

# 1

# FUNCIONES DE LA CAPA DE RED



## Objetivo

● Describir los principales servicios y la funcionalidad de los protocolos de la capa de red.

## Manual de clases

Última modificación:  
15 de julio de 2022

Tema 1 de:  
ROUTING IP  
Edison Coimbra G.

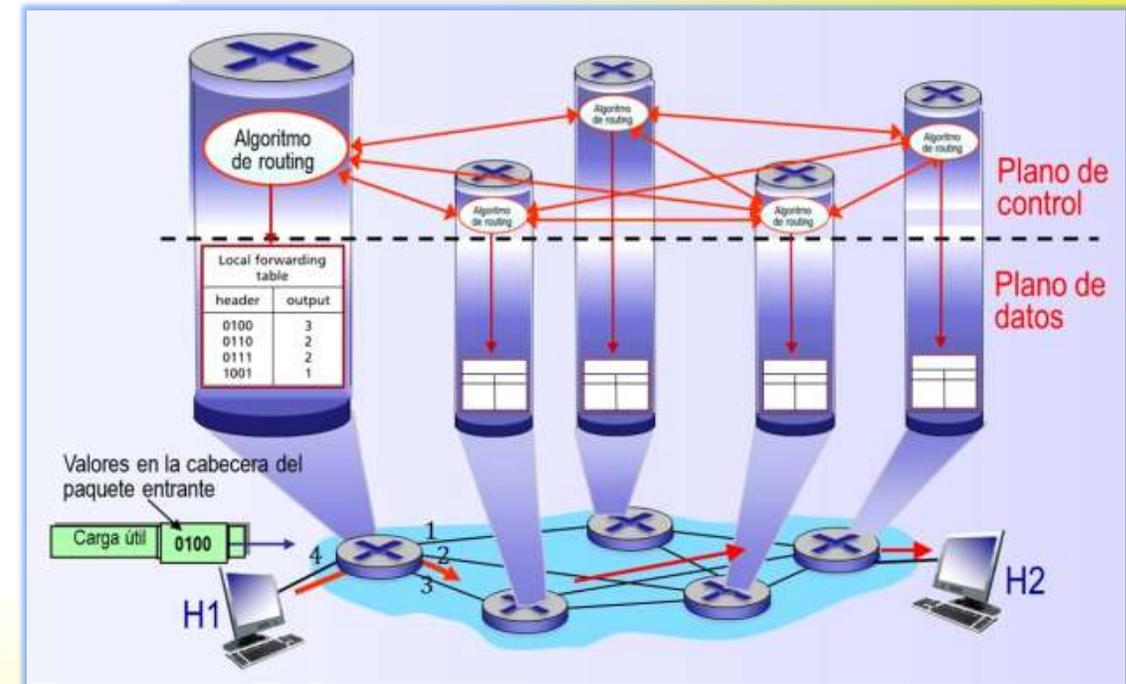
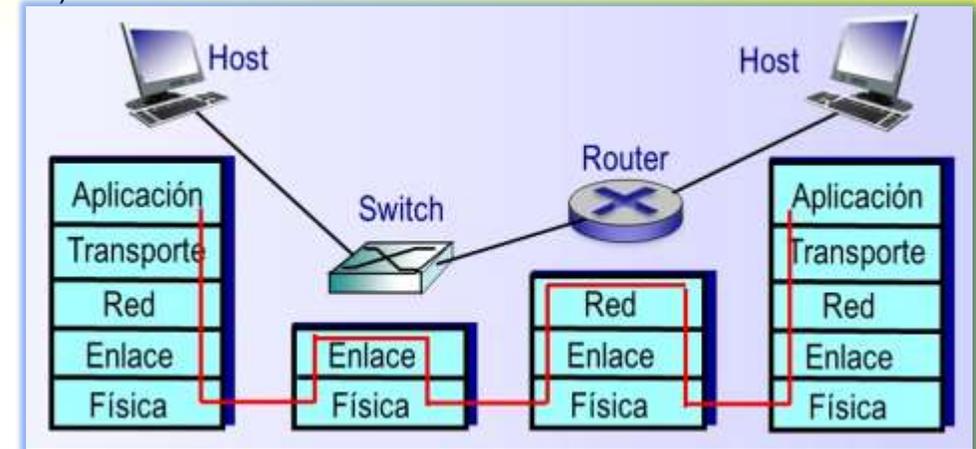
# 1. FUNCIONES DE LA CAPA DE RED

## FUNCIONES DE LA CAPA DE RED

(Kurose, 2017)

¿Qué dispositivos de Internet tienen capa de red?

- **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.**



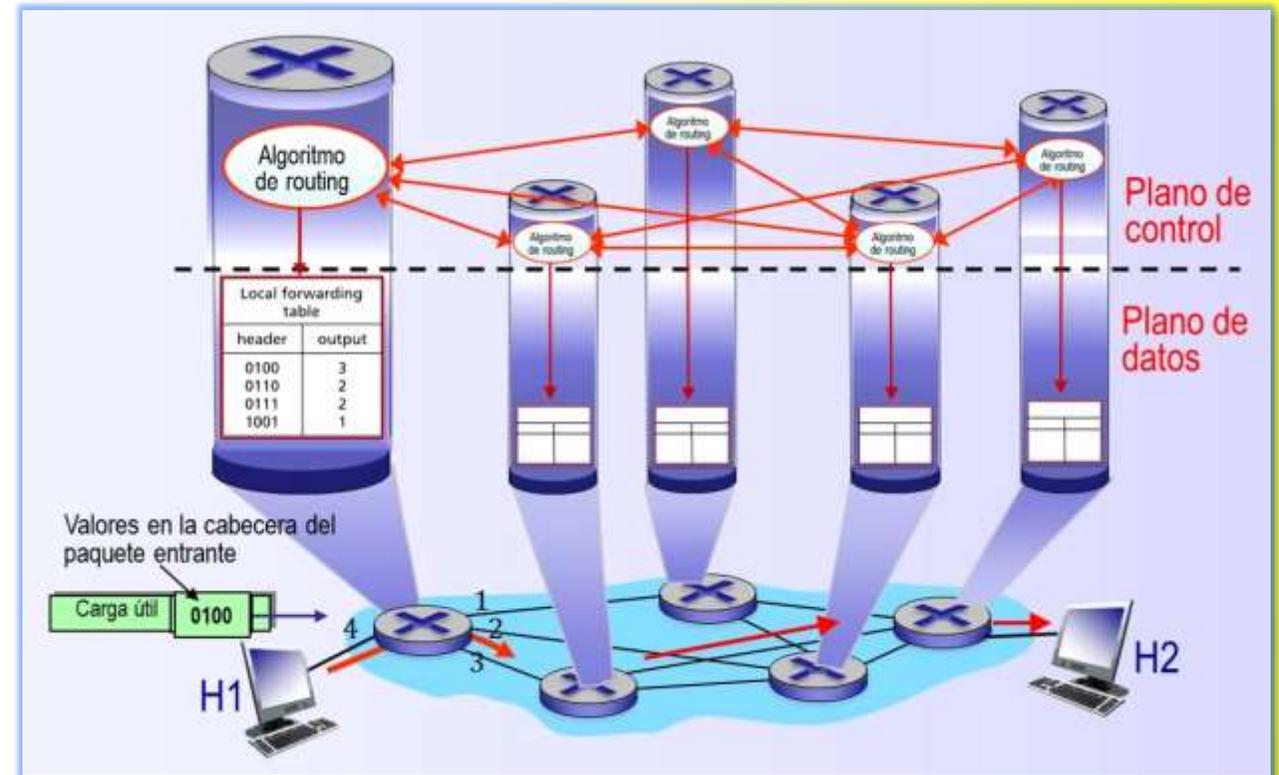
# Funciones de la capa de red

## FUNCIONES DE LA CAPA DE RED

### 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

## FUNCIONES DE LA CAPA DE RED

### ¿Cómo se realiza el transporte de paquetes?

(Kurose, 2017)

▪ **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?

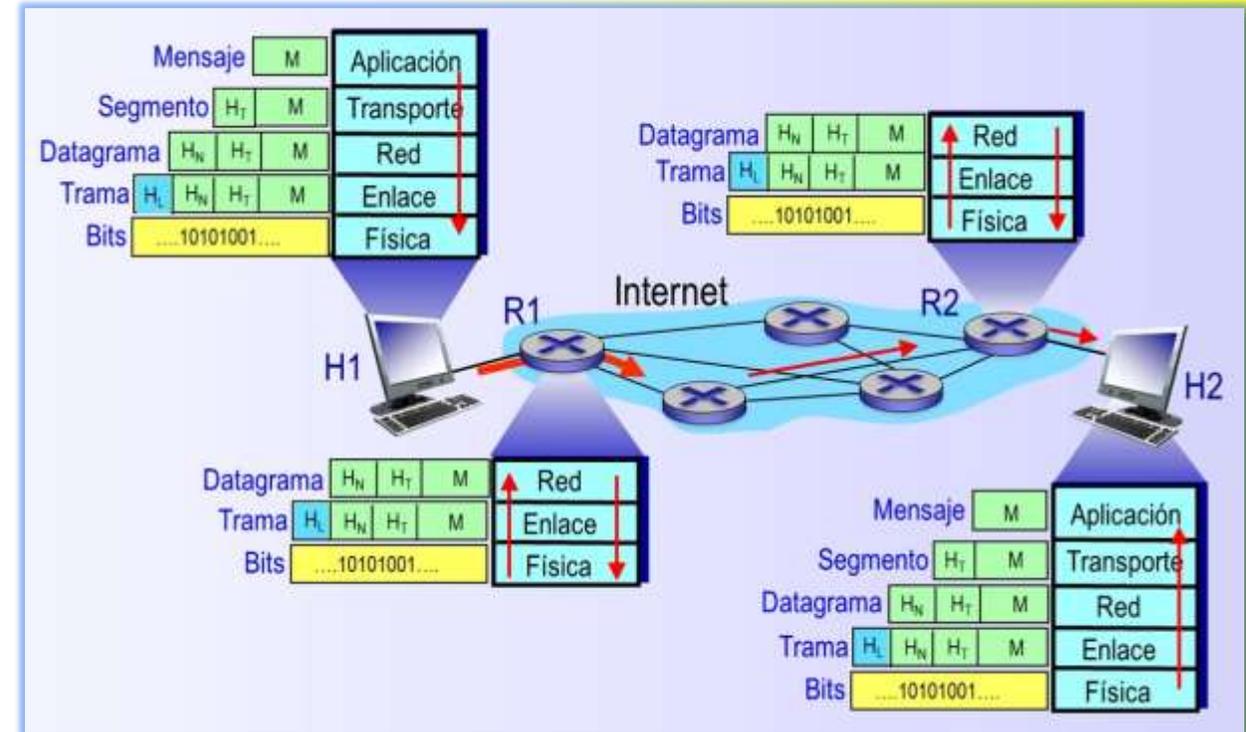
▪ ▶ **1.** En origen, la **capa de red** en H1 toma segmentos de la capa de transporte, los encapsula en datagramas y los envía al router más próximo, R1.

▪ ▶ **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 los hosts de origen y de destino.

▪ ▶ **4.** En destino, la **capa de red** en H2 recibe los **datagramas** de su router más próximo, R2, 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.



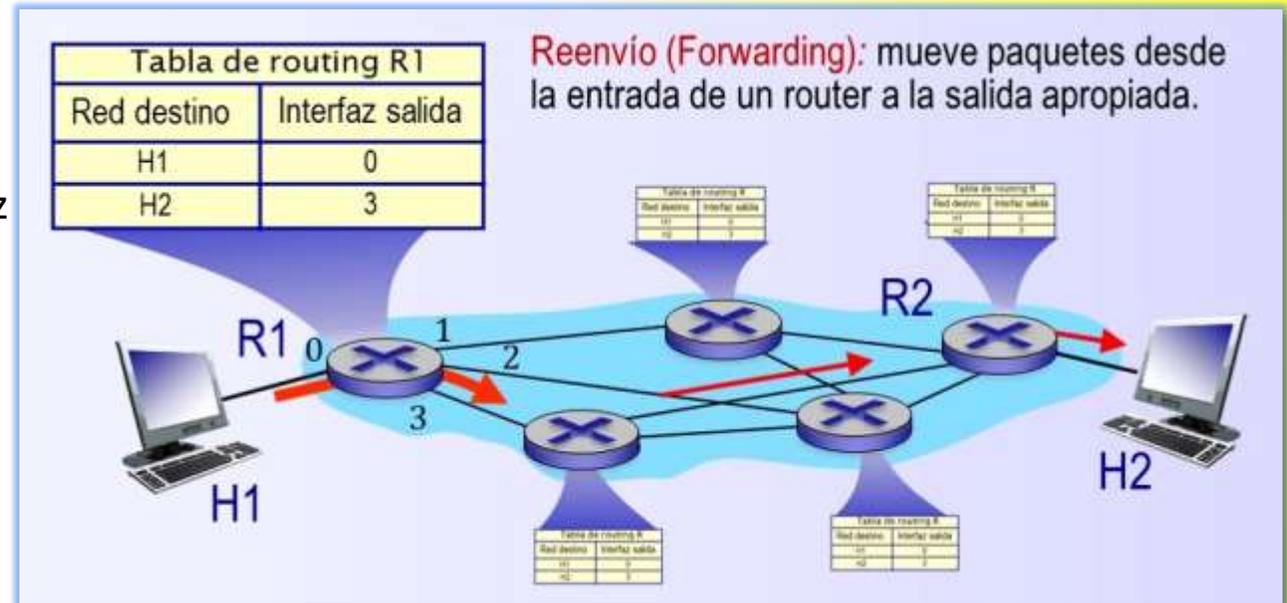
# Funciones de la capa de red

## FUNCIONES DE LA CAPA DE RED

### Reenvío (Forwarding)

(Kurose, 2017)

- **La función** de la capa red es engañosamente simple: transportar paquetes desde un host emisor hasta un host receptor. En la realización de esta tarea se pueden identificar dos importantes funciones de la capa de red:
  - **Reenvío (Forwarding)** en el plano de datos.
  - **Enrutamiento (Routing)** en el plano de control.
- **¿A qué hace referencia el reenvío?** A la acción local que realiza un router al transferir un paquete desde la interfaz de un enlace de entrada a la interfaz del enlace de salida apropiada.
  - **¿Cómo lo hace?** Todo router tiene una **tabla de reenvío** o de routing que le indica cuál es la salida apropiada para el paquete que le llega. Por ejemplo un paquete que llega procedente de H1 al router R1 debe ser reenviado al siguiente router de alguna ruta que conduzca a H2.
- **El reenvío** es solo una de las funciones (la más importante) implementadas en el plano de datos. En el caso más general, también puede prohibirse a un paquete que salga de un router (por ejemplo, si el paquete tiene su origen en un host que se sabe es malicioso o el paquete está dirigido a un host de destino prohibido), o bien el paquete puede duplicarse y enviarse a través de múltiples enlaces.
- **El reenvío** tiene lugar en escalas de tiempo muy corto (unos pocos ns) y se implementa normalmente en hardware.



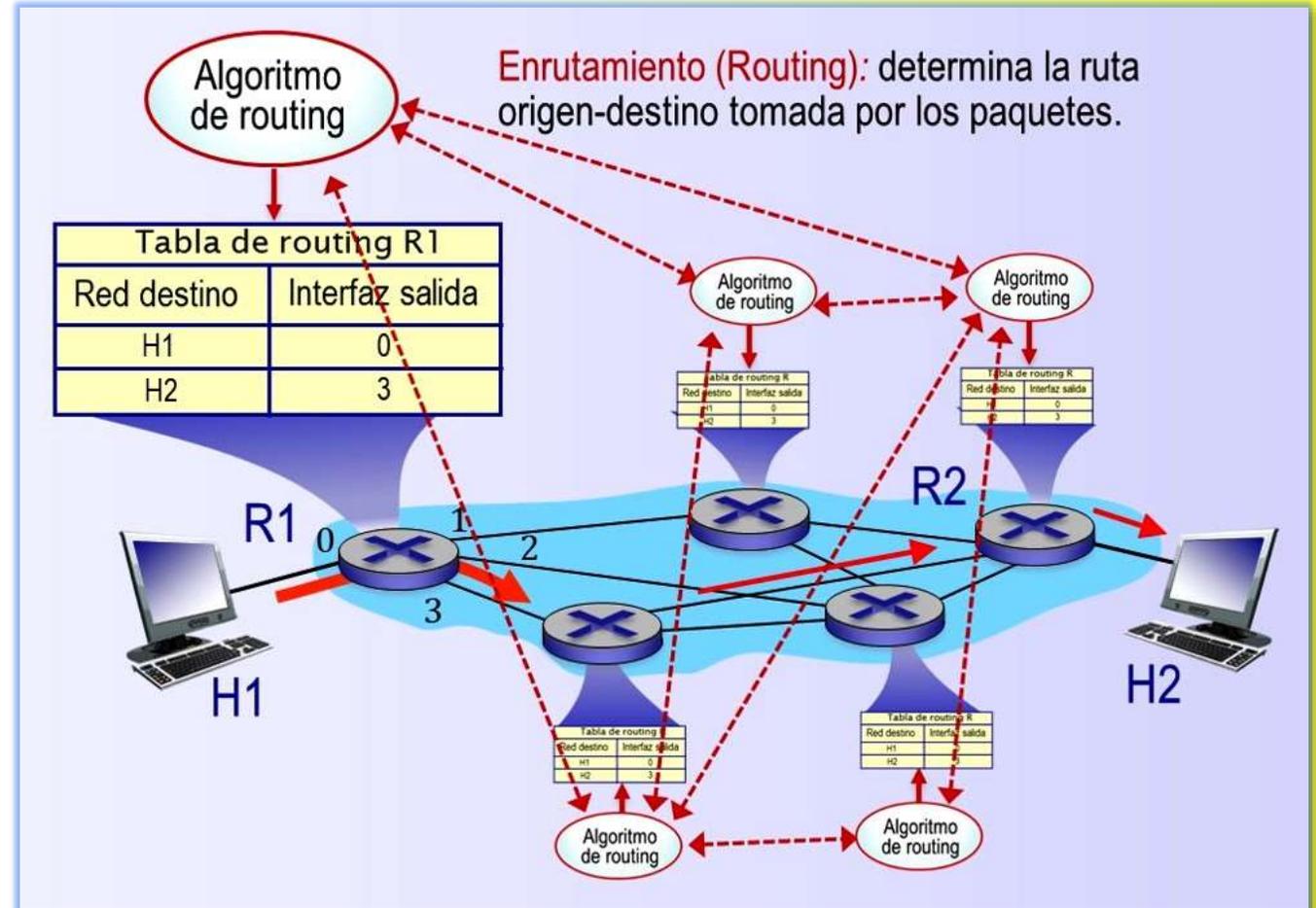
# Funciones de la capa de red

## FUNCIONES DE LA CAPA DE RED

### Enrutamiento (Routing)

(Kurose, 2017)

- **¿A qué hace referencia el routing?** Al proceso global que realiza la red en conjunto para determinar las rutas, host a host, que los paquetes siguen desde el origen al destino.
- **¿Cómo lo hace?** Internet dispone de una serie de **algoritmos de routing** (protocolos) que determinan los valores que se introducen en las **tablas de reenvío** de los routers. Por ejemplo, un algoritmo de routing determina la ruta por la que fluirán los paquetes para ir de H1 a H2.
- Un **algoritmo de routing** puede, por ejemplo, determinar la ruta más corta desde cada router hasta cada destino y usar esas rutas más cortas para configurar las tablas de reenvío en los routers al destino. El routing se implementa en el plano de control de la capa de red.
- **El routing** tiene lugar en escalas de tiempo más largas (normalmente de segundos) y suele implementarse en software.



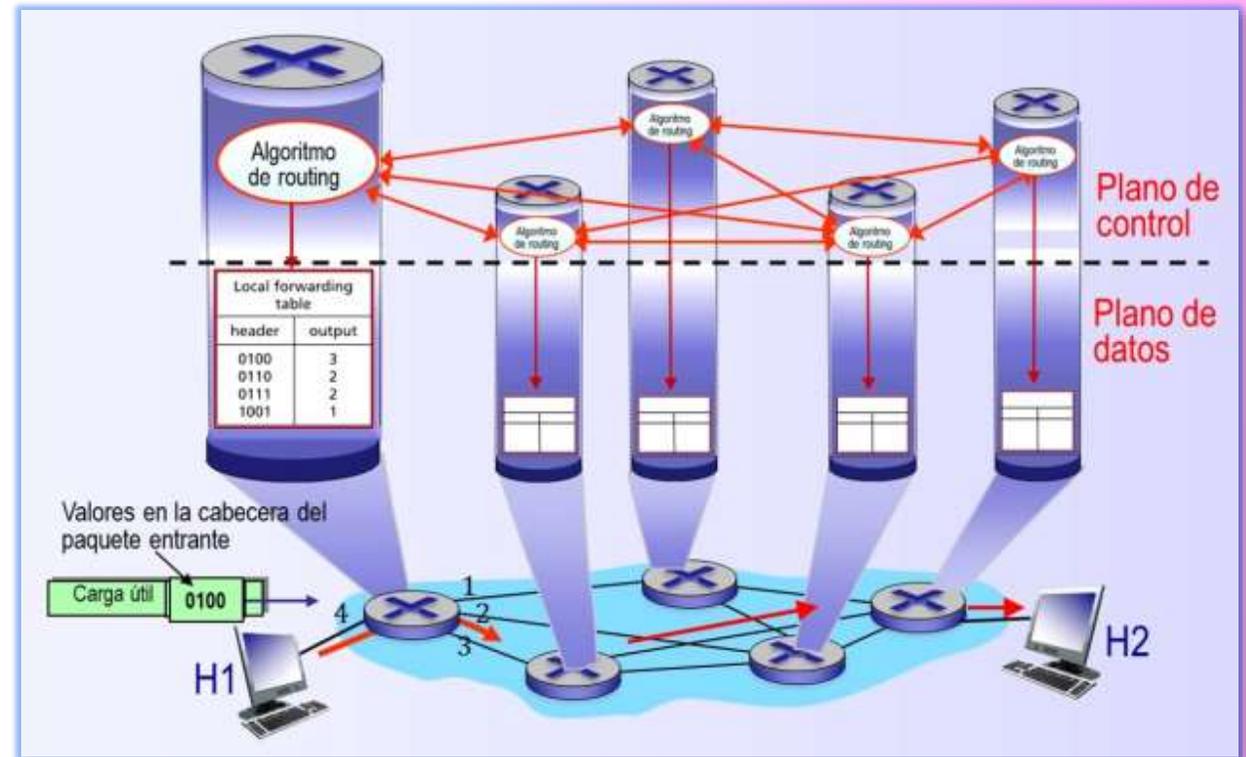
# 2. ENFOQUES DEL PLANO DE CONTROL

## FUNCIONES DE LA CAPA DE RED

### Enfoque tradicional – Control por router

(Kurose, 2017)

- **La figura** muestra el caso en que un algoritmo de routing determina el contenido de las tablas de reenvío de los routers. En este ejemplo, se ejecutan algoritmos de routing en todos y cada uno de los routers, y cada router contiene funciones tanto de reenvío como de routing.
- **La función encargada** del algoritmo de routing en un router se comunica con la función correspondiente en otros routers para calcular los valores con los que rellenar su tabla de reenvío.
- **¿Cómo se lleva a cabo esta comunicación?**  
Intercambiando mensajes de routing, que contienen información de routing, de acuerdo con lo dispuesto por un protocolo de routing.
- **Esta técnica, control por router**, ha sido la solución tradicional adoptada por los fabricantes de productos de routing, al menos hasta hace poco.
- **Los protocolos OSPF y BGP** están basados en este enfoque de **control por router**.



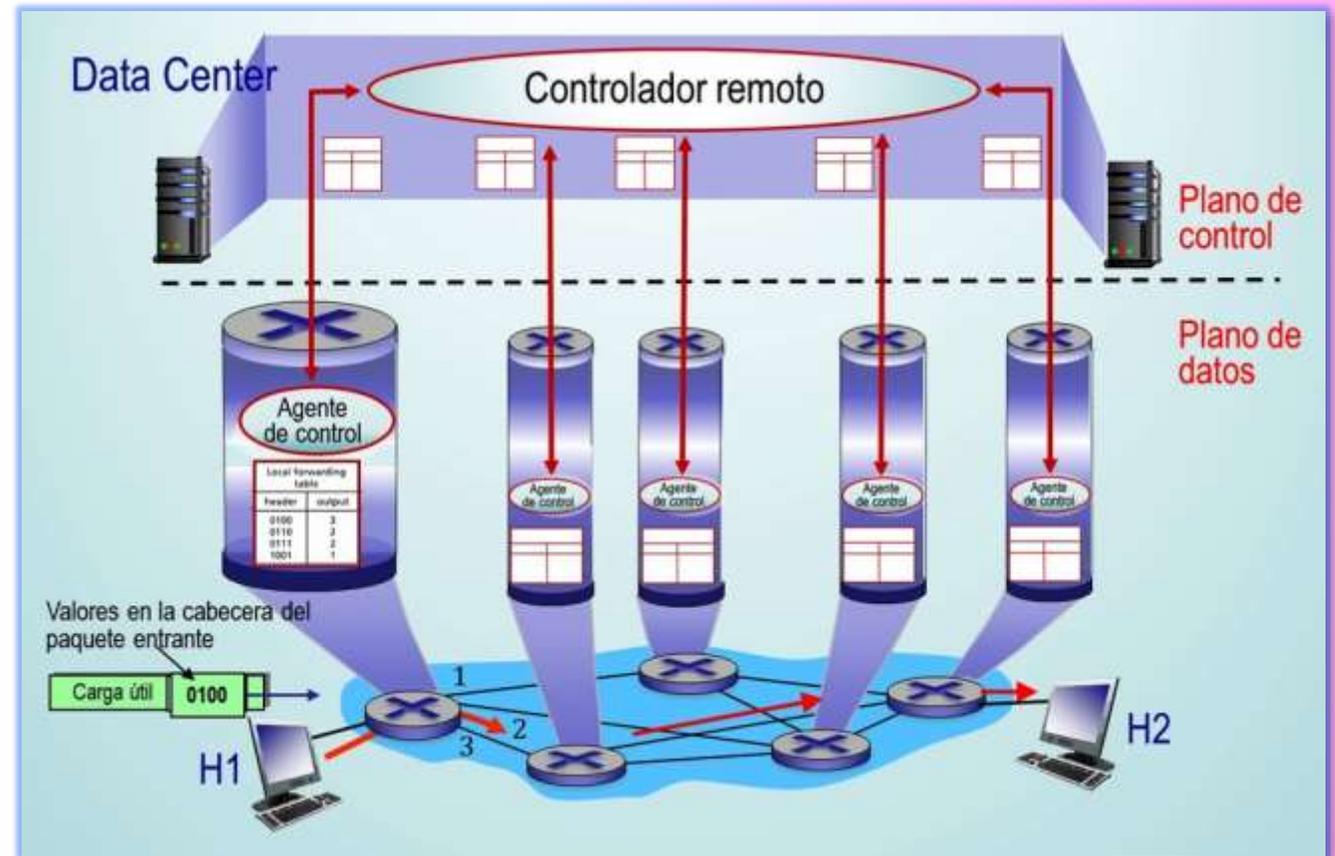
# Enfoques del plano de control

## FUNCIONES DE LA CAPA DE RED

### Control lógicamente centralizado

(Kurose, 2017)

- **El control** “lógicamente centralizado” quiere decir que al servicio de control de routing se accede como si fuera un único punto central de servicio, aunque es probable que el servicio se implemente mediante múltiples servidores por razones de tolerancia a fallas y de escalabilidad de rendimiento.
- **En la figura** se muestra este enfoque, en el cual, un **controlador remoto**, físicamente separado de los routers, calcula y distribuye las tablas de reenvío que hay que usar en cada router.
- **El controlador remoto** interactúa con los **agentes de control** que residen en cada router, para configurar y gestionar las tablas de reenvío, a través de un protocolo bien definido.
- **Normalmente**, los agentes de control tienen una funcionalidad mínima: su trabajo consiste en comunicarse con el **controlador remoto** y en hacer lo que este le ordene.

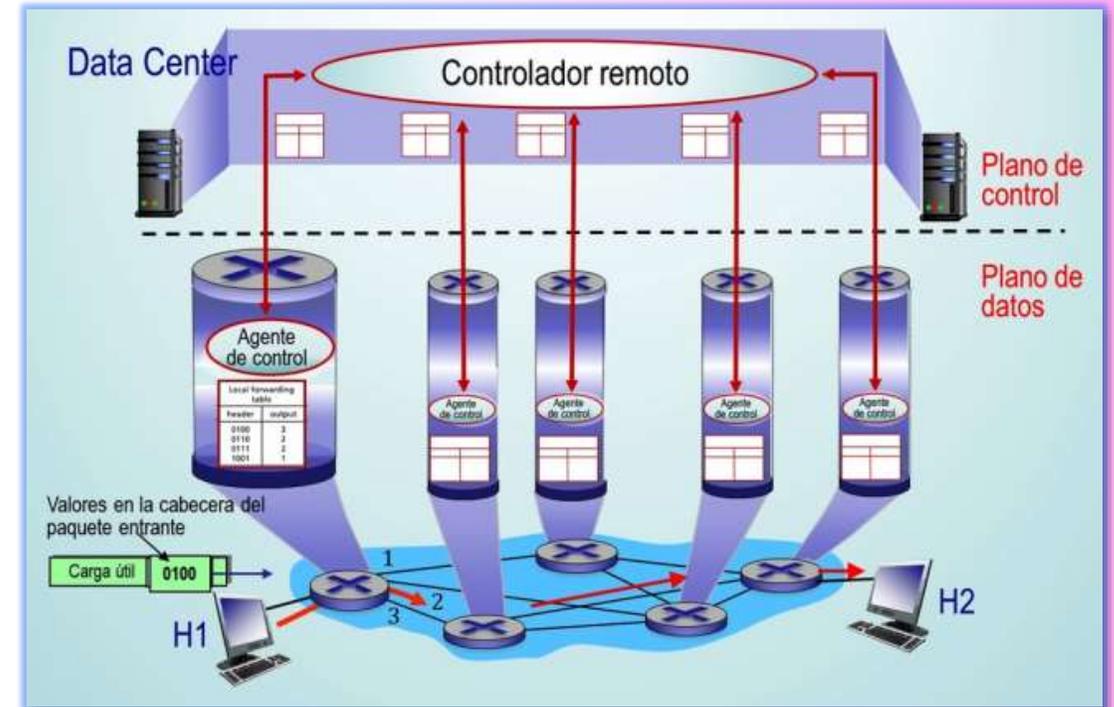


# Enfoques del plano de control

## FUNCIONES DE LA CAPA DE RED

### Control lógicamente centralizado (cont,) (Kurose, 2017)

- El **controlador remoto** puede implementarse en un **Data Center** remoto de alta fiabilidad y redundancia. Y puede ser gestionado por el ISP o por algún otro proveedor.
- **¿Cómo se comunican los routers y el controlador remoto?** Intercambiando mensajes que contienen las tablas de reenvío y otros tipos de información de routing.
- La **técnica** de implementación del plano de control en este esquema, constituye la base de las **redes definidas por software (SDN)**. El código de estas implementaciones software está públicamente disponible y se está utilizando cada vez más en instalaciones de producción.
- **Google** utiliza SDN para controlar los routers de su red de área extensa global B4, que interconecta sus Data Centers.
- **SWAN de Microsoft Research**, utiliza un controlador lógicamente centralizado para gestionar el routing y el reenvío entre una red de área extensa y una red de Data Centers.
- **China Telecom y China Unicom** están empleando SDN tanto dentro de los Data Centers como entre los Data Centers.
- **AT&T** ha señalado que soporta muchas capacidades SDN, así como mecanismos propietarios, definidos de forma independiente que encajan en el marco arquitectónico de SDN.



# 3. MODELO DE SERVICIO DE RED

## FUNCIONES DE LA CAPA DE RED

¿Qué servicios proporciona la capa de red de Internet?

(Kurose, 2017)

- **La capa de red de Internet** proporciona un único servicio, conocido como **servicio de mejor esfuerzo**, con el cual no está garantizado que los paquetes se reciban en el orden que fueron emitidos y ni siquiera se garantiza la entrega de los paquetes transmitidos.
- **No hay ninguna garantía** sobre el retardo extremo a extremo, ni tampoco se garantiza un ancho de banda mínimo.
- **Se han propuesto** otras arquitecturas que van más allá del mejor esfuerzo, como la red ATM y algunas extensiones al modelo de servicio de la arquitectura Internet.
- **Sin embargo**, a pesar de estas alternativas bien desarrolladas, el modelo básico de **servicio de mejor esfuerzo de Internet**, combinado con una provisión adecuada de ancho de banda, ha resultado ser más que “suficientemente bueno” como para hacer posible un asombroso rango de aplicaciones, incluyendo servicios de flujo de video como Netflix y aplicaciones de voz y video sobre IP para conferencias en tiempo real como Skype y Zoom.



### ¿Qué servicios deseables requeriría la capa de red?

(Kurose, 2017)

- **Cuando la capa** de transporte de un host emisor transmite un paquete a la red, es decir lo pasa a la capa de red del host emisor, surgen las siguientes preguntas, cuyas respuestas definen un servicio de la capa de red deseable:
  - ▶ **1. ¿Puede** la capa de transporte confiar en que la capa de red entregue el paquete al destino? La respuesta es:
    - **Entrega garantizada**, Garantiza de que un paquete enviado por un host de origen llegue al host de destino.
  - ▶ **2. Cuando** se envían varios paquetes, ¿se entregan a la capa de transporte del host receptor en el orden en que fueron enviados? La respuesta es:
    - **Entrega de los paquetes en orden**. Garantiza que los paquetes lleguen al destinatario en el orden en que fueron enviados.
  - ▶ **3. ¿El intervalo** de tiempo entre el envío de transmisiones de dos paquetes secuenciales será el mismo que el intervalo entre sus respectivas recepciones? La respuesta es:
    - **Entrega garantizada con retardo limitado**. Garantiza no solo la entrega del paquete, sino que dicha entrega tenga un límite de retardo especificado de host a host (por ejemplo de 100ms).

### ¿Qué posibles servicios requiere la capa de red? (cont.)

(Kurose, 2017)

- ▶ **4. ¿Realimentará** la red de información acerca de la congestión de la misma? La respuesta es:
  - **Ancho de banda garantizado.** Este servicio de la capa de red emula el comportamiento de un enlace de transmisión con una **velocidad de bit específica** (por ejemplo, de 1Mbps) entre los hosts transmisor y receptor. Mientras que el host emisor transmita los bits (como parte de los paquetes) a una velocidad inferior a la **velocidad de bit especificada**, todos los paquetes terminaran por entregarse al host de destino
- ▶ **5. Los mensajes intercambiados** disfrutaran de confidencialidad y no serán alterados en el trayecto? La respuesta es:
  - **Seguridad.** La capa de red podría cifrar todos los datagramas en origen y descifrarlos en destino, proporcionando así la confidencialidad de todos los segmentos de la capa de transporte. Una extensión al modelo de servicio de la arquitectura Internet es el Protocolo seguro IPsec.
- **La respuesta** a estas preguntas están determinadas por el **modelo de servicio** que se diseñaría proporcione la capa de red.
- **El modelo de servicio** de red define las características del transporte de paquete extremo a extremo entre los hosts emisor y receptor.

### Resumen y preguntas de repaso

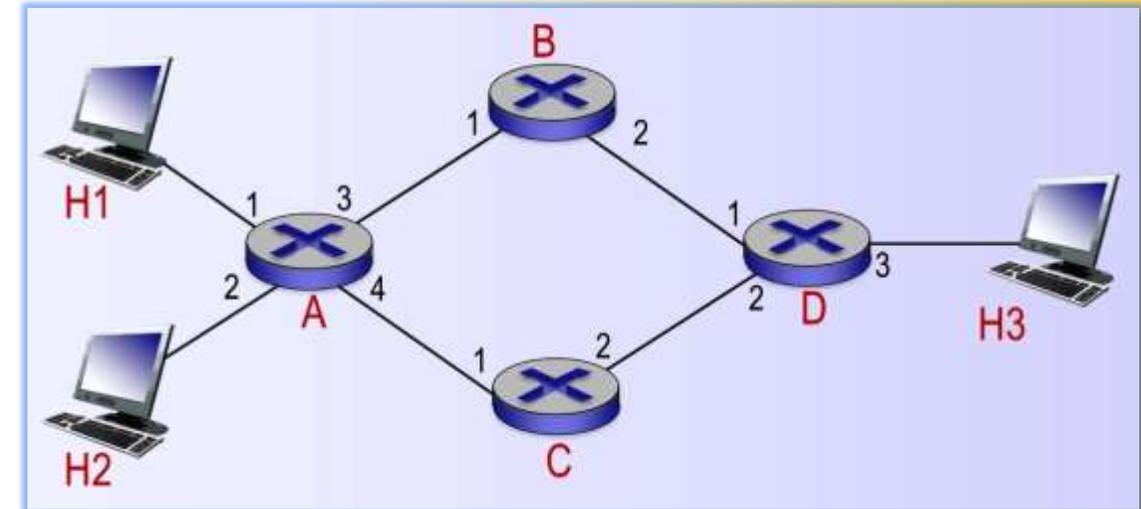
- **Resumen.** En esta presentación se ha descrito la noción de que la capa de red tiene dos componentes, que son el plano de datos y el plano de control; la distinción entre reenvío y routing y la identificación de diversos modelos de servicio de la red.
- ► **P1. Recuerde** que el nombre que recibe un paquete de la capa de transporte es segmento y que el nombre de un paquete de la capa de enlace es trama. ¿Cuál es el nombre de un paquete de la capa de red? Recuerde que tanto los routers como los switches de la capa de enlace se denominan conmutadores de paquetes. ¿Cuál es la diferencia fundamental entre un router y un switch?
- ► **P2. La funcionalidad** de la capa de red puede dividirse, en términos generales, en funcionalidad del plano de datos y funcionalidad del plano de control. ¿Cuáles son las principales funciones del plano de datos? ¿Y las del plano de control?
- ► **P3. Se ha hecho** la distinción entre la función de reenvío y la función de routing realizadas en la capa de red. ¿Cuáles son las diferencias fundamentales entre el routing y el reenvío?
- ► **P4. ¿Cuál** es el papel de la tabla de reenvío dentro de un router?
- ► **P5. Se ha dicho** que el modelo de servicio de una capa de red “define las características del transporte extremo a extremo de paquetes entre los hosts emisor y receptor”. ¿Cuál es el modelo de servicio de la capa de red de Internet? ¿Qué garantía proporciona el modelo de servicio de Internet, en lo que respecta a la entrega de datagramas de un host a otro host?

# Resumen y preguntas

## FUNCIONES DE LA CAPA DE RED

### preguntas de repaso

- ▶ **P6. Utilice** la red mostrada en la figura.
  - a)** Especifique la tabla de reenvío del router A, de modo que todo el tráfico destinado al host H3 sea reenviado a través del interfaz 3.
  - b)** ¿Puede escribir una tabla de reenvío para el router A, de manera que todo el tráfico de H1 destinado al host H3 sea reenviado a través de la interfaz 3, mientras todo el tráfico de H2 destinado al host H3 sea reenviado a través de la interfaz 4? (Sugerencia: esta pregunta tiene truco)

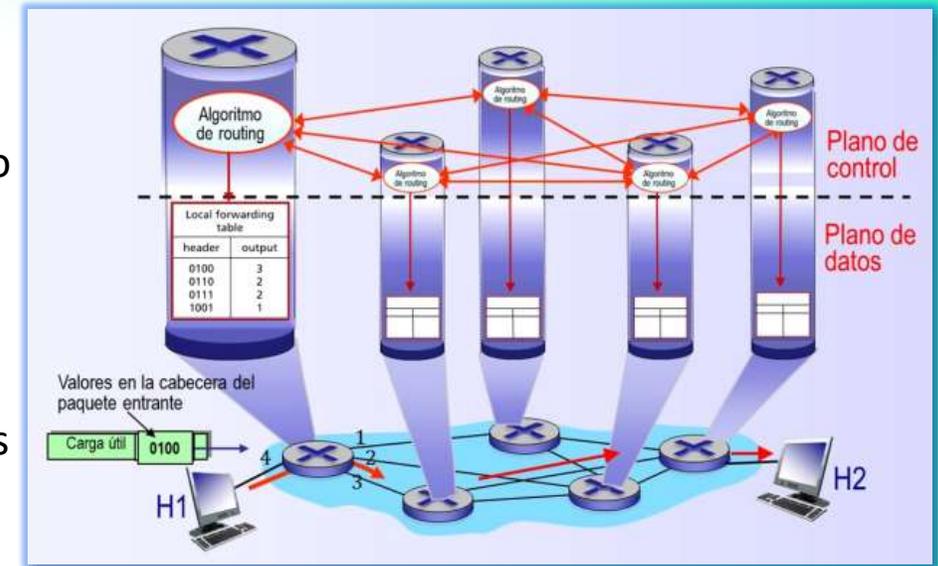


# MAPA DE LOS SIGUIENTES TEMAS DE ROUTING IP

## FUNCIONES DE LA CAPA DE RED

### ¿Cómo se abordará el routing IP?

- **En esta presentación**, se ha hablado del segundo de los constituyentes de la capa de red, del **plano de control**: la lógica de la red que controla no solo cómo se reenvía un datagrama de un router a otro, a lo largo de una ruta extremo a extremo desde el host de origen al host de destino, sino también cómo se configuran y gestionan los servicios y componentes de la capa de red.
- **En los siguientes temas**, se hablará de los **algoritmos tradicionales de routing** utilizados para calcular las rutas de costo mínimo en un grafo; estos algoritmos son la base de dos protocolos de routing ampliamente implantados en Internet: **OSPF** y **BGP**.
- **OSPF es un protocolo de routing** que opera dentro de la red de un único ISP. **BGP** es un protocolo de routing que sirve para interconectar todas las redes de Internet; por ello se suele decir que BGP es el “pegamento” que mantiene unida Internet.
- **Tradicionalmente**, los protocolos de routing del plano de control se han implementado junto con las funciones de reenvío del plano de datos monolíticamente, dentro de un router.
- **Por otro lado**, se ha visto que las redes definidas por software (SDN) separan claramente los planos de datos y de control, implementando las funciones del plano de control mediante un servicio “**controlador**” separado que es distinto, y remoto, con respecto a los componentes de reenvío de los routers que controla.



# Referencias bibliográficas

FUNCIONES DE LA CAPA DE RED

## 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 1 de:  
ROUTING IP

Edison Coimbra G.

16