

3

EL PROTOCOLO DE INTERNET (IP)



Objetivo

- Describir el protocolo de Internet (IP) que hace posible el transporte de datagramas desde un origen hasta un destino.

Manual
de clases

Última modificación:
2 marzo de 2023

Tema 3 de:
PROTOCOLOS DE INTERNET
Edison Coimbra G.

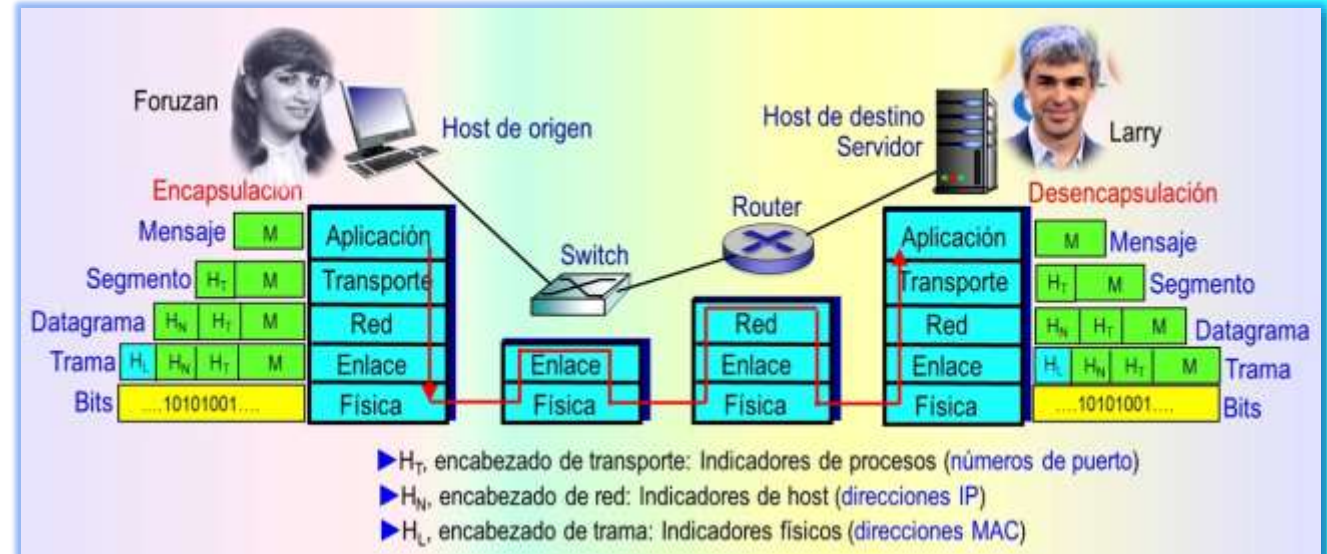
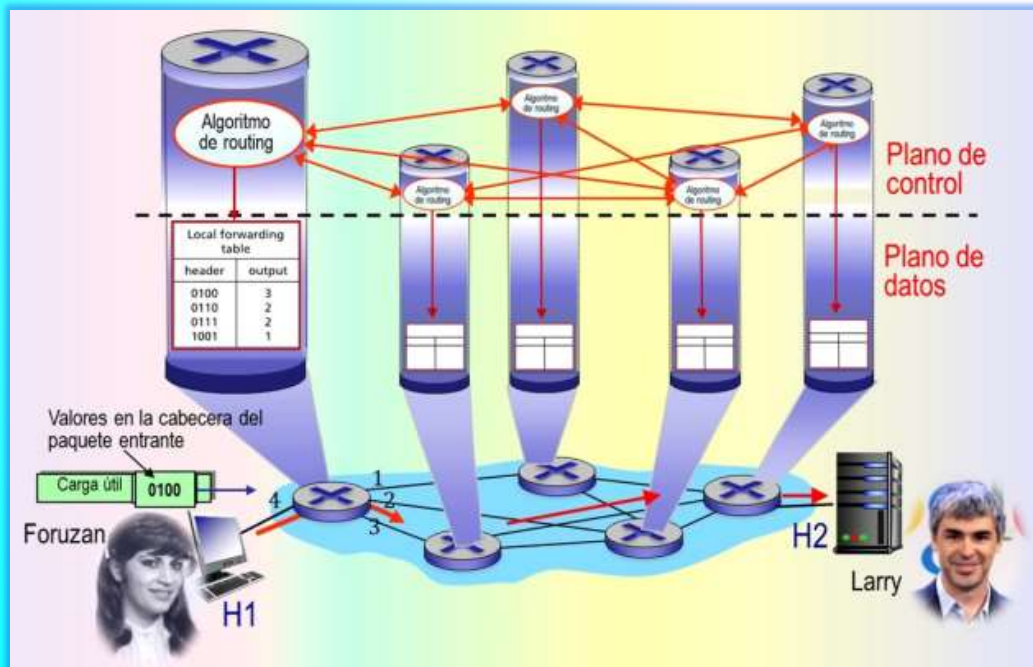
1. FUNCIONES DE LA CAPA DE RED

EL PROTOCOLO DE INTERNET (IP)

¿Qué dispositivos de Internet tienen capa de red?

(Kurose, 2017)

- La **capa de red** proporciona servicios de comunicación host a host. A diferencia de las capas de transporte y de aplicación, existe un componente de la **capa de red** en todos y cada uno de los **hosts** y **routers** de la red.
- Por esta razón**, los protocolos de la capa de red se encuentran entre los más desafiantes y, por tanto, entre los más interesantes de la pila de protocolos.



- Por ser la capa de red** probablemente la más compleja de la pila de protocolos, se suele descomponer en dos partes que interactúan mutuamente:
 - **El plano de datos.**
 - **El plano de control.**
- La **figura** recrea una vista panorámica de las principales funciones de los routers.

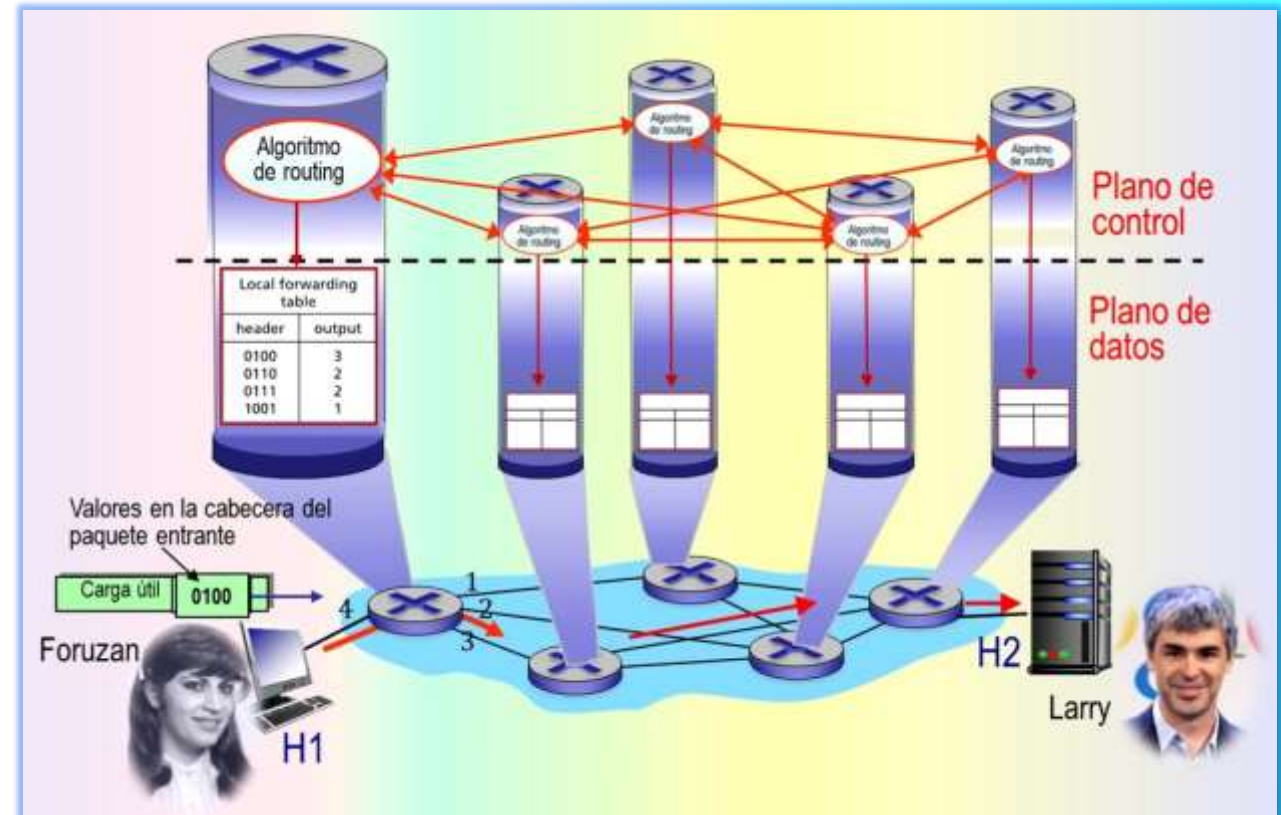
Funciones de la capa de red

EL PROTOCOLO DE INTERNET (IP)

Plano de datos y plano de control

(Kurose, 2017)

- **► Plano de datos.** Las funciones de este plano son las funciones implementadas en cada router de la red que determinan cómo **reenviar** a uno de los enlaces de salida de ese router los datagramas que le llegan.
- **► Plano de control.** Las funciones de este plano son las funciones de **routing**, es decir la lógica global de la red que controla el modo en que se enruta un datagrama a lo largo de una serie de routers que componen un trayecto extremo a extremo, desde el host de origen hasta el host de destino; son los protocolos de routing los que ejecutan estas funciones.
- **Tradicionalmente**, los protocolos de routing del **plano de control** y las funciones de reenvío del **plano de datos** se han implementado de forma conjunta, monolítica, dentro de un router.



Funciones de la capa de red

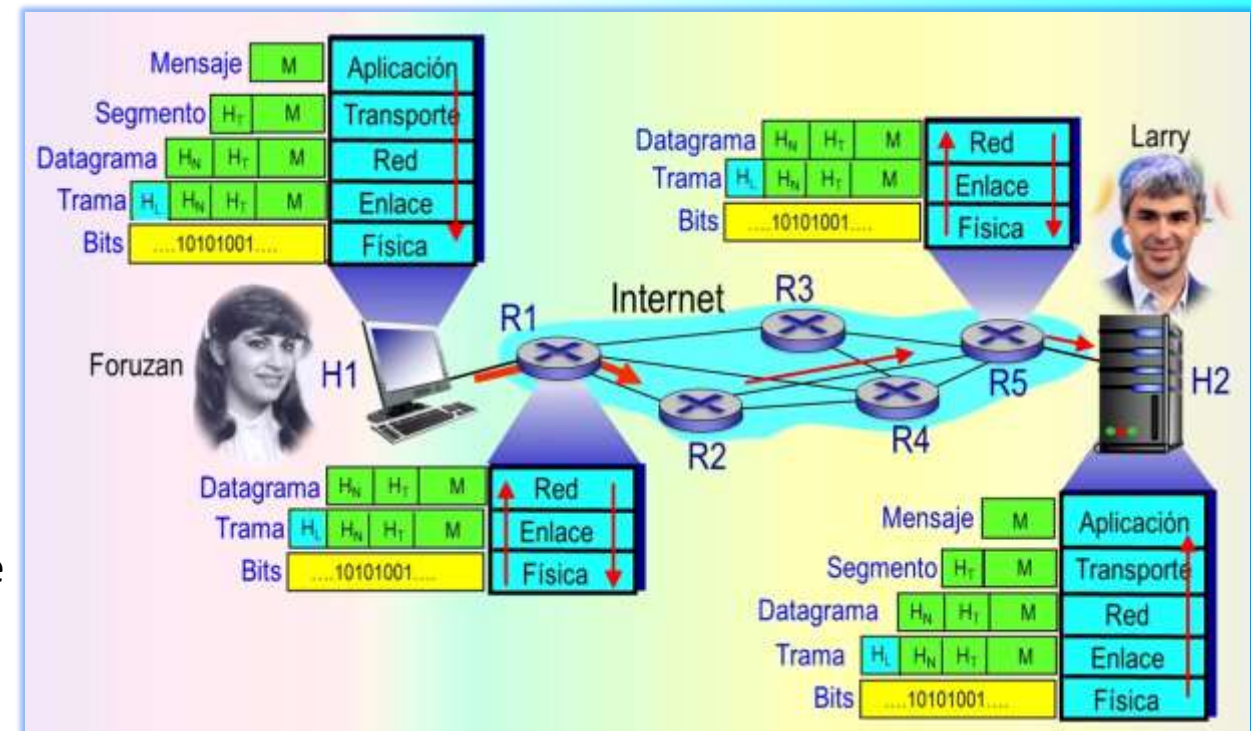
EL PROTOCOLO DE INTERNET (IP)

¿Cómo se realiza el transporte de paquetes?

▪ **La figura** muestra una red simple formada por los host H1 y H2 y varios routers. Suponga que H1 envía un mensaje a H2. ¿Cuál es el papel de la **capa de red** en estos hosts y en los routers intervinientes?

- ▶ 1. En H1, la **capa de red** toma segmentos de transporte, los encapsula en datagramas y los envía al router más próximo, R1.
- ▶ 2. En cada router, su **plano de datos** tiene la función principal de **reenviar** los datagramas desde sus enlaces de entrada a sus enlaces de salida.
- ▶ 3. En toda la red, el **plano de control** de cada router tiene la función principal de coordinar las acciones de reenvío locales de cada router individual, de modo que los datagramas se transfieran de extremo a extremo, a lo largo de la serie de routers comprendidos entre H1 y H2.
- ▶ 4. En H2, la **capa de red** recibe los **datagramas** de su router más próximo, R5, extrae los segmentos y los entrega a la capa de transporte de H2.
- **Observe que** los routers de la figura se ilustran con una pila de protocolos truncada, es decir, sin capas por encima de la **capa de red**, porque no ejecutan protocolos de la capa de transporte ni de aplicación.

(Kurose, 2017)



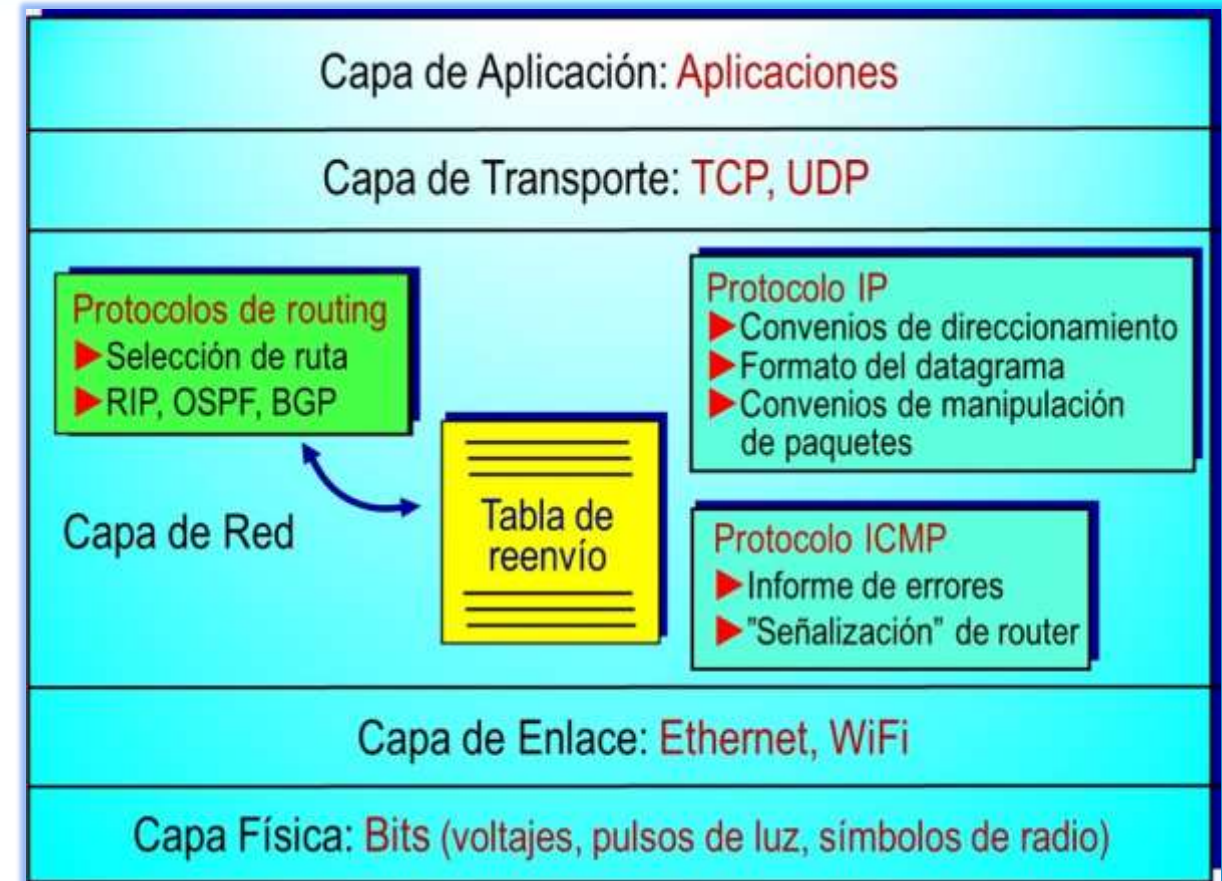
Funciones de la capa de red

EL PROTOCOLO DE INTERNET (IP)

Protocolos de la capa de red

(Kurose, 2017)

- **Hasta ahora**, de la capa de red se ha mencionado la noción de que tiene dos componentes, que son el **plano de datos** y el **plano de control** y la distinción entre **reenvío** y **routing**, pero aún no se ha hecho referencia a ninguna arquitectura de red de computadoras ni protocolos específicos.
- **En la figura** se muestran los protocolos específicos de la capa de red que en la actualidad utilizan los hosts y los routers.
 - ▶ **El protocolo de Internet IP.** Transporta datagramas desde un origen a destino.
 - ▶ **Protocolos de routing.** Determinan la ruta que sigue un datagrama desde el origen al destino, calculando las **tablas de reenvío** que se utilizan para transmitir los paquetes a través de la red. Se dispone de muchos protocolos de routing como **RIP, OSPF, IGRP, IS-IS, BGP**
 - ▶ **El protocolo de control de mensajes de Internet ICMP.** Es una facilidad que permite informar de la existencia de errores en los datagramas y contestar a las solicitudes de determinada información en la capa de red.
- **Aunque la capa de red** contiene tanto el protocolo IP como numerosos protocolos de routing, suele hacerse referencia a ella simplemente como la **Capa IP**.



2. FORMATO DEL DATAGRAMA IP

EL PROTOCOLO DE INTERNET (IP)

Versiones del protocolo IP

(CISCO, 2016)

- **En esta presentación**, la atención se enfoca en aspectos clave de la capa red de la actual Internet y en el Protocolo de Internet (IP), del cual actualmente hay dos versiones en uso.
 - **▶ IPv4.** Es la denominación del muy implantado protocolo IP, **versión 4**, alrededor del cual existen tres cuestiones importantes; el **agotamiento** del número de direcciones, la **expansión** de la tabla de envío de los routers y la falta de **conectividad** integral requeridas por algunas tecnologías.
 - **▶ IPv6.** En los años noventa, el grupo de trabajo de ingeniería de Internet (IETF) comenzó a buscar un reemplazo de IPv4, que derivó en IPv6. Con esta versión se obtiene un **mayor espacio** de direcciones y un **mejor manejo** de paquetes.
- **Entremedio**, se ha hablado ya del direccionamiento IP, un tema que puede parecer árido y demasiado detallado pero que resulta crucial para comprender cómo funciona la capa de red de Internet.
- **¡¡ Dominar el direccionamiento IP** es dominar la propia capa de red de Internet !!



- 32 bits.
- Se expresa en binario
- 192.0.2.235
- Fecha de desarrollo: 1981

Instagram: electron.telecom



- 128 bits
- Se expresa en hexadecimal
- 2001:0db8:85a3:0000:0000:8a2e:0370:7334
- Fecha de desarrollo: 1998

Formato del datagrama IP

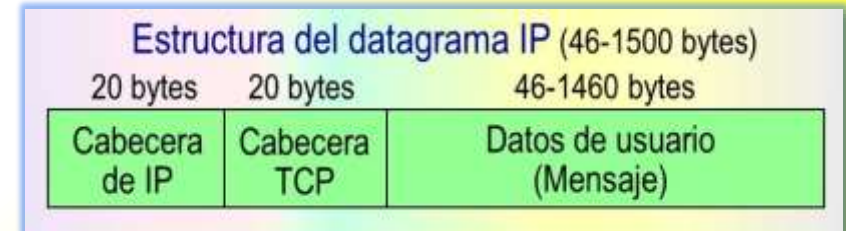
EL PROTOCOLO DE INTERNET (IP)

Formato del datagrama IPv4

Los paquetes de la capa de red de Internet se denominan datagramas, los cuales desempeñan un papel central en Internet, por eso es importante conocer y dominar su sintaxis y semántica.



- **Versión.** Son 4 bits que especifican la versión (4 o 6) del protocolo IP del datagrama. A partir del número de versión, el router puede determinar cómo interpretar el resto del datagrama.
- **Longitud de cabecera.** Son 4 bits que especifican dónde comienza la carga útil, por ejemplo, el segmento de la capa de transporte encapsulado en este datagrama.
 - ✉ La mayoría de los datagramas IP no contienen opciones, por lo que el datagrama IP típico tiene una cabecera de 20 bytes.
- **Tipo de servicio.** Con estos 8 bits se pueden diferenciar los distintos tipos de datagramas, como ser los datagramas en tiempo real (utilizados en aplicaciones de telefonía IP) o el tráfico que no es en tiempo real (tráfico FTP).
 - ✉ El nivel específico de servicio que se proporcione es una política que determinará y configurará el administrador de red en cada router concreto.



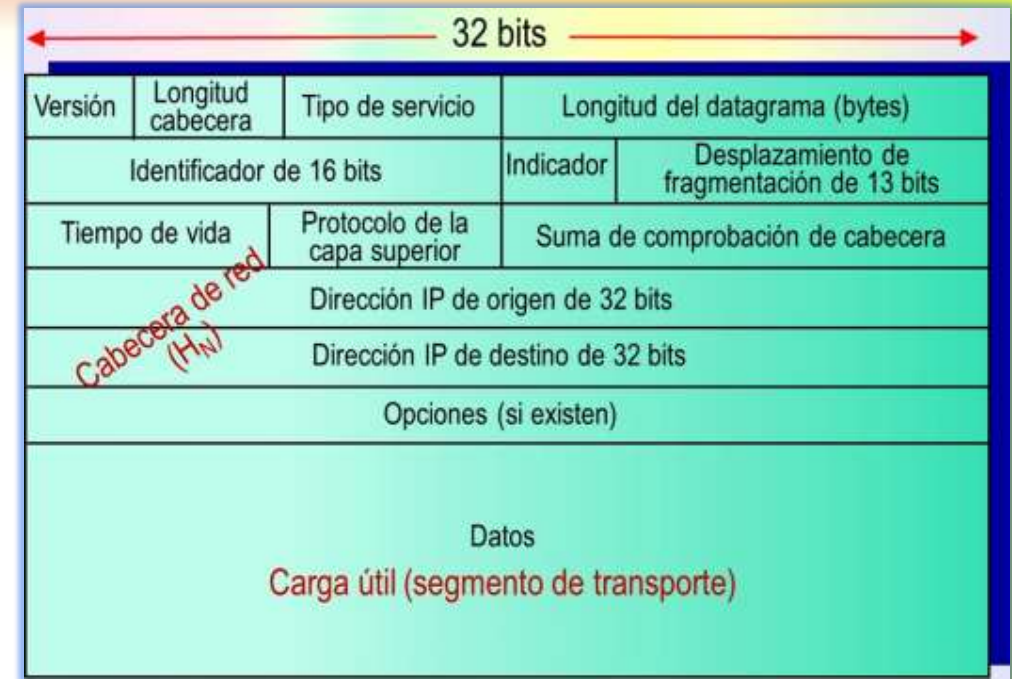
Formato del datagrama IP

EL PROTOCOLO DE INTERNET (IP)

Formato del datagrama IPv4 (cont.)

(Kurose, 2017)

- ▶ **Longitud del datagrama.** Tiene 16 bits, indica la longitud del datagrama, sin embargo, rara vez tienen una longitud mayor que 1.500 bytes, lo que permite que puedan caber en el campo de carga útil de una trama Ethernet de tamaño máximo. El tamaño teórico máximo del datagrama IP es de 65.535 bytes.
- ▶ **Identificador, Indicador, desplazamiento de fragmentación.** Estos tres campos tienen que ver con lo que se denomina fragmentación IP.
- ▶ **Tiempo de vida (TTL).** Se incluye este campo con el fin de garantizar que los datagramas no estén eternamente circulando por la red, debido, por ejemplo, a un bucle de routing de larga duración. Este campo se decrementa en una unidad cada vez que un router procesa un datagrama. Si el campo TTL alcanza el valor 0, el datagrama tiene que ser descartado por el router.
- ▶ **Protocolo de la capa superior.** El valor de este campo indica el protocolo específico de la capa de transporte al que se pasarán los datos. Por ejemplo, con un valor de 6 pasa a TCP y con uno de 17 a UDP.
 - ✉ El número de protocolo desempeña un papel análogo al del campo que almacena el número de puerto en un segmento de transporte. El **número de protocolo** es el elemento que enlaza las capas de red y de transporte, mientras que el **número de puerto** es el componente que enlaza las capas de transporte y de aplicación.



Formato del datagrama IP

EL PROTOCOLO DE INTERNET (IP)

Formato del datagrama IPv4 (cont.)

(Kurose, 2017)

- ▶ **Suma de comprobación de cabecera.** Ayuda a los routers a detectar errores de bit en un datagrama recibido. Se calcula tratando cada pareja de 2 bytes de la cabecera como un número y sumando dichos números utilizando aritmética de complemento a 1. El complemento a 1 de esta suma, conocido como **suma de comprobación Internet**, se almacena en este campo.
 - ✉ Un router calcula la suma de comprobación de cabecera para cada datagrama recibido y detecta una condición de error si la suma de comprobación incluida no coincide con la calculada, entonces el datagrama es descartado.
- ▶ **Direcciones IP de origen y de destino.** Cuando un origen crea un datagrama, inserta su dirección IP en el campo dirección IP de origen e inserta la dirección del destino final en el campo de dirección IP de destino. A menudo, el host de origen determina la dirección de destino mediante una búsqueda DNS.
- ▶ **Opciones.** Permite ampliar una cabecera IP, aunque la idea es no emplearla porque complica la actividad del router al encontrarse con cabeceras de longitud variables.
- ▶ **Datos (carga útil).** Es la razón de ser del datagrama. Por lo general, este campo contiene el segmento de la capa de transporte (TCP o UDP) que se entrega a destino. Puede transportar otros tipos de datos, como por ejemplo mensajes ICMP.
- ▶ **Observe** que un datagrama IP tiene un total de 20 bytes de cabecera (sin contar opciones). Si el datagrama transporta un segmento TCP, entonces cada datagrama transporta un total de 40 bytes de cabecera (20 de cabecera IP más 20 de la cabecera TCP) junto con el mensaje de la capa de aplicación.



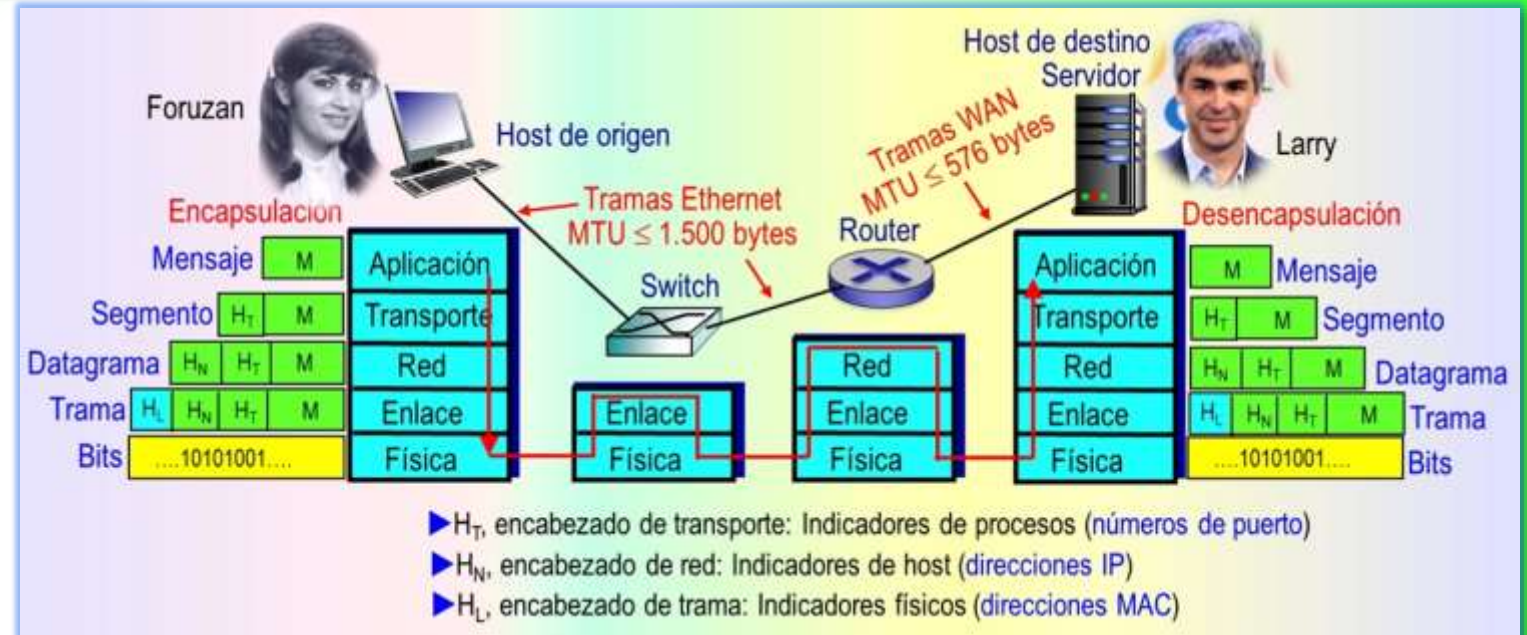
3. FRAGMENTACIÓN DEL DATAGRAMA IPv4

EL PROTOCOLO DE INTERNET (IP)

¿Por qué se fragmentan los datagramas?

(Kurose, 2017)

- **No todos** los protocolos de la capa de enlace pueden transportar datagramas grandes, hay otros que solo transportan pequeños.
- **Por ejemplo**, las tramas Ethernet, en una LAN, pueden transportar hasta 1.500 bytes de datos, mientras que las tramas para algunos enlaces WAN no pueden transportar más de 576 bytes.
- **La cantidad máxima** de datos que una trama de la capa de enlace puede transportar se conoce como **Unidad Máxima de Trasmisión (MTU)**.
- **Puesto que** cada datagrama IP se encapsula dentro de una trama de la capa de enlace para ir de un router al siguiente, la **MTU** del protocolo de la capa de enlace impone un límite estricto a la longitud de un datagrama IP. Esta limitación de un datagrama IP no supone un problema importante.
- **Lo que realmente** es un problema es que cada uno de los enlaces existentes a lo largo de la ruta entre el origen y el destino pueden utilizar diferentes protocolos de la capa de enlace y cada uno de estos protocolos puede emplear una **MTU diferente**.



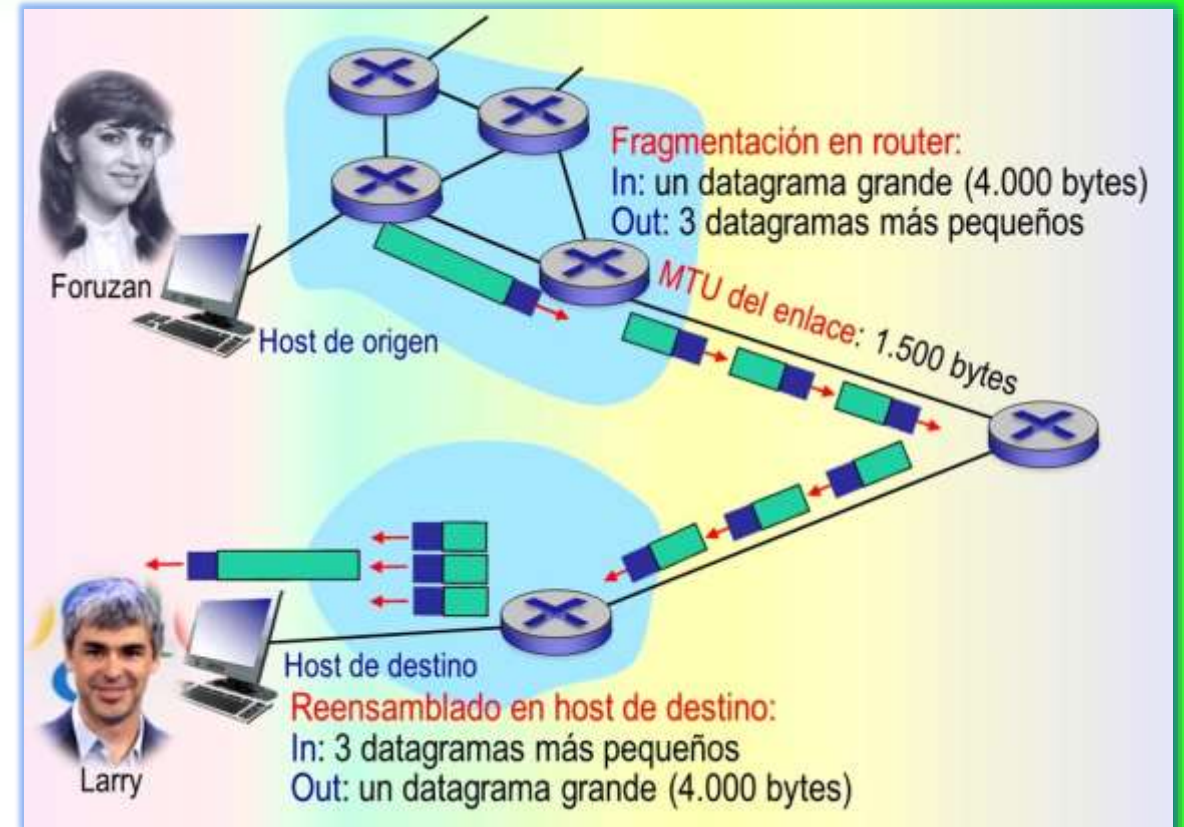
Fragmentación del datagrama IPv4

EL PROTOCOLO DE INTERNET (IP)

Fragmentación y reensamblado

(Kurose, 2017)

- ▶ **Fragmentación.** Si el tamaño del datagrama es mayor que la MTU de la interfaz por la que se va a transmitir, el router **fragmenta** la carga útil del datagrama IP en dos o más datagramas IP pequeños, encapsula cada uno de estos datagramas más pequeños en una trama de enlace distinta y envía dichas tramas a través del enlace de salida.
 - ✉ Cada uno de estos datagramas IP más pequeños se conocen como **fragmentos**.
- ▶ **Reensamblado.** Los fragmentos tienen que ser **reensamblados** antes de llegar a la capa de transporte del destino. Los diseñadores de IPv4 pensaron que reensamblar los datagramas en los routers añadiría una complejidad significativa al protocolo y reduciría el rendimiento de los routers.
 - ✉ **Ejemplo de la figura.** Un datagrama de 4.000 bytes (20 bytes de cabecera IP + 3.980 bytes de carga útil IP) llega a un router y tiene que ser reenviado a un enlace con una MTU de 1.500 bytes. Esto implica que los 3.980 bytes de datos del datagrama original tienen que ser alojados en tres fragmentos distintos (cada uno de los cuales es también un datagrama IP).
- ▶ **Seguendo el principio** de mantener el núcleo de red simple, los diseñadores decidieron asignar el trabajo de reensamblar los datagramas a los hosts, en lugar de a los routers de red.



Fragmentación del datagrama IPv4

EL PROTOCOLO DE INTERNET (IP)

(Kurose, 2017)

Campos en el datagrama IP para la fragmentación

- **Para que el host de destino** pueda realizar el reensamblado, se dispone en el datagrama IPv4 de los siguientes campos:
- **Identificador de 16 bits.** Cuando se **crea** un datagrama, el host emisor lo marca con un número de identificación, una dirección de origen y una dirección de destino. El host emisor incrementa el número de identificación para cada datagrama que envía.
- **Indicador.** Cuando un router necesita **fragmentar** un datagrama, cada fragmento resultante se marca con la dirección de origen, la dirección de destino, el número de identificación del datagrama original y el **bit indicador** de cada fragmento se pone a 1, excepto el último que se pone a 0.
 - **De esta manera,** cuando el host de destino recibe una serie de datagramas procedentes del mismo host emisor, puede examinar los números de identificación de los datagramas para determinar cuáles de ellos son fragmentos de un datagrama más largo, considerando que el último de los fragmentos será el que tiene el bit indicador puesto a 0.
- **Desplazamiento de fragmentación.** Para que el host de destino pueda **reensamblar** los fragmentos en el orden apropiado, el router que fragmenta utiliza el campo desplazamiento para especificar en qué posición dentro del datagrama IP original encaja cada fragmento.

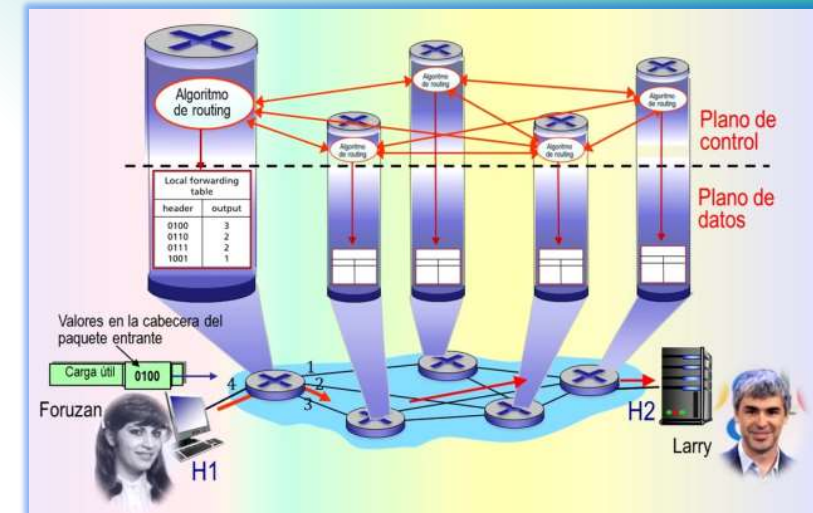


RESUMEN Y PREGUNTAS

EL PROTOCOLO DE INTERNET (IP)

Resumen y preguntas de repaso

- **Resumen.** En esta presentación se han estudiado las funciones del plano de datos de la capa de red – El protocolo de Internet (IP) que hace posible el transporte de datagramas desde un origen hasta un destino.
- ► **P1. Suponga** que el host A envía al host B un segmento TCP encapsulado en un datagrama IP. Cuando el host B recibe el datagrama, ¿cómo sabe la capa de red del host B que debería pasar el segmento (es decir, la carga útil del datagrama) a TCP, en lugar de a UDP o a cualquier otro protocolo?
- ► **P2. ¿Qué campo** de la cabecera IP puede usarse para garantizar que un paquete se reenvíe a través de no más de N routers?
- ► **P3. La suma de comprobación** Internet se utiliza tanto en los segmentos de la capa de transporte (en las cabeceras UDP y TCP), como en los datagramas de la capa de red. Considere ahora un segmento de la capa de transporte encapsulado en un datagrama IP. ¿Existen bytes comunes en el datagrama IP sobre los cuales se calculen las sumas de comprobación de la cabecera del segmento y de la cabecera del datagrama? Explique su respuesta.

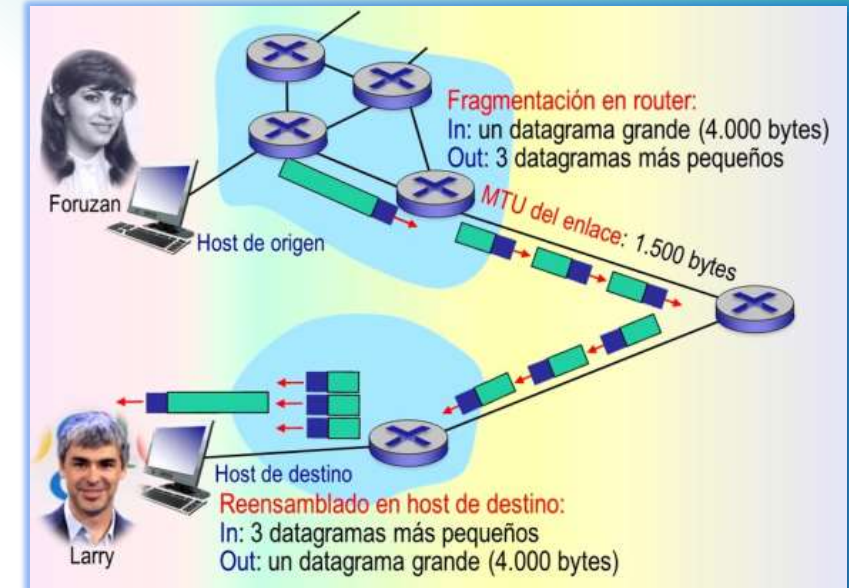


RESUMEN Y PREGUNTAS

EL PROTOCOLO DE INTERNET (IP)

Preguntas de repaso

- ▶ **P4. Cuando se fragmenta** un datagrama de gran tamaño en múltiples datagramas más pequeños, ¿dónde se reensamblan estos datagramas más pequeños para obtener un único datagrama de mayor tamaño?
- ▶ **P5. Suponga** que una aplicación genera fragmentos de 40 bytes de datos cada 20 milisegundos y que cada fragmento se encapsula en un segmento TCP y luego en un datagrama IP. ¿Qué porcentaje de cada datagrama será información administrativa y qué porcentaje será datos de aplicación?
- ▶ **P6. Suponga** que el tamaño de los datagramas está limitado a 1.500 bytes (incluyendo la cabecera) entre el host A y el host de destino B. Suponiendo una cabecera IP de 20 bytes, ¿cuántos datagramas se necesitarían para enviar un archivo MP3 de 5 millones de bytes? Explique los cálculos que haya realizado para dar una respuesta.



Estructura del datagrama IP (46-1500 bytes)

20 bytes	20 bytes	46-1460 bytes
Cabecera de IP	Cabecera TCP	Datos de usuario (Mensaje)

Referencias bibliográficas

EL PROTOCOLO DE INTERNET (IP)

Referencias bibliográficas

- CISCO (2015). *CCNA Routing and Switching. Introduction to Networks*. CISCO.
- CISCO (2016). *Introducción a las redes*. Madrid: Pearson Education, S.A.
- Forouzan, B. A. (2020). *Transmisión de datos y redes de comunicaciones*. Madrid: McGraw-Hill.
- Huawei Technologies (2020). *Basics of data communication networks*. Huawei.
- Kurose, J. Keith, R. (2017). *Redes de computadoras: un enfoque descendente*. Madrid: Pearson Education, S.A.

FIN

Tema 3 de:
PROTOCOLOS DE INTERNET
Edison Coimbra G.