Módulo 05
La Capa de Enlace
(Pt. 5)

Redes de Computadoras
Depto. de Cs. e Ing. de la Comp.
Universidad Nacional del Sur

Copyright

Contenidos

- Servicios provistos por la capa de enlace
- Protocolos de acceso múltiple
- Direcciones de red local y protocolo **ARP**
- Ethernet
- Hubs, bridges y switches
- Enlaces inalámbricos
- Virtualización de enlaces
- Datacenters

IEEE 802.11

- El estándar **IEEE 802.11** agrupa las distintas variantes tecnológicas para redes inalámbricas
- **IEEE 802.11a** (1999):
  - Usa el espectro público de 5 GHz
  - Brinda un ancho de banda de hasta 54 Mbps
  - Brinda un alcance de unos 35 metros
- **IEEE 802.11b** (1999):
  - Usa el espectro público de 2.4 GHz
  - Brinda un ancho de banda de hasta 11 Mbps

IEEE 802.11

- **IEEE 802.11g** (2003):
  - Usa el espectro público de 2.4 GHz
  - Brinda un ancho de banda de hasta 54 Mbps
  - En algún punto, fue la variante más popular
- **IEEE 802.11n** (2009):
  - Usa el espectro público de 2.4 Ghz y/o 5 GHz
  - Brinda un ancho de banda de hasta 600 Mbps
  - Duplica el alcance a unos 70 metros
  - Para simplificar, se lo llama hoy en día **WiFi4**

IEEE 802.11

- **IEEE 802.11ac** (2014):
  - Usa el espectro público de 2.4 Ghz y/o 5 GHz
  - Brinda un ancho de banda de hasta 600 Mbps y de hasta 2600 Mbps, respectivamente
  - Puede hacer uso de hasta 8 flujos en simultáneo
  - Implementa la técnica de beamforming que permite encauzar la señal hacia un determinado receptor
  - Es compatible con el estándar **IEEE 802.11n**
  - Comercialmente se lo denomina **WiFi5**

IEEE 802.11

- **IEEE 802.11ax** (2021):
  - Usa el espectro público de 2.4 Ghz, 5 Ghz y/o 6Ghz
  - Puede aprovechar las nuevas bandas sin licencia que aparezcan en el rango de 1 a 7.125 GHz
  - En las condiciones correctas, alcanza un ancho de banda de hasta 14 Gbps
  - En configuraciones de alta densidad, presentará un desempeño cuatro veces mayor que **IEEE 802.11ac**
  - Comercialmente se lo denomina **WiFi6**

IEEE 802.11

- **IEEE 802.11be** (fines del 2024):
  - Ultima revisión del estándar, en la actualidad activamente en desarrollo, será el futuro **WiFi7**
  - Usa el espectro público de 2.4 Ghz, 5 Ghz y/o 6Ghz
  - Se estima que en las condiciones correctas alcance un ancho de banda de hasta 46/l Gbps
  - Incorpora un conjunto de tecnologías tendientes a disminuir la latencia (¡se habla de dividirla por cien!)
  - Todavía no está a disposición, ya que las especificaciones técnicas están siendo debatidas

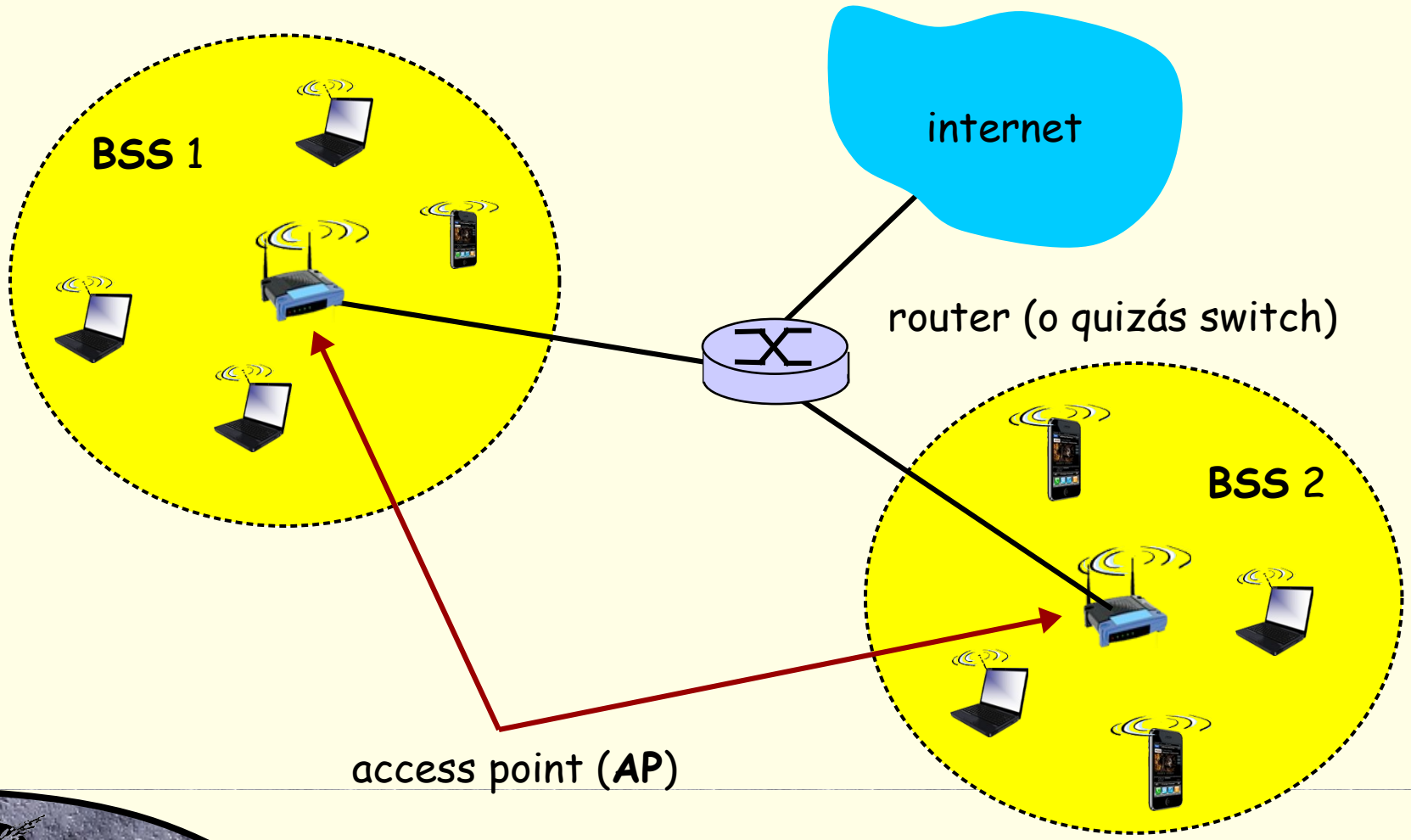
Modalidades de operación

- La redes inalámbricas especificadas por el estándar **IEEE 802.11** contempla dos modalidades de operación:
  - Modalidad con estación base
  - Modalidad ad-hoc
- Cada una de estas modalidades fue concebida para resolver problemas diferentes
- Al momento de su creación no se anticipó el nivel de adopción masivo que tendrían

Modalidad con estación base

- Características de la operatoria bajo la modalidad con estación base:
  - Los nodos inalámbricos se comunican exclusivamente con una estación base
  - La estación base se denomina punto de acceso, o también access point (**AP**)
  - Cada **AP** constituye una celda, la que se denomina en la jerga **BSS** (Basic Service Set)
  - Los **BSS** se combinan entre sí para formar un sistema de distribución (**DS**)

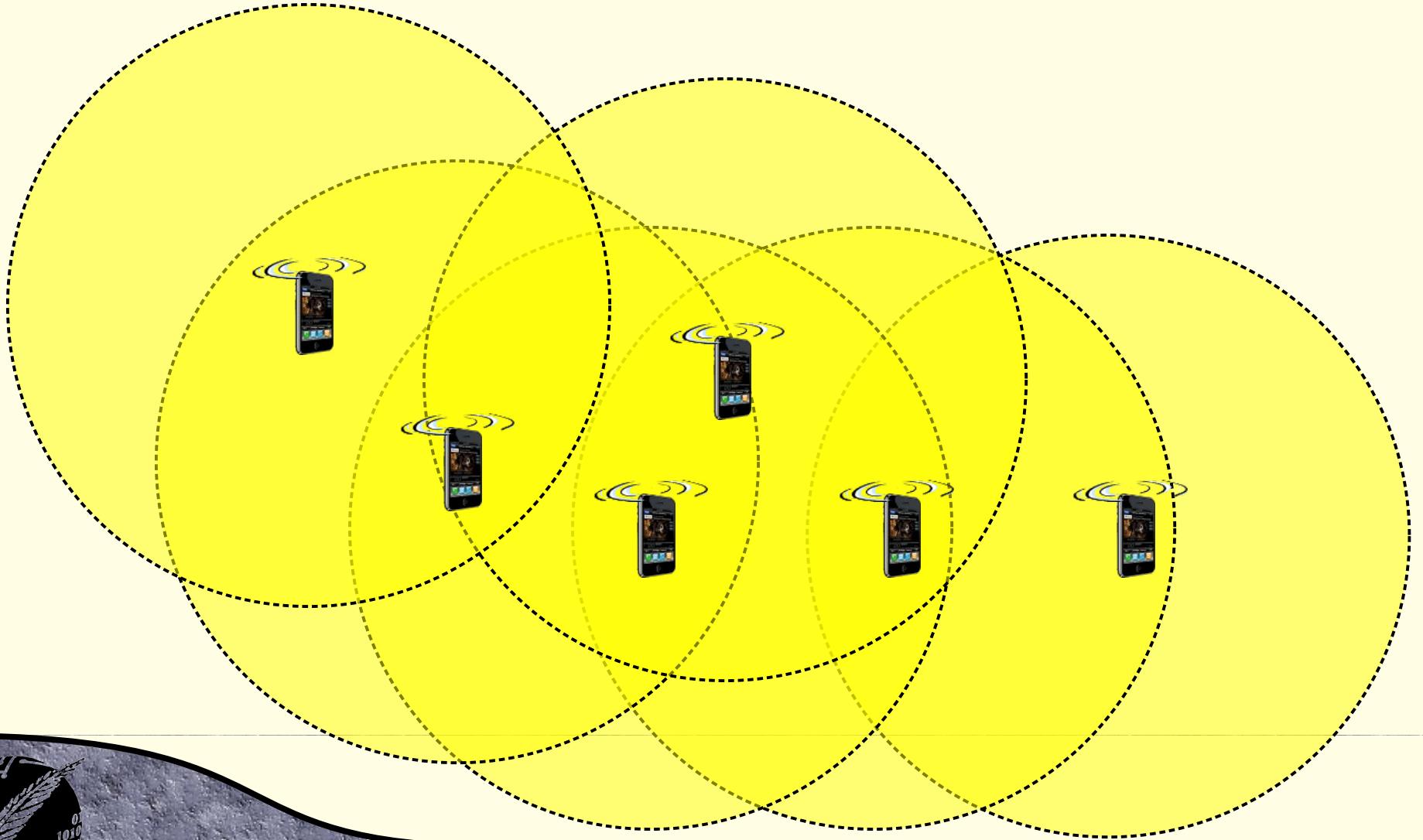
Modalidad con estación base



Modalidad ad-hoc

- Características de la operatoria bajo la modalidad ad-hoc:
  - No requiere hacer uso de un **AP**
  - Los nodos inalámbricos se comunican directamente entre sí
  - Las tramas puede tener que visitar uno o más nodos intermedios hasta alcanzar su destino
- Aplicaciones:
  - Conectividad en una reunión, dentro del auto, etc.
  - Conectividad en el campo de batalla

Modalidad ad-hoc



Proceso de asociación

- El espectro a disposición de los **AP**s se particiona en sendos canales
  - El administrador del **AP** elige en qué canal operará
  - Existe la posibilidad de colisionar con otros **AP**s que operen en el mismo canal
- Como primera medida los dispositivos deben asociarse a un determinado **AP**:
  - A tal efecto, se escudriñan los canales a la espera de una trama faro (beacon frame) conteniendo el nombre (**SSID**) y la dirección física del **AP**

Enlaces inalámbricos

- Peculiaridades de los enlaces inalámbricos:
  - Las señales de radio se atenúan de manera cuadrática a medida que se propagan por el espacio
  - Son altamente sensibles a la interferencia electromagnética de múltiples fuentes (otras redes inalámbricas, teléfonos inalámbricos, motores, etc.)
  - Las señales de radio también se reflejan en las paredes y en el piso, por lo que arriban a destino múltiples “ecos” con pequeñas diferencias de tiempo
- ¡Esto torna la comunicación mucho más difícil!

Ponete los cortos que entrás...

enumerame los principales factores que pueden atenuar la señal de un enlace inalámbrico

En un enlace inalámbrico, varios factores pueden causar la atenuación de la señal, afectando la calidad y la fiabilidad de la comunicación. Aquí están los principales factores que pueden atenuar la señal de un enlace inalámbrico:

1. **Distancia:**
   - A mayor distancia entre el transmisor y el receptor, mayor será la atenuación de la señal. La intensidad de la señal disminuye proporcionalmente al cuadrado de la distancia (ley del inverso del cuadrado).
2. **Obstrucciones físicas:**
   - Objetos físicos como paredes, techos, muebles, árboles y montañas pueden bloquear o debilitar la señal. Materiales densos como metal, concreto y ladrillo tienden a causar una mayor atenuación.
3. **Interferencia electromagnética:**
   - Otros dispositivos electrónicos y fuentes de radiación electromagnética, como microondas, teléfonos inalámbricos, routers Wi-Fi cercanos y dispositivos Bluetooth, pueden interferir con la señal inalámbrica, causando degradación.
4. **Frecuencia de la señal:**
   - Las señales de alta frecuencia (como las de 5 GHz) tienden a tener una mayor atenuación en comparación con las de baja frecuencia (como las de 2.4 GHz) debido a su menor capacidad de penetrar obstáculos y su mayor absorción por parte de la atmósfera.
5. **Absorción por el medio:**
   - Diferentes materiales en el medio ambiente, como el agua, pueden absorber la señal inalámbrica. Por ejemplo, la humedad y la lluvia pueden absorber y atenuar las señales de microondas.
6. **Desvanecimiento (Fading):**
   - El desvanecimiento puede ocurrir debido a la multipropagación, donde las señales reflejadas, refractadas y difractadas llegan al receptor con diferentes fases y amplitudes, causando interferencias constructivas y destructivas.
7. **Dispersión (Scattering):**
   - La dispersión ocurre cuando la señal se encuentra con partículas pequeñas en el aire, como polvo o gotas de lluvia, causando una desviación de la dirección de la señal y atenuación.
8. **Ruidos ambientales:**
   - El ruido de fondo general en el entorno, como el ruido térmico y otras fuentes de ruido no deseado, puede contribuir a la degradación de la señal.
9. **Polarización de la antena:**
   - La alineación incorrecta de la polarización de las antenas transmisora y receptora puede causar una pérdida de señal. La señal se atenua si las antenas no están correctamente polarizadas.
10. **Reflexión:**
    - La señal puede reflejarse en superficies como edificios, agua y el suelo, causando caminos múltiples (multipath) que pueden interferir entre sí y atenuar la señal efectiva.
11. **Interferencia de canal:**
    - En redes Wi-Fi, el uso de canales superpuestos por múltiples dispositivos puede causar interferencia y degradación de la señal.
12. **Pérdidas en las conexiones:**
    - Las pérdidas en los conectores y cables de la antena pueden atenuar la señal antes de que sea transmitida o recibida.

Enlaces inalámbricos

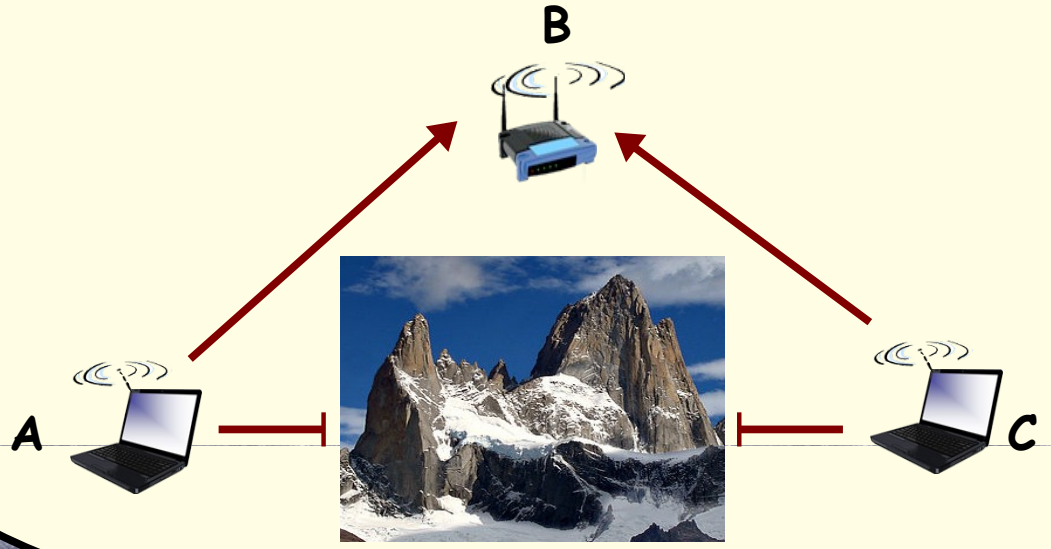
- El parámetro **SNR** (Signal to Noise Ratio) mide qué tan clara resulta la señal transmitida por sobre el ruido de fondo (white noise)
  - Un alto **SNR** trae aparejado una mejor probabilidad de transmitir un determinado dato correctamente
- El parámetro **BER** (Bit Error Rate) mide la tasa de error observada
  - A más potencia, mejor **SNR** y por ende menor **BER**
  - Para un dado **SNR**, la única manera de controlar el **BER** es moderar el desempeño del enlace

Protocolo MAC inalámbrico

- Dada las características de la tecnología inalámbrica, si dos o más nodos transmiten en simultáneo se producirá una colisión
- El protocolo **CSMA** parece adecuado, ya que:
  - Con un emisor único se puede usar la totalidad del ancho de banda disponible
  - Se evitan colisiones sensando primero el estado del canal compartido antes de emitir
- Lamentablemente, la detección de colisiones no funciona con los enlaces inalámbricos

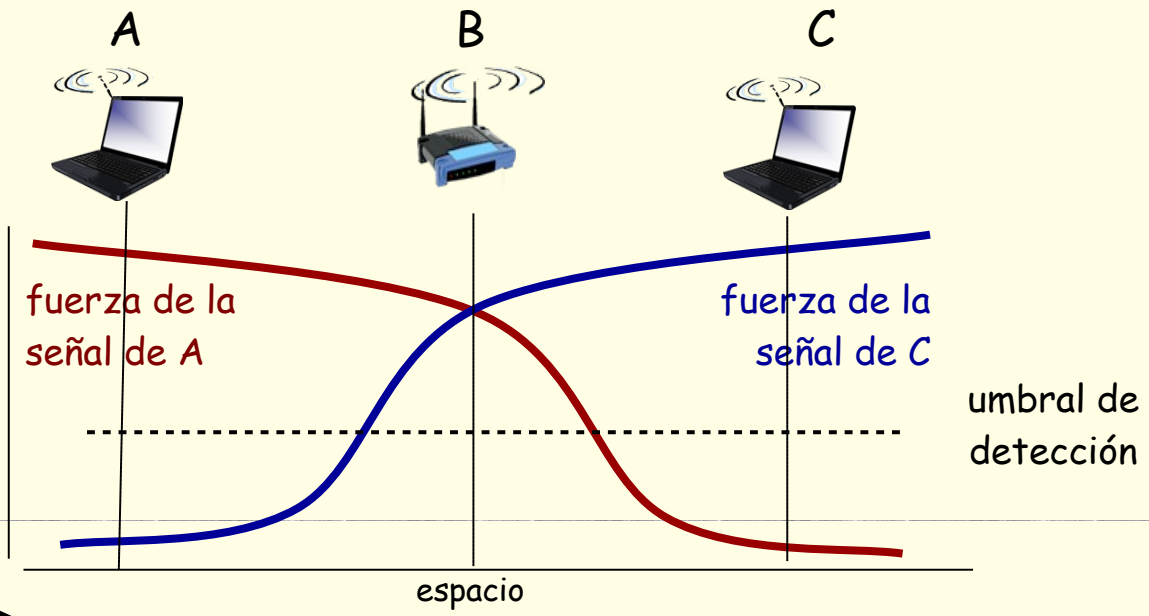
Terminal oculta

- El algoritmo **CSMA** sólo puede ser usado si todos los nodos son capaces de detectar que se produjo una colisión
  - En las redes inalámbricas el fenómeno de la terminal oculta puede provocar que no todos los nodos se den cuenta de que se produjo una colisión



Terminal oculta

- La atenuación de la señal es suficiente como para que **A** y **C** no se reconozcan entre sí
  - No obstante, las señales tanto de **A** como de **C** alcanzan a interferirse en **B**



Terminal oculta

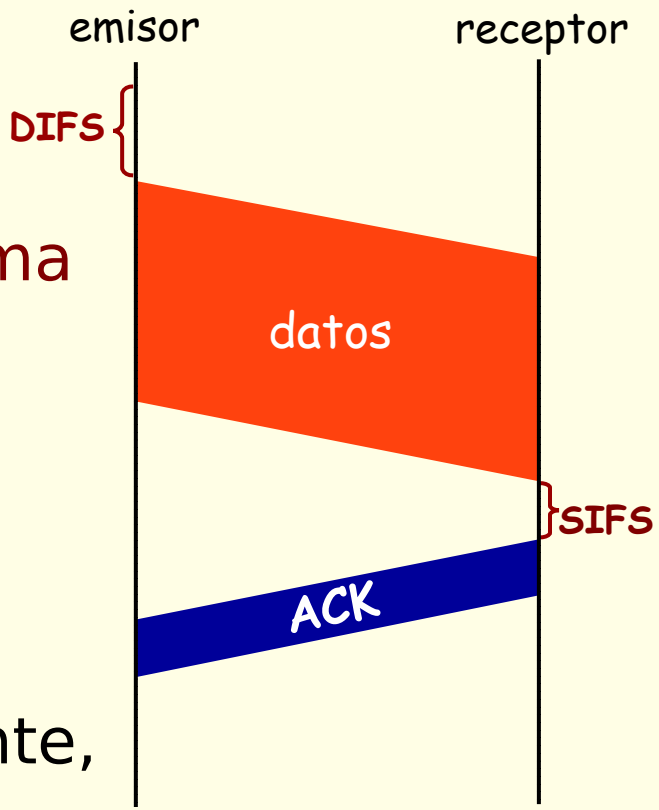
- El fenómeno de la terminal oculta afecta severamente el desempeño de la celda
- Se han ensayado distintas propuestas para solucionar este problema:
  - Incrementar la potencia de transmisión de los nodos
  - Hacer uso de antenas omnidireccionales
  - Remover los obstáculos entre los nodos
  - De no ser esto posible, reposicionar las antenas
  - Resolver el problema a nivel de protocolo de enlace

Protocolo CSMA 802.11

- El protocolo **MAC** del estándar **IEEE 802.11** adopta una organización al azar
  - Recordemos que esta organización contempla la posibilidad de que se produzcan colisiones
  - Para minimizar la aparición de colisiones, se adoptar el protocolo **CSMA**
  - No obstante, no es posible implementar la variante **CSMA/CD**, por tratarse de enlaces inalámbricos
  - Se desarrolló un nuevo protocolo **MAC** que se focaliza en directamente evitar las colisiones: el **CSMA/CA**

Protocolo CSMA 802.11

- Emisor **CSMA 802.11**:
  - Si el canal se sensa libre por **DIFS** microsegundos se procede a transmitir la totalidad de la trama
  - En cambio, si el canal se sensa ocupado, se demora el acceso de forma exponencial
- Receptor **CSMA 802.11**:
  - Si se recibe la trama correctamente, se envía una confirmación luego de **SIFS** microsegundos



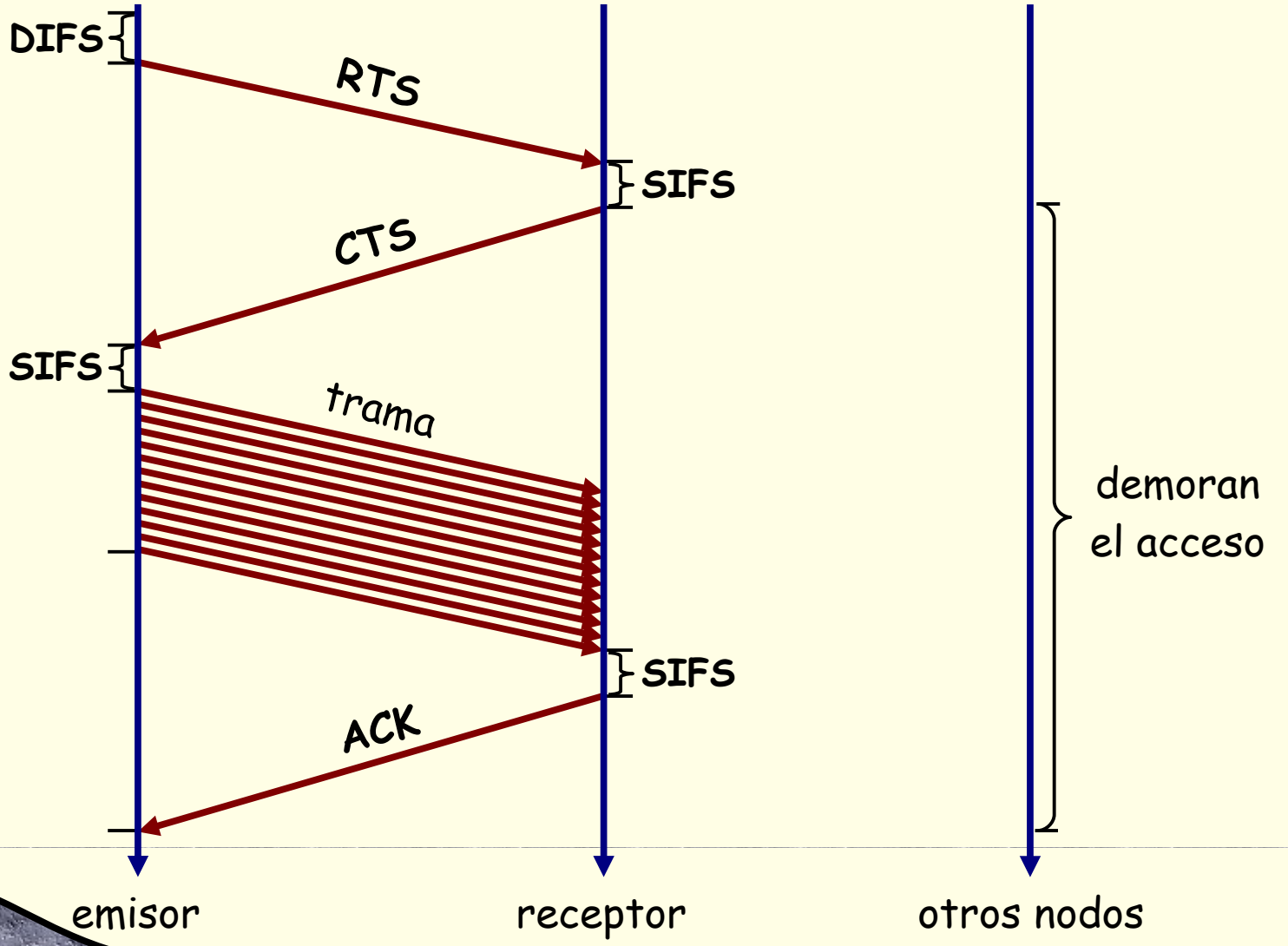
Protocolo CSMA/CA

- El problema de la terminal oculta de todas formas desperdicia ancho de banda
  - Si dos nodos, ocultos uno del otro, intentan transmitir una trama completa hacia el **AP**, se va a desperdiciar la totalidad del ancho de banda por todo ese tiempo
- La solución implementada en **IEEE 802.11** consiste de intercambiar unos pequeños mensajes de reserva anticipada del canal
  - En el peor de los casos, solo se estarían colisionando estos pequeños mensajes, minimizando el desperdicio del ancho de banda

Protocolo CSMA/CA

- La clave de la solución radica en que los pares de emisor/receptor involucrados en la colisión han de compartir necesariamente algún nodo:
  - El emisor transmite un mensaje corto denominado **RTS** (Request To Send), el cual indica por cuánto tiempo estará ocupado el canal
  - El receptor contesta con otro mensaje corto denominado **CTS** (Clear To Send)
  - Los restantes nodos (incluyendo la terminal oculta) toman nota de por cuanto tiempo va a estar ocupado el canal en su contador **NAV** interno

Protocolo CSMA/CA

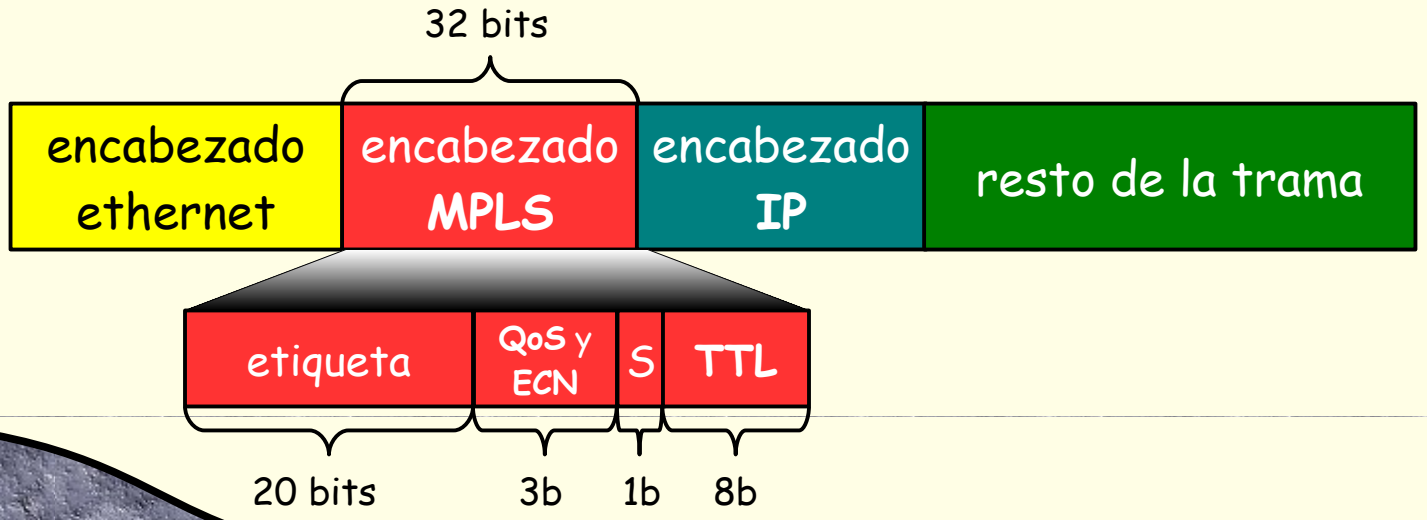


Multiprotocol Label Switching

- La tecnología **MPLS** (Multiprotocol Label Switching) es un estándar relativamente reciente empleada a nivel de esta capa
  - La idea era lograr resolver el forwarding de datagramas **IP** a una mayor velocidad
  - Para lograrlo, la resolución del forwading se hace consultando un campo de tamaño fijo (en vez de determinar el prefijo más largo)
  - Esta estrategia ha probado su efectividad en la implementación de los circuitos virtuales de **ATM**

Multiprotocol Label Switching

- Los routers capaces de procesar paquetes **MPLS** se los denomina label-switched routers
  - La decisión del forwarding se realiza sólo inspeccionando la etiqueta **MPLS** y no el **IP** destino
  - Esta independencia redunda en una mayor flexibilidad (la ruta puede cambiar sin involucrar por caso a **BGP**)



Datacenters

- El requerimiento de conectividad dentro de un datacenter resulta especialmente desafiante
  - Decenas de miles o hasta cientos de miles de servidores, por lo general fuertemente acoplados entre sí, amuchados en un pequeño espacio
- Los datacenters son un componente esencial en la migración de las operaciones de las empresas al cloud
  - Por caso, tanto Amazon, Microsoft y Google ofrecen como servicio hacer uso de sus datacenters

Datacenters

¿Preguntas?