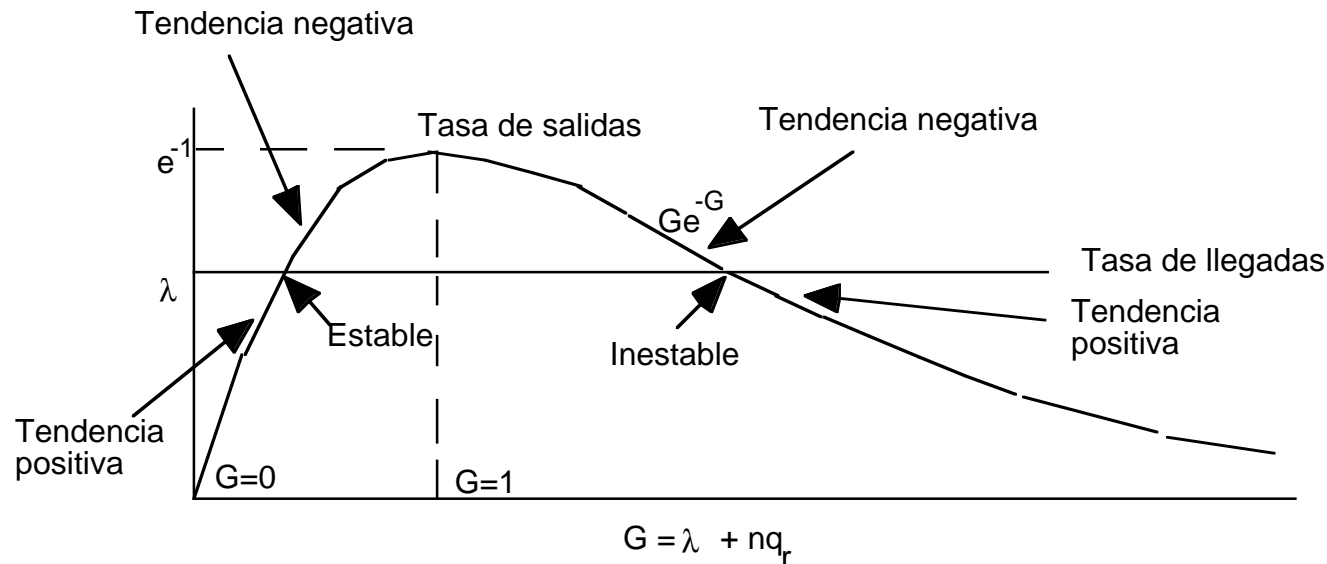
- Si se puede mantener $g(n)$ próximo a 1, se puede sostener una tasa de llegadas externas de $1/e$ paquetes por slot



Inestabilidad del Aloha con slots

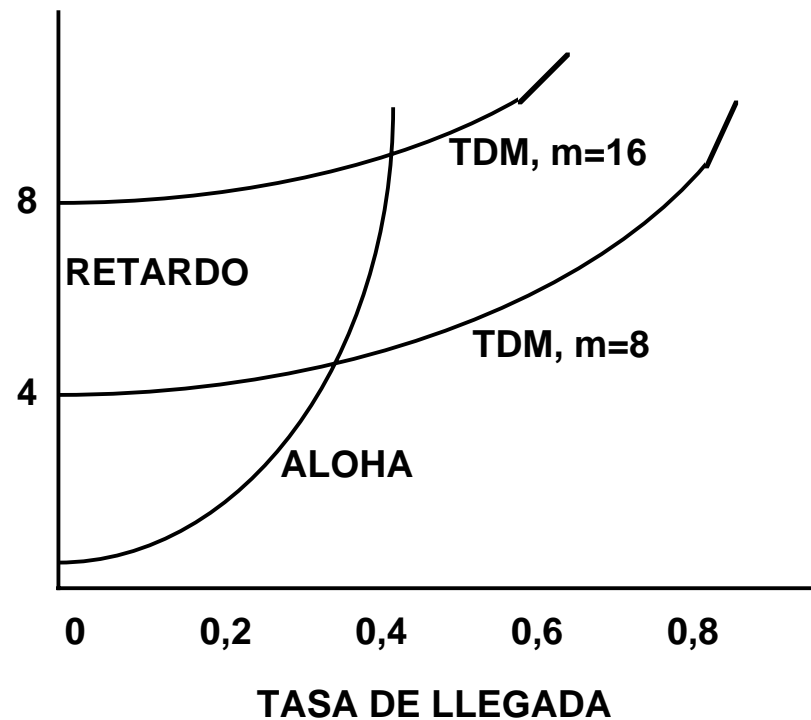


- Si la acumulación en espera aumenta hasta superar el punto de inestabilidad, entonces tiende a aumentar sin límite y la tasa de salidas cae hasta 0
 - Aloha es inherentemente inestable y necesita de algoritmos para mantenerse estable
- La tendencia en el estado n , $D(n)$ es el cambio que se espera en el backlog durante un slot de tiempo:
 - $D(n) = \lambda - P(\text{éxito}) = \lambda - g(n)e^{-g(n)}$





TDM frente a Aloha con slots

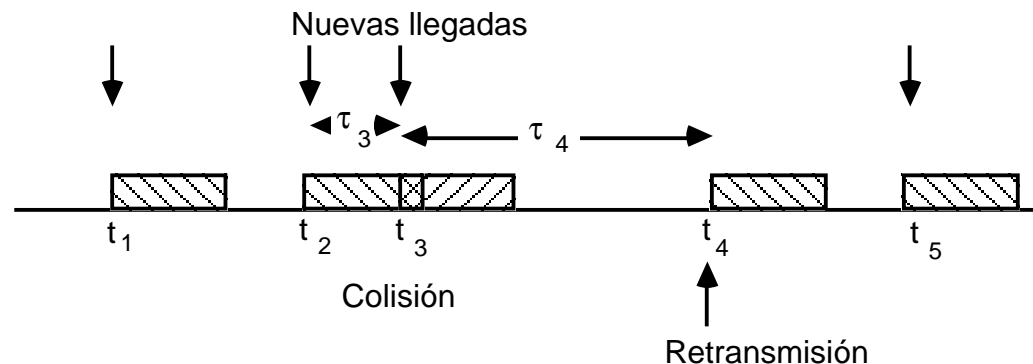


- Aloha consigue retardos menores cuando las tasas de llegada son bajas
- Mientras Aloha es independiente del número de usuarios, TDM da lugar a retardos muy grandes cuando el número de usuarios es elevado



Aloha puro (sin slots)

- Las nuevas llegadas se transmiten inmediatamente (sin slots)
 - No es necesaria una sincronización
 - No es necesario que los paquetes tengan un tamaño fijo
- Un paquete en espera se intenta enviar otra vez tras un retardo aleatorio distribuido exponencialmente con alguna media de $1/x$
- El proceso de llegada total es un proceso de Poisson de tiempo variable con tasa $g(n) = \lambda + nx$ (n = acumulación en espera, $1/x$ = tiempo medio entre las retransmisiones)
- Observe que un intento sufre una colisión si el intento previo no ha acabado todavía ($t_i - t_{i-1} < 1$) o el siguiente empieza demasiado pronto ($t_{i+1} - t_i < 1$)





Tasa de transferencia de Aloha sin slots



- **Un intento tiene éxito si los intervalos entre intentos en ambas partes son superiores a 1 (para paquetes de duración igual a la unidad):**
 - **$P(\text{éxito}) = e^{-g} \times e^{-g} = e^{-2g}$**
 - **Tasa de transferencia (tasa de éxito) = ge^{-2g}**
 - **Para una tasa de transferencia máx. en $g = 1/2$, Tasa de transferencia = $1/2e \sim 0,18$**
 - **Los problemas de estabilización son similares a los del Aloha con slots**
 - **Las ventajas del Aloha sin slots son su simplicidad y la posibilidad de gestionar paquetes de distintos tamaños**



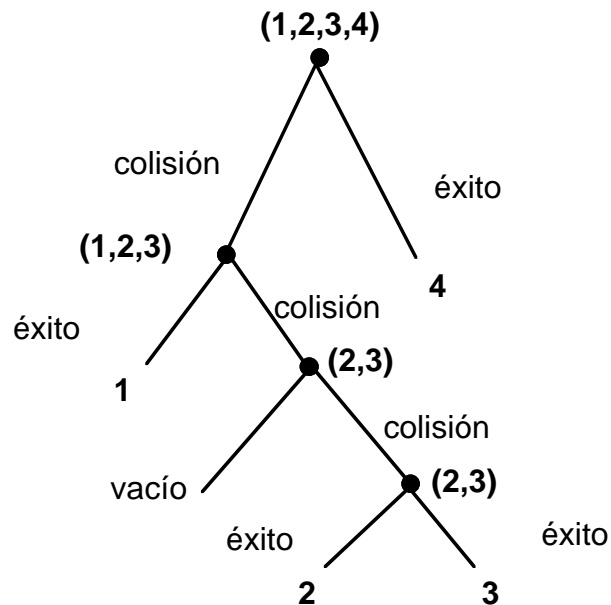
Algoritmos de separación (Splitting)

- **Un enfoque más eficaz para resolver las colisiones:**
 - **Interacción simple (0,1,e)**
 - **Idea principal: partir de que la colisión sólo afecta a dos paquetes:**
 - Suponer que todos los otros nodos permanecen quietos hasta que se resuelve la colisión y que los nodos envueltos en ella transmiten con probabilidad 1/2 hasta que uno de ellos tiene éxito**
 - El otro nodo transmite en el siguiente slot posterior a este éxito**
 - El número esperado de slots para el primer éxito es 2, por lo que el número de slots que se espera que transmitan 2 paquetes es 3**
 - La tasa de transferencia durante los 3 slots = 2/3**
 - **En la práctica, el algoritmo anterior no funciona:**
 - No se puede suponer que participan en la colisión sólo dos usuarios**
 - Un algoritmo práctico debe contemplar la posibilidad de que se produzcan colisiones entre un número cualquiera de usuarios**



Algoritmos en árbol

- Tras una colisión, todas las llegadas nuevas y todos los paquetes almacenados que no participaron en la colisión esperan
- Cada uno de los paquetes que colisionan pasan a formar parte, aleatoriamente, de uno de los dos grupos (grupos Izquierda y Derecha):
 - Decisión a suertes
 - El grupo Izquierda transmite durante el siguiente slot, mientras el grupo Derecha espera
Si se produce una colisión, el grupo Izquierda se divide otra vez (se inicia el algoritmo)
El grupo Derecha espera hasta que se resuelve la colisión del grupo Izquierda
 - Cuando el grupo Izquierda está listo, el grupo Derecha transmite



Obsérvese que tras el slot vacío, era seguro que se produciría una colisión entre (2,3) y, por tanto, se podía haber evitado

Hay muchas variaciones y mejoras del algoritmo original de división en árbol



Comparación de la tasa de transferencia



- Aloha puro estabilizado $T = 0,184 = (1/(2e))$
- Aloha con slots estabilizado $T = 0,368 = (1/e)$
- Algoritmo en árbol básico $T = 0,434$
- Variación más conocida del algoritmo en árbol $T = 0,4878$
- Límite superior de cualquier algoritmo para resolver colisiones con interacción $(0,1,e)$ $T \leq 0,568$
- TDM logra tasas de transferencia de hasta 1 paquete por slot, pero el retardo aumenta linealmente con el número de nodos