

CONTROL DE ERRORES

Redes de Datos I



FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



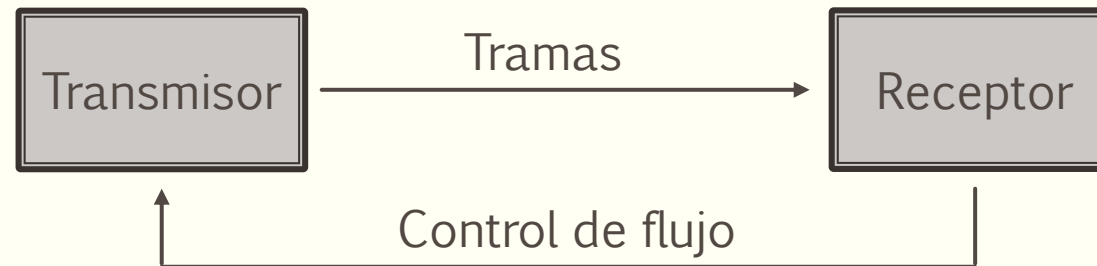
CONTROL DE FLUJO, ERRORES Y PROTOCOLOS

- **Control de flujo**
- Protocolos de parada y espera
- Protocolos de ventana deslizante
- Protocolo HDLC
- Protocolo PPP

Control de flujo

- En un enlace de datos, si el transmisor envía tramas a una velocidad mayor de las que el receptor puede procesar, se producirá una saturación en el enlace.
- También puede pasar que se pierdan tramas durante la transmisión.

El receptor debe proporcionar realimentación al emisor.



- Se puede combinar con control de errores.

Control de flujo

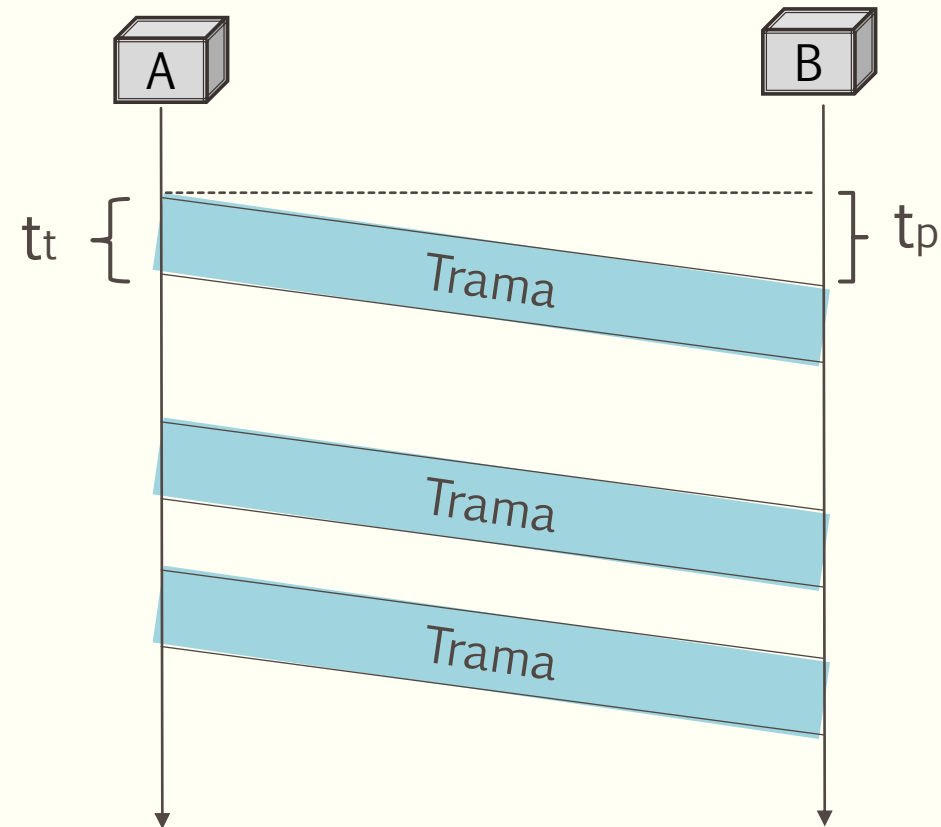
■ Protocolo simple

Suponemos que:

- el receptor puede procesar cualquier trama que recibe;
- no se pierden tramas;
- no hay errores en las tramas

t_p : tiempo empleado por un bit en atravesar el medio de transmisión desde el origen hasta el destino

t_t : tiempo empleado por una estación para emitir todos los bits de una trama sobre el medio



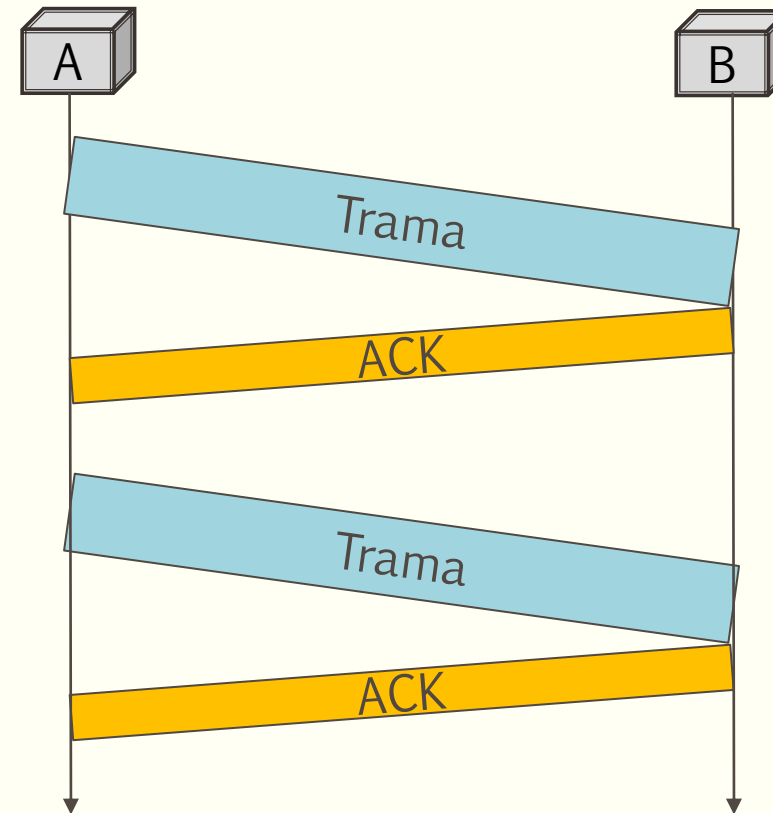
Control de flujo

- Protocolo stop and wait

Cada vez que se envía una trama, debemos esperar una confirmación antes de enviar la siguiente

A la confirmación la llamamos ACK (Acknowledge)

El receptor puede frenar el envío de tramas simplemente sin enviar el ACK



Control de flujo

- Protocolo stop and wait con ARQ (ARQ: Solicitud de repetición automática)

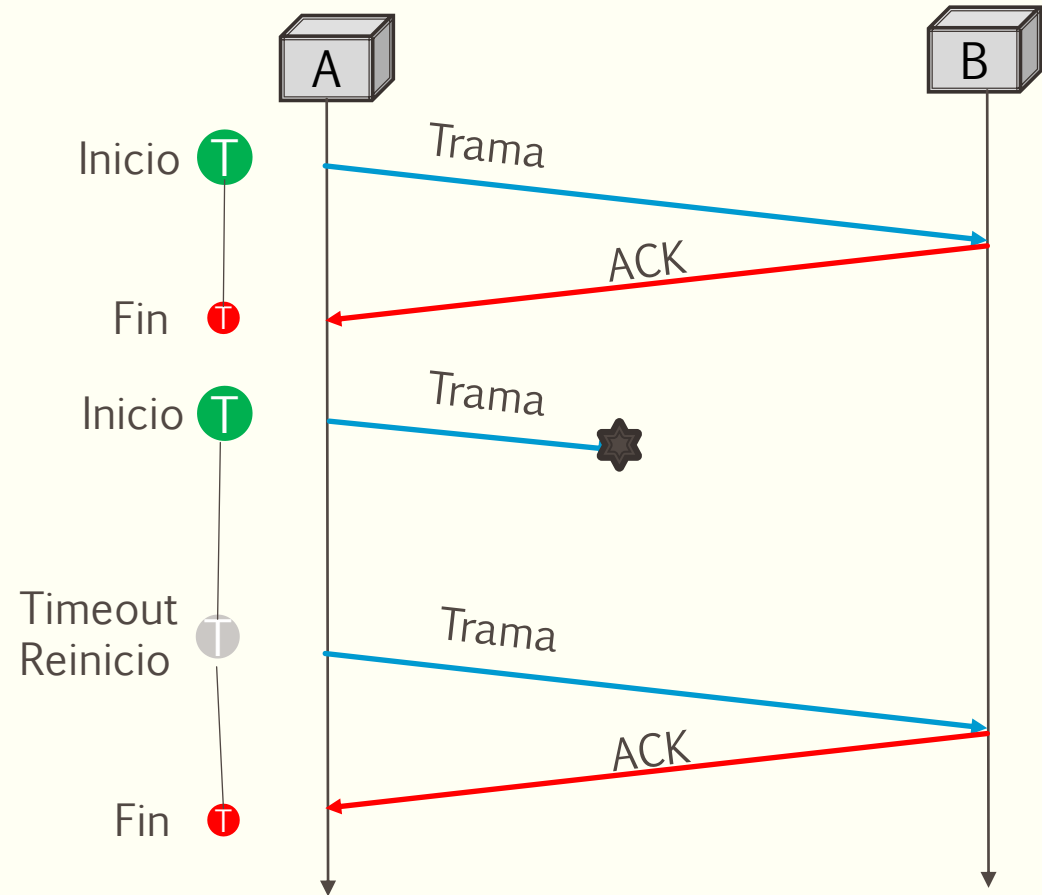
¿Qué sucede si las tramas se pierden o llegan con error?

Esto puede suceder en un canal ruidoso

El emisor reenvía la trama perdida, o con error, si no recibe el ACK luego de un período de tiempo (timeout).

El emisor debe mantener una copia de la trama.

¿y si se pierde el ACK?



Control de flujo

■ Protocolo stop and wait con ARQ

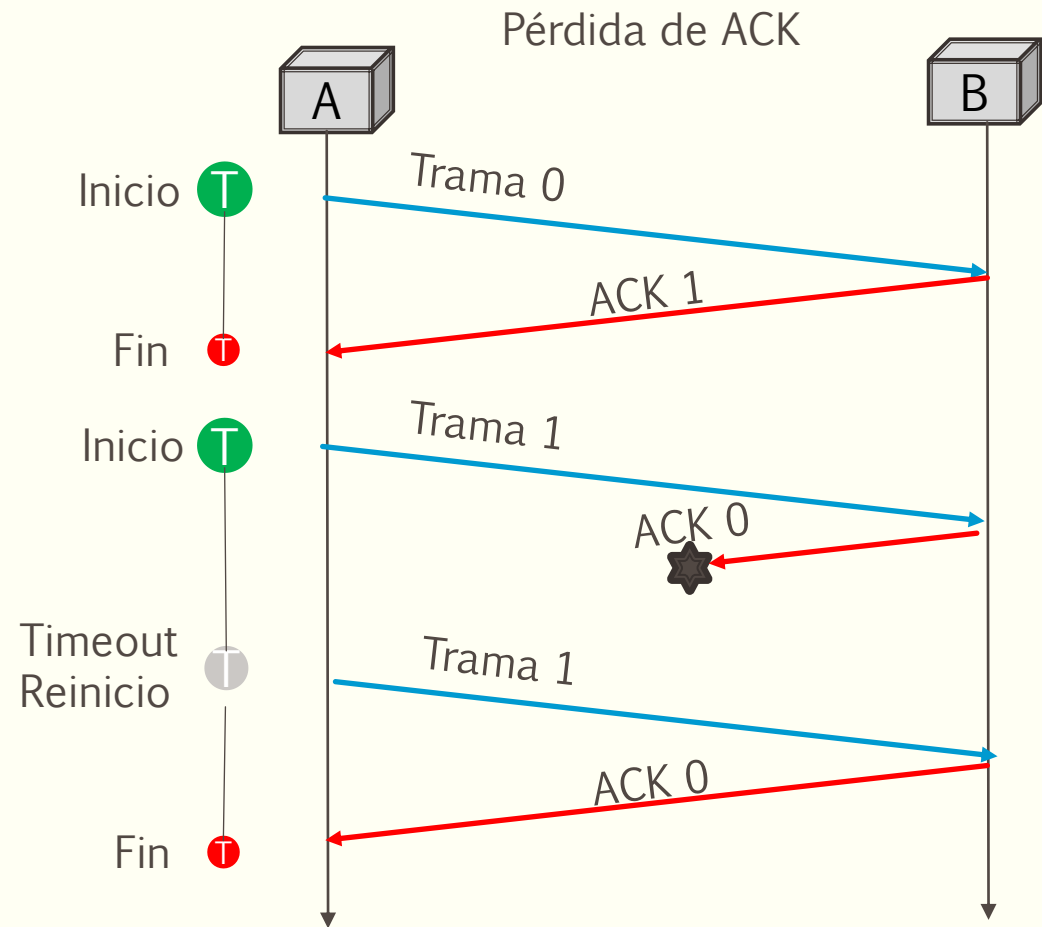
La solución es numerar las tramas y los ACK.

Las secuencias de tramas se numeran con 0,1,0,1.....

Los números de los ACK se numeran con 1,0,1,0.....

Una trama con secuencia 0 es aceptada por un ACK con número 1, indicando que la trama 0 fue recibida y se espera por la trama 1

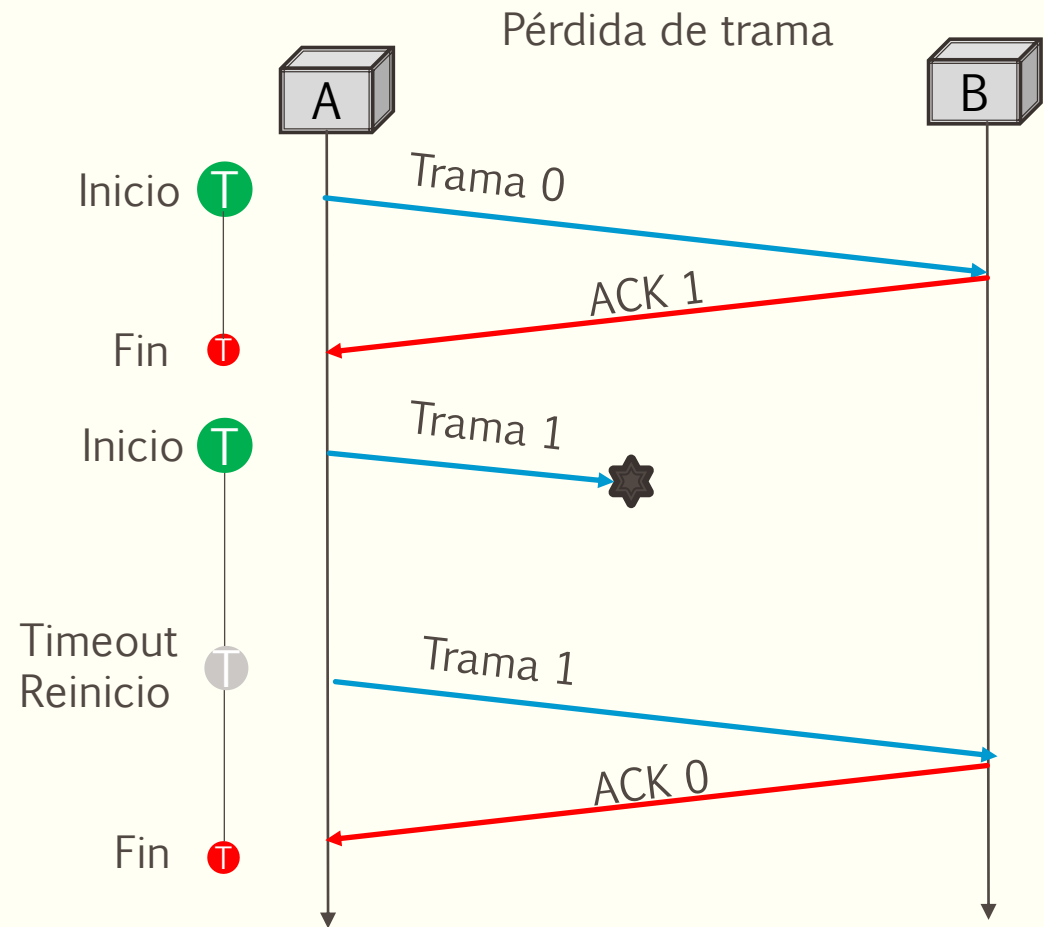
Al estar numeradas, el receptor descarta la trama duplicada



Control de flujo

- Protocolo stop and wait con ARQ

Al estar numeradas las tramas, se evita recibir tramas duplicadas

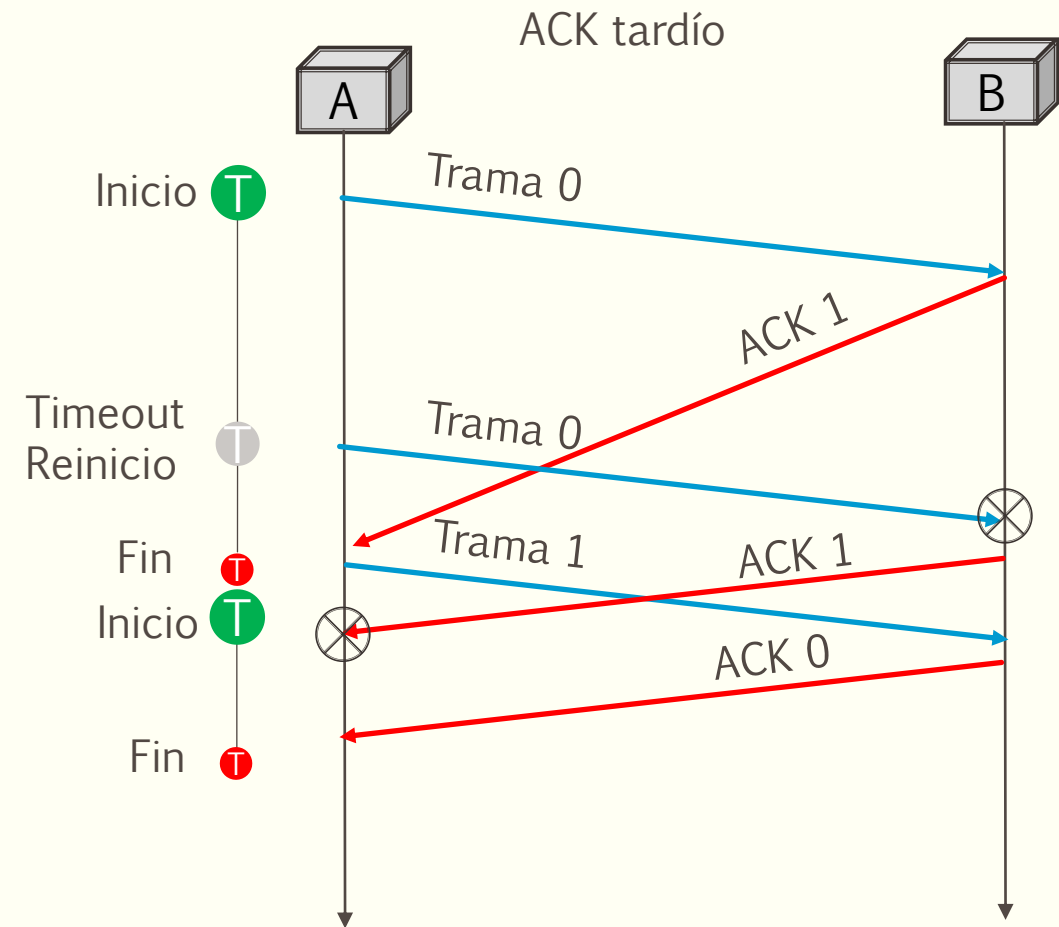


Control de flujo

■ Protocolo stop and wait con ARQ

Un ACK tardío puede provocar que lleguen tramas duplicadas al receptor.

En este caso, al estar numeradas, el receptor desecha la duplicada.



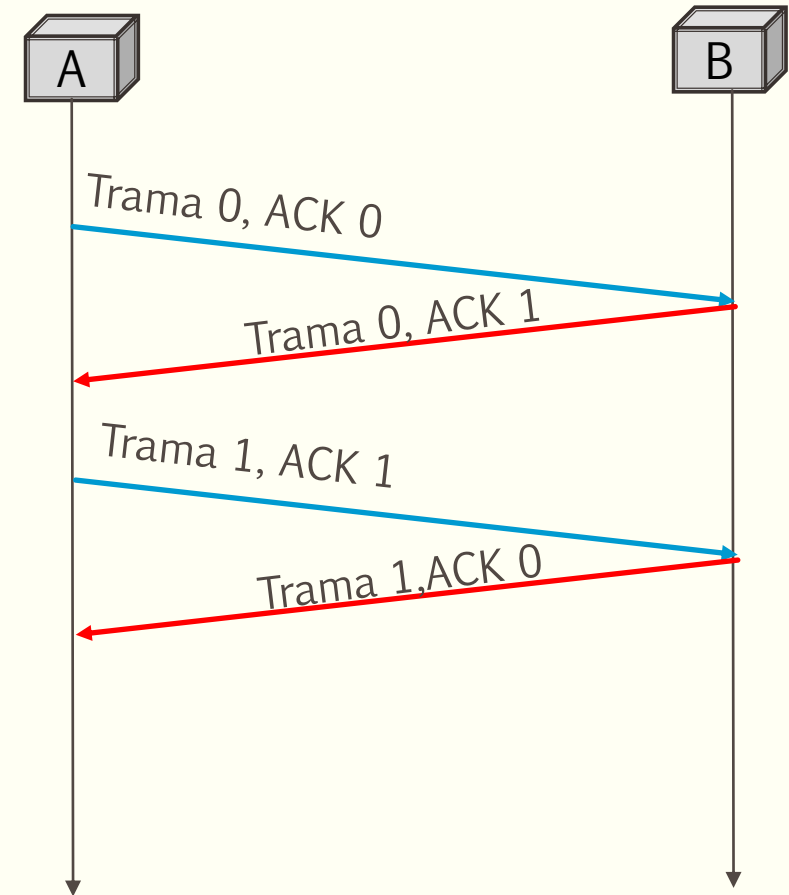
Control de flujo

- Protocolo stop and wait con ARQ
(ARQ: Solicitud de repetición automática)

En una transmisión bidireccional, ambos equipos deben numerar las tramas y los ACK

Se utiliza un procedimiento llamado incorporación de confirmación (piggybacking)

Cada trama de datos incluye un campo en el que se indica el número de secuencia de dicha trama más un campo que indica el número de secuencia que se confirma.



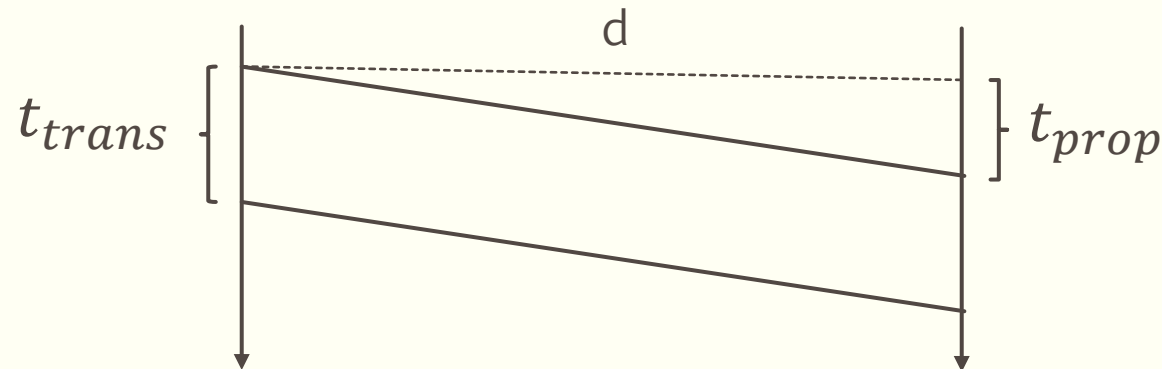
Control de flujo

Eficiencia en los protocolos de parada y espera

Longitud de un enlace en bits: $B = R \frac{d}{V}$ $\left\{ \begin{array}{l} B: \text{longitud del enlace en bits} \\ R: \text{velocidad del enlace en bps.} \\ d: \text{longitud del enlace en metros.} \\ V: \text{velocidad de propagación en m/s.} \end{array} \right.$

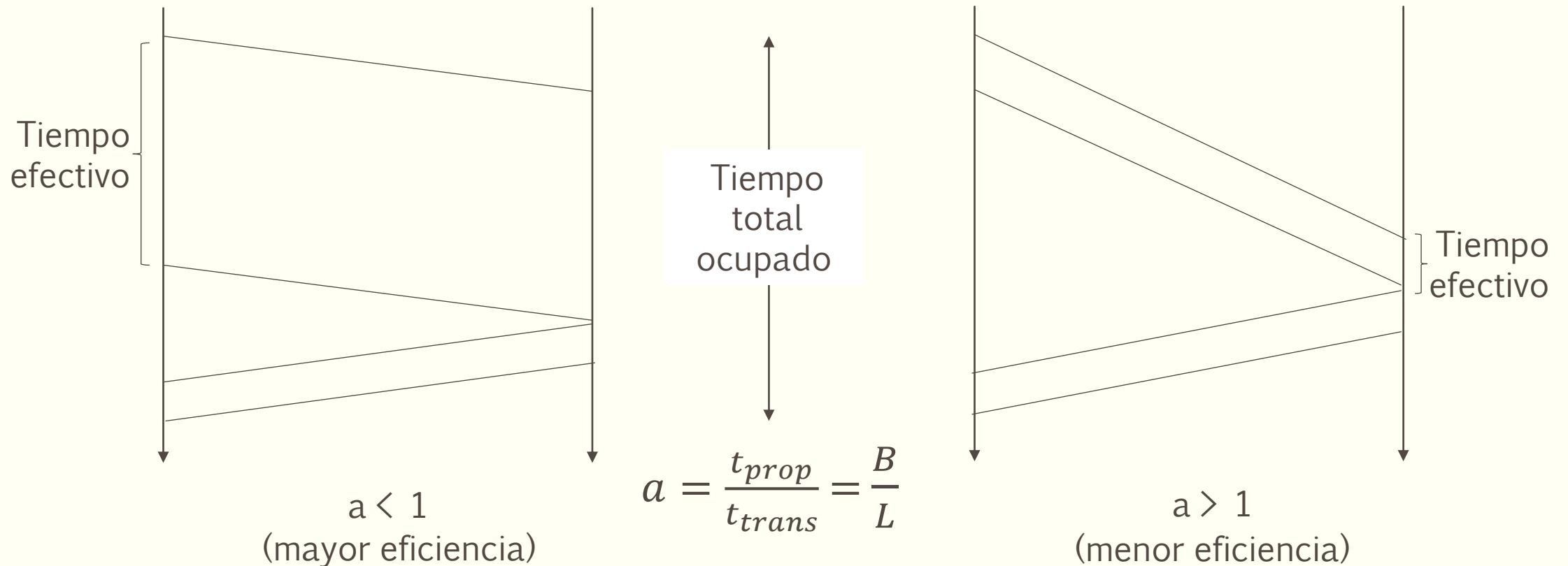
$$a = \frac{t_{prop}}{t_{trans}} = \frac{d/V}{L/R} = \frac{Rd}{LV} = \frac{B}{L}$$

L: longitud de la trama en bits



Control de flujo

Eficiencia en los protocolos de parada y espera



Control de flujo

Eficiencia en los protocolos de parada y espera

- El tiempo total para enviar n tramas, con su correspondiente ACK, es:

$$T = n (t_{trama} + t_{prop} + t_{proc} + t_{ack} + t_{prop} + t_{proc})$$

N : cantidad de tramas

$$t_{trama} = t_{trama}$$

t_{trama} : tiempo de procesamiento

- La utilización será:

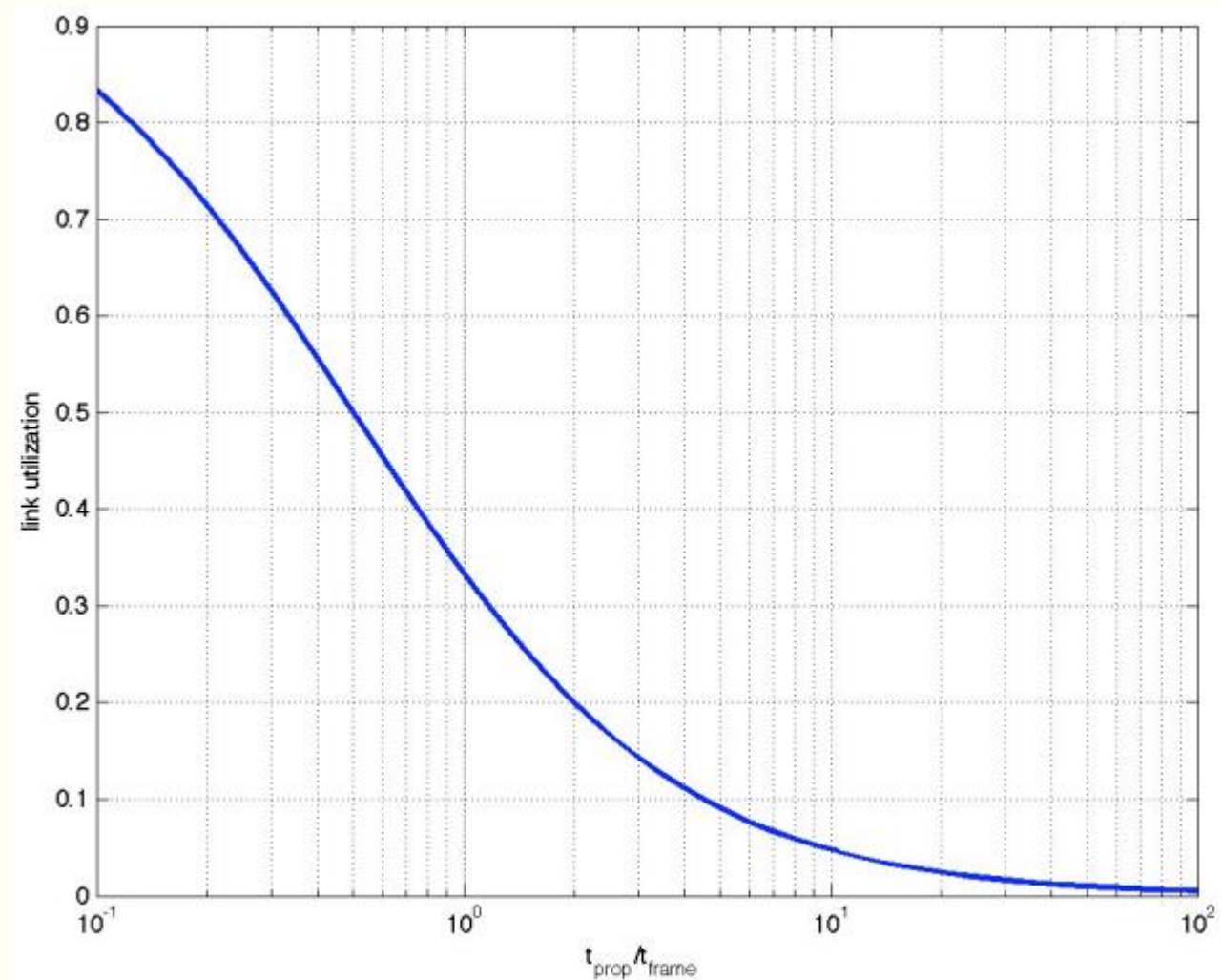
$$U = \frac{n t_{trama}}{n (t_{trama} + t_{prop} + t_{proc} + t_{ack} + t_{prop} + t_{proc})}$$

- En general, $t_{trama} \gg t_{ACK}$, $t_{proc} \cong 0$, entonces:

$$U = \frac{t_{trama}}{t_{trama} + 2 t_{prop}} = \frac{1}{1 + 2 a}$$

$$\text{donde } a = \frac{t_{prop}}{t_{trans}} = \frac{B}{L}$$

Control de flujo



Control de flujo

Eficiencia en los protocolos de parada y espera

- Suponer un sistema de parada y espera, con ARQ, la velocidad de transmisión es de 1 Mbps, el tiempo de propagación ida y vuelta de 1 bit es de 20 ms. ¿Cuál es el producto retardo-ancho de banda? Si la trama es de 1000 bits, ¿Cuál es la eficiencia?

$$B = R \frac{d}{V} = 1 \text{ Mbps} \times 20 \text{ ms} = 20.000 \text{ bits}$$

$$U = \frac{1}{1 + 2 \frac{a}{L}} = \frac{1}{1 + 2 \frac{10 \text{ ms}}{1000 \times 1 \text{ us}}} = \frac{1}{1 + 2 \frac{10 \text{ ms}}{1000 \times 1 \text{ us}}} = 4,76\%$$

¡Si el enlace tiene es de alta velocidad, y/o de alto retardo, es un sistema ineficiente!

Control de flujo

Eficiencia en los protocolos de parada y espera

- ¿Cuál sería la utilización del enlace del punto anterior si el protocolo permitiera al transmisor enviar hasta 15 tramas antes de parar y esperar por el ACK?

El producto ancho de banda – retardo sigue siendo 20000 bits.

El sistema puede enviar hasta 15 tramas (15000 bits) durante un “round trip”. Esto conduce a una utilización de $15000/20000 = 75\%$

Si hay tramas dañadas, la utilización decae.

Control de flujo – Ventanas deslizantes

- Idea básica
- Mejorar la eficiencia (utilización del enlace) mediante la agrupación de las tramas
- Permitir la transmisión de múltiples tramas sin requerir el acuse de recibo inmediato de cada una de ellas.
- Se deberá guardar copia de las tramas hasta que llegue el ACK correspondiente
- Se requieren características adicionales
 - Número de secuencia
 - Ventana deslizante en el transmisor y receptor
 - Control de variables
 - Temporizadores y ACK
 - Reenvío de tramas
 - Operación

Control de flujo – Ventanas deslizantes

Números de secuencia

- La estación que transmite las tramas debe numerarlas secuencialmente.
- Esta información se coloca en la cabecera de la trama.
- Si la cabecera admite m bits para el número de secuencia, dichos números estarán en el rango $0.....2^m-1$

Por ej., si $m = 3$

	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	
--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--

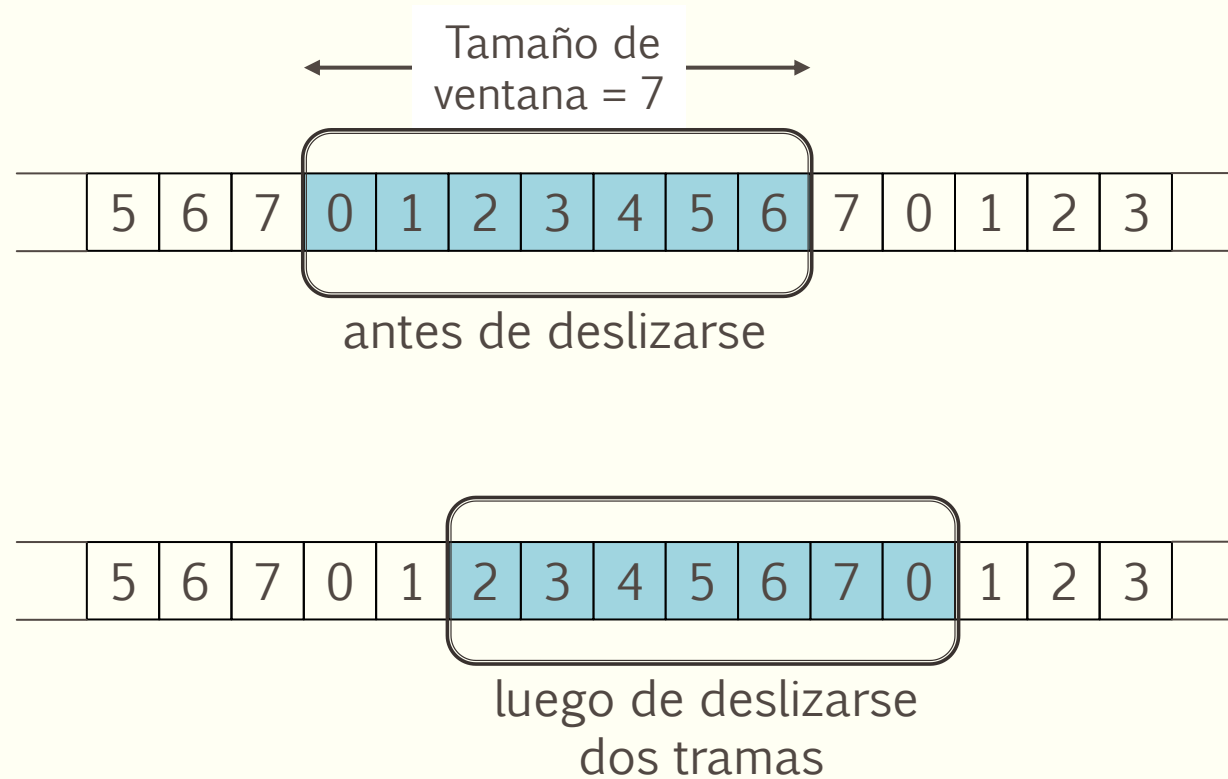
Control de flujo – Ventanas deslizantes

Ventana deslizante del transmisor

- En el lado del transmisor, para retener las tramas pendientes hasta que sean reconocidas, (ACK) se utiliza el concepto de ventana.
- Imaginamos que todas las tramas están en un buffer, las tramas pendientes están en una ventana, que puede deslizarse.
- Las tramas del lado izquierdo de la ventana son las que ya han sido reconocidas y pueden ser purgadas.
- Las tramas del lado derecho de la ventana no pueden ser enviadas hasta que la ventana se deslice sobre ellas.
- El tamaño de la ventana es como máximo de $2^m - 1$
- El tamaño de la ventana es fijo en este protocolo, sin embargo puede ser variable en otros protocolos como TCP.
- La ventana se desliza para incluir nuevas tramas cuando se reciben acuses de recibo correctos.

Control de flujo – Ventanas deslizantes

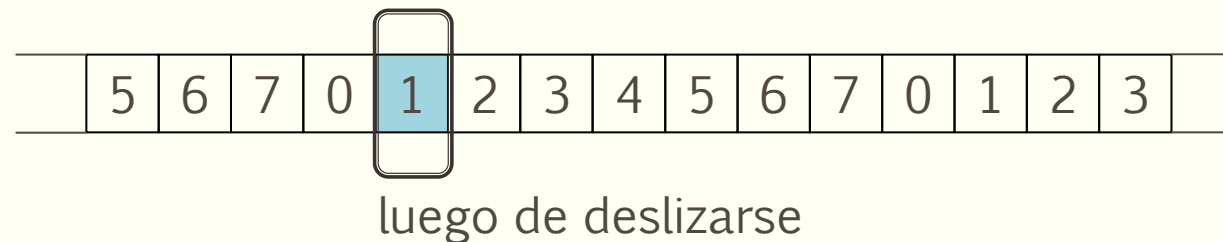
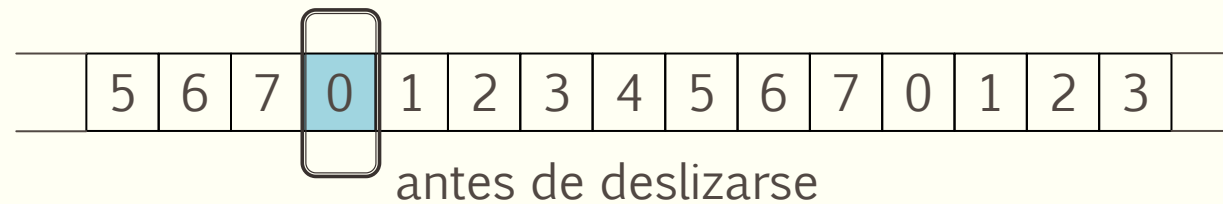
Ventana deslizante del transmisor



Control de flujo – Ventanas deslizantes

Ventana deslizante del receptor

- El tamaño de la ventana en el receptor es igual a 1.
- La ventana se desliza cuando arriba una trama correcta y se mueve una posición.
- Cualquier trama que arribe fuera de orden, es descartada.



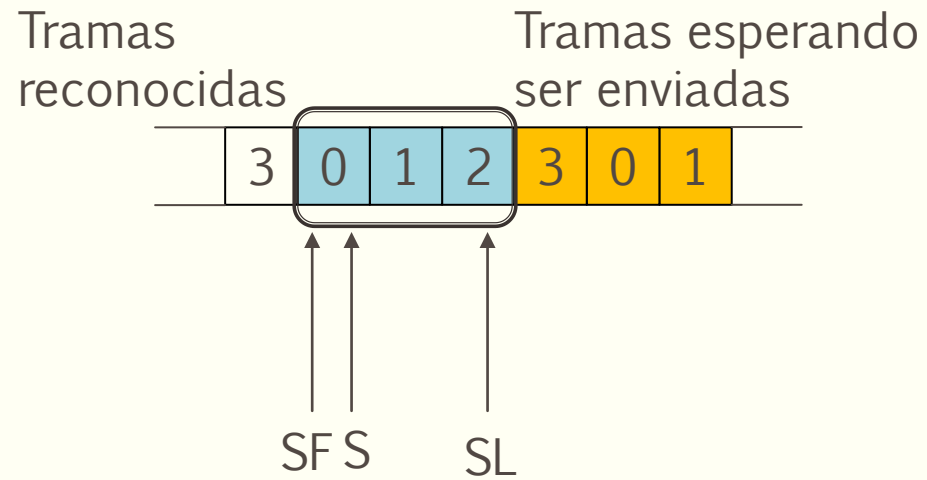
Control de flujo – Ventanas deslizantes

Control de variables

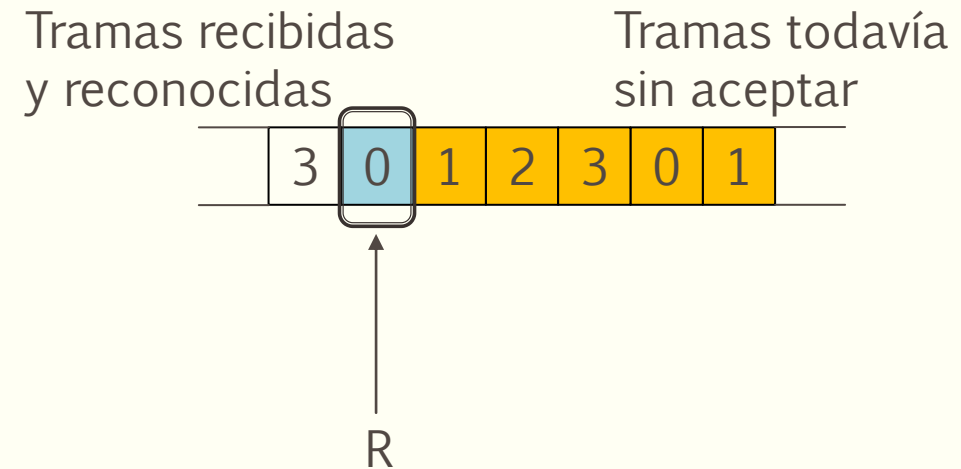
- El transmisor tiene tres variables de control, S, SF y SL
 - S = contiene el número de secuencia de las últimas tramas enviadas.
 - SF = contiene el número de secuencia de la primera trama de la ventana.
 - SL = contiene el número de secuencia de la última trama de la ventana.
- El tamaño de la ventana $W = SL - SF + 1$.
- El receptor tiene una variable, R, que contiene el número de secuencia de la trama que espera recibir.
- Si el número de secuencia de la trama es el mismo que el valor de R, entonces se recibe; caso contrario, se rechaza.

Control de flujo – Ventanas deslizantes

Control de variables



Ventana de transmisión



Ventana de recepción

Control de flujo – Ventanas deslizantes

Temporizadores y Acknowledgment (ACK)

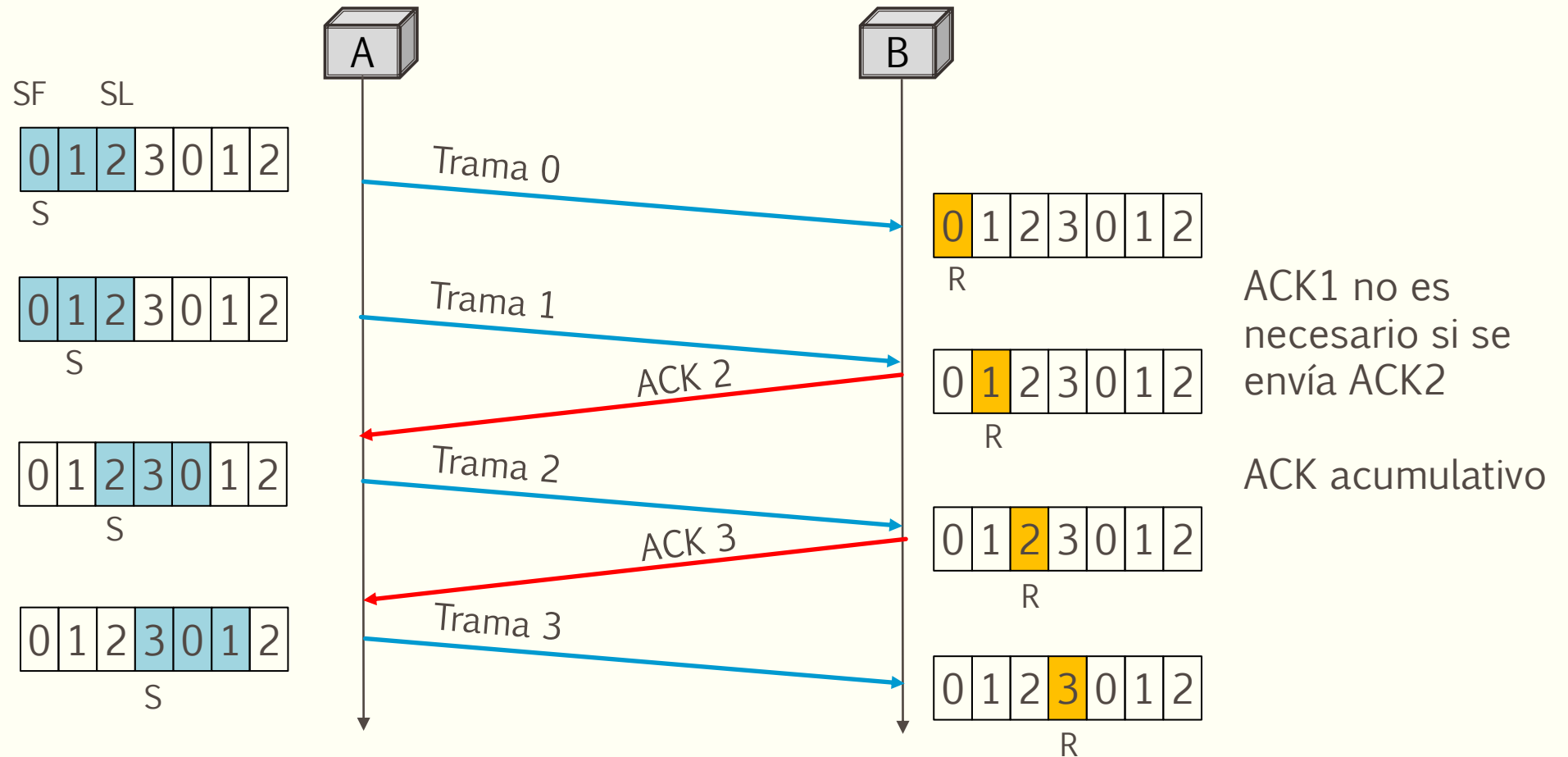
- El transmisor tiene un temporizador para cada trama. El receptor no tiene.
- El receptor envía acuses de recibo positivos si una trama ha llegado sana y salva y en orden.
- Si una trama está dañada o se recibe fuera de orden, el receptor guarda silencio y descarta todas las tramas posteriores hasta que recibe la que espera.
- El silencio del receptor hace que el temporizador de la trama no reconocida expire.
- Esto, a su vez, hace que el emisor vuelva a enviar todas las tramas, empezando por la que hace que el temporizador expire.
- El receptor no tiene que acusar recibo de cada trama recibida, sino que puede enviar un accuse de recibo acumulado para varias tramas.

Control de flujo – Ventanas deslizantes

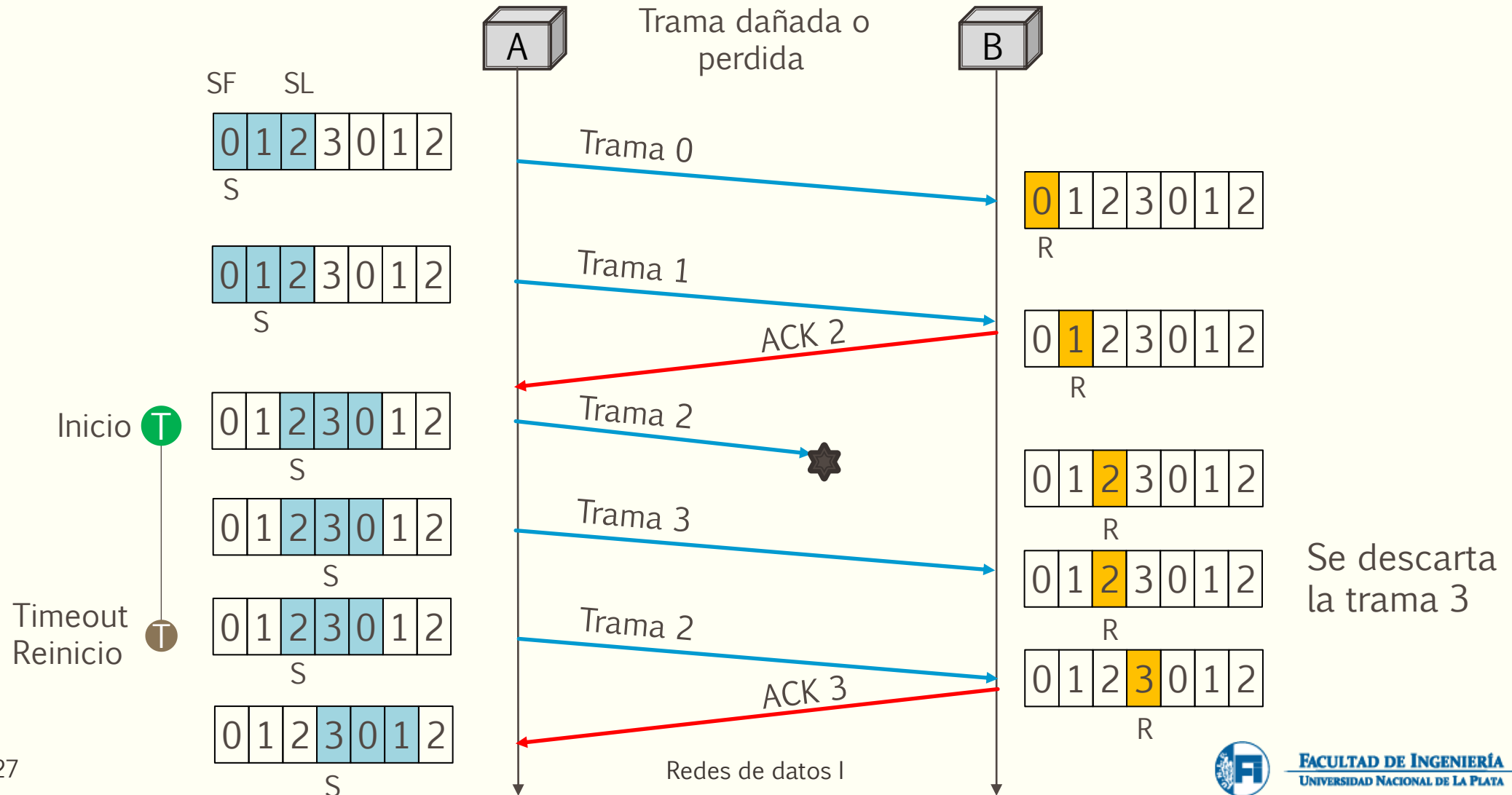
Reenvío de tramas

- Cuando una trama se daña, el emisor vuelve atrás y envía un conjunto de tramas empezando por la dañada hasta la última enviada.
- Por ejemplo, el emisor ha enviado la trama 6, pero el temporizador ha expirado para la trama 3, lo que significa que el emisor vuelve a enviar las tramas 3, 4, 5 y 6 de nuevo.
- A este protocolo se lo llama Ventanas deslizantes con retroceso - N ARQ.

Control de flujo – Ventanas deslizantes con retroceso - N



Control de flujo – Ventanas deslizantes con retroceso - N

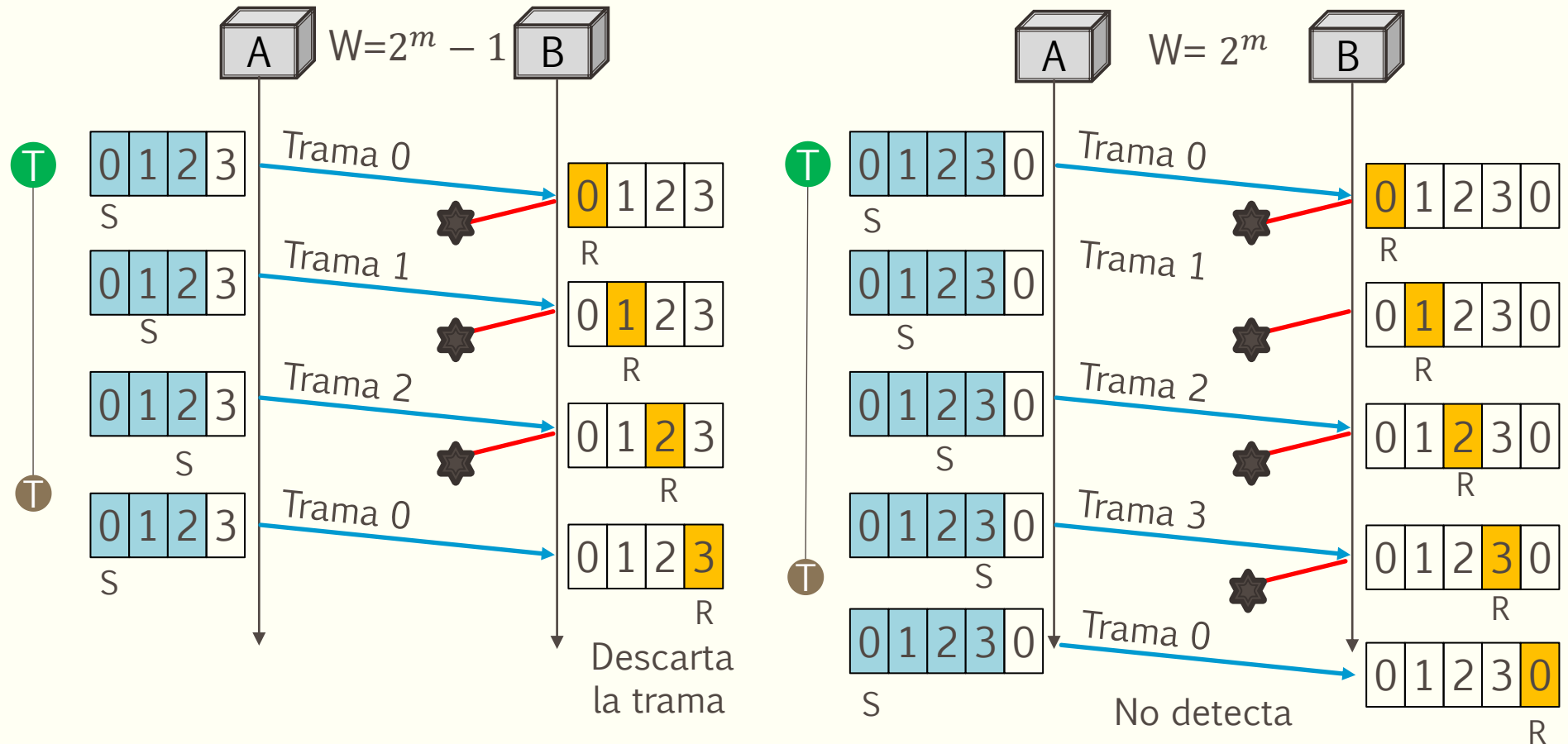


Control de flujo – Ventanas deslizantes con retroceso - N

- Si lo que se pierde o se daña es el ACK, hay dos posibilidades:
 - Si el siguiente ACK llega al transmisor antes de que expire el temporizador, no hay necesidad de retransmitir tramas ya que los ACK son acumulativos (ACK-3 implica que ACK-0 hasta ACK-3)
 - Si el siguiente ACK llega al transmisor después de que expire el temporizador, se deben reenviar todas las tramas afectadas por el temporizador.
- El receptor nunca reenvía los ACK (no tiene temporizador)
- Un ACK tardío implica reenviar las tramas.
- Para mejorar la eficiencia, se puede utilizar piggybacking (cada terminal debe tener una ventana de transmisión y una de recepción).

Control de flujo – Ventanas deslizantes con retroceso - N

¿Por qué la ventana debe ser menor que $2^m - 1$?

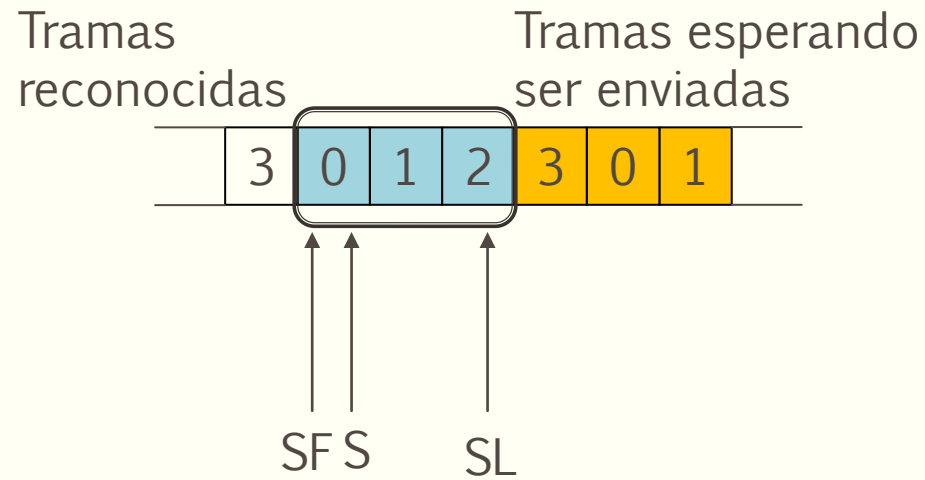


Control de flujo – Ventanas deslizantes con repetición selectiva

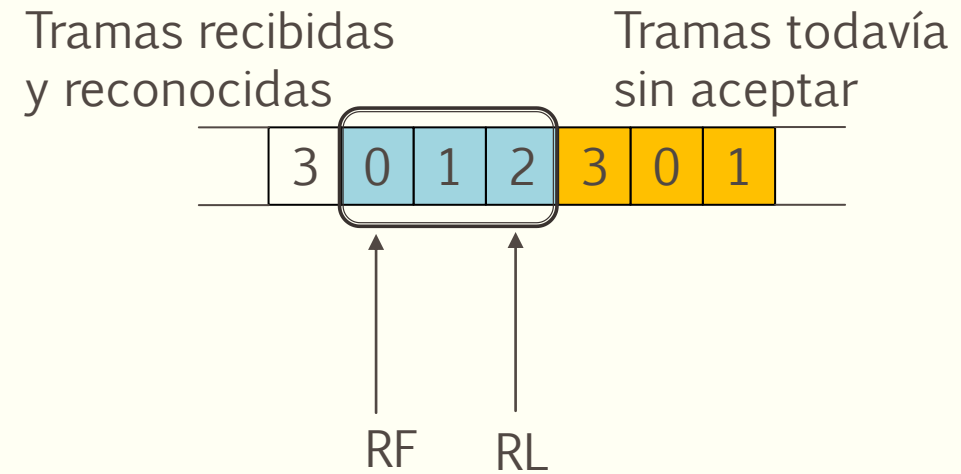
- La configuración del emisor y sus variables de control para la ARQ de repetición selectiva son las mismas que para la ARQ de retroceso-N.
- Se reenvían solamente las tramas dañadas o perdidas.
- Se define un reconocimiento negativo (NACK) para reportar los números de secuencia de las tramas dañadas o perdidas, antes que finalice el temporizador.
- Transmisor y receptor deben tener una ventana con un tamaño máximo que sea la mitad del valor 2^m .
- La ventana del receptor especifica el rango de tramas recibidas que son aceptadas.
- En retroceso-N, el receptor busca un número de secuencia específico; en la repetición selectiva, el receptor busca un rango de números de secuencia.
- El receptor tiene dos variables de control RF y RL para definir los límites de la ventana.

Control de flujo – Ventanas deslizantes con repetición selectiva

Control de variables

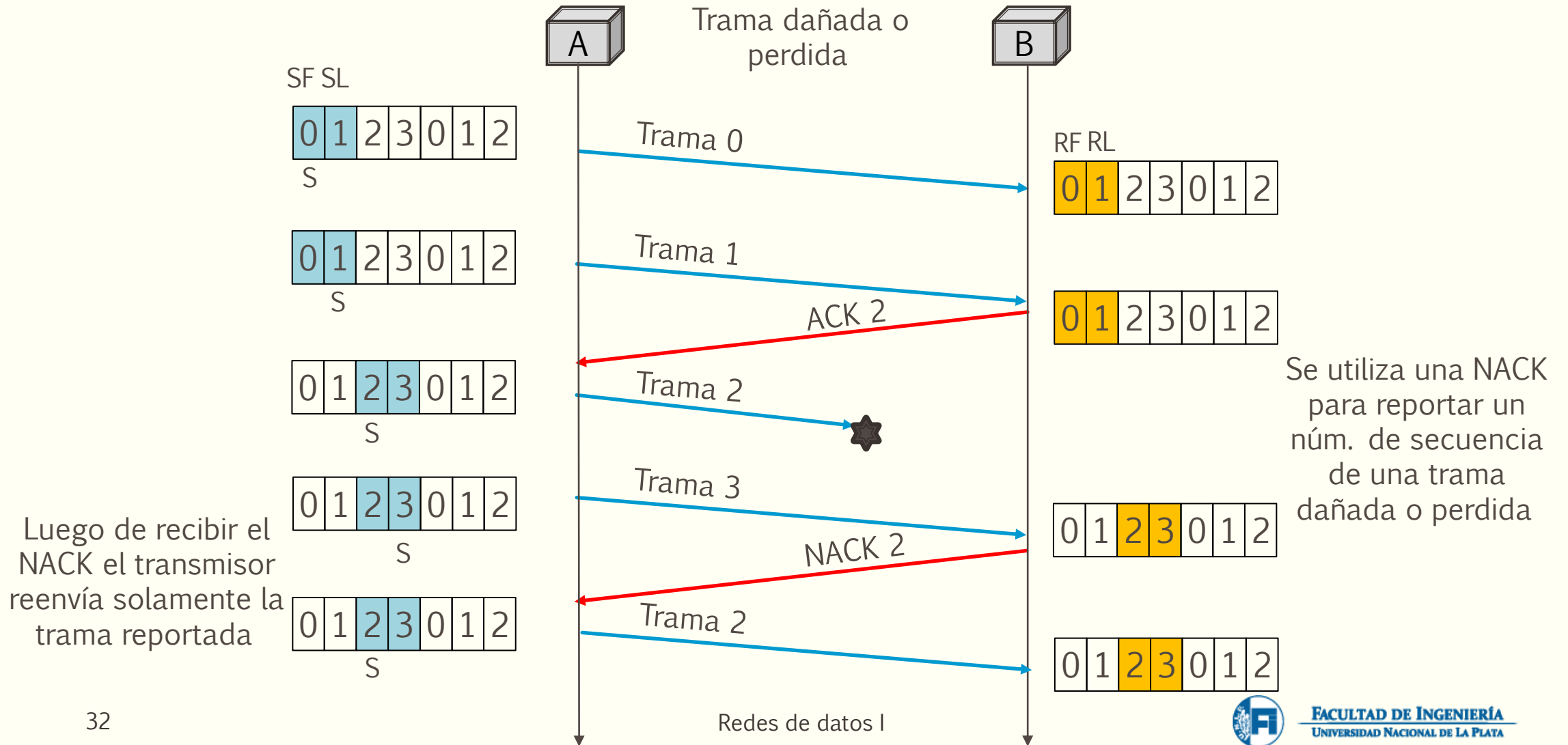


Ventana de transmisión



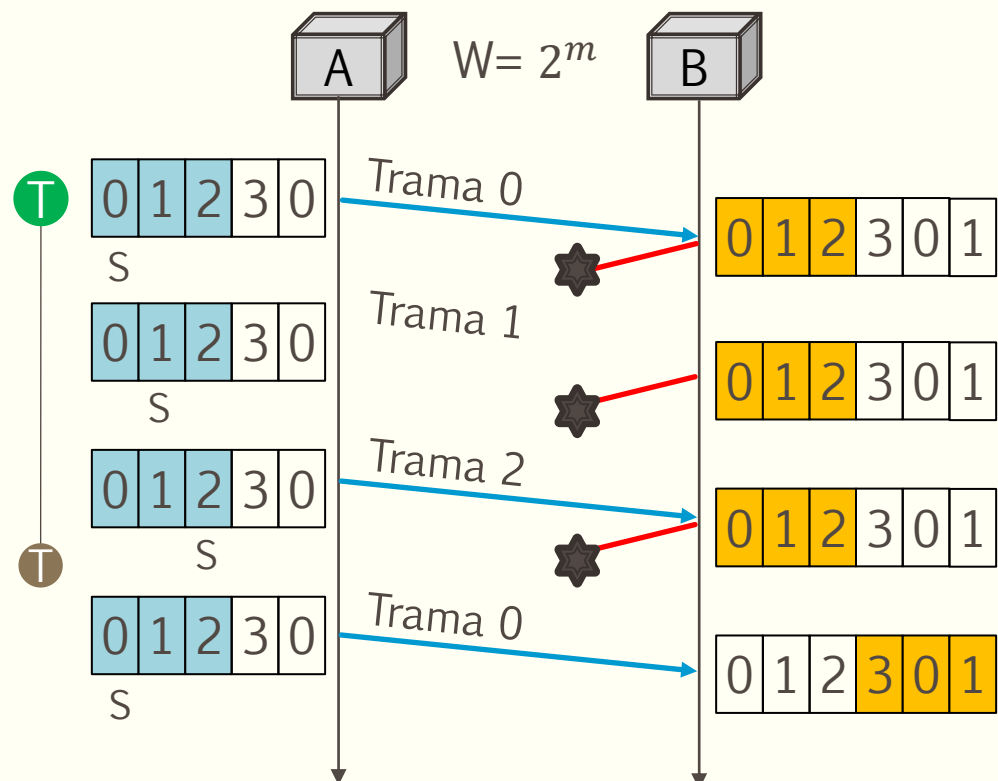
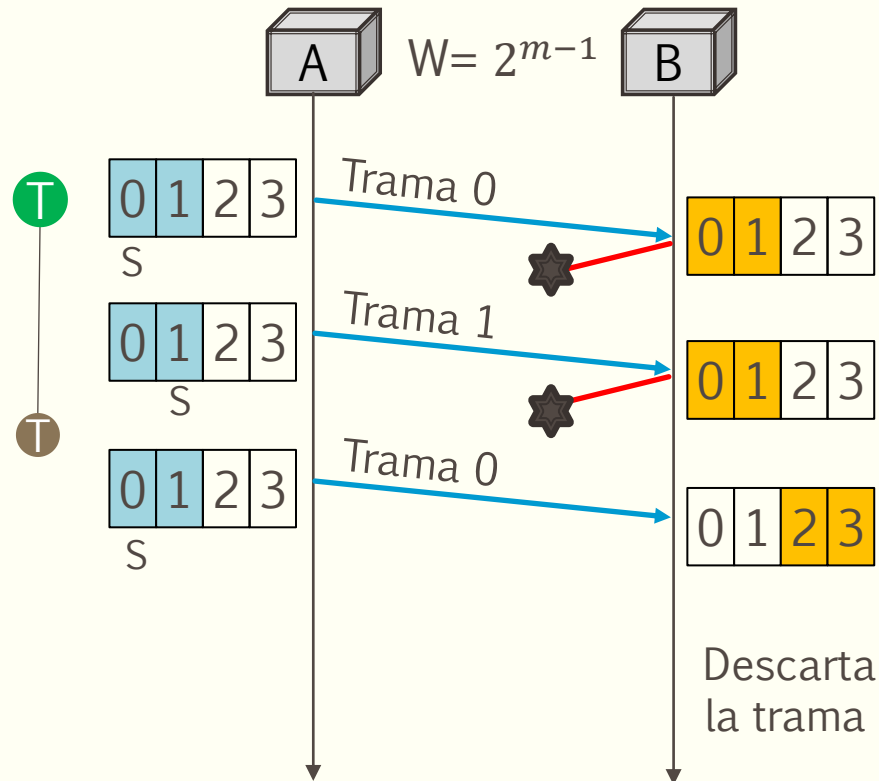
Ventana de recepción

Control de flujo – Ventanas deslizantes con repetición selectiva



Control de flujo – Ventanas deslizantes con repetición selectiva

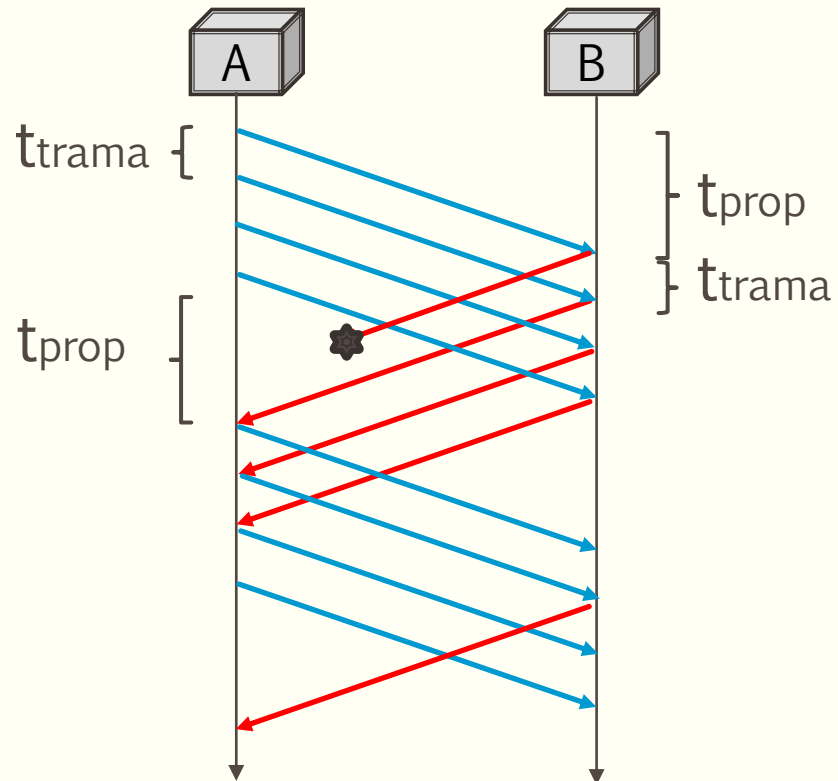
¿Por qué la ventana debe ser menor que $2^m/2$?



B espera recibir las tramas 3-0-1 (éstas dos de la nueva secuencia) y aceptará la 0-1 que A está retransmitiendo

Control de flujo – Ventanas deslizantes

- Utilización



Asumiendo que $t_{proc} \cong 0$

$$U = \frac{W \times t_{trama}}{2 \times t_{prop} + t_{trama}}$$

$$U = \begin{cases} \frac{W}{2a + 1} & \text{si } W \leq 2a + 1 \\ 1 & \text{si } W \geq 2a + 1 \end{cases}$$

Control de flujo – Ventanas deslizantes

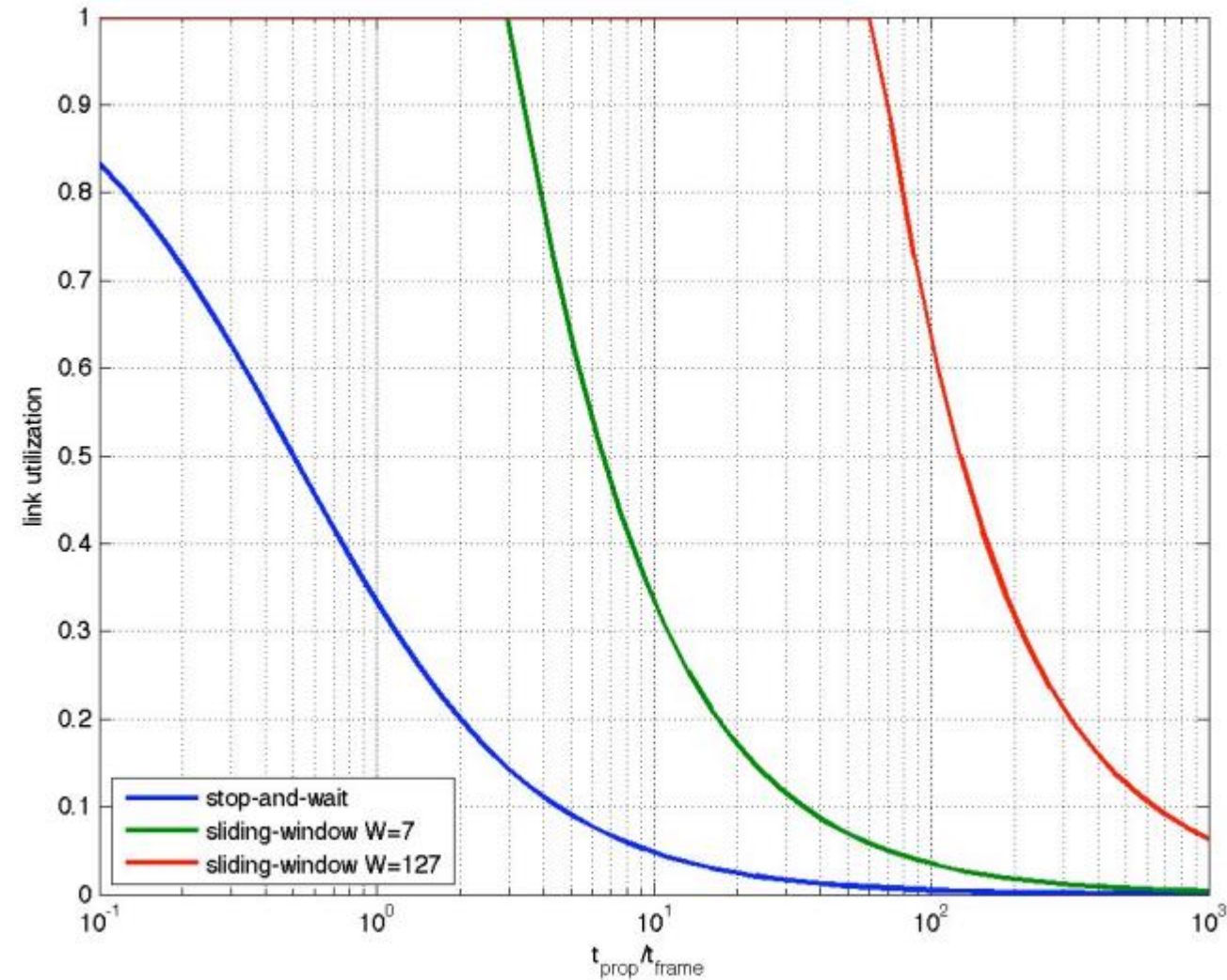
- Un satélite ubicado a 72.000 km opera un enlace a 1 Mbps. La velocidad de propagación es de 3×10^8 m/s. El largo de la trama es de 8,000 bits. Calcular la longitud mínima de la ventana del protocolo para que tenga una eficiencia de 100%

$$U = \frac{W}{1 + 2a} \quad a = \frac{t_{prop}}{t_{trama}} = \frac{\frac{72.000 \times 10^3 m}{3 \times 10^8 m/s}}{8.000 \times 1 \mu s} = 30$$

$$U = \frac{W}{1 + 2 \times 30} = \frac{W}{61}$$

$$W \geq 61$$

Control de flujo – Ventanas deslizantes



HDLC

High Level Data Link Control

Es un protocolo de ventana deslizante.

Especificado en ISO 3309, ISO 4335 (del año 1979). Deriva del SDLC (Synchronous Data Link Control) desarrollado por IBM en 1972 para su arquitectura SNA.

Es uno de los mas importantes de la capa de enlace.

Es la base de muchos otros protocolos de esta capa:

- PPP: Internet
- LLC (IEEE 802.2) : redes locales
- LAP-B : X.25
- LAP-F : Frame Relay
- LAP-M: módems telefónicos

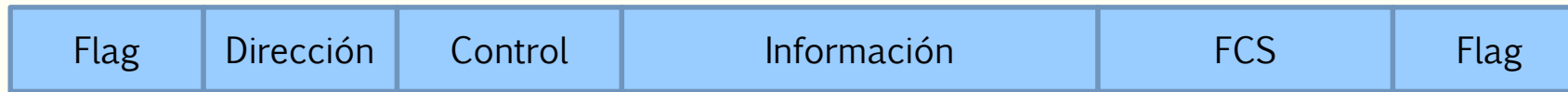
HDLC

HDLC tiene dos métodos de comunicación y transmisión

- NRM (Normal Response Mode)
 - Las estaciones se configuran en modo no balanceado
 - Existe una estación primaria y múltiples secundarias
 - La estación primaria (una por enlace) puede enviar comandos, es la responsable de recuperar errores y del funcionamiento del enlace
 - La estación secundaria envía solo respuestas
 - Se utiliza tanto en enlaces punto a punto como en punto multipunto
- ABM (Asynchronous Balance Mode)
 - Las estaciones se configuran en modo balanceado
 - Cada estación puede funcionar como primaria o secundaria (combinadas)
 - Se utiliza en enlaces punto a punto

HDLC

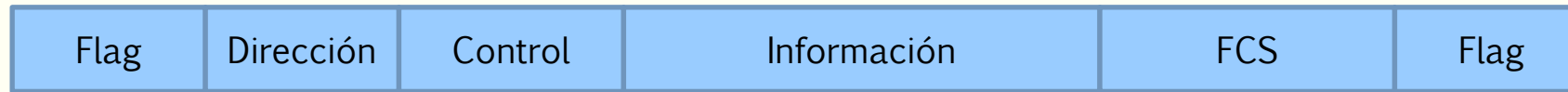
Estructura de la trama



- Flags: secuencia de 8 bits (1 byte) con patrón de bits 01111110, delimitan la trama
- Dirección: contiene la dirección de la estación secundaria
 - Si la estación primaria genera la trama, contiene la dirección “Para”
 - Si la estación secundaria genera la trama, contiene la dirección “De”
 - La longitud puede ser de 1 byte, o varios bytes.
 - 1 byte puede representar hasta 128 estaciones (se reserva 1 bit)
 - Si la dirección es de 1 byte, el último bit es 1
 - Si la dirección es mayor a 1 byte, todos los bytes finalizan en 0, y el último finaliza en 1
 - Al finalizar en 0 los bytes intermedios, indica que al receptor que hay mas bytes para la dirección

HDLC

Estructura de la trama



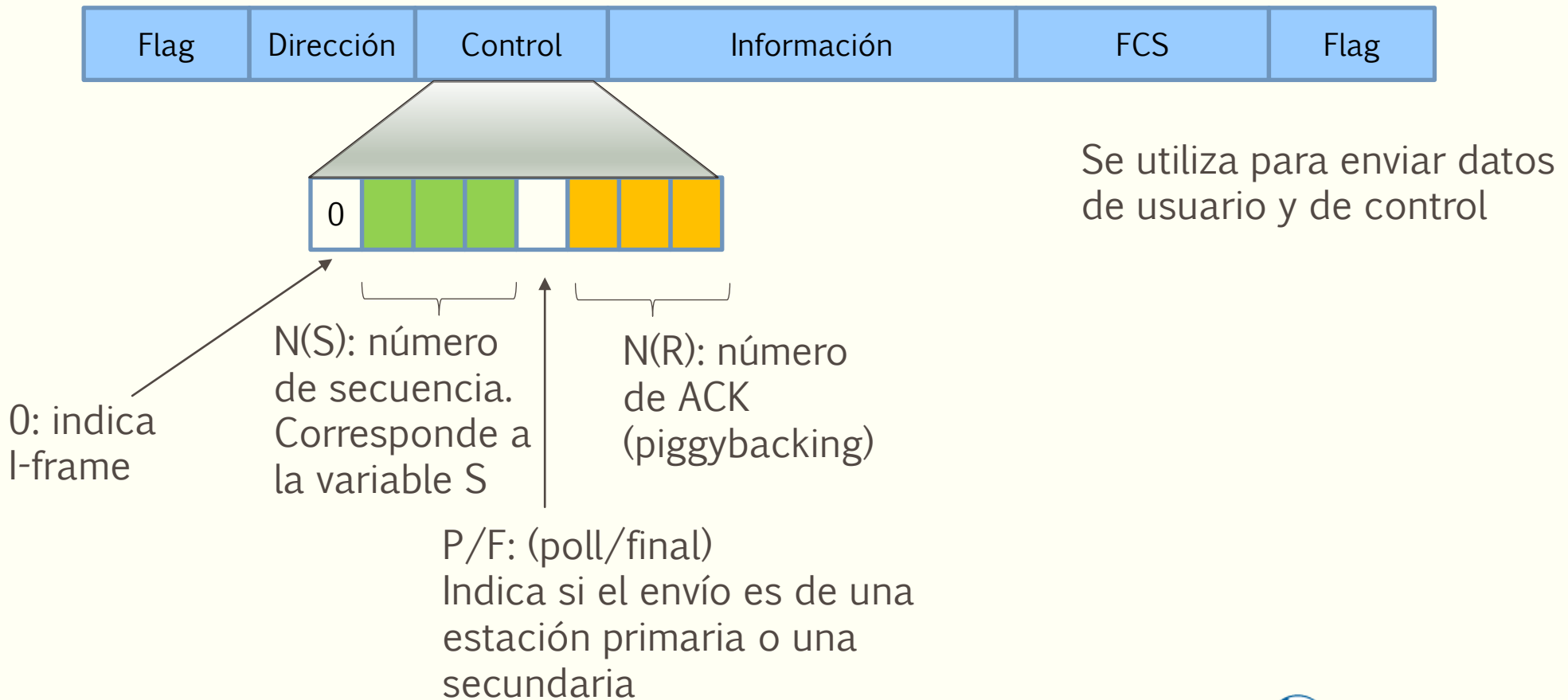
- Control: 1 o 2 bytes utilizados para control de flujo y de error.
- Información: contiene los datos de usuario provistos por la capa de red, o información de gestión de la red. La longitud del campo puede variar de una red a otra, pero en una red particular es fija. Se utiliza bitstuffing.
- FCS: Secuencia de chequeo de trama, para detectar errores. Puede contener 2 o 4 bytes (CRC-16 o CRC-32)

HDLC

- HDLC define tres tipos de tramas:
- Information Frames (I-frames): se utilizan para transmitir datos de usuario e información de control relacionada con los datos (piggybacking).
- Supervisory Frames (S-frames): se utilizan solamente para transmitir información de control
- Unnumbered Frames (U-frames): reservadas para la gestión del sistema. La información que llevan está destinada a la gestión del propio enlace.

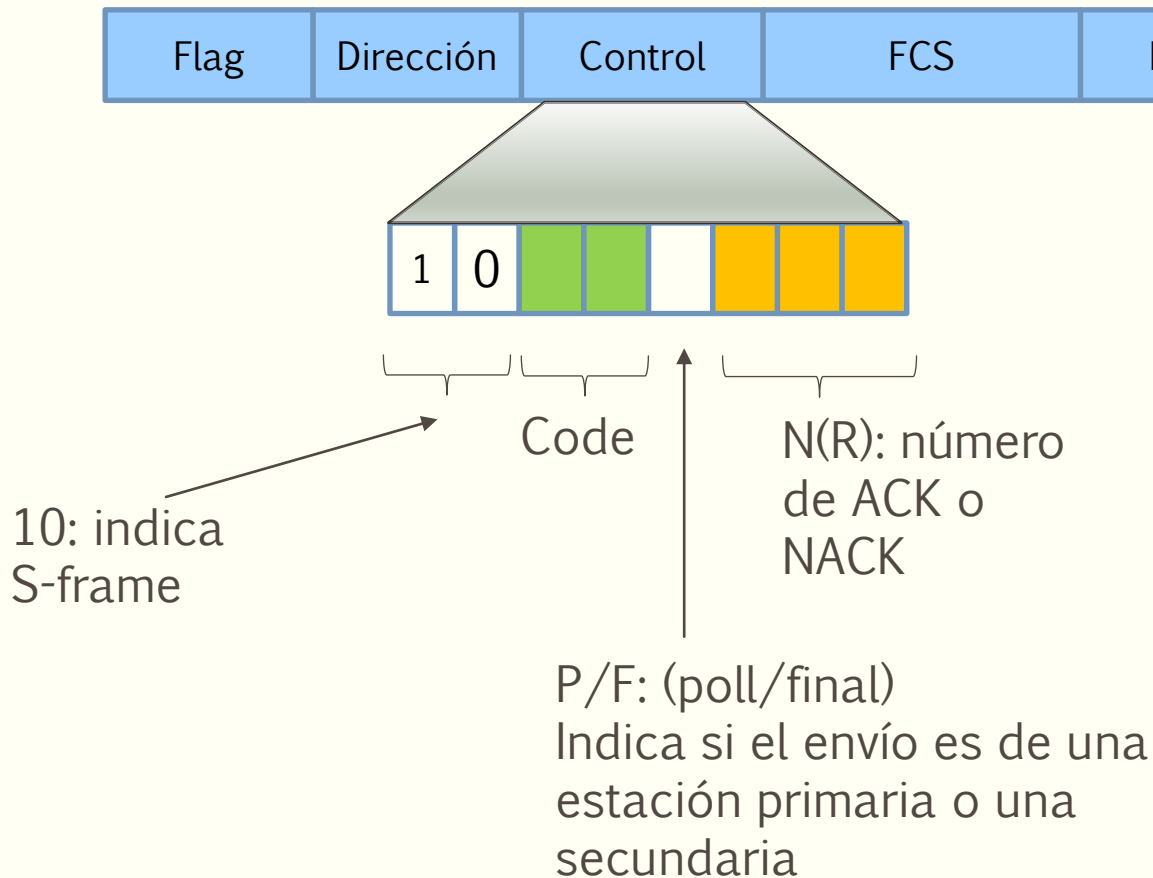
HDLC

■ I-frame



HDLC

■ S-frame



Se utiliza para el control de flujo y de errores, siempre que el piggybacking sea imposible o inapropiado.

No lleva campo de información

Code

00: Receiver Ready (RR)

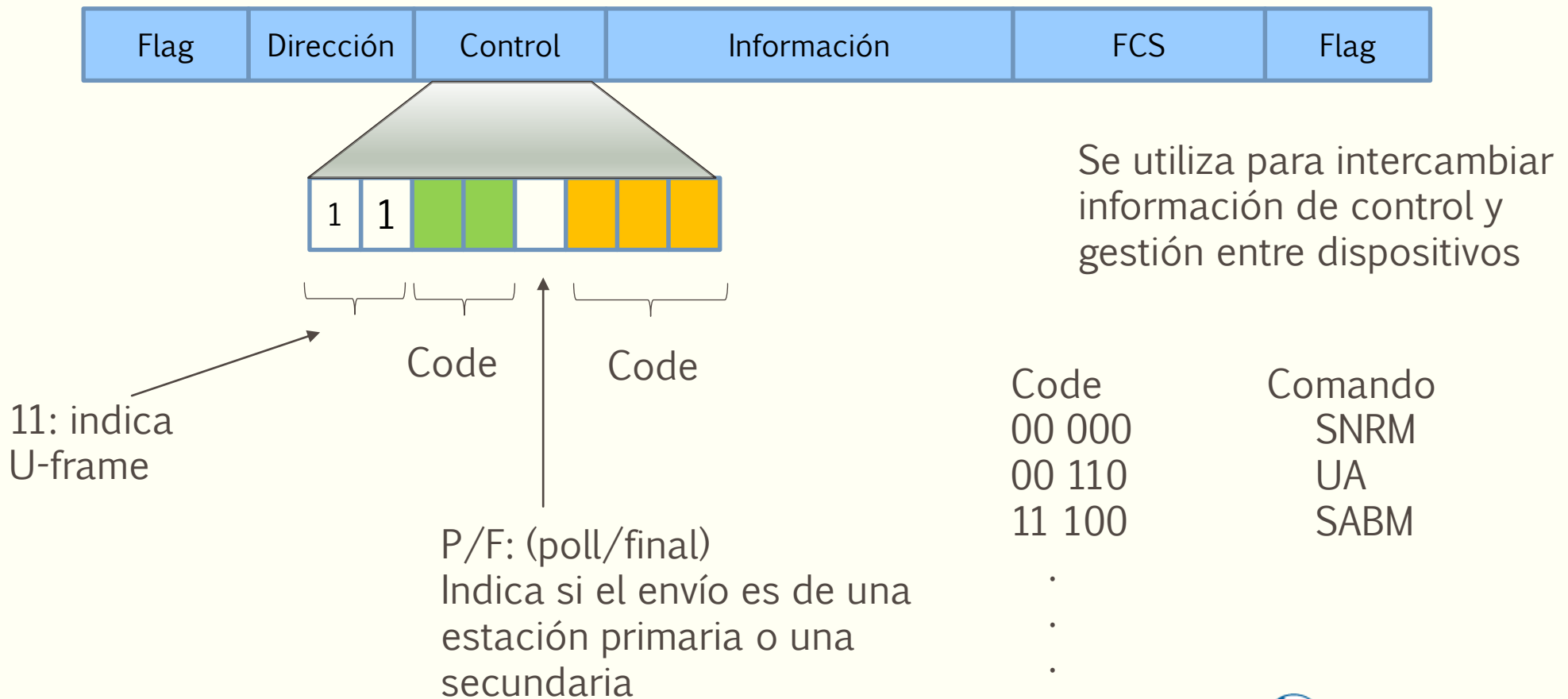
10: Receiver Nor Ready (RNR)

01: Reject (REJ) (NACK en retroceso N)

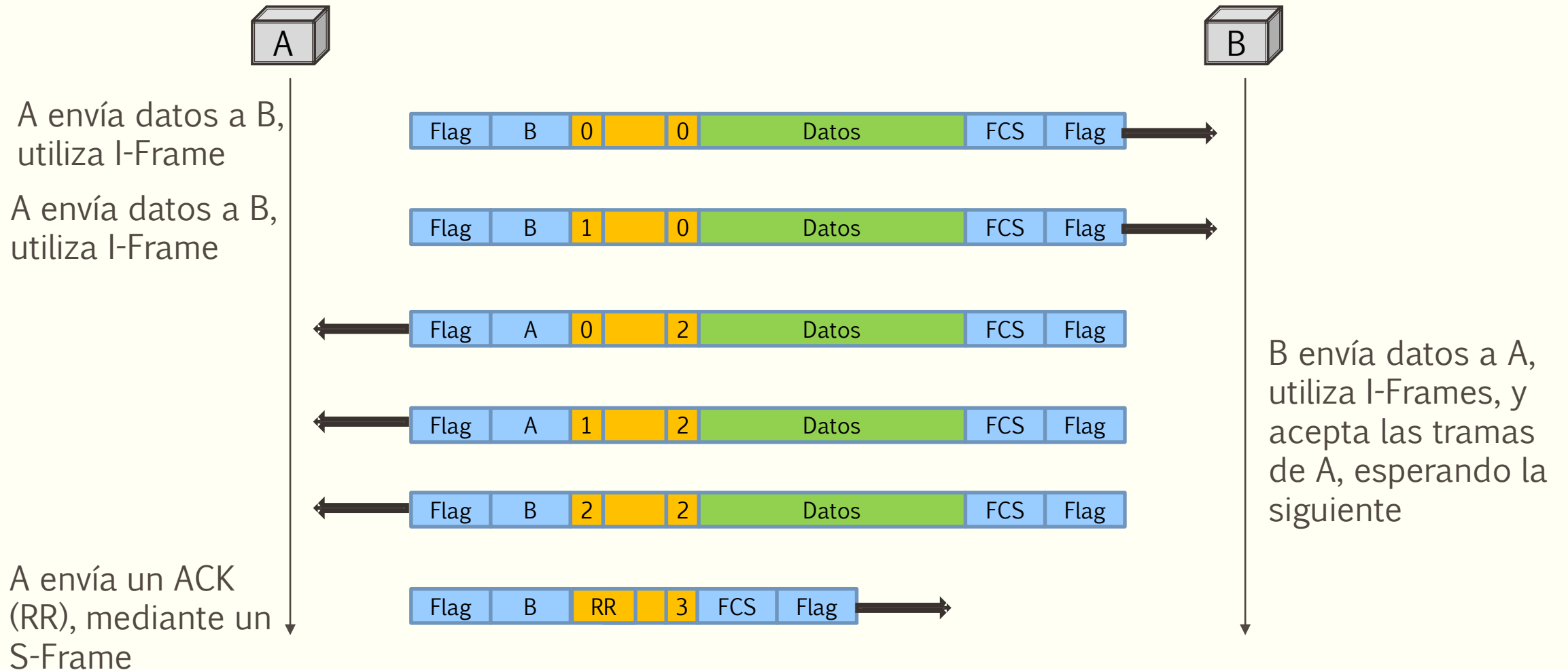
11: Selective Reject (SREJ) (NACK en repetición selectiva)

HDLC

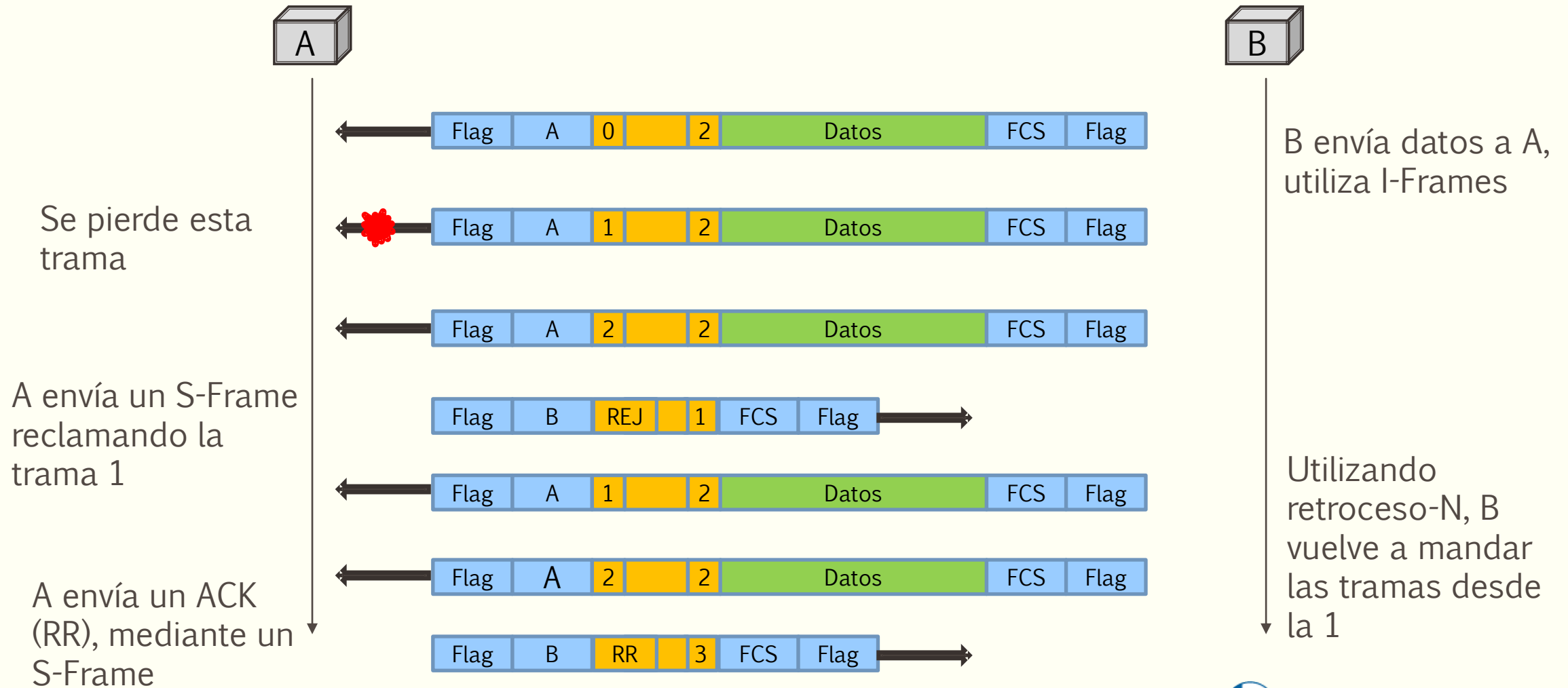
■ U-frame



HDLC



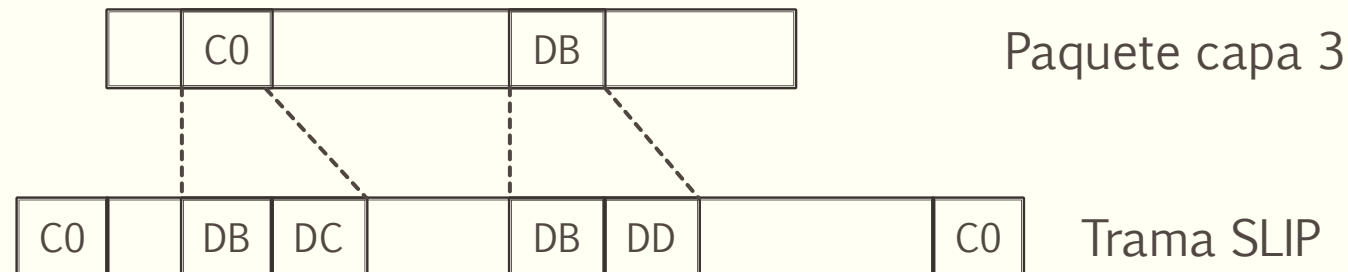
HDLC



SLIP

SLIP: Serial Line Internet Protocol

- Es un protocolo diseñado para enviar paquetes IP (capa 3) a través de enlaces seriales. Su finalidad es la de delimitar la trama (utiliza el carácter “C0” en ASCII)
- Puede utilizarse para enlazar dos equipos a través de un cable directo o mediante la utilización de módems.
- No llegó a ser estándar
- Debilidades:
 - No provee detección ni corrección de errores
 - No hay un mecanismo para intercambiar información sobre el direccionamiento (cada host debe conocer la dirección IP del otro)
 - No posee un campo de “Tipo” para indicar el protocolo al que pertenecen los datos
 - No hay método de autenticación



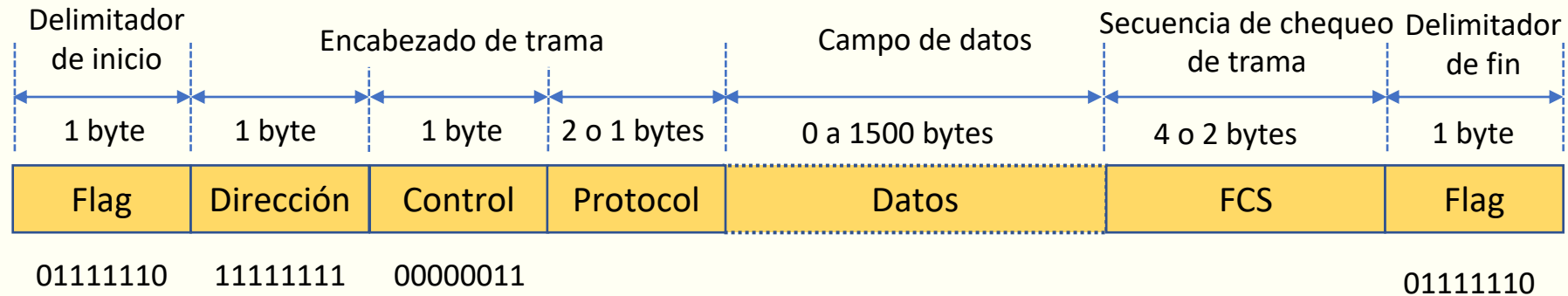
PPP

PPP: Point to Point Protocol

- Desarrollado por IETF (Internet Engineering Task Force), RFC 1661 a 1663
- Proporciona un método estándar para transportar datagramas multiprotocolo a través de enlaces punto a punto
- Tiene tres componentes:
 - Un método para encapsular paquetes multi protocolos y manejar la detección de errores
 - Un protocolo de control de enlace (LCP) para establecer, configurar, monitorear y finalizar la conexión
 - Una familia de protocolos de control de red (NCP) para establecer y configurar diferentes protocolos de la capa de red
- Provee mecanismos de autenticación (como PAP y CHAP) y encriptación
- Protocolo orientado a byte
- Utilizado en conexiones entre módems (conexiones “dial up”), en ADSL, entre Routers, etc.

PPP

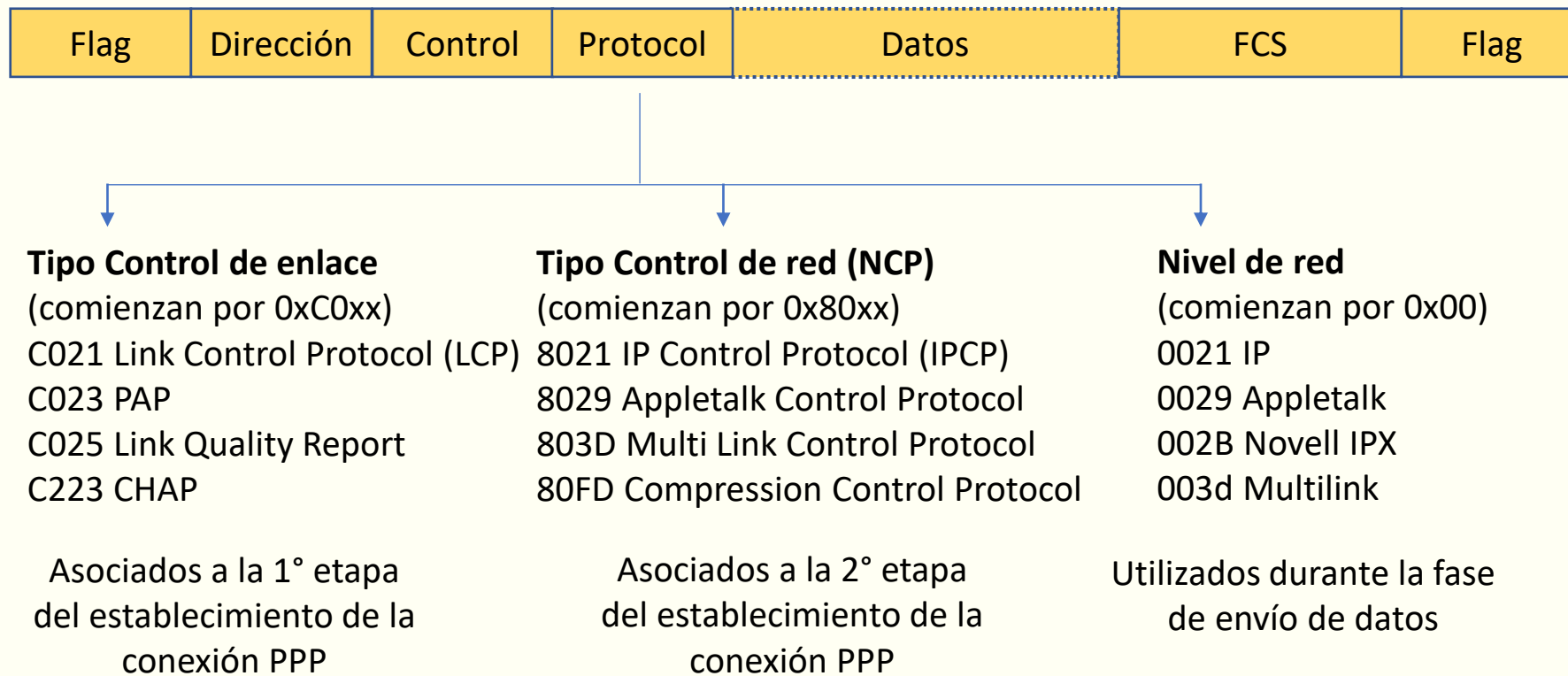
PPP: Point to Point Protocol – Estructura de la trama



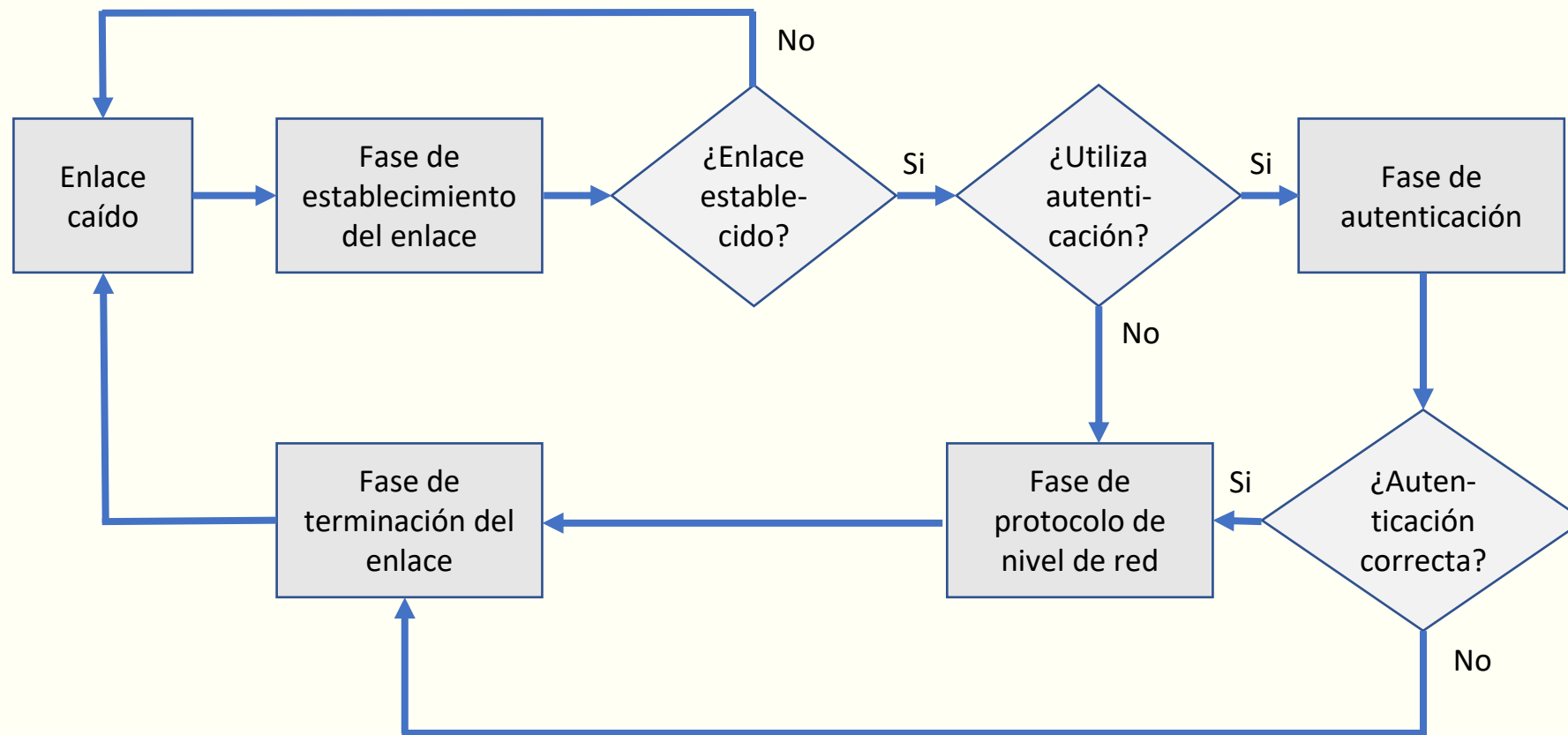
- Utiliza el carácter 0x7E (01111110) como delimitador de trama
- El campo de dirección 0xFF (11111111) equivale a la dirección broadcast en HDLC
- El campo de control 0x03 (00000011) equivale a tramas no numeradas en HDLC (sin ACK)
- Típicamente, luego de establecido el enlace, las partes acuerdan omitir los campos de dirección y control
- El campo de protocolo indica el tipo de protocolo a la cual pertenecen los datos que son enviados.
- El tamaño máximo del campo de datos es de 1500 bytes por defecto, aunque puede ser negociado.
- Utiliza CRC-16 o CRC-32. Se calcula sobre el campo de dirección, control, protocolo y los datos.

PPP

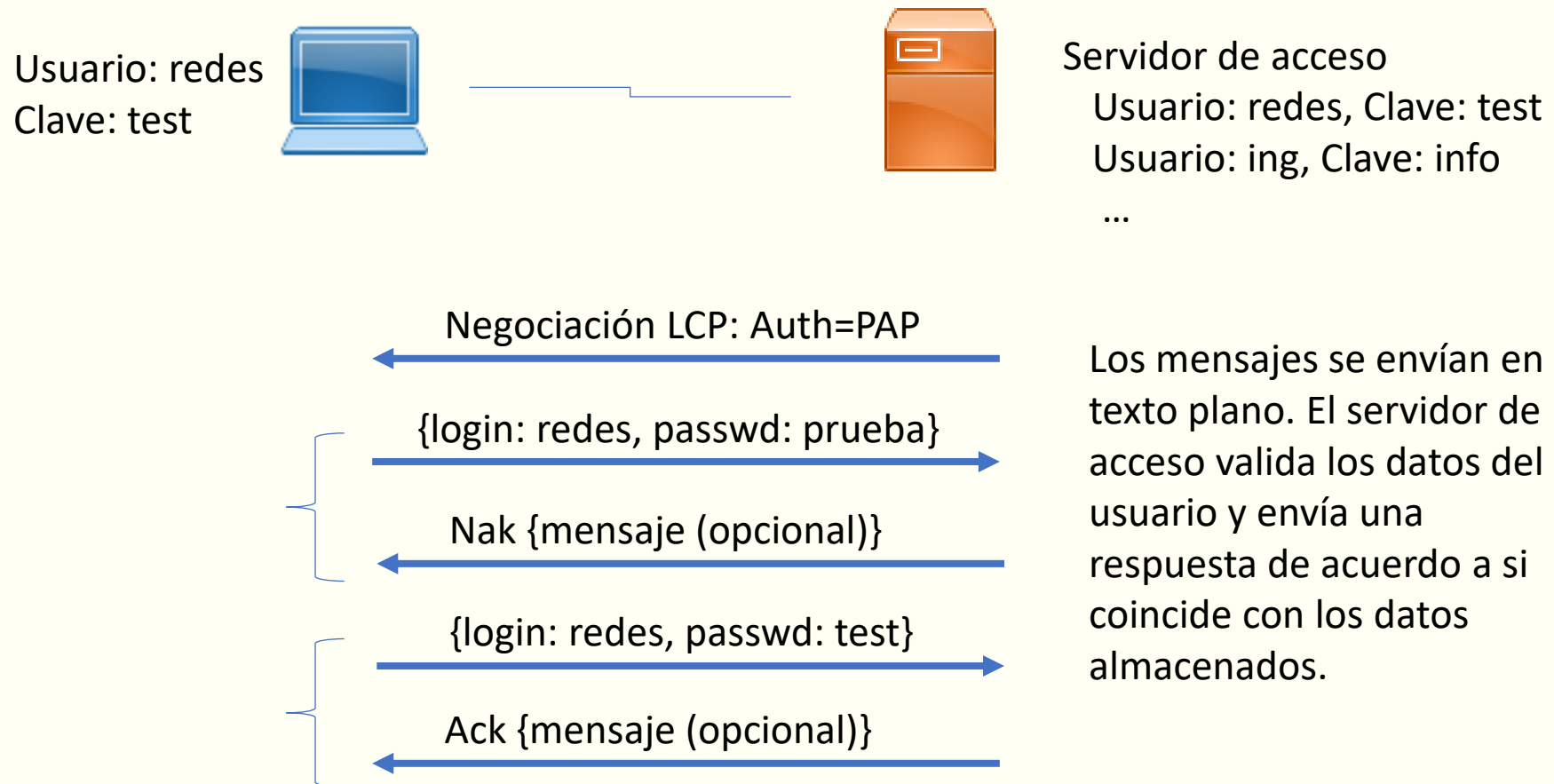
PPP: Point to Point Protocol – Estructura de la trama



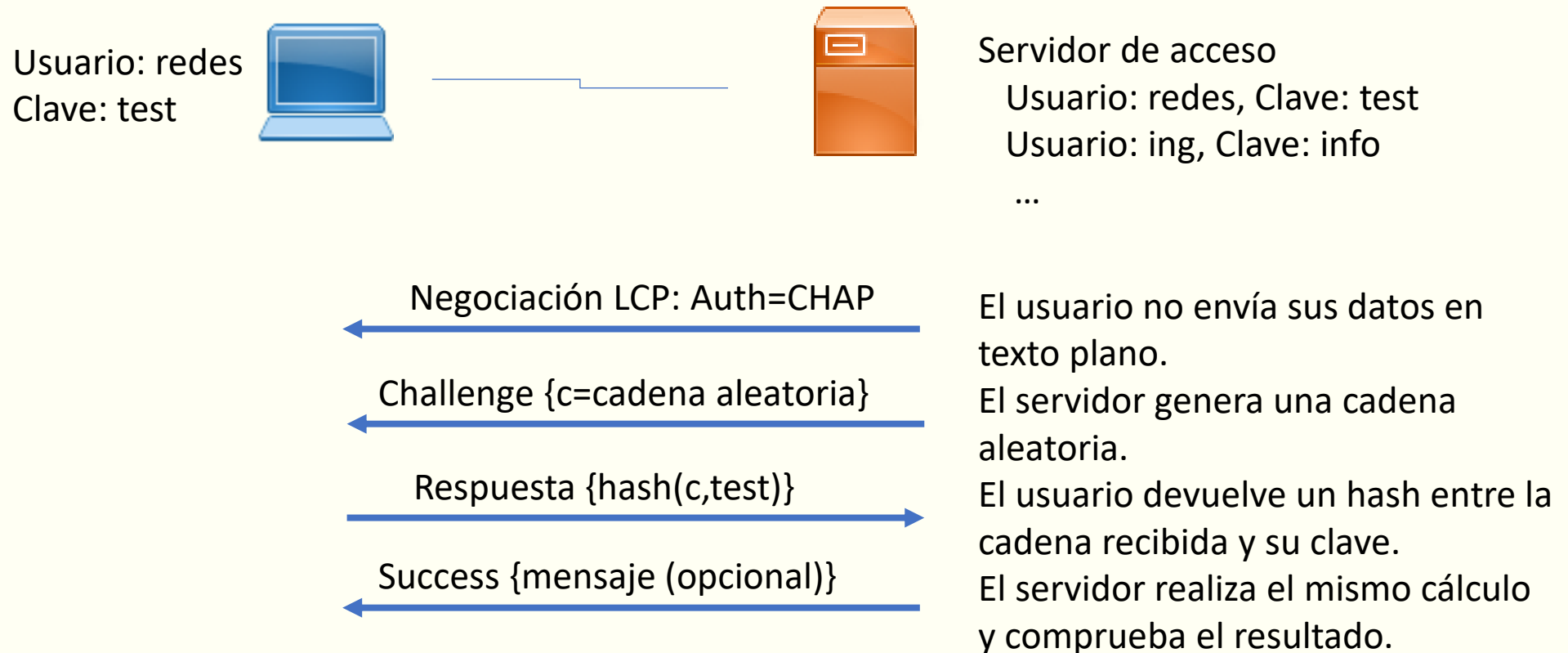
PPP: Point to Point Protocol – Fases



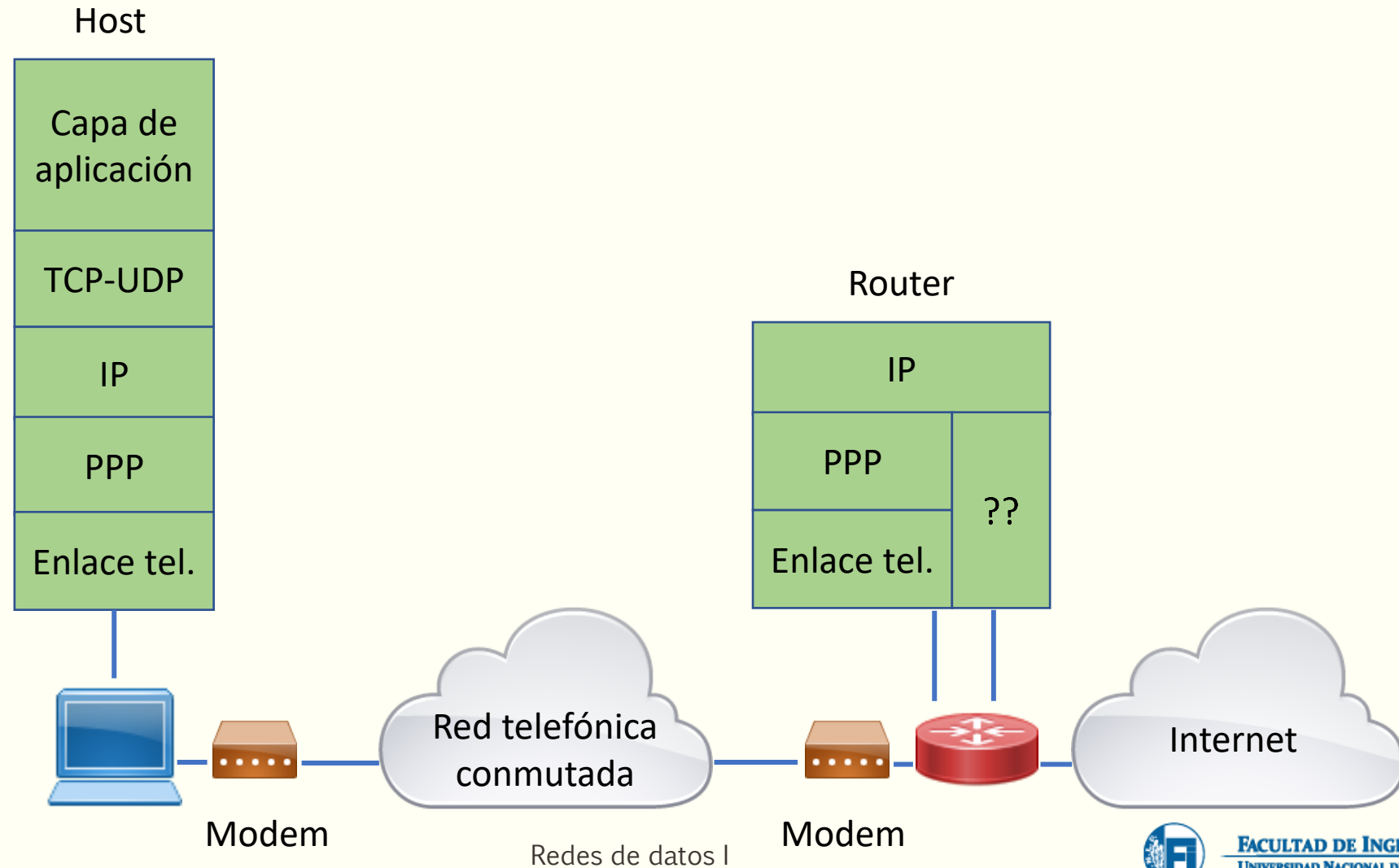
PAP: Password Authentication Protocol



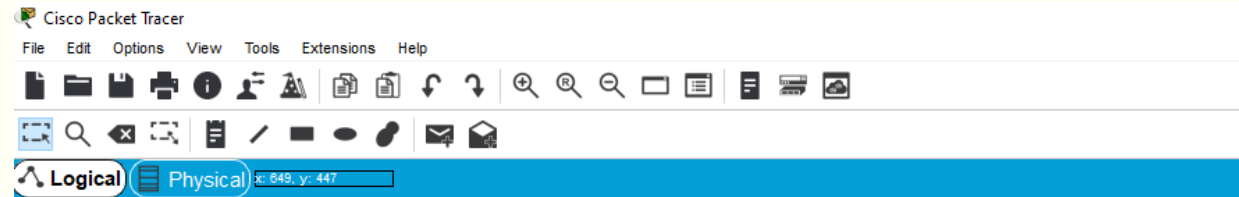
CHAP: Challenge Handshake Authentication Protocol



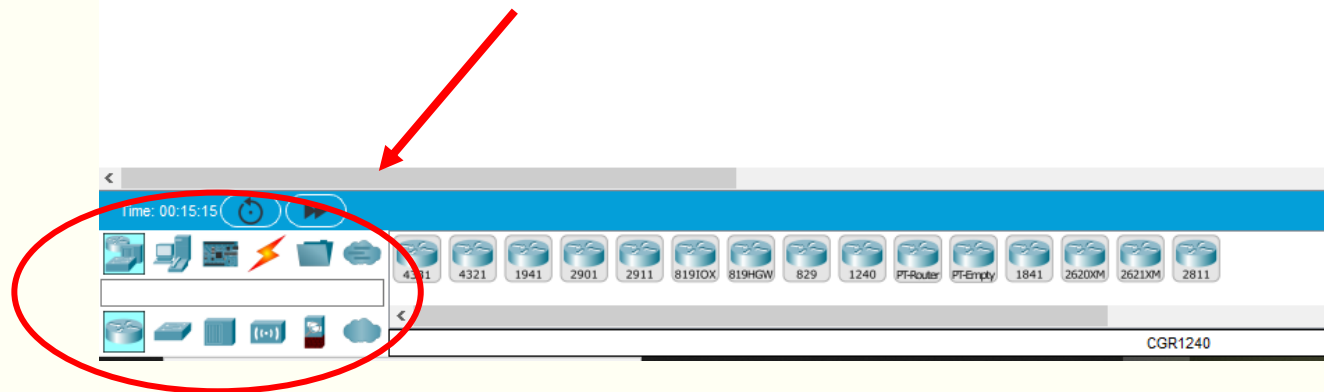
PPP



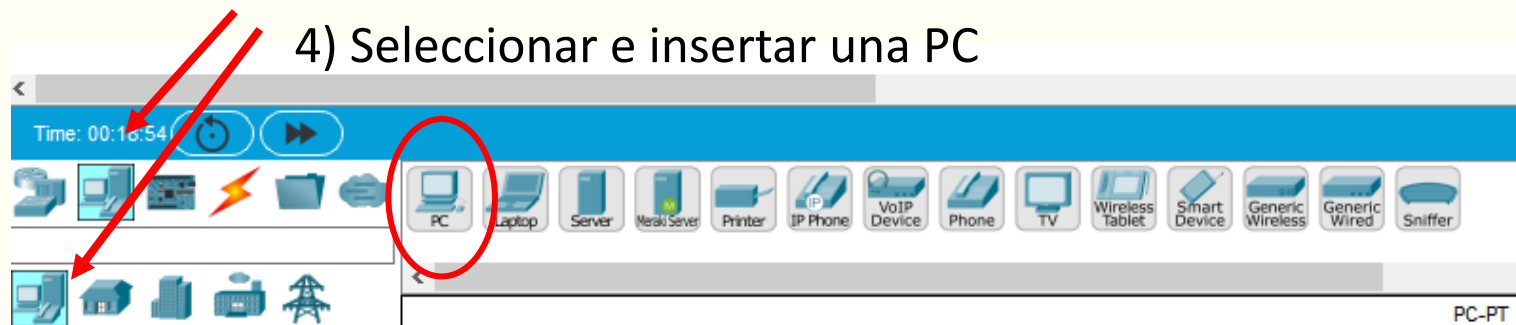
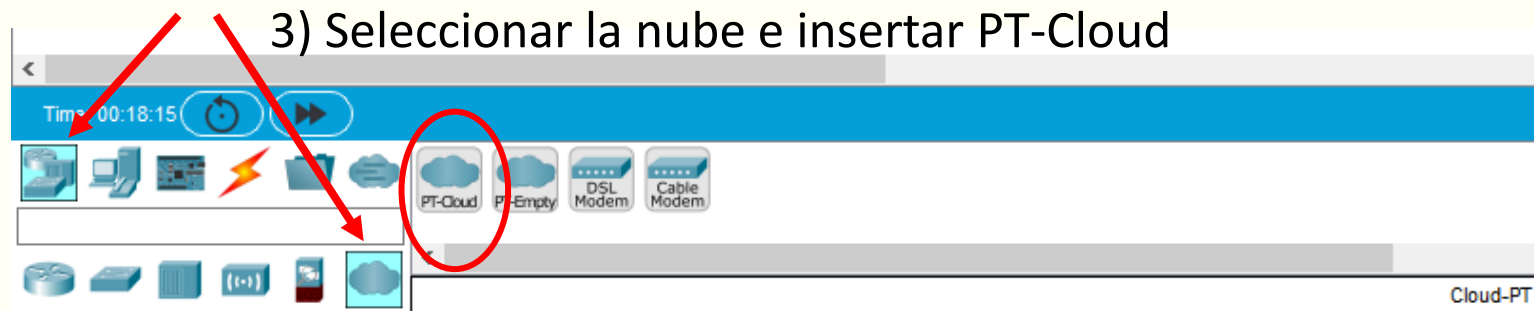
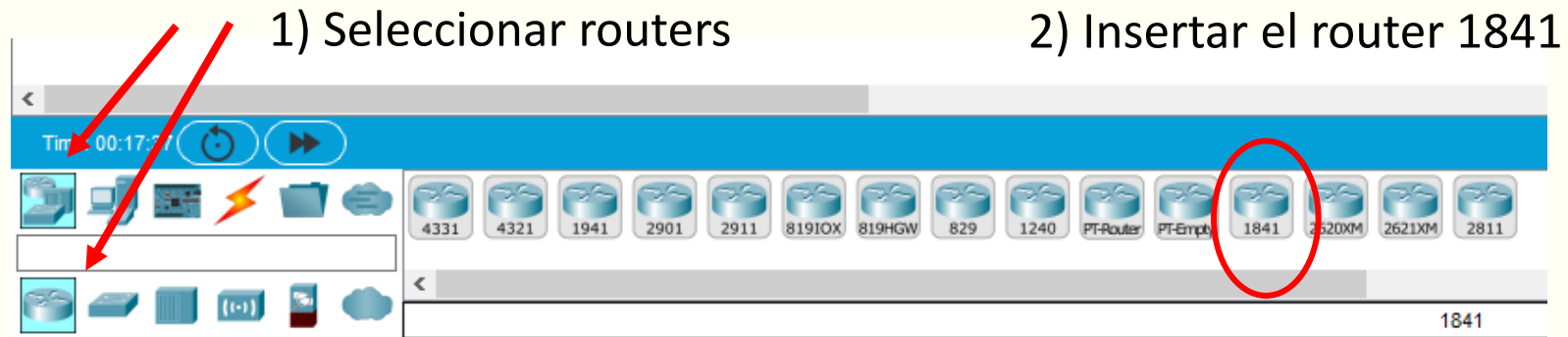
Cisco Packet Tracer



Ir al menú
para añadir
los equipos



Cisco Packet Tracer



Cisco Packet Tracer

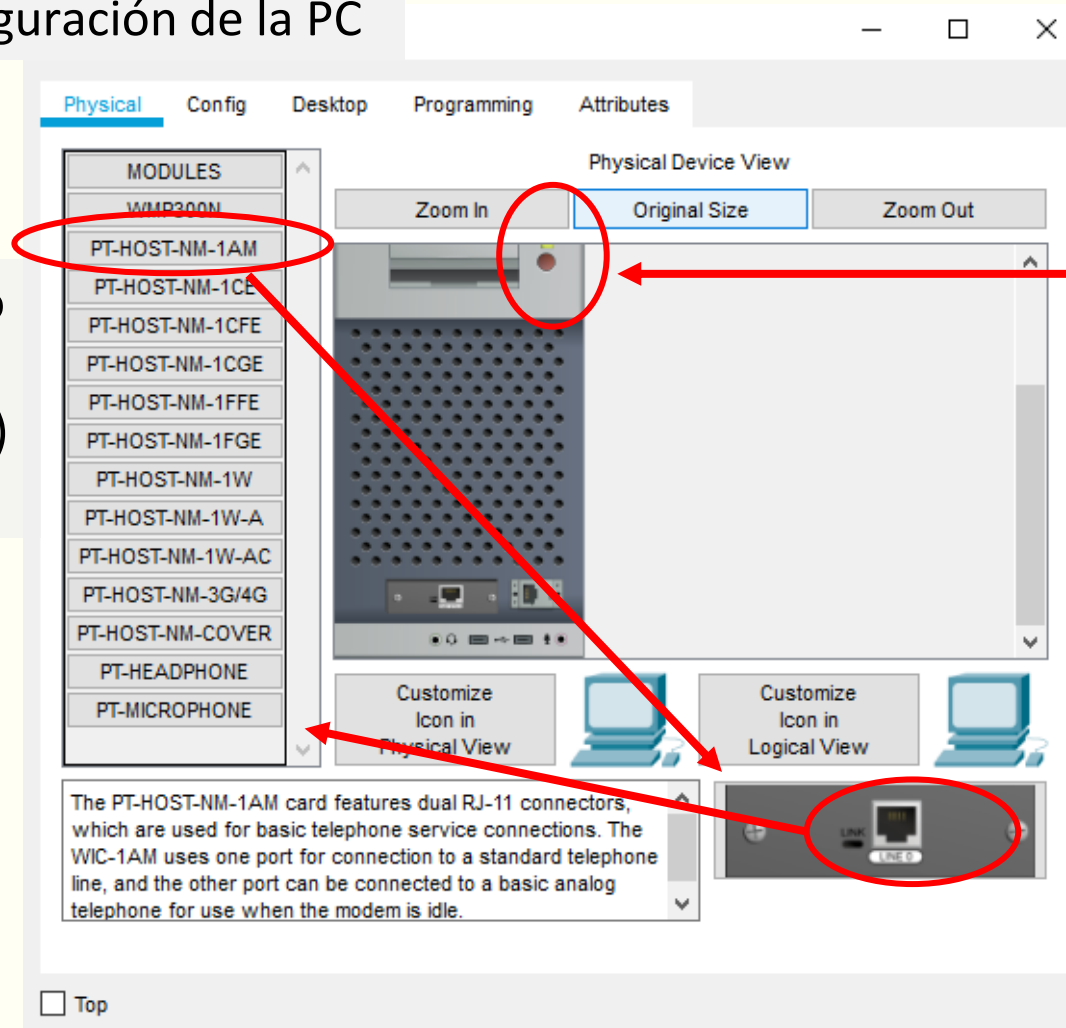
1) Ingresar a la configuración del router



Cisco Packet Tracer

1) Ingresar a la configuración de la PC

4) Arrastrar el módulo
PC-HOST-NM-1AM
(adaptador telefónico)
al slot libre de la PC



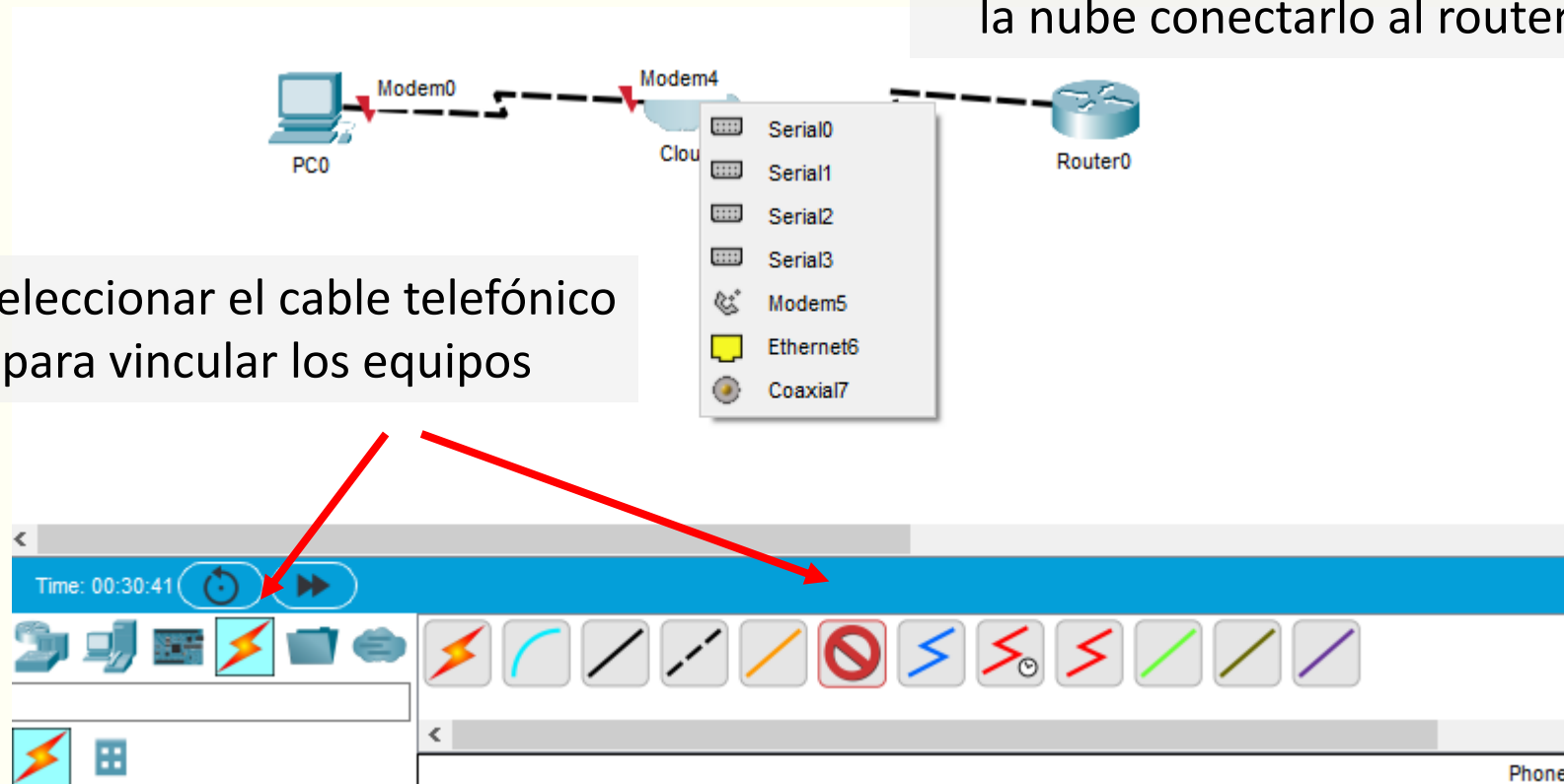
2) Apagarla
5) Encenderla

3) Quitar la placa
de red
para liberar el slot
(arrastrala hasta los
módulos)

Cisco Packet Tracer

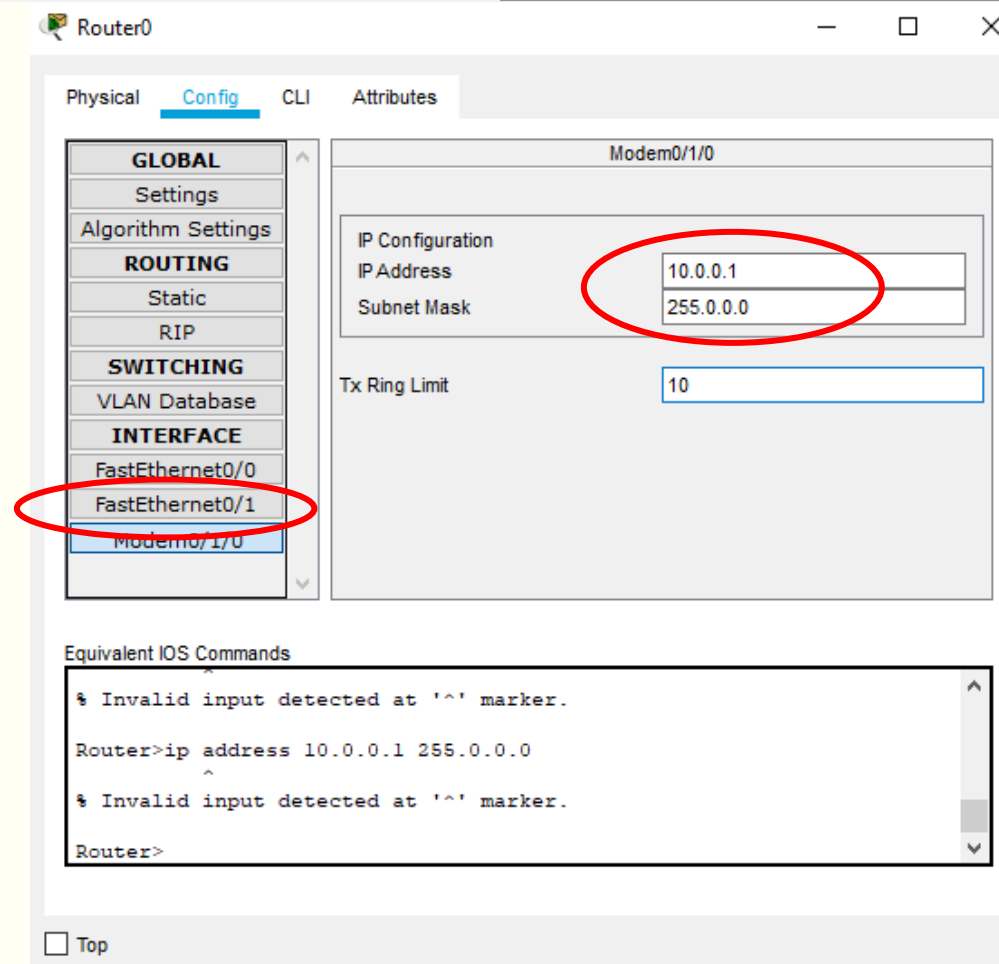
2) Conectar la PC a un modem de la nube, y el otro modem de la nube conectarlo al router

1) Seleccionar el cable telefónico para vincular los equipos



Cisco Packet Tracer

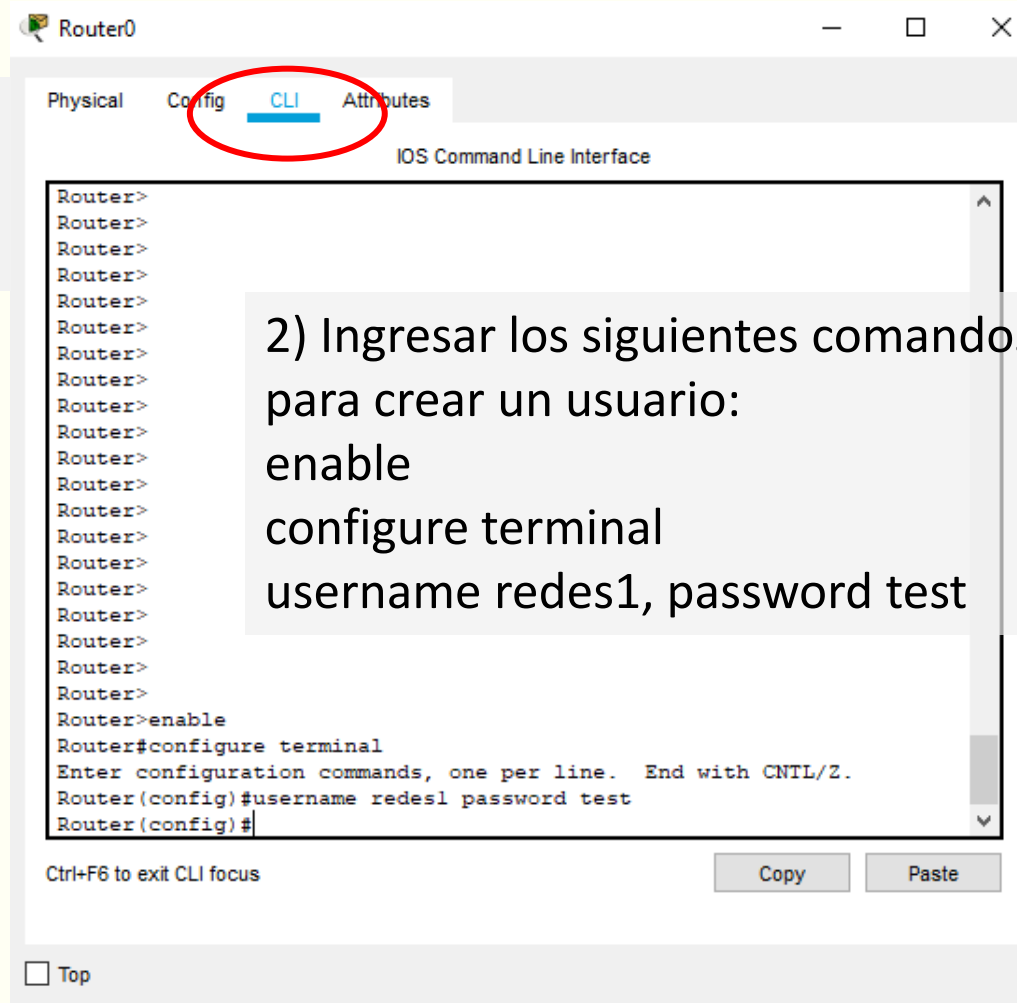
1) Ingresar a la configuración del router



2) Configurar la IP de la interfaz del modem: 10.0.0.1 , máscara 255.0.0.0

Cisco Packet Tracer

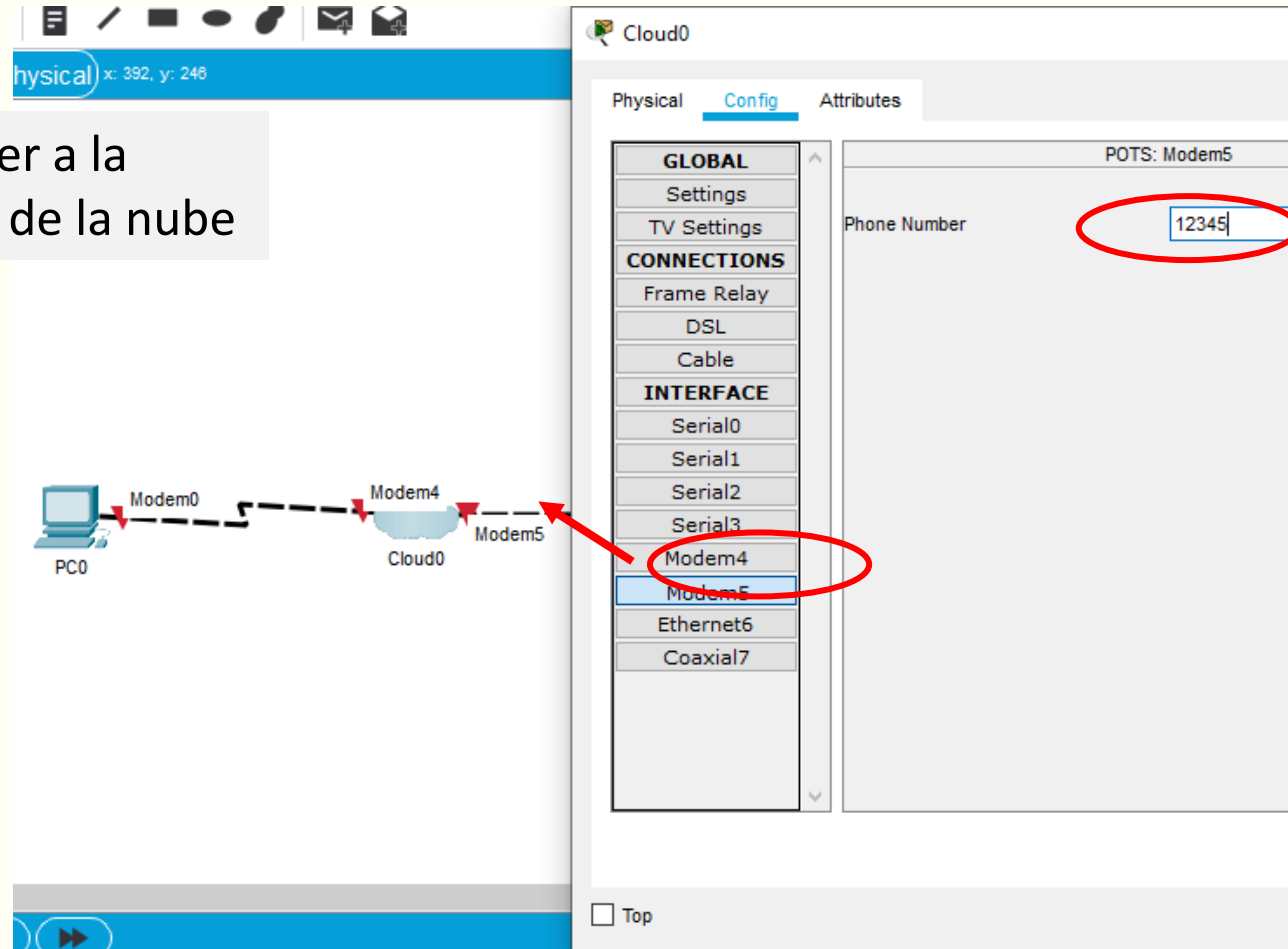
1) Dentro del router,
acceder a la línea de
comando



2) Ingresar los siguientes comandos
para crear un usuario:
enable
configure terminal
username redes1, password test

Cisco Packet Tracer

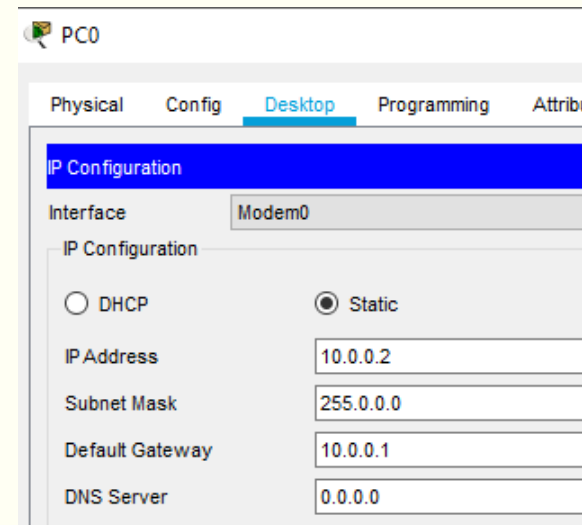
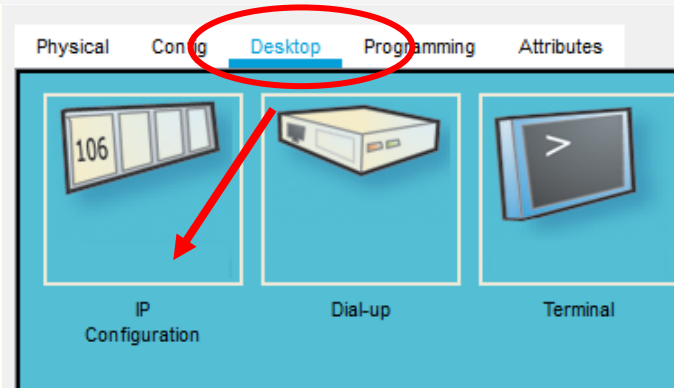
1) Acceder a la configuración de la nube



2) Configurar el número telefónico del modem del lado del router: 12345

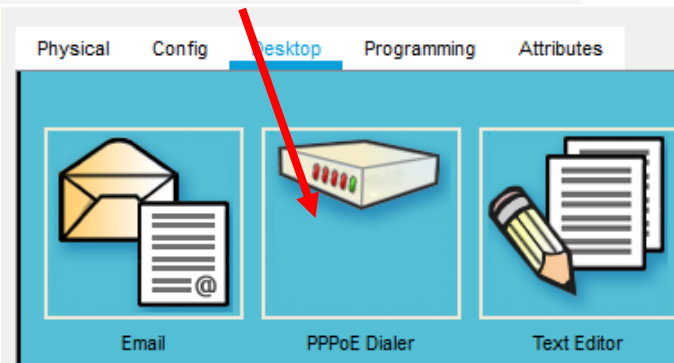
Cisco Packet Tracer

1) Acceder a la configuración de la PC e ingresar a IP Configuration

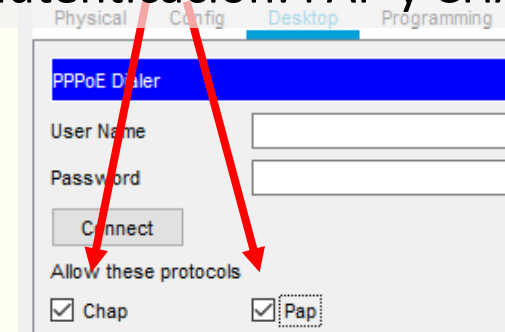


2) Configurar la dirección IP 10.0.0.2 , máscara 255.0.0.0 , y gateway 10.0.0.1

3) Ingresar a PPPoE Dialer

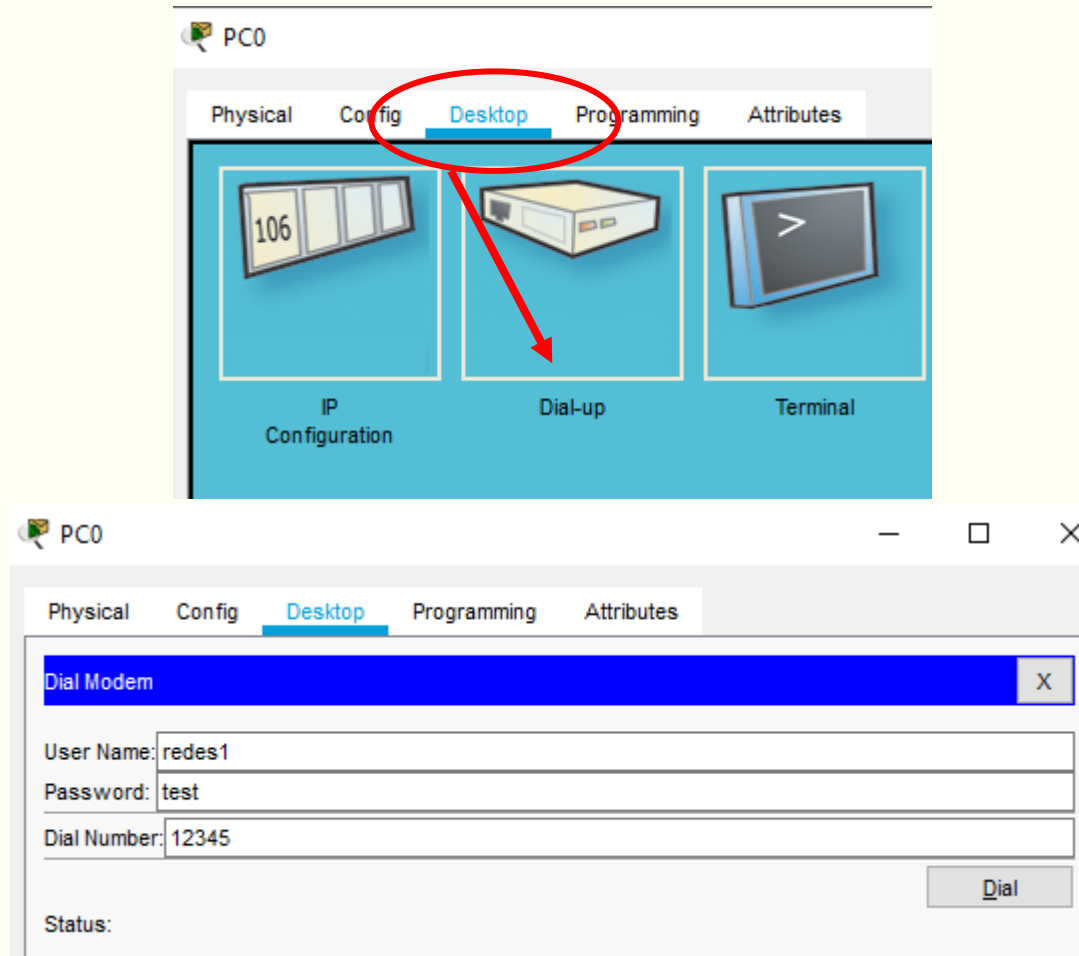


4) Tildar los dos métodos de autenticación: PAP y CHAP



Cisco Packet Tracer

1) En la PC, acceder al discador telefónico



2) Utilizar los datos ya configurados en el router y en el modem:

User: redes1

Password: test

Dial Number: 12345

Cisco Packet Tracer

1) Ir al modo simulación

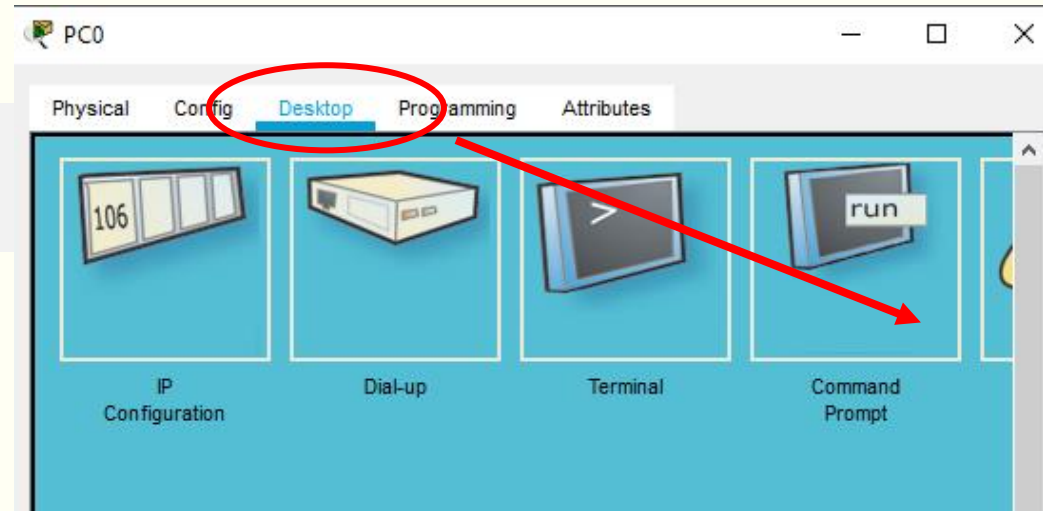
3) Habilitar el protocolo ICMP

2) Borrar todos los protocolos (Show All/None)

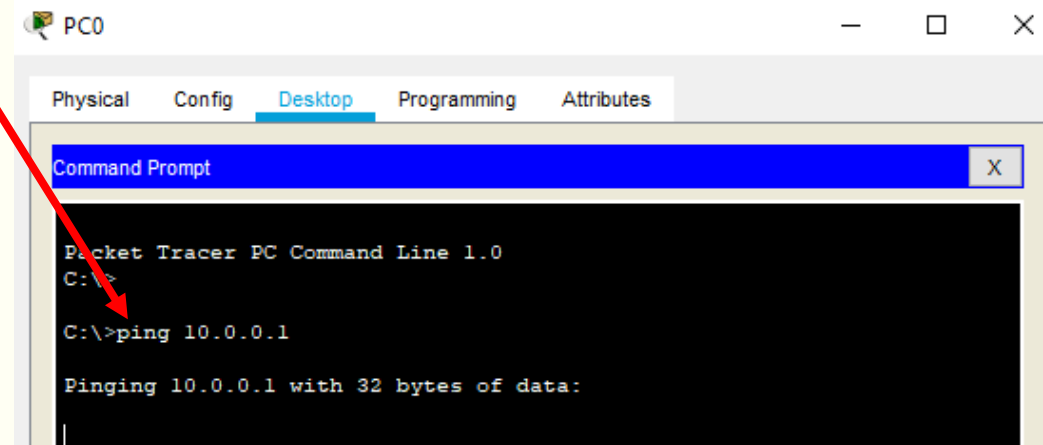
The screenshot displays the Cisco Packet Tracer interface. On the left, a network diagram shows a PC connected to a modem, which is connected to a cloud, and then to another modem and a router. The central 'PacketTracer7' window is open to the 'IPv4' tab, where the 'ICMP' checkbox is checked. The right 'Simulation Panel' is also open, showing the 'Event List' and 'Play Controls' section. A red arrow points from the 'Show All/None' button in the 'Event List Filters' section to the 'Simulation' button at the bottom right of the interface.

Cisco Packet Tracer

1) En la PC, abrir una ventana de DOS



2) Ejecutar el comando ping 10.0.0.1



Cisco Packet Tracer

1) Utilice las flechas para ver paso a paso la ejecución del comando

The screenshot displays the Cisco Packet Tracer interface. The main workspace shows a network topology with PC0 connected to Modem0, which is connected to Modem4, which is connected to Cloud0. The 'PDU Information at Device: Router0' window is open, showing the 'OSI Model' tab. The 'In Layers' and 'Out Layers' sections are visible, with a red arrow pointing to the 'Layer 1: Port Modem0/1/0' entry in the 'In Layers' section. The 'Simulation Panel' is also open, showing the 'Event List' table. The table has columns for 'Vis.', 'Time(sec)', 'Last Device', and 'At Device'. The events listed are:

Vis.	Time(sec)	Last Device	At Device
	0.000	--	PC0
	0.001	PC0	Cloud0
	0.002	Cloud0	Router0

The 'Simulation Panel' also includes a 'Reset Simulation' button, a 'Constant Delay' checkbox, and a 'Captured to:' field showing '0.002 s'. The 'Play Controls' section has buttons for 'Previous Layer', 'Next Layer', and 'Challenge Me'. The 'Event List Filters - Visible Events' section shows 'ICMP' as the selected filter. The bottom status bar shows the time as '00:45:57.699' and the simulation mode as 'Realtime'.

2) Ingresando en cada sobre podrá analizar cada mensaje intercambiado