

# INTRODUCCIÓN

- El nivel físico del modelo OSI realiza una transmisión enviando señales a través del medio, pero no sabe si el mensaje llegará a su destinatario, tampoco sabe si el receptor está preparado para escuchar, o si otros equipos están transmitiendo a la vez.
- En el nivel físico hay transmisión pero no comunicación
- Para que exista comunicación se necesitan al menos dos equipos trabajando conjuntamente y de forma sincronizada, estableciendo un diálogo que siga ciertas reglas.
- Es el nivel de enlace el que permite establecer esa comunicación, asegurando que el mensaje llega al destinatario libre de errores



# INTRODUCCIÓN

- Si ambos nodos pertenecen a la misma red/subred (comunicación punto a punto)
  - la Capa de Enlace de Datos es la encargada de la transmisión y direccionamiento de datos entre host situados en la misma red/subred,
- Si ambos nodos están situados en redes diferentes
  - la capa de Red (Internet) es la encargada de la transmisión y direccionamiento de datos entre los nodos.



# FUNCIONES DEL NIVEL DE ENLACE DE DATOS

## TRAMADO

- En el emisor, recibe los datos del nivel de red y añade una cabecera de control que contiene servicios de esta capa
- En el receptor, divide la secuencia de bits recibida por el nivel físico, en bloques de información llamados **tramas**.

## DIRECCIONAMIENTO FÍSICO

- Permite la identificación de equipos en una red local

## CONTROL DE ERRORES

- Detecta y soluciona los errores generados por el medio de transmisión

## CONTROL DE FLUJO

- Evita la saturación del receptor cuando el emisor es más rápido, para evitar que se pierdan tramas.

## CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

- Establece los turnos de transmisión para evitar o minimizar el número de colisiones



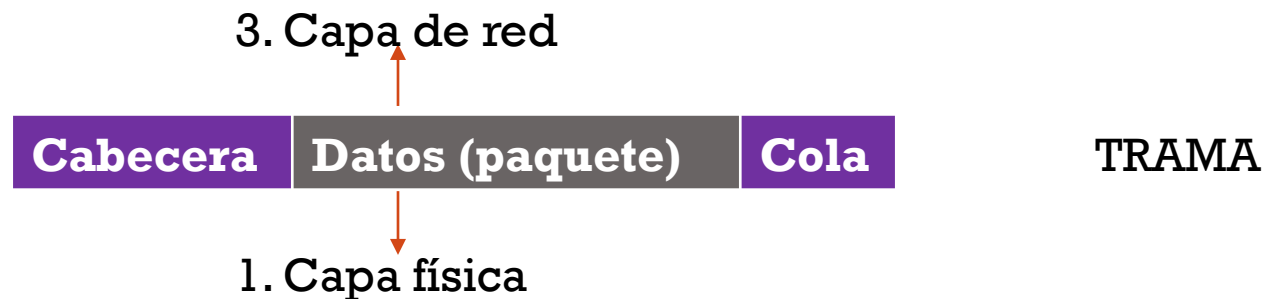
# INTRODUCCIÓN

- Sin la capa de enlace de datos, un protocolo de capa de red, tal como IP, tendría que tomar medidas para conectarse con todos los tipos de medios que pudieran existir a lo largo de la ruta de envío. Además, cada vez que se desarrolla una nueva tecnología de red o medio IP, tendría que adaptarse.



# ESTRUCTURA BÁSICA DE UNA TRAMA

- El protocolo de enlace de datos es responsable de las comunicaciones de NIC a NIC dentro de la misma red.
- Aunque hay muchos protocolos diferentes de capa de enlace de datos que describen las tramas de la capa de enlace de datos, cada tipo de trama tiene tres partes básicas:



- **En el emisor:** el protocolo de la capa de enlace encapsula el paquete procedente del nivel de red, en el campo de datos de la trama, añade la cabecera y la cola, y se lo entrega al nivel físico.
- **En el receptor:** el protocolo de capa de enlace convierte los datos binarios en tramas, extrae la información de la cabecera y la cola, y ejecuta las acciones que corresponden, como por ejemplo, comprobar errores, descartar la trama o entregar los datos al nivel superior, etc.

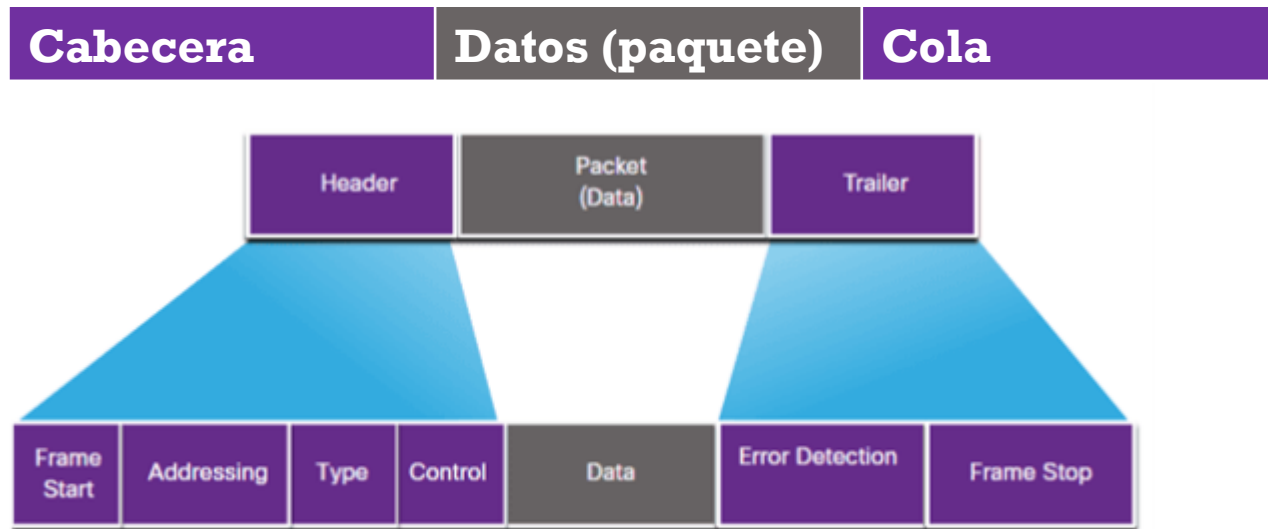


# TRAMAS

- Todos los protocolos de capa de enlace de datos encapsulan los datos dentro del campo de datos de la trama.
- Sin embargo, la estructura de la trama y los campos contenidos en el encabezado y el avance varían según el protocolo.
- **No existe una estructura de trama única** que satisfaga las necesidades de todo el transporte de datos en todos los tipos de medios.
- Dependiendo del entorno, la cantidad de información de control necesaria en la trama varía para coincidir con los requisitos de control de acceso de los medios y la topología lógica.
- Por ejemplo: una trama WLAN debe incluir procedimientos para evitar colisiones y, por lo tanto, requiere información de control adicional en comparación con una trama Ethernet.



# CAMPOS DE LA TRAMA



- **Indicadores de arranque y detención de trama** - Se utilizan para identificar los límites de comienzo y finalización de la trama.
- **Direccionamiento** - Indica los nodos de origen y destino en los medios.
- **Tipo** - Identifica el protocolo de capa 3 en el campo de datos.
- **Control** - Identifica los servicios especiales de control de flujo, como calidad de servicio (QoS). QoS otorga prioridad de reenvío a ciertos tipos de mensajes. Por ejemplo, las tramas de voz sobre IP (VoIP) normalmente reciben prioridad porque son sensibles al retraso.
- **Datos** - Incluye el contenido de la trama (es decir, el encabezado del paquete, el encabezado del segmento y los datos).
- **Detección de Errores** - se incluye después de los datos para formar la cola.



# ¿CÓMO SE DELIMITAN LAS TRAMAS?

- Cómo fijamos la frontera de una trama con la siguiente. El que lo envía lo conoce pero el receptor no, recibe todas las tramas juntas.
- Algunas posibilidades son:
  - Campo longitud
  - Secuencia delimitadora de inicio y final
  - Carácter delimitador de inicio y final





# SECUENCIA DELIMITADORA (PROTOCOLO HDLC)

- Poner una determinada secuencia de bits que reservamos para indicar el principio y final de la trama.
- Todos los sistemas de red de área extensa utilizan esto o una variante similar.
- Secuencia reservada que se utiliza es 01111110



- Si hubiera otra trama detrás el mismo delimitador de final sirve de inicio de la siguiente trama
- Si no se envía mas datos se transmiten 1 continuamente
- Las tramas en Internet y Ethernet tienen longitudes variables



# SECUENCIA DELIMITADORA (PROTOCOLO HDLC)

- ¿Qué sucede si dentro de los datos a transmitir aparece un byte que contenga 01111110? El receptor de forma errónea puede interpretarlo como final de la trama.
- Solución: el que transmite los datos, es decir, el que añade los delimitadores si detecta que dentro de los datos o carga útil aparece cinco unos seguidos (11111) automáticamente inserta un cero adicional detrás. Así evita que en la secuencia aparezcan seis unos seguidos que podría ocasionar problemas.
- El receptor cuando detecta cinco unos seguidos con un cero detrás sabe que este cero está añadido (“es trampa”) y lo quita.
- Ejemplo: enviar los siguientes datos 0110111111111111111111111110010

- Datos transmitidos 011011111011111011111011111010010
- Receptor: “elimina los 0 trampa”



# TOPOLOGÍA WAN PUNTO A PUNTO. FORMATO TRAMA

- **Indicador (1 byte)**: indica el comienzo o final de la trama, vale 01111110. Se repite al final de la trama, después del campo FCS
- **Dirección (1 byte)**: indica la dirección de difusión estándar, vale: 0xff=11111111
- **Control (1 byte)**: indica el número de trama, si no se enumeran vale 0x3=00000011
- **Protocolo (2 bytes)** indica el protocolo encapsulado en el campo de datos
- **Datos** (variable de 0 a 1500 bytes): datos encapsulados que se entregan al nivel superior
- **FCS (2/4 bytes)**: secuencia de comprobación de trama basada en Checksum o CRC. Se calcula en último lugar, sobre los campos de dirección, control, protocolo y datos

1	1	1	2	Variable	2/4	1
Indicador	Dirección	Control	Protocolo	DATOS	FCS	Indicador



# FORMATO DE TRAMA ETHERNET

8	6	6	2	Variable	4
<b>Preámbulo</b>	<b>Dirección Destino</b>	<b>Dirección Fuente</b>	<b>Tipo/ Longitud</b>	<b>DATOS</b>	<b>FCS</b>

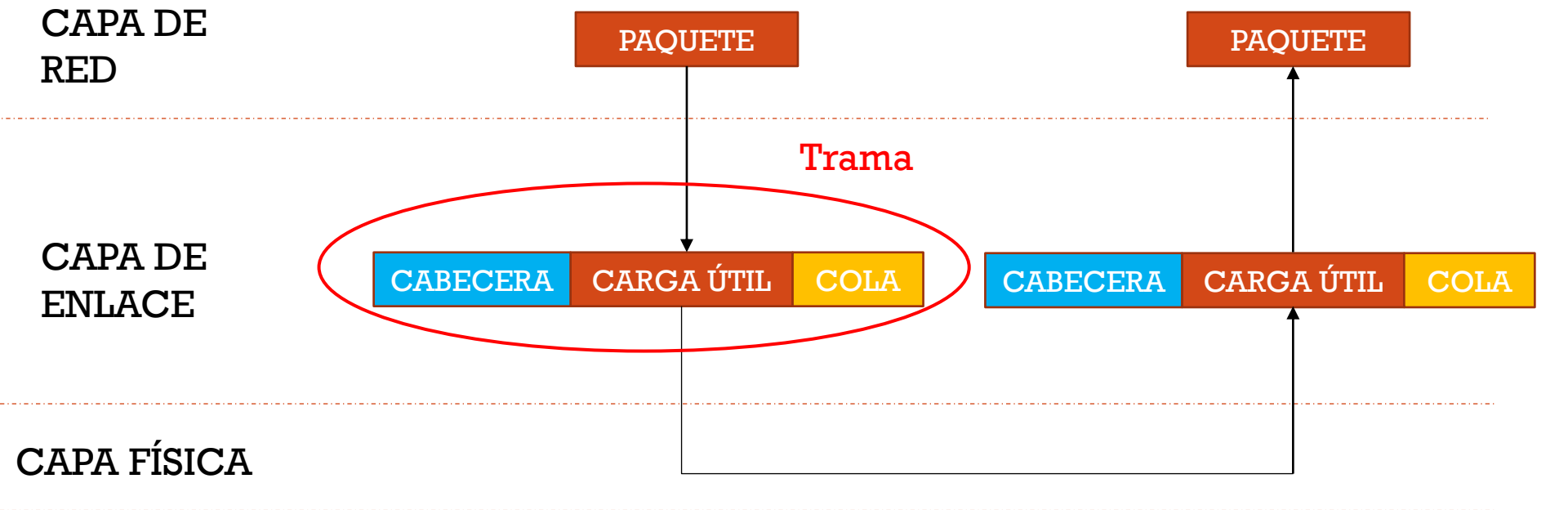
- **Preámbulo (8 bytes)**: en este campo contiene 62 bits de unos y ceros alternos, y dos unos al final. Sirve para sincronizar los relojes de ambas tarjetas en una transmisión digital.
- **Dirección destino (6 bytes)**: representa la dirección física de la tarjeta destinataria del mensaje. En caso de ser un mensaje de broadcast aparece todo F
- **Dirección fuente (6 bytes)**: representa la dirección física de la tarjeta origen del mensaje
- **Tipo (2 bytes)**: representa el tipo de protocolo de nivel superior encapsulado en el campo de datos. Los tipos más comunes son:

<b>EtherType</b>	<b>Protocolo</b>
0x0800	IPv4
0x0806	ARP
0x86DD	IPv6

- **Datos (0-1500 bytes)** son los datos encapsulados que se entregarán al nivel superior
- **FCS (4 bytes)**: Frame Check Sequence o secuencia de comprobación de trama, es un mecanismo de control de errores basado en CRC



# INTRODUCCIÓN



## EMISOR

- La capa de red genera un **paquete** que entrega a la capa de enlace
- La capa de enlace con el paquete construye la **TRAMA**, donde añade información por delante (la cabecera) y por detrás (la cola); lo envía a la capa física.
- La capa física se encarga de transmitirla al destino

## RECEPTOR

- La capa física entrega a su correspondiente capa de enlace
- La capa de enlace hará sus comprobaciones y tirará la cabecera y la cola; y entregará el contenido (la carga útil) a la capa de red
- Se recibe en la capa de red el paquete



# CONCEPTO DIRECCIÓN FÍSICA

- La **dirección física** es un identificador de 6 parejas de dígitos hexadecimales (48bits), que corresponde de forma única a una tarjeta o adaptador de red.
- Se conoce también como **dirección MAC** y es única para cada dispositivo
- Está determinada y configurada por el IEEE:
  - Los primeros 24 bits corresponden al fabricante
  - Los últimos 24 bits corresponden al adaptador en particular
- El adaptador de red puede ser real (tarjeta de red) o virtual (VM Network Adapter)
- En cualquier caso, debe identificar de manera unívoca el adaptador para que no haya conflicto de direcciones



# ¿NIC ES LO MISMO QUE MAC?

- La NIC es una tarjeta de circuito de ordenador que permite que un ordenador se conecte a una red.



- MAC significa Media Access Control (Control de acceso a medios). Es un identificador único para las interfaces de red. Un ejemplo de una dirección MAC es 30-65-EC-6F-C4-58.
- Una de las **funciones de las direcciones MAC** está en el proceso de filtrado en redes inalámbricas. Para evitar que extraños accedan a una red, el enrutador está configurado para aceptar solo direcciones MAC específicas. De esta manera, si la dirección IP cambia, como por ejemplo en el caso de las direcciones IP dinámicas, la dirección MAC aún puede identificar el dispositivo.



# DIRECCIONES EN LA CAPA 2

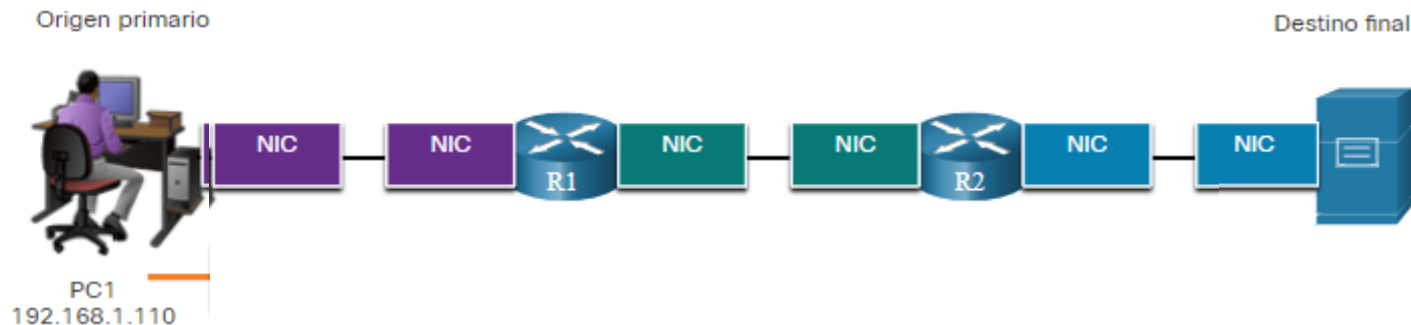
- El direccionamiento de la capa de enlace de datos está contenido en el encabezado de la trama y especifica el nodo de destino de la trama en la red local.
- Normalmente se encuentra al principio de la trama, por lo que la NIC puede determinar rápidamente si coincide con su propia dirección de Capa 2 antes de aceptar el resto de la trama. El encabezado de la trama también puede contener la dirección de origen de la trama.
- A diferencia de las direcciones lógicas de la Capa 3, que son jerárquicas, las direcciones físicas no indican en qué red está ubicado el dispositivo. En cambio, la dirección física es única para un dispositivo en particular.
  - Un dispositivo seguirá funcionando con la misma dirección física de capa 2, incluso si el dispositivo se mueve a otra red o subred. Por lo tanto, las direcciones de capa 2 sólo se utilizan para conectar dispositivos dentro del mismo medio compartido, en la misma red IP.





# DIRECCIONES EN LA CAPA 2

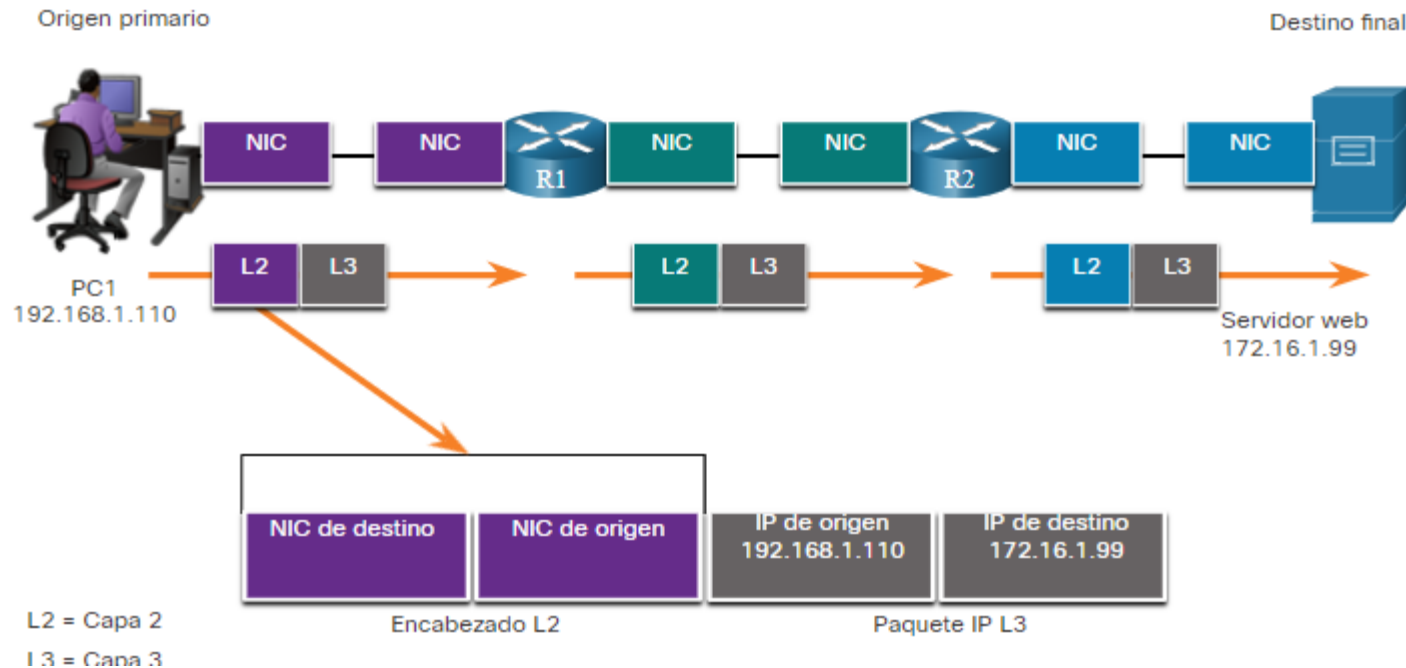
- En las siguientes figuras se ilustra la función de las direcciones en la Capa 2 y Capa 3.
- A medida que el paquete IP se mueve de host a router (R1), de router a router (R1 a R2) y, finalmente, de router a host, es encapsulado en una nueva trama de enlace de datos, en cada punto del recorrido.
- Cada trama de enlace de datos contiene la dirección de origen de enlace de datos de la tarjeta NIC que envía la trama y la dirección de destino de enlace de datos de la tarjeta NIC que recibe la trama.



# DIRECCIONES EN LA CAPA 2

## PASO DE HOST A ROUTER R1

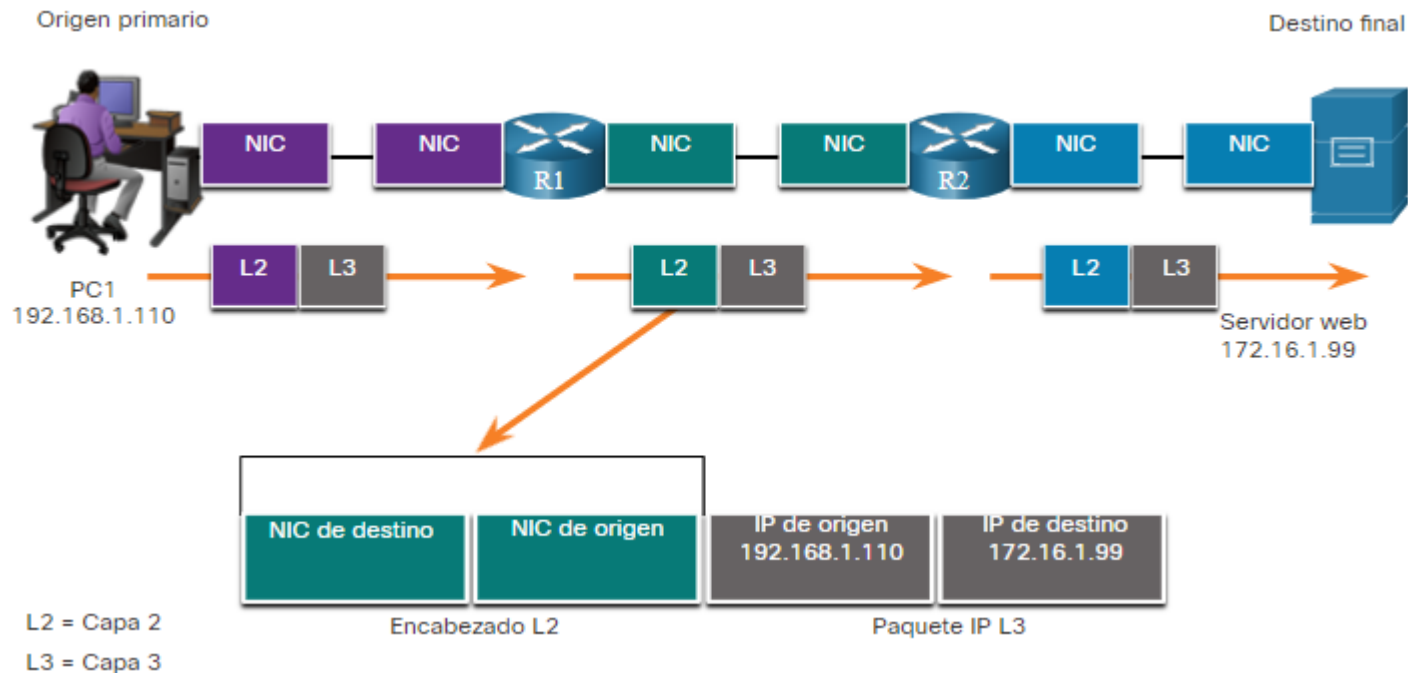
- El host de origen encapsula el paquete IP de capa 3 en una trama de capa 2.
- **Encapsular**, lo que hace es añadir una cabecera y una cola.
- En el encabezado de la trama el host agrega su dirección de capa 2 como origen y la dirección de capa 2 para el R1 como destino



# DIRECCIONES EN LA CAPA 2

## PASO DE ROUTER (R1) A ROUTER (R2)

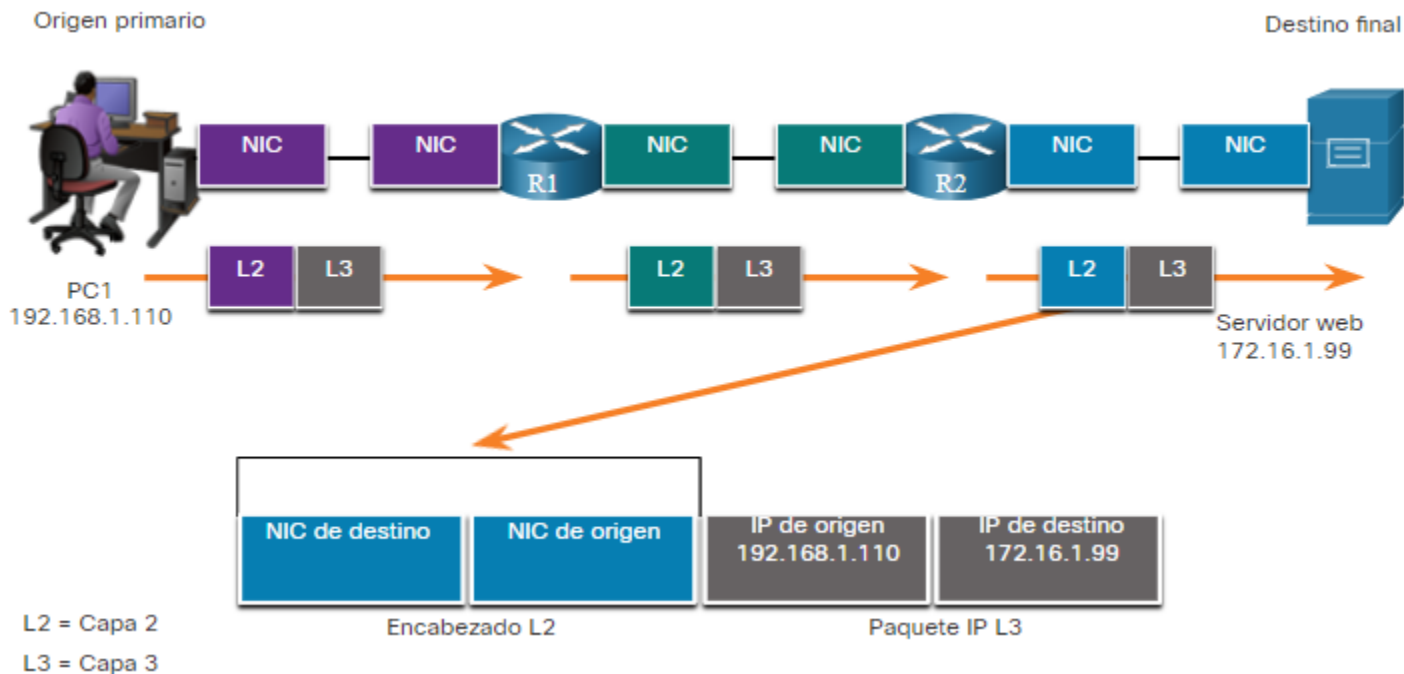
- R1 encapsula el paquete IP de capa 3 en una nueva trama de capa 2.
- En el encabezado de la trama, R1 agrega su dirección de capa 2 como origen y la dirección de capa 2 como R2 como destino



# DIRECCIONES EN LA CAPA 2

## PASO DE ROUTER (R2) A HOST

- R2 encapsula el paquete IP de capa 3 en una nuevo trama de capa 2.
- En el encabezado de trama, R2 agrega su dirección de Capa 2 como origen y la dirección de Capa 2 para el servidor como destino.



# DIRECCIONES EN LA CAPA 2

- La dirección de la capa de enlace de datos solo se usa para la entrega local. Las direcciones en esta capa no tienen significado más allá de la red local.
- Si los datos deben pasar a otro segmento de red, es necesario un dispositivo intermediario, como un Router.
- El Router debe aceptar la trama en función de la dirección física y desencapsular la trama para examinar la dirección jerárquica, que es la dirección IP.
- Usando la dirección IP, el Router puede determinar la ubicación de red del dispositivo de destino y la mejor ruta para llegar a él.
- Cuando sabe dónde reenviar el paquete, el Router crea una nueva trama para el paquete y la nueva trama se envía al siguiente segmento de red hacia su destino final.



# ¿QUÉ HACE LA CAPA DE ENLACE?

- Permite que las capas superiores accedan a los medios. El protocolo de capa superior desconoce por completo el tipo de medio que se utiliza para reenviar los datos.
- Acepta datos, generalmente paquetes de Capa 3 (es decir, IPv4 o IPv6), y los encapsula en tramas de Capa 2.
- Controla cómo se colocan y reciben los datos en los medios.
- Intercambia tramas entre puntos finales a través de los medios de red.
- Recibe datos encapsulados, generalmente paquetes de Capa 3, y los dirige al protocolo de capa superior adecuado.
- Realiza la detección de errores y rechaza cualquier trama corrupta.



# CÓMO SE MIDEN LOS ERRORES

- TASA DE BITS ERRÓNEOS O  $BER_{\text{Ratio}}$  (Bit Error Ratio)

$$BER_{\text{Ratio}} = \text{bits erróneos} / \text{bits transmitidos}$$

- Ejemplo:  $BER_{\text{Ratio}} = 10^{-6}$  significa que tenemos un bit erróneo por cada millón de bits transmitidos



# CÓMO SE MIDEN LOS ERRORES

- TASA DE PAQUETES ERRÓNEOS O PER (Packet Error Ratio)

$$\text{PER}_{\text{Ratio}} = \text{BER}_{\text{Ratio}} * N$$

N tamaño del paquete en bits

- El uso de tramas grandes amplifica los errores.
- Ejemplo: Trama de 1250 bytes (10000 bits) y  $\text{BER}_{\text{Ratio}} = 10^{-8}$  tendremos  $\text{PER}_{\text{Ratio}} = 10^{-4}$





# CONTROL DE ERRORES

- Para controlar los errores debemos añadir redundancia
- Los códigos de control de errores pueden ser:

## Detectores

- El error se detecta pero no se corrige
- Se pide retransmisión o se descarta trama

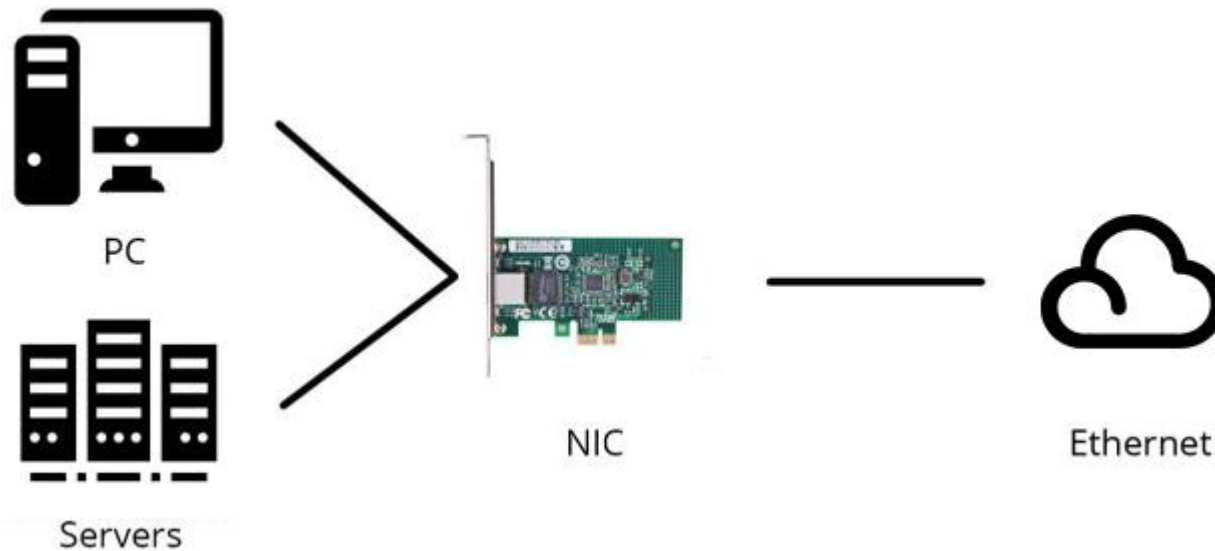
## Correctores

- El error se detecta y se corrige
- Se les llama Forward Error Correction (FEC)
- La corrección no siempre es posible.



# ¿RECUERDAS QUÉ ES EL NIC?

- **Network Interface Card** (tarjeta de interfaz de red): Componente de hardware que conecta un ordenador a una red informática y que posibilita compartir recursos en una red de ordenadores.



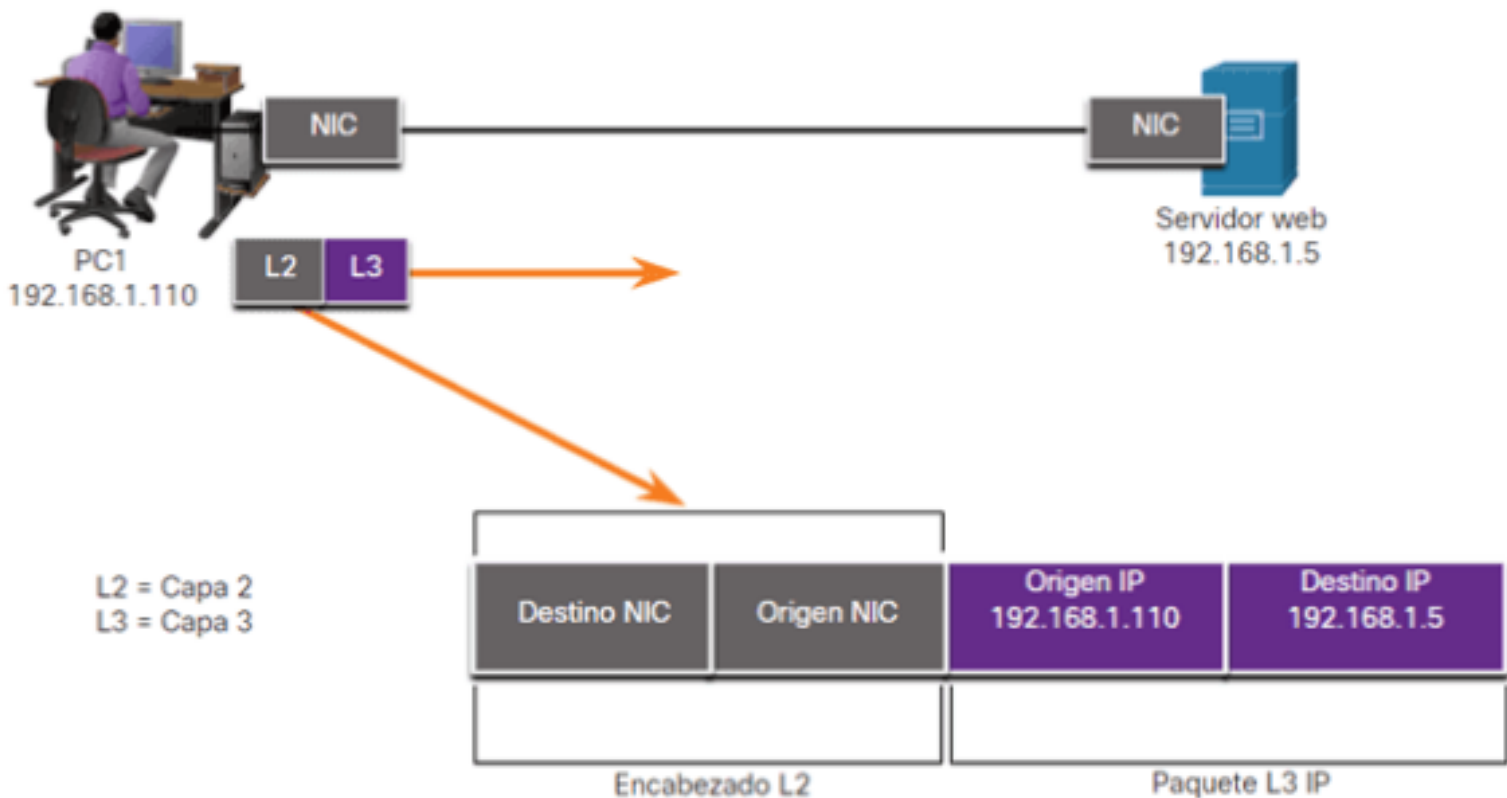
# ACCESO BASADO EN LA CONTENCIÓN

- En las redes multiacceso basadas en contención, todos los nodos operan en **semidúplex**, compitiendo por el uso del medio.
- Sin embargo, solo un dispositivo puede enviar a la vez.
- Por lo tanto, hay un proceso si más de un dispositivo transmite al mismo tiempo. Algunos ejemplos de **métodos de acceso basados en contención** son los siguientes:
  - **Acceso múltiple con detección de colisiones (CSMA/CD)** utilizado en LAN Ethernet de topología de bus heredada
  - El operador detecta el **acceso múltiple con prevención de colisiones (CSMA / CA)** utilizado en LAN inalámbricas



# ¿QUÉ HACE LA CAPA DE ENLACE?

- La capa de enlace de datos agrega información de NIC de origen y destino de capa 2 a un paquete de capa 3. Luego convertiría esta información a un formato compatible con la capa física (es decir, la Capa 1)

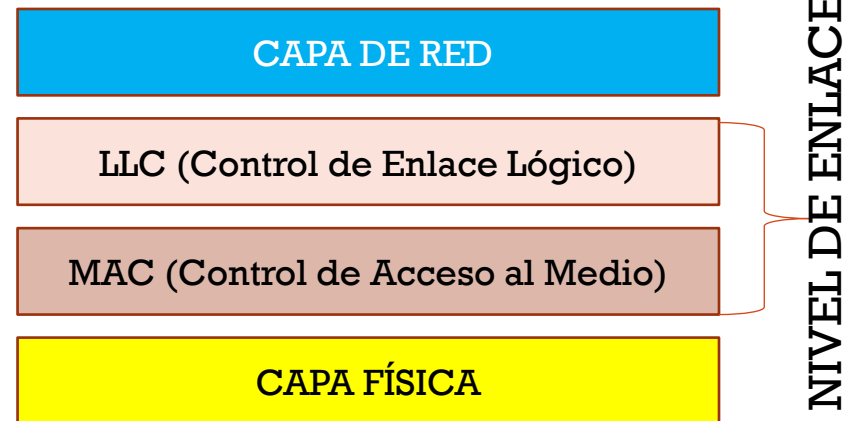


Modelo OSI	Capa
Aplicación	7
Presentación	6
Sesión	5
Transporte	4
Red	3
Enlace de datos	2
Física	1



# SUBCAPAS DEL NIVEL DE ENLACE

- El subnivel LLC (Control de Enlace Lógico) se relaciona con la capa superior, es decir, proporciona servicios al nivel de red y está implementado en software, en lo que habitualmente conocemos como el **driver** o controlador de la tarjeta de red.  
Coloca en la trama información que identifica qué protocolo de capa de red se utiliza para la trama. Esta información permite que múltiples protocolos de Capa 3, como IPv4 e IPv6, utilicen la misma interfaz de red y medios.
- El subnivel MAC (Control de Acceso al Medio) se relaciona con la capa inferior, es decir, solicita servicios al nivel físico y está implementado en el hardware de la tarjeta red.  
Es responsable de la encapsulación de datos y el control de acceso a los medios. Proporciona direccionamiento de capa de enlace de datos y está integrado con varias tecnologías de capa física.



- NOTA: El control de acceso al medio puede ser complejo de entender, se verá más adelante



# QUÉ HACE CADA SUBCAPA

- La **subcapa LLC** toma los datos del protocolo de red, que generalmente es un paquete IPv4 o IPv6, y agrega información de control de Capa 2 para ayudar a entregar el paquete al nodo de destino.



- La **subcapa MAC** controla la NIC y otro hardware responsable de enviar y recibir datos en el medio LAN/MAN con cable o inalámbrico. La subcapa MAC proporciona encapsulación de datos:
  - Delimitación de la trama:** El proceso de encuadre ofrece delimitadores importantes para identificar los campos dentro de una trama. Estos bits delimitadores proporcionan sincronización entre los nodos de transmisión y recepción.
  - Direccionamiento:** proporciona direccionamiento de origen y destino para transportar la trama de capa 2 entre dispositivos en el mismo medio compartido.
  - Detección de errores:** incluye un avance utilizado para detectar errores de transmisión.
  - Control de acceso al medio



# QUÉ HACE CADA SUBCAPA

- En la siguiente imagen se muestran las capas y subcapas, con sus correspondientes protocolos o estándares.

