

Capa MAC del 802.11

Fundamentos de Redes Inalámbricas
ITESM CEM

Temas

- ▶ **Mecanismos de acceso al medio del 802.11**
 - ▶ Operaciones del DCF
 - ▶ Problema del nodo escondido
 - ▶ RTS/CTS
 - ▶ Fragmentación de la trama





Estándares 802.11

Importancia de la estandarización

- ▶ Se realiza para el desarrollo de productos de red (incluyendo inalámbricas) costeables e interoperables
- ▶ La estandarización provee los siguientes beneficios:
 - ▶ Interoperabilidad entre productos de diferentes proveedores
 - ▶ Desarrollo más rápido de productos
 - ▶ Estabilidad
 - ▶ Habilidad para actualización
 - ▶ Reducción de costos

<http://www.cft.gob.mx>



Organismos

- ▶ **Federal Communications Commission (FCC)**
 - ▶ Agencia independiente de los Estados Unidos que regula los métodos de comunicación.
 - ▶ Regula:
 - ▶ Rangos de frecuencia que pueden ser utilizados sin una licencia
 - ▶ Potencias de transmisión de los dispositivos
 - ▶ Tipos de dispositivos que pueden ser utilizados externa e internamente
 - ▶ Tipos de hardware que pueden ser utilizados

<http://www.fcc.gov>



- ▶ **Relación FCC y Cisco (wireless):**

- ▶ Parte 15: Requerimientos de antenas
- ▶ Las antenas deben utilizar un conector único no estándar que no pueda ser adquirido fácilmente
- ▶ Cisco utiliza un conector conocido como *Reverse-Polarity-Threaded-Neil-Concealman* (RP-TNC)



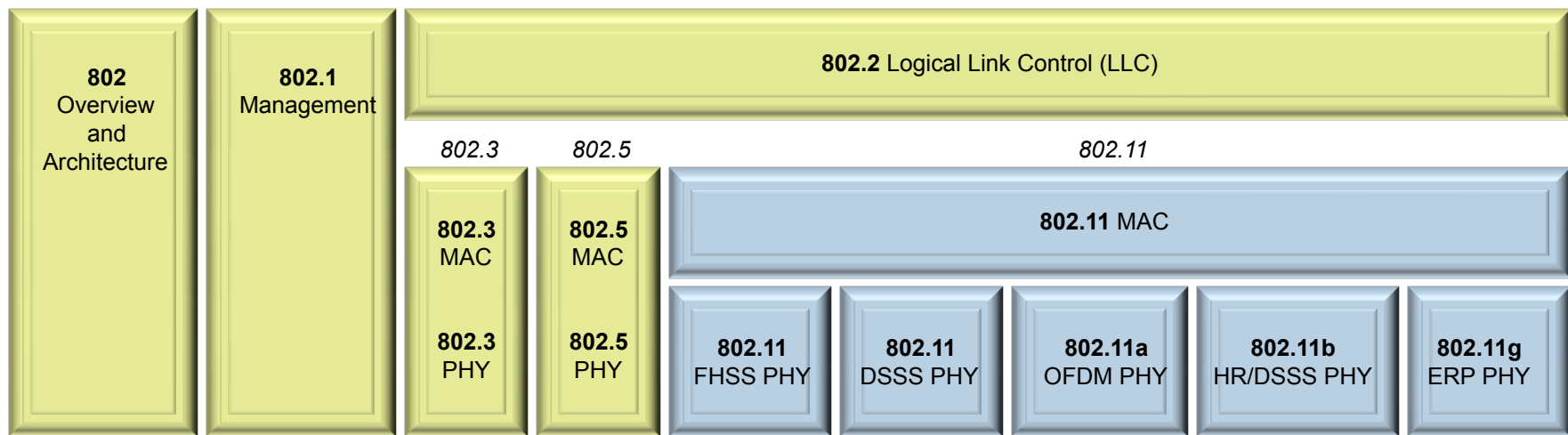
- ▶ Lo que lo hace único es que los contactos centrales están invertidos



-
- ▶ La FCC también define las reglas de potencia de salida.
 - ▶ Estas reglas deben ser seguidas por personas comunes y corrientes y por gente profesional en el área
 - ▶ Por ejemplo:
 - ▶ *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP) es una forma de medir la cantidad de energía radiada desde una antena.
 - ▶ Es importante que el EIRP no exceda los rangos establecidos y existen para diseños punto a punto y diseños punto a multipunto
 - ▶ Reglas para diseño punto a punto:
 - ▶ Se puede tener un EIRP máximo de 36 dBm
 - ▶ Se puede tener una potencia de transmisión máxima de 30 dBm con una ganancia de 6 dBi de la antena y cableado
 - ▶ Se permite un ratio de 1:1 de potencia y ganancia.
 - ▶ Para diseño punto a multipunto:
 - ▶ Se puede exceder el ratio hasta 3:1 con respecto a potencia y ganancia.
-



IEEE y el 802.11



802.11 Mecanismos de Acceso al Medio

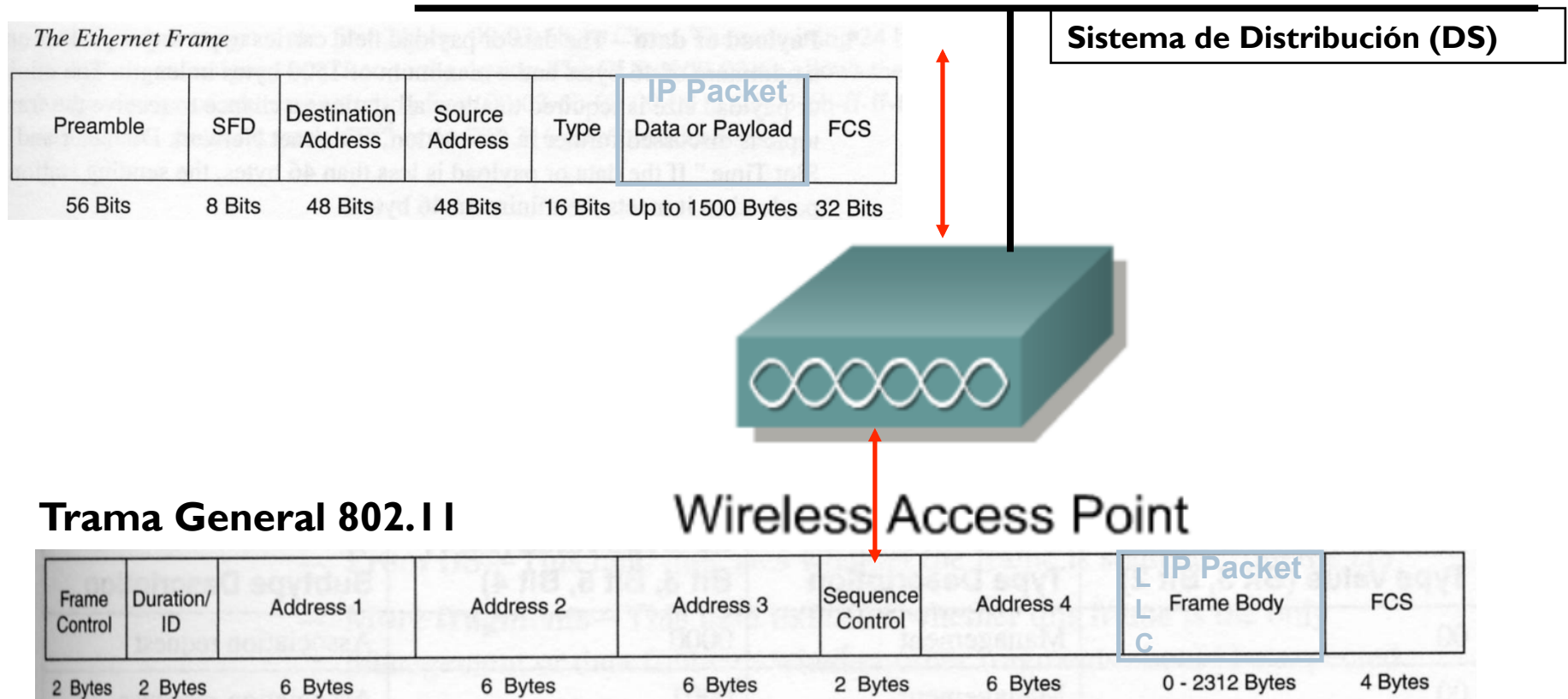
Operaciones DCF

Problema del nodo escondido

RTS/CTS

Fragmentación de tramas

Tramas 802.11– Esto no es Ethernet



Tramas 802.11

Tramas 802.11

▶ Tramas datos (mayoría de PCF)

- ▶ Data
- ▶ Null data
- ▶ Data+CF+Ack
- ▶ Data+CF+Poll
- ▶ Data+CF+Ac+CF+Poll
- ▶ CF-Ack
- ▶ CF-Poll
- ▶ CF-Cak+CF-Poll

▶ Tramas de control

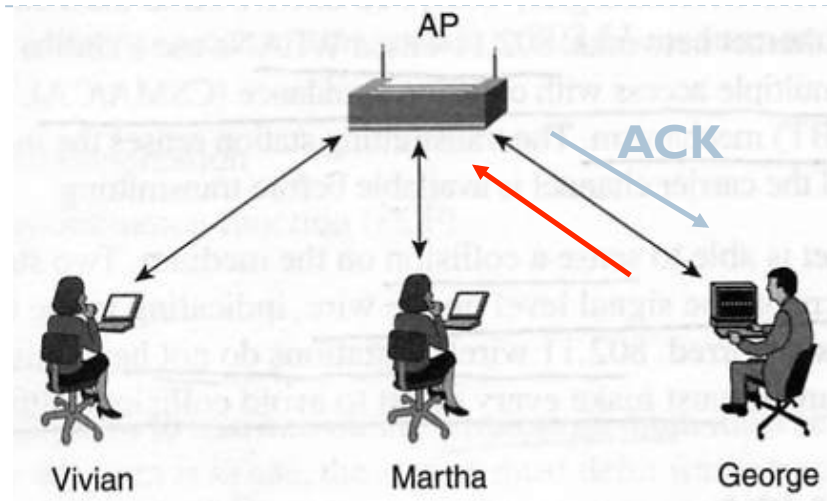
- ▶ RTS
- ▶ CTS
- ▶ ACK
- ▶ CF-End
- ▶ CF-End+CF-Ack

▶ Tramas de administración

- ▶ Beacon
- ▶ Probe Request
- ▶ Probe Response
- ▶ Authentication
- ▶ Deauthentication
- ▶ Association Request
- ▶ Association Response
- ▶ Reassociation Request
- ▶ Reassociation Response
- ▶ Disassociation
- ▶ Announcement Traffic Indication



Método de control de acceso al Medio – CSMA/CA

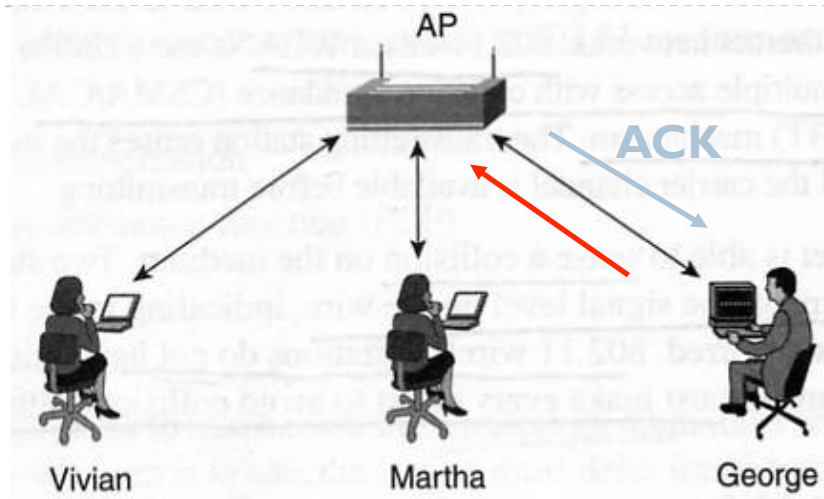


CSMA/CA

- ▶ CSMA/CD y CSMA/CA son arquitecturas half-duplex
- ▶ Ethernet utiliza CSMA/CD – Collision Detection
 - ▶ Dispositivos Ethernet detectan colisiones conforme la información es enviada
- ▶ 802.11 usa CSMA/CA – Collision Avoidance
 - ▶ Dispositivos 802.11 detectan colisiones cuando no reciben un ACK
 - ▶ Estaciones también utilizan CS/CCA
 - ▶ Estaciones utilizan función NAV



Método de control de acceso al Medio – CSMA/CA

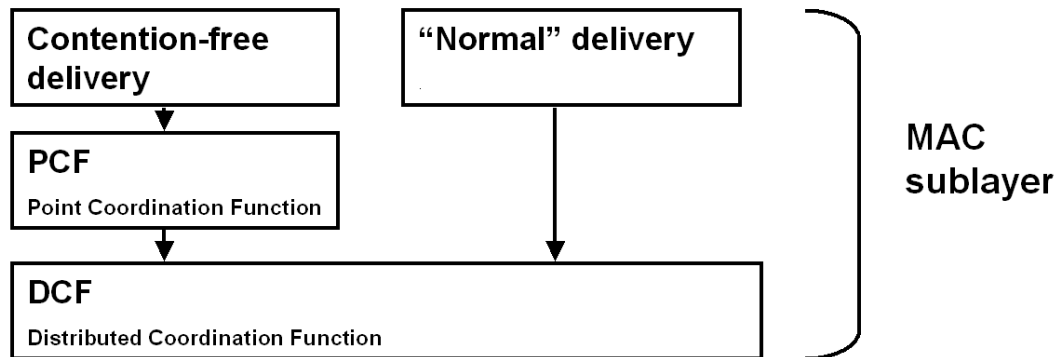


CSMA/CA

- ▶ El estándar 802.11 hace obligatoria la implementación del DCF (Distributed Coordination Function) en todas las estaciones, el cual es una forma de CSMA/CA.
- ▶ CSMA es un protocolo basado en contención que hace que las estaciones sensen el medio (física y virtualmente) antes de transmitir.
- ▶ Su meta principal es evitar que las estaciones envíen al mismo tiempo, lo cual resultaría en colisiones y retransmisiones. No siempre lo logra...



DCF y PCF



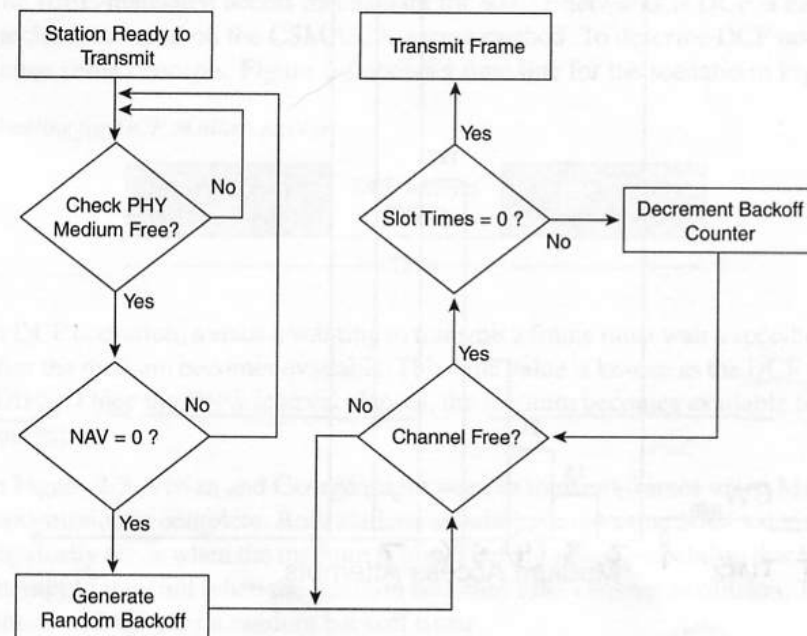
- ▶ **DCF (Distributed Coordination Function)**
 - ▶ Base para CSMA/CA
 - ▶ Obligatoria su implementación en todas las estaciones
- ▶ **PCF (Point Coordination Function)**
 - ▶ Puntos coordinadores (PC), i.e. Access Points, proveen un punto de coordinación para servicios libres de contención.
 - ▶ Restringido para BSSs de infraestructura.
 - ▶ Estaciones sólo pueden transmitir cuando se le sea permitido por el PC (AP).
 - ▶ PCF no ha sido implementado por lo que no se verá en detalle.

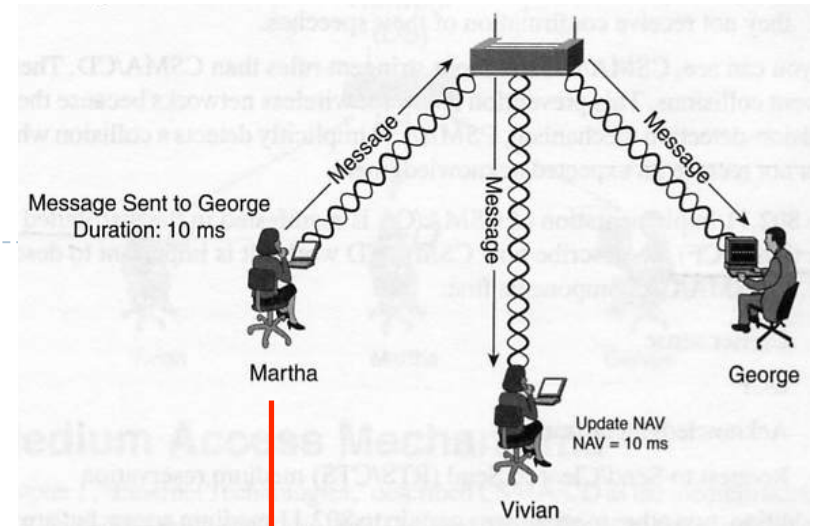
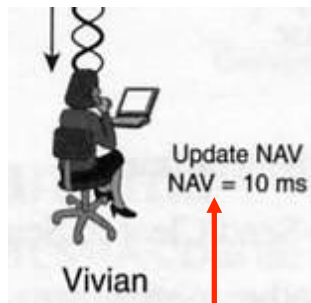


Operación de DCF

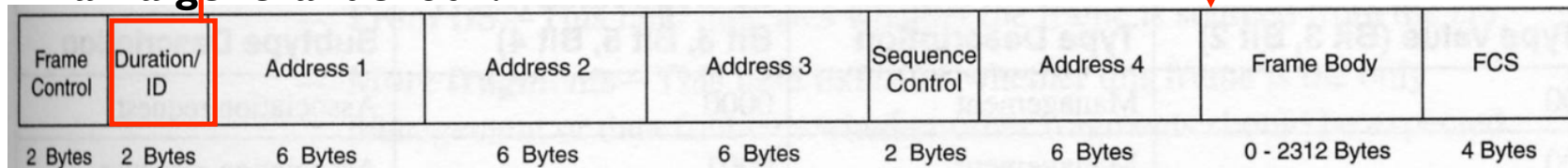
- ▶ Una estación que quiere transmitir:
 - ▶ Verifica si el enlace del radio está libre, **CS/CCA** – Carrier Sense, Clear Channel Assessment
 - ▶ Verifica su temporizador **NAV** para saber si alguien más está utilizando el medio.
 - ▶ Si el medio está disponible DCF utiliza un temporizador de espera aleatorio para evitar colisiones y envía la trama.
- ▶ La estación transmisora sabe que la trama 802.11 fue recibida al recibir un ACK
- ▶ Puede también utilizar RTS/CTS para reducir colisiones.

The DCF Medium Access Process



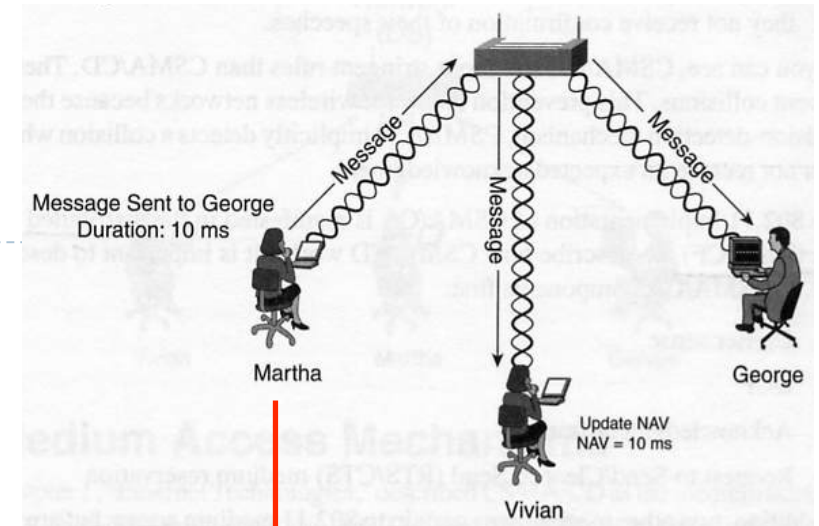
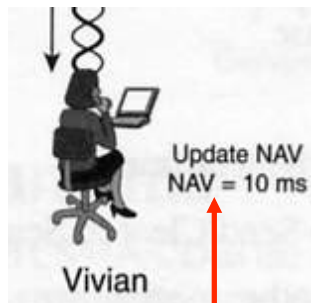


Trama general del 802.11



- ▶ Campo Duration/ID – El número de microsegundos (millonésima de un segundo) que se espera el medio estará ocupado debido a una transmisión en progreso.
 - ▶ El transmisor es el que coloca el tiempo de duración en microsegundos.
 - ▶ Incluye tiempo para:
 - ▶ Transmitir la trama al AP (o al cliente si es que viene del AP)
 - ▶ Transmisión del ACK
 - ▶ El tiempo entre tramas, IFS (Interframe Spacing)
- ▶ Todas las estaciones monitorean este campo.
- ▶ Todas las estaciones actualizan su temporizador NAV (Network Allocation Vector).





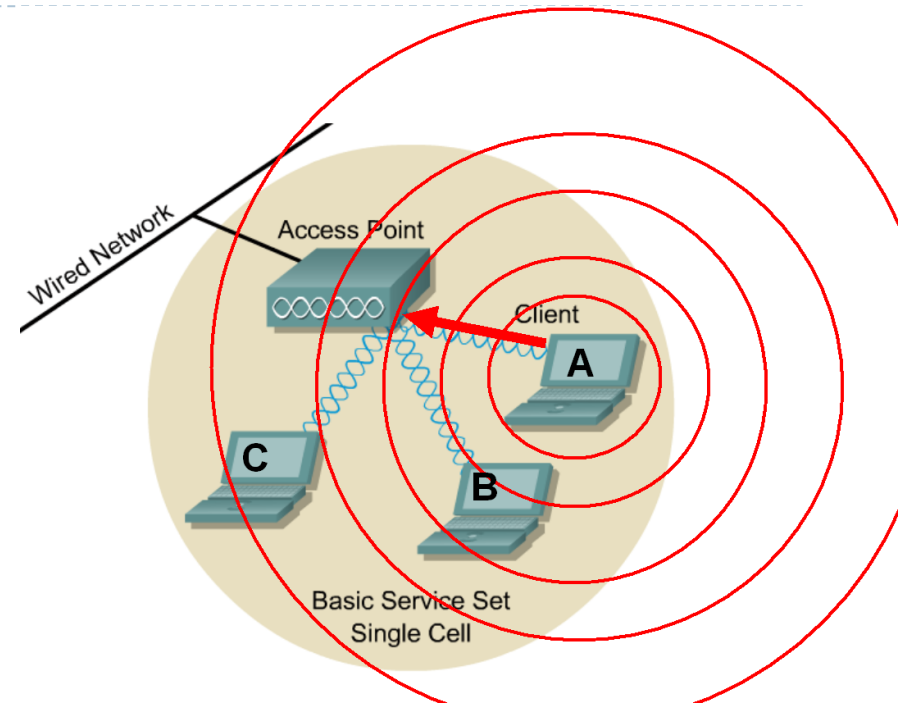
Trama general del 802.11

Frame Control	Duration/ID	Address 1	Address 2	Address 3	Sequence Control	Address 4	Frame Body	FCS
2 Bytes	2 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	2 Bytes	6 Bytes	0 - 2312 Bytes	4 Bytes

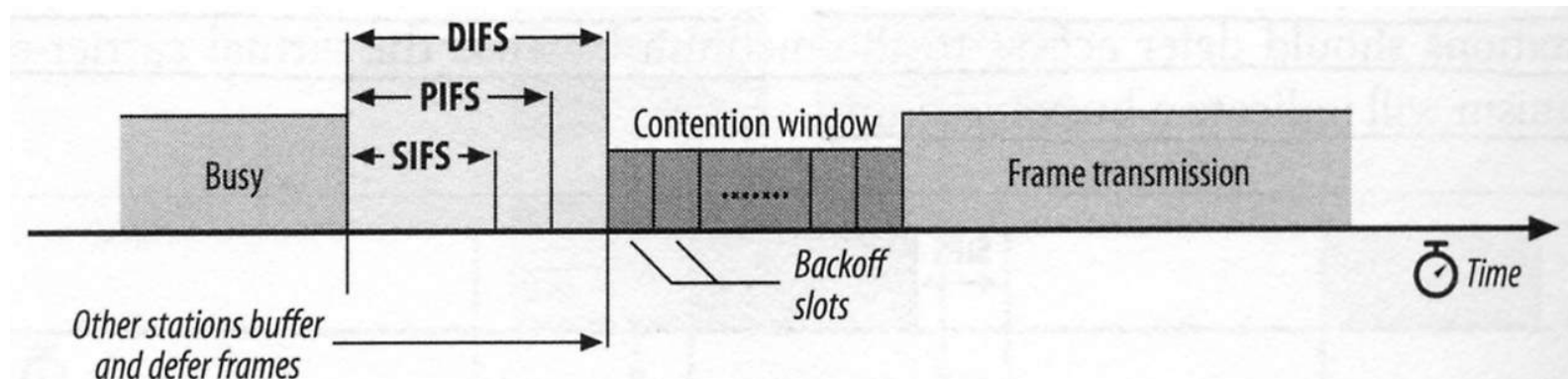
- ▶ Todas las estaciones tienen un temporizador **NAV** (Network Allocation Vector).
 - ▶ Función del sensado virtual
 - ▶ Protege la secuencia de tramas para evitar interrupción.
- ▶ Ejemplo:
 - ▶ Martha envía trama a George.
 - ▶ Todas las estaciones, incluyendo a Vivian reciben la trama.
 - ▶ Vivian actualiza su temporizador NAV con el valor del campo Duration/ID.
 - ▶ Vivian no intentará transmitir hasta que su NAV sea 0.
- ▶ Las estaciones sólo actualizarán su NAV si el valor de Duration/ID es mayor.

Medio compartido basado en difusión

- ▶ Nodo A envía tramas 802.11 hacia otro nodo vía AP.
- ▶ Todos los dispositivos 802.11 en el BSS (en ese canal) y dentro del rango de la señal verán la trama.
- ▶ El AP sabe que va dirigido a él debido a los campos de direccionamiento.
- ▶ Los demás dispositivos actualizan su NAV



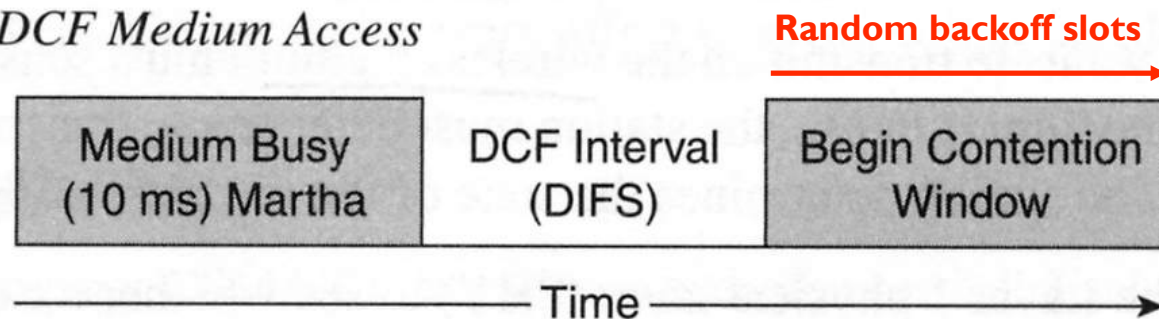
Espacio entre tramas (IFS)



- ▶ 802.11 utiliza cuatro espacios entre tramas usados para determinar el acceso al medio:
 - ▶ DIFS – DCF Interface Space
 - ▶ Mínima cantidad de tiempo en el que el medio debe permanecer ocioso para iniciar los servicios de acceso al medio.
 - ▶ PIFS – PCF Interframe Space
 - ▶ Usado por PCF
 - ▶ SIFS – Short Interframe Space
 - ▶ Usado para transmisión de tramas urgentes, ACKs, RTS, CTS
 - ▶ EIFS – Extended Interframe Space
 - ▶ Usado cuando hay errores en la transmisión (no tiene un valor fijo)

Esperando para transmitir (1 / 3)

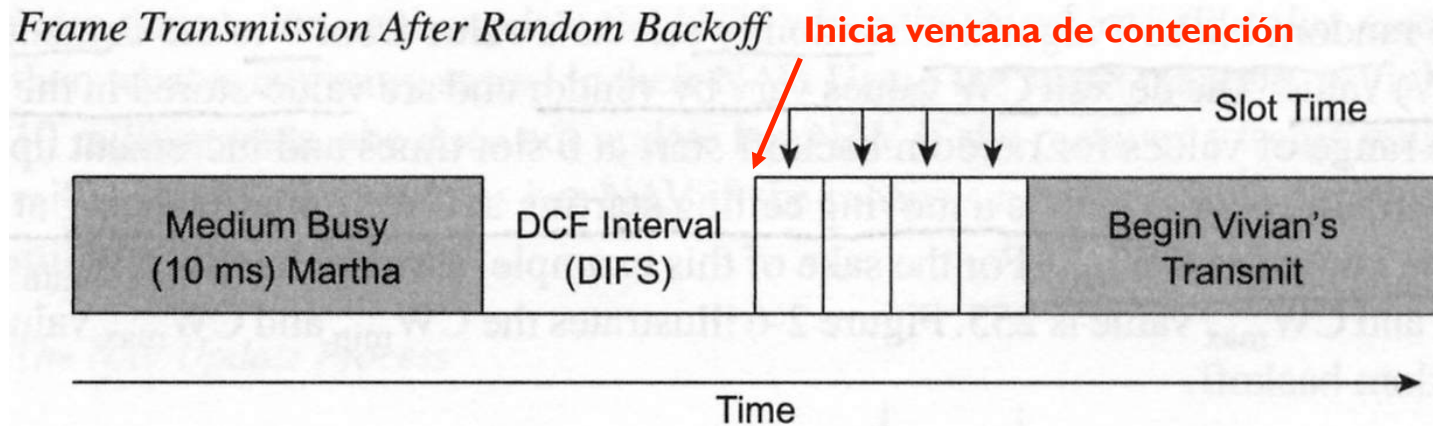
Timeline for DCF Medium Access



- ▶ Una estación quiere transmitir.
- ▶ Sensado de la portadora:
 - ▶ Físico: Se sensa físicamente si el medio está ocioso (CS/CCA).
 - ▶ Virtual: temporizador NAV es 0
- ▶ Espera periodo DIFS (DCF Interface Space) de 10 microsegundos
 - ▶ Tiempo mínimo en que el medio debe permanecer ocioso.
 - ▶ Una vez terminada la espera los nodos contienden por el medio.
- ▶ Inicia la ventana de contención.
 - ▶ Utiliza un algoritmo de espera aleatorio para determinar cuando puede intentar acceder el medio.



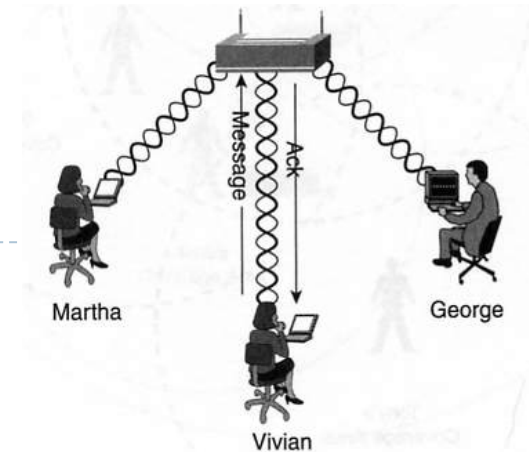
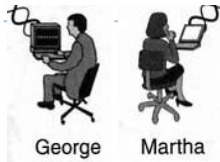
Esperando para transmitir (2/3)



- ▶ El algoritmo de espera aleatoria selecciona un valor entre 0 y 255 (depende de la NIC).
- ▶ El valor aleatorio es el número de ranuras de tiempo 802.11 que la estación deberá esperar después del DIFS y antes de poder transmitir.

Esperando transmitir (3/3)

Otros
actualizan
NAV



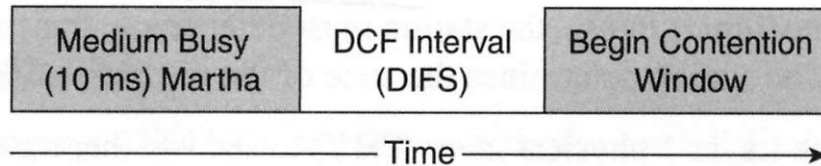
Trama general del 802.11

Frame Control	Duration/ ID	Address 1	Address 2	Address 3	Sequence Control	Address 4	Frame Body	FCS
2 Bytes	2 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	2 Bytes	6 Bytes	0 - 2312 Bytes	4 Bytes

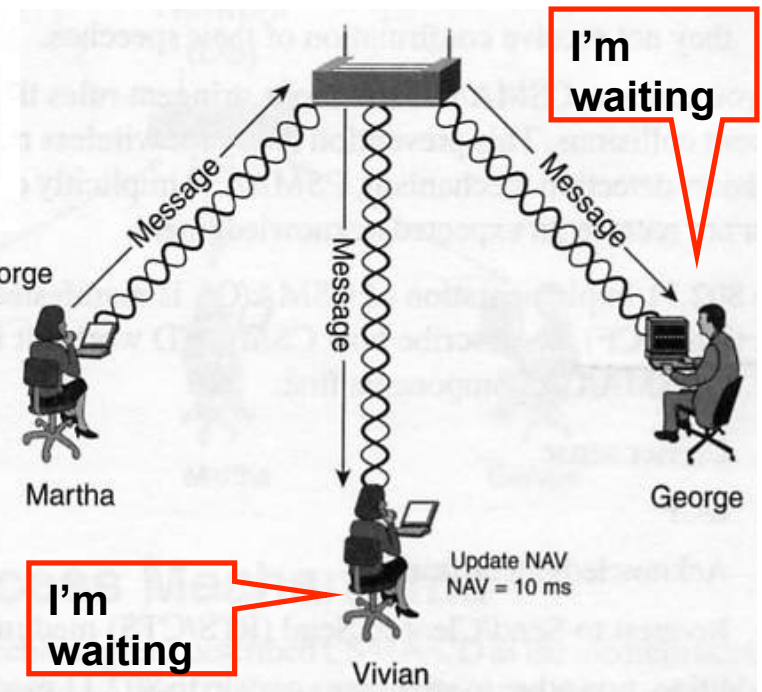
- ▶ La estación que transmite, coloca el valor de Duration ID con el tiempo para realizar la transmisión completa de la trama (ACK, IFS).
- ▶ Las otras estaciones que querían transmitir ven la nueva transmisión y esperan su turno.
- ▶ Si la trama llega al AP (asumiendo que el transmisor es una estación), entonces se enviará un ACK (las estaciones ya tienen su NAV actualizado).
- ▶ Si el reconocimiento no es recibido, la estación emisora asumirá que existió una colisión (las estaciones no han actualizado su NAV debido a la colisión).
 - ▶ Si dos estaciones tienen la misma ratura de tiempo y ambos transmiten, entonces habrá colisión.
- ▶ Las estaciones actualizarán su temporizador de reintento (al doble) para determinar una nueva ranura de tiempo y el proceso reiniciará.

Ejemplo

Timeline for DCF Medium Access



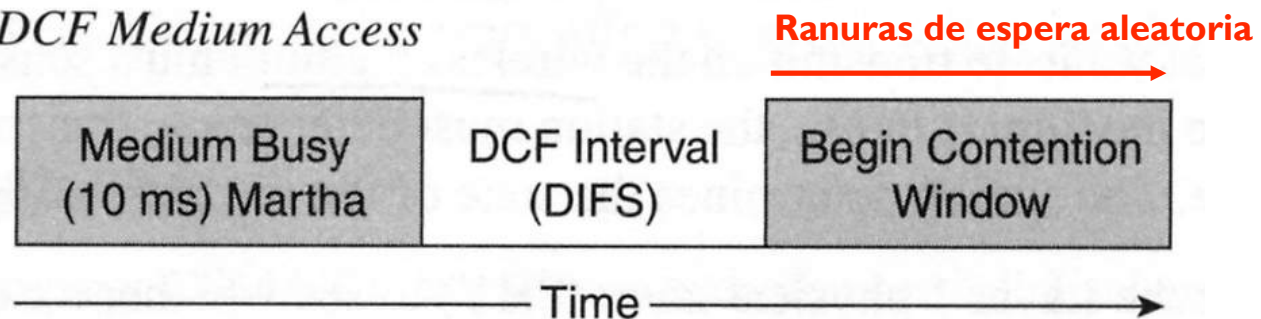
Message Sent to George
Duration: 10 ms



- ▶ **Escenario:**
 - ▶ Vivian y George quieren transmitir una trama.
 - ▶ Ambas estaciones tienen el mismo NAV y físicamente sensan que el medio está ocioso.
 - ▶ Ambas espera a que la transmisión de Martha termine y que el medio esté disponible.
 - ▶ El medio está ahora disponible.

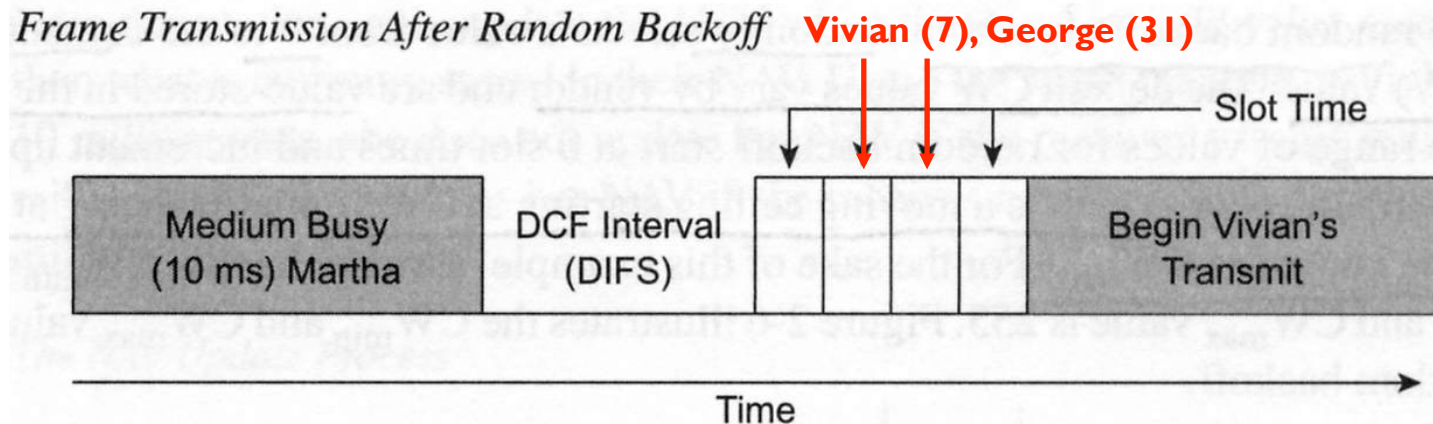
Ejemplo

Timeline for DCF Medium Access



- ▶ George y Vivian están esperando para transmitir.
- ▶ Ambos realizan lo siguiente:
 - ▶ Ambos sensan que el medio está disponible utilizando el sensado físico y el sensado virtual de la portadora:
 - ▶ Físico: físicamente, el medio está ocioso (CS/CCA).
 - ▶ Virtual: temporizador NAV es 0
 - ▶ Esperan un periodo DIFS (DCF Interface Space) de 10 microsegundos
 - ▶ Inician la ventana de contención.
 - ▶ Utilizan el algoritmo de espera aleatoria para determinar cuándo pueden intentar acceder el medio.

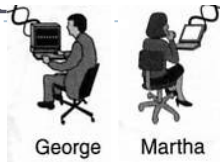
Ejemplo



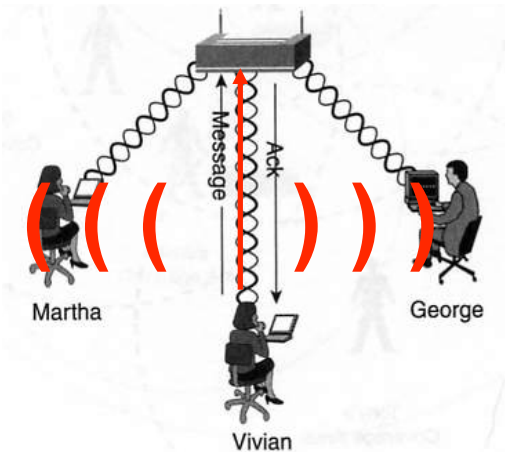
- ▶ Vivian y George calculan su tiempo aleatorio de espera seleccionando un valor entre 0 y 255.
- ▶ Vivian tiene un tiempo de espera de 7, George tiene un tiempo de espera de 31.
- ▶ Vivian gana.
- ▶ La trama destino de Vivian es George (pudo haber sido cualquier otra).

Ejemplo

Otros
actualizan
NAV



Martha y George
reciben trama 802.11
“basada en difusión”.

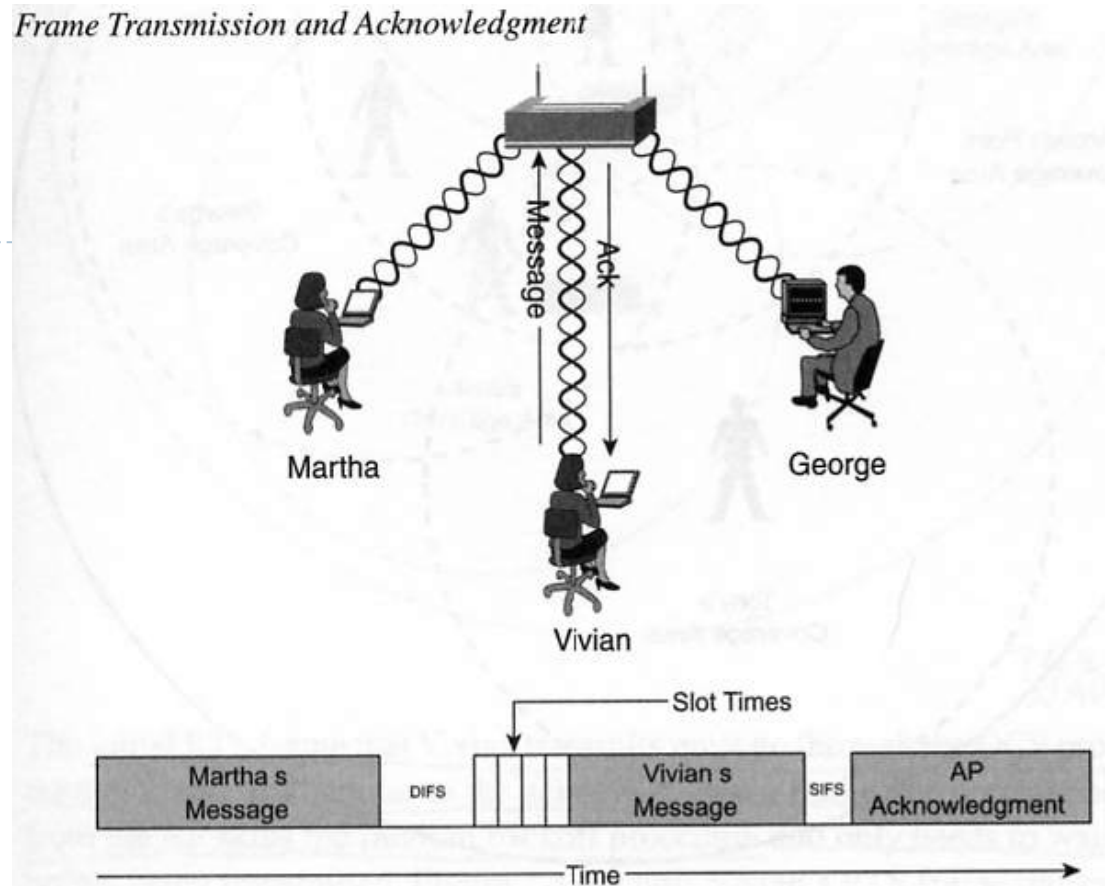


General 802.11 Frame (more on this later)

Frame Control	Duration/ID	Address 1	Address 2	Address 3	Sequence Control	Address 4	Frame Body	FCS
2 Bytes	2 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	2 Bytes	6 Bytes	0 - 2312 Bytes	4 Bytes

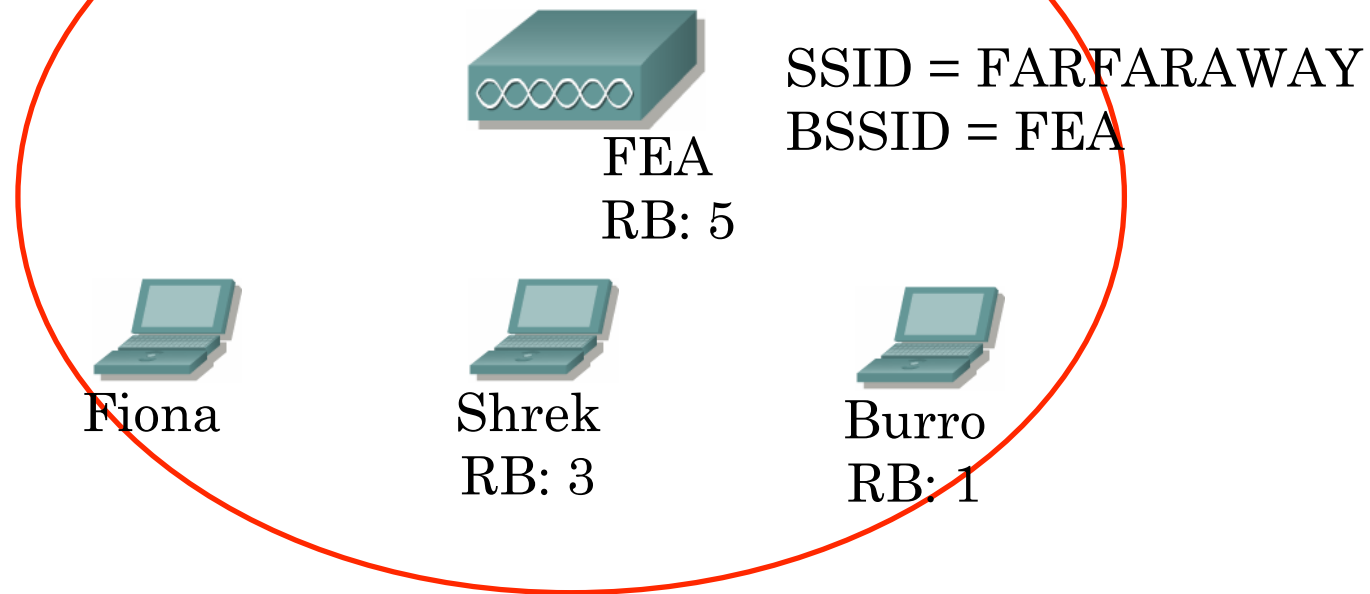
- ▶ Vivian transmite, colocando en Duration/ID el tiempo necesario para transmitir datos, ACK e IFSs.
- ▶ George sigue esperando su turno para enviar su trama de datos.
- ▶ Asumiendo que no hubo colisión de otra estación, Martha y George actualizan sus NAVs.

Ejemplo



- ▶ La trama llega al AP.
- ▶ Después del periodo SIFS, el AP envía un ACK a Vivian, de esa forma Vivian sabe que el AP recibió la trama.
- ▶ El AP tiene la trama y debe pelear por el acceso al medio como cualquier otra estación.
- ▶ Una vez que envía la trama a George, éste enviará un ACK de regreso al AP.

Operación de DCF (Ejemplo)



- ▶ Tiempos en 802.11b:
 - ▶ SIFS = 10 μ s
 - ▶ Slot time = 20 μ s
 - ▶ DIFS = 2 x Slot time + SIFS = 50 μ s
 - ▶ Transmisión de trama = 192 μ s (96 μ s) + #bytes/1.375 Msps
 - ▶ ACK = 14 bytes
 - ▶ TCP = 1536 bytes
 - ▶ TCP ACK = 76 bytes

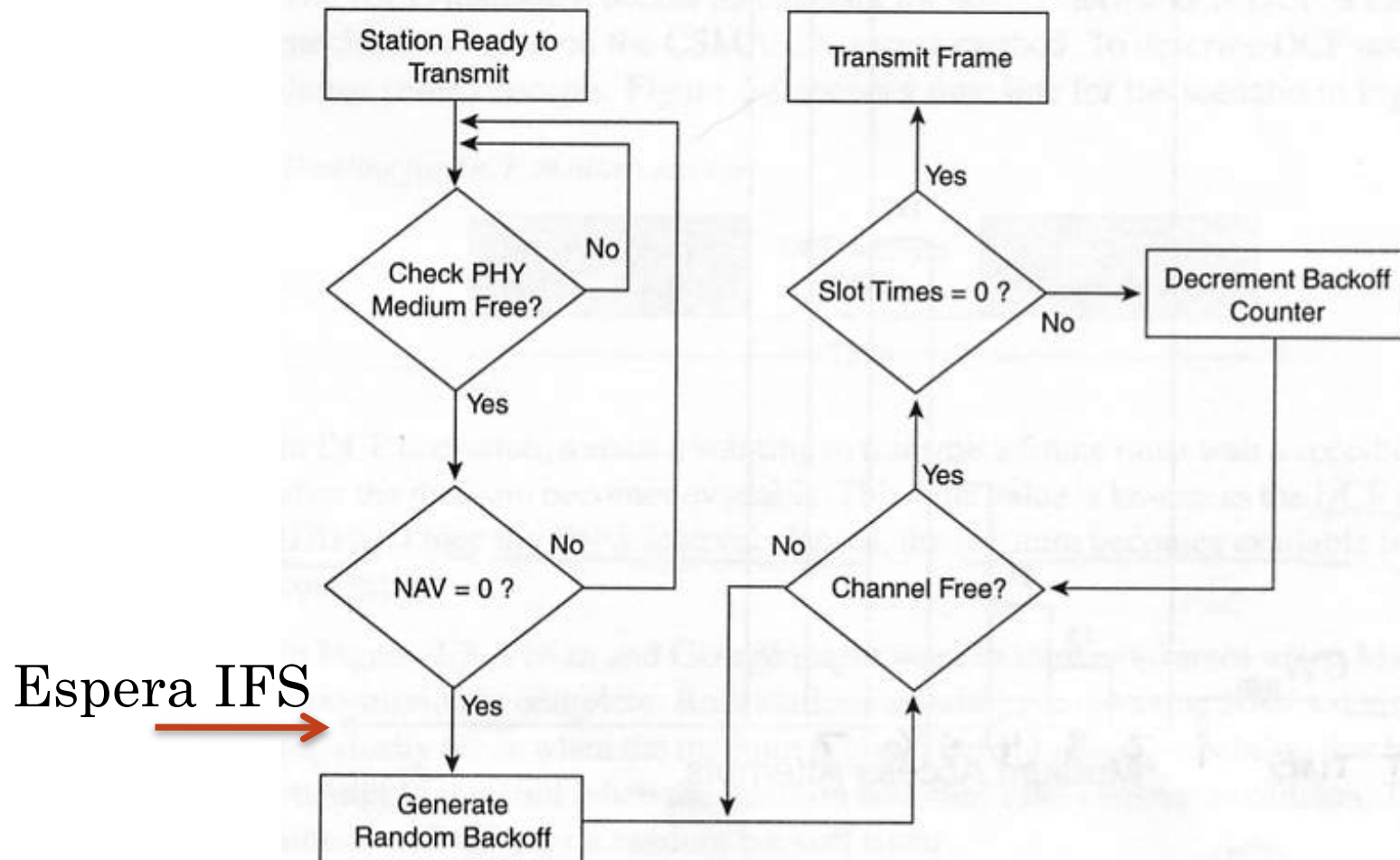
Operación de DCF (Ejemplo)

Datos TCP	
DIFS	50 μ s
Datos 802.11	$192 \mu\text{s} + 1536/1.375$ $= 1310 \mu\text{s}$
SIFS	10 μ s
ACK 802.11	$192 \mu\text{s} + 14/1.375$ $= 203 \mu\text{s}$
Total	1573 μ s



Operación de DCF

The DCF Medium Access Process



802.11 Mecanismos de Acceso al Medio

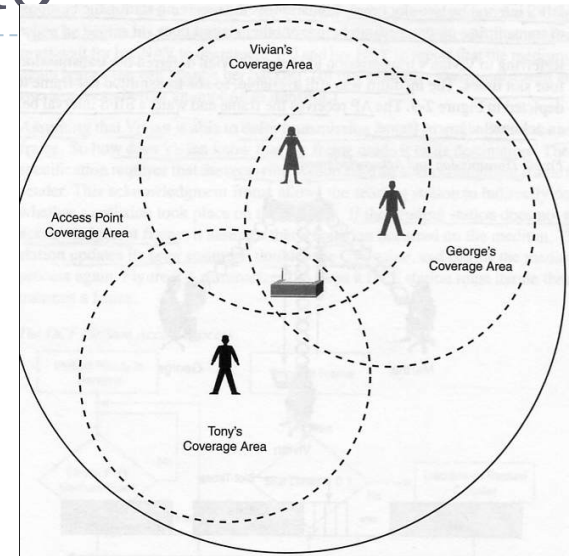
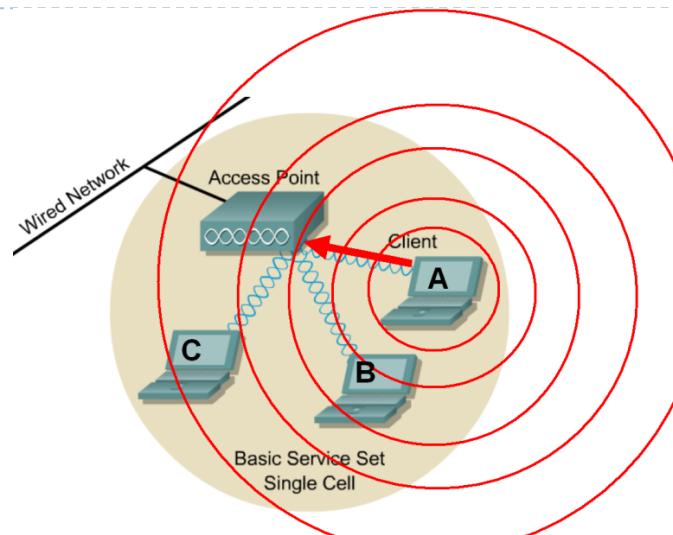
Operaciones del DCF

Problema del nodo escondido

RTS/CTS

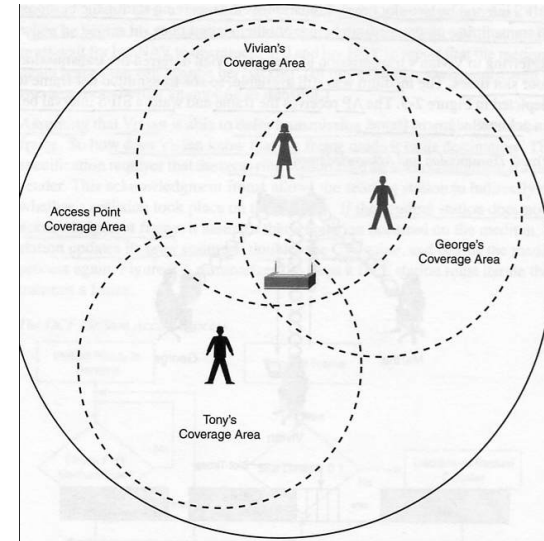
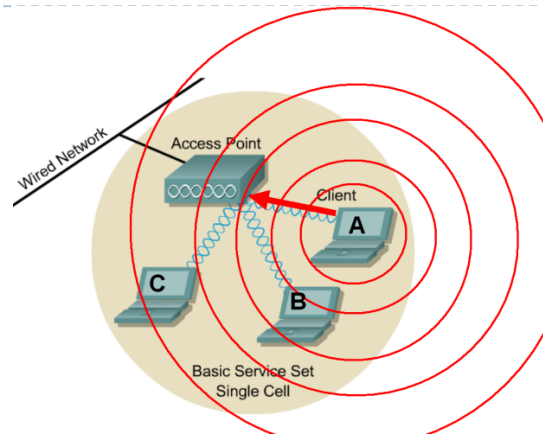
Fragmentación de Tramas

Problema del nodo escondido



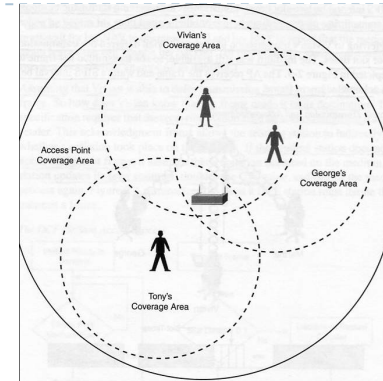
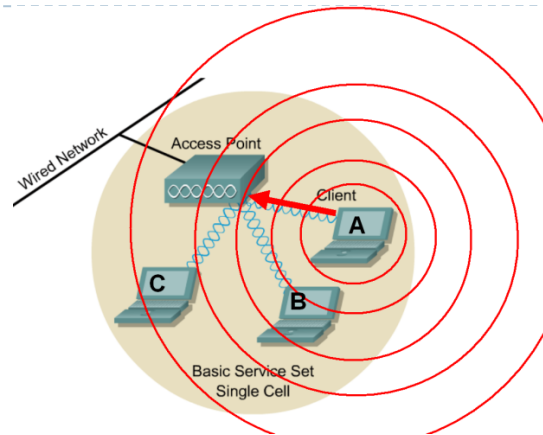
- ▶ *¿Qué pasa si una estación se encuentra en el rango de cobertura del AP pero no en el rango de cobertura de los otros nodos?*
- ▶ Las redes inalámbricas tienen fronteras difusas
- ▶ Nodos escondidos pueden ser causados por:
 - ▶ Los nodos se encuentran dentro del rango del AP pero no dentro de su mismo rango.
 - ▶ Un obstáculo está bloqueando la señal entre los nodos.

Problema del nodo escondido



- ▶ El problema son las colisiones.
 - ▶ Ocurren en el AP (u otra estación en una IBSS).
 - ▶ Ambas estaciones asumen que el medio está libre y transmiten casi al mismo tiempo, resultando en una colisión.
 - ▶ El AP no puede recibir la señal de manera apropiada y no reconocerá ninguna trama.
 - ▶ Ambas estaciones retransmitirán y resultará en más colisiones.
- ▶ El desempeño se reduce en un 40%.

Problema del nodo escondido



- ▶ **Soluciones:**
 - ▶ Mover el nodo
 - ▶ Remover el obstáculo
 - ▶ Usar RTS/CTS (Request to Send / Clear to Send)

802.11 Mecanismos de Acceso al Medio

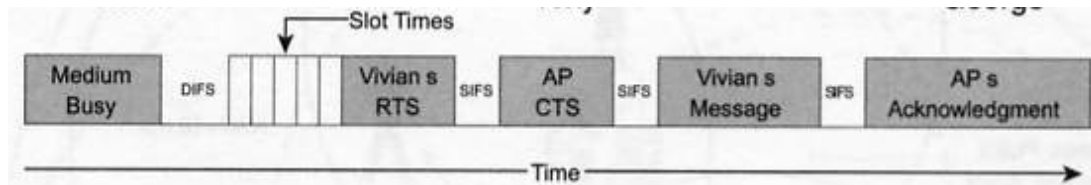
Operaciones DCF

Problema del nodo escondido

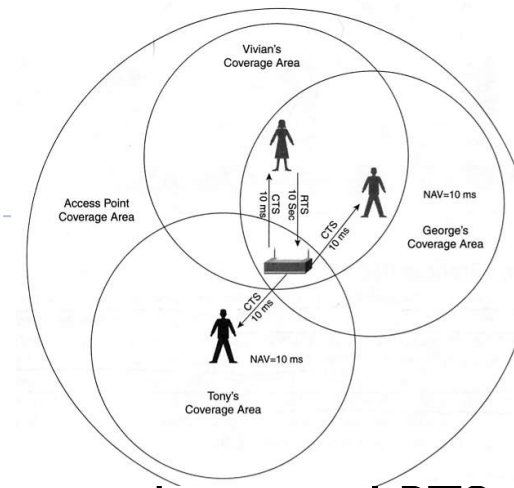
RTS/CTS

Fragmentación de tramas

RTS/CTS

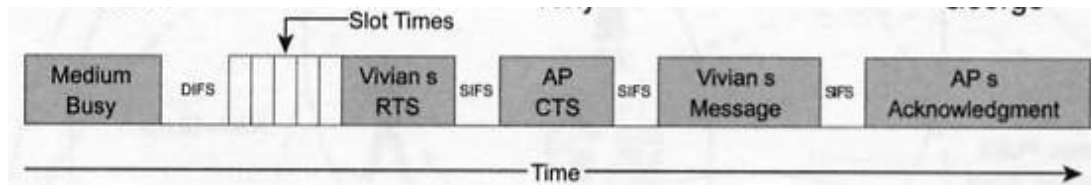


Medium Reservation with RTS/CTS Frames

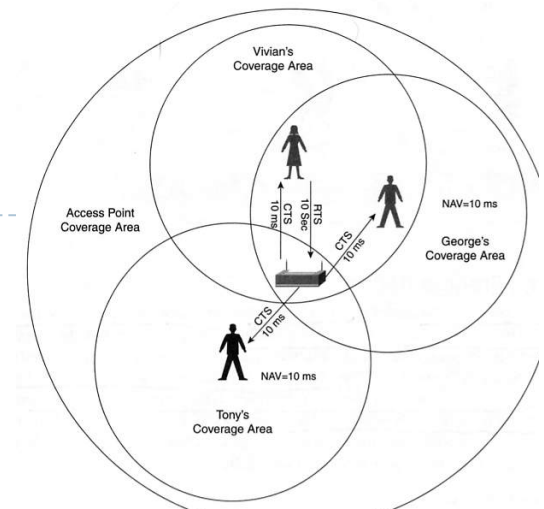


- ▶ Vivian intenta reservar el medio utilizando una trama de control RTS que envía al AP
- ▶ La trama RTS indica al AP y a todas las estaciones dentro del rango, que Vivian quiere reservar el medio por un cierto periodo de tiempo: mensaje + ACK + SIFS
- ▶ Las estaciones escondidas no puede ver el RTS.
- ▶ El AP contesta a Vivian con un CTS, que incluye a todos los nodos, incluyendo al nodo escondido.
- ▶ Vivian transmite la trama.
- ▶ El AP regresa un ACK a Vivian
- ▶ El AP envía el mensaje a George quien regresa un ACK al AP.

RTS/CTS



Medium Reservation with RTS/CTS Frames



- ▶ RTS/CTS consume recursos de manera considerable, resultando en latencia adicional
- ▶ Normalmente se usa en ambientes de alta capacidad.
- ▶ El procedimiento RTS/CTS puede ser habilitado/ controlado a través de un umbral que se configura en la NIC del cliente.
- ▶ RTS/CTS también es usado durante la fragmentación.

La trama RTS

Frame Format for the RTS Frame

Frame Control	Duration	RA	TA	FCS
2 Bytes	2 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	4 Bytes

A Protocol Decode of the RTS Frame

```
DLC: Frame Control Field #1 = B4
DLC:      .... 00 = 0x0 Protocol Version
DLC:      .... 01.. = 0x1 Control Frame
DLC:      1011 .... = 0xB Request To Send (RTS) (Subtype)
DLC: Frame Control Field #2 = 00
DLC:      .... 0 = Not to Distribution System
DLC:      .... 0. = Not from Distribution System
DLC:      .... 0.. = Last fragment
DLC:      .... 0... = Not retry
DLC:      ...0 .... = Active Mode
DLC:      ..0. .... = No more data
DLC:      .0.. .... = Wired Equivalent Privacy is off
DLC:      0... .... = Not ordered
DLC: Duration = 1054 (in microseconds)
DLC: Receiver Address = Station 00097CAC4391
DLC: Transmitter Address = Station Airon502F3F
```


La trama CTS

Frame Format for the CTS Frame

Frame Control	Duration	RA	FCS
2 Bytes	2 Bytes	6 Bytes	4 Bytes

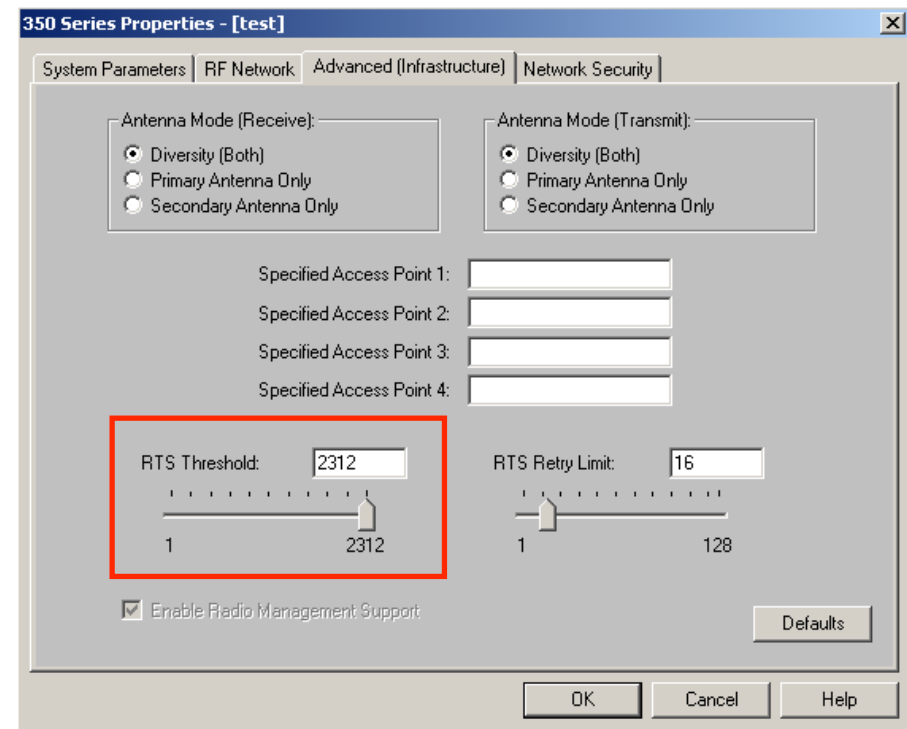
A Protocol Decode of the CTS Frame

```
DLC: Frame Control Field #1 = C4
DLC:      .... 00 = 0x0 Protocol Version
DLC:      .... 01.. = 0x1 Control Frame
DLC:      1100 .... = 0xC Clear To Send (CTS) (Subtype)
DLC: Frame Control Field #2 = 00
DLC:      .... 0 = Not to Distribution System
DLC:      .... 0. = Not from Distribution System
DLC:      .... 0.. = Last fragment
DLC:      .... 0... = Not retry
DLC:      ...0 .... = Active Mode
DLC:      ..0. .... = No more data
DLC:      .0.. .... = Wired Equivalent Privacy is off
DLC:      0... .... = Not ordered
DLC: Duration = 836 (in microseconds)
DLC: Receiver Address = Station Aironet502F3F
DLC: Implied Transmitter Address = Station 00097CAC4391
```

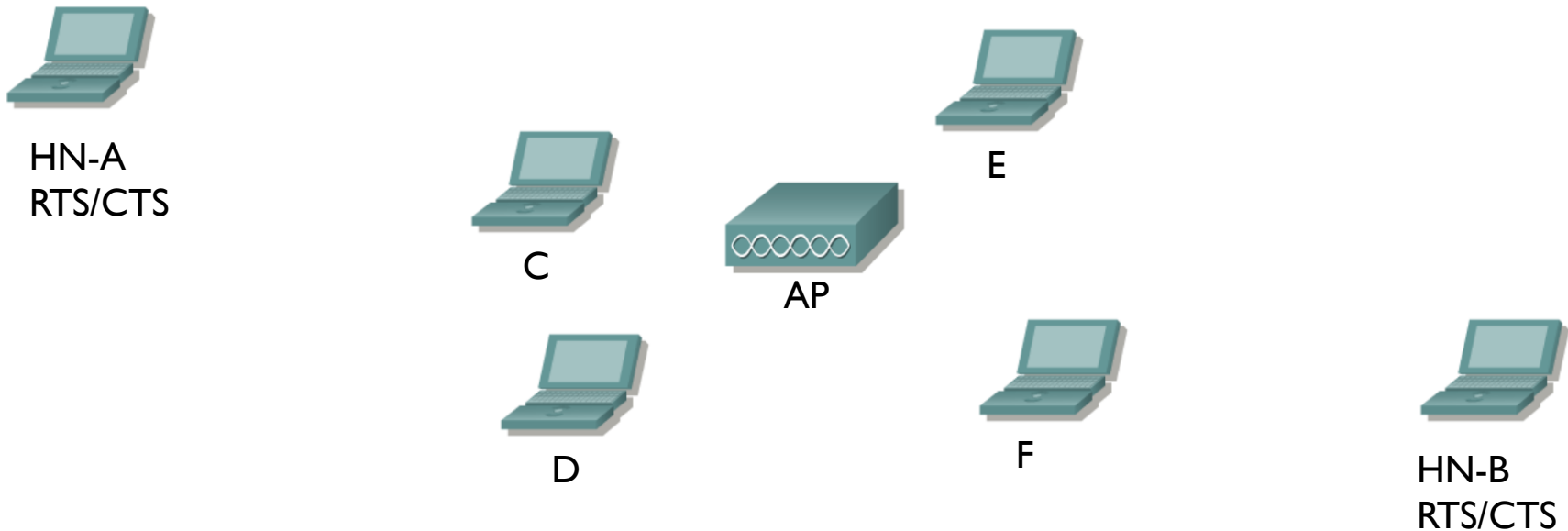
Configuración del *RTS THRESHOLD* en un cliente de Cisco

► *RTS Threshold*

- Especifica el tamaño de paquete después del cual el protocolo de RF invoca al control de flujo de RTS/CTS.
- Un valor pequeño provocaría el envío más frecuente de paquetes RTS lo cual consumiría más ancho de banda y reduciría el desempeño.
- Un valor pequeño ayudaría a la recuperación del sistema de interferencia y colisiones, las cuales ocurren en ambientes con obstrucciones o superficies metálicas que crean señales complejas.



Ejemplo de RTS/CTS



- ▶ Estaciones C, D, E, y F pueden ver el tráfico (señales) de todas las estaciones incluyendo HN-A y HN-B (y viceversa).
- ▶ HN-A y HN-B no se ven entre sí pero se pueden comunicar con el AP.
- ▶ RTS/CTS es habilitado en HN-A y HN-B, para que el AP responda con un CTS que las demás estaciones verán.
- ▶ Si no fuera por la otra estación HN, ninguna HN requeriría RTS/CTS



802.11 Mecanismos de Acceso al Medio

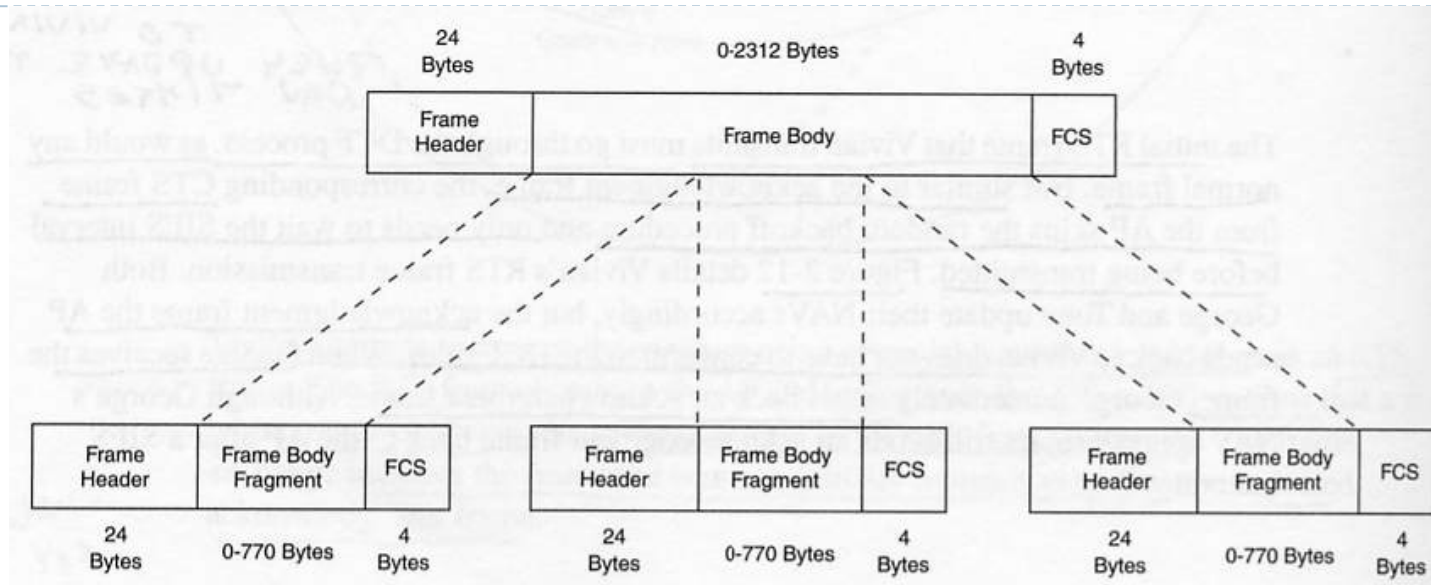
Operaciones DCF

Problema del nodo escondido

RTS/CTS

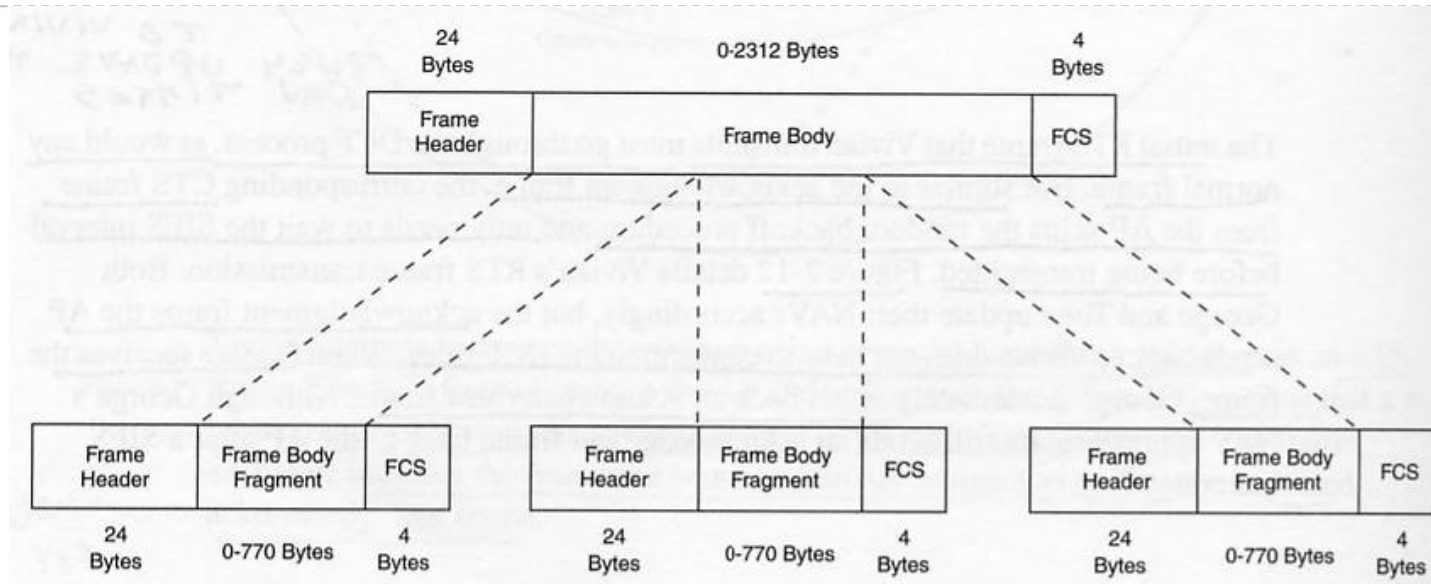
Fragmentación de tramas

Fragmentación de tramas



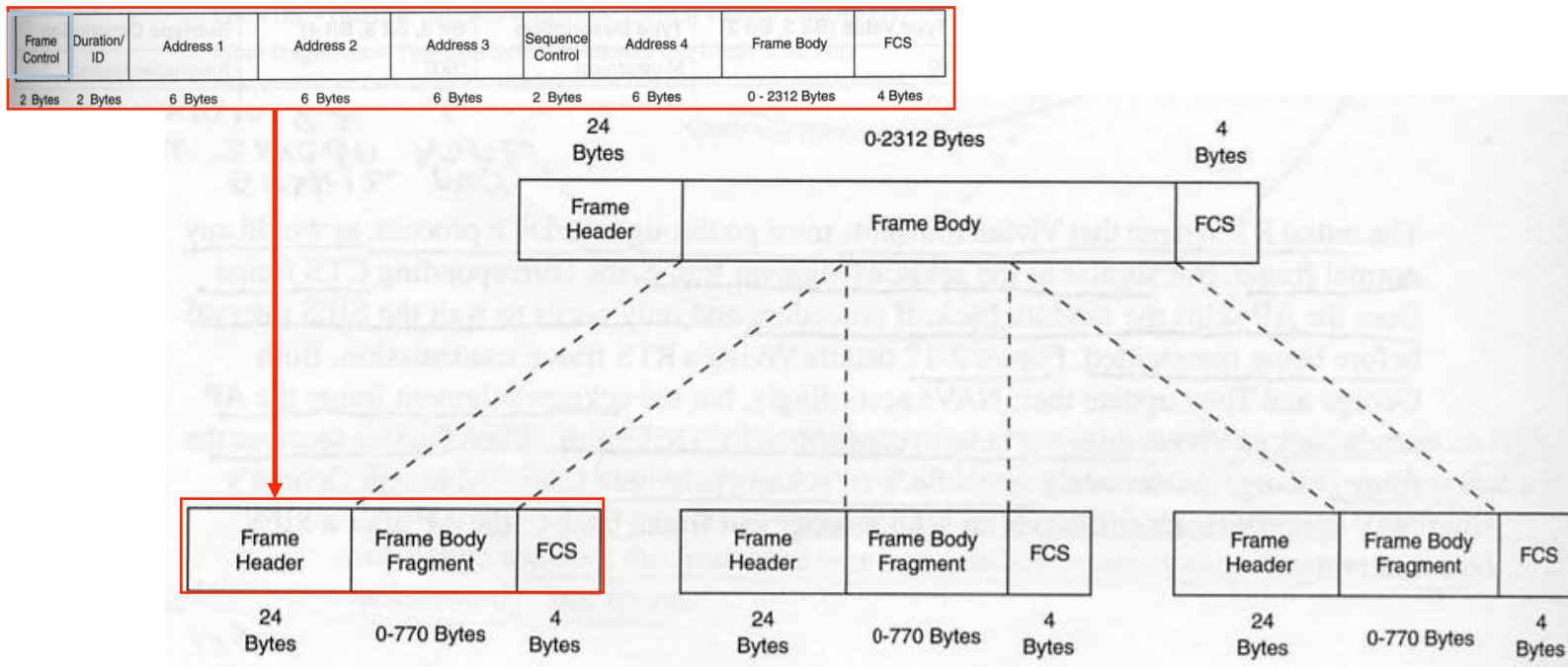
- Fragmentación de tramas es una función de la capa MAC diseñada para incrementar la confiabilidad de las tramas transmitidas por el medio inalámbrico.

Fragmentación de tramas



- ▶ En un “ambiente inalámbrico hostil” (interferencia, ruido) tramas grandes pueden tener más problemas para llegar al receptor sin errores.
- ▶ Al decrementar el tamaño de la trama, la probabilidad de interferencia durante la transmisión puede ser reducida.
- ▶ El romper una trama grande en tramas más pequeñas permite que un gran porcentaje de tramas arribe sin errores.

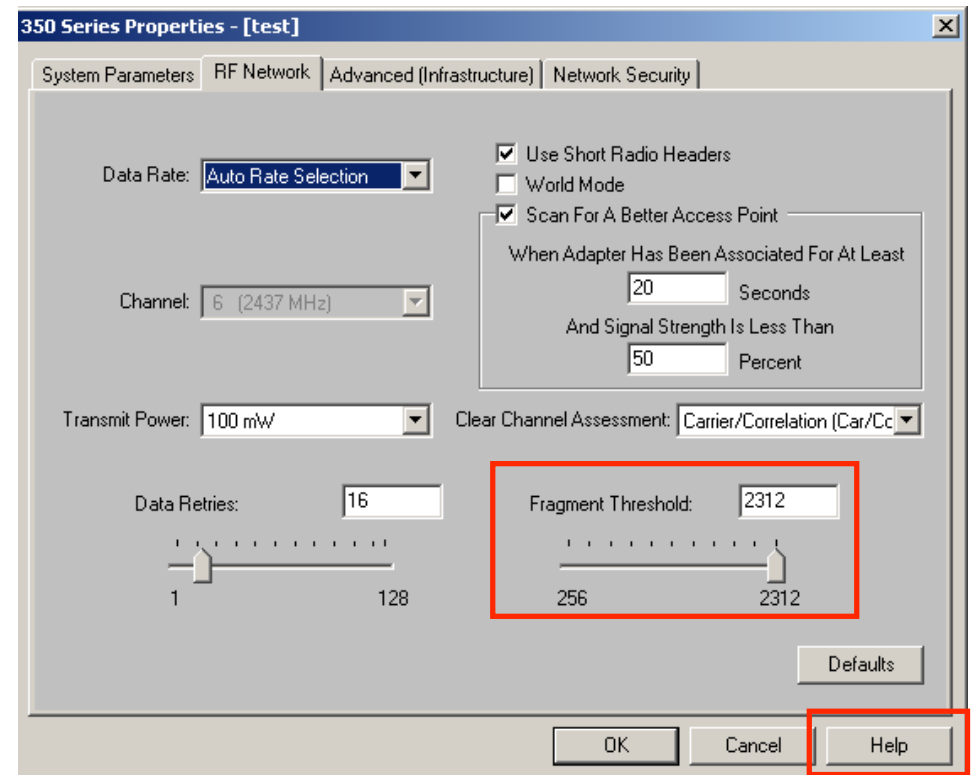
Fragmentación de tramas



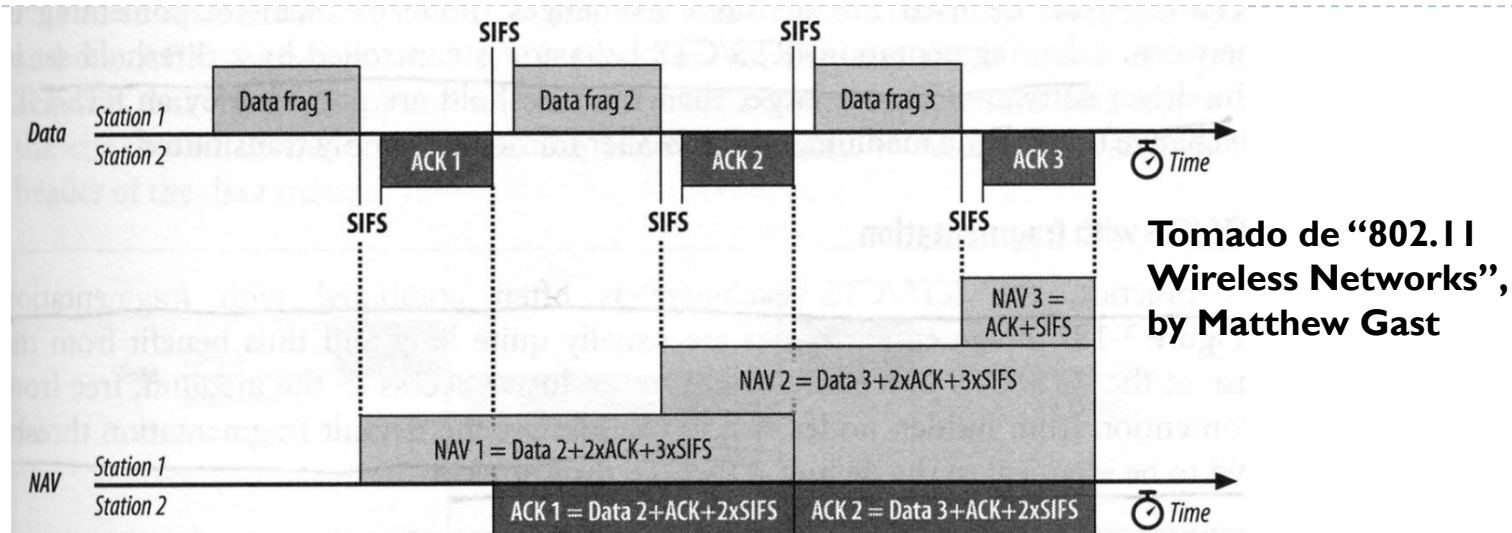
- ▶ La fragmentación de tramas pueden incrementar la confiabilidad de la transmisión pero provoca mayor trabajo (**overhead**):
 - ▶ Cada fragmento incluye un encabezado del protocolo MAC del 802.11.
 - ▶ Cada fragmento requiere un ACK.
- ▶ Si un fragmento encuentra un error o una colusión, sólo dicho fragmento necesita ser retransmitido, no la trama entera.
- ▶ El campo de control incluye información indicando que se trata de una trama fragmentada.

Fragmentación de tramas

- ▶ **Fragment Threshold:**
 - ▶ Define el paquete de RF más grande que el cliente puede enviar sin ser dividido en uno o más fragmentos más pequeños.
 - ▶ La fragmentación generalmente reduce el desempeño ya que cada paquete consume ancho de banda.
 - ▶ El “administrador de la red” (usuario) lo puede definir.
- ▶ Sólo se pueden fragmentar los paquetes unicast.

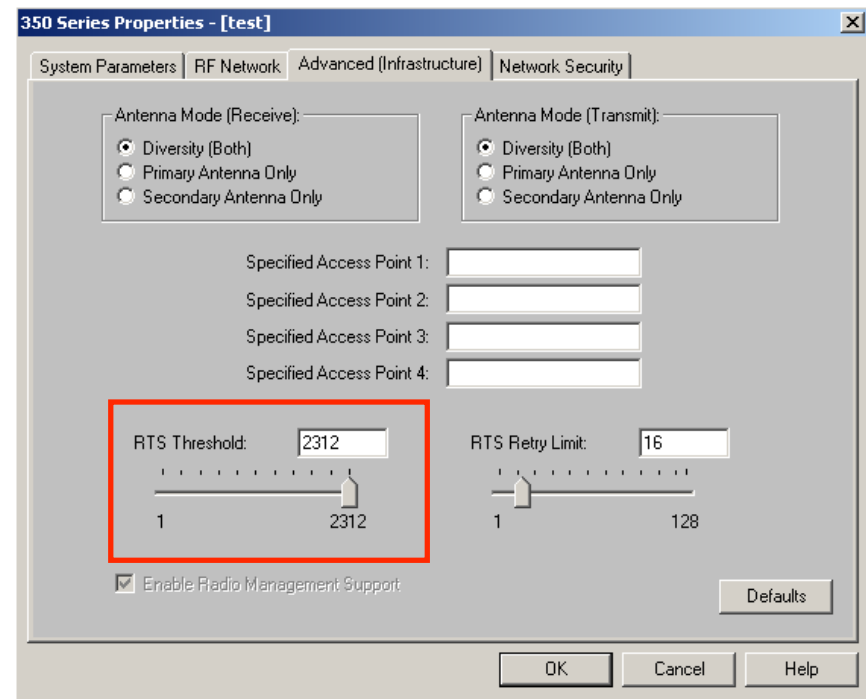
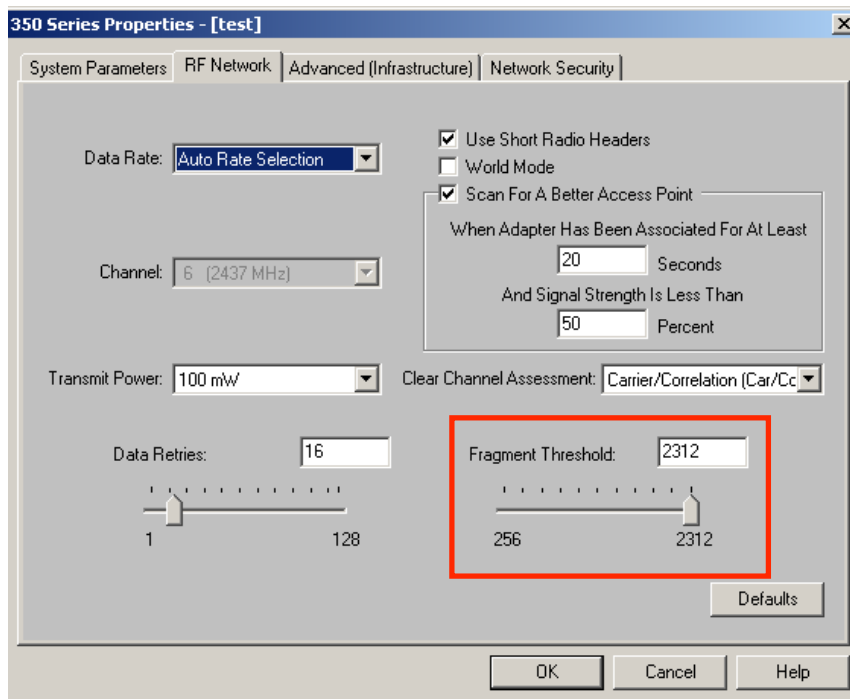


Fragmentación de tramas



- ▶ Los fragmentos se envían en una sola ráfaga, usando una sola iteración del DCF para acceder al medio.
- ▶ En otras palabras, el NAV es colocado en el primer fragmento y el resto de los fragmentos para reservar el medio durante como si se tratara de una sola trama.
- ▶ Por ejemplo:
 - ▶ La primera trama coloca en el NAV el tiempo que incluye al ACK, el siguiente fragmento, su ACK y 3 SIFS.
 - ▶ Las siguientes tramas colocan en el NAV el tiempo que incluye al siguiente ACK y los necesarios SIFS.

Fragmentación de tramas y RTS/CTS



- ▶ En la práctica se combina RTS/CTS con fragmentación de tramas.
- ▶ Las tramas fragmentadas son normalmente de tamaño grande y por lo tanto se benefician del proceso de RTS/CTS.
- ▶ Esto garantizará acceso exclusivo al medio, libre de colisiones con nodos escondidos.
- ▶ Algunos proveedores usan el mismo valor de *Fragment Threshold* y *RTS Threshold* y así garantizar que cuando ocurra la fragmentación también ocurra RTS/CTS.