

8.0.1 Introducción a la Capa de Enlace de Datos

Resumen de las capas superiores a la capa de Enlace de Datos.

- La Capa de Aplicación proporciona la interfaz con el usuario.
- La Capa de Transporte divide y administra las comunicaciones entre los procesos que funciona entre los dos sistemas finales de extremo a extremo. Administra los números de puertos asignados a las aplicaciones.
- Los protocolos de la Capa de Red administra los datos para que puedan viajar de extremo a extremo en una inter-red desde el host de origen hasta el host de destino.

Para que los paquetes de la capa de red sean transportados desde el host de origen hasta el host de destino, deben recorrer diferentes clases de redes físicas.

Las redes físicas pueden estar compuestas de alambres de cobre, micro-ondas, fibras ópticas y enlaces satelitales.

Los paquetes de la capa de red no tienen una manera de ingresar directamente a cada una de las clases de medio de transmisión que conforman las redes.

Función de la capa de enlace: preparación de los paquetes de la capa de red para su transmisión y el control de acceso a los medios físicos.

Existencia de diferentes clase de medios de transmisión.

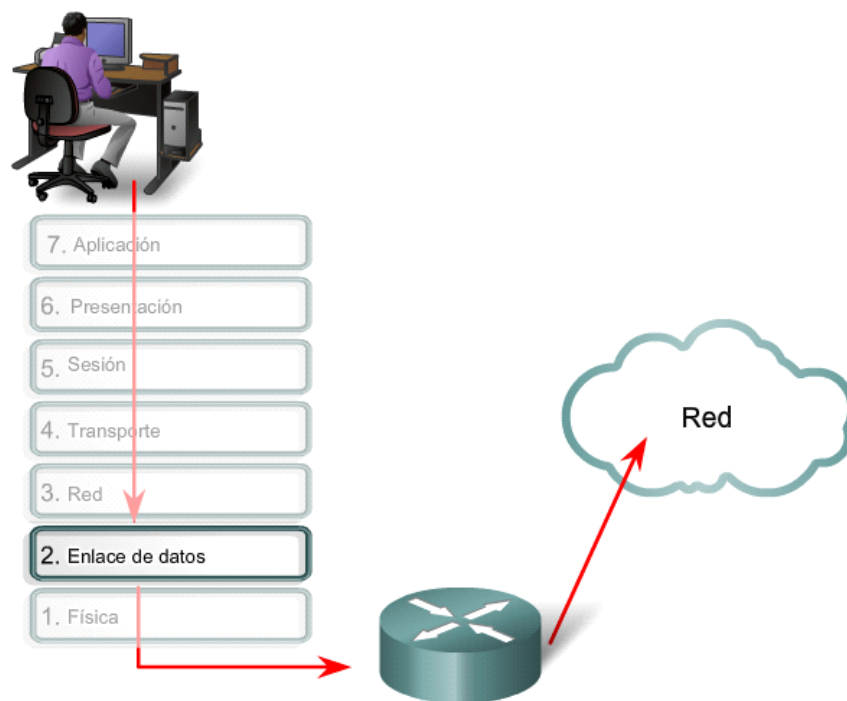
La capa de red no puede acceder a los medios de transmisión.

Métodos de control de acceso a los medios de transmisión.

Identificación de las topologías de conexión de redes.

Encapsulación de los datos para su transmisión.

Estructuración de una trama.



La capa de enlace de datos prepara datos de red para la red física.

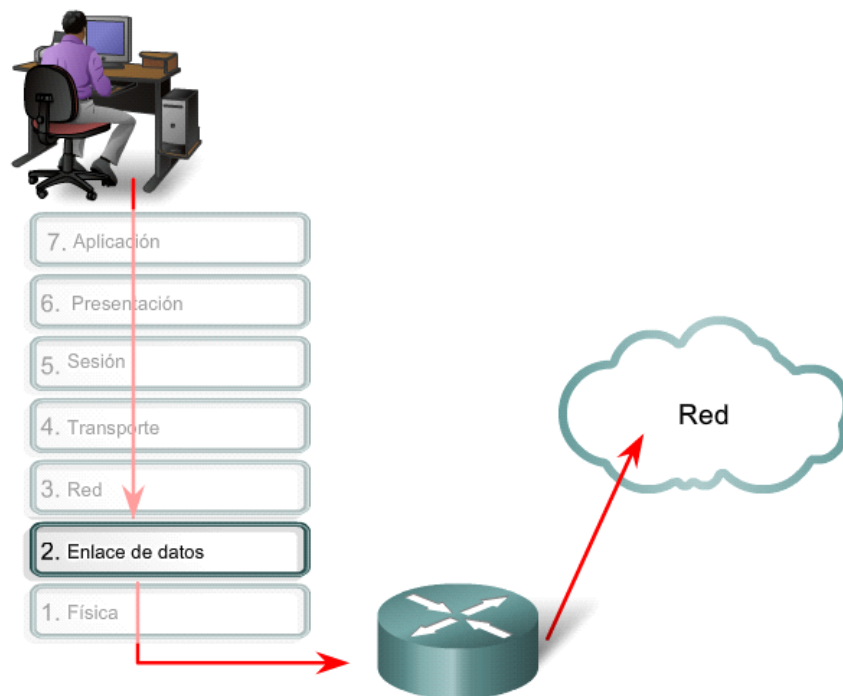
8.0.2 Introducción a la capa de Enlace de Datos

Objetivos del estudio de la Capa de Enlace de Datos:

- Estudio de la función de los protocolos de la Capa de Enlace de Datos.
- Descripción de la forma que la Capa de Enlace de Datos prepara los datos para su transmisión sobre los medios.
- Descripción de las diferentes formas de acceso a los medios.
- Identificación de varias topologías de red física y lógica con sus formas de acceso.
- Explicar el propósito del encapsulamiento de los paquetes en tramas para su transmisión a través de los medios.
- Identificación de los campos genéricos de una trama de nivel dos.
- Explicación de cada uno de los campos genéricos que conforman una trama.

Nomenclatura:

- OSI: Capa de Enlace de Datos.
- TCP/IP: Capa de Acceso a la Red.



La capa de enlace de datos prepara datos de red para la red física.

8.1.1.1 Capa de enlace de datos: soporte y conexión a servicios de capa superior

La capa de enlace de datos proporciona un mecanismo para el intercambio de información a través de medios locales comunes.

Funciones de la capa de enlace de datos:

- Permite a las capas superiores acceder a los medios de transmisión por intermedio del uso de técnicas conocidas tramas.
- Control del ingreso de los datos a los medios y de la recepción de los datos desde los medios de transmisión, a través de las técnicas de control de acceso a los medios y la detección de errores.

PDU de la capa de Enlace de Datos: trama.

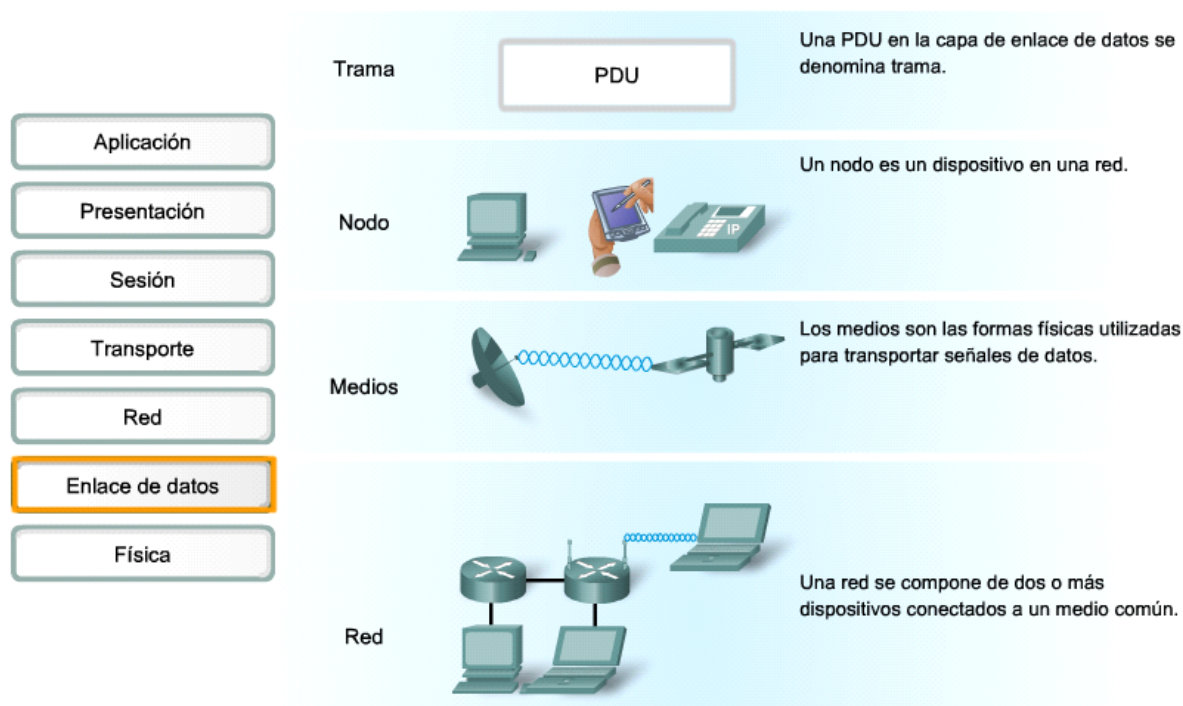
Nodo: notación usada en la capa dos para indicar los dispositivos conectados a un medio común.

Medio físico: recurso físico usado para la transferencia de información.

Red física: dos o más nodos conectados a un mismo medio.

Red lógica: forma como los dispositivos intercambian información a través de direcciones jerárquicas.

Términos de la capa de enlace de datos



8.1.1.2 Capa de Enlace de Datos: soporte y conexión a servicios de capa superior

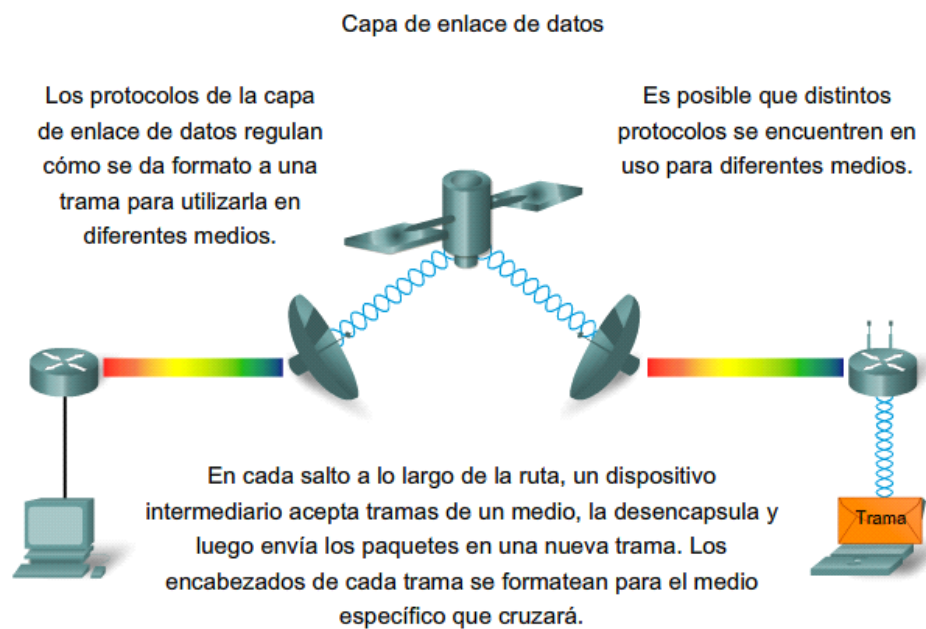
La capa de enlace de datos realiza la función de colocación de la información en el medio de transmisión y de la extracción de la información desde el medio de transmisión.

Cuando un enrutador recibe una trama de una red o subred, des-encapsula la trama y lo vuelve a encapsular para su posterior reenvío a un destino.

Durante el intercambio de información entre dos hosts distantes, la transferencia de información pudo haber sido hecha a través de varias conexiones LAN o WAN con diferentes clases de protocolos de red.

Independientemente de la topología y de los protocolos de comunicaciones, la trama debe ser des-encapsulada y encapsulada en cada paso a través de un enrutador.

La capa de Enlace de Datos releva a las capas superiores de la función de la estructuración de tramas para cada clase de topología de red y cada clase de medio de transmisión que debe ser usado en el segmento de red.



8.1.2 Capa de enlace de datos: control de la transferencia a través de medios locales

Control de acceso al medio: procedimiento que se utiliza en la capa de Enlace de Datos para la inserción o extracción de tramas en el medio de transmisión.

En una comunicación, cuando existe un cambio de medio de transmisión o en cada paso por un enrutador, es necesario el procedimiento del control de acceso al medio.

Existen diferentes formas de acceso al medio. Puede presentarse

- Numerosos dispositivos dispuestos a acceder a un único medio de comunicación en un determinado instante.
- Dispositivos que tengan acceso y comunicación permanente con el medio de comunicación.

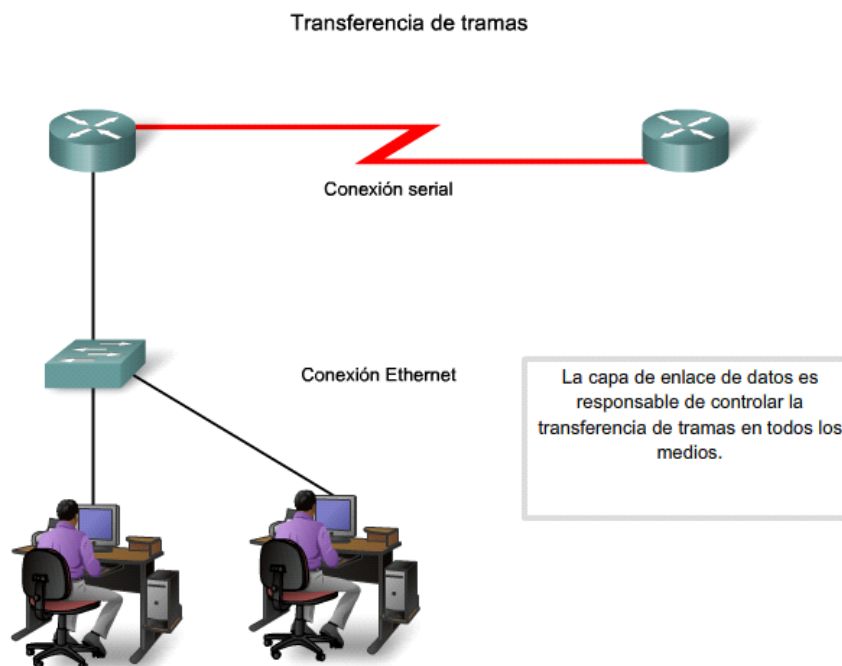
Un nodo que es un dispositivo final, utiliza un adaptador para conectarse a la red.

Un host, un servidor o una impresora de red utiliza una NIC para conectarse a una LAN. La NIC administra la trama y realiza el control de acceso al medio.

En los dispositivos intermediarios de red, como por ejemplo un enrutador, existen diferentes clases de interfaces físicas para la conexión a la red.

El enrutador tiene una interfaz Ethernet para conectarse a la LAN y tiene una interfaz serial para conectarse a la WAN.

A medida que el enrutador procesa tramas, des-encapsula las tramas entrantes dejando los paquetes en la capa de red, y los vuelve a encapsular para su transmisión en la capa de enlace de datos.



8.1.3.1 Capa de enlace de datos: creación de una trama

En la siguiente figura se tiene la estructura general de la trama.

Los protocolos de la capa de enlace de datos requieren de campos de control para la verificación de su funcionamiento.

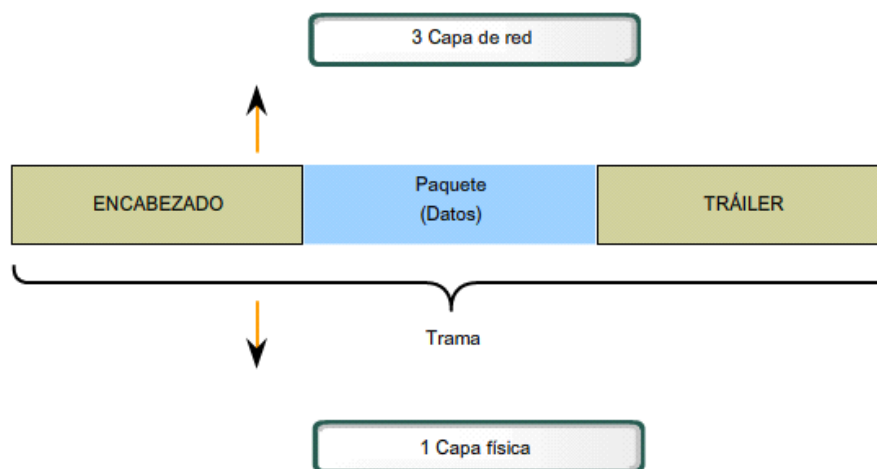
La información de control puede indicar:

- Cuales nodos se encuentran en funcionamiento.
- Cuando comienza y cuando finaliza la comunicación entre nodos individuales.
- Que errores se producen mientras se comunican los nodos.
- Que nodos se comunicarán después.

La capa de enlace de datos prepara los paquetes para su transporte a través de los medios locales encapsulándolos con un encabezado y un acoplado para la creación de una trama.

La trama de la capa de enlace de datos contiene los siguientes campos:

- Encabezado: con información de control y direccionamiento.
- Datos: información de los paquetes, segmentos o datagramas y datos de aplicaciones.
- Acoplado: información de control.



8.1.3.2 Capa de enlace de datos: creación de una trama

Formateo de los datos para la transmisión

Los datos que viajan por los medios se convierten en una secuencia de unos y ceros propagándose en forma serial.

En la secuencia de bits, es necesario la determinación del inicio y del final de una trama, además de otros eventos como:

- Los nodos que están en comunicación entre sí.
- Cuando comienza y cuando termina la comunicación entre nodos individuales.
- Los errores que se producen mientras se comunican los nodos.
- Los nodos que se comunicaran posteriormente.

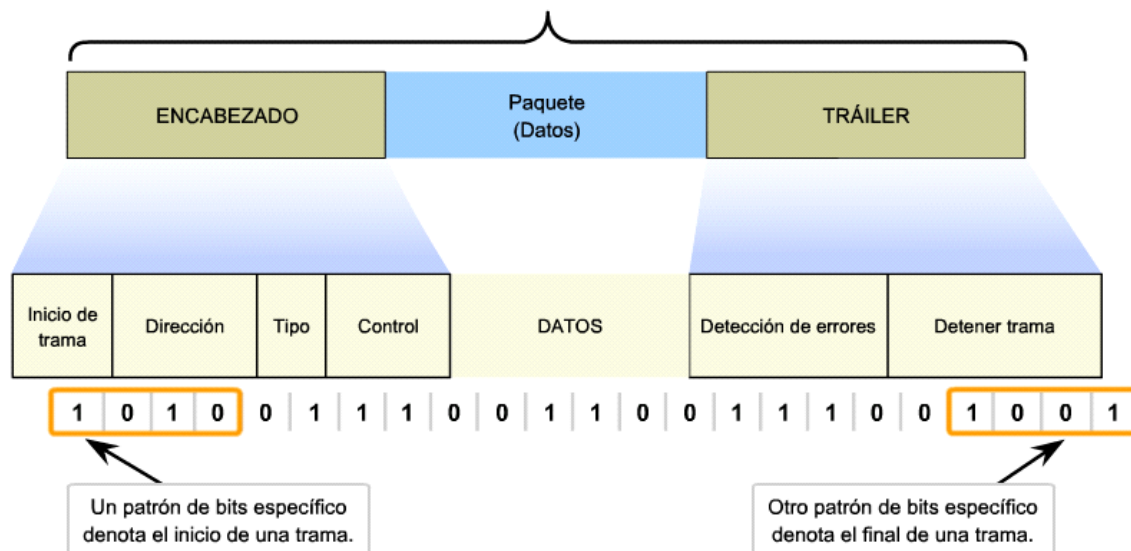
En el flujo de bits, se envían informaciones de control con una determinada característica que son identificables y permite la agrupación de los bits en tramas. Esta información de control se envía en el encabezado y en el acoplado.

Los tipos de campos comunes incluyen:

- Campos indicadores de arranque y detención: límites de comienzo y finalización de una trama.
- Campos de direcciones: direcciones MAC.
- Tipo o clase de campo: tipo de PDU que contiene la trama.
- Control: servicio de control de flujo.
- Un campo de datos: el contenido de las tramas. Son los paquetes de la Capa de Red.
- Detección de errores: cálculo del CRC.
- Campo de final de la trama.

No todos los protocolos incluyen todos estos campos.

Formateo de datos para la transmisión



8.1.4.1 Capa de enlace de datos: conexión de servicios de capa superior a los medios

La capa de enlace de datos existe como una capa entre los procesos de software de las capas superiores y la capa física debajo de ella.

Conforme a esto, prepara los paquetes para su transmisión a través de un medio de cobre, fibra óptica o radioenlace.

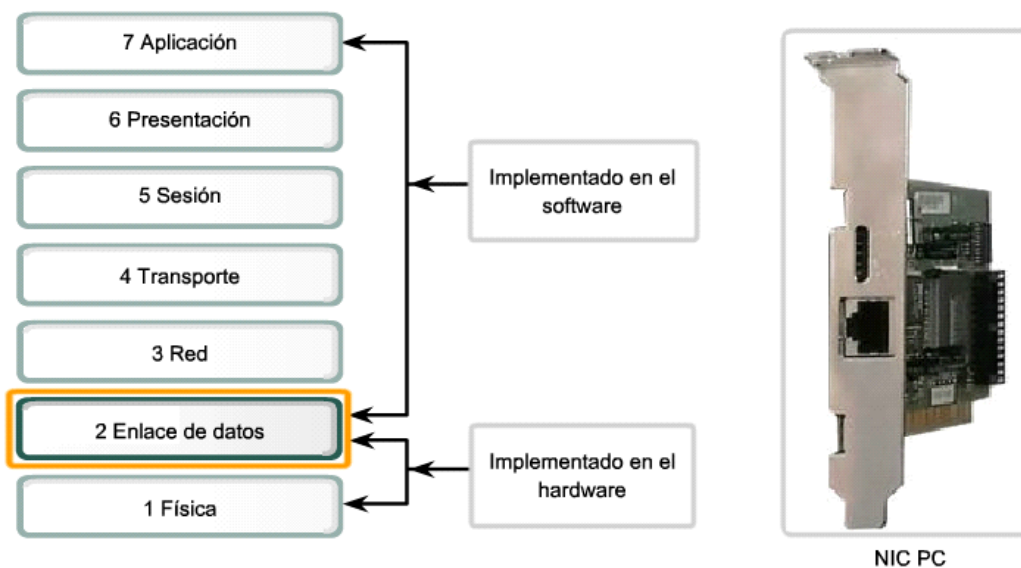
En muchos casos, la capa de Enlace de Datos está incorporada como la NIC de Ethernet que se inserta dentro del bus de una computadora y realiza la conexión de los procesos de software que se ejecutan en la computadora y en los medios físicos.

El software asociado con la NIC permite que esta prepare los datos para la transmisión y lo codifica como señales para su transmisión por los medios asociados.

Conexión de servicios de capa superior a los medios

La capa de enlace de datos conecta las capas del software y del hardware.

Los dispositivos físicos dedicados a la capa de enlace de datos tienen los componentes de hardware y software.



8.1.4.2 Capa de enlace de datos: conexión de servicios de capa superior a los medios

Para dar soporte a una variedad de servicios de red, la capa de enlace de datos se subdivide en dos subcapas:

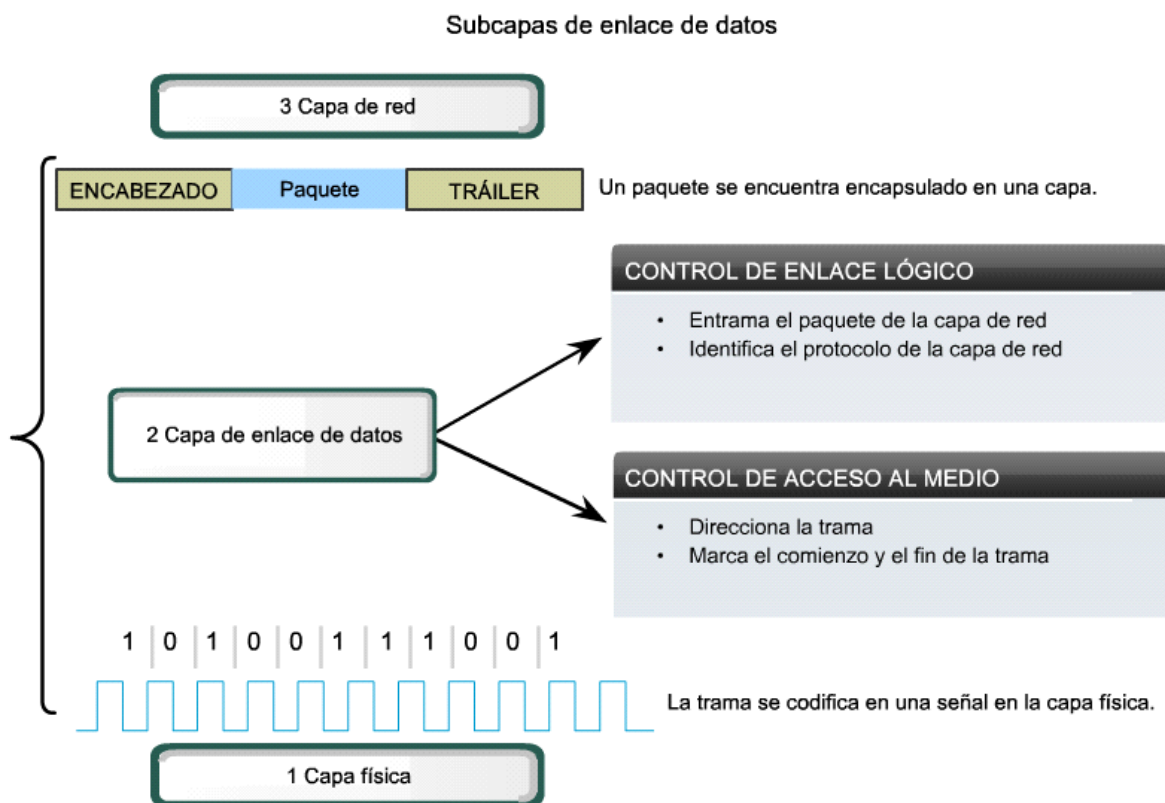
Una subcapa superior: define los procesos de software que proporcionan servicios a los protocolos de la capa de red.

Una subcapa inferior: define los procesos de acceso a los medios que realiza el hardware.

La separación de la capa de enlace de datos en dos subcapas le permite a los servicios definidos por la trama en la capa superior acceder a los diferentes tipos de medios de transmisión definidos en la capa inferior.

Las dos subcapas son:

- La subcapa superior de Control de Enlace Lógico LLC: coloca información en la trama que identifica que protocolo de la capa de red se está utilizando, ejemplo IPv4, IPv6, IPX. Esto permite que varios protocolos utilicen la misma interfaz de red y el mismo medio de transmisión.
- La subcapa inferior de Control de Acceso al Medio MAC: proporciona a la capa de enlace de datos, el direccionamiento y la delimitación de los datos de acuerdo con el tipo de medio y el tipo de protocolo de capa de Enlace de Datos en uso.



8.1.5.1 Capa de enlace de datos: estándares

Los protocolos de las capas superiores se implementan en la red TCP/IP por medio de una solicitud de comentarios RFC remitidos al IETF.

Los protocolos de las capas superiores están relacionados con el software, sistemas operativos ect.

La IETF no establece estándares para los protocolos de la capa de Enlace de Datos.

La capa de Acceso de Red del modelo TCP/IP es el equivalente a la capa de Enlace de Datos y a la capa Física, ambos del modelo OSI.

Las organizaciones de Ingeniería establecen estándares y protocolos públicos y abiertos.

Los fabricantes pueden usar sus propios protocolos para aprovechar los avances tecnológicos y las oportunidades de negocios.

Las organizaciones de ingeniería que definen estándares y protocolos abiertos que se aplican a la capa de enlace de datos incluyen:

- Organización Internacional para la Estandarización (ISO)
- Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)
- Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI)
- Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU)

Estándares para la capa de enlace de datos

ISO:	HDLC (Control de enlace de datos de alto nivel)
IEEE:	802.2 (LLC) 802.3 (Ethernet) 802.5 (Token Ring) 802.11(Wireless LAN [LAN inalámbrica])
ITU:	Q.922 (Estándar de Frame Relay) Q.921 (Estándar de enlace de datos ISDN) HDLC (Control de enlace de datos de alto nivel)
ANSI:	3T9.5 ADCCP (Protocolo de control de comunicación avanzada de datos)

8.1.5.2 Capa de enlace de datos: estándares

Los protocolos de las capas superiores están implementados en el software, como el sistema operativo y las aplicaciones conocidas.

Los protocolos de la capa de Enlace de Datos se implementan en los componentes electrónicos de los adaptadores de red con los que el dispositivo se conecta a la red física.

En una computadora se usa la tarjeta de interfaz de red NIC.

En una computadora portátil se usa la tarjeta PCMCIA.

Estándares para la capa de enlace de datos

ISO:	HDLC (Control de enlace de datos de alto nivel)
IEEE:	802.2 (LLC) 802.3 (Ethernet) 802.5 (Token Ring) 802.11 (Wireless LAN [LAN inalámbrica])
ITU:	Q.922 (Estándar de Frame Relay) Q.921 (Estándar de enlace de datos ISDN) HDLC (Control de enlace de datos de alto nivel)
ANSI:	3T9.5 ADCCP (Protocolo de control de comunicación avanzada de datos)

8.2.1 Colocación de tramas en los medios

La regulación de la colocación de tramas de datos en los medios es conocido como control de acceso al medio.

Existen diferentes métodos de control de acceso al medio.

Las técnicas de control de acceso al medio definen si los nodos comparten el acceso al medio y de qué manera lo hacen.

El acceso a un medio debe ser controlado para evitar o reducir las colisiones.

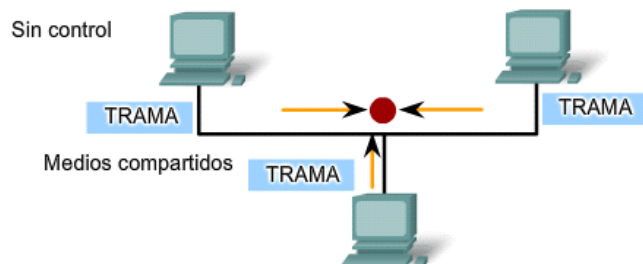
Algunos procedimientos de control de acceso al medio son bastante elaborados, con lo cual se evitan colisiones, pero se agrega una alta sobrecarga de tráfico de control a la red.

El método de control de acceso al medio depende de:

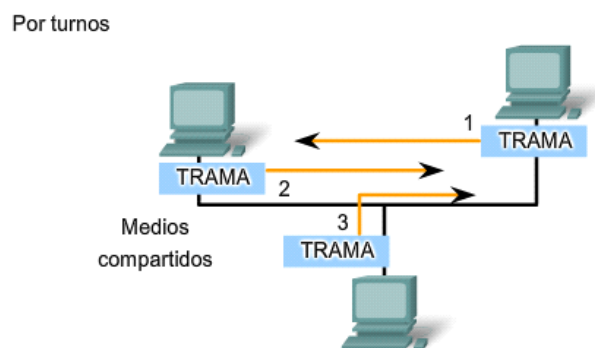
- Medio compartidos: definir si los nodos comparten los medios y de qué manera lo comparten.
- Topología: como se muestra la conexión de los nodos a la capa de enlace de datos.

Métodos de control de acceso al medio

Si no se realiza ningún control, se producirían muchas colisiones. Las colisiones producen tramas corruptas que deben volver a enviarse.



Los métodos que cumplen con un alto grado de control impiden las colisiones, pero el proceso tiene muchas sobrecargas.



Los métodos que cumplen con un bajo nivel de control tienen pocas sobrecargas, pero hay colisiones con mayor frecuencia.

8.2.2.1 Control de acceso al medio para medios compartidos

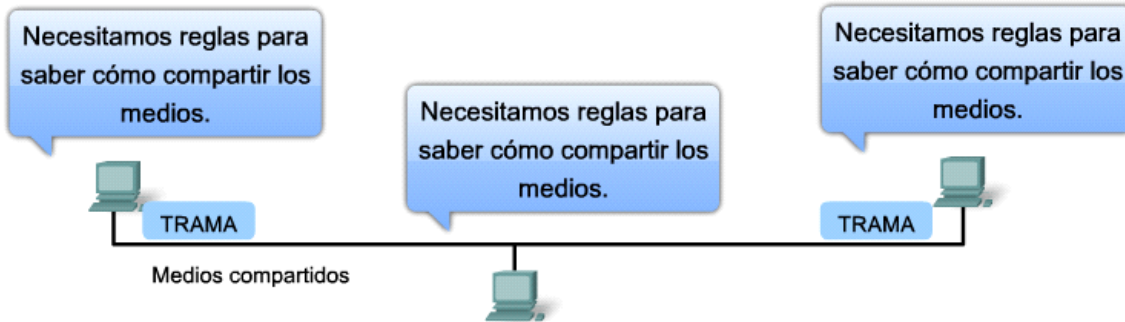
Algunas topologías comparten un medio común con varios nodos.

En algún momento varios nodos pueden intentar el envío o la recepción de tráfico a través del medio simultáneamente.

Hay métodos básicos de control de acceso para medios compartidos:

- Acceso controlado: cada nodo tiene asignado un intervalo de tiempo establecido para acceder al medio.
- Acceso por contención: todos los nodos compiten por el uso del medio.

Control de acceso al medio para medios compartidos



8.2.2.2 Control de acceso al medio para medios compartidos

Acceso controlado para medios compartidos

Los dispositivos toman su turno para acceder al medio.

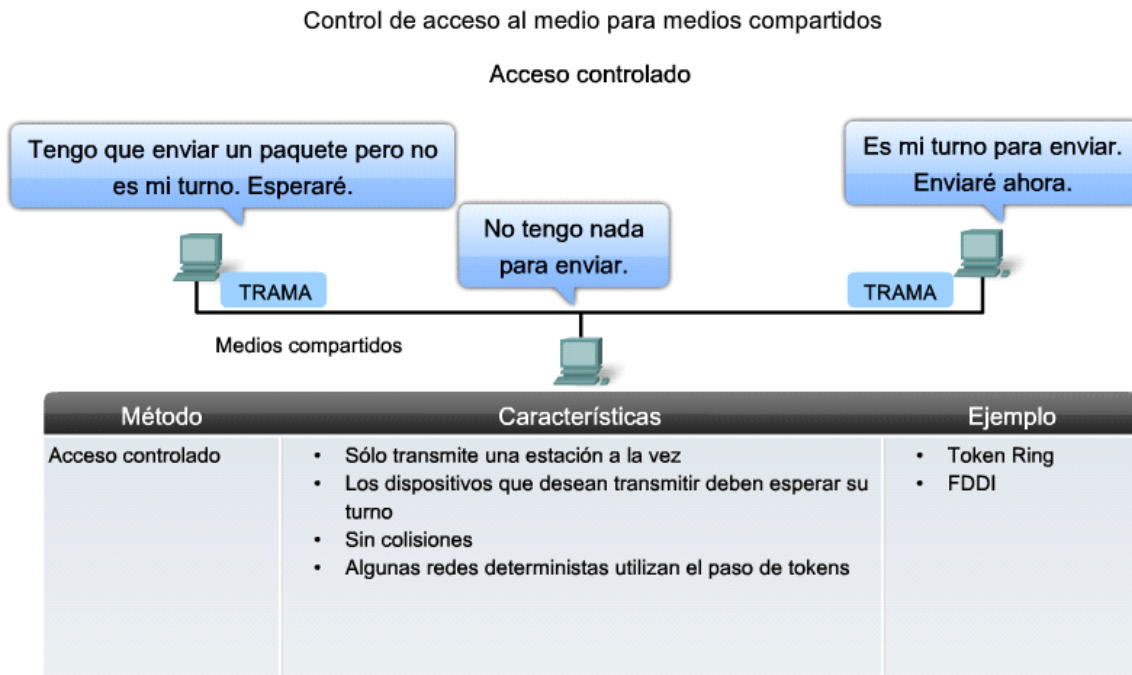
Es un acceso programado o determinista.

Si dispositivo no necesita acceder al medio, el turno le cede al siguiente nodo para el acceso al medio.

Si un nodo coloca una trama en el medio, ningún otro dispositivo puede hacerlo hasta que la trama haya llegado a destino y haya sido procesada.

Esta forma de acceso proporciona un rendimiento predecible.

La forma de acceso se puede considerar ineficiente debido al tiempo de espera de cada nodo para el ingreso a la red.



8.2.2.3 Control de acceso al medio para medios compartidos

Acceso por contención para medios compartidos

Es denominado acceso no determinista.

Permite que cualquier dispositivo pueda acceder al medio cuando tenga tráfico para enviar.

Para evitar la colisión se usa el Acceso Múltiple por Detección de Portadora CSMA, para detectar si el medio están transportando alguna señal.

Si se detecta una señal en el medio, significa que otro nodo está transmitiendo una señal.

Si un nodo intenta transmitir y detecta una señal en el medio, esperará un tiempo para volver a intentarlo.

Si no se detecta una señal en el medio, el nodo procede a transmitir la señal.

Es posible que el proceso CSMA falle y dos nodos transmitan simultáneamente. Habrá una colisión en los datos transmitidos, los contenidos de las tramas se deterioran. Los datos deben ser retransmitidos nuevamente.

Los métodos de control de acceso a los medios compartidos no tienen la misma sobrecarga que los métodos de control de acceso controlado. No se requiere un mecanismo para determinar cuál nodo tiene el turno para el acceso al medio.

No existe exactitud en la determinación del ingreso de datos a los medios. Cuando se incrementa el número de usuarios en la red o cuando el volumen de tráfico se incrementa, la probabilidad de una colisión aumenta.

8.2.2.4 Control de acceso al medio para medios compartidos

CSMA/Detección de Colisión

CSMA detección de colisión, CSMA/CD: una vez evaluado la disponibilidad del medio, cualquier nodo puede transmitir. Si existe colisión, los datos son descartados y la transmisión se vuelve a intentar con posterioridad con retardos diferentes.

La colisión ocurre cuando dos dispositivos ubicados en puntos muy distantes transmiten simultáneamente.

Utilizado por Ethernet.

CSMA/Prevención de Colisión

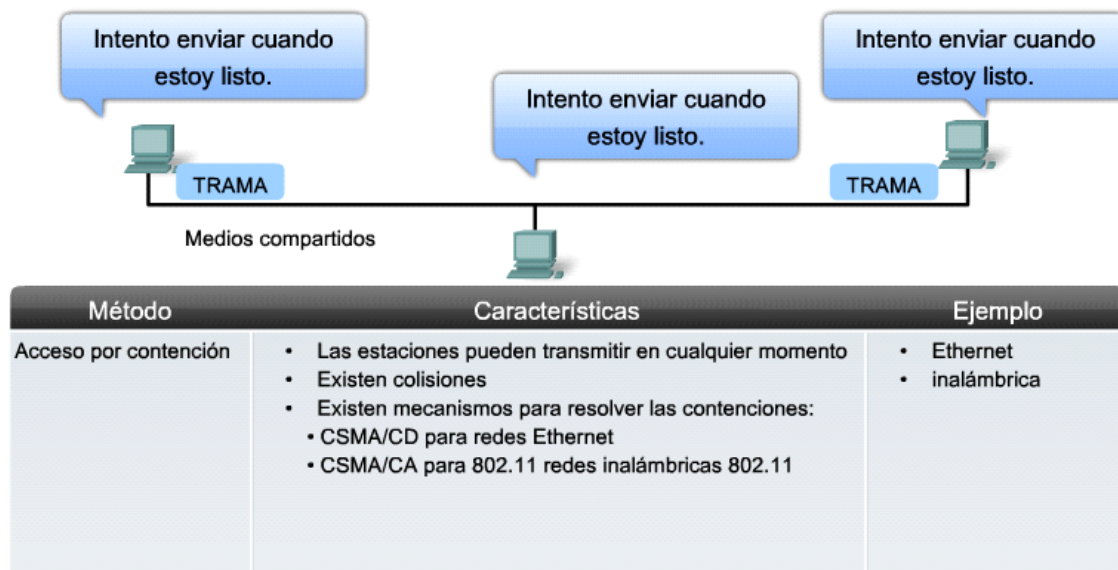
CSMA/Prevención de colisión, CSMA/CA: una vez evaluado la disponibilidad del medio, el nodo con tráfico pendiente envía una notificación de acceso al medio.

Con posterioridad procede al envío del contenido al medio.

Utilizado por las redes inalámbricas.

Control de acceso al medio para medios compartidos

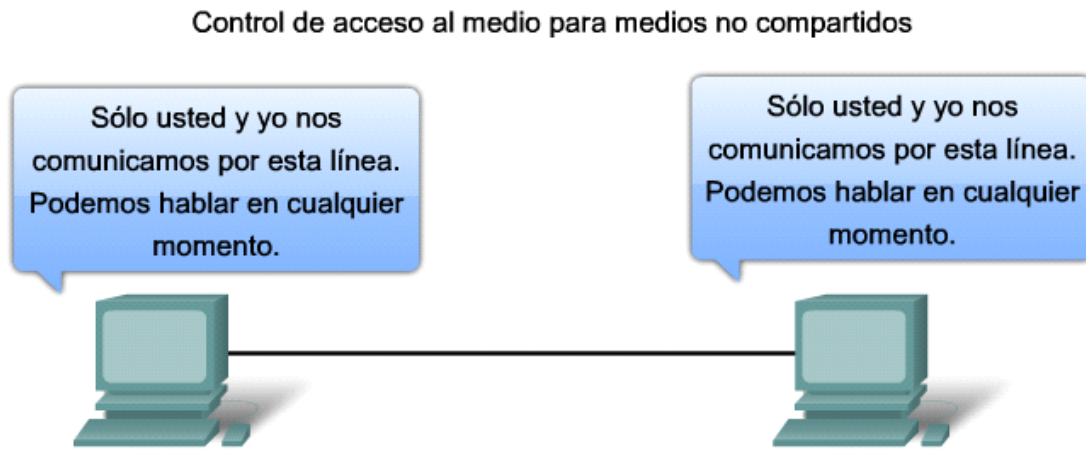
Acceso por contención



8.2.3.1 Control de acceso al medio para medios no compartidos.

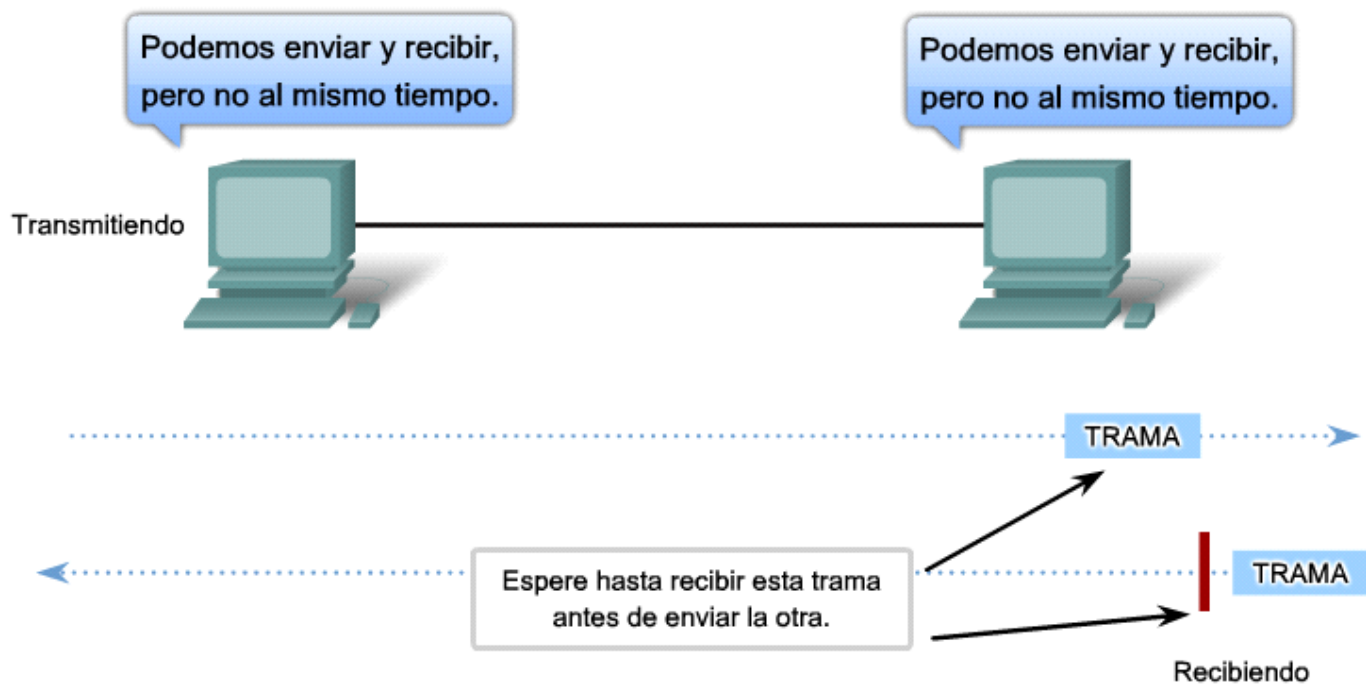
No requieren el control de acceso al medio para la colocación de tramas en los medios.
Es aplicable en las topologías punto a punto.

No se necesita determinar o establecer que una trama está dirigida hacia el otro nodo.



8.2.3.2 Transmisión semiduplex

Una sola estación puede transmitir por vez.



8.2.3.3 Transmisión semiduplex

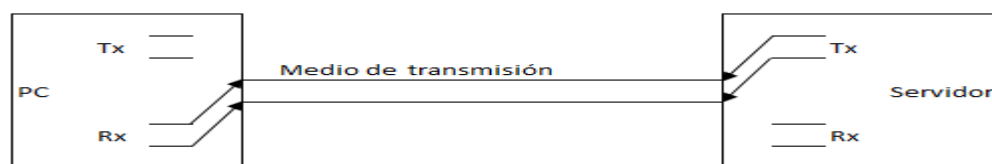
Estado de reposo, sin transferencia de datos.



Consulta desde el PC cliente, activación del transmisor.



Respuesta del servidor, finalización de la respuesta.



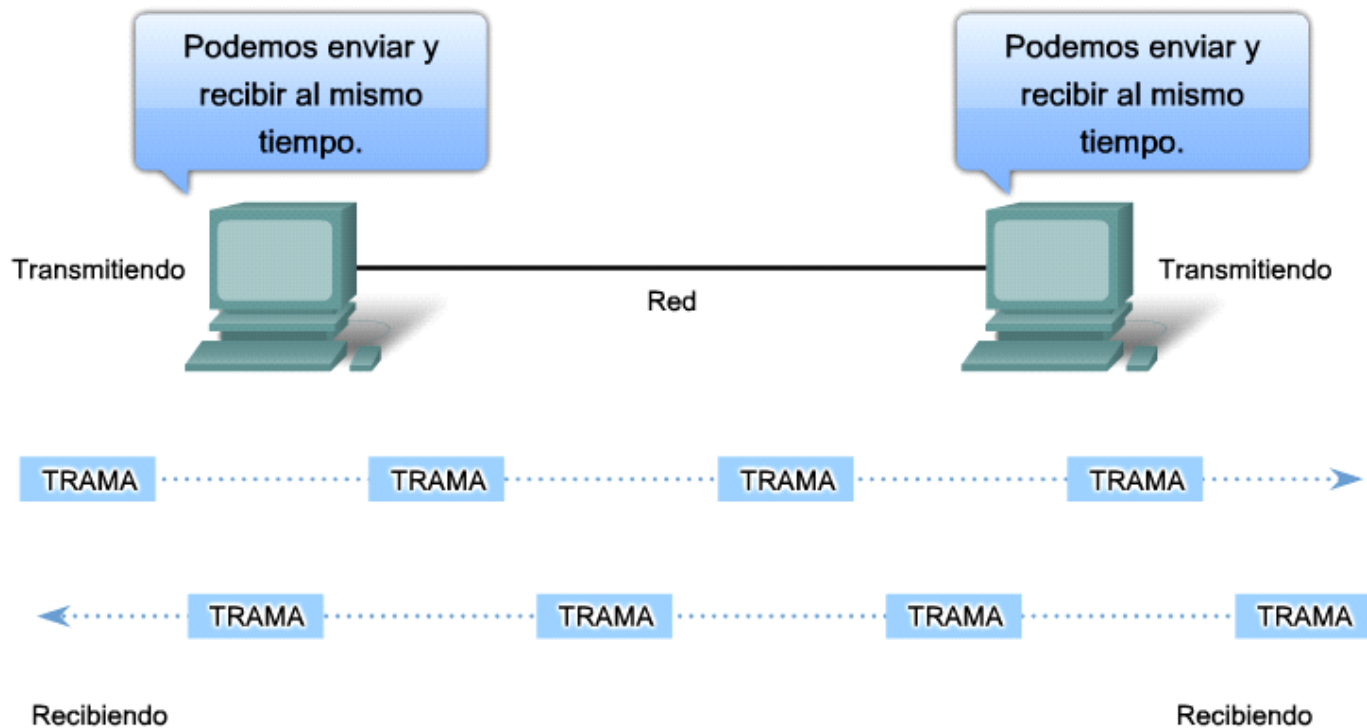
Estado de reposo, sin transferencia de datos.



8.2.3.4 Transmisión full dúplex

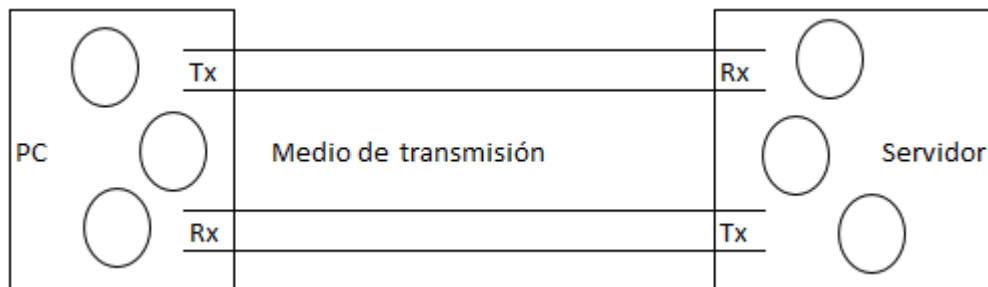
Transmisión simultánea en ambas direcciones.

No es necesario el establecimiento de un arbitraje para decidir cual de los transmisores puede colocar la trama en el medio.



8.2.3.5 Transmisión full duplex

Un host puede tener varios procesos activos simultáneamente. Debe existir transmisión y recepción simultánea en ambas direcciones.



8.2.4 Comparación entre la topología lógica y la topología física

La topología es la configuración o la relación de los dispositivos a través de su interconexión entre ellos.

La topología física contiene la configuración de los nodos y las conexiones físicas entre ellos. Está relacionado con el cableado que interconecta los equipos para la conformación de la red.

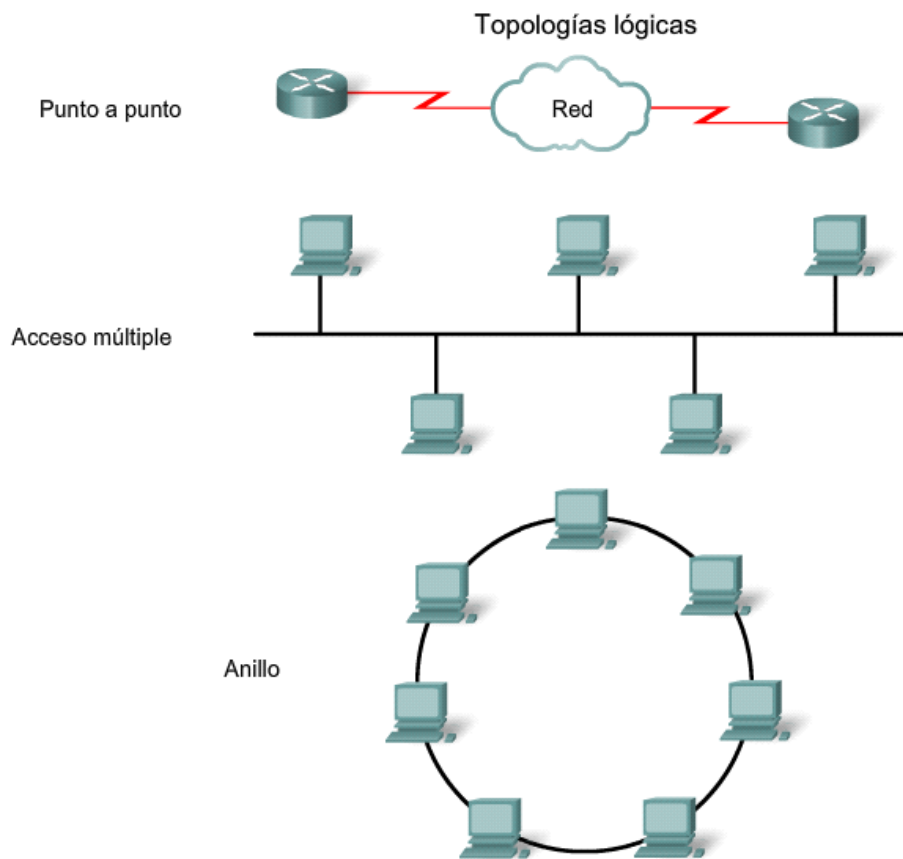
La topología lógica es la forma que la red ingresa las tramas al medio y transfiere las tramas de un nodo al siguiente. La topología lógica influye en el tipo de trama de red.

La topología lógica controla el intercambio de información en un medio el cual puede ser compartido entre numerosos nodos.

La topología física y lógica no siempre coinciden en una red.

Las topologías lógica y física usada en las redes son:

- Punto a punto.
- Acceso múltiple.
- Anillo.



8.2.5.1 Topología punto a punto

Esta topología conecta los dos nodos directamente entre sí.

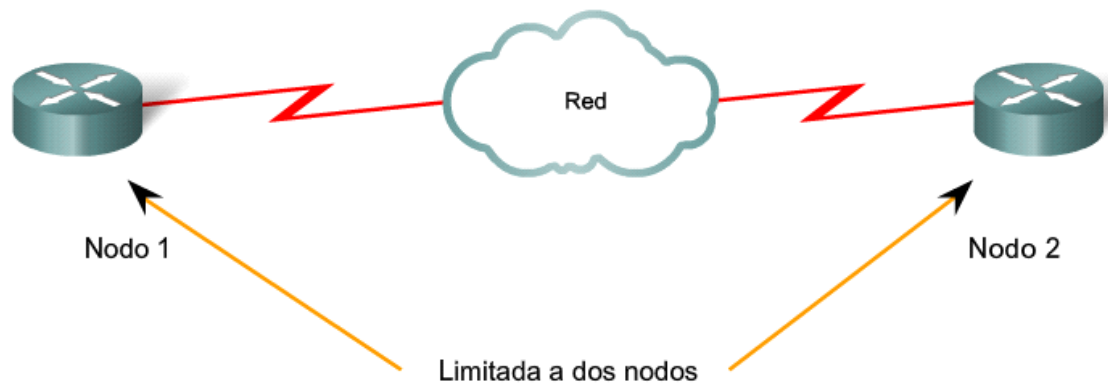
Todas las tramas en los medios solamente puede viajar hacia uno de los nodos.

Un nodo coloca las tramas en un extremo y el otro nodo se encarga de extraerlo.

La transferencia de información puede ser semidúplex o full dúplex.

Los protocolos de la capa de Enlace de Datos podrían colocar una trama más compleja en el medio, pero esto agregaría una sobrecarga innecesaria al enlace.

Topología punto a punto



8.2.5.2 Topología punto a punto

Los nodos de los extremos que se comunican en una red punto a punto pueden estar conectados físicamente a través de una cantidad de dispositivos intermediarios. Los nodos de origen y destino están conectados indirectamente a través de la red. Esta conexión se denomina circuito virtual. Un circuito virtual es una conexión lógica entre dos dispositivos de una red. El método de control de acceso a los medios se determina por la topología lógica. La conexión lógica punto a punto entre dos nodos puede presentarse entre dispositivos conectados a diferentes redes.

Topología lógica punto a punto



8.2.6 Topología multiacceso

Una topología lógica de acceso múltiple permite a muchos nodos comunicarse entre sí a través de un medio compartido.

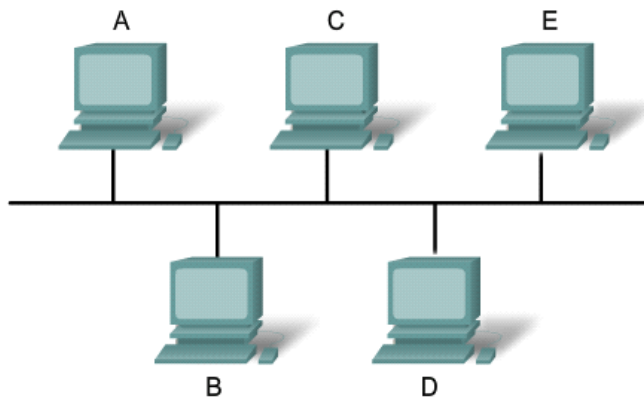
Los datos desde un determinado nodo puede ser colocado en la red en cualquier momento. Cada uno de los nodos conectados recibe la trama que ingresa uno cualquiera de ellos, pero solamente procesa la trama el nodo al cual está dirigido la trama.

Muchos nodos que comparten el acceso a los medios requieren un método de enlace de datos que regule la transmisión de los mismos y que reduzca las colisiones en la red.

Los métodos de acceso a los medios que utilizan la topología de acceso múltiple son CSMA/CD y CSMA/CA. También se puede usar la topología del paso de Tokens.

El protocolo de la capa de enlace de datos especifica el control de acceso a los medios que proporcionará el control de la trama, la protección de la trama y la sobrecarga de la red.

Topología lógica multiacceso



8.2.7 Topología de anillo

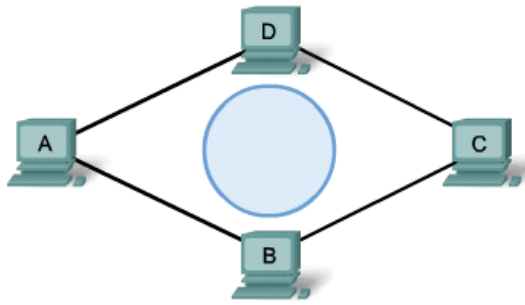
En una topología en anillo, cada nodo recibe una trama procedente de un nodo anterior. Los nodos en una topología lógica, retiran la trama del anillo, examinan la dirección o destino de la trama y lo reenvían al medio si no está dirigido al nodo.

En un anillo, todos los nodos desde el origen hasta el destino examinan el contenido el mensaje y lo retrasmite si no está dirigido a dicho nodo.

En una topología en anillo, todos los nodos alrededor del anillo, desde el origen hasta el destino analizan el destino de la trama.

En caso que ningún nodo transmita, se hace circular un Token en la red. Uno nodo podrá transmitir cuando reciba el Token.

Topología lógica de anillo



8.3.1 Protocolo de la capa de enlace de datos: la trama

El contenido de la trama varía conforme al medio de transmisión.

En consecuencia, existen varios tipos de protocolos. Cada tipo de trama tiene tres partes básicas.

- Encabezado.
- Datos.
- Acoplado (trailer).

El campo de datos le corresponde al paquete, la PDU de la capa de red.

Todas las tramas encapsulan el campo de datos, sin embargo los contenidos del encabezado y del acoplado varían según el tipo de protocolo.

Cuando la trama llega a su destino, el protocolo de la capa de Enlace de Datos extrae los datos y los contenidos de la cabecera y del acoplado son descartados.

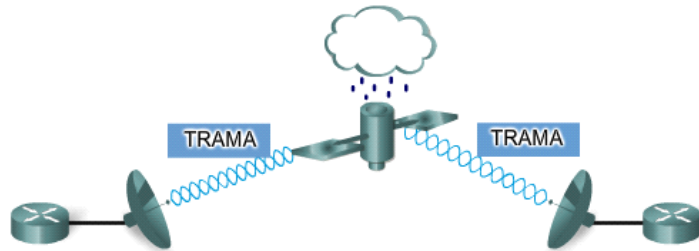
No existe una estructura de datos que cumpla con todos los requerimientos para el transporte de todos los tipos de datos a través de cualquiera de los medios.

La información de los campos de control y del acoplado varía conforme a los métodos de acceso a los medios y a la topología implementada.

Protocolos de capa de enlace de datos: La trama

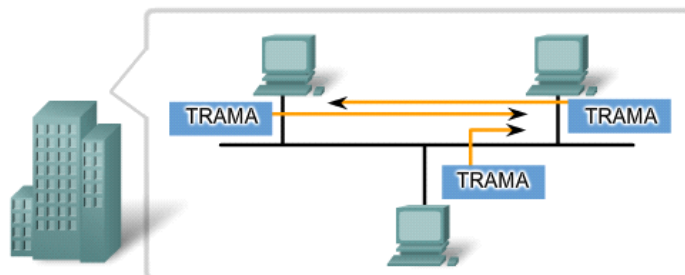
En un ambiente frágil, se necesita mayor control para asegurar la entrega. Los campos del encabezado y del tráiler son más grandes porque se necesita más información de control.

Es necesario un mayor esfuerzo para asegurar la entrega = mayor sobrecarga
= velocidades de transmisión más lentas



En un ambiente protegido, podemos confiar en que la trama llegue a su destino. Se necesitan menores controles, lo que produce campos y tramas más pequeños.

Es necesario un menor esfuerzo para asegurar la entrega = menor sobrecarga
= velocidades de transmisión más rápidas



8.3.2 Tramado: función del encabezado

El encabezado de la trama contiene el control de la capa de enlace de datos para la topología específica y los medios de transmisión.

La información de control de trama es única para cada protocolo de enlace de datos.

Los campos típicos del encabezado incluyen:

- Campo de inicio de trama: le indica a los dispositivos receptores la llegada de una trama.
- Campos de dirección de origen y destino: indica la dirección de los nodos de origen y destino.
- Campo de prioridad/calidad: indica un tipo particular de servicio de comunicación. Ejemplo: datos, voz.
- Campo tipo: indica el servicio de la capa superior que se incluye en la trama. Ejemplo: IPv4, IPv6.
- Longitud: indica la longitud de la trama.
- Campo control de conexión lógica: se utiliza para el establecimiento de la conexión lógica entre nodos.
- Campo control de enlace físico: se utiliza para el establecimiento del enlace a los medios.
- Campo de control de flujo: se utiliza para el inicio ó detención del tráfico a través de los medios.
- Campo de control de congestión: indica la congestión en los medios.

No todos los protocolos utilizan estos campos.

El uso de estos campos es una función del acceso a los medios y a la topología de conexión de los nodos.

La función del encabezado

Encabezado			Datos	FCS	DETENER TRAMA
Iniciar trama	Dirección	Tipo/Longitud			

8.3.3.1 Direccionamiento: hacia donde se dirige la trama

La capa de enlace de datos proporciona un direccionamiento físico a través de los medios locales compartidos. Las direcciones de los dispositivos en esta capa se denominan direcciones físicas.

El direccionamiento de la capa de enlace de datos se encuentra en la cabecera de la trama e indica la dirección de destino del nodo.

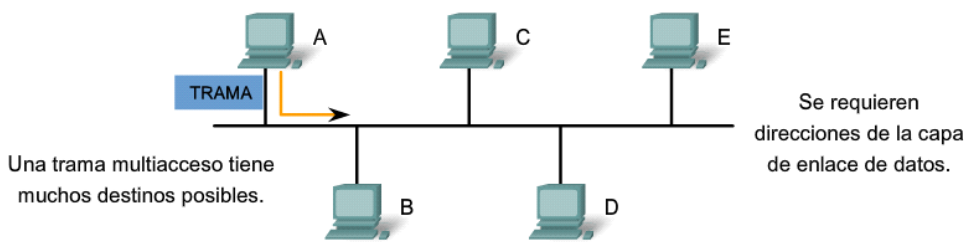
Las direcciones de capa tres son jerárquicas. Las direcciones de capa dos no indican en que red se encuentra instalado un dispositivo. Si el dispositivo se traslada a una red diferente, la dirección de este dispositivo no tiene cambio.

Debido a que la trama sólo se utiliza para transportar datos entre nodos a través del medio local, la dirección de la capa de enlace de datos sólo se utiliza para entregas locales. Las direcciones en esta capa no tienen significado más allá de la red local. Compare esto con la Capa 3, en donde las direcciones en el encabezado del paquete pasan del host de origen al host de destino sin tener en cuenta la cantidad de saltos de redes a lo largo de la ruta.

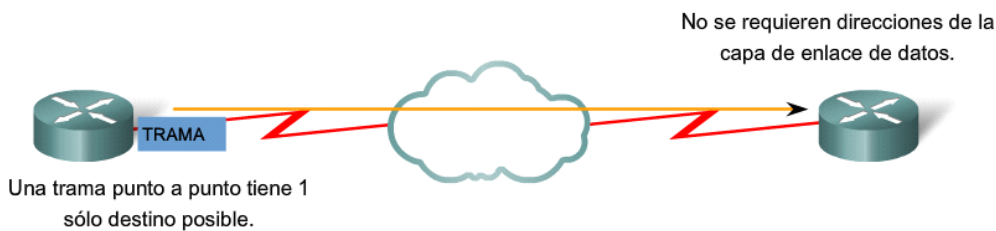
Una trama tiene una dirección MAC de origen y una dirección MAC de destino.

Si el paquete en la trama debe pasar a otro segmento de la red, el dispositivo intermediario (un enrutador) des-encapsula la trama original, crea una nueva trama para el paquete y la envía al nuevo segmento. La nueva trama usa el direccionamiento de origen y de destino según sea necesario para transportar el paquete a través del nuevo medio.

Topología lógica multiacceso



Topología lógica punto a punto

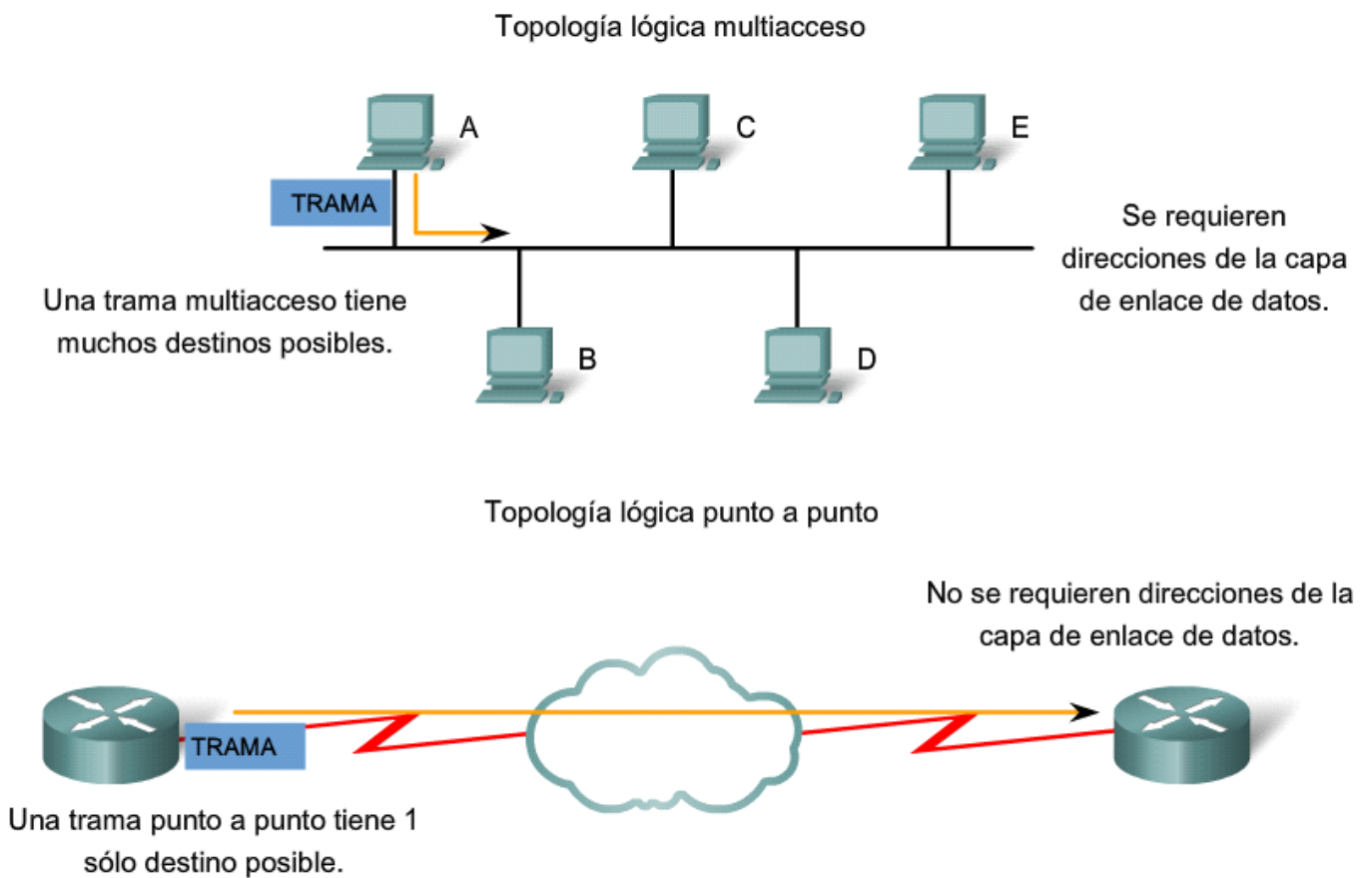


8.3.3.2 Direccionamiento: hacia donde se dirige la trama

Requisitos de direccionamiento

La necesidad de direccionamiento de la capa de enlace de datos en esta capa depende de la topología lógica.

Las topologías punto a punto, con sólo dos nodos interconectados, no requieren direccionamiento. Una vez en el medio, la trama sólo tiene un lugar al cual puede ir. Debido a que las topologías de anillo y de acceso múltiple pueden conectar muchos nodos en un medio común, se requiere direccionamiento para esas topologías. Cuando una trama alcanza cada nodo en la topología, el nodo examina la dirección de destino en el encabezado para determinar si es el destino de la trama.



8.3.4 Tramado: función del acoplado

Los protocolos de la capa de Enlace de datos agregan un acoplado (trailer), el cual se utiliza para determinar si existe error en la trama que va a ser transmitida.

El proceso se denomina detección de errores, no corrección de errores.

Secuencia de verificación de trama

La detección de errores se realiza muy cerca a la capa de los medios físicos donde existe la mayor fuente de error.

Antes de la transmisión de la trama, con los datos de la trama se calcula un resumen lógico representativo de la trama, denominada como valor de comprobación de redundancia cíclica CRC y se le agrega dentro del acoplado de la trama para su transmisión.

El valor calculado del CRC se coloca en el campo de Secuencia de Verificación de Trama FCS, ubicado en el acoplado de la trama.

Cuando la trama, incluido el FCS llega al nodo de destino, el receptor calcula su propio resumen lógico o CRC de la trama recibida.

Esto lo efectúa por medio del cálculo del valor del residuo, resultante de la división entre la trama recibida y el polinomio generador.

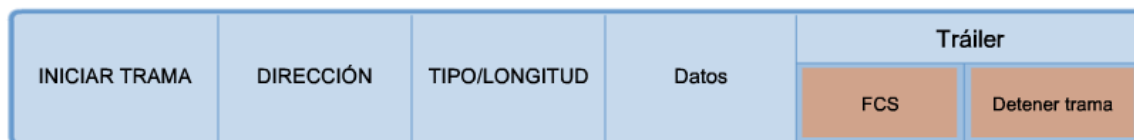
Si el valor calculado del residuo es igual a cero, se considera que no existe error alguno en la trama recibida. La trama se acepta.

Si el valor calculado del residuo es diferente de cero, se considera que existe un error en la trama recibida. Esta trama se descarta.

Es muy baja la probabilidad que un receptor no detecte el error en las tramas recibidas.

El campo de detener trama se utiliza cuando no se especifica el campo de longitud de trama.

La función del tráiler



8.3.5.1 Protocolo de la capa de enlace de datos: la trama

Los protocolos de la capa de enlace de datos transportan los paquetes de la capa de red.

Existen diferentes clases de protocolos en la capa de enlace de datos debido a la variedad de topología y la variedad de medios físicos.

Algunos de los protocolos de la capa de enlace de datos son:

- Ethernet.
- Protocolo punto a punto PPP.
- Control de enlace de datos de alto nivel HDLC.
- Frame Relay.
- Modo de transferencia asincrónico ATM.

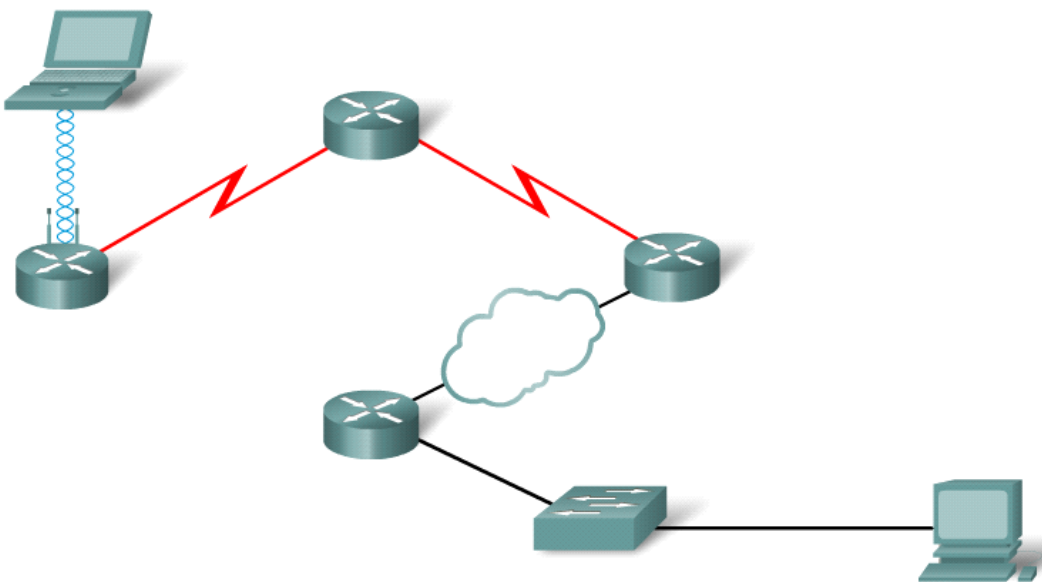
La topología de la red, la cantidad de usuario y los especificaciones de la red determinan la tecnología que debe ser utilizada.

Entre los dispositivos de capa de enlace de datos se tiene la interfaz de red NIC de los computadores.

Tecnología LAN: alto ancho de banda, corta distancia y alta densidad de usuarios.

Tecnología WAN: larga distancia, algunos medios tienen un ancho de banda reducido.

Ejemplos de protocolos de la Capa 2



8.3.5.2 Protocolo de la capa de enlace de datos: la trama

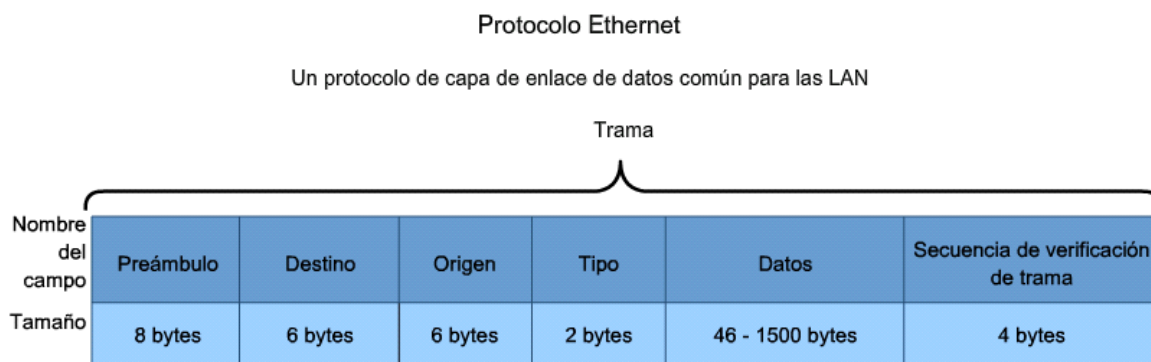
Protocolo Ethernet para LAN

Ethernet es una familia de tecnologías de networking que se define en los estándares IEEE 802.2 y 802.3. Los estándares de Ethernet definen los protocolos de la Capa 2 y las tecnologías de la Capa 1. Ethernet es la tecnología LAN más ampliamente utilizada y soporta anchos de banda de datos de 10, 100, 1000, o 10 000 Mbps.

El formato básico de la trama y las subcapas IEEE de las Capas OSI 1 y 2 siguen siendo los mismos para todas las formas de Ethernet. Sin embargo, los métodos para detectar y colocar en los medios varían con las diferentes implementaciones.

Ethernet proporciona servicio sin conexión y sin reconocimiento sobre un medio compartido mediante CSMA/CD como métodos de acceso a los medios. El medio compartido requiere que el encabezado de la trama de Ethernet utilice la dirección de la capa de enlace de datos para identificar los nodos de origen y de destino. Como con la mayoría de los protocolos LAN, esta dirección se llama dirección MAC del nodo. Una dirección MAC de Ethernet es de 48 bits y generalmente se representa en formato hexadecimal.

La trama de Ethernet tiene muchos campos, como se muestra en la figura. En la capa de enlace de datos, la estructura de trama es casi idéntica para todas las velocidades de Ethernet. Sin embargo, en la capa física, las diferentes versiones de Ethernet colocan los bits sobre el medio de forma diferente. Ethernet II es el formato de trama de Ethernet que se utiliza en las redes TCP/IP.



Preámbulo: se utiliza para la sincronización; también contiene un delimitador para marcar el final de la información de tiempo.

Dirección de destino: dirección MAC de 48 bits para el nodo de destino.

Dirección de origen: dirección MAC de 48 bits para el nodo de origen.

Tipo: valor que indica qué protocolo de la capa superior recibirá los datos después de que el proceso Ethernet se haya completado.

Datos o contenido: es la PDU, por lo general un paquete IPv4, que se transporta a través de los medios.

Secuencia de verificación de la trama (FCS): valor que se utiliza para controlar las tramas dañadas.

8.3.5.3 Protocolo de enlace de datos: la trama

Protocolo punto a punto para la WAN: PPP

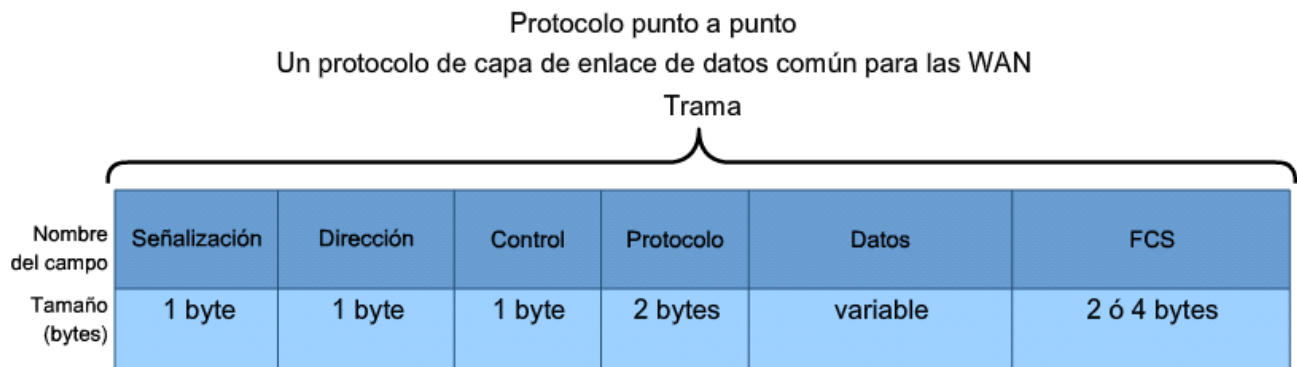
Es un protocolo estandarizado por la IETF por medio de la RFC para los enlaces de larga distancia. Permite la comunicación entre los enrutadores de diferentes fabricantes.

Es un protocolo similar al HDLC.

Se puede utilizar con diferentes clases de enlaces: par trenzado, fibra óptica, radioenlaces.

El protocolo permite enlaces multi-protocolos en un enlace punto a punto. Cada protocolo encapsulado en el enlace debe establecer su propia sesión en cada enlace.

El protocolo PPP permite que dos terminales negocien algunos parámetros de funcionamiento como por ejemplo autenticación, compresión, multienlaces físicos ect.



Señalización: un único byte que indica el comienzo y la finalización de una trama. El campo Señalización está formado por la secuencia binaria 01111110.

Dirección: un único byte que contiene la dirección de broadcast PPP estándar. PPP no asigna direcciones a estaciones individuales.

Control: un único byte formado por la secuencia binaria 00000011, que requiere la transmisión de datos del usuario en una trama no secuencial.

Protocolo: dos bytes que identifican el protocolo encapsulado en el campo de datos de la trama. Los valores más actualizados del campo Protocolo se especifican en la Solicitud de comentarios con números asignados (RFC) más reciente.

Datos: cero o más bytes que contienen el datagrama para el protocolo especificado en el campo Protocolo.

Secuencia de verificación de trama (FCS): normalmente 16 bits (2 bytes). Mediante un acuerdo previo, con la aceptación de las implementaciones PPP se puede utilizar una FCS de 32 bits (4 bytes) para una mayor detección de errores.

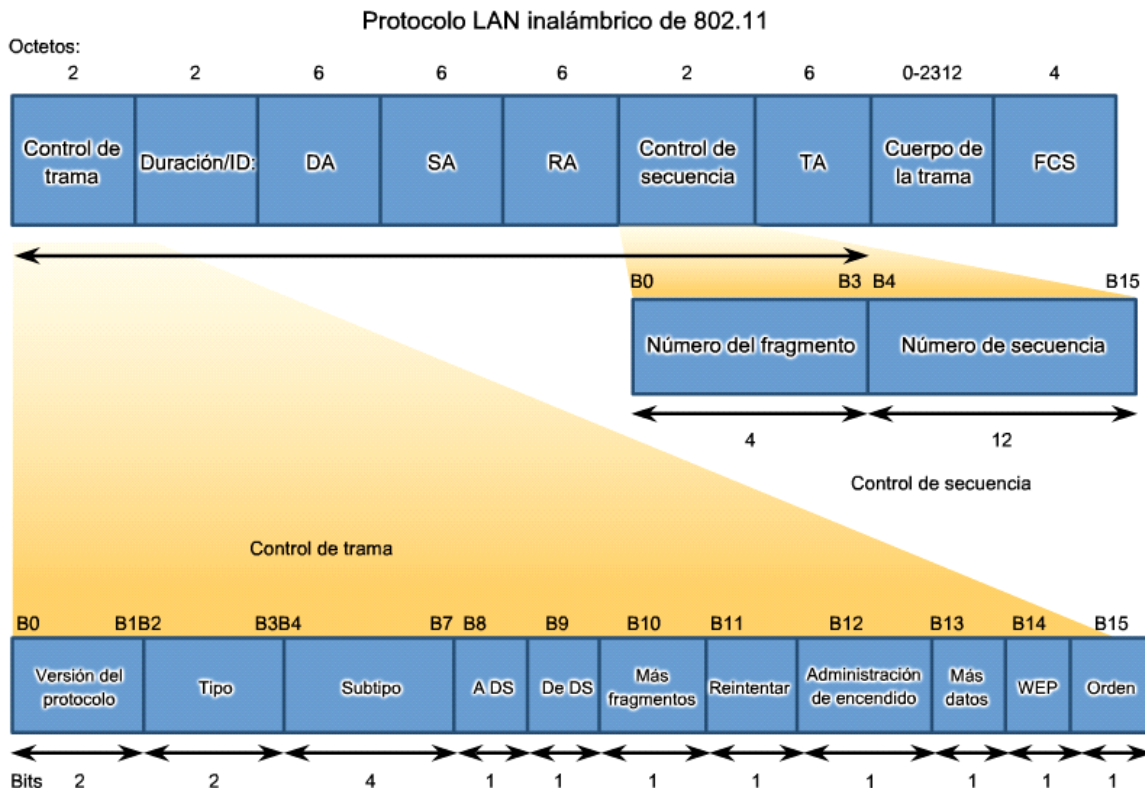
8.3.5.4 Protocolo de enlace de datos: la trama

Protocolo inalámbrico para LAN

802.11 es una extensión de los estándares IEEE 802. Utiliza el mismo 802.2 LLC y esquema de direccionamiento de 48 bits como otras LAN 802. Sin embargo, hay muchas diferencias en la subcapa MAC y en la capa física. En un entorno inalámbrico, el entorno requiere consideraciones especiales. No hay una conectividad física definible; por lo tanto, factores externos pueden interferir con la transferencia de datos y es difícil controlar el acceso. Para vencer estos desafíos, los estándares inalámbricos tienen controles adicionales.

El estándar IEEE 802.11, comúnmente denominado Wi-Fi, es un sistema por contención que utiliza un proceso de acceso a los medios de Acceso múltiple con detección de portadora y prevención de colisiones (CSMA/CA). CSMA/CA especifica un procedimiento postergación aleatoria para todos los nodos que están esperando transmitir. La oportunidad más probable para la contención de medio es el momento en que el medio está disponible. Los nodos que van a ingresar datos tienen asignado un tiempo aleatorio para la transmisión, con el fin de evitar las colisiones.

Las redes 802.11 también utilizan el acuse de recibo de enlace de datos para confirmar que una trama se recibió con éxito. Si la estación transmisora no detecta la trama de reconocimiento, ya sea porque la trama de datos original o el reconocimiento no se recibieron intactos, se retransmite la trama. Este reconocimiento explícito supera la interferencia y otros problemas relacionados con la radio. Otros servicios admitidos por 802.11 son la autenticación, la asociación (conectividad a un dispositivo inalámbrico) y la privacidad (encriptación).



8.3.5.5 Protocolo de enlace de datos: la trama

Una trama 802.11 contiene los siguientes campos

Campo Versión del protocolo: la versión de la trama 802.11 en uso

Campos Tipo y Subtipo: identifica una de las tres funciones y sub-funciones de la trama: control, datos y administración

Campo A DS: se establece en 1 para las tramas de datos destinadas al sistema de distribución (dispositivos en la estructura inalámbrica)

Campo Desde DS: se establece en 1 para las tramas de datos que salen del sistema de distribución

Campo Más fragmentos: se establece en 1 para las tramas que tienen otro fragmento

Campo Reintentar: se establece en 1 si la trama es una retransmisión de una trama anterior

Campo Administración de energía: se establece en 1 para indicar que un nodo está en el modo ahorro de energía

Campo Más datos: se establece en 1 para indicar a un nodo en el modo ahorro de energía que en la memoria del búfer de ese nodo se guardan más tramas

Campo Privacidad equivalente por cable (WEP): se establece en 1 si la trama contiene información encriptada WEP para seguridad

Campo Orden: se establece en 1 en una trama de tipo datos que utiliza la clase de servicio Estrictamente ordenada (no requiere reordenamiento)

Campo Duración/ID: según el tipo de trama, representa el tiempo que se requiere en microsegundos para transmitir la trama o una identidad de asociación (AID) para la estación que transmitió la trama

Campo Dirección de destino (DA): la dirección MAC del nodo de destino final en la red

Campo Dirección de origen (SA): la dirección MAC del nodo que inició la trama

Campo Dirección del receptor (RA): la dirección MAC que identifica al dispositivo inalámbrico que es el receptor inmediato de la trama

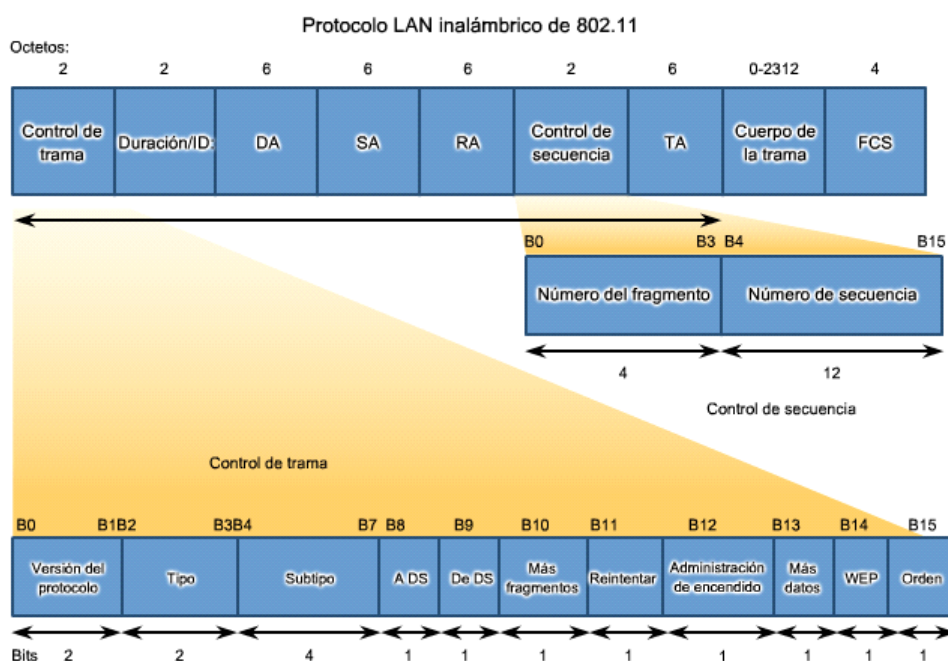
Campo Dirección del transmisor (TA): la dirección MAC que identifica al dispositivo inalámbrico que transmitió la trama

Campo Número de secuencia: indica el número de secuencia asignado a la trama. Las tramas retransmitidas se identifican con números de secuencia duplicados

Campo Número de fragmento: indica el número de cada fragmento de la trama

Campo Cuerpo de la trama: contiene la información que se está transportando; para tramas de datos, generalmente se trata de un paquete IP

Campo FCS: contiene una comprobación de redundancia cíclica (CRC) de 32 bits de la trama



8.3.5.6 Protocolo de enlace de datos: la trama

Campo Duración/ID: según el tipo de trama, representa el tiempo que se requiere en microsegundos para transmitir la trama o una identidad de asociación (AID) para la estación que transmitió la trama

Campo Dirección de destino (DA): la dirección MAC del nodo de destino final en la red

Campo Dirección de origen (SA): la dirección MAC del nodo que inició la trama

Campo Dirección del receptor (RA): la dirección MAC que identifica al dispositivo inalámbrico que es el receptor inmediato de la trama

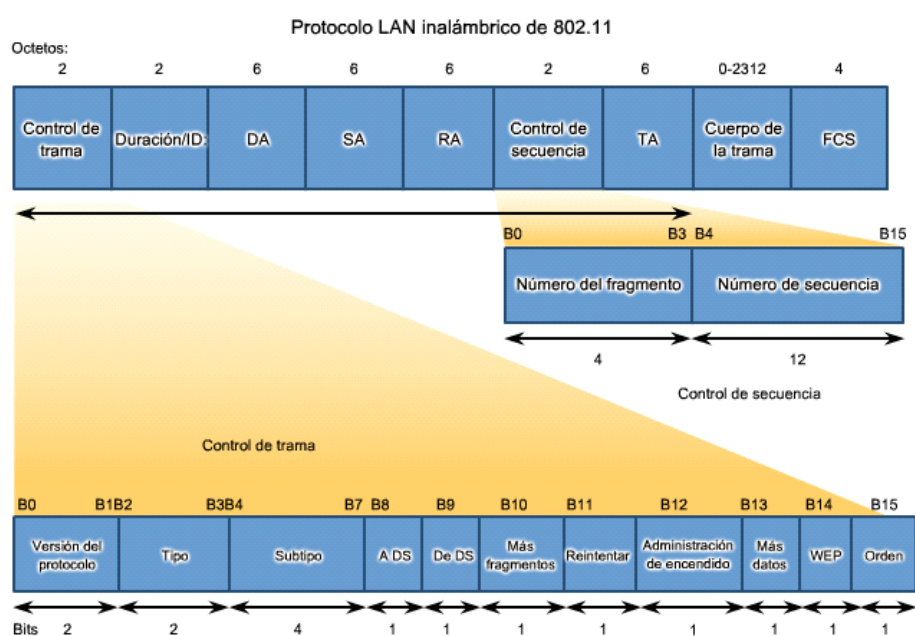
Campo Dirección del transmisor (TA): la dirección MAC que identifica al dispositivo inalámbrico que transmitió la trama

Campo Número de secuencia: indica el número de secuencia asignado a la trama. Las tramas retransmitidas se identifican con números de secuencia duplicados

Campo Número de fragmento: indica el número de cada fragmento de la trama

Campo Cuerpo de la trama: contiene la información que se está transportando; para tramas de datos, generalmente se trata de un paquete IP

Campo FCS: contiene una comprobación de redundancia cíclica (CRC) de 32 bits de la trama



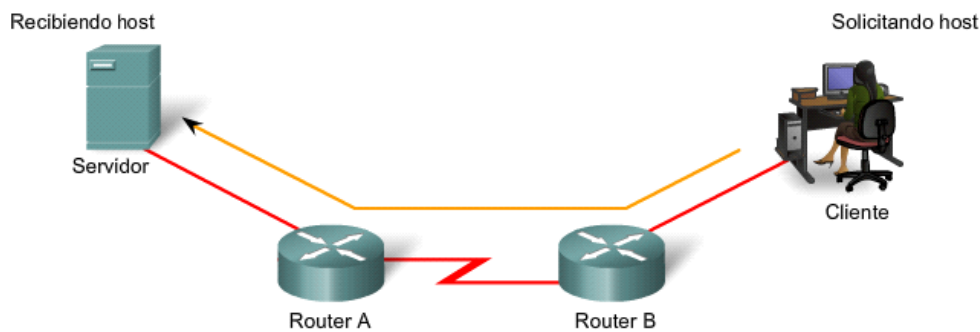
8.4.1.1 Seguimiento de datos a través de una inter-red

La figura en la siguiente página presenta una transferencia de datos simple entre dos hosts a través de una internetwork. Destacamos la función de cada capa durante la comunicación. Para este ejemplo mostraremos una solicitud HTTP entre un cliente y un servidor.

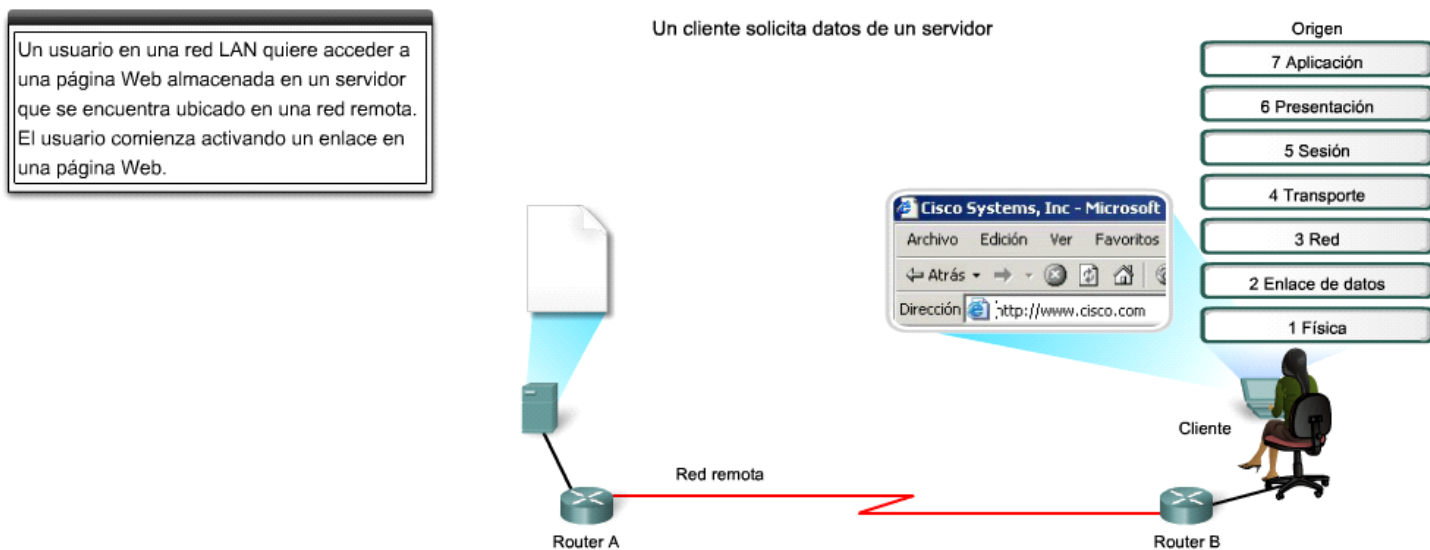
Para centrarnos en el proceso de transferencia de datos, omitimos muchos elementos que pueden producirse en una transacción real. En cada paso sólo estamos llamando la atención a los elementos principales. Por ejemplo, muchas partes de los encabezados se ignoran.

Se asume que todas las tablas de enrutamiento son convergentes y las tablas ARP están completas. Además, suponemos que ya está establecida una sesión TCP entre el cliente y el servidor. También supondremos que la búsqueda de DNS para el servidor WWW ya está en la caché del cliente.

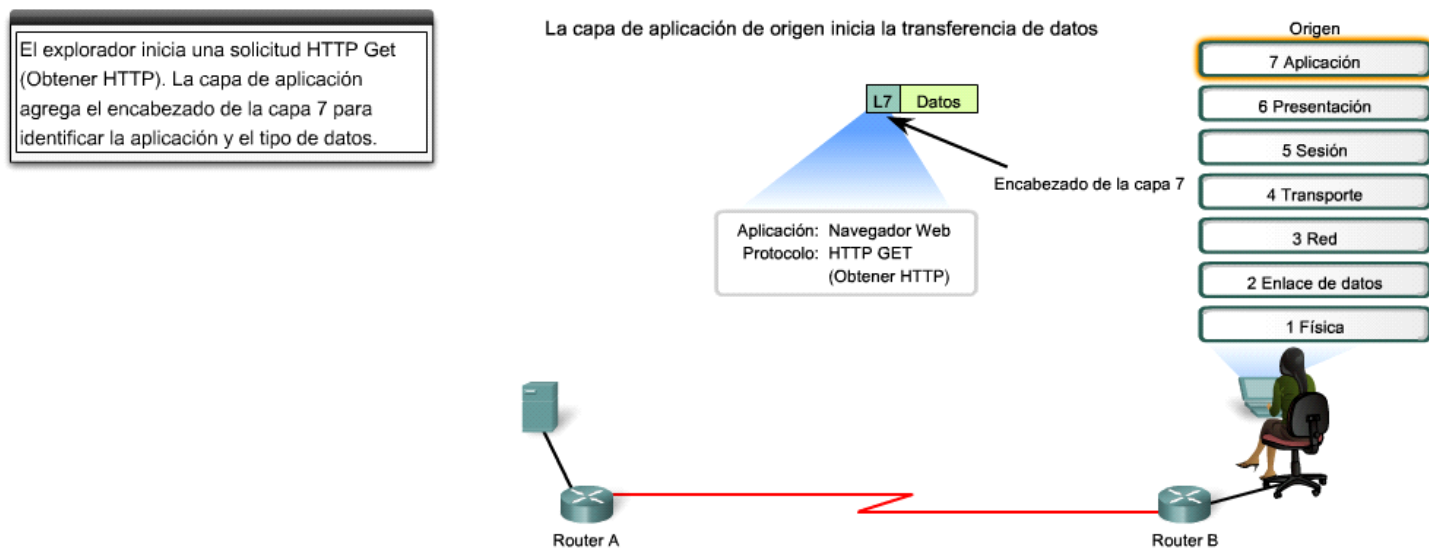
En la conexión WAN entre los dos enrutadores, suponemos que PPP ya estableció un circuito físico y una sesión PPP.



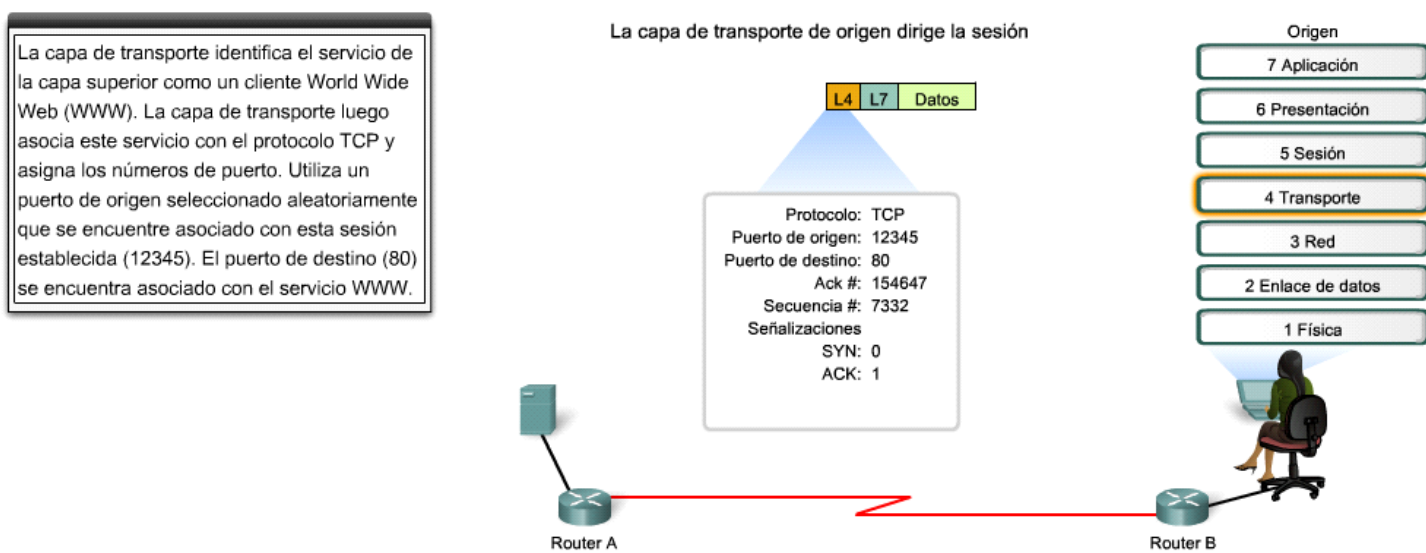
8.4.1.2 Seguimiento de datos a través de una inter-red



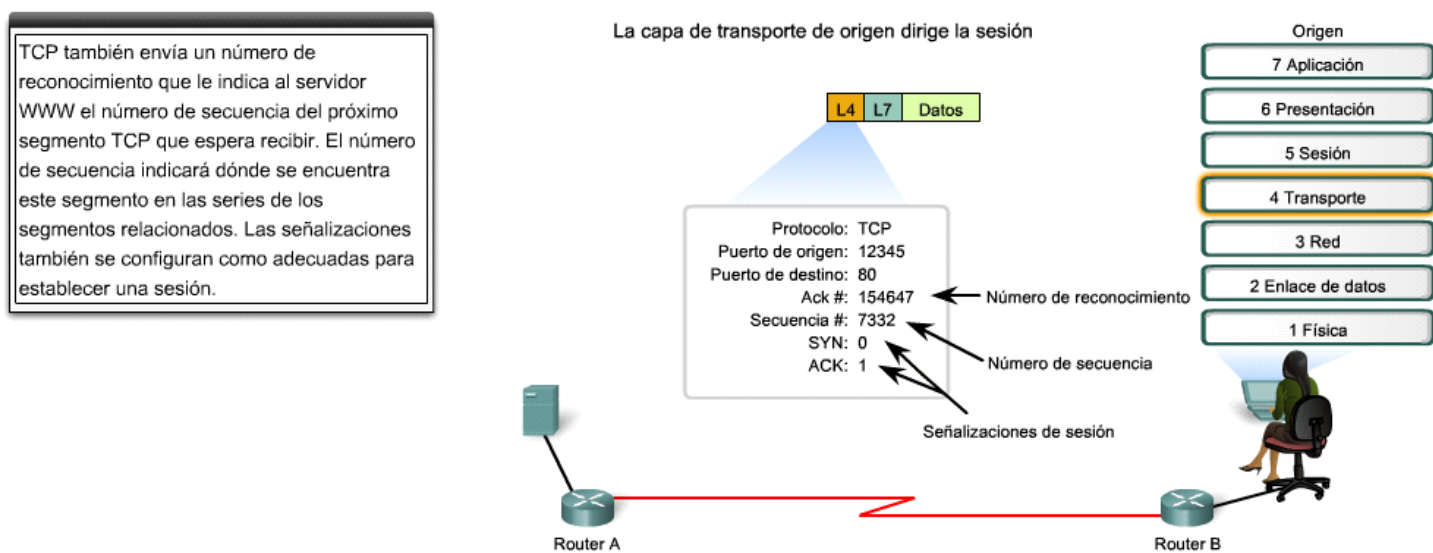
8.4.1.3 Seguimiento de datos a través de una inter-red



8.4.1.4 Seguimiento de datos a través de una inter-red

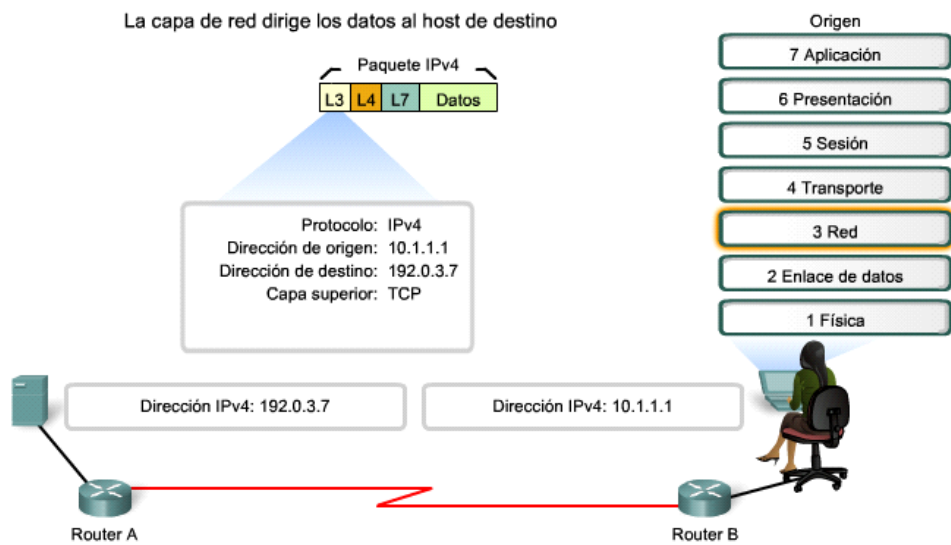


8.4.1.5 Seguimiento de datos a través de una inter-red

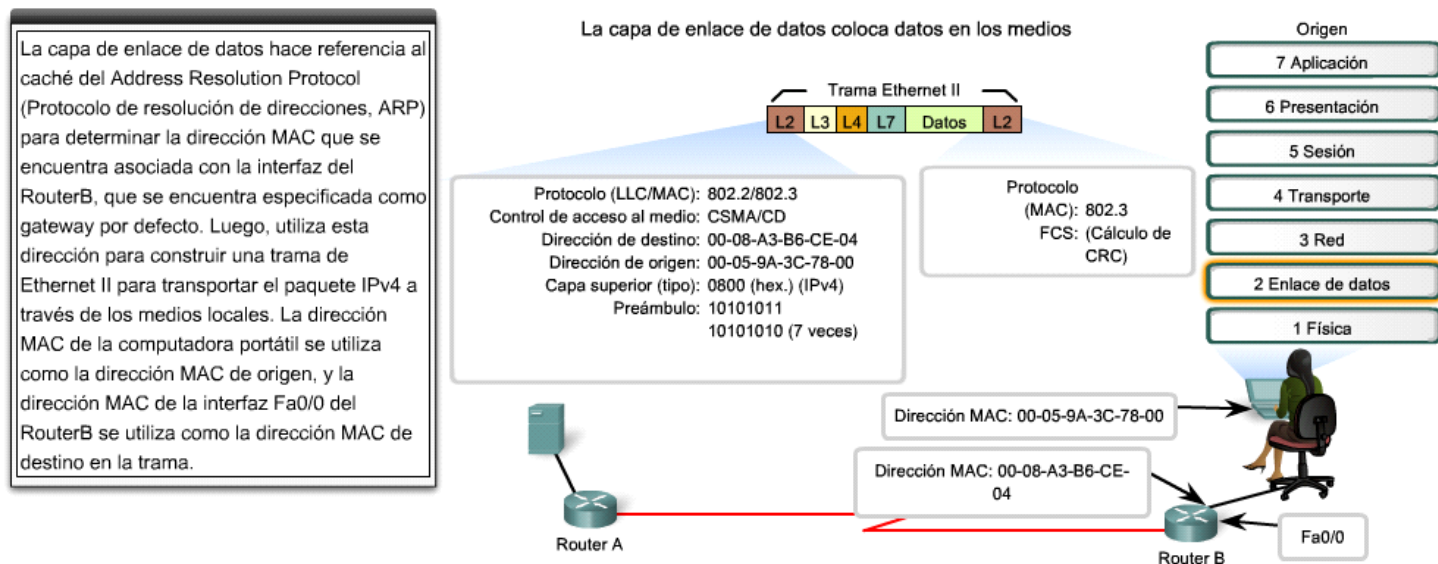


8.4.1.6 Seguimiento de datos a través de una inter-red

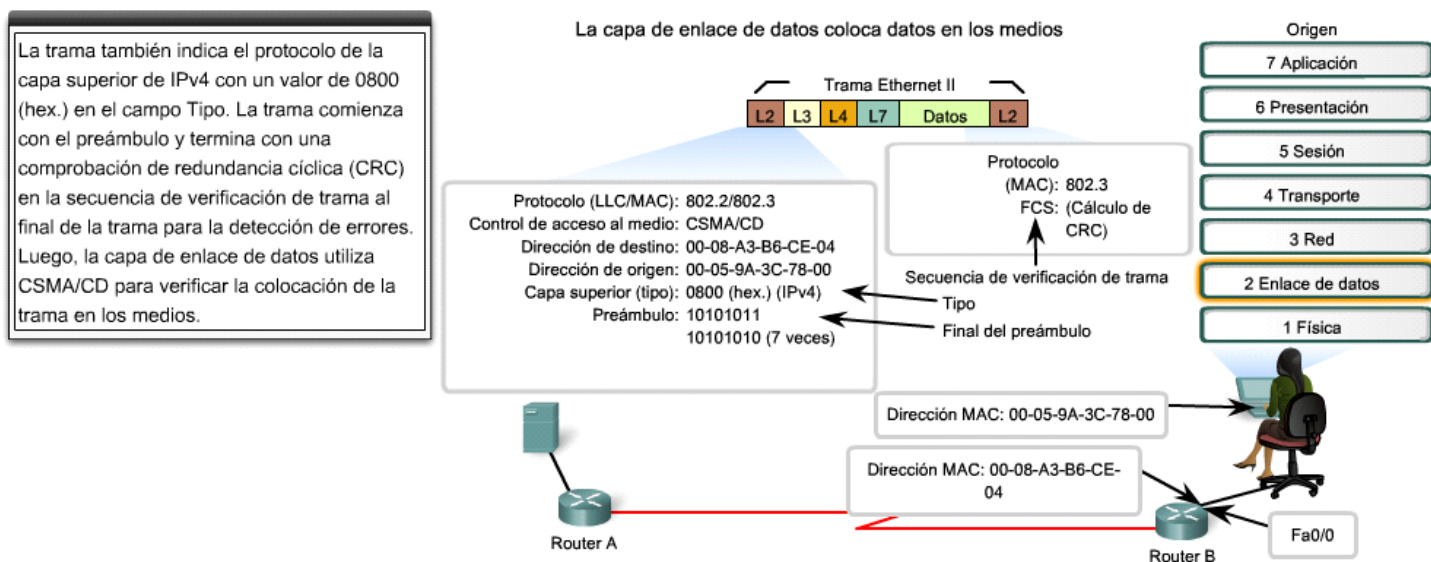
En la capa de red, se construye un paquete IP para identificar los hosts de origen y de destino. Para la dirección de destino, el host del cliente utiliza la dirección IP asociada con el nombre host del servidor WWW que estará en caché en la tabla del host. Utiliza su propia dirección IPv4 como dirección de origen. La capa de red también identifica el protocolo de la capa superior encapsulado en este paquete como un segmento TCP.



8.4.1.7 Seguimiento de datos a través de una inter-red



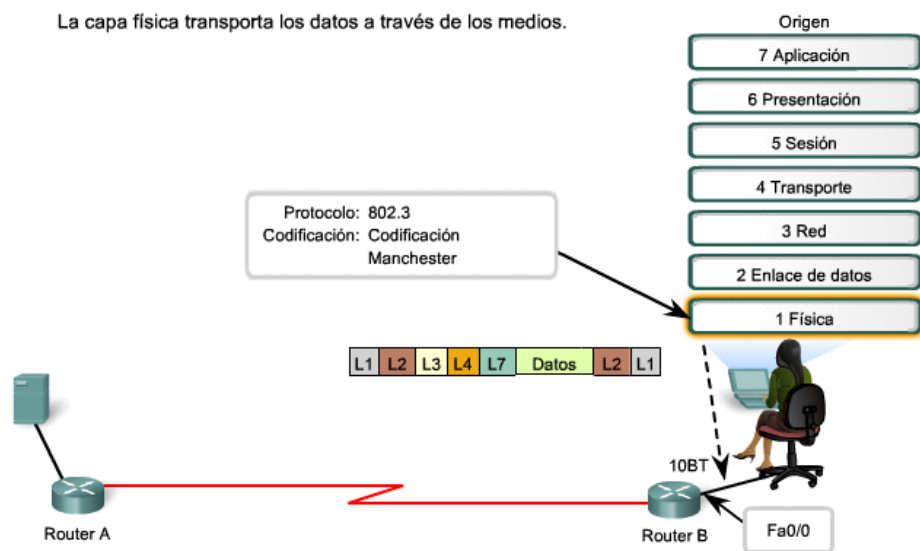
8.4.1.8 Seguimiento de datos a través de una inter-red



8.4.1.9 Seguimiento de datos a través de una inter-red

La capa física comienza a codificar la trama en los medios, bit por bit. El segmento entre el RouterB y el host de origen es un segmento 10Base-T, por lo tanto, los bits se codifican mediante la codificación diferencial Manchester. El circuito de la interfaz del Router B almacena los bits a medida que los recibe.

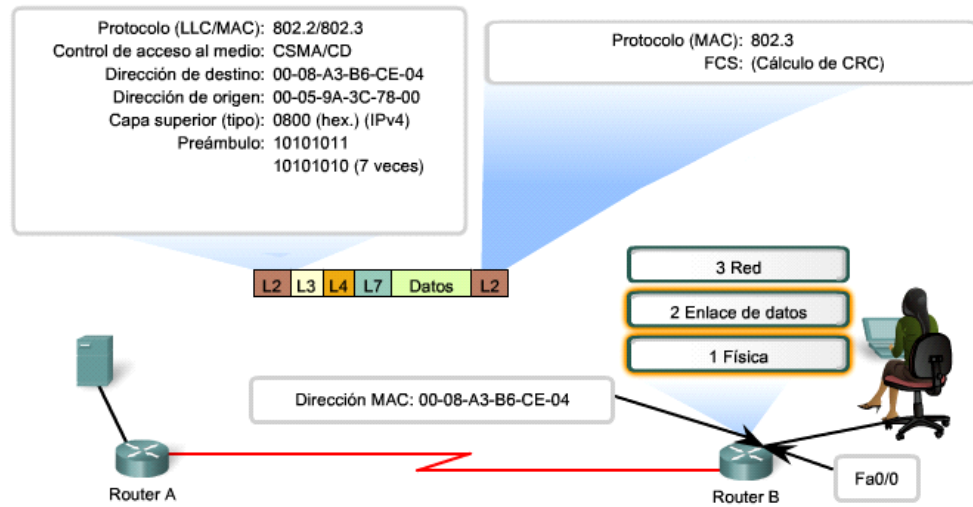
La capa física transporta los datos a través de los medios.



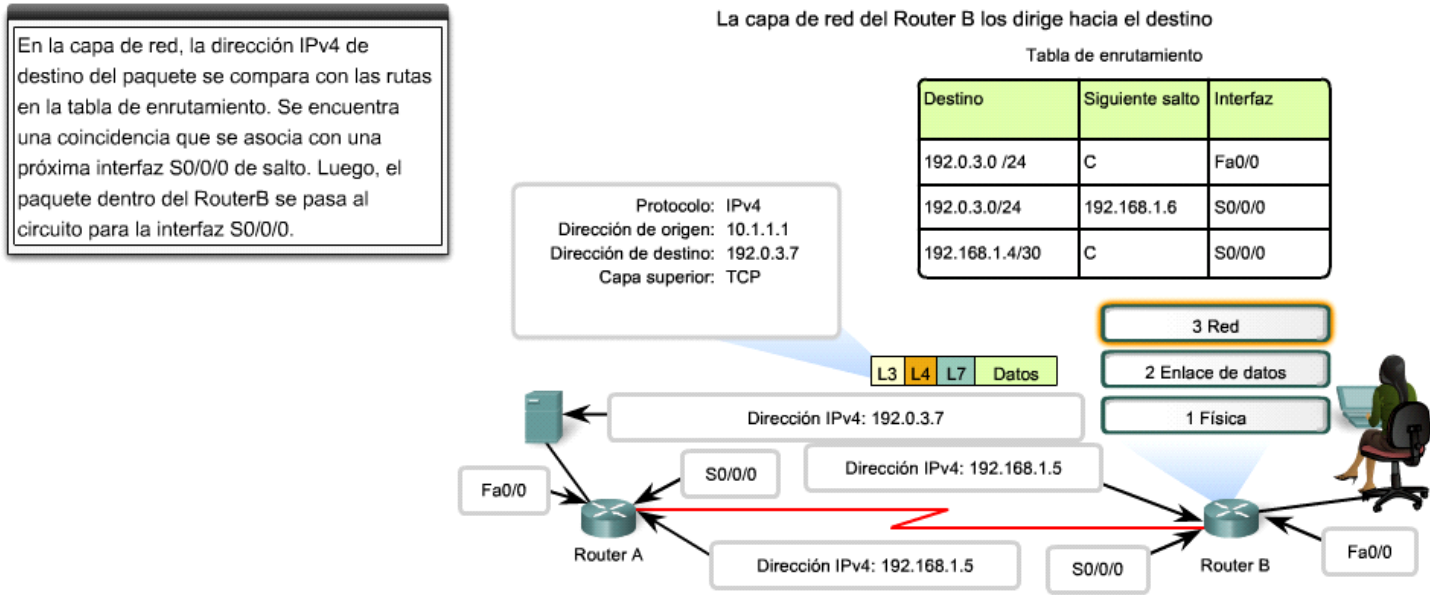
8.4.1.10 Seguimiento de datos a través de una inter-red

El RouterB examina los bits en el preámbulo y busca los dos bits 1 consecutivos que indiquen que el proceso de sincronización está completo y el comienzo de la trama. El RouterB luego, comienza a almacenar los bits como parte de la trama reconstruida. Cuando se recibe toda la trama, el RouterB genera una CRC de ella. Luego, lo compara con la FCS al final de la trama para determinar que se haya recibido intacta. Cuando la trama se confirma como buena, la dirección MAC de destino en la trama se compara con la dirección MAC de la interfaz (Fa0/0). Como concuerda, los encabezados se retiran y el paquete se empuja hacia la capa de red.

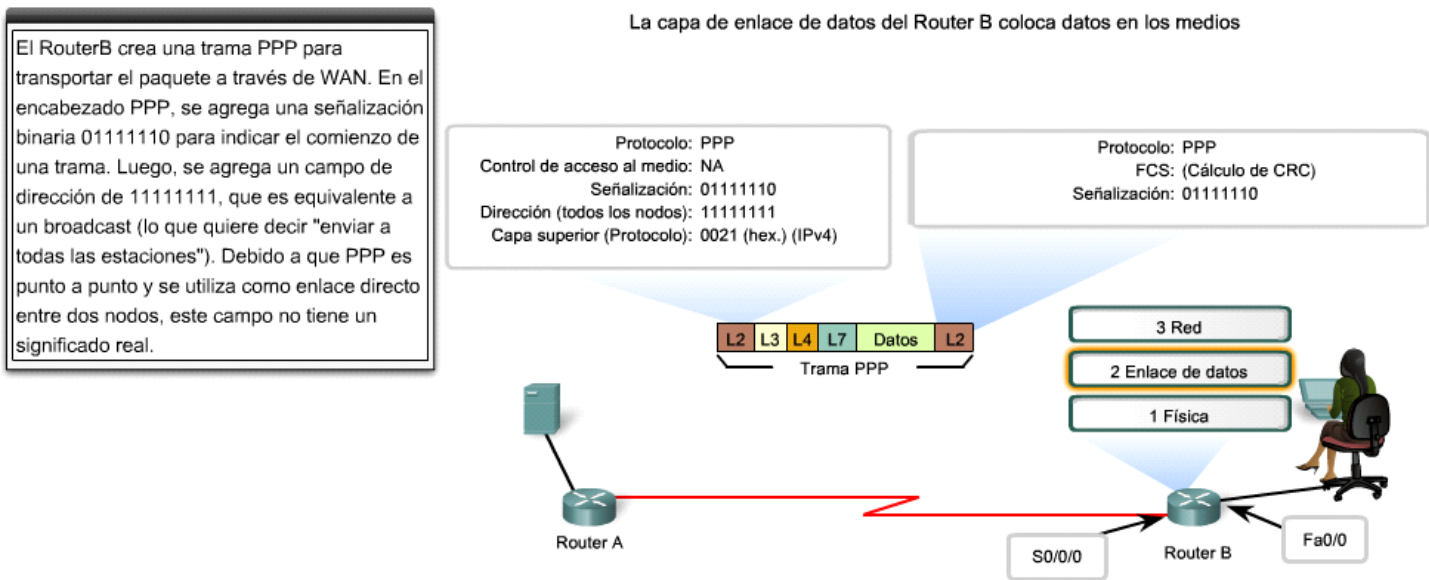
La capa de enlace de datos del Router B obtiene datos de los medios



8.4.1.11 Seguimiento de datos a través de una inter-red

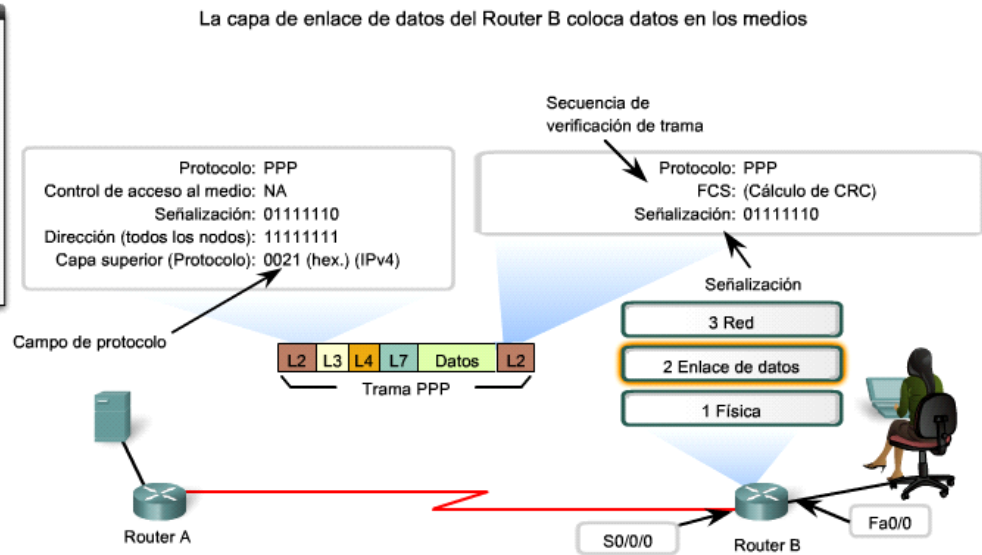


8.4.1.12 Seguimiento de datos a través de una inter-red



8.4.1.13 Seguimiento de datos a través de una inter-red

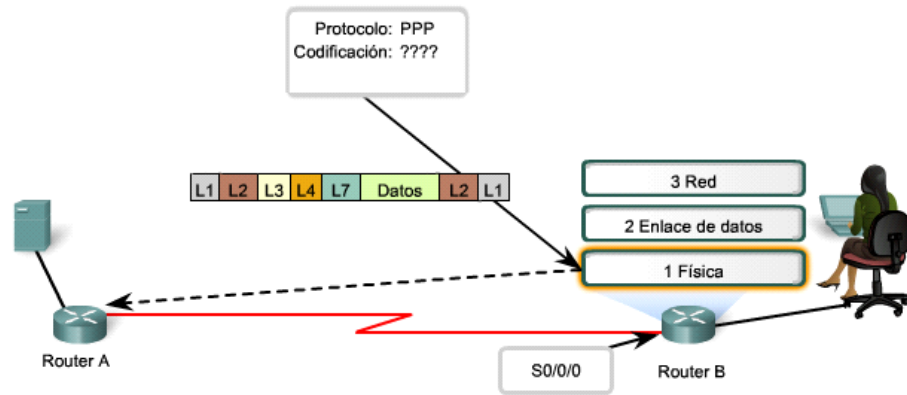
También esta incluido un campo de protocolo con un valor de 0021 (hex.) para indicar que un paquete IPv4 se encuentra encapsulado. El tráiler de la trama termina con una verificación cíclica de redundancia en la Secuencia de verificación de trama para la detección de errores. Un valor de señalización de 01111110 binarios indica el fin de una trama PPP.



8.4.1.14 Seguimiento de datos a través de una inter-red

Con el circuito y con la sesión PPP ya establecida entre los routers, la capa física comienza a codificar la trama en los medios WAN, bit por bit. El router que recibe (RouterA) almacena los bits a medida que los recibe. El tipo de representación de bit y codificación depende del tipo de tecnología WAN que se utiliza.

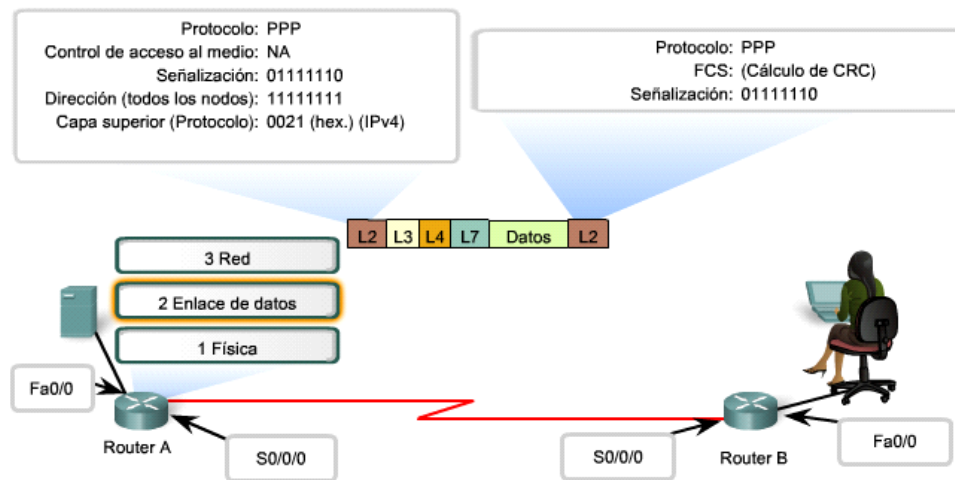
La capa física transporta a través de los medios



8.4.1.15 Seguimiento de datos a través de una inter-red

El RouterA examina los bits en la señalización para identificar el comienzo de la trama. El RouterA luego, comienza a almacenar los bits como parte de la trama reconstruida. Cuando se recibe toda la trama, como se indica en la señalización en el tráiler, el RouterA genera un CRC de ella. Luego, lo compara con la FCS al final de la trama para determinar que se haya recibido intacta. Cuando la trama se confirma como buena, los encabezados se retiran y el paquete se empuja hacia la capa de red del RouterA.

La capa de enlace de datos del Router A obtiene datos de los medios



8.4.1.16 Seguimiento de datos a través de una inter-red

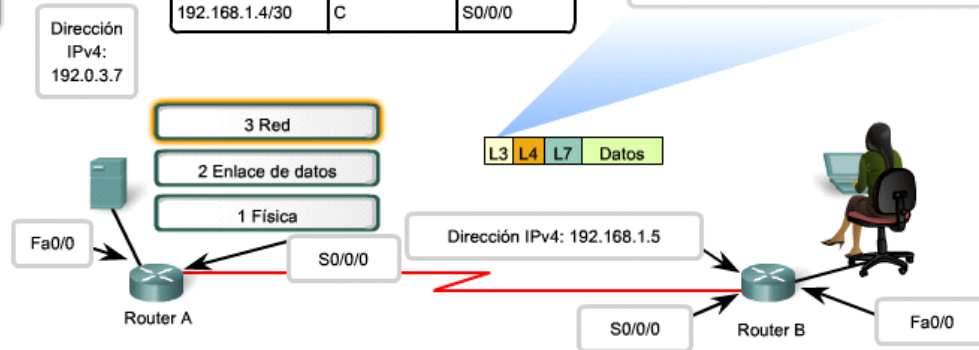
En la capa de red, la dirección IPv4 de destino del paquete se compara con las rutas en la tabla de enrutamiento. Se encuentra una coincidencia que está directamente conectada a la interfaz Fa0/0. Luego el paquete dentro del Router A se pasa al circuito de la interfaz Fa0/0.

La capa de red del Router A los dirige hacia el destino

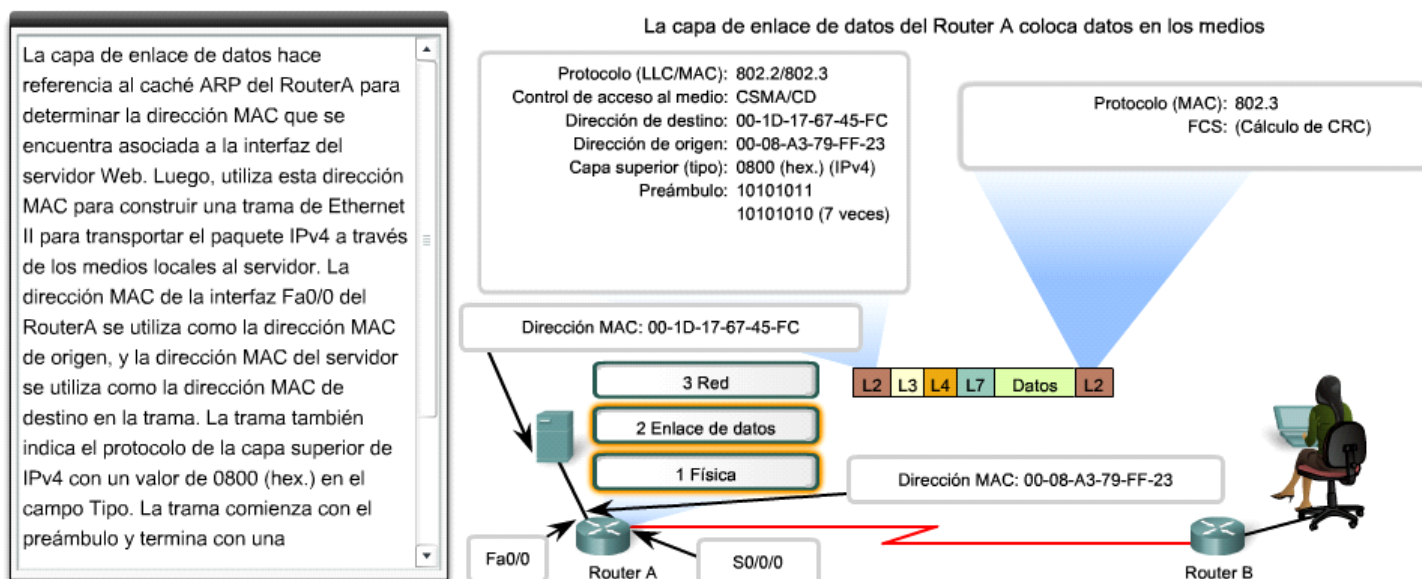
Tabla de enrutamiento

Destino	Siguiente salto	Interfaz
192.0.3.0/24	C	Fa0/0
10.1.1.0/24	192.168.1.5	S0/0/0
192.168.1.4/30	C	S0/0/0

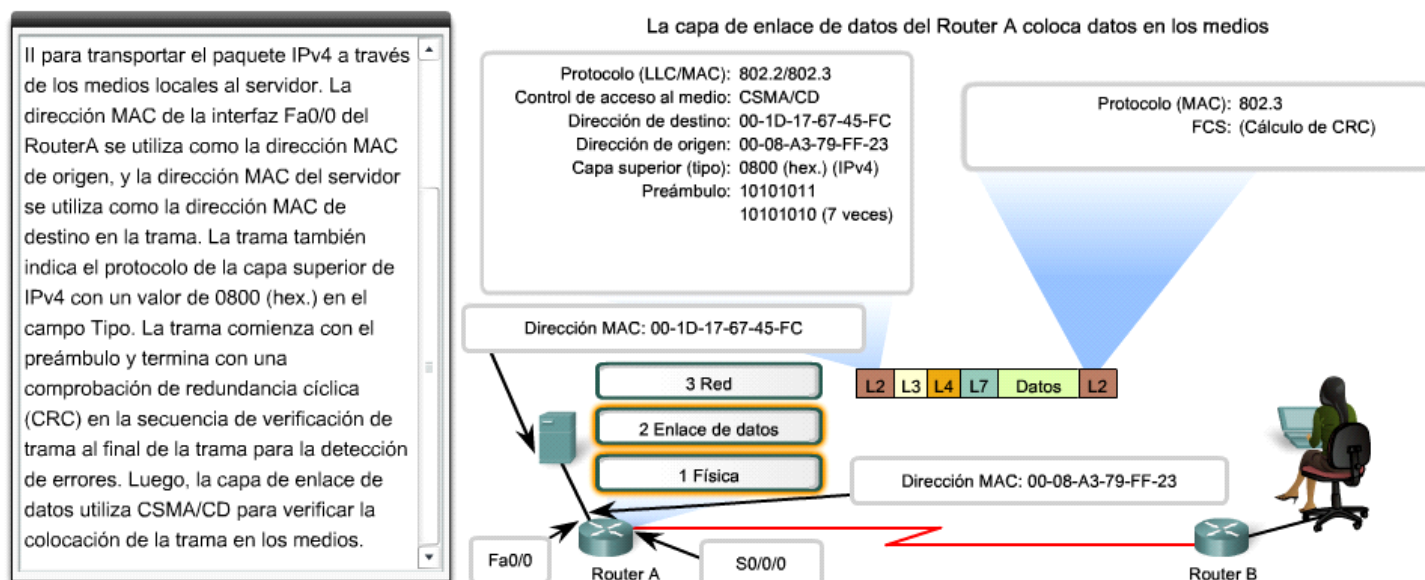
Protocolo: IPv4
Dirección de origen: 10.1.1.1
Dirección de destino: 192.0.3.7
Capa superior: TCP



8.4.1.17 Seguimiento de datos a través de una inter-red



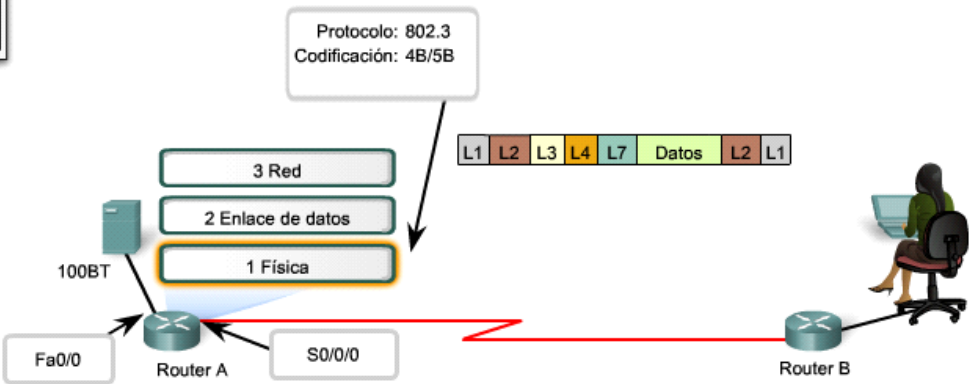
8.4.1.18 Seguimiento de datos a través de una inter-red



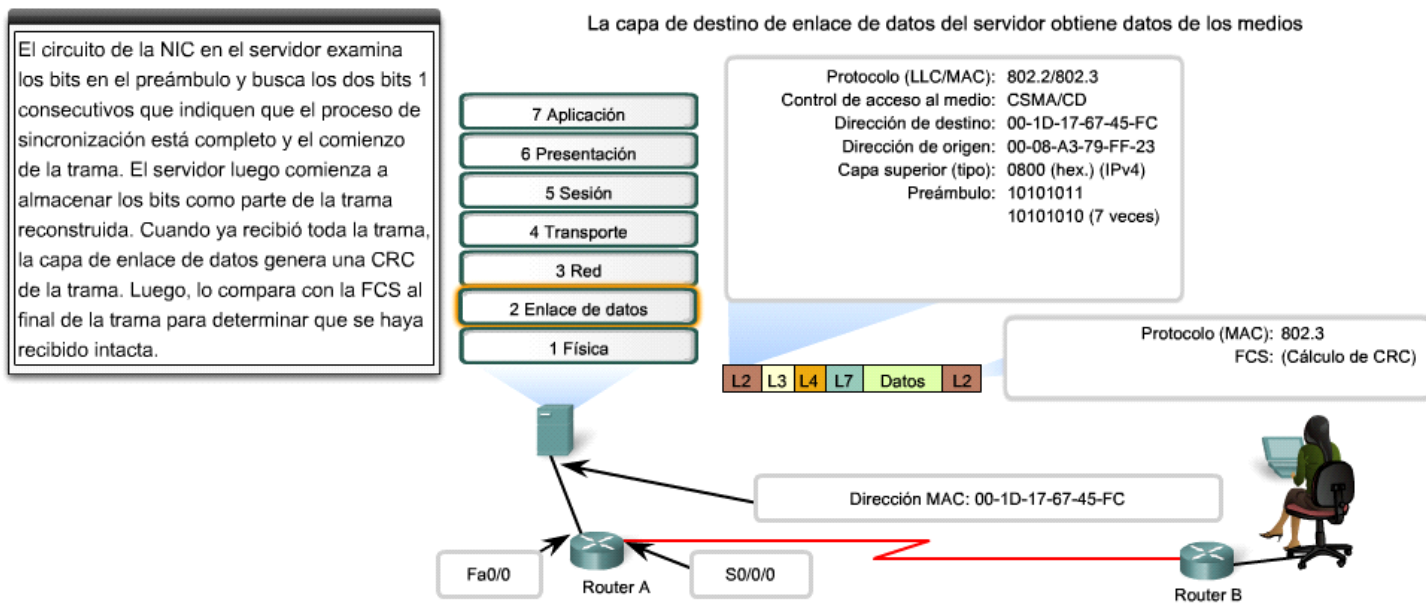
8.4.1.19 Seguimiento de datos a través de una inter-red

La capa física comienza a codificar la trama en los medios, bit por bit. El segmento entre el RouterA y el servidor es un segmento 100Base-T, por lo tanto, los bits se codifican mediante la codificación 4B/5B. El circuito de la NIC dentro del servidor almacena los bits a medida que los recibe.

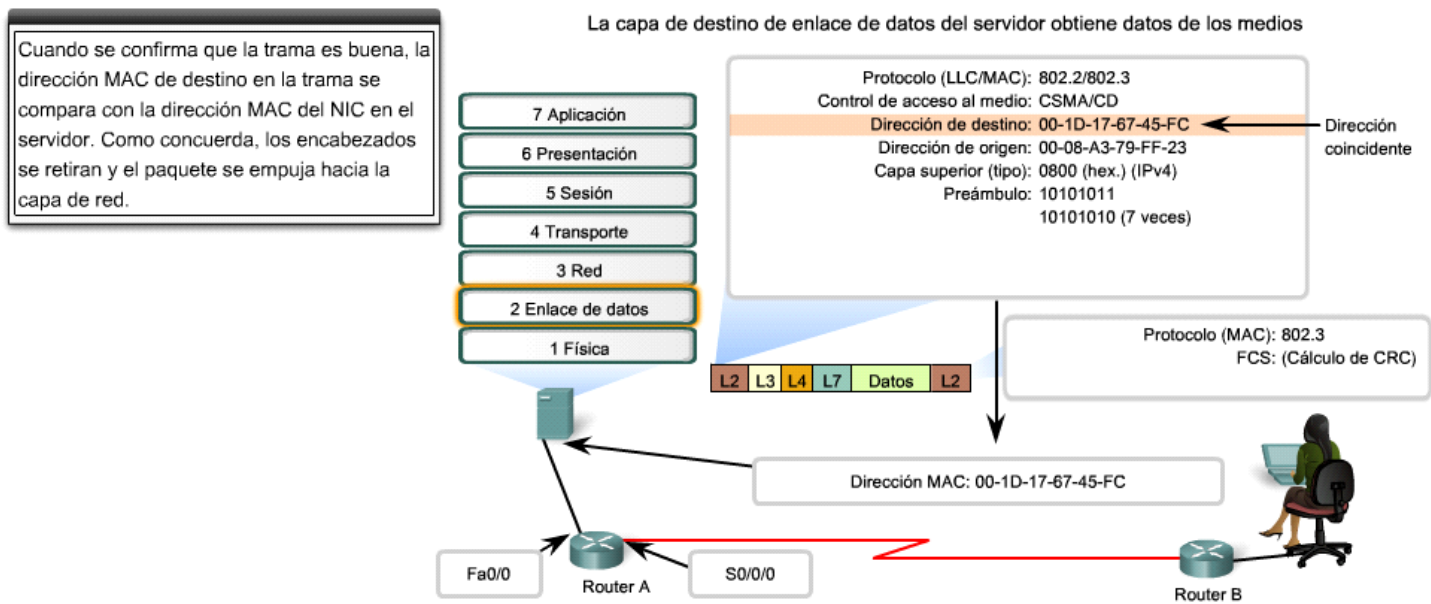
La capa física transporta los datos a través de los medios



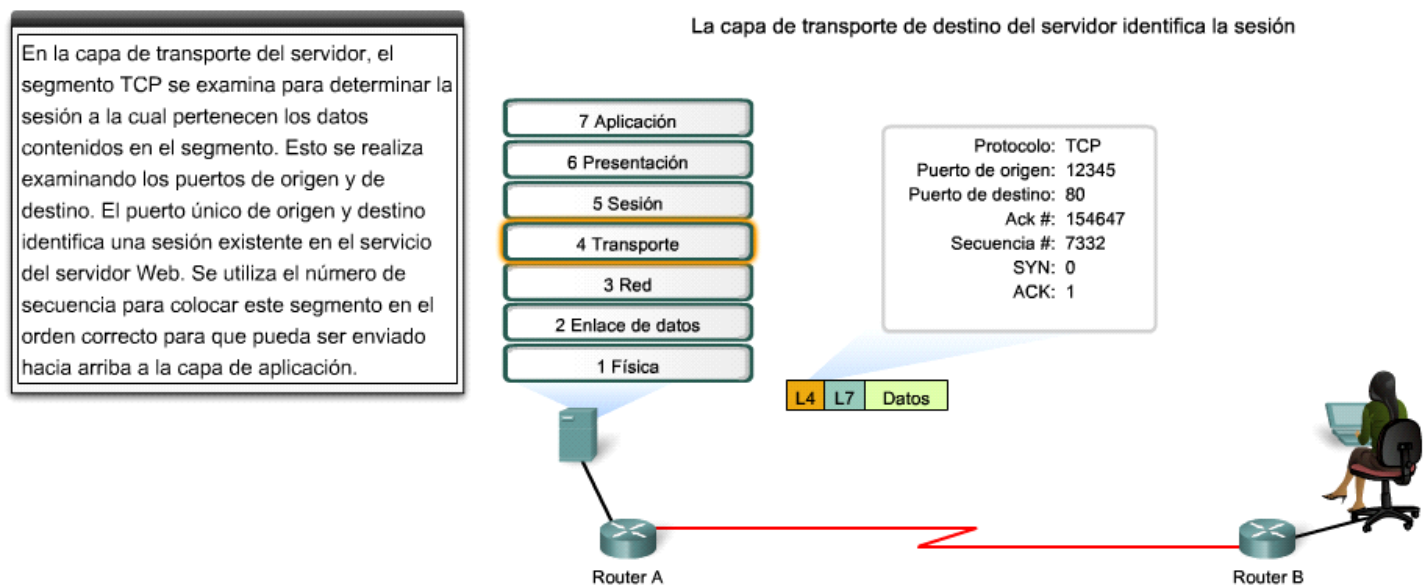
8.4.1.20 Seguimiento de datos a través de una inter-red



8.4.1.21 Seguimiento de datos a través de una inter-red



8.4.1.22 Seguimiento de datos a través de una inter-red



8.4.1.22 Seguimiento de datos a través de una inter-red

