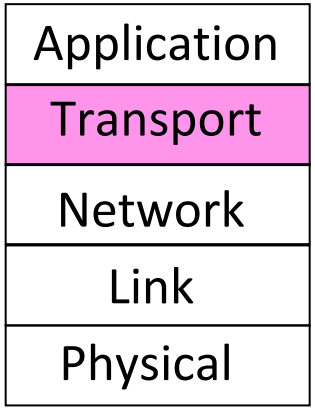
Capítulo 3

Capa de Transporte
Transferencia de datos confiable



Metas

- **Ejercitaremos los siguientes asuntos:**
  1. **Entrega de datos confiable**
  2. Protocolo de parada y espera
  3. Protocolos de tubería
  4. Control de flujo en la capa de transporte
  5. Control de flujo en TCP

Entrega de datos confiable

- La capa de transporte debe soportar al menos un protocolo para **entrega de datos confiable**.
- Estudiaremos distintos protocolos de entrega de datos confiable.
  - Los protocolos irán desde los más simples a los más complejos.
- **Estos protocolos asumen que el canal puede:**
  - Corromper paquetes
  - Perder paquetes
  - La transferencia de datos es en un sentido, o sea hay un emisor y un receptor.
- El protocolo más simple que vemos es el de **parada y espera**. Luego veremos protocolos más complejos llamados de **tubería**.
- Estos protocolos se pueden usar tanto en capa de transporte como en capa de enlace de datos.
  - Pues entrega confiable de datos es un problema de esas capas.

Preliminares

- Dijimos que la CT se ocupa de uso de temporizadores y retransmisiones de paquetes.
  - Paquetes perdidos deben **retransmitirse**.
- **Sabemos que un paquete no se perdió**
  - porque fue confirmado con un **paquete de confirmación de recepción.**
- **¿Cómo sabemos que un paquete se perdió?**
  - Podemos asumir que si pasa un cierto tiempo y no fue confirmado entonces se perdió y hay que retransmitirlo.
- **Para medir el tiempo:**
  - Usar **temporizadores** (timers)

Preliminares

- **Situación:** Se perdió una confirmación de recepción y se envió el paquete de nuevo.
- **Problema:** El mismo paquete llega dos o más veces al receptor y la capa de transporte la pasa a la capa de aplicación más de una vez.
  - **Esto es inaceptable**
  - **¿Cómo evitar entregar a la capa de aplicación paquetes repetidos?**
- **Solución:** asignar **números de secuencia** a los paquetes que salen.
  - La idea es que dado un número de secuencia de un segmento que acaba de llegar,
  - el receptor puede usar ese número de secuencia para decidir si el segmento es un duplicado y en ese caso descartarlo.

Metas

- **Ejercitaremos los siguientes asuntos:**
  1. Entrega de datos confiable
  2. **Protocolo de parada y espera**
  3. Protocolos de tubería
  4. Control de flujo en la capa de transporte
  5. Control de flujo en TCP

Protocolo de Parada y Espera

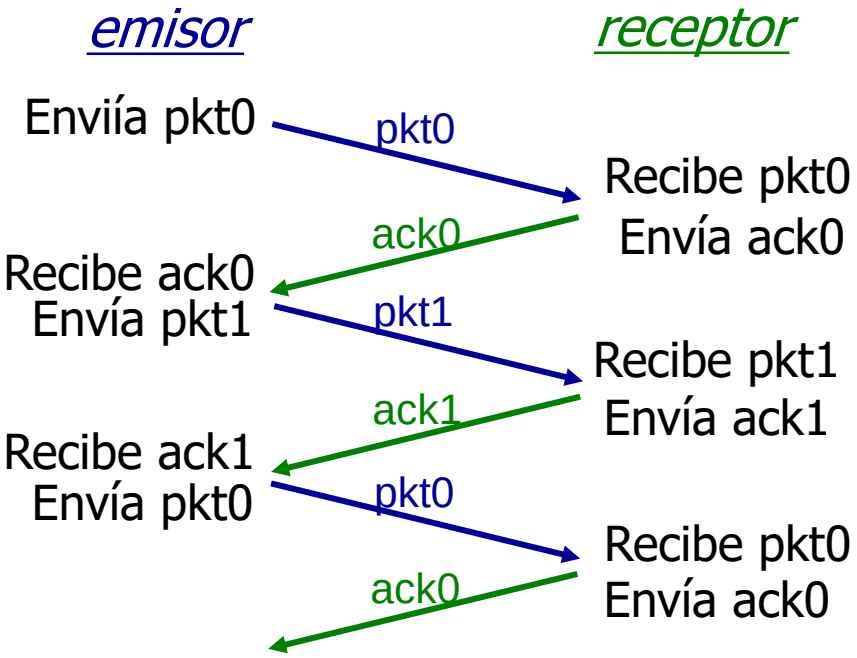
- **Suposición**: el canal de comunicaciones subyacente puede perder paquetes (de datos, de ACKs)
  - Los paquetes tienen N° de secuencias.
    - Con 1 bit es suficiente.
  - Se trabaja con Acks
    - El receptor debe especificar N° de secuencia del paquete siendo confirmado.
  - Se usan retransmisiones de paquetes.
    - Para esto se requiere de uso de temporizadores.

Comportamiento del emisor:

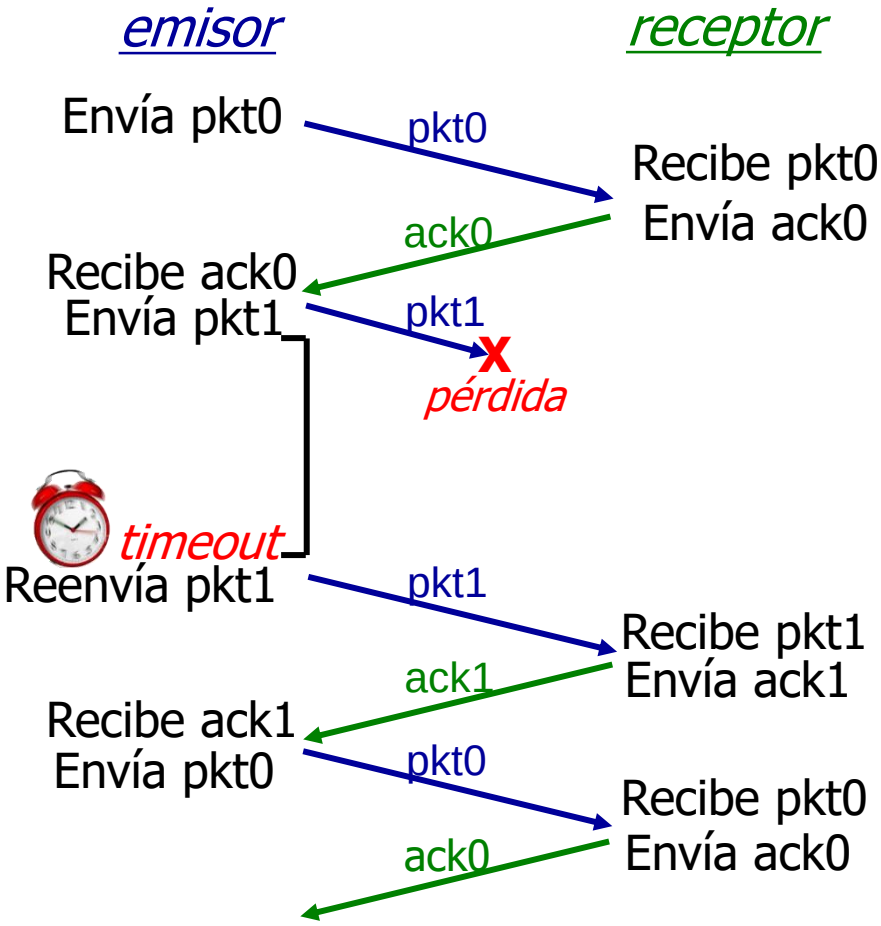
1. El emisor envía paquete P y **para** de enviar.
2. **Espera**: El emisor espera una cantidad "razonable" de tiempo para el ACK
3. Si llega el ACK a tiempo, se envía siguiente paquete. Goto 2.
4. Sino se retransmite paquete P. Goto 2.

- Si hay paquete o ACK demorado pero no perdido:
  - La retransmisión va a ser un duplicado con igual número de secuencia ; luego se descarta en el receptor.

Parada y Espera en Acción



(a) Sin pérdida

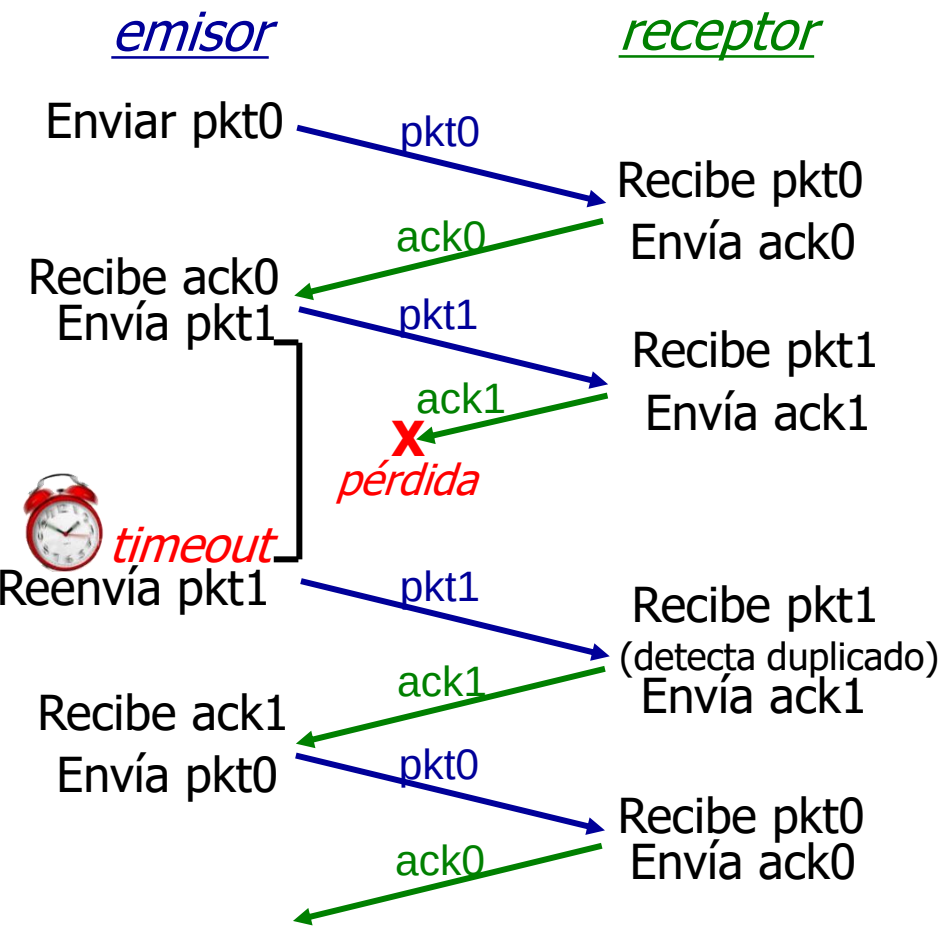


(b) Pérdida de paquete

- **¿Qué pasa si se pierde el pkt1?**

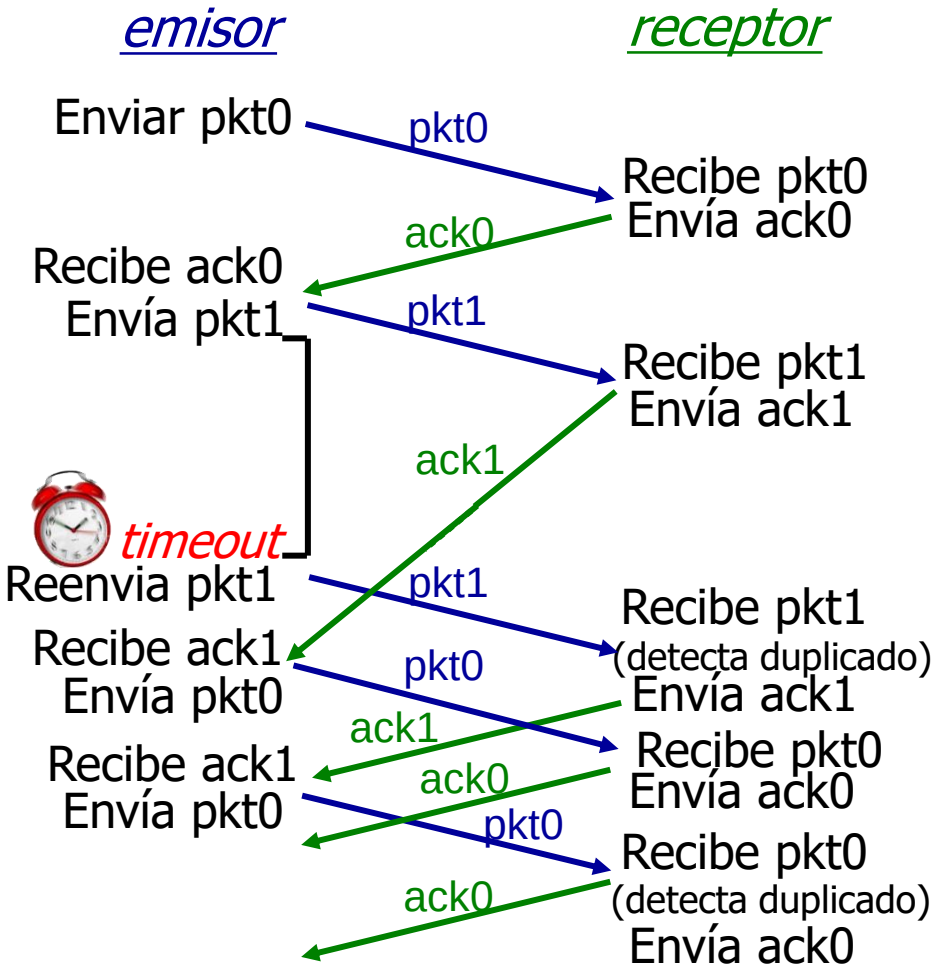
Parada y Espera en Acción

- ¿Qué pasa si se pierde el ack1?



(c) Pérdida de ACK

- ¿Qué pasa si el ack1 se demora?

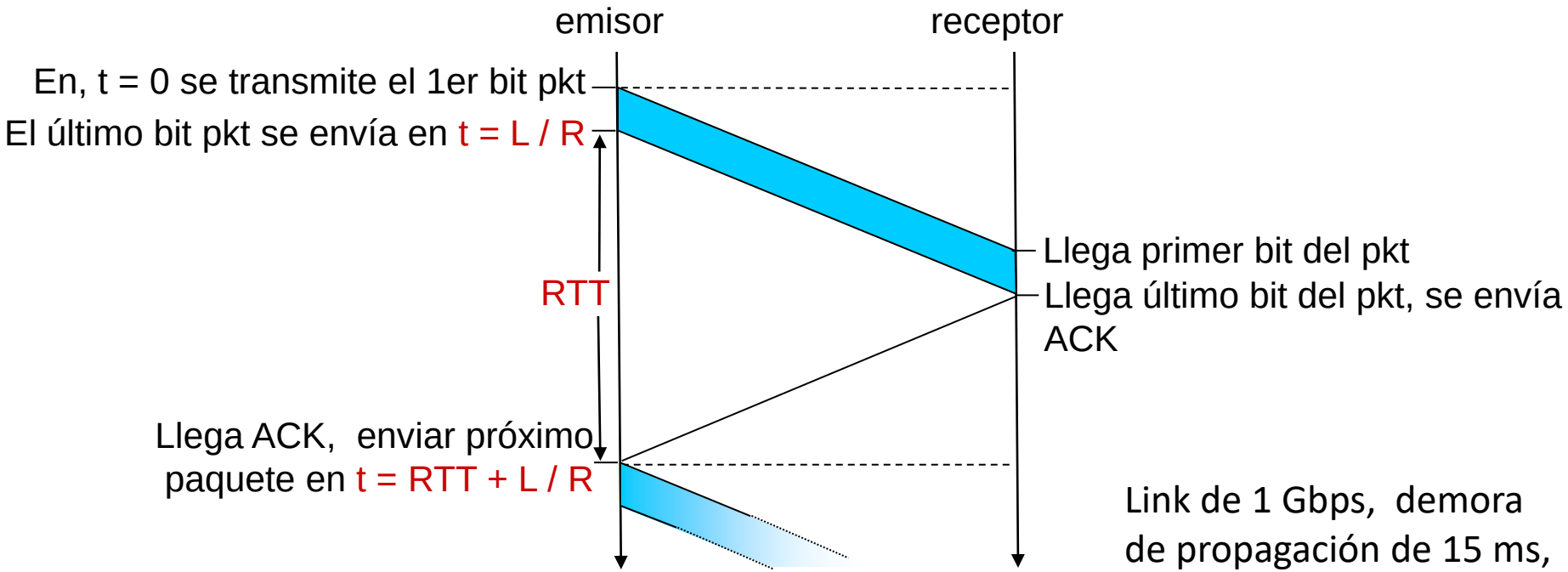


(d) Timeout prematuro/ ACK demorado

Desempeño de Parada y Espera

- Parada y espera tiene un **desempeño pobre.**
- Ejemplo: link de 1 Gbps, demora de propagación de 15 ms, paquetes de 8000 bit:
  - $D_{envío}$ es la demora en enviar un paquete.
  - U_{sender} : ***utilización*** – es la fracción del tiempo en que el emisor está ocupado enviando.
  - RTT es tiempo de ida y vuelta de un bit: RTT = 30 msec.
- El protocolo de red limita el uso de recursos físicos.

Operación de Parada y Espera



Link de 1 Gbps, demora de propagación de 15 ms, paquetes de 8000 bit.

$$D_{envío} = \frac{L}{R} = \frac{8000\ bits}{10^9\ bits/sec} = 8\ microsecs$$

Suposición: RTT fijo

$$U_{sender} = \frac{L/R}{RTT + L/R} = \frac{.008}{30.008} = 0.00027$$

Metas

- **Ejercitaremos los siguientes asuntos:**
  1. Entrega de datos confiable
  2. Protocolo de parada y espera
  3. **Protocolos de tubería**
  4. Control de flujo en la capa de transporte
  5. Control de flujo en TCP

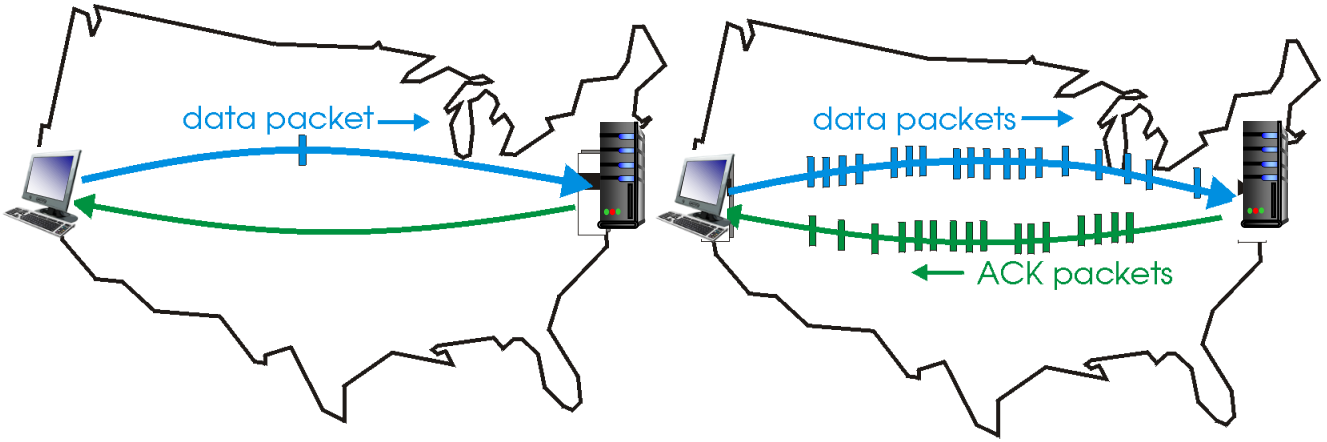
Protocolos de transferencia de datos confiable

- **Protocolos de tubería**
  - Protocolo Retroceso-N
  - Protocolo de Repetición Selectiva

Protocolos de tubería

Tubería: el emisor puede enviar múltiples paquetes al vuelo a ser confirmados

- El rango de números de sequencia debe ser incrementado usando palabras de más de un bit.
- Hay que usar búferes en el emisor.

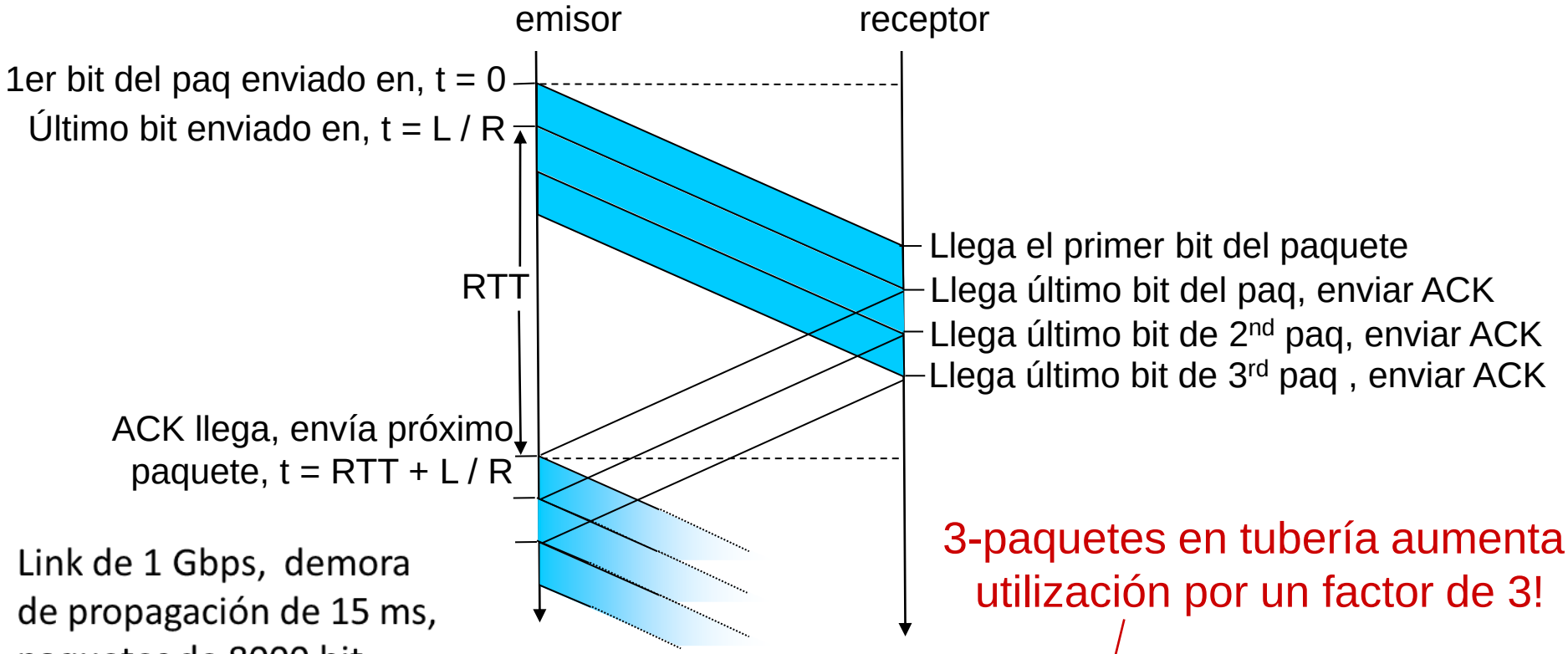


(a) a stop-and-wait protocol in operation

(b) a pipelined protocol in operation

- Hay dos formas genéricas de protocolos de tubería:
  - *retroceso N* y *repetición selectiva*

Tubería: utilización incrementada



Link de 1 Gbps, demora de propagación de 15 ms, paquetes de 8000 bit.

3-paquetes en tubería aumenta utilización por un factor de 3!

$$U_{sender} = \frac{3L / R}{RTT + L / R} = \frac{.0024}{30.008} = 0.00081$$

Suposición: el RTT es fijo y no varía (p.ej: dos hosts unidos por cable).

Protocolos de tubería: visión general

Retroceso-N:

- Receptor envía *ack acumulativo*
  - No confirma paquetes si hay un agujero.
- El emisor tiene un timer para el paquete más viejo no confirmado
  - Cuando expira el timer retransmite todos los paquetes no confirmados.

Repetición selectiva:

- El receptor envía *confirmaciones individuales* para cada paquete
- El emisor mantiene un timer para cada paquete no confirmado
  - Cuando el timer expira, retransmite solo ese paquete no confirmado.

Uso de búferes en el emisor

- La **ET emisora *debe*** manejar **búferes para los mensajes de salida**.
- **Esto es necesario porque:**
  - puede hacer falta retransmitirlos
- **¿Cómo se usan búferes en el emisor?**
  - El emisor almacena en búfer todas los segmentos hasta que se confirma su recepción.

Protocolos de transferencia de datos confiable

- **Protocolos de tubería**
  - **Protocolo Retroceso-N**
  - Protocolo de Repetición Selectiva

Retroceso N

- **Si un paquete *T* a la mitad de una serie larga se daña o pierde:**
  - La CT receptora debe entregar paquetes a la capa de aplicación en secuencia**.**
  - Por lo que no se pueden entregar a la capa de aplicación los paquetes que llegaron **bien** después de *T*.
- **Problema**: **¿qué debe hacerse con los paquetes correctos que le siguen a un paquete que se perdió?**

Retroceso N

Solución: Con retroceso N el receptor descarta todos los paquetes subsecuentes al paquete perdido, sin enviar ack para los paquetes descartados.

Retroceso N

- **Comportamiento del receptor:**
  - Receptor envía **ack acumulativo**
    - mayor número de secuencia tal que todos los segmentos anteriores se recibieron bien.
  - Asumir que el receptor recibió un paquete n.
  - Si *n* está en orden (todos los paquetes anteriores llegaron) y está correcto (sin errores):
    - manda ack para *n* y entrega parte de datos de paquete *n* a capa superior.
  - Sino:
    - el receptor descarta el paquete *n* y manda ACK del paquete más reciente recibido en orden.

Retroceso N en el emisor

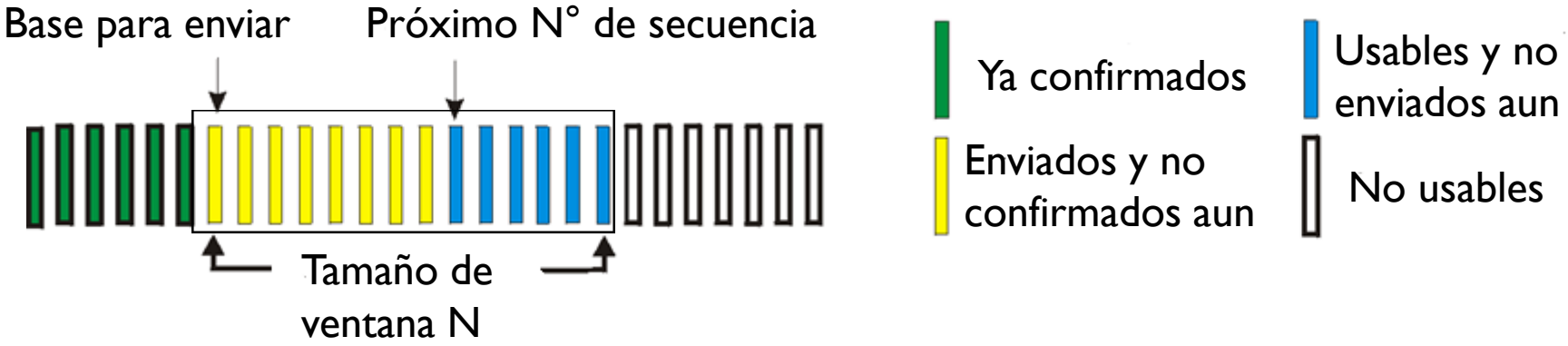
- **Comportamiento del emisor:**
  - El emisor tiene un solo temporizador para el paquete más viejo no confirmado.
  - Al expirar el temporizador (del segmento más viejo no confirmado),
    - retransmite todos los segmentos no confirmados.
  - Si llega ACK nuevo y hay segmentos enviados no confirmados,
    - el temporizador es reiniciado.
  - Si llega ACK nuevo y no hay segmentos sin confirmar,
    - el temporizador es detenido.

Retroceso N

- **Suposición:**
  - Hay un límite en la cantidad de paquetes enviados y no confirmados + paquetes por enviar que puede almacenar el emisor en búferes.
- **¿Cómo representar ese conjunto de paquetes del emisor eficientemente?**
- Usar ***intervalos de números de secuencia*** dentro del ***espacio de números de secuencia.***
  - Un intervalo de esos recibe el nombre de **ventana corrediza**.

Retroceso-N: en el emisor

- La "ventana" permite hasta *N* paquetes consecutivos sin confirmar
- **ventana emisora** = tramas enviadas sin ack positivo o tramas listas para ser enviadas.

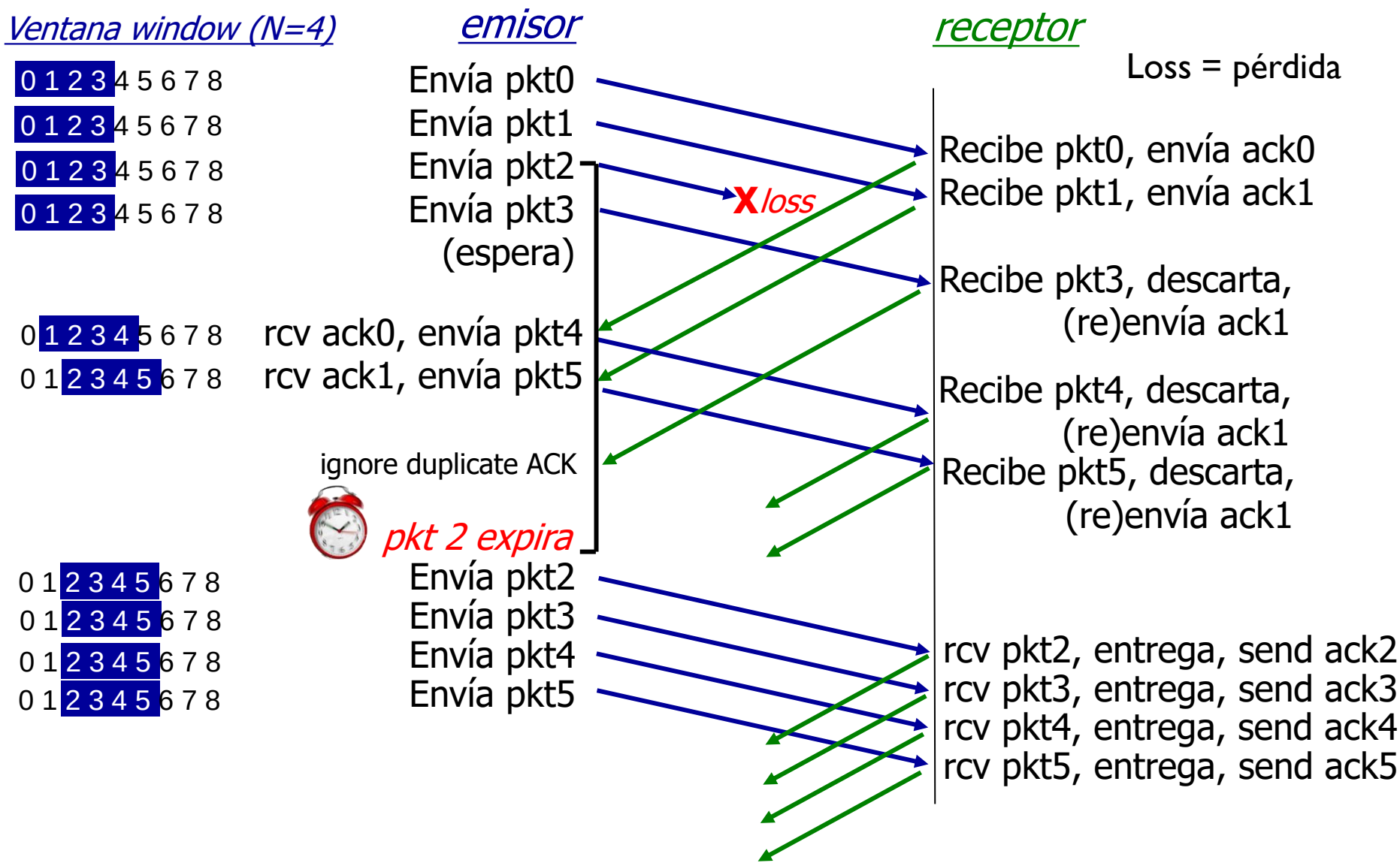


- *timeout(n):* retransmite paquete *n* y todos los paquetes de mayor N° de secuencia en la ventana.

Retroceso N

- **Si mando un paquete de confirmación solamente, ¿qué número de secuencia debe tener?**
- Enviar ACK con N° de secuencia más alto tal que los N° de secuencia anteriores fueron recibidos.
  - A esto se le llama **ACK acumulativo**.
- Si se pierde un segmento llegan bien varios de los siguientes, para estos se generan **ACKs duplicados**.
- Para los números de secuencia, el receptor maneja variable *expectedSeqnum* que es el número de secuencia más chico que no llegó aun.

Retroceso-N en acción



Retroceso N

- **¿Si el espacio de secuencia es de MAX_SEQ + 1 números de secuencia (estos comienzan desde 0), se puede hacer la ventana emisora de tamaño MAX_SEQ + 1?**
- La respuesta es no (Justificación en las 2 filminas siguientes).
- **Conclusión**: El tamaño de la ventana emisora no puede superar MAX_SEQ cuando hay MAX_SEQ + 1 números de secuencia.

Retroceso N

- Considere la siguiente situación con MAX_SEQ = 7.
  1. El emisor envía paquetes 0 a 7.
  2. Llega al emisor una confirmación de recepción, superpuesta para paquete 7.
  3. El emisor envía otros 8 paquetes, con los números de secuencia 0 a 7.
  4. Ahora llega otra confirmación de recepción superpuesta para el paquete 7.
  5. ¡No se sabe si item 4. es un reenvío de ACK o uno nuevo!

Retroceso N

- ¿llegaron con éxito los 8 paquetes que correspondían al segundo bloque o se perdieron (contando como pérdidas los rechazos siguientes a un error)?
  - En ambos casos el receptor podría estar enviando el paquete 7 como confirmación de recepción.
    - El emisor no tiene manera de saberlo.

- **Por lo tanto:** el tamaño de la ventana emisora no puede superar MAX_SEQ cuando hay MAX_SEQ + 1 números de secuencia.

Retroceso N

- **Problema: ¿Cómo evitar que haya más de *MAX_SEQ* paquetes sin ack pendientes?**
- **Solución**: prohíbir a la CR que moleste con más trabajo.
- **Implementación**: Usar *enable_network_layer* y *disable-network_layer*.

Retroceso N

- **¿Cuál es el problema principal de retroceso N?**
- El uso ineficiente del canal frente a segmentos perdidos o demorados.

Protocolos de transferencia de datos confiable

- **Protocolos de tubería**
  - Protocolo Retroceso-N
  - **Protocolo de Repetición Selectiva**

Repetición Selectiva

- **¿Qué ocurre si un paquete *T* a la mitad de una serie larga se pierde?**
- La CT receptora debe entregar paquetes a la capa de aplicación en secuencia**.**
  - Por lo que no se pueden entregar a la capa de aplicación los paquetes que llegaron **bien** después de *T*.
- **Problema**: **¿qué debe hacerse con los paquetes correctos que le siguen a un paquete que se perdió?**

Repetición Selectiva

- **Solución (Repetición Selectiva):**
  - Los paquetes en buen estado recibidos después de un **paquete dañado** *E* se **almacenan en búfer**.
  - Cuando el paquete *E* llega correctamente, el receptor entrega a la capa de aplicación, en secuencia, todos los paquetes posibles que ha almacenado en el búfer.

Repetición Selectiva

- **Mecanismo común de retransmisiones:**
  - El temporizador de *E* termina y el emisor lo manda de nuevo.
- **Una solución mejor:**
  - Uso de una ack negativa (NAK) por el receptor.
    - Así se estimula la retransmisión de paquetes antes que los temporizadores terminen y así se mejora el rendimiento.

Repetición Selectiva

- El receptor confirma individualmente todos los paquetes recibidos correctamente.
  - Hay búferes para paquetes según se necesiten para su entrega eventual en orden a la capa de aplicación.
- El emisor solo reenvía paquetes para los cuales el ACK no fue recibido o se recibió un NAK.
  - Hay un temporizador del emisor para cada paquete no confirmado.

Repetición Selectiva

- **Ventana del emisor**
  - Contiene *N* N°de secuencias consecutivos
  - Limita N°de sequencias a enviar a paquetes no confirmados.
- **¿Qué tipos de paquetes puede haber en la ventana del emisor? (ayuda considerar que estamos en repetición selectiva)**
- Como se confirman todos los paquetes que llegan y puede haber paquetes perdidos:
  - Paquetes enviados y confirmados porque antes hay paquetes no confirmados
  - Paquetes enviados y no confirmados
  - Paquetes listos para enviarse en búfer

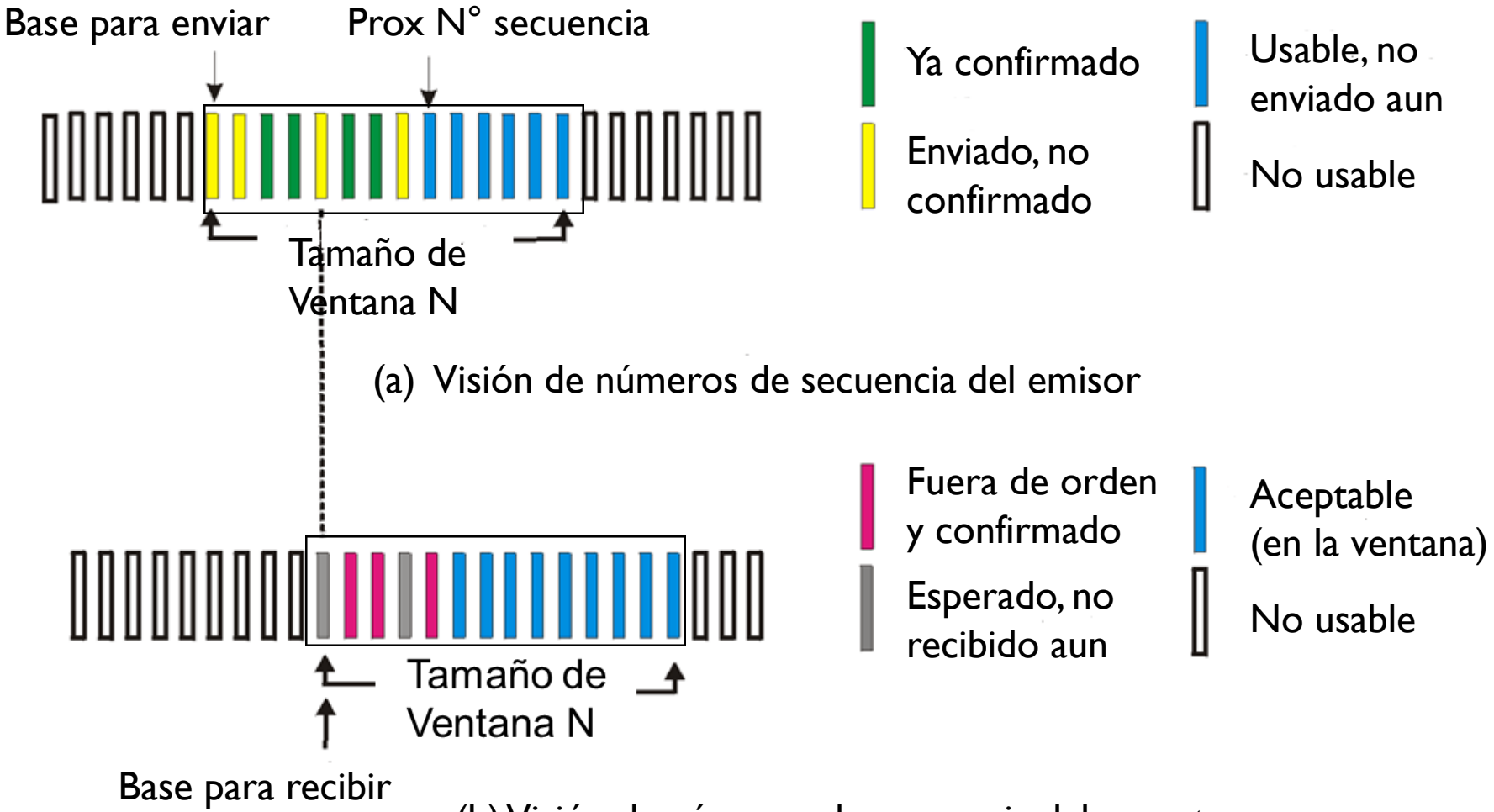
Repetición Selectiva

- **Situación:**
  - Hay un límite para la cantidad de paquetes que puede almacenar en búfer el receptor.
  - **Es necesario almacenar en búfer paquetes**
    - porque puede perderse un paquete y llegar otros a continuación del mismo y en repetición selectiva estos se almacenan.
- **Problema: ¿Cómo representar el conjunto de paquetes que puede almacenar en búfer el receptor?**
- **Solución**: Usar ***intervalos de números de secuencia*** dentro del ***espacio de números de secuencia.***
  - Un intervalo de esos recibe el nombre de **ventana corrediza**.

Repetición Selectiva

- **Tipos de paquetes que puede haber en la ventana del receptor:**
  - Paquetes esperados y no recibidos
  - Paquetes recibidos fuera de orden
  - Paquetes aceptables en la ventana que no han llegado aun
- **Se mantiene en búfer un paquete aceptado por la ventana receptora**
  - hasta que todos los que le preceden hayan sido pasados a la capa de aplicación.

Repetición Selectiva: ventanas del emisor y del receptor



Repetición Selectiva

- **Algunos detalles de repetición selectiva:**
  - tamaño de ventana emisora comienza en 0 y crece hasta MAX_SEQ.
  - El receptor tiene un búfer para cada N° de secuencia en su ventana.
  - **¿Qué se hace cuando llega un paquete?**
  - Cuando llega un paquete, su número de secuencia es revisado para ver si cae dentro de la ventana.
    - De ser así, y no ha sido recibido aun, se acepta y almacena.

Repetición selectiva

Emisor

Datos vienen de arriba:

- Si el próximo N° secuencia a enviar de la ventana está disponible, almacenar y enviar paquete

timeout(*n*):

- Reenviar paquete *n*, reiniciar timer

ACK(*n*) en [sendbase,sendbase+N]:

- marcar paquete *n* como recibido
- Si *n* es paquete más pequeño no confirmado, ***avanzar base de ventana*** al siguiente N° secuencia no confirmado.

Receptor

pkt *n* en [base rcv, base rcv +N-1]

- Enviar ACK(n)
- Fuera de orden: almacenarlo
- En orden: entregar (también entregar paquetes en bufer en orden), avanzar ventana al siguiente paquete que no ha sido recibido aun.

pkt *n* en [base rcv-N, base rcv-1]

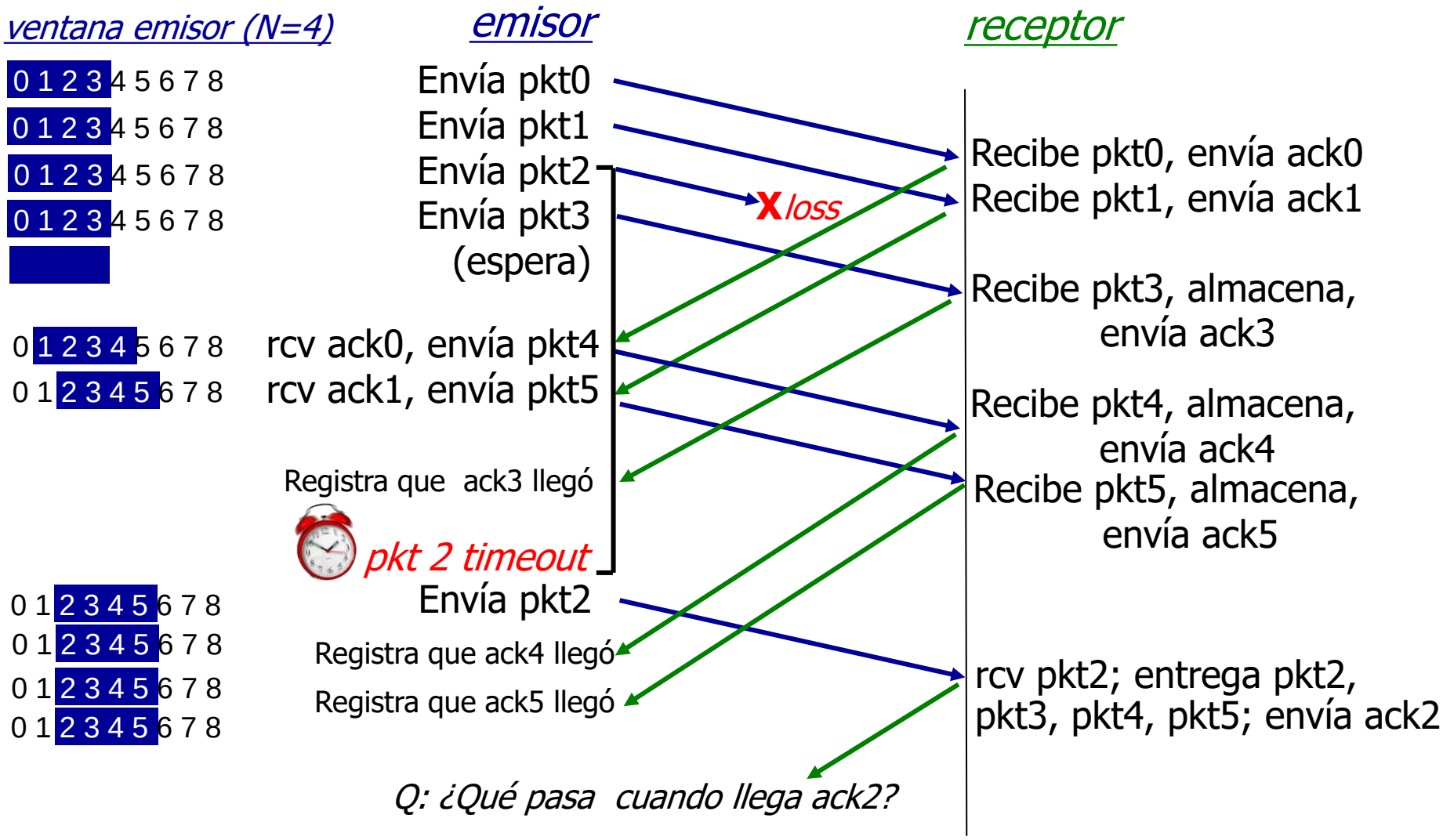
- Enviar ACK(n)

Sino:

- ignorar

Súposiciones: *N* es tamaño de ventana del receptor. Algoritmo sin NAKs

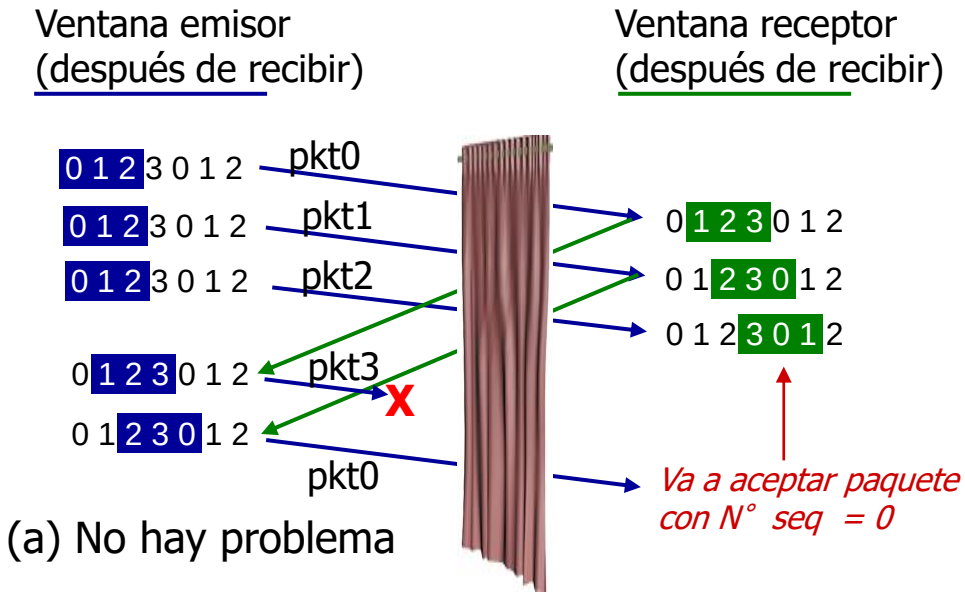
Repetición selectiva en acción



Dilema de repetición selectiva

Ejemplo:

- Espacio de secuencia: 0, 1, 2, 3.
- Tamaño ventana =3 en emisor y receptor



(a) No hay problema

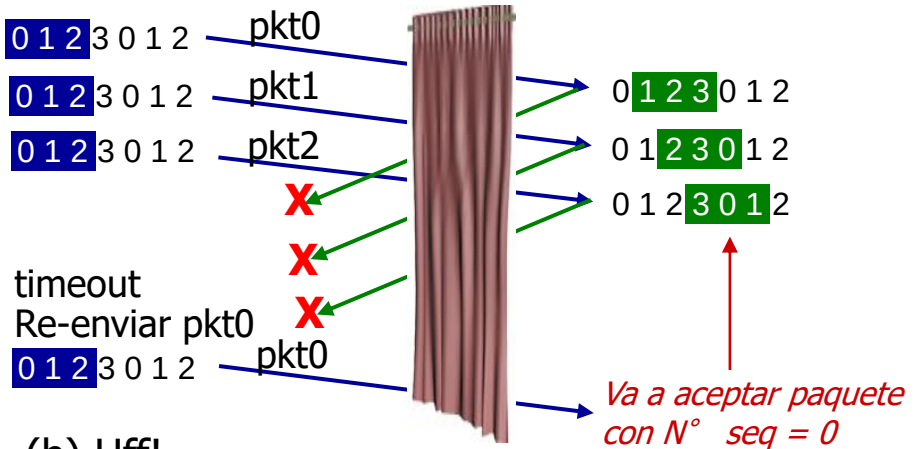
El receptor no puede ver el lado del emisor.

¡El comportamiento del receptor es idéntico en ambos casos !

¡Algo está muy mal!

- El receptor no ve la diferencia en 2 escenarios.
- Datos duplicados aceptados como nuevos en (b)

Q: ¿Qué relación entre tamaño de N° secs y tamaño de ventana en receptor debe haber para evitar el problema en (b)?



(b) Uff!

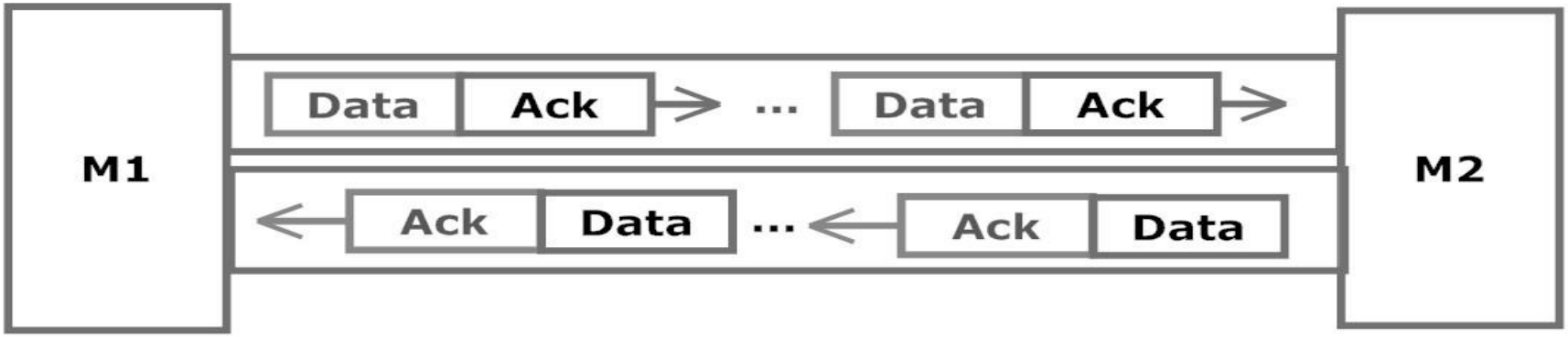
Repetición Selectiva

- **Regla para el tamaño de la ventana receptora:**
  - Tamaño de ventana receptora = (*MAX_SEQ* + 1)/2.
  - Con tamaños mayores de ventana receptora no funciona.

Repetición Selectiva

- En encabezado de paquete hay N° de secuencia de *k* bits.
- **Problema: ¿Cómo transmitir datos entre dos máquinas y en ambas direcciones eficientemente?**

Repetición Selectiva



- **Solución**: **llevar a caballito (piggybacking)**.
  - cuando llega un segmento *S* con datos, el receptor se aguanta y espera hasta que la capa de aplicación le pasa el siguiente paquete *P*.
  - La confirmación de recepción de *S* se anexa a *P* en un segmento de salida (usando el **campo ack** en el encabezado del segmento de salida).

Repetición Selectiva

- **Problema**: ¿Cómo extender repetición selectiva para tener flujos de datos entre 2 máquinas en las dos direcciones?
- **Solución**:
  - Se usa llevar a caballito.
  - La capa de transporte para mandar un ack, debe esperar por un paquete al cual superponer un ack.

Repetición Selectiva

- **Problema: ¿Cómo evitar retrasar demasiado envío de confirmaciones de recepción por no tener tráfico de regreso?**
- **Solución**: **método que usa temporizador auxiliar**
  - tras llegar un paquete de datos en secuencia, se arranca un temporizador auxiliar mediante *start_ack_timer*.
  - Si no se ha presentado tráfico de regreso antes de que termine este temporizador, se envía un paquete de ack independiente.

Repetición Selectiva

- tiempo de temporizador auxiliar << tiempo de temporizador de retransmisiones.
  - << significa mucho menor.
- **¿Por qué?**
  - para asegurarse que la ack de un paquete correctamente recibido llegue antes que el emisor termine su temporización y retransmita el paquete.