

Tecnología Digital IV: Redes de Computadoras

Clase 14: Nivel de Red - Parte 2

Lucio Santi & Emmanuel Iarussi

Licenciatura en Tecnología Digital
Universidad Torcuato Di Tella

13 de mayo de 2025

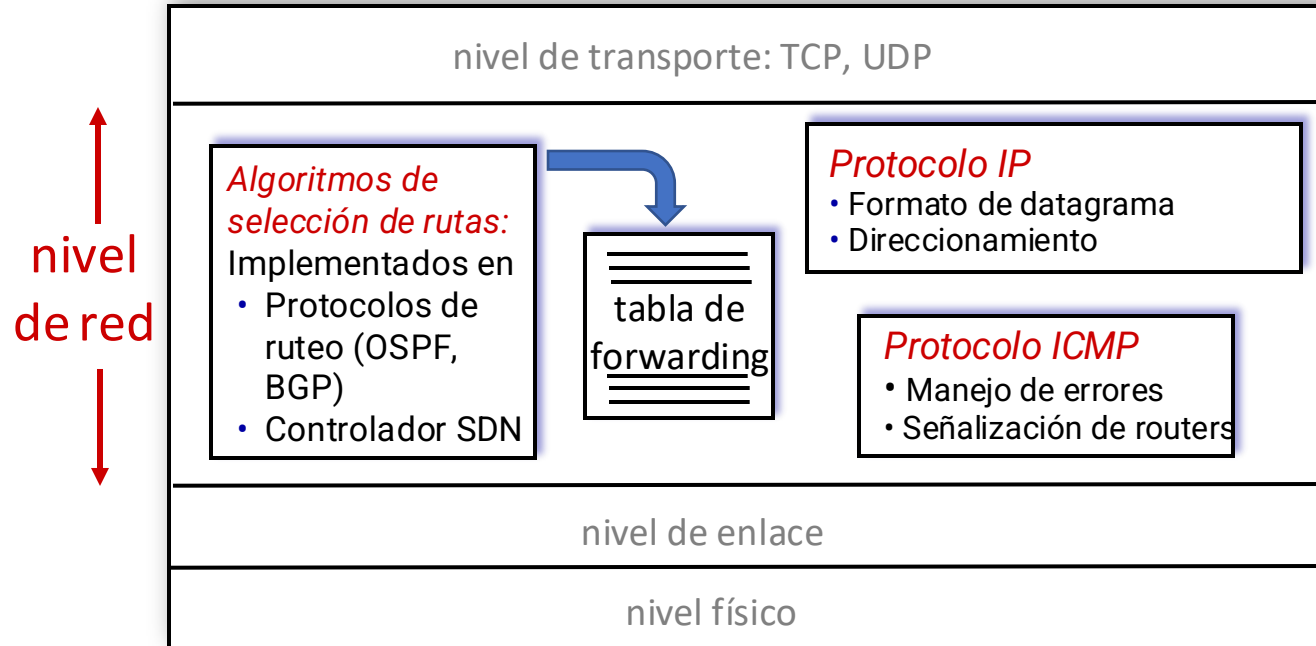
Agenda

- Vista general del nivel de red
 - Plano de datos
 - Plano de control
- Routers
 - Puertos de *input* y *output*
 - Switching
- El Protocolo de Internet (**IP**)
 - Datagrama
 - Direcccionamiento
 - NAT
 - IPv6
- *Software Defined Networking* (SDN)

El protocolo IP

El nivel de red en Internet

Funciones del nivel de red:



Protocolos de ruteo - OSPF (Open Shortest Path First)

- es un **protocolo de ruteo de estado de enlace** (link-state routing protocol) que se usa dentro de un sistema autónomo (red interna) y funciona mejor en redes grandes y jerárquicas.
- Utiliza el **Algoritmo de Dijkstra** (Shortest Path First, SPF) para calcular la ruta más corta basada en el costo o métrica, que puede estar relacionada con factores como el ancho de banda o la latencia.
- Soporta una estructura de red jerárquica mediante el uso de áreas, lo que ayuda a escalar el protocolo y reducir el tamaño de la tabla de enrutamiento y la cantidad de información de estado de enlace que necesita ser procesada.
 - Área 0: backbone y Áreas adicionales

Protocolos de ruteo - OSPF (Open Shortest Path First)

- **Funcionamiento:**
- **Adyacencias:** Los routers OSPF forman adyacencias con routers vecinos dentro de la misma área mediante la transmisión de mensajes de "Hello". Una vez que forman una adyacencia, intercambian bases de datos de estado de enlace (LSDB, Link State Database).
- **Estado de Enlace (Link-State):** Los routers envían información sobre sus enlaces a otros routers de la red, creando una imagen completa de la topología de la red en cada router.
- **Elección de Ruta:** Usando la base de datos de estado de enlace, cada router calcula la mejor ruta hacia cada destino utilizando el algoritmo de Dijkstra.

Protocolos de ruteo - OSPF (Open Shortest Path First)

- **Ventajas:**

- **Convergencia rápida:** Al tener conocimiento completo de la topología de la red, OSPF puede converger rápidamente cuando hay cambios en la red.
- **Escalabilidad:** Soporta grandes redes al dividir las en áreas.
- **Sin Bucles:** El diseño de OSPF evita la creación de bucles de enrutamiento.

- **Desventajas:**

- **Complejidad:** La configuración de OSPF puede ser más complicada que la de otros protocolos, especialmente en redes grandes con múltiples áreas.

Protocolos de ruteo - BGP (Border Gateway Protocol)

- **Características:**
 - **Tipo de Protocolo:** BGP es un **protocolo de ruteo de vector de ruta** (path vector protocol) y es el protocolo que rige el enrutamiento entre sistemas autónomos (AS) en Internet.
 - **Ámbito de uso: Exterior Gateway Protocol (EGP)**, lo que significa que BGP se utiliza principalmente para el enrutamiento entre sistemas autónomos, como en el enrutamiento entre distintas redes de proveedores de servicios de Internet (ISP).

Protocolos de ruteo - BGP (Border Gateway Protocol)

- **Características:**
 - **Algoritmo:** BGP utiliza el **vector de ruta** para elegir la mejor ruta entre diferentes sistemas autónomos, basado en una serie de atributos como el **AS-PATH** (longitud del camino), las políticas de enrutamiento definidas por el administrador de la red, entre otros.
 - **Políticas de Enrutamiento:** BGP permite a los administradores definir políticas de enrutamiento que pueden influir en la selección de rutas, como evitar ciertos AS o preferir ciertas rutas para tráfico entrante o saliente.

Protocolos de ruteo - BGP (Border Gateway Protocol)

- **Funcionamiento:**
 - **Sesiones BGP:** Los routers BGP forman una conexión punto a punto (conocida como sesión BGP) con routers vecinos. Estas sesiones pueden ser internas (iBGP, dentro del mismo AS) o externas (eBGP, entre diferentes AS).
 - **Anuncio de Rutas:** Los routers BGP no envían su tabla de enrutamiento completa en cada actualización. Solo envían actualizaciones cuando hay cambios en la red. También pueden anunciar políticas de enrutamiento.

Protocolos de ruteo - BGP (Border Gateway Protocol)

- **Ventajas:**
 - **Flexibilidad:** Permite a los administradores de red establecer políticas de enrutamiento altamente personalizadas basadas en varios atributos (AS-PATH, longitud de prefijo, etc.).
 - **Escalabilidad:** BGP está diseñado para funcionar en la vasta red de Internet, donde el tamaño de las tablas de enrutamiento es muy grande.
 - **Prevención de bucles:** Utiliza el AS-PATH para evitar bucles de enrutamiento entre diferentes AS.

Protocolos de ruteo - BGP (Border Gateway Protocol)

- **Desventajas:**
 - **Convergencia lenta:** BGP puede ser más lento para converger que otros protocolos, especialmente en redes grandes y complejas.
 - **Complejidad:** La configuración de BGP puede ser compleja debido a su enfoque basado en políticas y la necesidad de ajustar parámetros para optimizar el rendimiento.

Recopilación de Información de Ruteo

- **Rutas directamente conectadas:** El router conoce las redes a las que está directamente conectado a través de sus interfaces.
- **Rutas estáticas:** El administrador de red configura manualmente rutas específicas para ciertos destinos.
- **Protocolos de enrutamiento dinámico:** El router intercambia información de ruteo con otros routers utilizando protocolos como RIP, OSPF, BGP, etc. Esta información se almacena en la **base de datos de topología** (para protocolos de estado de enlace como OSPF) o directamente en la tabla de ruteo (para protocolos de vector distancia como RIP).

Construcción de la Tabla de Ruteo:

Con la información recopilada, el router construye su **tabla de ruteo**. Esta tabla contiene una lista de redes de destino conocidas y la mejor ruta para llegar a cada una de ellas. Cada entrada en la tabla de ruteo típicamente incluye:

- **Red de Destino:** La dirección de la red a la que se quiere llegar.
- **Máscara de Subred:** Indica qué parte de la dirección IP identifica la red.
- **Siguiente Salto (Next Hop):** La dirección IP del siguiente router al que se debe enviar el paquete en el camino hacia el destino. Para redes directamente conectadas, esto puede ser la propia interfaz de salida.
- **Interfaz de Salida:** La interfaz del router por la cual se debe enviar el paquete para alcanzar el siguiente salto o la red de destino.
- **Métrica:** Un valor que indica la "mejor" ruta entre varias posibles hacia el mismo destino (por ejemplo, número de saltos, ancho de banda, costo).
- **Distancia Administrativa:** Un valor que indica la preferencia de una fuente de información de ruteo sobre otra (por ejemplo, rutas directamente conectadas tienen la distancia administrativa más baja).

Selección de las Mejores Rutas:

- La tabla de ruteo puede contener múltiples rutas hacia la misma red de destino, aprendidas a través de diferentes protocolos o configuradas estáticamente. El router utiliza la **distancia administrativa** como primer criterio para determinar qué fuente de información de ruteo es más confiable. Se prefiere la ruta con la distancia administrativa más baja.
- Si hay múltiples rutas hacia el mismo destino aprendidas de la misma fuente (misma distancia administrativa), el router utiliza la **métrica** asociada a cada ruta para determinar la mejor. La ruta con la métrica más baja se considera la mejor.
- Las mejores rutas seleccionadas se marcan como las rutas "activas" o "preferidas" para cada destino en la tabla de ruteo.

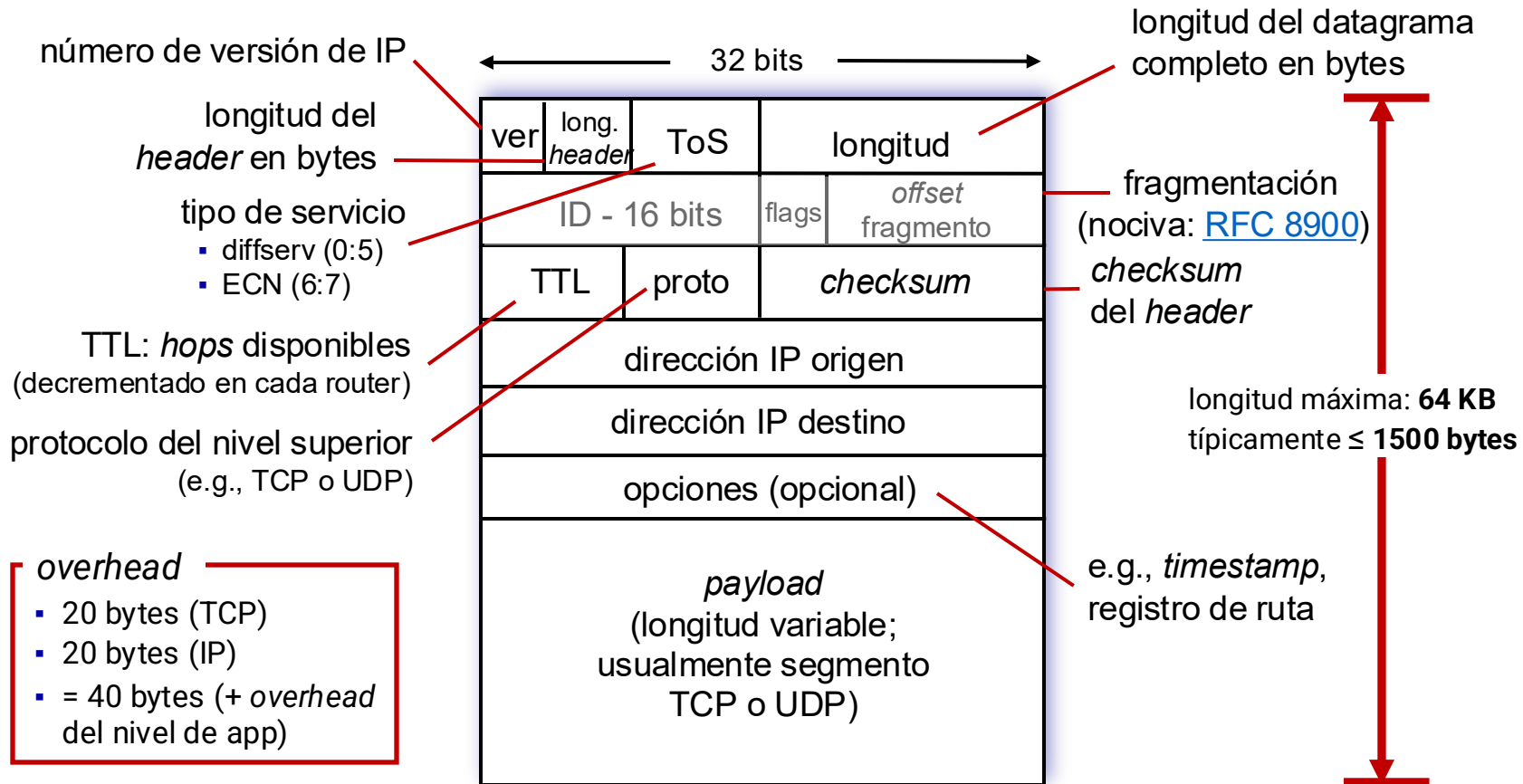
Tabla de Forwarding

- La **tabla de forwarding** se construye a partir de la **tabla de ruteo** en los dispositivos de red, como routers y switches, y se utiliza para tomar decisiones rápidas sobre el encaminamiento de paquetes.

Como se genera la Tabla de Forwarding

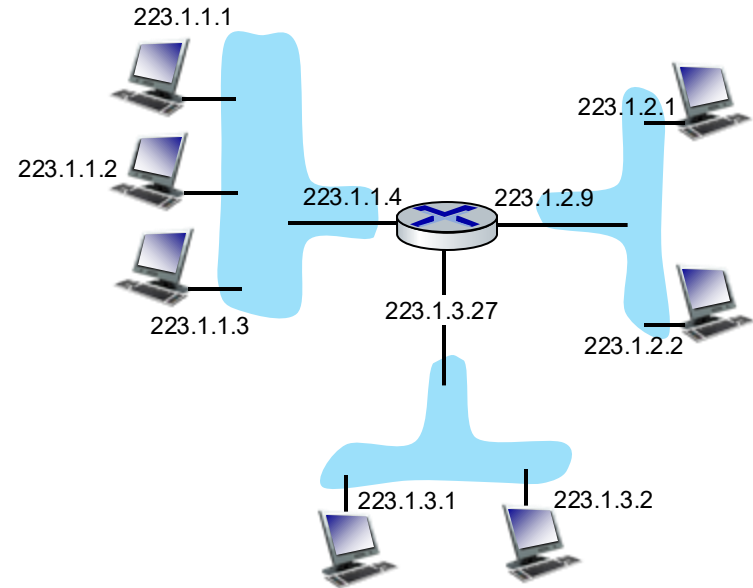
- **Extracción de rutas óptimas:** La tabla de ruteo contiene múltiples rutas posibles hacia distintos destinos, pero la tabla de forwarding solo almacena las rutas más eficientes y viables.
- **Eliminación de información innecesaria:** La tabla de ruteo puede contener detalles sobre protocolos, métricas adicionales y rutas aprendidas dinámicamente. La tabla de forwarding filtra esta información y solo mantiene lo esencial para el reenvío.
- **Asignación de nexthop y salida:** Para cada entrada en la tabla de forwarding, se identifica el *nexthop* (próximo salto) y la interfaz de salida por la cual el paquete debe ser enviado.
- **Optimización para rendimiento:** A diferencia de la tabla de ruteo, que puede actualizarse con cambios de topología y protocolos dinámicos, la tabla de forwarding se mantiene optimizada para accesos rápidos mediante estructuras como TCAM (Ternary Content Addressable Memory).

Formato del datagrama IP



Direccionamiento IP

- **Dirección IP:** identificador de 32 bits asociado con cada **interfaz** de un host o router
- **Interfaz:** conexión entre un host/router y un enlace físico
 - Los routers suelen tener varias
 - Los hosts suelen tener una o dos (e.g., Ethernet -cableada- y/o 802.11, WiFi -inalámbrica-)



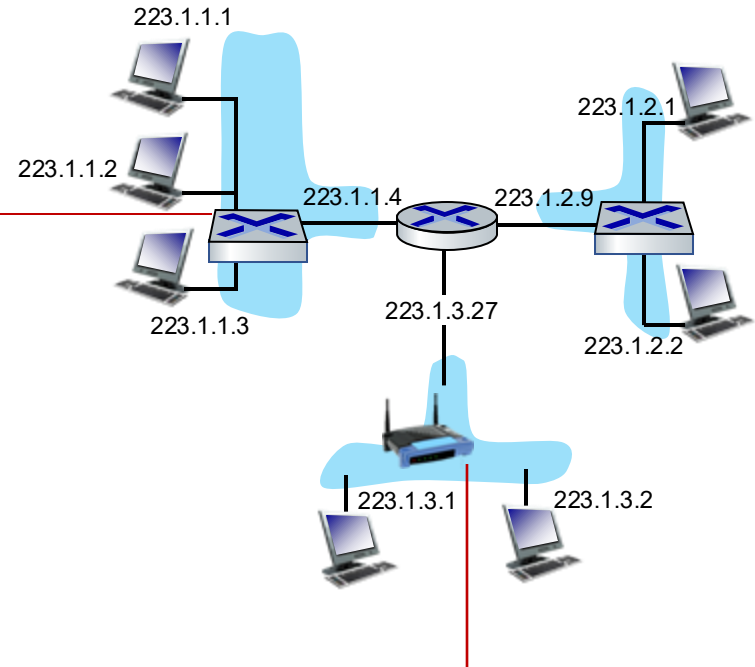
notación *dot-decimal*:

223.1.1.1 = $\underbrace{11011111}_{223} \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1$

Direcccionamiento IP

las interfaces Ethernet
se conectan vía **switches**

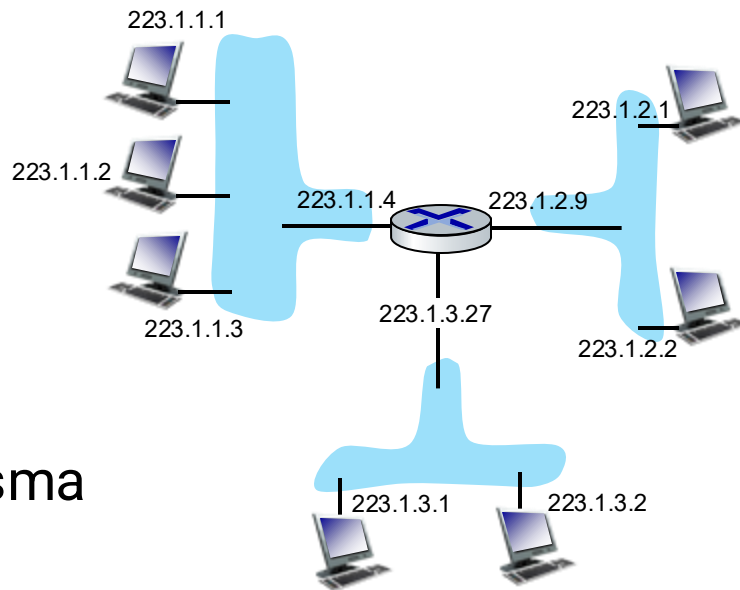
Por el momento no nos
vamos a detener en cómo se
interconectan las interfaces



las interfaces WiFi se
conectan vía estaciones
base (**access points**)

Subnets

- Sub-red (**subnet**)
 - Conjunto de interfaces que pueden comunicarse entre sí sin atravesar un router
- Estructura en direcciones IP
 - **Subnet**: los dispositivos en la misma *subnet* comparten los bits más significativos de la dirección IP
 - **Host**: los bits menos significativos remanentes

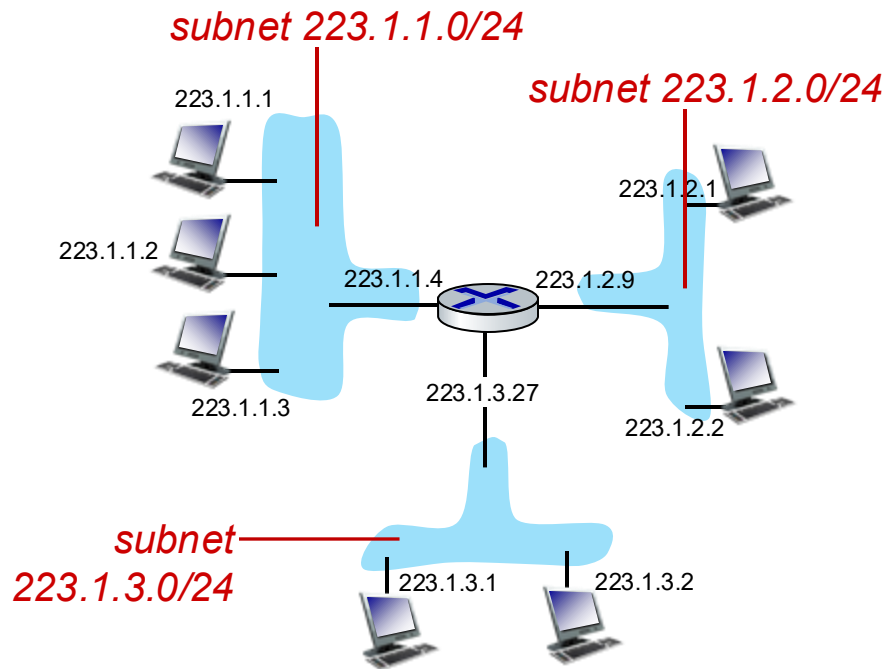


red con 3 *subnets* distintas

Subnets

Definición de subnets

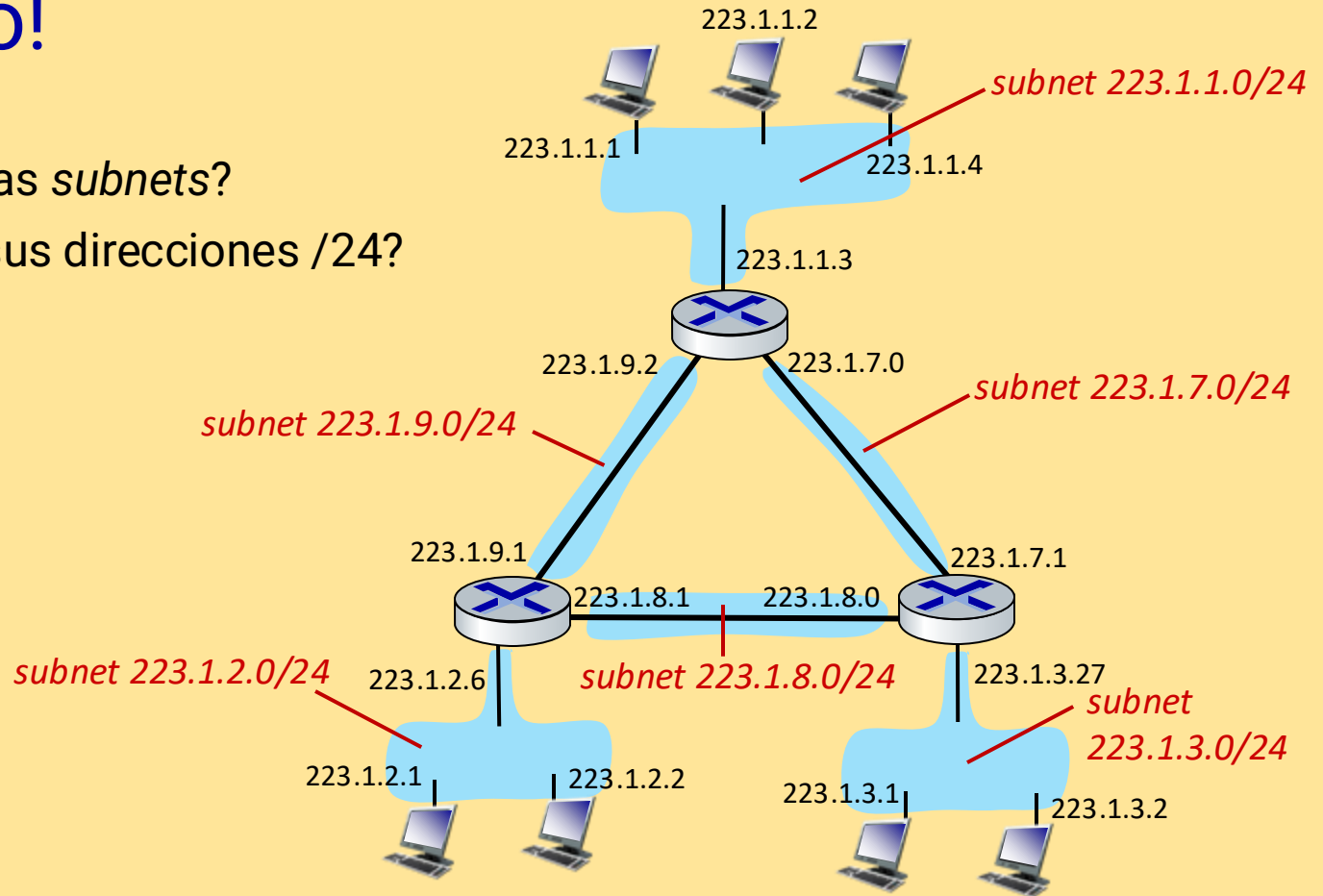
- Si “desconectamos” cada interfaz de su host/router, obtenemos “islas” de redes aisladas unas de otras
- Cada una de estas redes es una *subnet*



máscara de red: **/24**
(24 bits más significativos:
porción de *subnet* de la dirección IP)

Ejercicio!

- ¿Cuáles son las *subnets*?
- ¿Cuáles son sus direcciones /24?



Direccionamiento IP: CIDR

CIDR: *Classless Inter Domain Routing* ([RFC 4632](#))

- Generalización del concepto de direccionamiento de *subnets*
- Longitud arbitraria de la porción de *subnet* de la dirección IP
- Formato **a.b.c.d/x**, donde x es el número de bits en la porción de *subnet* de la dirección (*prefijo*)

← subnet → ← host →
11001000 00010111 00010000 00000000

200.23.16.0/23

Ejercicio!

- Indicar cuál es la dirección de red de cada una de la siguientes direcciones:
 - 192.168.0.99/24 **192.168.0.0/24**
 - 192.168.0.99/16 **192.168.0.0/16**
 - 192.168.0.99/26 **192.168.0.64/26**
 - 192.168.0.99/30 **192.168.0.96/30**
- ¿Cuántas interfaces son direccionables en cada una de las subnets anteriores?
254, 65534, 62 y 2 respectivamente

Obtención de direcciones IP

1. ¿Cómo hace un host para obtener una dirección IP dentro de su red?

1. ¿Cómo obtener una dirección IP para una red en Internet?

Obtención de IPs dentro de una red:

- Configuración manual por un administrador en un archivo (e.g., `/etc/network/interfaces` en Ubuntu pre 20.04/Debian)
- **DHCP** (*Dynamic Host Configuration Protocol*)
 - Obtención **dinámica** de dirección IP desde un servidor

DHCP: *Dynamic Host Configuration Protocol*

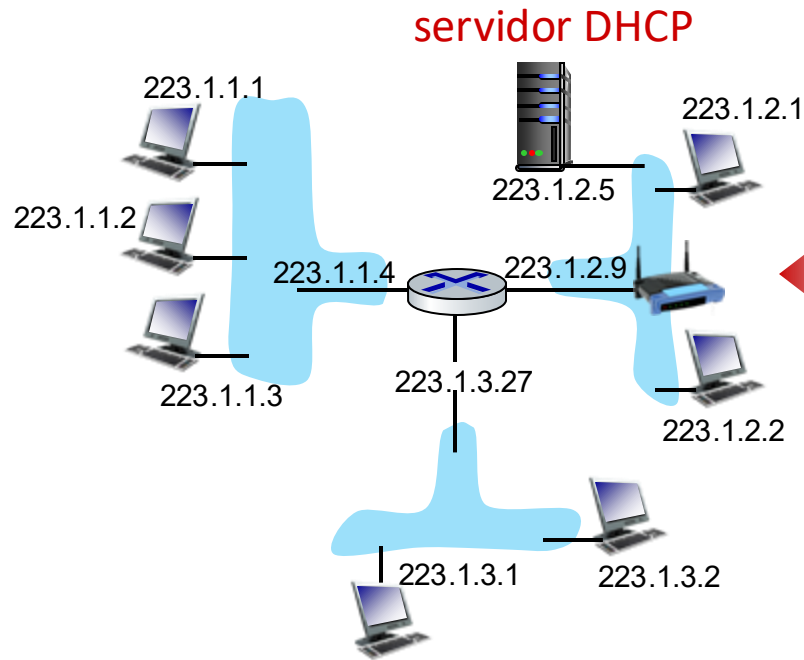
Objetivo: permitir que los hosts consigan direcciones IP dinámicamente al “unirse” a la red

- “Préstamo” de direcciones (renovables)
- Direcciones reutilizables (sólo tomadas mientras los hosts están conectados)
- Soporte para usuarios móviles que entran y salen de la red

Vista general del protocolo:

- El host hace *broadcast* de un mensaje *DHCP discover*
- El servidor DHCP responde con un *DHCP offer*
- El host solicita una dirección IP con un *DHCP request*
- El servidor DHCP envía la dirección con un *DHCP ACK*

DHCP: *Dynamic Host Configuration Protocol*

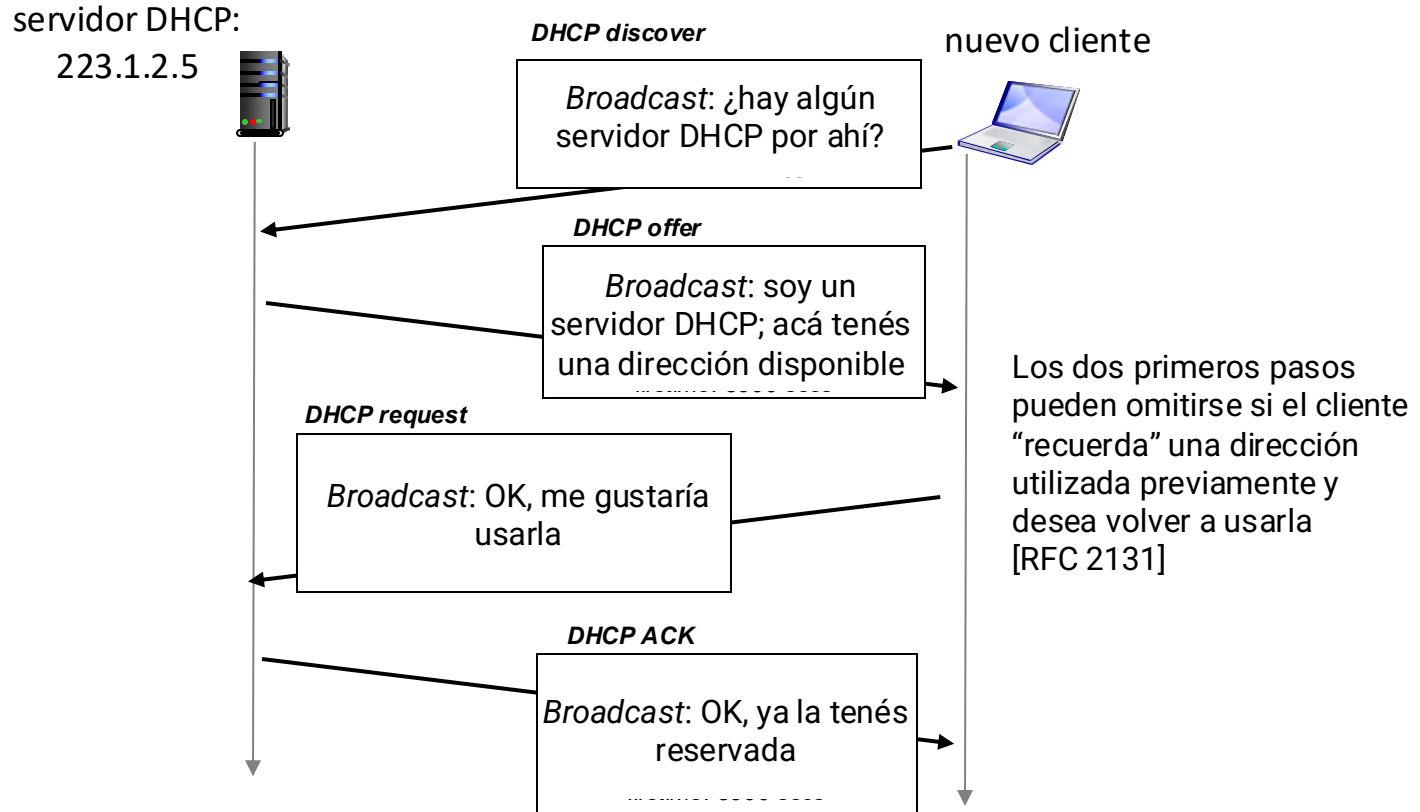


Por lo general, el servidor DHCP está embebido en el router, sirviendo a todas las *subnets* a las cuales se conecta el router



Al llegar un nuevo cliente, inicia el intercambio de mensajes para obtener una dirección IP en la red

DHCP: *Dynamic Host Configuration Protocol*

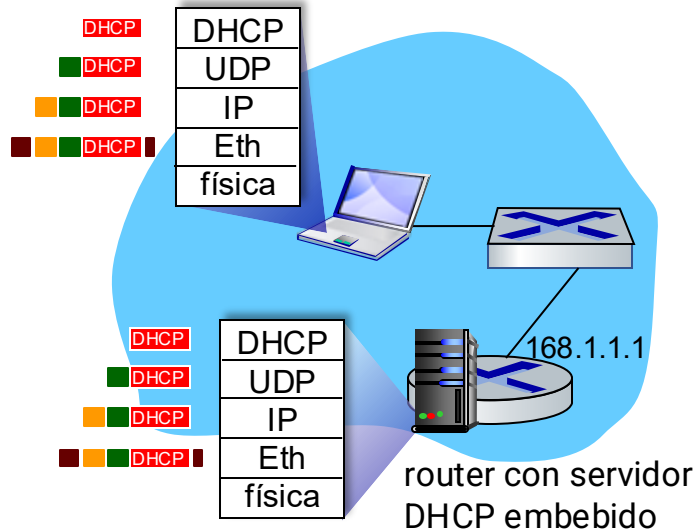


DHCP: *Dynamic Host Configuration Protocol*

DHCP también permite que los hosts reciban, además de la dirección IP,

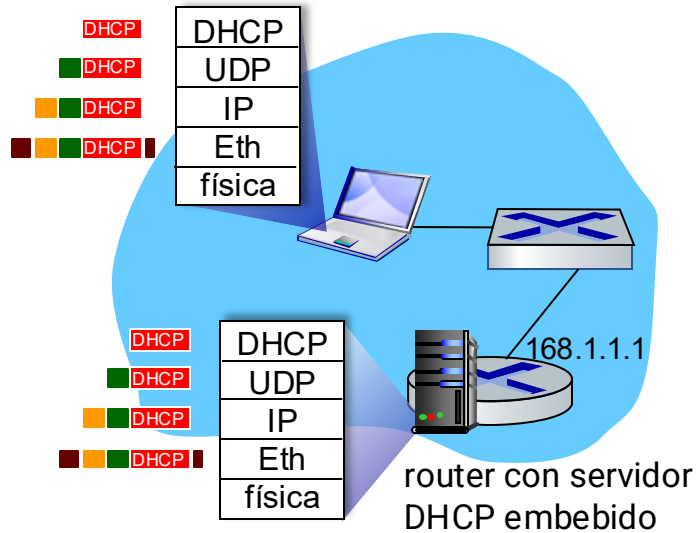
- La dirección del router *first-hop* (el *default gateway*)
- El nombre y la IP del servidor DNS local
- La máscara de red (indicando la porción de *subnet* en la dirección)

DHCP: encapsulamiento y demultiplexación



- La notebook usa DHCP para obtener una dirección IP, el default gateway y el servidor DNS
- El mensaje *DHCP Request* se encapsula en UDP; éste se encapsula en IP y este último en Ethernet
- El *frame* Ethernet se transmite a la LAN en *broadcast* (dirección física `FF:FF:FF:FF:FF:FF`) y es recibido por el router con el servidor DHCP
- En el router, Ethernet demultiplexa a IP, que a su vez demultiplexa a UDP, que a su vez demultiplexa a DHCP

DHCP: encapsulamiento y demultiplexación



- El servidor DHCP genera un mensaje DHCP ACK con la dirección IP asignada, la dirección del default gateway y la dirección del servidor DNS
- La respuesta DHCP, apropiadamente encapsulada, viaja hacia el cliente donde es demultiplexada
- El cliente recibe los datos solicitados y ya está en condiciones de comunicarse con hosts remotos

Demo!

- Utilizar **dhclient** (Linux) para renovar la dirección IP que tenemos asignada
- Inspeccionar el intercambio de paquetes en **Wireshark**:
 - ¿Cuál es la dirección IP del servidor DHCP?
 - ¿Qué dirección nos asignó?
 - ¿Cuánto tiempo dura el préstamo?
 - ¿Cuál/es servidor/es local/es DNS nos envió?