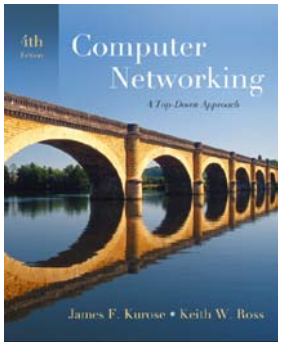
Introducción a las Redes de Computadores

Capítulo 3
Capa de Transporte



Computer Networking: A Top Down Approach 4th edition.
Jim Kurose, Keith Ross
Addison-Wesley, July 2007.

Nota acerca de las transparencias del curso:

Estas transparencias están basadas en el sitio web que acompaña el libro y han sido modificadas por los docentes del curso.

Capítulo 3: Capa de Transporte

Objetivos:

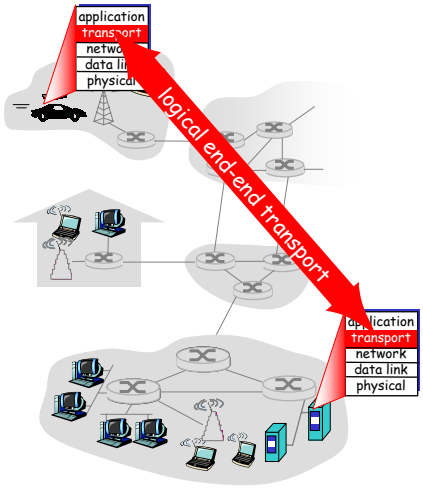
- Entender los principios detrás de los servicios de la capa de transporte:
  - multiplexación/demulti-plexación
  - transferencia de datos confiable
  - control de flujo
  - control de congestión
- Aprender acerca de los protocolos de la capa de transporte en Internet:
  - UDP: transporte no orientado a conexión
  - TCP: transporte orientado a conexión
  - control de congestión de TCP

Capítulo 3: agenda

- 3.1 Servicios de la capa de transporte
- 3.2 Multiplexación y demultiplexación
- 3.3 Transporte no orientado a conexión: UDP
- 3.4 Principios de la transferencia de datos confiable
- 3.5 Transporte orientado a conexión: TCP
  - estructura del segmento
  - transferencia de datos confiable
  - control de flujo
  - gestión de la conexión
- 3.6 Principios del control de congestión
- 3.7 Control de congestión de TCP

Protocolos y servicios de transporte

- brinda *comunicación lógica* entre procesos de Aplicación corriendo en *hosts* diferentes
- los protocolos de transporte corren en los *end systems*
  - lado del transmisor: genera segmentos a partir de los mensajes de la Aplicación, y los pasa a la capa de red
  - lado del receptor: a partir de los segmentos, los mensajes son pasados a la capa de Aplicación
- más de un protocolo de transporte disponible para las aplicaciones
  - Internet: TCP y UDP



Capa de Transporte vs. Capa de Red

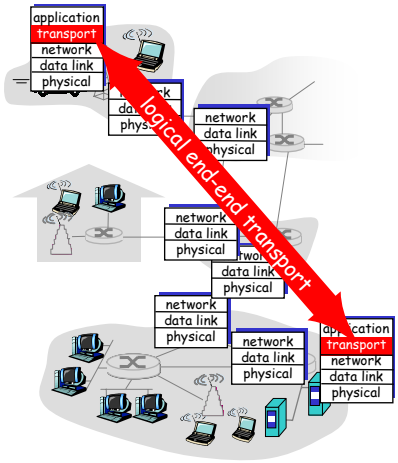
- *Capa de red:* comunicación lógica entre *hosts*
- *Capa de transporte:* comunicación lógica entre procesos ejecutándose en diferentes máquinas
- *Los dispositivos intermedios (routers por ejemplo), ¿implementan protocolos de capa de transporte y de capa de aplicación?*

Analogía familiar:

- *6 niños enviando cartas a 6 niños* (primos)
- procesos = niños
- Mensajes de aplicación = cartas (en sobres)
- *hosts* = casas
- protocolo de transporte = Ana y Guillermo
- Protocolo de capa de red = servicio de correo postal

Protocolos de la capa de Transporte de Internet

- confiable, entrega en orden: TCP
  - control de congestión
  - control de flujo
  - establecimiento de la conexión
- no confiable, entrega no ordenada: UDP
  - En relación al "mejor esfuerzo" de IP, poco aporta
- servicios no disponibles:
  - garantías de retardo
  - garantías de ancho de banda



Capítulo 3: agenda

- 3.1 Servicios de la capa de transporte
- 3.2 Multiplexación y demultiplexación
- 3.3 Transporte no orientado a conexión: UDP
- 3.4 Principios de la transferencia de datos confiable
- 3.5 Transporte orientado a conexión: TCP
  - estructura del segmento
  - Transferencia de datos confiable
  - control de flujo
  - Gestión de la conexión
- 3.6 Principios del control de congestión
- 3.7 Control de congestión de TCP

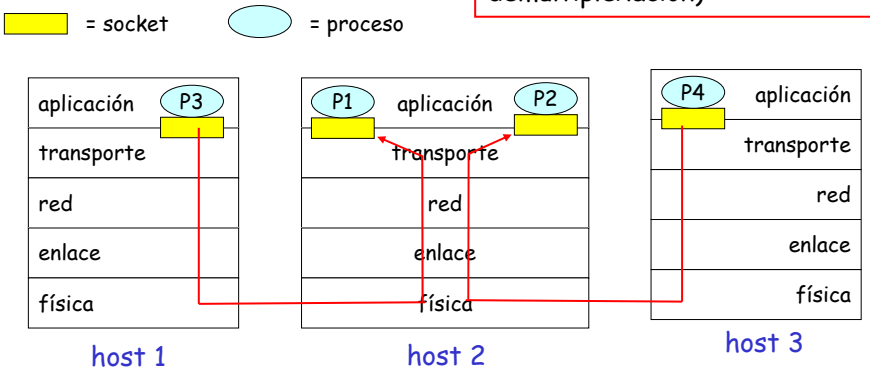
Multiplexación/Demultiplexación

Demultiplexación en el *host* receptor:

Entregando los segmentos recibidos al *socket* correcto

Multiplexación en el *host* transmisor

Recolectando datos de múltiples *sockets*, incorporando *headers* (después utilizados en la demultiplexación)



¿Cómo trabaja la demultiplexación?

- Un *host* recibe datagramas IP
  - cada datagrama tiene dirección IP de origen, dirección IP de destino
  - cada datagrama lleva 1 segmento de la capa de transporte
  - cada segmento tiene número de puertos de origen y destino
- los *host* utilizan las direcciones IP y los números de puertos para enviar el segmento al *socket* apropiado
- Nro. de puerto: **TSAP** *(Transport Service Access Point)*

Formato del segmento TCP/UDP

Un poco más sobre puertos

- IANA (Internet Assigned Numbers Authority)
  - Se agrupan en 3 rangos
  - *Well-known port numbers*: 0 – 1023
    - aplicaciones de servidor; en general ejecutados por usuarios tipo "root". Se deberían registrar
    - 53: DNS, 80: www HTTP, 20 y 21: ftp, 22: ssh, 161 y 162: SNMP, imaps: 993, imap: 143, nntps: 563
  - *Registered ports*: 1024 – 49151
    - aplicaciones de servidor, usuarios comunes. Se deberían registrar
    - 1812, 1813: radius
  - *Dynamic and/or Private ports*: 49152 – 65535
    - Para uso temporario. No se deben registrar
  - **http://www.iana.org/assignments/port-numbers**

Demultiplexación no orientada a conexión

- Crear *sockets* con números de puerto:

```
DatagramSocket elSocket1 = new
   DatagramSocket();
```

Asigna un nro. de puerto libre entre 1024 y 65535

```
DatagramSocket elSocket2 = new
   DatagramSocket(12535);
```

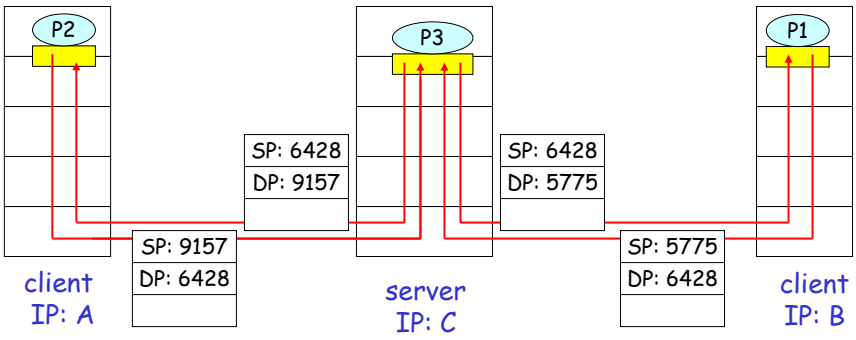
- UDP *socket* completamente identificado por la dupla:

(dirección IP destino, número puerto destino)

- Cuando el *host* recibe el segmento UDP:
  - Chequea el número de puerto destino en el segmento
  - Dirige el segmento UDP al *socket* con dicho número de puerto
- Datagramas IP con diferentes direcciones IP **origen** y/o números de puerto **origen** dirigidos al mismo *socket*

demux no orientada a conexión (continuación)

```
DatagramSocket serverSocket = new DatagramSocket(6428);
```



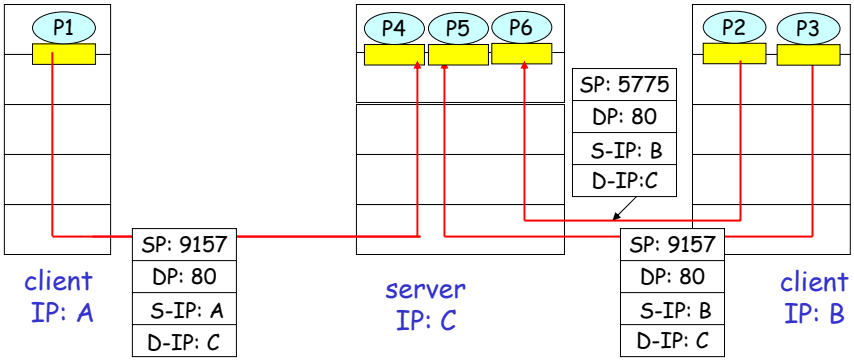
SP: *Source Port*
DP: *Destination Port*

SP proporciona "dirección de retorno"

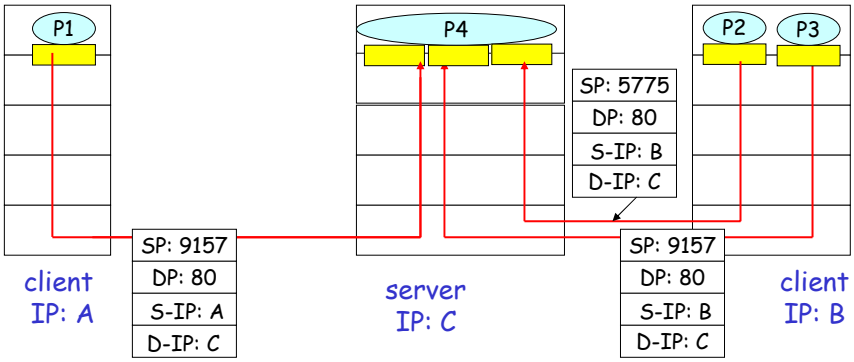
Demux orientada a conexión

- *Socket* TCP identificado por una tupla de 4 elementos:
  - dirección IP origen
  - número puerto origen
  - dirección IP destino
  - número puerto destino
- El *host* destino utiliza los 4 valores para dirigir el segmento al *socket* apropiado
- El *host* servidor debería soportar varios *sockets* TCP simultáneos:
  - cada socket identificado por su propia tupla de 4 elementos
- Los servidores Web tienen diferentes *sockets* para cada cliente que se conecta
  - HTTP no persistente debe tener diferentes *sockets* para cada request

Demux orientada a conexión (continuación)



Demux orientada a conexión: Threaded Web Server



Port scanning

- Es relativamente sencillo conocer qué aplicaciones están escuchando en qué puertos en un *end system* o en un conjunto de *end systems*
- Un programa para ello
  - Nmap (*Network Mapper*)
  - http://insecure.org/nmap
- Si detectamos algún *host* corriendo determinada aplicación de la que conocemos alguna vulnerabilidad, esto puede ser el punto de partida de un ataque

Capítulo 3: agenda

- 3.1 Servicios de la capa de transporte
- 3.2 Multiplexación y demultiplexación
- 3.3 Transporte no orientado a conexión: UDP
- 3.4 Principios de la transferencia de datos confiable
- 3.5 Transporte orientado a conexión: TCP
  - estructura del segmento
  - Transferencia de datos confiable
  - control de flujo
  - Gestión de la conexión
- 3.6 Principios del control de congestión
- 3.7 Control de congestión de TCP

UDP: User Datagram Protocol [RFC 768]

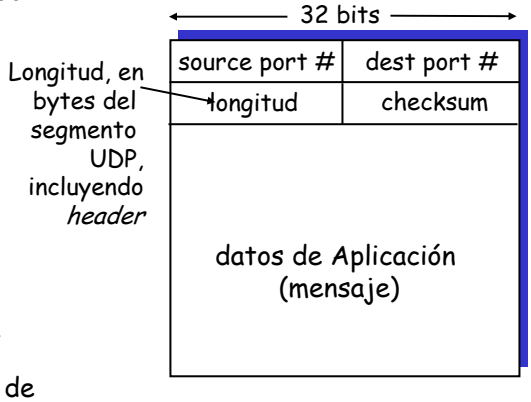
- Protocolo de transporte de Internet "esquelético"
- Servicio "*best effort*"; los segmentos UDP podrían:
  - perderse
  - entregarse fuera de orden a la aplicación
- *no orientado a conexión:*
  - no hay *handshaking* UDP entre el *sender* y el *receiver*
  - cada segmento UDP es manejado independientemente de los otros

¿Por qué existe UDP?

- no hay establecimiento de conexión (lo cual puede agregar retardo)
- simple: no hay estado de conexión ni en el *sender* ni en el *receiver*
- encabezado del segmento pequeño
- no hay control de congestión

UDP: más

- frecuentemente utilizado para aplicaciones de *streaming* multimedia
  - tolerante a las pérdidas
  - sensible a la *rate*
- otros usos de UDP
  - DNS
  - SNMP
  - NTP
- transferencia confiable sobre UDP: agregar confiabilidad en la capa de Aplicación



Formato del segmento UDP

El *checksum* de UDP

Objetivo: detectar errores (p.e., bits cambiados) en el segmento transmitido

Sender:

- trata el contenido de cada segmento como una secuencia de enteros de 16-bit
- *checksum*: complemento a 1 de la suma de los contenidos del segmento
- El transmisor pone el valor del *checksum* UDP en el campo *checksum*

Receiver:

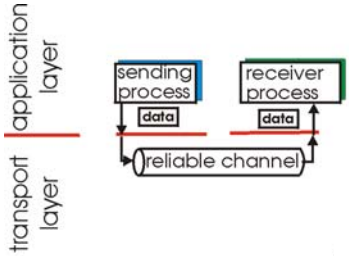
- calcula el *checksum* del segmento recibido
- Chequea si el *checksum* calculado es igual al valor del campo *checksum*:
  - NO – error detectado
  - SI - no se ha detectado error. *Pero, no obstante, ¿podrían haber errores?*

Capítulo 3: agenda

- 3.1 Servicios de la capa de transporte
- 3.2 Multiplexación y demultiplexación
- 3.3 Transporte no orientado a conexión: UDP
- 3.4 Principios de la transferencia de datos confiable
- 3.5 Transporte orientado a conexión: TCP
  - estructura del segmento
  - Transferencia de datos confiable
  - control de flujo
  - Gestión de la conexión
- 3.6 Principios del control de congestión
- 3.7 Control de congestión de TCP

Principios de la transferencia de datos confiable

- importante en app., transport, link layers
- ¡ En la lista de los temas más importantes del *networking* !

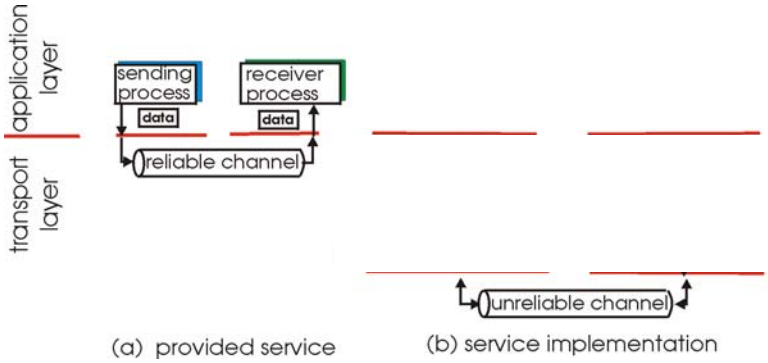


(a) provided service

- las características del canal no confiable determinan la complejidad del protocolo transferencia de datos confiable (rdt: *reliable data transfer*)

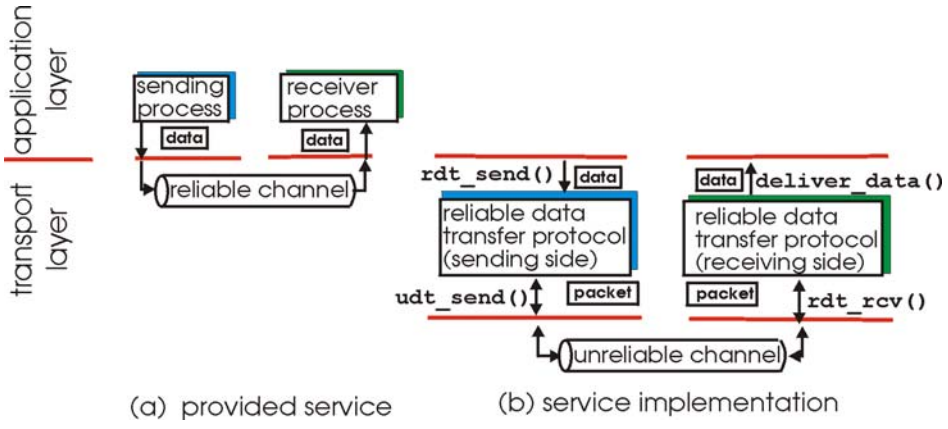
Principios de la transferencia de datos confiable

- importante en app., transport, link layers
- ¡ En la lista de los 10 temas más importantes del *networking* !



- las características del canal no confiable determinan la complejidad del protocolo transferencia de datos confiable (rdt : *reliable data transfer*)

Principios de la transferencia de datos confiable

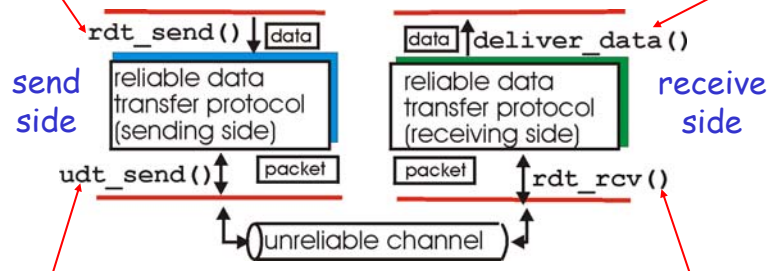


udt: *unreliable data transfer*

Transferencia de datos confiable: comenzando

`rdt_send()`: llamada desde arriba, (p.e., por aplic.). Datos pasados para entregar a la capa superior del *receiver*

`deliver_data()`: llamado por **`rdt`** para entregar los datos hacia arriba



`udt_send()`: llamado por rdt, para transferir el paquete sobre el canal no confiable hasta el *receiver*

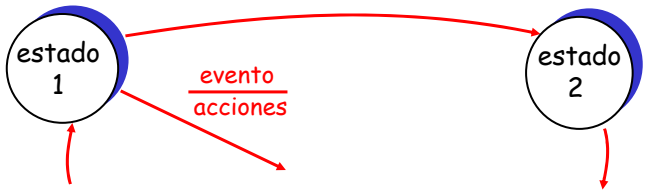
`rdt_rcv()`: llamado cuando llega el paquete al lado receptor del canal

Transferencia de datos confiable: comenzando

- Desarrollo incremental del transmisor y del receptor de un protocolo de transferencia confiable de datos (rdt)
- consideramos solamente transferencia unidireccional de datos
  - ¡ Pero la información de control y de datos fluye en ambas direcciones !
- para especificar el emisor y el receptor utilizamos una máquina de estados finita *(FSM)*

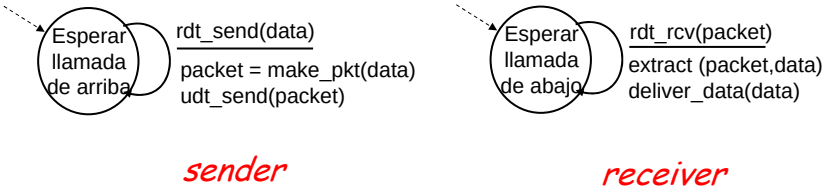
evento que causa la transición de estado
acciones tomadas en la transición de estado

estado: cuando estamos en este estado, el siguiente está determinado por el evento siguiente



rdt1.0: transferencia confiable sobre un canal confiable

- El canal subyacente es perfectamente confiable
  - Sin errores en bits
  - Sin pérdida de paquetes
- FSMs separadas para *sender* y *receiver*:
  - El emisor envía datos dentro del canal subyacente
  - El receptor lee datos del canal subyacente



sender *receiver*

Protocolos ARQ

- Implica la presencia de reconocimientos positivos ("*Correcto*") y negativos ("*Repita, por favor*")
- Los reconocimientos son mensajes de control a través de los cuales el receptor realimenta al emisor respecto a las PDU que recibe.
- Los protocolos de transferencia de datos que implementan ésto, se conocen como protocolos ARQ
  - *Automatic Repeat reQuest*

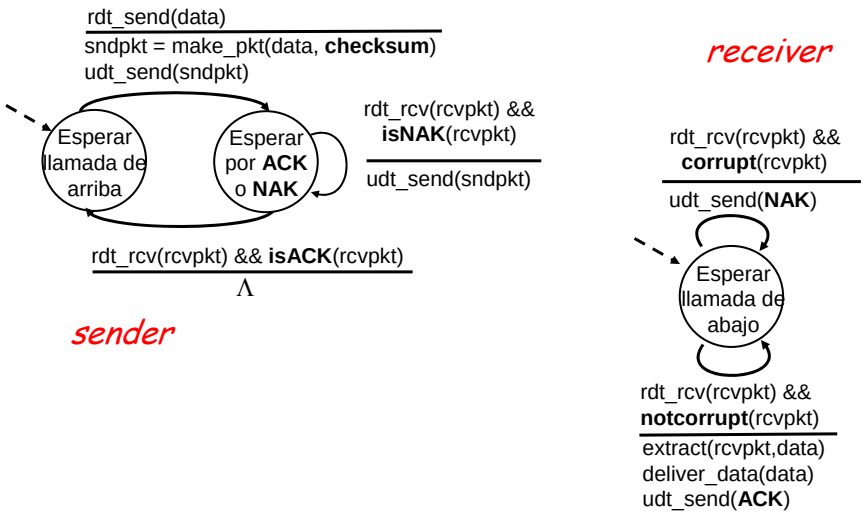
Protocolos ARQ

- ¿Qué capacidades precisan estos protocolos?
  - Detección de errores
  - Realimentación desde el receptor
  - Retransmisión
- Volveremos sobre estos protocolos en las próximas clases

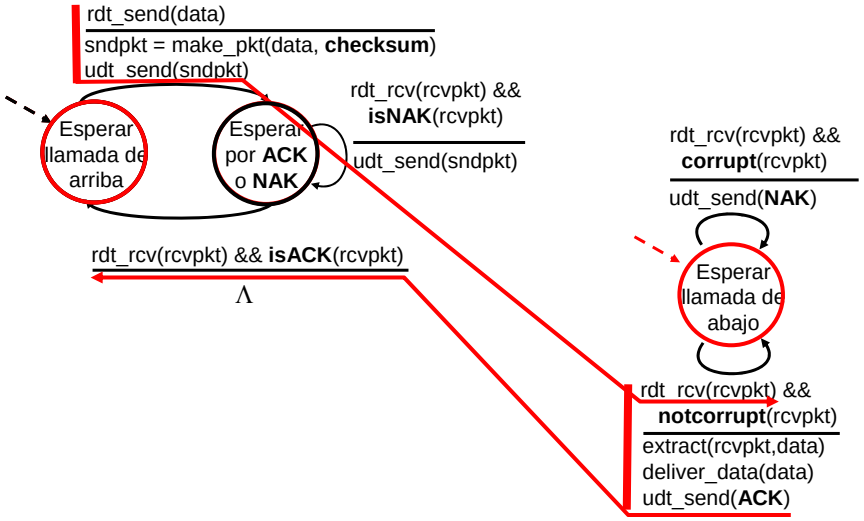
rdt2.0: canal con errores en bits

- no hay pérdida de paquetes
- el canal subyacente puede modificar bits en el paquete
  - *checksum* para detectar errores en bits
- *¿Cómo nos recuperamos de los errores?*
  - *ACKnowledgements (ACKs):* el receptor explícitamente le dice al transmisor que el paquete se ha recibido OK
  - *Negative ACKnowledgements (NAKs o NACKs):* el receptor explícitamente le dice al transmisor que el paquete tiene errores
  - El transmisor retransmite el paquete ante la recepción de un NAK
- nuevo mecanismo en **`rdt2.0`** (respecto a **`rdt1.0`**):
  - detección de error
  - realimentación desde el receptor (*receiver -> sender*): mensajes de control (ACK,NAK)

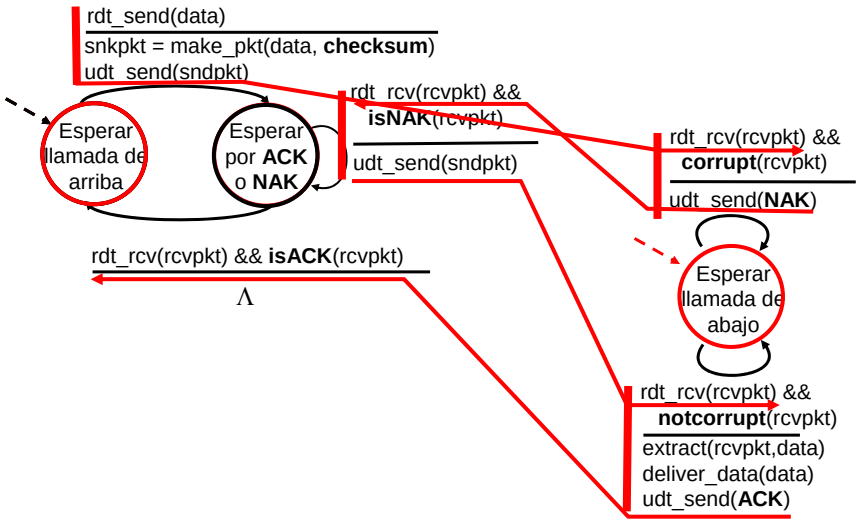
rdt2.0: Especificación FSM



rdt2.0: operación sin errores



rdt2.0: escenario de error



¡ rdt2.0 tiene un defecto fatal !

- ¿Qué ocurre si el ACK/NAK está corrupto?
- ¡ el emisor no sabe qué ha ocurrido en el receptor !
- No puede simplemente retransmitir:
  - posibles duplicados
  - el receptor debe saber distinguirlos

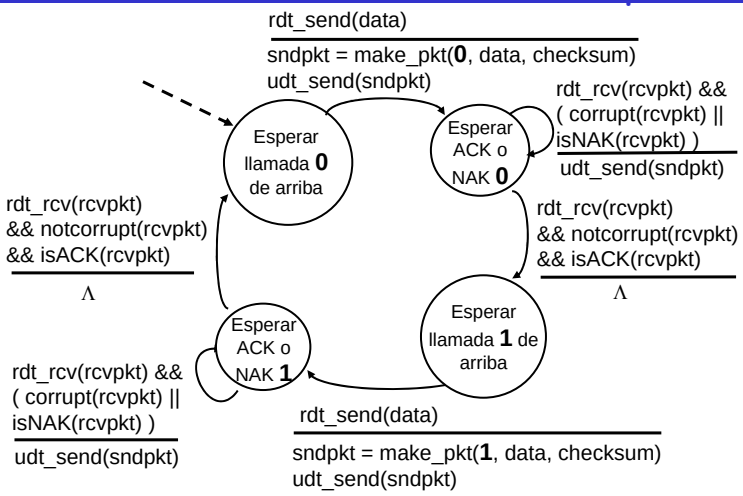
stop and wait

•el emisor envía un paquete y espera para "saber cómo le fue"
•rdt2.0 es un protocolo "parada y espera"

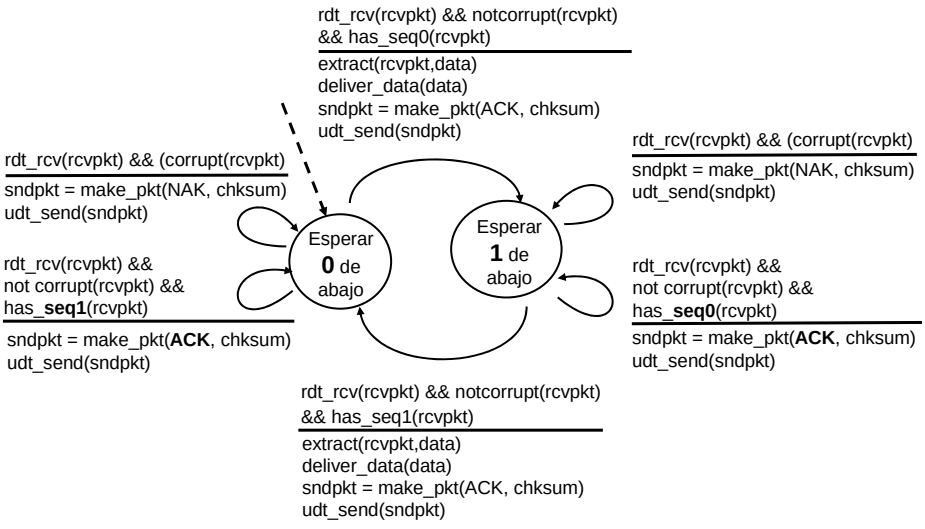
Manejando duplicados:

- el emisor retransmite el paquete actual si el ACK/NAK está corrupto
- el emisor agrega *un número de secuencia* a cada paquete
- el receptor descarta el paquete duplicado (no lo entrega hacia arriba)
- Los ACK/NAK no llevan números de secuencia
  - *¿Por qué?*

rdt2.1: el emisor maneja ACK/NAKs con errores (rdt2.1 es rdt2.0 con un parche)



rdt2.1: el receptor maneja ACK/NAKs con errores



rdt2.1: discusión

Emisor:

- número de secuencia agregado al paquete
- ¿dos números de seq. (0,1) es suficiente?
- debe chequear si el ACK/NAK recibido está corrupto

Receptor:

- debe chequear si el paquete recibido está duplicado
- nota: el receptor no puede saber si el último ACK/NAK se recibió OK en el transmisor

rdt2.2: un protocolo libre de NAK

- recordemos que los paquetes no se pierden (todavía)
- las mismas funcionalidades que rdt2.1, pero utilizando solamente ACKs
- en lugar de NAK, el receptor envía ACK para el último paquete recibido OK
  - el receptor debe incluir explícitamente el número de secuencia del paquete que está ACKed
- ACK duplicado (dos ACKs para el mismo paquete) en el emisor resulta en la misma acción que el NAK: *retransmitir el paquete actual*