Redes de datos

Capa de red

Tecnólogo en Telecomunicaciones

Centro Universitario Regional del Este – Sede Rocha

Facultad de Ingeniería

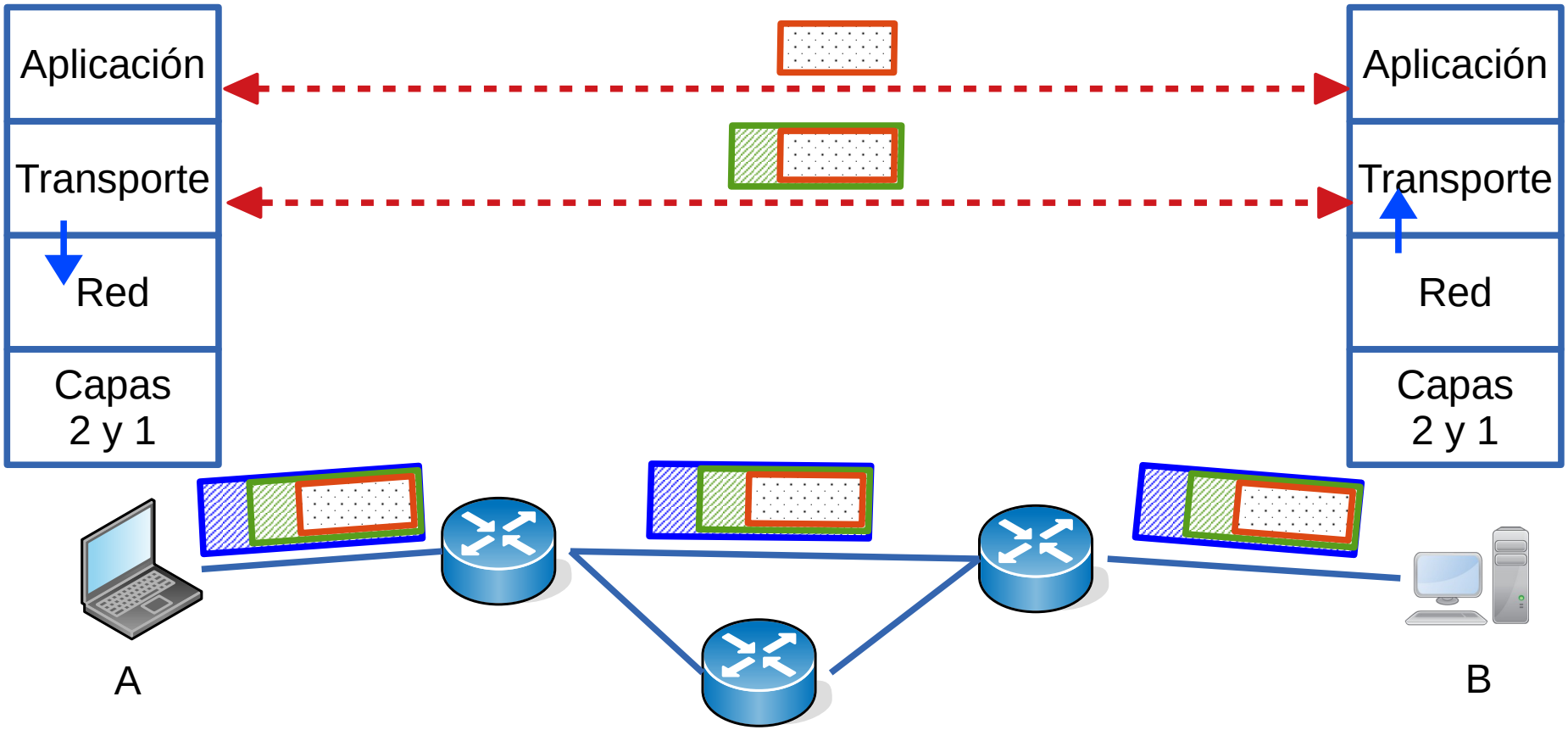
Universidad de la República

Agenda

- Conceptos de capa de red
  - Objetivos de la capa de red
  - Plano de control y plano de datos
  - Arquitectura tradicional y definida por sofware (SDN)
  - ¿Cómo es y qué hace un enrutador o router?
- Plano de datos
- Plano de control
- Redes de circuitos virtuales
- Seguridad: Firewalls

Relación con capa de transporte

- Las entidades de capa de transporte ven un intercambio directo entre los dispositivos en los extremos de la red (A y B)
- Pero … los segmentos se envían usando los servicios de la capa de red
- La capa de red tiene que encontrar un camino en base a los recursos disponibles en la red (enlaces y nodos) y encaminar los paquetes al destino

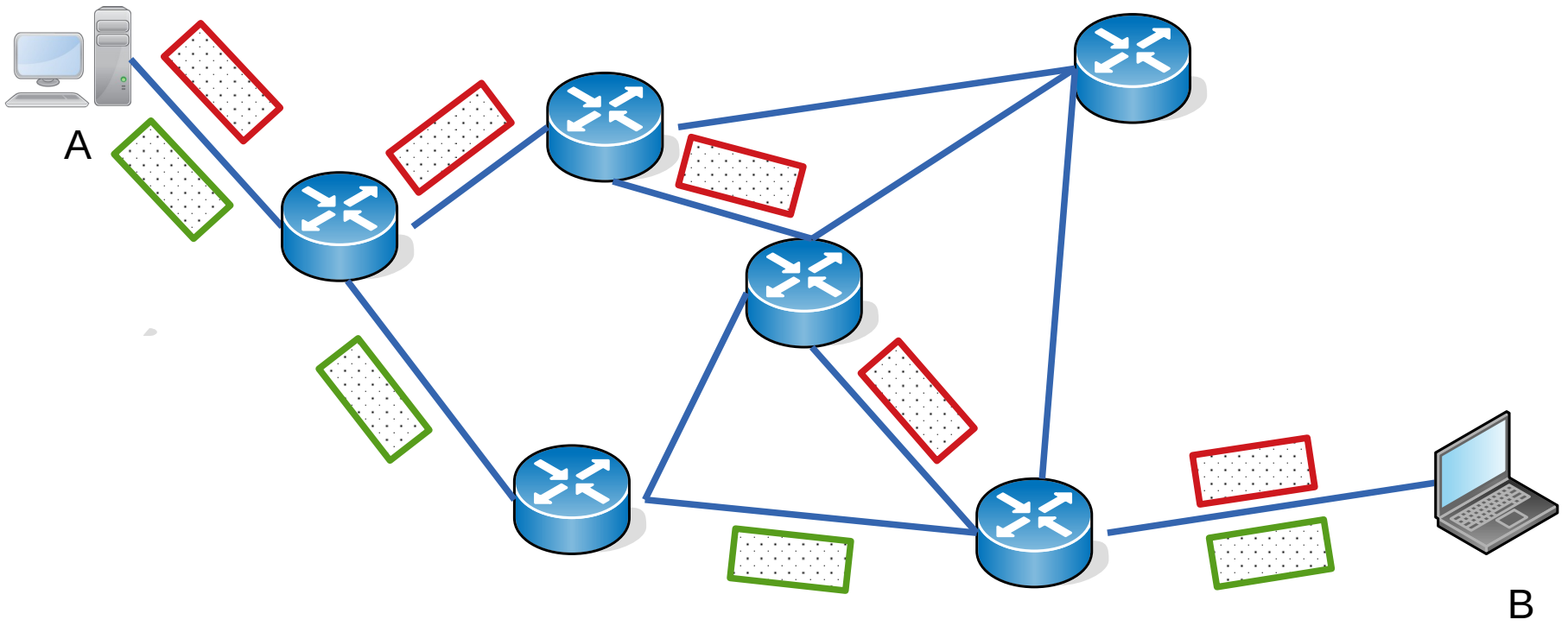


Capa de Red

- Objetivo principal:
  - Hacer llegar los paquetes desde A hasta B
- Se necesita identificar y localizar a los equipos en la red: direcciones
- Se identifican dos planos:
  - Plano de Control:
    - Determina los (mejores) caminos a seguir por los paquetes
    - Función de ruteo (routing)
  - Plano de Datos:
    - Implementa el encaminamiento en cada enrutador
    - Función de encaminamiento (forwarding)

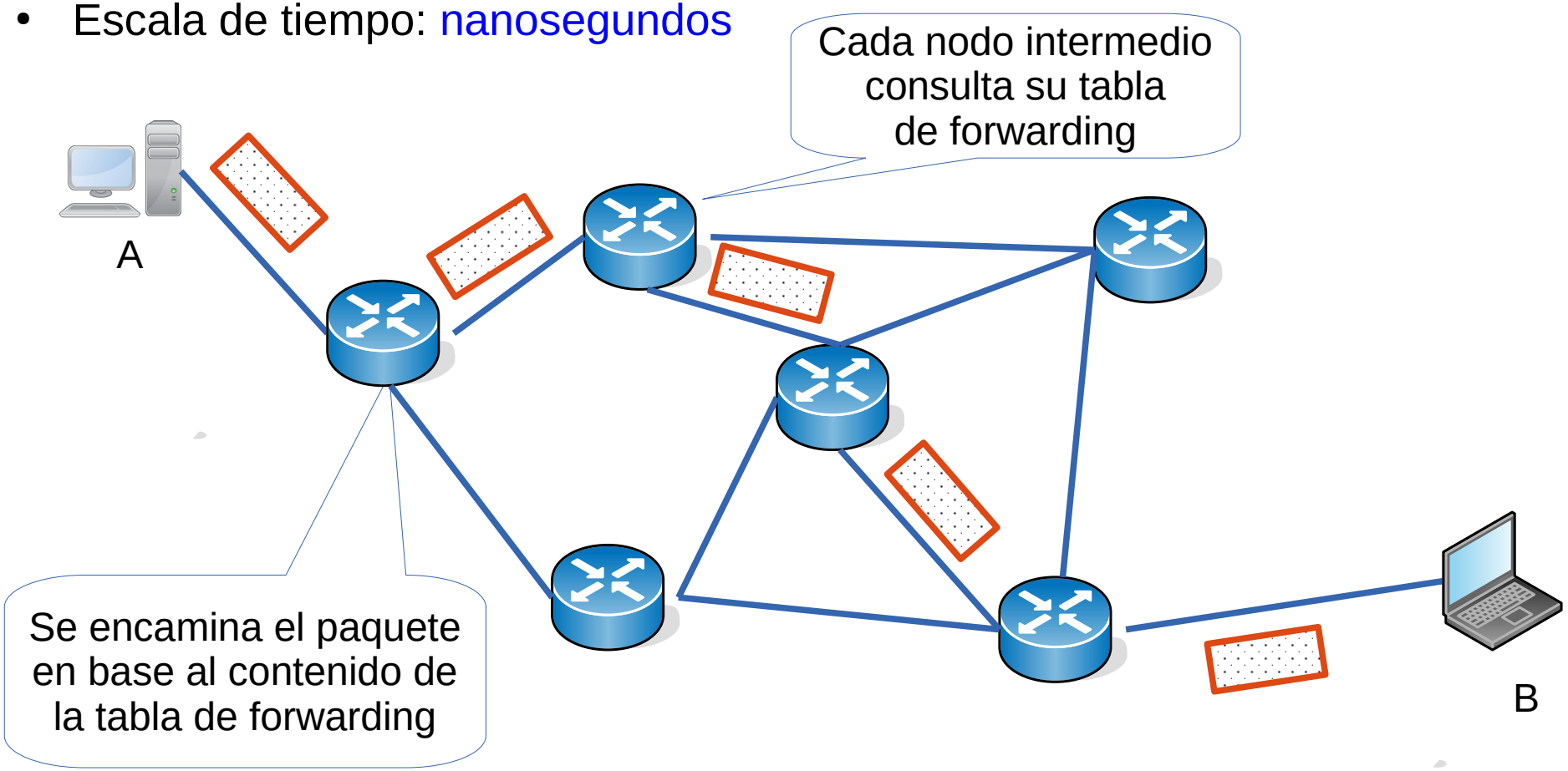
Plano de Control: ruteo (routing)

- Encontrar el mejor camino para ir de A a B
- El ruteo (routing) comprende las decisiones de nivel global que determinan los caminos que deben seguir los paquetes desde un origen hacia un destino
- Se usan algoritmos de ruteo para determinar los mejores caminos
- Escala de tiempo: segundos



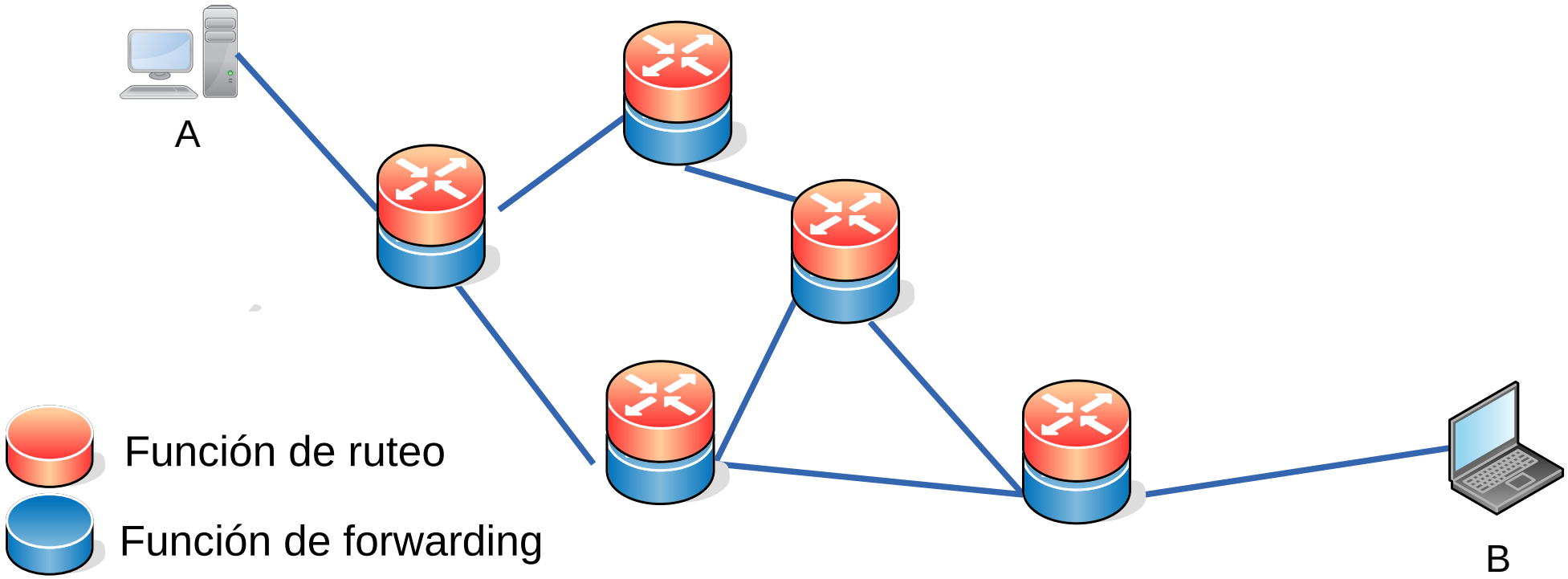
Plano de datos: encaminamiento (forwarding)

- Comprende las decisiones locales de cada enrutador o nodo
- Cada nodo recibe un paquete por una de sus líneas de entrada o interfaces, decide en base a una tabla cuál es la línea de salida más adecuada para ese destino y encamina el paquete hacia allí
- Esas tablas se llaman tablas de forwarding
- Escala de tiempo: nanosegundos



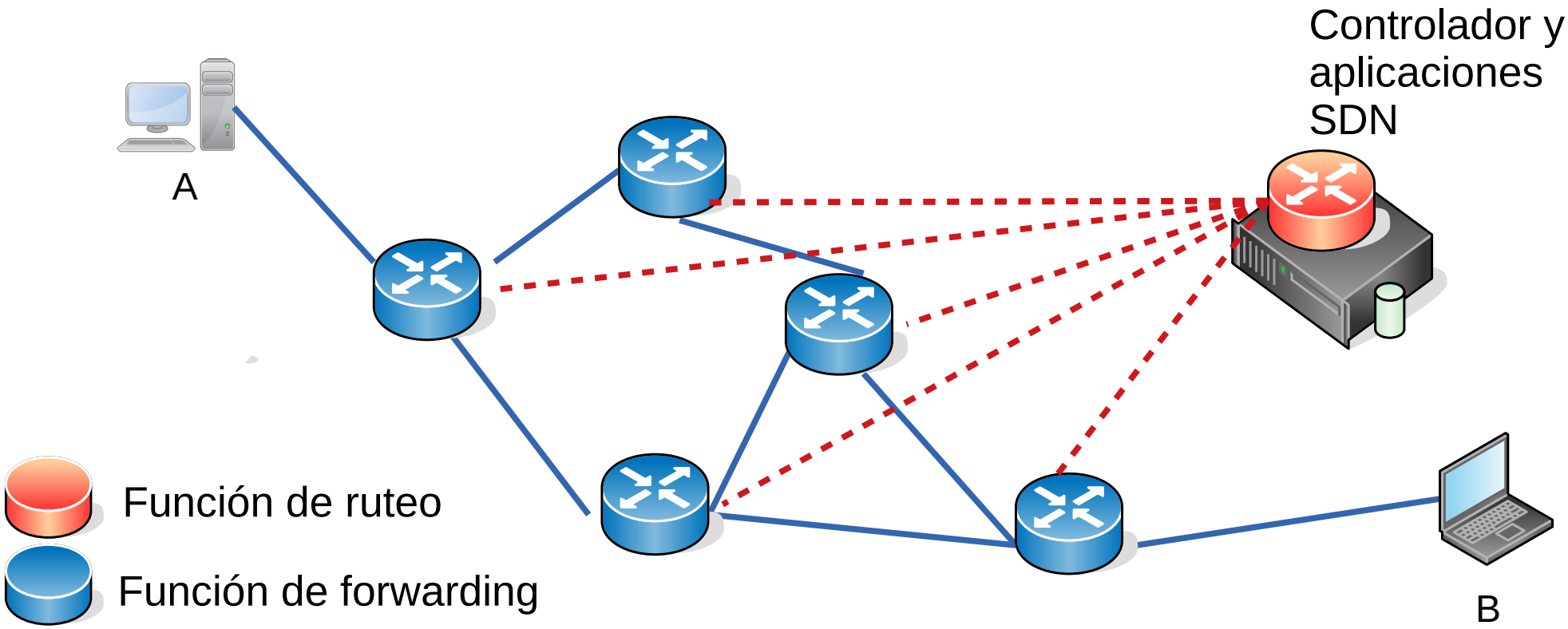
Relación entre ruteo y forwarding

- Las decisiones de ruteo (elección del camino), determinan el contenido de las tablas de forwarding de los equipos involucrados en el camino
- En la arquitectura tradicional los nodos implementan ambas funciones
  - Intercambian información entre ellos mediante protocolos de ruteo
  - Aplican algoritmos de ruteo para decidir los caminos



Relación entre ruteo y forwarding

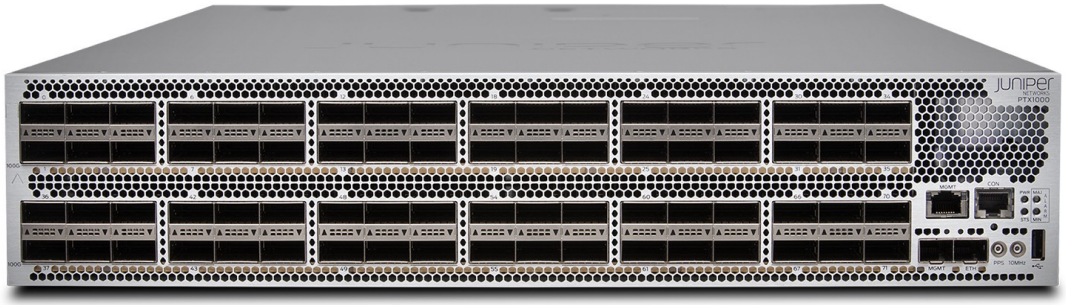
- La arquitectura SDN (Sofware Defined Networking) plantea la separación del plano de control y de datos en diferentes equipos
- Plano de Control: equipo de propósito general con un controlador SDN y aplicaciones (software) que implementan las decisiones (función de ruteo en particular) y distribuye las tablas de forwarding a los conmutadores
- Plano de Datos: conmutadores especializados en el forwarding de paquetes a alta velocidad



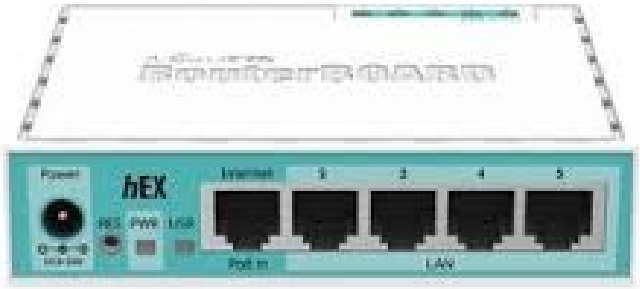
Arquitectura tradicional vs SDN

- La arquitectura actual de las redes presenta debilidades frente a la proliferación de nuevos servicios y la necesidad de agilidad en sus despliegues
  - Es estática y compleja
  - Dificultad para escalar
  - Dependencia de los fabricantes de equipos
- La arquitectura SDN permite:
  - Que el plano de datos se implemente con dispositivos optimizados para el forwarding a altas velocidades
  - Implementar cambios en el plano de control de forma más ágil (sofware)
    - nuevos protocolos, nuevas funcionalidades
  - El controlador SDN se entiende como un sistema operativo de red sobre el que se pueden desarrollar aplicaciones específicas:
    - Algoritmos de ruteo
    - Firewalls
    - etc

¿Como se ve un router por fuera?

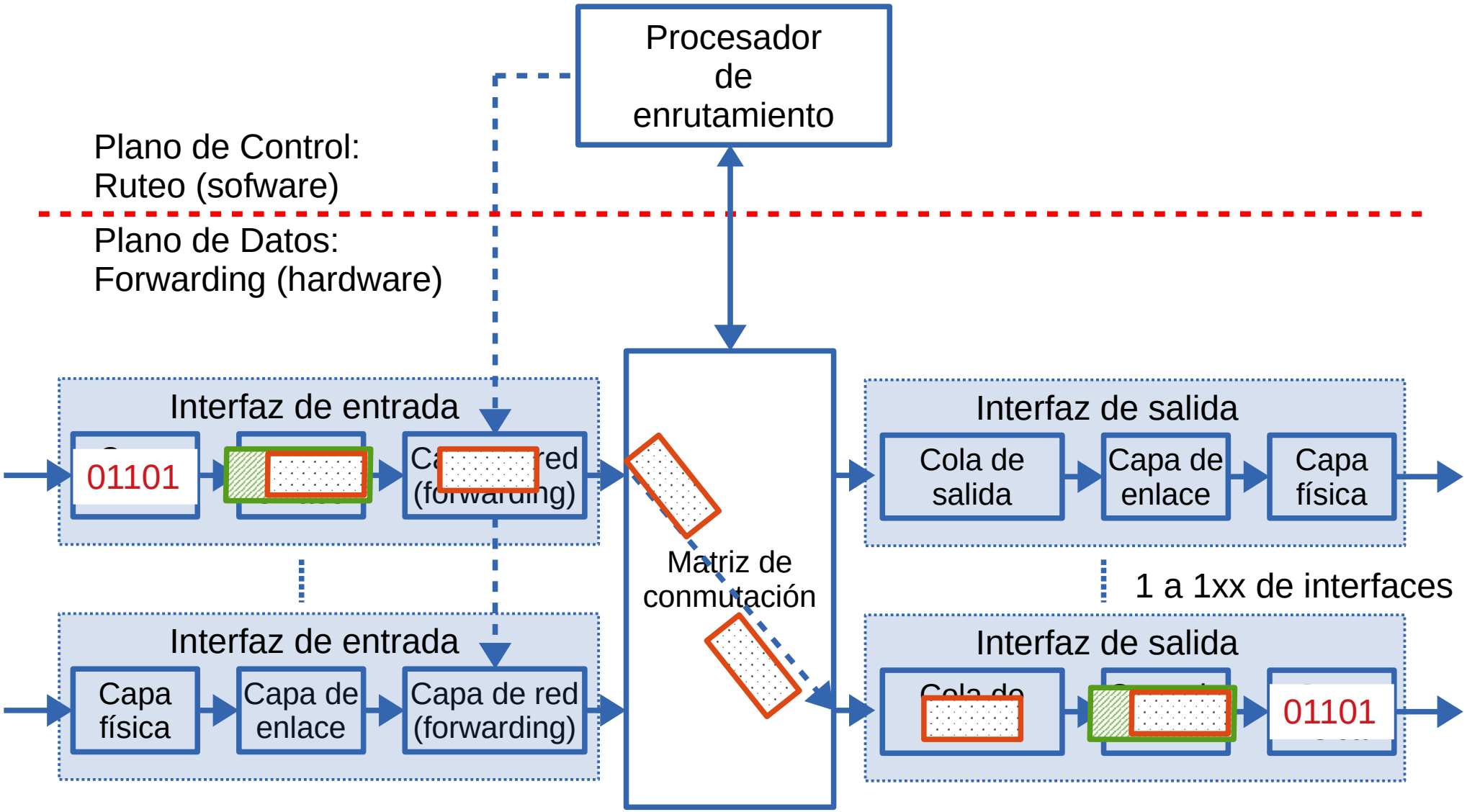


¿Como se ve un router por fuera?



¿Cómo funciona un enrutador?

- Vista de alto nivel de un enrutador o router genérico



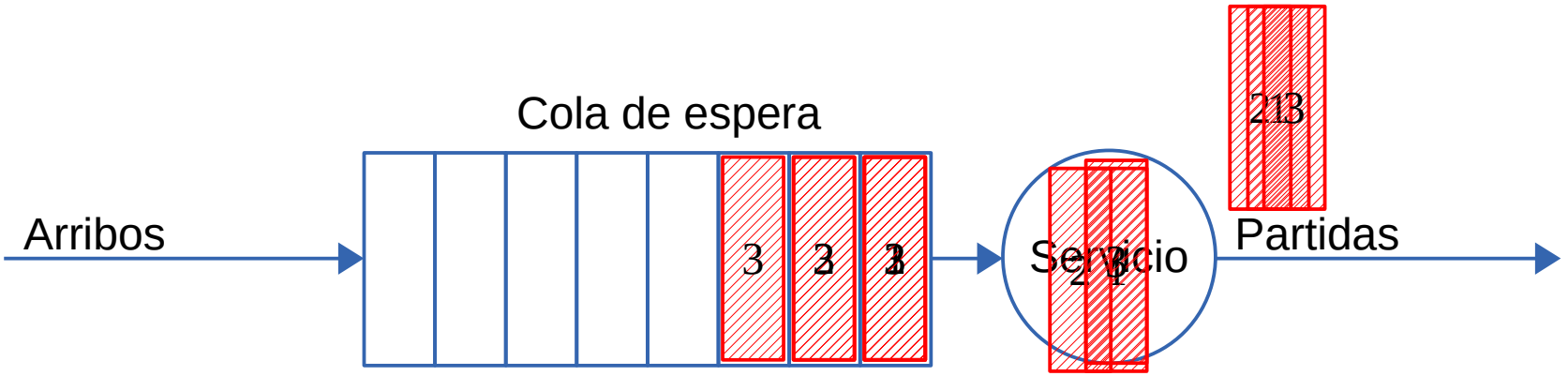
Arquitectura genérica de un enrutador

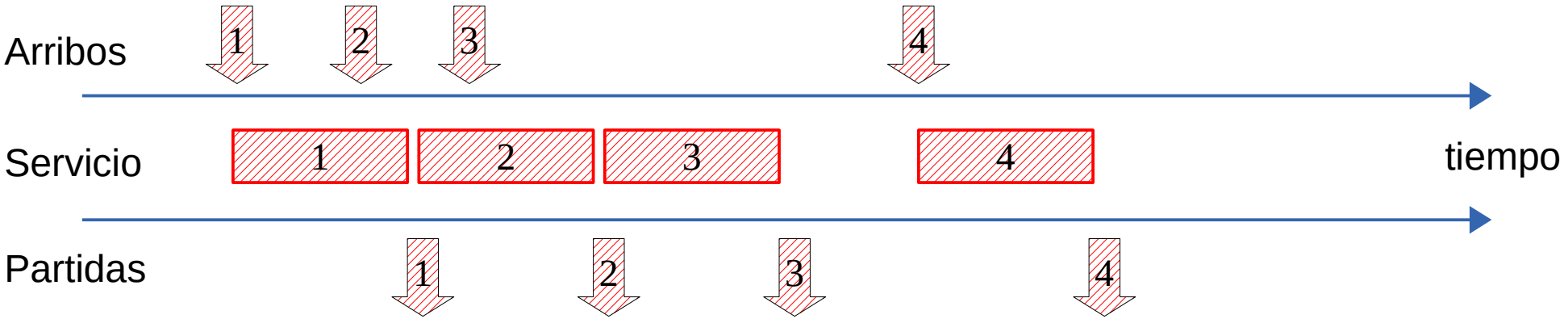
- Interfaces de entrada (puertas o puertos de entrada)
  - Funciones de capa física y de capa de enlace de datos
  - Consulta a la tabla de forwarding para determinar a qué interfaz de salida debe encaminarse el paquete usando la matriz de conmutación
  - Encolamiento si la matriz de conmutación no es suficientemente rápida
- Matriz de conmutación (switching fabric)
  - Conecta las interfaces de entrada con las de salida
    - Via memoria (compartida), via bus o por matriz de conexiones
- Interfaces de salida
  - Encolamiento de paquetes para ser enviados por una interfaz
  - Funciones de capa física y de capa de enlace de datos
  - Si las interfaces son bidireccionales, estará en la misma placa que la interfaz de entrada correspondiente al mismo enlace
- Procesador de enrutamiento (routing processor)
  - En la arquitectura tradicional implementa los protocolos y algoritmos de ruteo y calcula las tablas de forwarding en el mismo enrutador
  - En la arquitectura SDN se encarga de la comunicación con el controlador

Despacho de paquetes

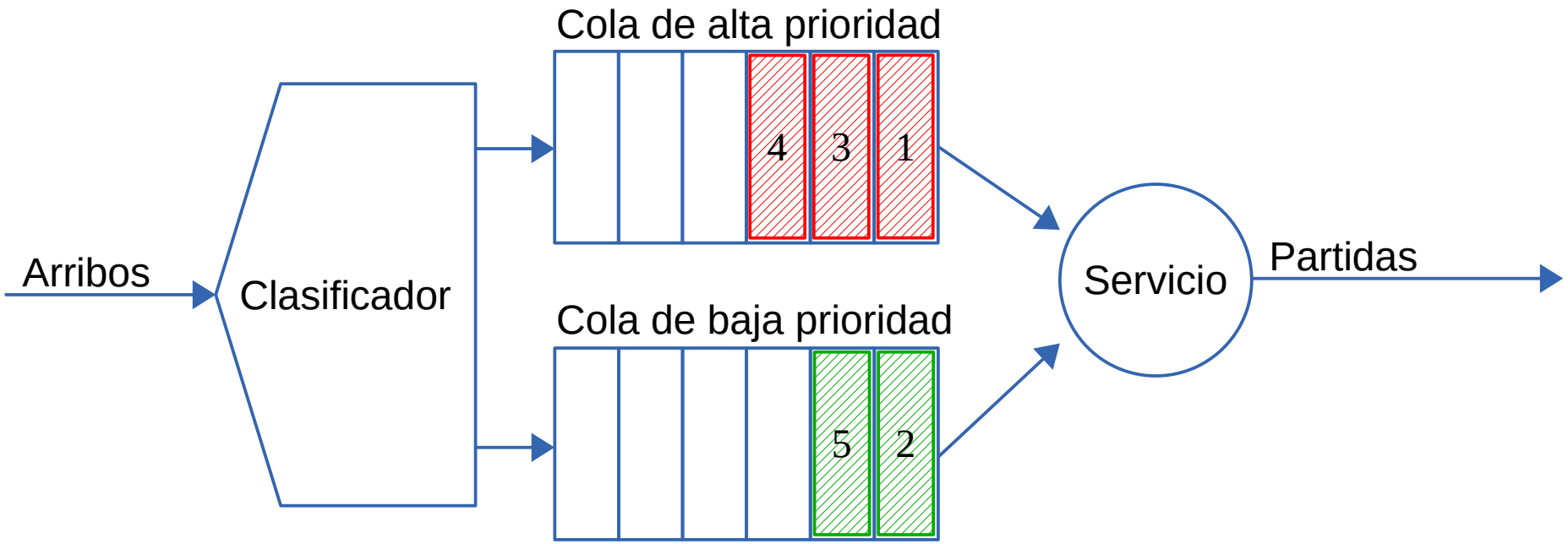
- Los paquetes en cola para salir por una interfaz pueden ser tratados con diferentes políticas:
  - El primero que llega es el primero que se atiende:
    - FIFO (first-In-first-out) o FCFS (first-come-first-served)
  - Encolamiento con prioridades
    - Priority queuing
  - Encolamiento equitativo ponderado
    - Procesamiento de todas las colas en “round robin” pero con pesos
    - Weighted fair queuing (WFQ)

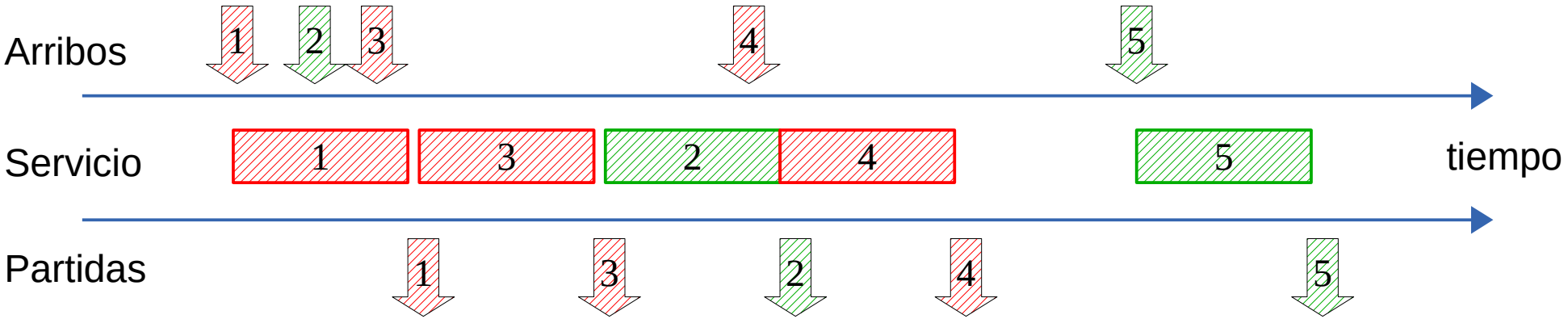
Despacho de paquetes: FIFO



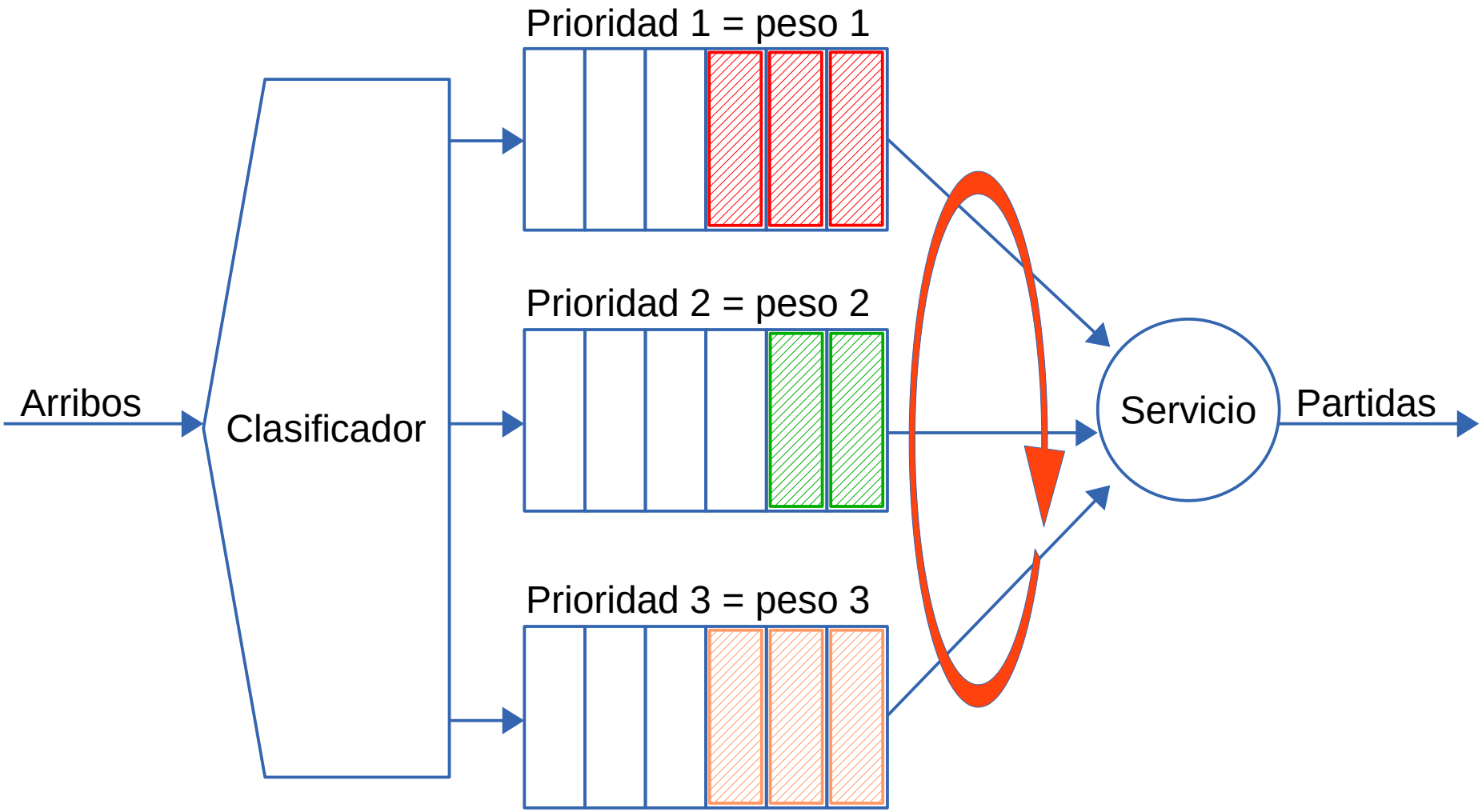


Despacho de paquetes: Encolamiento con prioridades





Despacho de paquetes: WFQ



Capa de red
Plano de datos

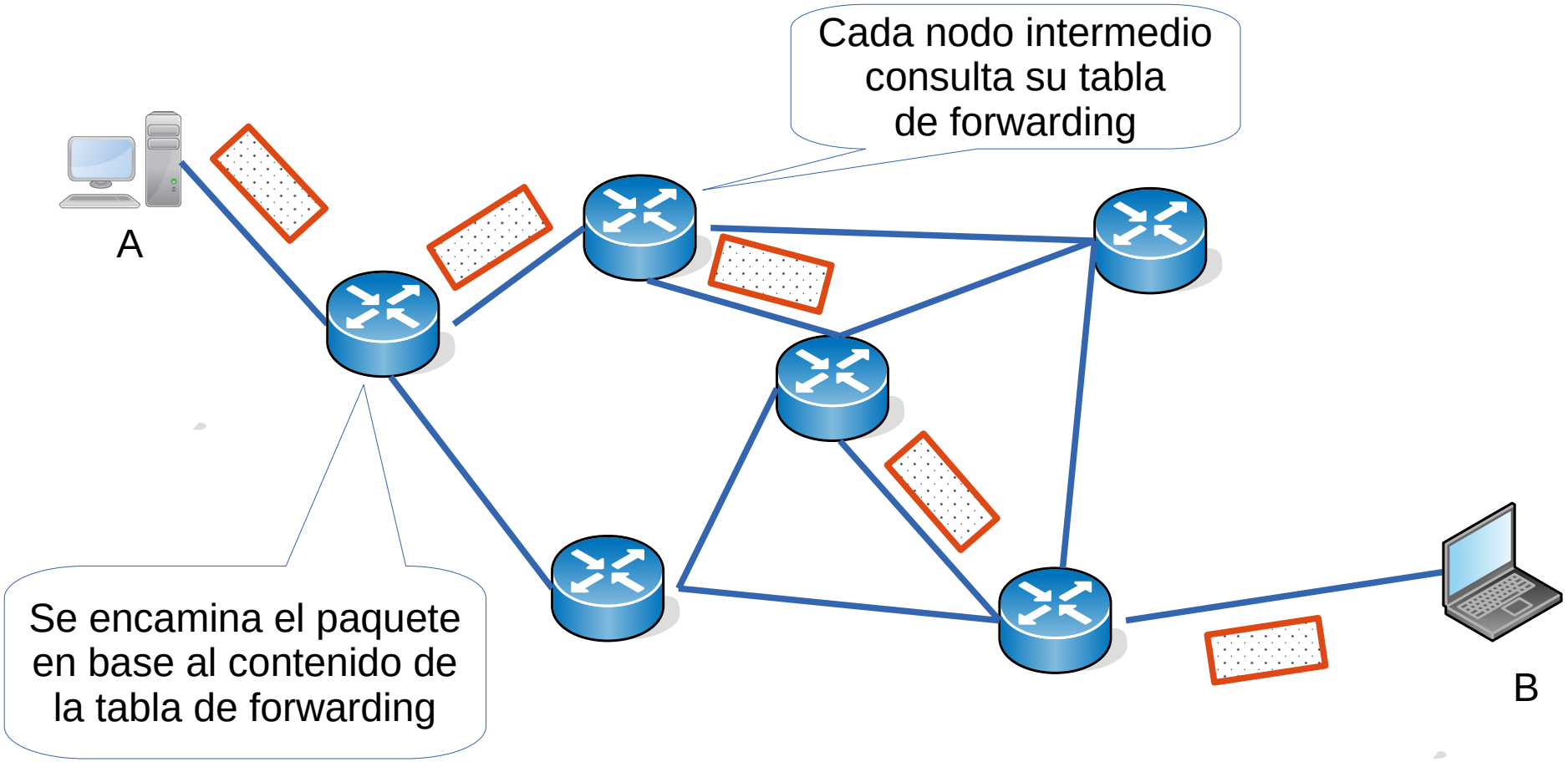
Facultad de Ingeniería – Universidad de la República

Agenda

- Conceptos de capa de red
- Plano de datos
  - Encaminamiento generalizado y encaminamiento clásico
  - Capa de red en Internet
  - Paquete IP versión 4
  - Direcciones IPv4
  - Rangos de direcciones
  - Tablas de forwarding
  - Búsqueda en las tablas de forwarding
  - Asignación de direcciones
  - Escasez de direcciones: NAT
  - IP versión 6
- Plano de control
- Redes de circuitos virtuales
- Seguridad: Firewalls

Plano de datos

- Plano de Datos: Función de encaminamiento (forwarding)
- Cada nodo recibe un paquete por una de sus líneas de entrada o interfaces, decide en base a una tabla cuál es la línea de salida más adecuada para ese destino y encamina el paquete hacia allí
- Esas tablas se llaman tablas de forwarding



Encaminamiento generalizado

- La consulta a la tabla de forwarding de forma general consiste en:
  1) Buscar coincidencias (match) entre algún(os) campos del encabezado del paquete a encaminar y los campos indicados en las entradas de la tabla
     - Por ejemplo: campos del encabezado de capa 3, pero también de capa 4 y capa 2
  2) Si se encuentra una coincidencia, la tabla indicará las acciones (action) que hay que tomar
     - Por ejemplo: Encaminar el paquete por una salida, modificar campos de los encabezados (de varias capas), descartar el paquete, etc
- Este encaminamiento generalizado es esencial en la arquitectura SDN
- En Internet actualmente se usa un caso particular que es el encaminamiento en base a la dirección de destino del paquete

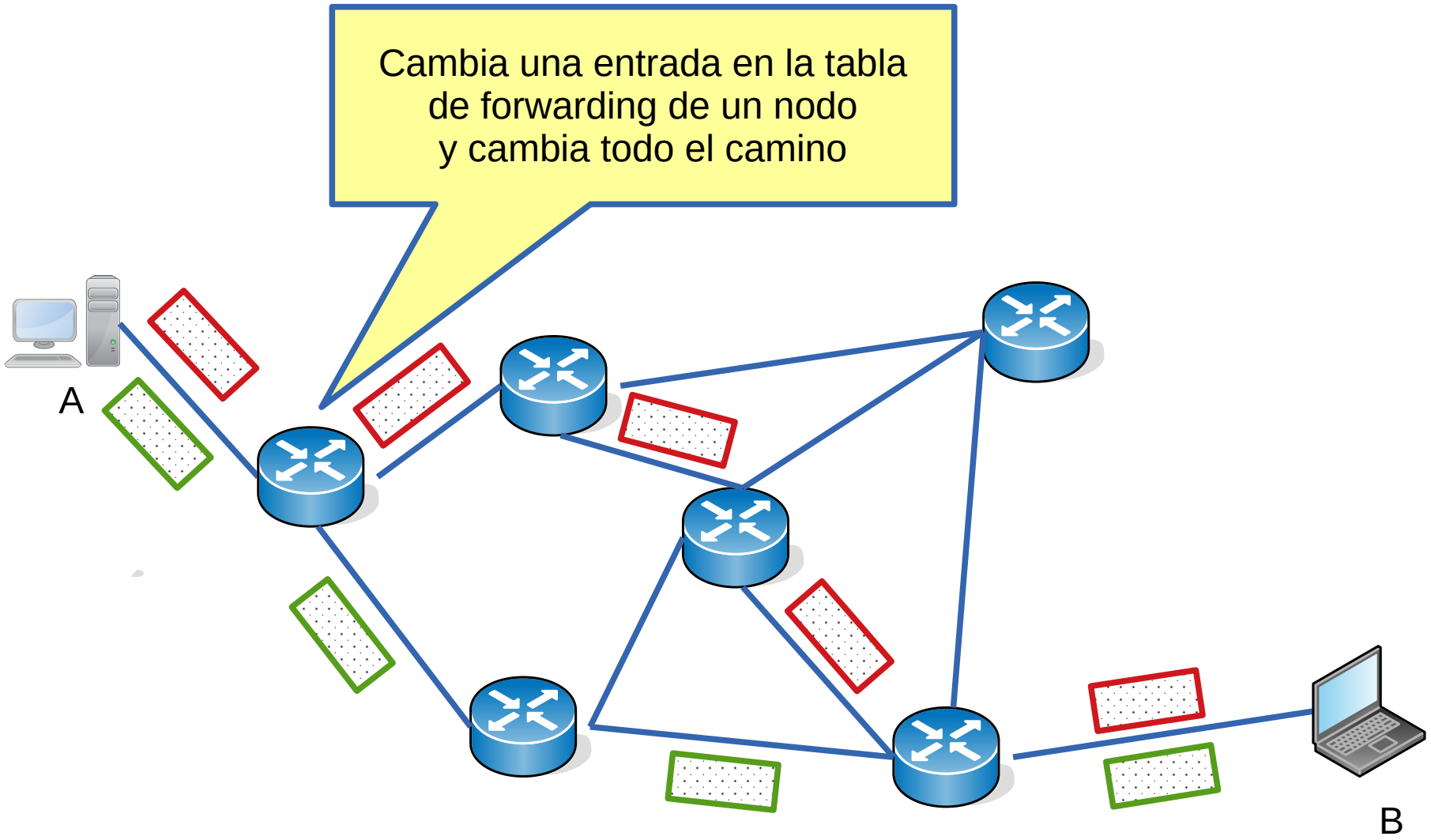
Encaminamiento clásico

- El encaminamiento clásico es en base a la dirección destino del paquete
- La dirección de destino del paquete se busca en la tabla de forwarding y de esa tabla se obtiene la interfaz de salida adecuada para esa dirección destino
- Pero se puede realizar teniendo en cuenta además otras características del paquete, como por ejemplo:
  - Dirección de origen
  - Tipo de servicio
  - Prioridad
- Usando otras características se puede por ejemplo:
  - Ofrecer servicios diferenciados a diferentes clientes
    - Diferentes calidades de servicio
  - Gestionar el tráfico para tener un mejor uso de los recursos de la red
    - Ingeniería de tráfico

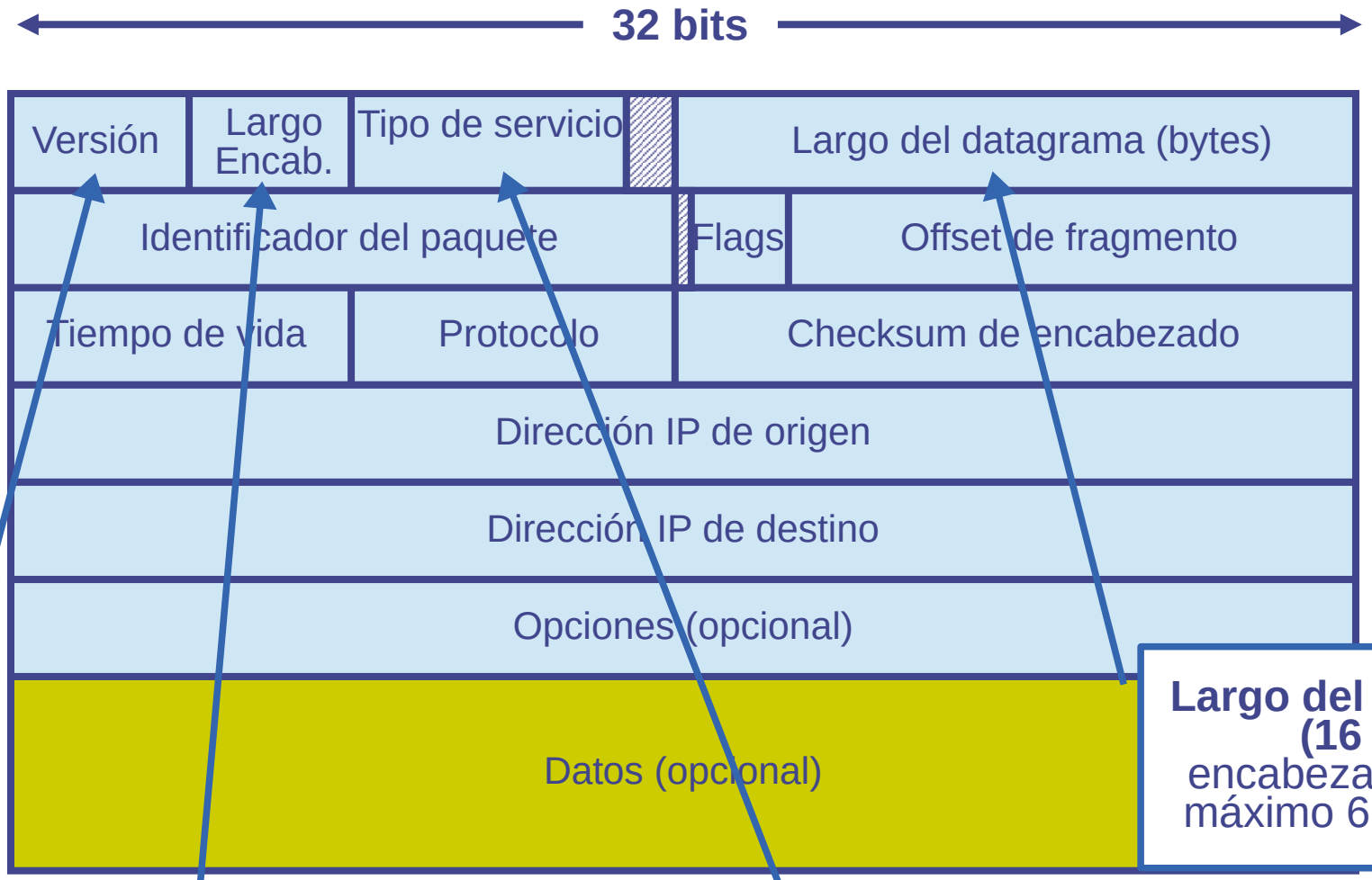
Plano de datos en Internet

- El servicio que brinda la capa de red en Internet es un servicio
  - no orientado a conexión
  - no confiable
- Se define a si mismo como un servicio “best-effort”
- No hay garantía:
  - Ni de entrega de los paquetes a destino
  - Ni del retardo de los paquetes
  - Ni del orden en que llegan los paquetes a destino
- Cada paquete se encamina independientemente de los anteriores
- Los paquetes o datagramas se definen en el Protocolo IP (Internet Protocol)
  - Hay dos versiones de IP en uso:
    - IP versión 4 o IPv4 (especificado en la RFC 791)
    - IP versión 6 o IPv6 (RFC 2460 y RFC 4291) (no se verá en este curso)
    - Se espera que en el futuro IPv6 reemplace a IPv4

Encaminamiento paquete a paquete



Paquete IPv4



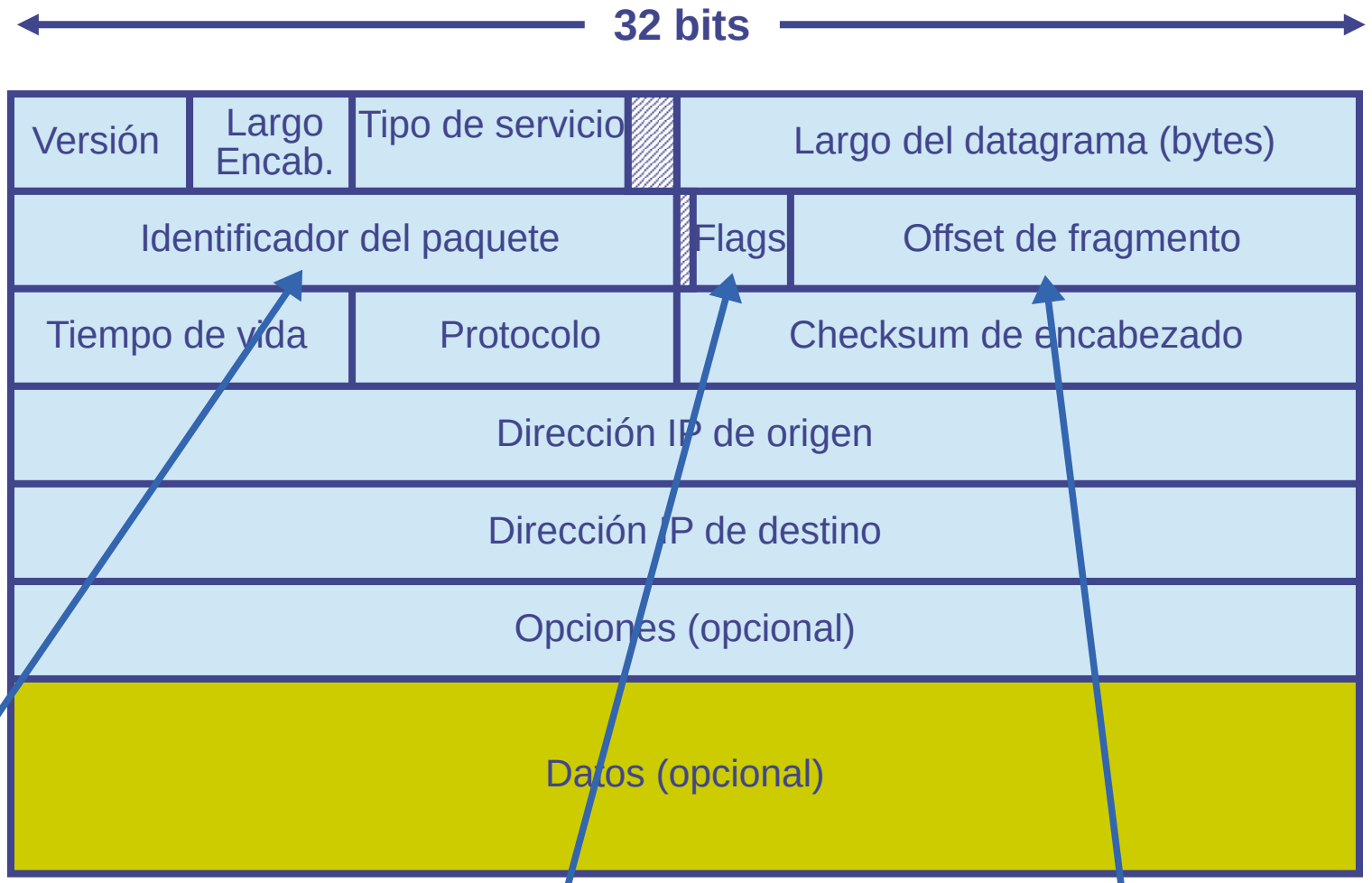
Largo del datagrama (16 bits)
encabezado + datos
máximo 65535 bytes

Versión (4 bits)
IPv4 = 0100

Largo del encabezado (4 bits)
en palabras de 32 bits
Si no hay opciones es = 5

Tipo de servicio (6 bits)
Originalmente 3 bits de precedencia y 3 banderas Delay, Throughput, Reliability
Actualmente se usan para indicar la clase de servicio para ofrecer calidad diferenciada

Paquete IPv4

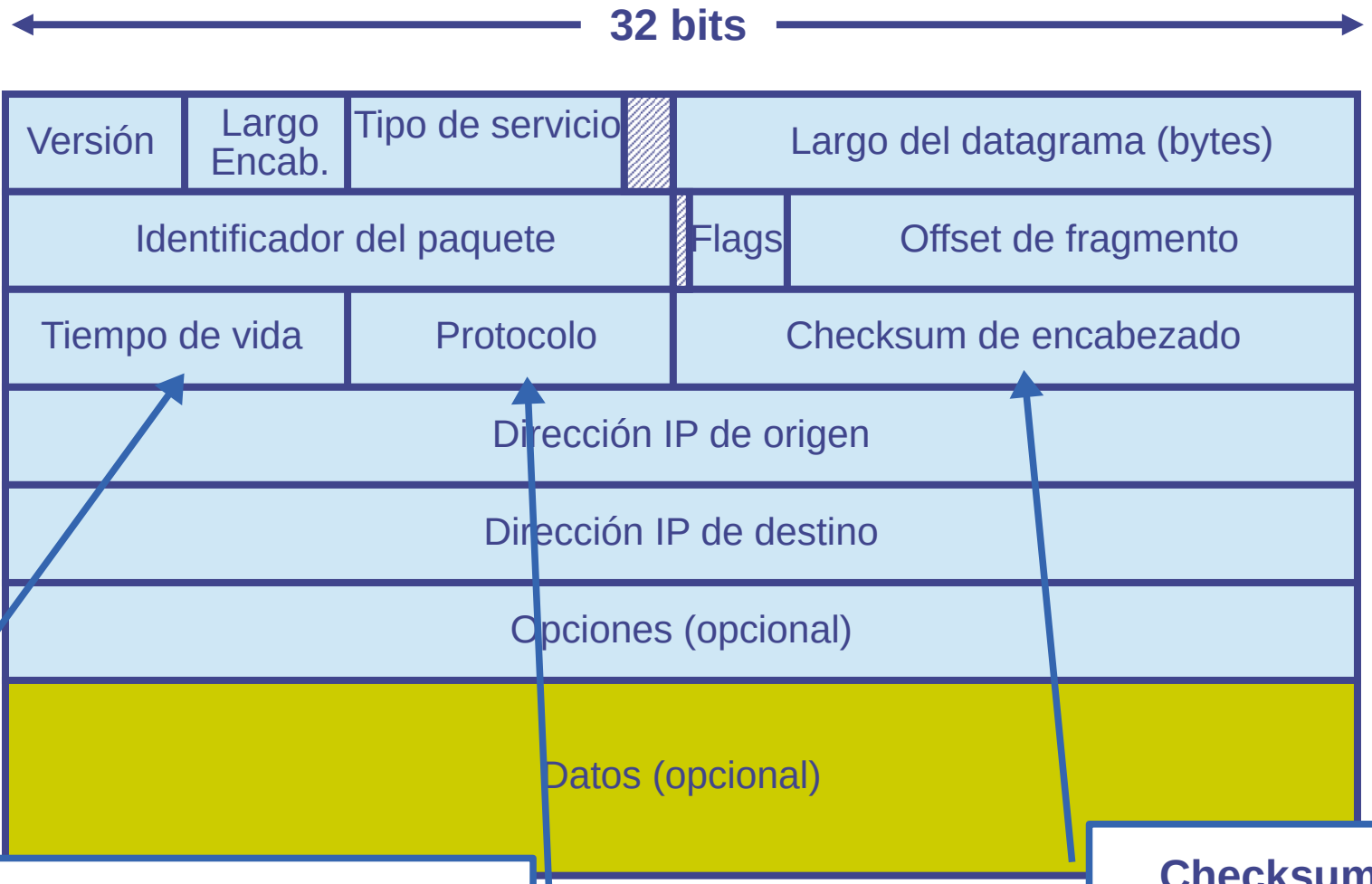


Identificación del paquete (16 bits)
se usa en la fragmentación
todos los fragmentos tienen el mismo identificador

Banderas (2 bits)
DF Don't fragment
MF More fragments

Offset del fragmento (13 bits)
Posición del fragmento en el datagrama original

Paquete IPv4

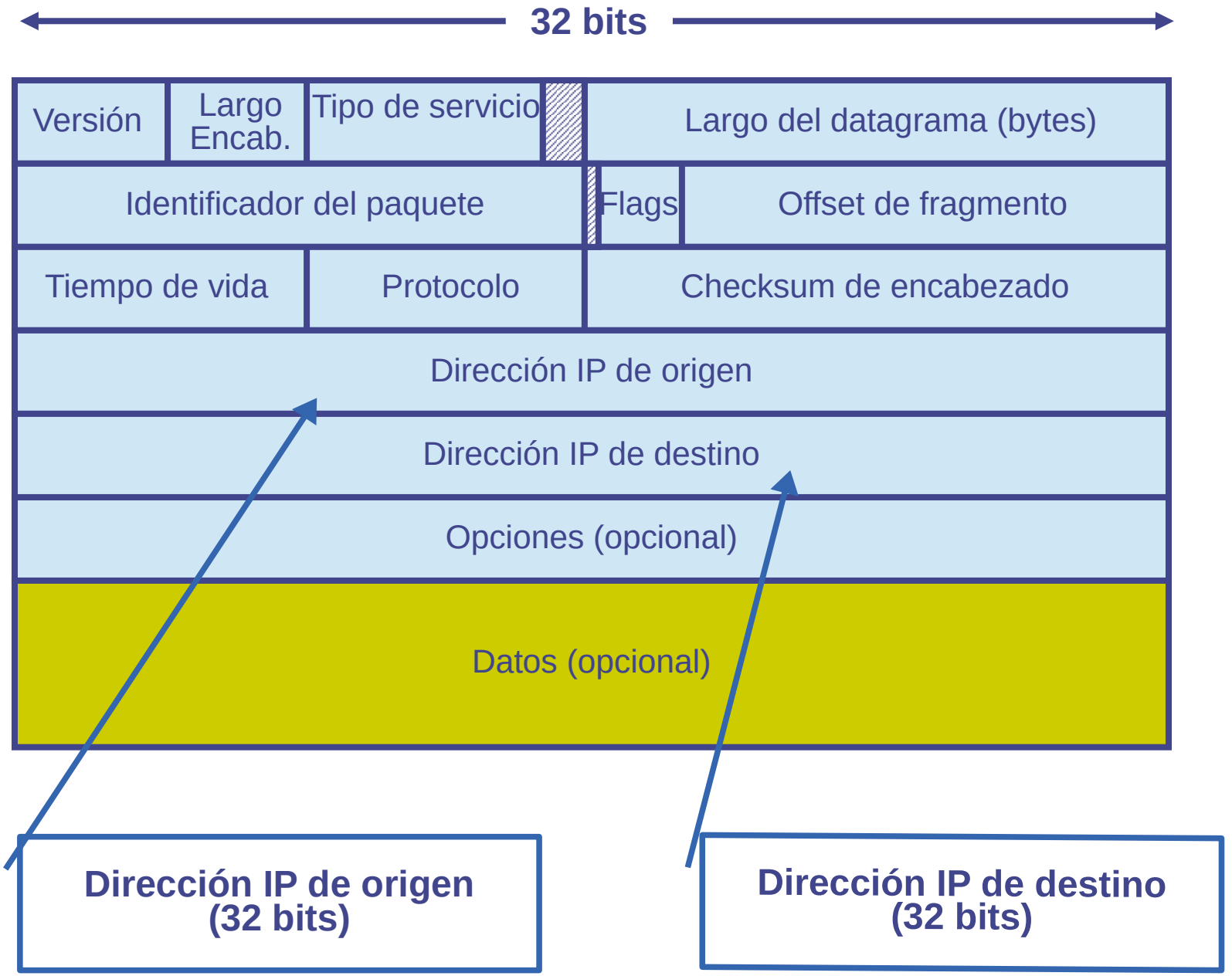


Tiempo de vida (8 bits) (time-to-live o TTL)
Contador de saltos para garantizar un máximo de vida de los paquetes
Cada router lo decrementa y cuando le da 0 lo debe descartar

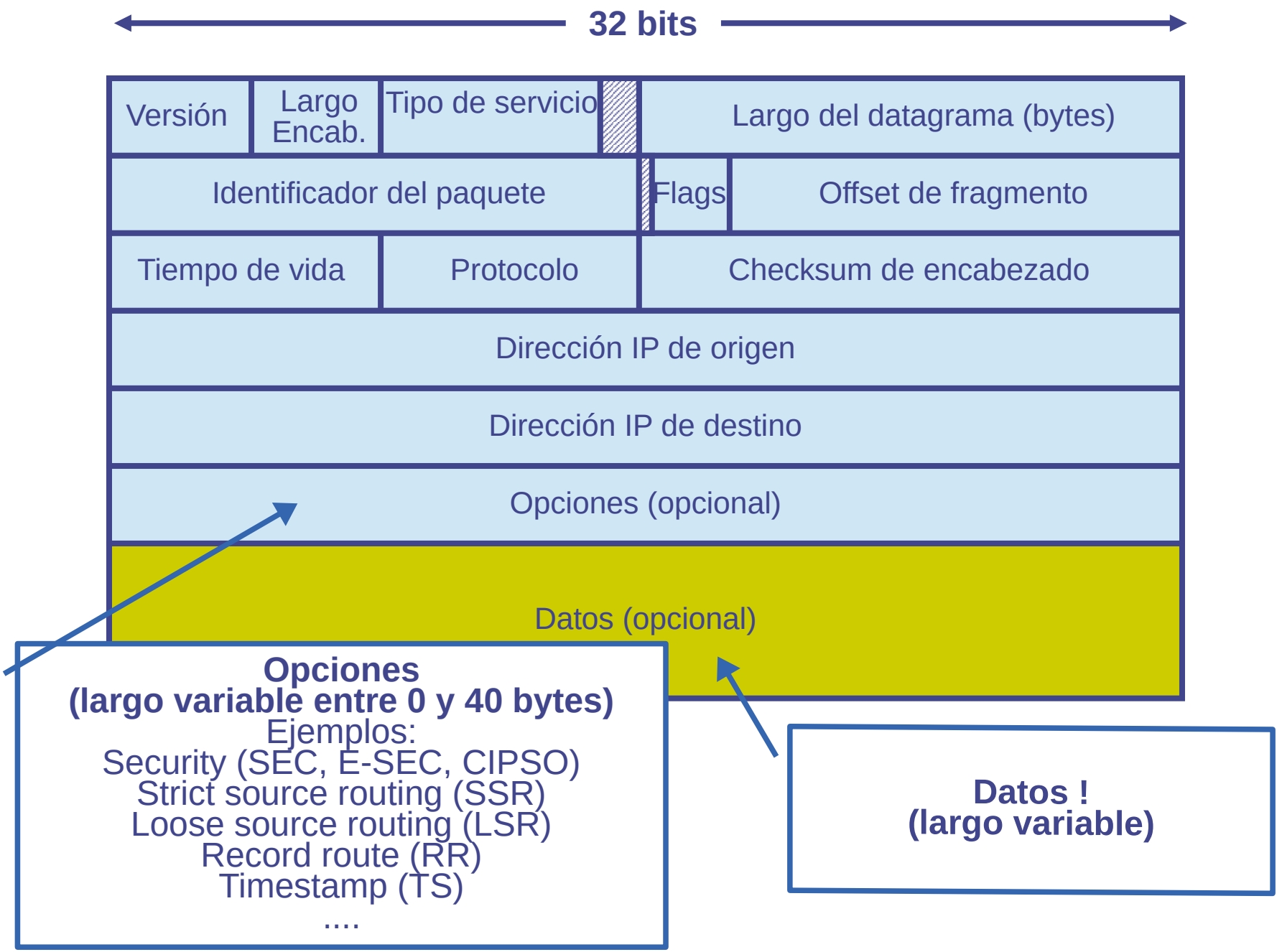
Protocolo de capa 4 (8 bits)
Indica a qué entidad de capa 4 debe entregarse el datagrama en el destino

Checksum (16 bits) Suma de comprobación del encabezado
Suma de palabras de 16 bits en aritmética de complemento a 1 y se toma el complemento a 1 del resultado

Paquete IPv4



Paquete IPv4



Paquete IPv4

- Versión: 4 bits
  - Versión del protocolo IP
  - El enrutador puede mirar esos primeros 4 bits del datagrama y saber cómo tratar el resto del paquete
- Largo del encabezado: 4 bits
  - Tamaño del encabezado expresado en palabras de 32 bits
  - Es necesario porque el encabezado tiene tamaño variable en caso que se use el campo de opciones
  - Si el paquete no tiene opciones (caso típico) el largo del encabezado es de 20 bytes y el campo tendrá el valor 5
- Tipo de servicio: 8 bits (en general ignorado en Internet)
  - Especificación original:
    - Precedencia (3 bits) (Prioridad 0..7)
    - DTR (Delay, Throughput, Reliability)
    - 2 bits no usados
  - Nuevo uso: DSCP (6 bits, 2 no usados) (RFC 2474) (hay más propuestas)

Paquete IPv4

- Largo del datagrama: 16 bits
  - Largo total incluyendo encabezado y datos, medido en bytes
  - Máximo teórico 65535 bytes
  - Normalmente 1500 bytes por ser la carga últil del protocolo de capa 2 más usado (Ethernet)
- Identificador del paquete (16 bits), Banderas (2 bits) (DF y MF) y Offset de fragmento (13 bits)
  - Campos usados para la fragmentación de paquetes
- Tiempo de vida (Time-to-live, TTL): 8 bits
  - Es para limitar el tiempo de vida de los paquetes en la red
  - Se implementa como un un contador de saltos
  - Cada enrutador por el que pasa el paquete debe decrementar el TTL en 1 y si llega a 0 descartar el paquete
- Protocolo: 8 bits
  - Protocolo de capa superior del contenido del paquete: TCP, UDP, otros

Paquete IPv4

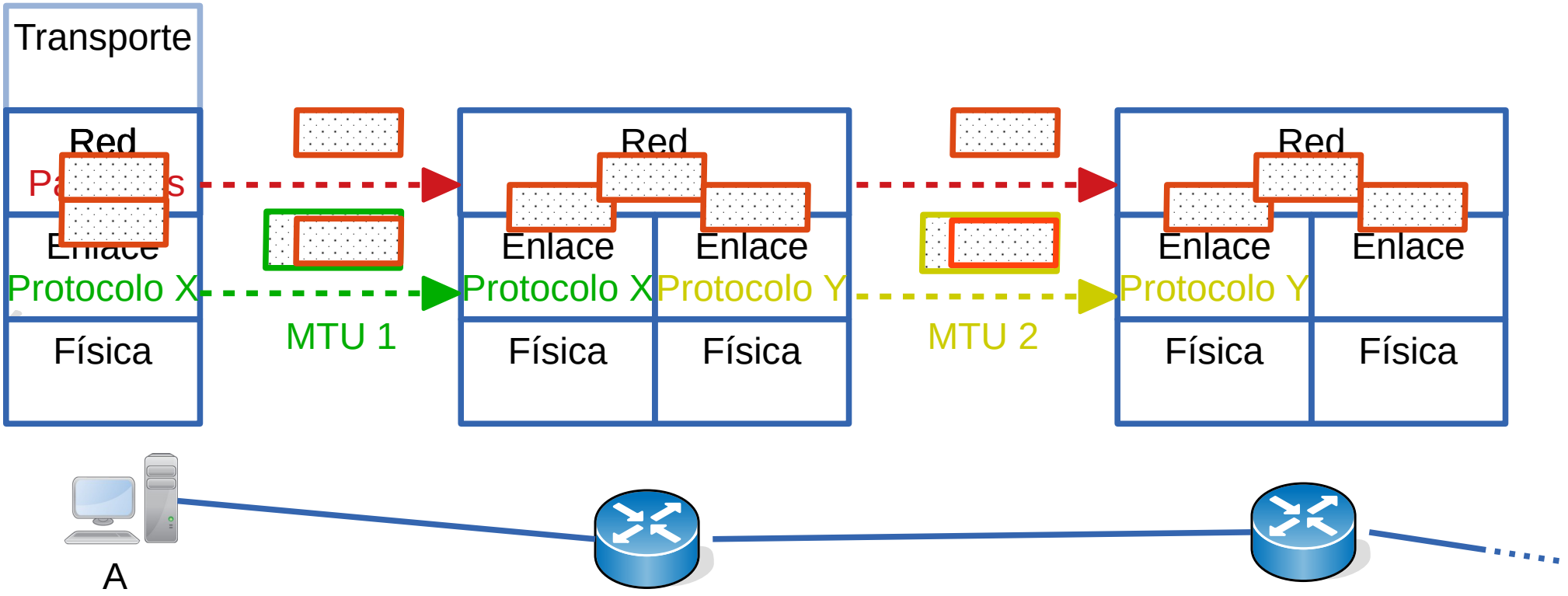
- Checksum del encabezado: 16 bits
  - Sirve para control de errores del encabezado
  - No incluye el campo de datos del paquete! (a diferencia de TCP/UDP)
  - Forma de cálculo:
    - en el transmisor:
      - Se inicializa el campo checksum con 0’s
      - Se suman las palabras de 16 bits del encabezado usando aritmética de complemento a 1
      - Se toma el complemento a 1 de ese resultado
      - Este resultado se usa como valor del campo checksum
    - En recepción se calcula el checksum con la misma regla y si no hay errores el resultado es todos 1’s
  - En cada enrutador por el que pasa el paquete hay que recalcular el checksum, ya que al menos el campo TTL cambia en cada salto
- Dirección IP de origen: 32 bits / Dirección IP de destino: 32 bits
  - Identifican el equipo origen y destino de cada paquete

Paquete IPv4

- Opciones: largo variable según los parámetros de cada opción
  - Permiten extender funcionalidades:
    - Hay varias definidas:
      - Enrutamiento desde el origen (source routing)
      - Registro de enrutadores por los que pasa el paquete (record route)
      - etc
  - Hacen que el procesamiento de los paquetes sea más lento (procesamiento por software)
  - Actualmente tienen uso casi nulo en Internet
  - A veces los paquetes con opciones son descartados por algunos equipos intermedios (por aspectos de seguridad)
- Datos: largo variable
  - Contenido o carga últil del paquete (payload)
  - Típicamente el contenido de un segmento TCP o UDP, pero hay otros protocolos

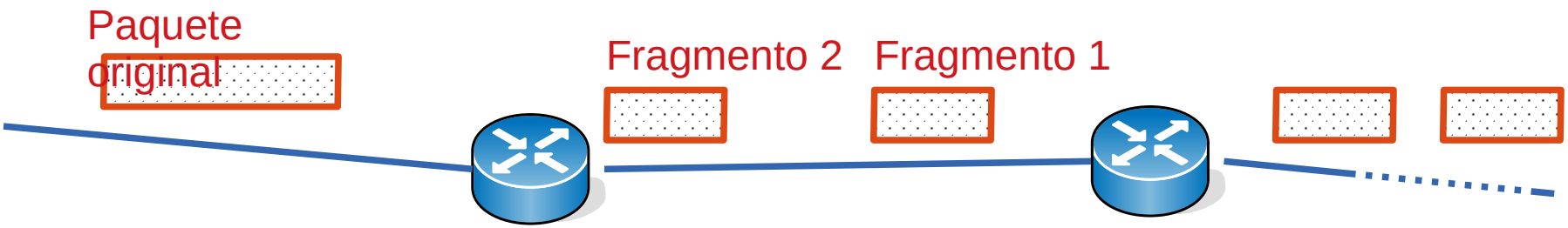
Fragmentación

- En cada salto, los paquetes viajan como carga útil del protocolo de capa de enlace
- Cada enlace podrá tener diferente tecnología y por tanto diferente protocolo de capa de enlace, con su correspondiente formato de trama
- En particular la máxima capacidad de carga útil de la capa de enlace se conoce como MTU (Maximum Transimission Unit)



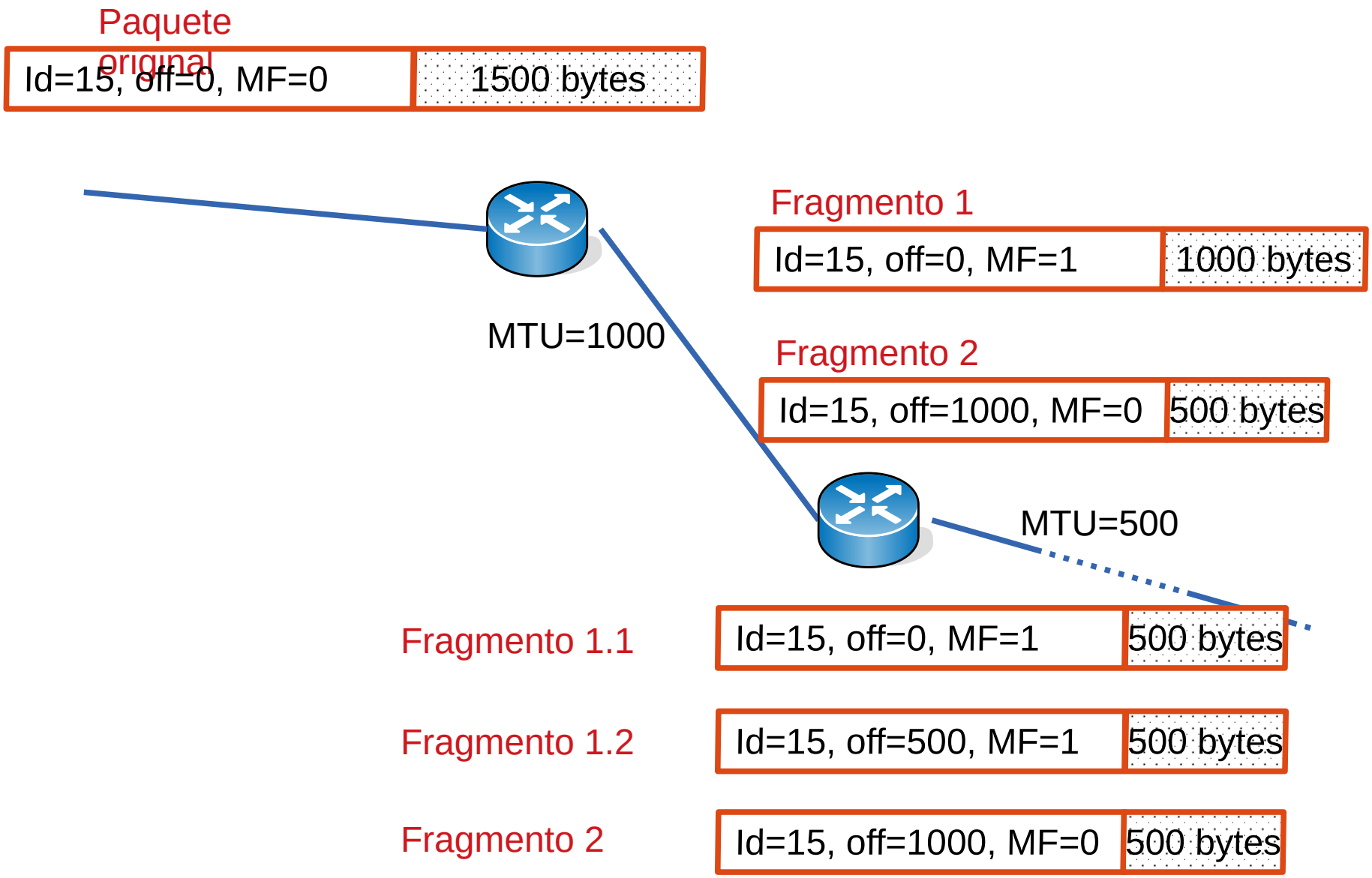
Fragmentación

- ¿Qué sucede si la MTU de un enlace es menor que la del enlace anterior?
- Es necesario dividir el paquete en paquetes más pequeños: fragmentar
- Como el trabajo de fragmentar y reensamblar es una tarea costosa, una vez que el paquete IP se fragmenta, el reensamblaje se realiza en el destino



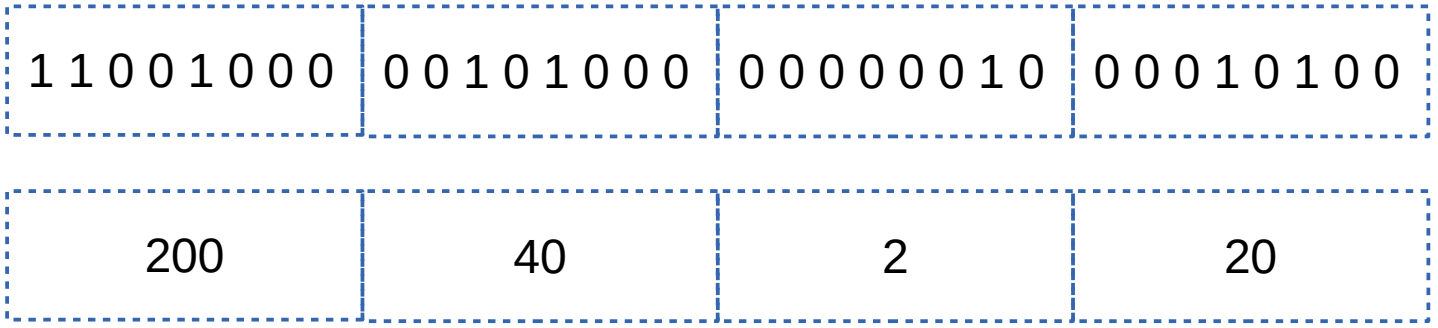
- En recepción es necesario:
  - Saber si un fragmento pertenece a un paquete de mayor tamaño
    - El identificador de paquete es común a todos los fragmentos
  - Saber ordenar los fragmentos para armar el paquete original
    - Campo offset de fragmento
  - Saber si llegaron todos los fragmentos para armar el paquete original
    - La bandera MF (More Fragments) es 1 en todos los fragmentos menos el último
    - Si no quiero que un paquete se fragmente pongo DF (Don't fragment) en 1

Ejemplo: Fragmentación



Direcciones IPv4

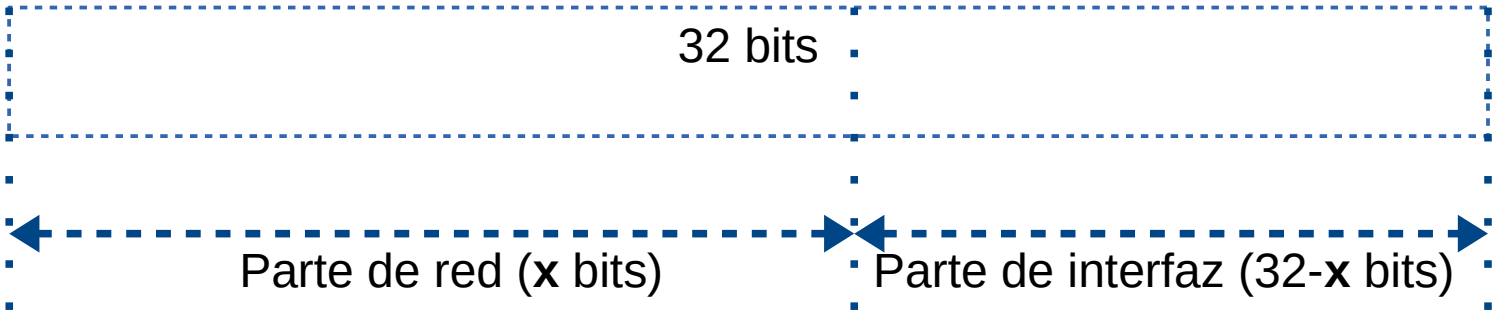
- Números de 32 bits (4 bytes) que permiten identificar y localizar un dispositivo en la red
- Estrictamente las direcciones están asociadas a una interfaz de red
- Un equipo puede tener más de una interfaz si está conectado a varias redes
  - En particular los enrutadores normalmente tienen más de una interfaz porque interconectan al menos dos segmentos de red
- En general las direcciones IP deben ser únicas en la red (salvo en presencia del mecanismo de NAT que veremos luego)
- Se representan en el formato llamado: dotted-decimal notation



- Se escribe como: 200.40.2.20

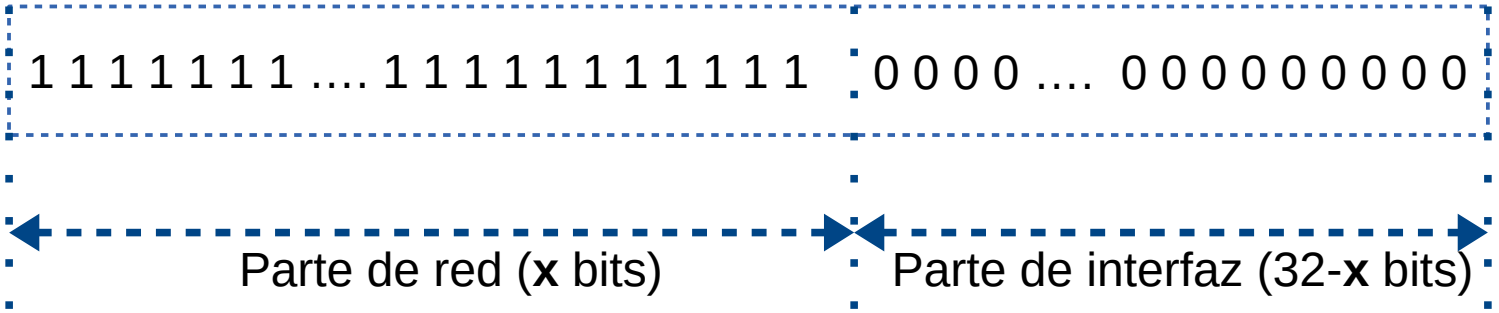
Rangos de direcciones

- Las direcciones se asignan por rangos
  - Si se asignaran direcciones individualmente, direcciones contiguas podrían ser asignadas a equipos de distintas partes del mundo y por tanto los enrutadores necesitarían tablas de forwarding más grandes
  - Tablas más grandes, implican más tiempo para buscar en ellas, más memoria
  - En las tablas de forwarding se utilizan esos rangos como destinos
- Un rango de direcciones está compuesto por el conjunto de direcciones que tienen un prefijo (los **x** primeros bits) en común
  - **x** es el largo del prefijo
- Determina la parte de red y la parte de interfaz (o de host)



Máscara de la red

- La división entre parte de red y parte de interfaz de los rangos de direcciones, también se suele especificar como una palabra de 32 bits que tiene 1's en la parte de red y 0's en la parte de interfaz



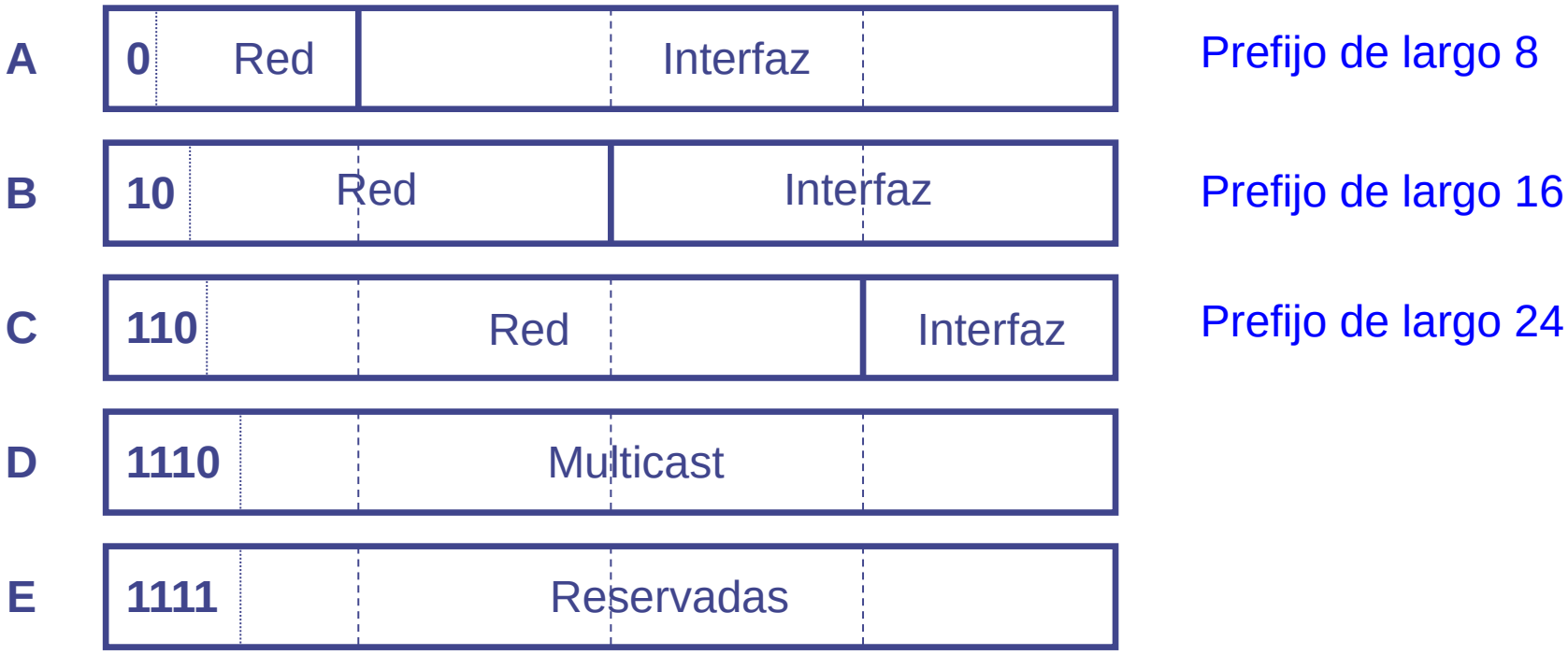
- Como son 32 bits, se puede usar la "dotted-decimal notation"
- Por ejemplo un largo de prefijo de 24 bits, se corresponde con una palabra de 32 bits donde
  - los primeros 24 están en 1, señalando la parte de red y
  - los últimos 8 en 0, señalando la parte de interfaz
- En dotted-decimal notation sería: 255.255.255.0
  - Van a ver esta notación en algunos sistemas operativos u otros equipos

Ejemplo de rangos de direcciones

- Las direcciones IP:
  - 223.1.1.0
  - 223.1.1.1
  - 223.1.1.2
  - …
  - 223.1.1.255
- Tienen los primeros 3 bytes (24 bits) en común (223.1.1.x)
- Se puede referir este rango de direcciones como 223.1.1.0/24
  - Conjunto de direcciones consecutivas que empiezan en la 223.1.1.0 y mantienen los primeros 24 bits iguales
- Las direcciones con todos los bits de la parte de interfaz en 0 no se pueden asignar a interfaces ya que se reservan para identificar la red
  - En el ejemplo 223.1.1.0
- Las direcciones con todos los bits de la parte de interfaz en 1 no se pueden asignar a interfaces ya que se usan como dirección de difusión de la red
  - En el ejemplo 223.1.1.255

Classless Interdomain Routing (CIDR)

- La estrategia de definición de rangos de direcciones utilizando la especificación del largo del prefijo se conoce como CIDR
- Los rangos se especifican como a.b.c.d/x donde x es el largo del prefijo
- Antes de CIDR, las direcciones se dividían en clases de largos de prefijo preestablecidos en 8, 16 y 24: Classfull Addressing
- El esquema era muy rígido y comenzaron a escasear las clases B
- Vamos a hablar de clases A, B y C para prefijos de largo 8, 16 y 24



División de rangos

- Supongamos que tenemos para nuestra red el rango 223.1.1.0/24 (direcciones útiles de la 223.1.1.1 a la 223.1.1.254)
- La función de ruteo resolverá que desde el resto de Internet sepan cómo llegar a ese rango de direcciones
- ¿Cómo usamos esas direcciones?
  - Depende de cómo queremos diseñar la red en nuestra institución
- Ejemplo:
  - Una sola red o subred
    - Asignamos a nuestros equipos direcciones dentro del rango
  - Dividimos el rango asignado en rangos menores
    - Por ejemplo, organizamos la red con rangos diferentes:
      - por piso
      - por secciones administrativas (personal, administración, etc)
- Para esto necesitamos dividir el rango de direcciones asignado

División de rangos

- Rango asignado: 223.1.1.0/24
  - Corresponde a las direcciones de 223.1.1.0 a 223.1.1.255

1 1 0 1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 1	x x x x x x x x

- Podemos cambiar el largo del prefijo y dividirlo en subrangos
- Si agrandamos el prefijo 1 bit podemos ver ese rango como dos rangos:

1 1 0 1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 1	0 x x x x x x x
1 1 0 1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 1	1 x x x x x x x

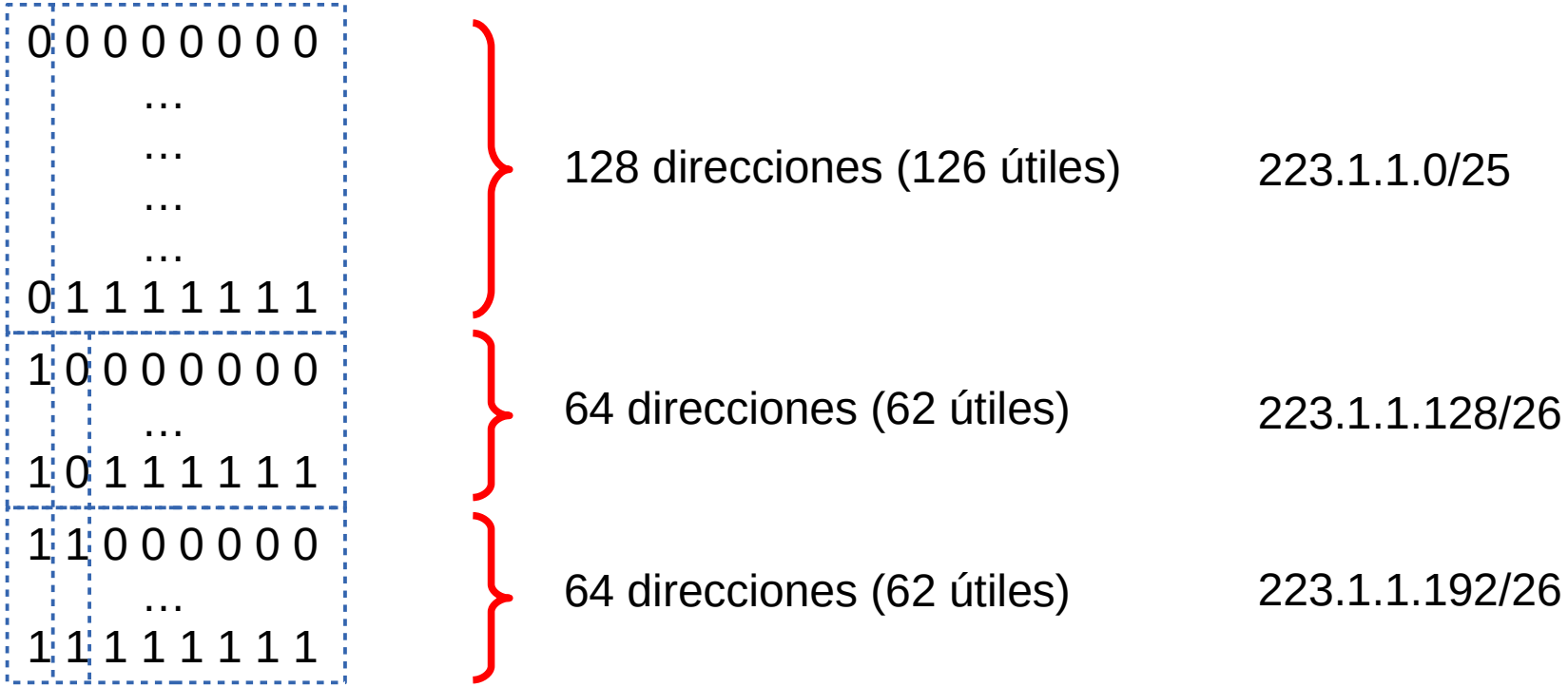
- El rango 223.1.1.0/24 puede partirse en dos agrandando el prefijo
  - 223.1.1.0/25 (128 direcciones, 126 útiles = .1 a .126)
  - 223.1.1.128/25 (128 direcciones, 126 útiles = .129 a .254)

Agregación o sumarización de rangos

- Así como podemos dividir un rango de direcciones en rangos más pequeños podemos agregar o sumarizar rangos contiguos
- Si usamos los rangos:
  - 223.1.0.0/24
  - 223.1.1.0/24
  - 223.1.2.0/24
  - 223.1.3.0/24
- Podemos agregarlos o sumarizarlos en dos rangos:
  - 223.1.0.0/23
  - 223.1.2.0/23
- O en un rango
  - 223.1.0.0/22

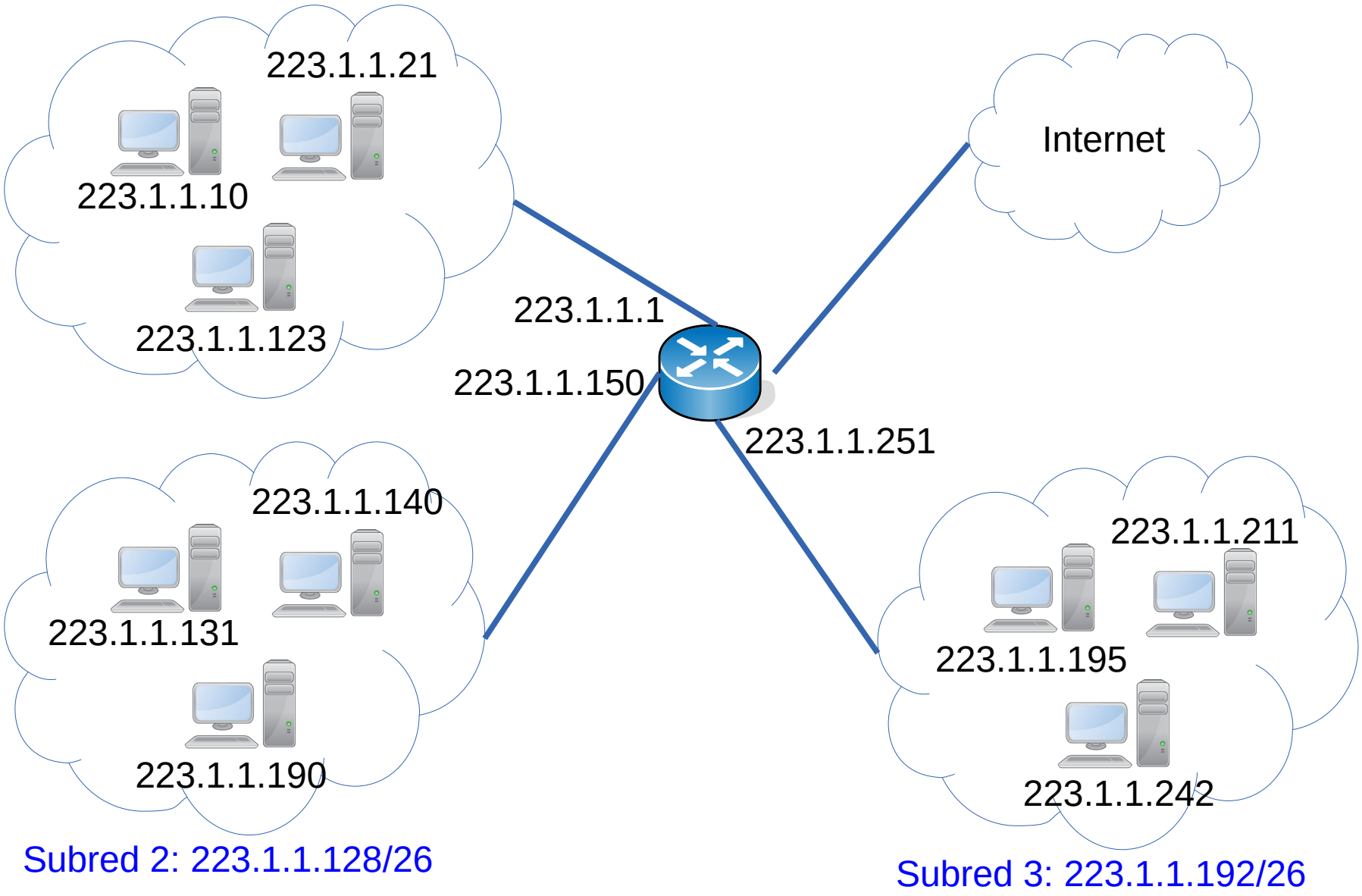
División de rangos

- Ejemplo: Quiero dividir el rango asignado 223.1.1.0/24 en 3 subredes:
  - Subred 1: 70 equipos
  - Subred 2: 40 equipos
  - Subred 3: 40 equipos
- Agrandando el prefijo puedo dividir las 255 direcciones en un bloque de 128 y dos bloques de 64, lo que permitiría cumplir los requerimientos



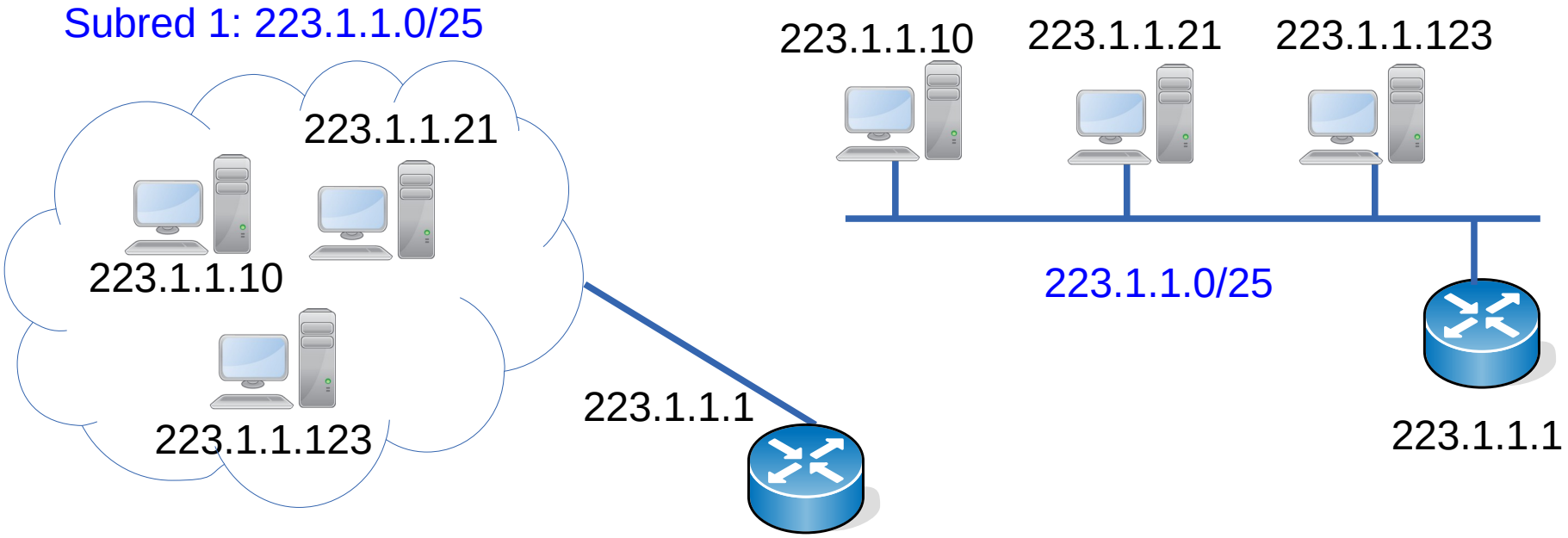
Asignación de rangos

- Una vez definidas las subredes asigno direcciones a los equipos



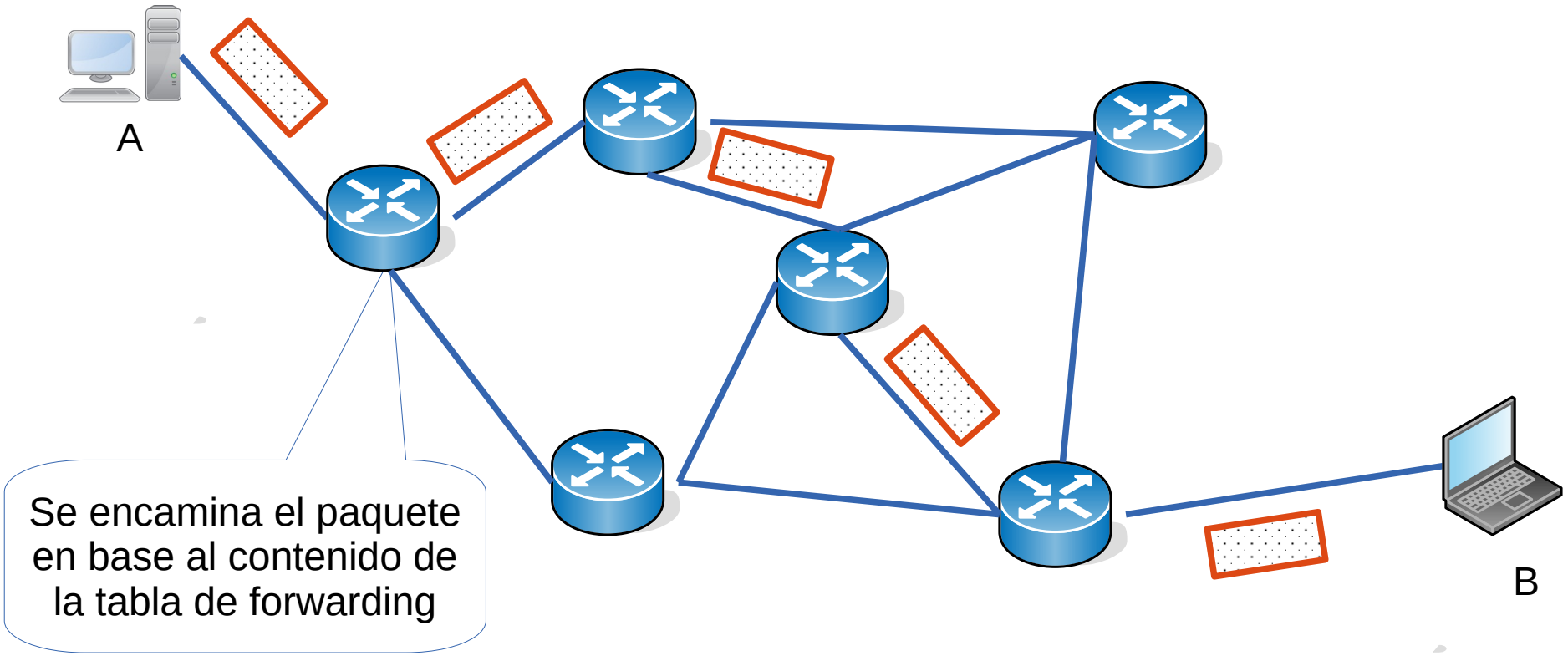
Subredes

- Cuando asignamos un rango de direcciones a una subred, se entiende que los equipos de esa subred se pueden comunicar entre sí sin necesidad de pasar por un enrutador
- La conexión puede ser porque hay un medio compartido por los equipos de la subred o un enlace punto a punto entre dos equipos
- Estas tecnologías de conexión operan a nivel de capa de enlace y las veremos más adelante
- Una subred la representaremos lógicamente como un medio compartido entre los equipos



Encaminamiento o forwarding de paquetes

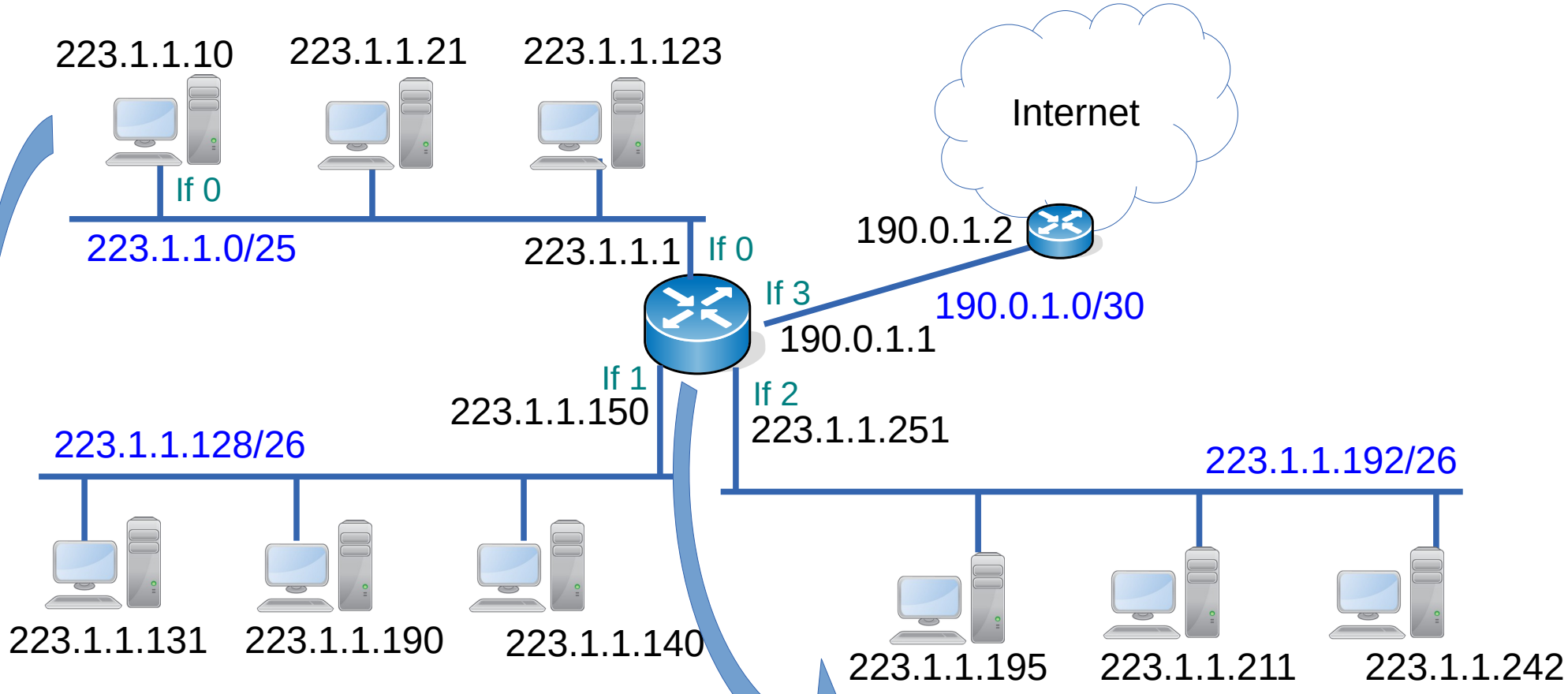
- Genéricamente cada nodo
  - Recibe un paquete por una de sus interfaces de entrada
  - Consulta su tabla de forwarding
  - Obtiene de la tabla la interfaz de salida para ese destino
  - Encamina el paquete por esa interfaz



Encaminamiento basado en la dirección destino

- El encaminamiento más sencillo y más clásico es en base a la dirección destino del paquete
- Actualmente en Internet el encaminamiento del paquete se realiza consultando una tabla de forwarding que contiene:
  - Destinos especificados como rangos identificados con número de red y largo de prefijo: Formato a.b.c.d/x
  - Próximo salto (next hop) para cada destino
- Cada enrutador que recibe un paquete, obtiene la dirección IP de destino del encabezado, lo busca en la tabla de forwarding y lo encamina al próximo salto
- Si la IP de destino pertenece a una subred directamente conectada al equipo, entonces a ese equipo se accede directamente y se enviará usando los servicios de la capa de enlace

Ejemplo



Destino	Próximo salto
223.1.1.0/25	Local, interfaz 0 (If 0)
223.1.1.128/26	223.1.1.1
223.1.1.192/26	223.1.1.1
internet	223.1.1.1

Destino	Próximo salto
223.1.1.0/25	Local, interfaz 0 (If 0)
223.1.1.128/26	Local, interfaz 1 (If 1)
223.1.1.192/26	Local, interfaz 2 (If 2)
190.0.1.0/30	Local, interfaz 3 (If 3)
internet	190.0.1.2

Algoritmo de búsqueda

- El algoritmo utilizado en Internet para la búsqueda de una dirección IP en la tabla de forwarding se llama: Longest-Prefix Match
- Los rangos que aparecen en la tabla de forwarding podrían solaparse
  - la IP que estoy buscando podría estar incluida en más de un rango
- En ese caso interesará que la búsqueda encuentre primero el rango de prefijo más largo que incluya la dirección que estamos buscando
  - Los prefijos más largos determinan rangos de menos direcciones
  - Interesa encontrar primero las rutas más específicas
- Para eso, las entradas de la tabla de forwarding deben ordenarse en base al largo del prefijo de los destinos (orden descendente)
  - Las redes más pequeñas o más específicas estarán al principio de la tabla (largo de prefijo mayor)
  - Cada vez que se actualice la tabla, será necesario reordenarla

Algoritmo de búsqueda

- Con la tabla ordenada, cuando se necesita encaminar un paquete a un cierto destino, se recorrerán sus filas hasta encontrar una coincidencia
  - Si la dirección buscada está en el rango de una fila, se envía el paquete al próximo salto indicado en la fila
  - Si no, se sigue con la siguiente fila
  - Si se recorren todas las filas de la tabla y no hay coincidencia, se descarta el paquete
  - Y se envía al originador un mensaje específico del protocolo Internet Control Message Protocol (ICMP) (lo veremos más adelante)

Longest-Prefix Match

- Para saber si una dirección IP está incluida en un rango se realiza el AND bit a bit con la máscara del rango y el resultado se compara con la dirección de red del rango
- Si tengo el rango de direcciones: 223.1.1.128/26
  - La máscara /26 en dotted-decimal notation es 255.255.255.192
- La dirección 223.1.1.158 pertenece a ese rango?

	1 1 0 1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 1	1 0 0 1 1 1 1 0	223.1.1.158
AND	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 0 0 0 0 0 0	255.255.255.192
	1 1 0 1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 1	1 0 0 0 0 0 0 0	223.1.1.128

Coincide!

Longest-Prefix Match

- La tabla de forwarding contiene filas o entradas con:
  - Rangos de direcciones especificados con subred S_i y máscara M_i
  - Próximo salto o next hop N_i para ese destino

Destino	Próximo salto
S_i / M_i	N_i

- Como paso previo la tabla debe estar ordenada en forma descendente por el largo de M_i
- Si se requiere encaminar un paquete cuya Dirección IP destino es D
  - Se recorre la tabla hasta encontrar el primer rango que incluya a D

```
mientras ( hay entradas )
    si ( Si == D AND Mi )
        entregar el paquete a capa 2 para que lo haga llegar a Ni
```

  - Si no se encuentran coincidencias descartar paquete y enviar mensaje ICMP al originador del paquete

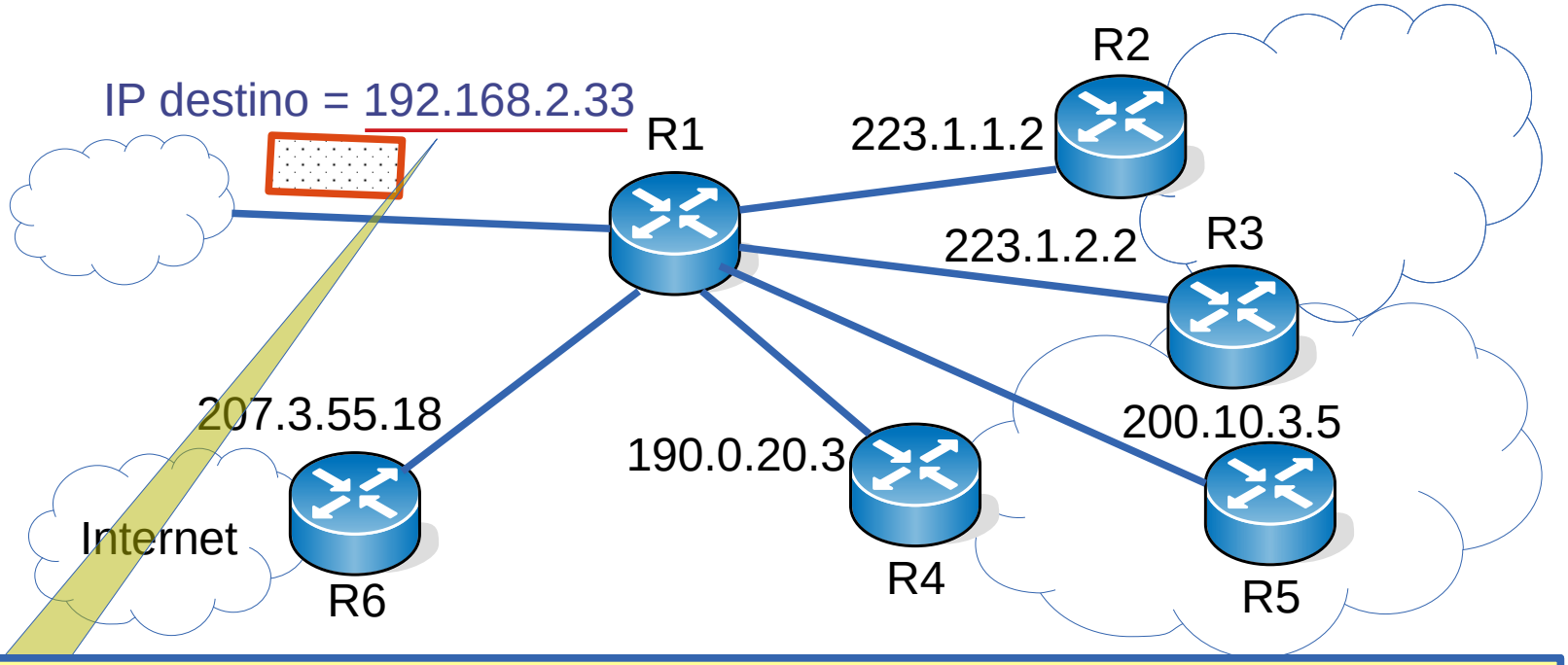
Longest-Prefix Match

- Puede existir una ruta por defecto
  - ruta que tomarán todos los paquetes que no hayan encontrado una coincidencia con ninguna entrada de la tabla
- Esa ruta naturalmente debería ir al final de la tabla
- Para lograr eso, se agrega una entrada:

Destino	Próximo salto
0.0.0.0/0	IP por defecto

- Como tiene máscara de largo 0, al ordenar la tabla quedará al final
- En base al algoritmo, para cualquier dirección IP se obtendrá una coincidencia

Ejemplo

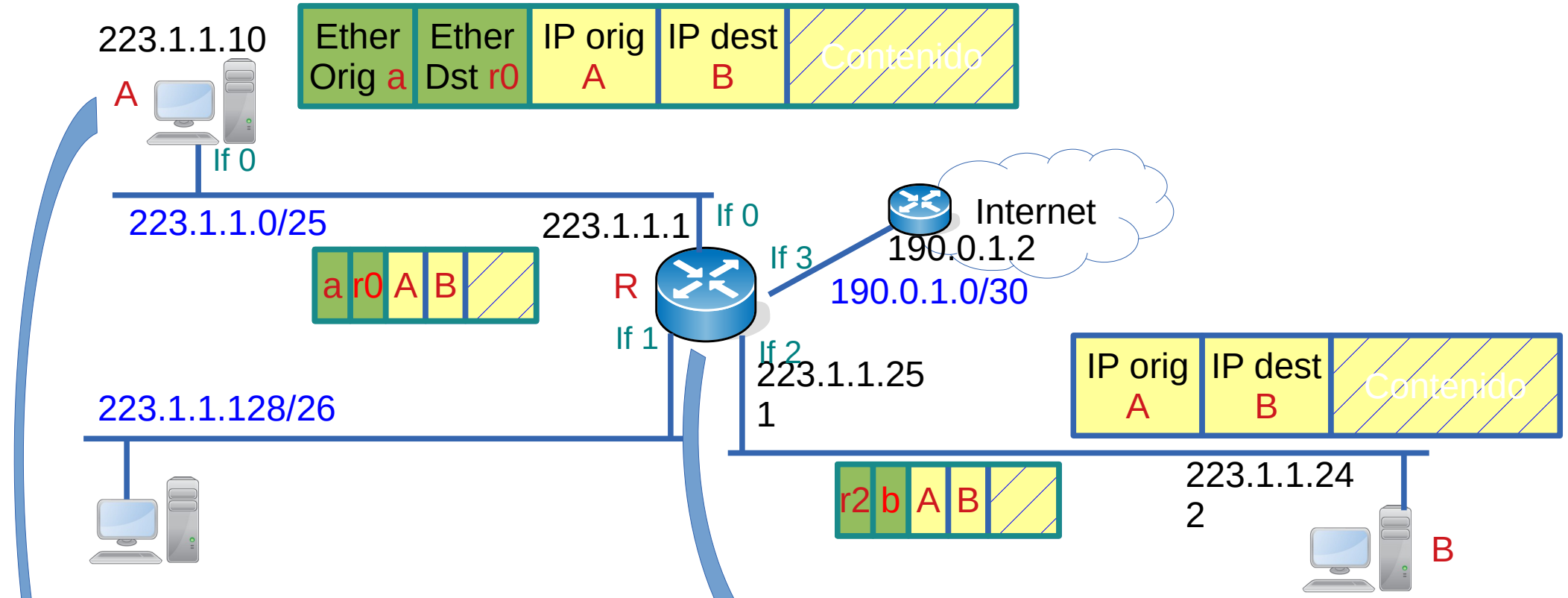


192.168.2.33 AND 255.255.252.0 = 192.168.0.0 Coincide con 192.168.0.0

Tabla de R1	
Destino	**Próximo salto**
192.168.1.128/25	223.1.1.2
192.168.0.0/23	223.1.2.2
192.168.0.0/22	190.0.20.3
192.0.0.0/8	200.10.3.5
0.0.0.0/0	207.3.55.18

Envío el Paquete a 190.0.20.3 (R4)

¿Qué pasa cuando A quiere enviar un paquete a B?



A consulta su tabla de forwarding para saber cómo llegar a B!

Destino	Próximo salto
223.1.1.128/26	223.1.1.1
223.1.1.192/26	223.1.1.1
223.1.1.0/25	Local, interfaz 0 (If 0)
0.0.0.0/0	223.1.1.1

R consulta su tabla de forwarding para saber cómo llegar a B!

Destino	Próximo salto
190.0.1.0/30	Local, interfaz 3 (If 3)
223.1.1.128/26	Local, interfaz 1 (If 1)
223.1.1.192/26	Local, interfaz 2 (If 2)
223.1.1.0/25	Local, interfaz 0 (If 0)
0.0.0.0/0	190.0.1.2

Puntos importantes (1)

- Cuando se configura una interfaz de un equipo automáticamente se crean entradas en la tabla de rutas
  - Si configuro una interfaz (linux, windows, router) con:
    - dirección IP 223.1.1.10
    - Máscara /25 (255.255.255.128)
  - Automáticamente se creará una ruta con:
    - Destino: 223.1.1.0/25 (todo el rango)
    - Próximo salto: “directamente conectada” (depende del OS)
- Con esa (o esas entradas), el equipo sabe cómo llegar a todos los destinos directamente conectados

```
B1(config)# interface FastEthernet 0
B1(config-int)# ip address 192.168.2.35 255.255.255.224

# show ip route
S    192.168.1.0/24 [1/0] via 192.168.2.1
     192.168.2.0/24 is variably subnetted, 6 subnets, 4 masks
C       192.168.2.104/30 is directly connected, Serial1/0
C       192.168.2.32/27 is directly connected, Ethernet0/1
C       192.168.2.0/27 is directly connected, Ethernet0/0
```

Puntos importantes (2)

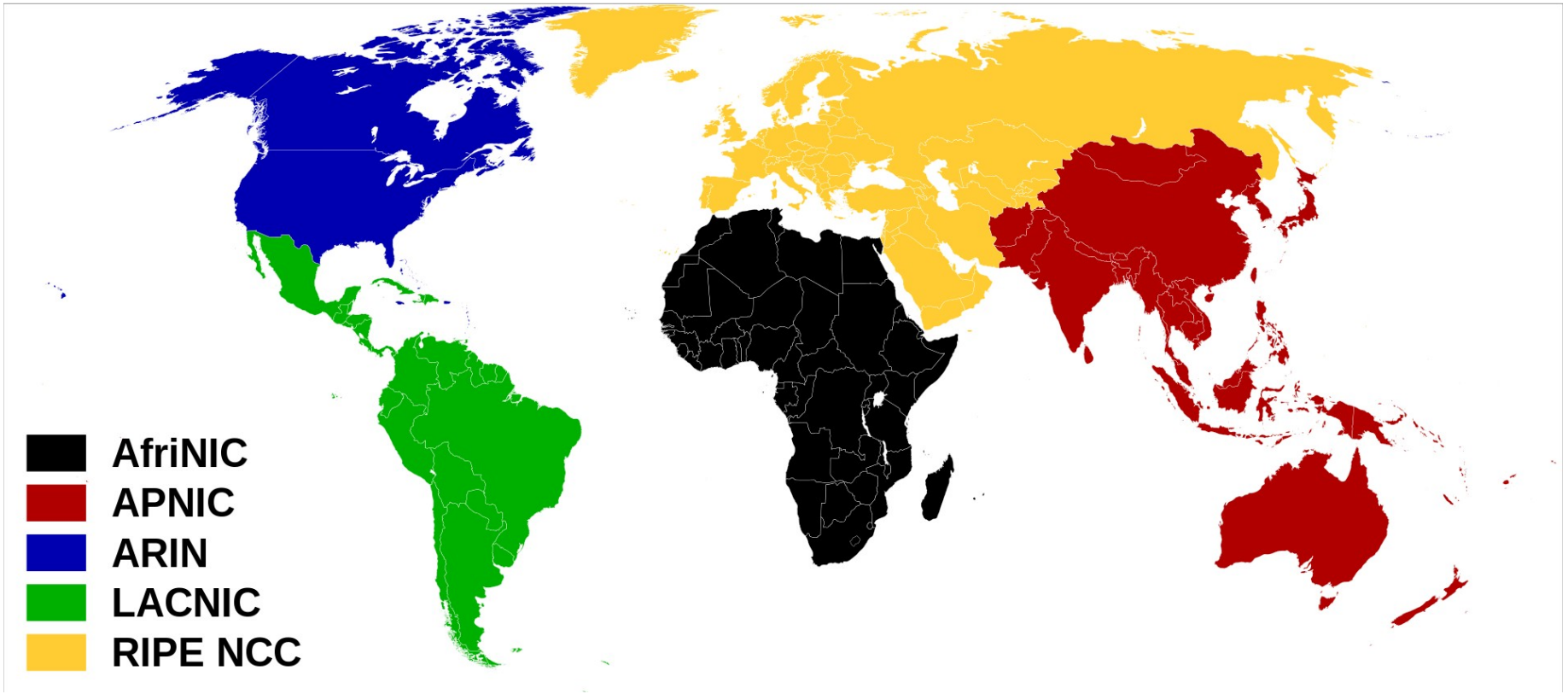
- Para llegar a equipos más distantes, necesito entradas en la tabla de forwarding que me digan cómo llegar
- De forma manual (como se hace en el laboratorio) puedo agregar rutas para los destinos que deseo llegar indicando el próximo salto (la IP del siguente enrutador que me acerca a ese destino)
  - Las IP del próximo salto tiene que ser alcanzable!!

```
B1(config)#ip route 192.168.1.0 255.255.255.0 192.168.2.1
B1(config)#ip route 192.168.2.96 255.255.255.248 192.168.2.2
B1(config)#ip route 192.168.2.64 255.255.255.240 192.168.2.106
B1(config)#ip route 192.168.2.80 255.255.255.240 192.168.2.106

# show ip route
S    192.168.1.0/24 [1/0] via 192.168.2.1
     192.168.2.0/24 is variably subnetted, 6 subnets, 4 masks
C       192.168.2.104/30 is directly connected, Serial1/0
S       192.168.2.96/29 [1/0] via 192.168.2.2
S       192.168.2.64/28 [1/0] via 192.168.2.106
S       192.168.2.80/28 [1/0] via 192.168.2.106
C       192.168.2.32/27 is directly connected, Ethernet0/1
C       192.168.2.0/27 is directly connected, Ethernet0/0
```

Asignación de rangos de direcciones

- Las direcciones en Internet son administradas por el ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)
  - Números IP, números de puertos, nombres de dominio del DNS
- El ICANN asigna rangos de direcciones IP a los registros regionales
  - RIRs (Regional Internet Registries)



Asignación de rangos de direcciones

- Los RIRs asignan rangos de direcciones a los Proveedores de Servicio (Internet Service Provider, ISP) o también directamente a organizaciones de gran porte
- Los Proveedores de Internet (ISP) asignan rangos de direcciones a sus clientes (empresas, universidades, usuarios finales)
- Para usuarios finales, las IP y otros datos se pueden asignar:
  - En la negociación con PPPoE (Point to Point Protocol over Ethernet)
  - Con DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)
  - En el caso de los servicios móviles (celulares), con protocolos específicos de la gestión de acceso
- Organizaciones que requieren un rango de direcciones
  - Se asigna administrativamente un rango que el administrador de la red asigna a su vez a sus equipos internos

Asignación de direcciones a dispositivos de la red

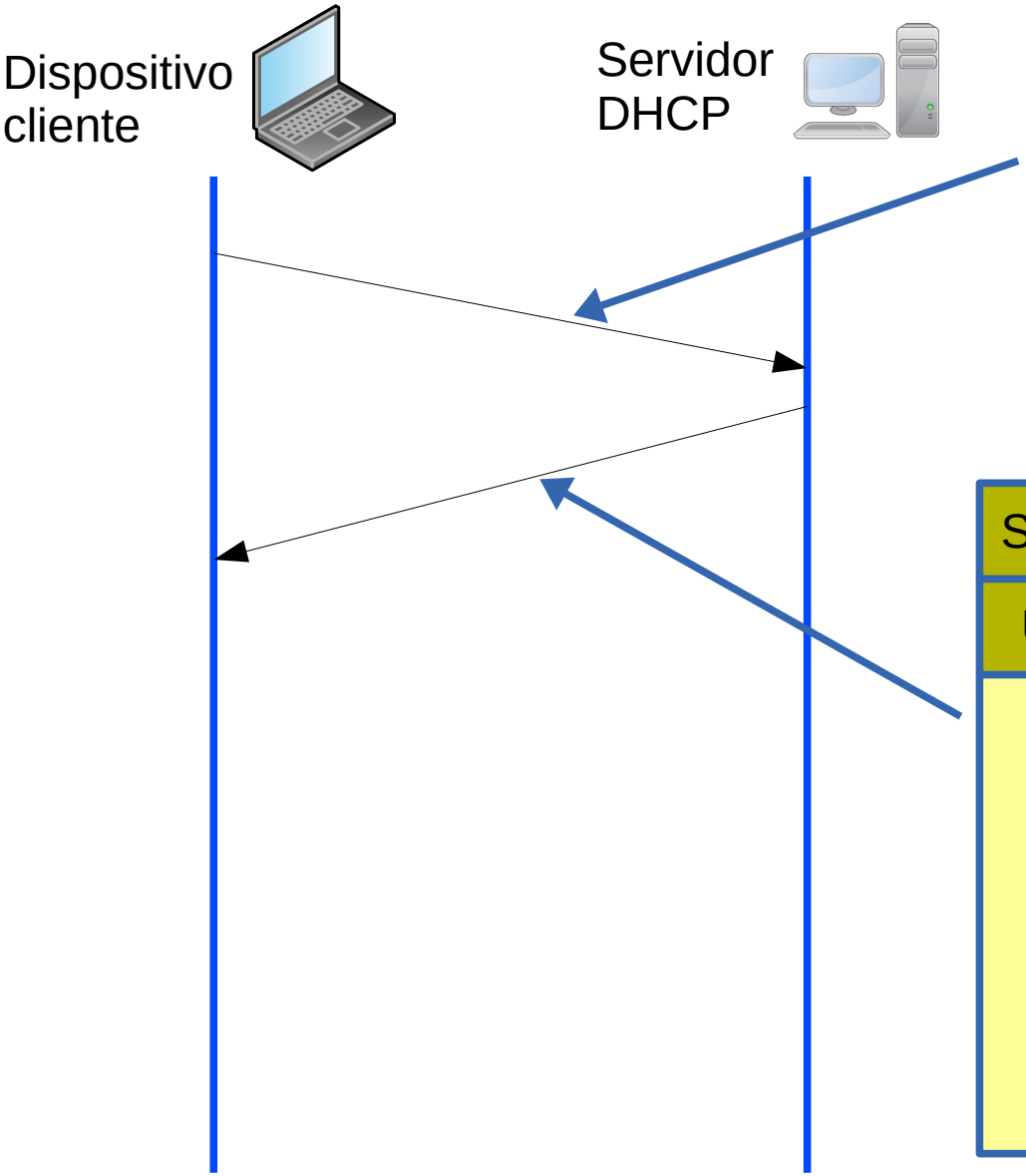
- Las direcciones IP a cada dispositivo de una red local pueden asignarse de forma manual o de forma dinámica
- La asignación manual consiste en que un administrador asigne una dirección a cada dispositivo y la configure en el equipo
  - Será necesario llevar un registro de las direcciones en uso dentro del rango disponible y gestionar las altas, bajas y modificaciones
- La asignación dinámica consiste en que los dispositivos al conectarse a la red obtienen los datos de configuración de un servidor
  - Debe existir un servidor que gestione las direcciones disponibles
  - Se requiere que los dispositivos se configuren para obtener una dirección dinámicamente
  - Existe un protocolo llamado DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) estandarizado en la RFC 2131 que resuelve esta configuración dinámica en una red local (LAN)
- Actualmente, prácticamente todos los dispositivos están por defecto configurados para obtener la configuración por DHCP

Ventajas de la asignación dinámica

- La configuración se realiza de forma centralizada en un servidor
  - No necesito recorrer todos los dispositivos y configurarlos, la configuración se realiza enteramente en el servidor DHCP
  - El servidor DHCP permite configurar:
    - Dirección IP asignada al dispositivo
    - La máscara de la red local (define el rango de máquinas directamente conectadas)
    - Las direcciones IP de los servidores de DNS
    - La dirección IP del próximo salto asociado a la ruta por defecto (default gateway) (agrega una entrada en la tabla de forwarding)
    - Permite también algunas otras configuraciones
- Permite usar más eficientemente el rango de direcciones asignado cuando tengo equipos portátiles que se conectan y desconectan (por ej. laptops)
  - Dispongo de un rango de direcciones y las asigno a los equipos conectados
  - No necesito asignar una dirección a equipos no conectados
  - Cuando un equipo se desconecta de la red, libera la dirección asignada y queda disponible para asignársela a otro equipo más tarde

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)

- Es un protocolo tipo cliente-servidor



Src: 0.0.0.0	Dst: 255.255.255.255
UDP	Src port: 68 Dst port: 67

Descubrimiento de servidor DHCP
Mensaje “DHCP discover”

xid: X (identificador de transacción)
yaddress: 0.0.0.0

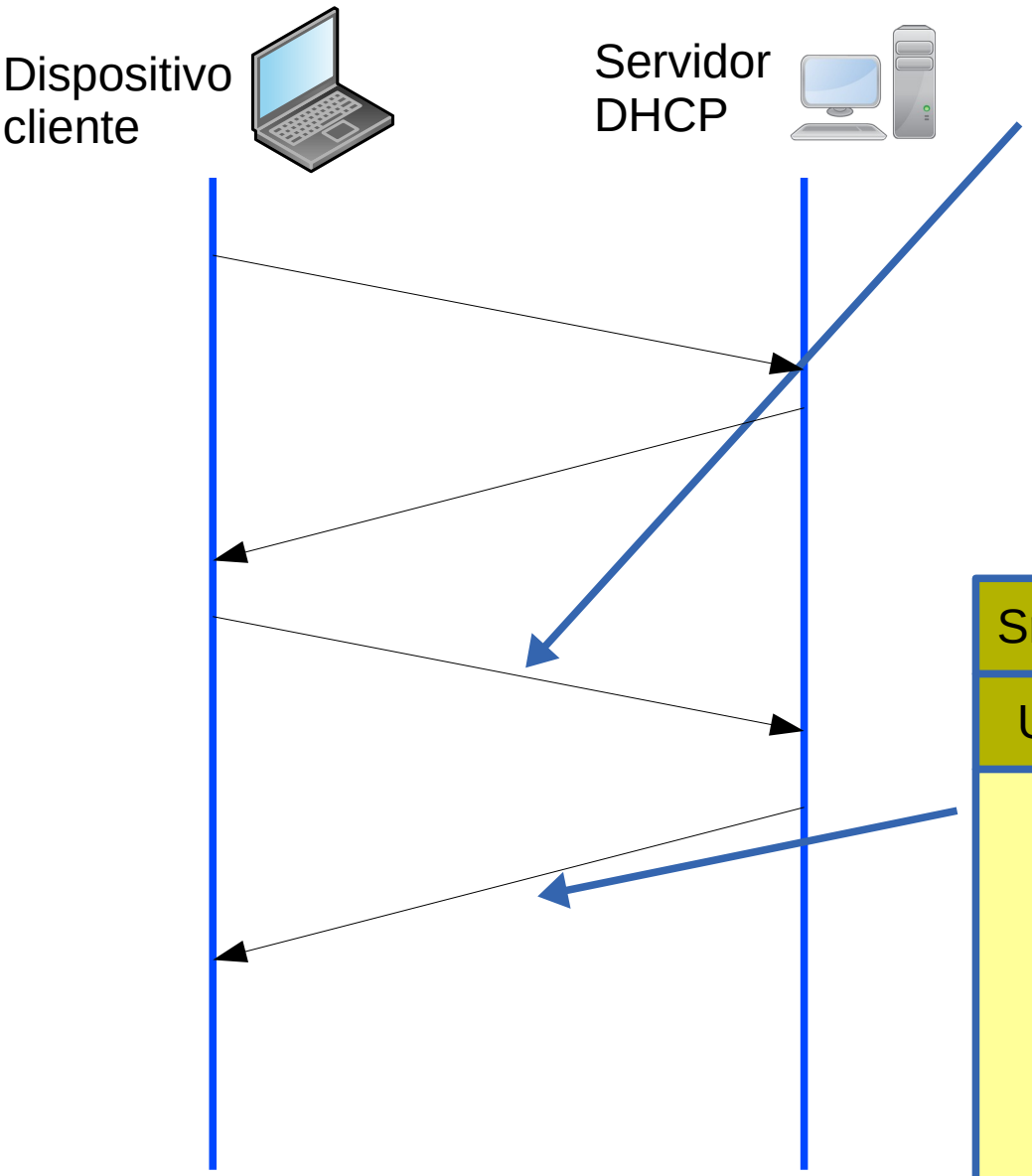
Src: servidor DHCP	Dst: 255.255.255.255
UDP	Src port: 67 Dst port: 68

Oferta de servidor(es) DHCP
Mensaje “DHCP offer”

yaddress: IP asignada
+Otros parámetros
xid: X
DHCP server: IP del servidor DHCP
Lease time: 3600 seg

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)

- Es un protocolo tipo cliente-servidor



Src: 0.0.0.0	Dst: 255.255.255.255
UDP	Src port: 68	Dst port: 67

Pedido de DHCP
Mensaje “DHCP request”

yaddress: IP asignada
+Otros parámetros
xid: X
DHCP server: IP del servidor DHCP
Lease time: 3600 seg

Src: servidor DHCP	Dst: 255.255.255.255
UDP	Src port: 67	Dst port: 68

Reconocimiento DHCP
Mensaje “DHCP ACK”

yaddress: IP asignada
+Otros parámetros
xid: X
DHCP server: IP del servidor DHCP
Lease time: 3600 seg

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)

- Existen más mensajes, en particular el “renew” para renovar la IP otorgada si la quiero usar más tiempo que lo que indica el “lease time”
- El mensaje “discover” de un cliente, podría recibir respuestas de varios servidores DHCP por lo que el cliente decide con cuál sigue la negociación
  - Esto es un potencial problema en la práctica ya que cualquier usuario con capacidad de administración de un equipo (por ejemplo su laptop!) puede levantar por error o malicia un servidor DHCP
- Como está pensado para usar en una red local, al menos el mensaje de descubrimiento se envía usando direcciones broadcast de capa de enlace (para que lleguen a todos los equipos de la red)
  - Las respuestas podrían o no ser en modo broadcast de capa 2
- Cuando el servidor DHCP no está en la misma red, se usa un “DHCP relay”
- Hay varias RFC que describen opciones posibles
  - RFC 2132, RFC 3442, RFC 3942, RFC 4361, RFC 4833, RFC 5494
- Es posible asignar a un equipo siempre la misma IP (según la dirección MAC) lo que puede ser útil para servidores (aunque normalmente se les asigna una IP manualmente)

DHCP Discover

0.0.0.0:68 > 255.255.255.255:67: xid 0x4d369682

Client-Ethernet-Address f4:8e:38:f2:f3:58

Vendor Extensions

DHCP-Message Option 53, length 1: Discover

Client-ID Option 61, length 7: ether f4:8e:38:f2:f3:58

Requested-IP Option 50, length 4: 164.73.38.222

Hostname Option 12, length 15: "DESKTOP-FLS593Q"

Parameter-Request Option 55, length 14:

Subnet-Mask, Default-Gateway, Domain-Name-Server, Domain-Name

Router-Discovery, Static-Route, Vendor-Option, Netbios-Name-Server

Netbios-Node, Netbios-Scope, Option 119, Classless-Static-Route

Classless-Static-Route-Microsoft, Option 252

DHCP Offer

164.73.38.1:67 > 255.255.255.255:68: xid 0x4d369682

Your-IP 164.73.38.222

Server-IP 164.73.32.216

Gateway-IP 164.73.38.1

Client-Ethernet-Address f4:8e:38:f2:f3:58

Vendor Extensions

DHCP-Message Option 53, length 1: Offer

Server-ID Option 54, length 4: 164.73.32.131

Lease-Time Option 51, length 4: 14400

Subnet-Mask Option 1, length 4: 255.255.255.0

Default-Gateway Option 3, length 4: 164.73.38.1

Domain-Name-Server Option 6, length 8: 164.73.32.2,164.73.32.4

Domain-Name Option 15, length 11: "fing.edu.uy”

DHCP Request

0.0.0.0:68 > 255.255.255.255:67: xid 0x4d369682

Client-Ethernet-Address f4:8e:38:f2:f3:58

Vendor Extensions

DHCP-Message Option 53, length 1: Request

Client-ID Option 61, length 7: ether f4:8e:38:f2:f3:58

Requested-IP Option 50, length 4: 164.73.38.222

Server-ID Option 54, length 4: 164.73.32.131

Hostname Option 12, length 15: "DESKTOP-FLS593Q"

Parameter-Request Option 55, length 14:

Subnet-Mask, Default-Gateway, Domain-Name-Server, Domain-Name

Router-Discovery, Static-Route, Vendor-Option, Netbios-Name-Server

Netbios-Node, Netbios-Scope, Option 119, Classless-Static-Route

Classless-Static-Route-Microsoft, Option 252

DHCP ACK

164.73.38.1:67 > 255.255.255.255:68: xid 0x4d369682

Your-IP 164.73.38.222

Server-IP 164.73.32.216

Gateway-IP 164.73.38.1

Client-Ethernet-Address f4:8e:38:f2:f3:58

Vendor Extensions

DHCP-Message Option 53, length 1: ACK

Server-ID Option 54, length 4: 164.73.32.131

Lease-Time Option 51, length 4: 14400

Subnet-Mask Option 1, length 4: 255.255.255.0

Default-Gateway Option 3, length 4: 164.73.38.1

Domain-Name-Server Option 6, length 8: 164.73.32.2,164.73.32.4

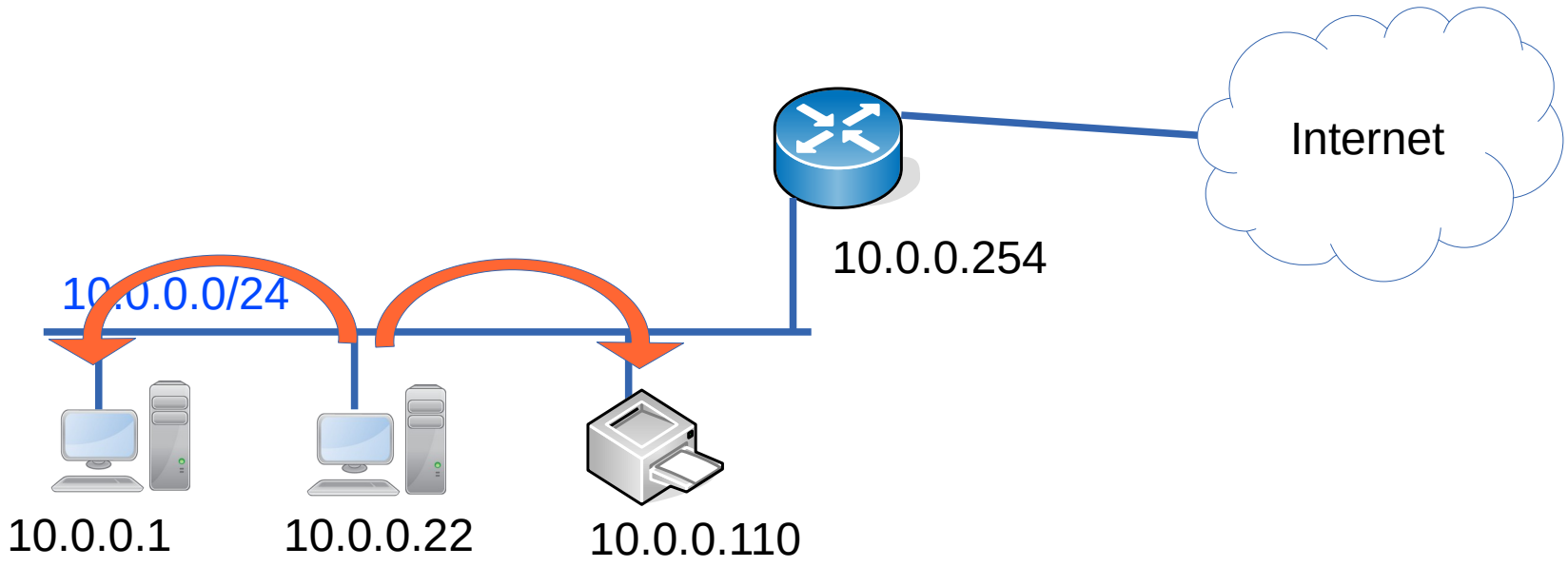
Domain-Name Option 15, length 11: "fing.edu.uy"

Escasez de direcciones IPv4

- Con la proliferación de dispositivos que requieren direcciones IP aparecen problemas:
  - El rango de direcciones disponibles en IPv4 está limitado
  - Inicialmente (con las clases A, B y C de direcciones) las direcciones no se asignaron de forma óptima
  - Aún haciendo un uso más óptimo, los rangos se fragmentarían implicando un crecimiento en las tablas de forwarding de los enrutadores
  - Se complica la gestión de direcciones: Hay que asignarle un rango a cada pequeña empresa u hogar
- Solución de fondo: Implementar un nuevo protocolo con mayor espacio de direcciones
  - IPv6 : 128 bits para las direcciones
- Solución transitoria:
  - Network Address Translation: NAT
  - RFC 2663, RFC 3022

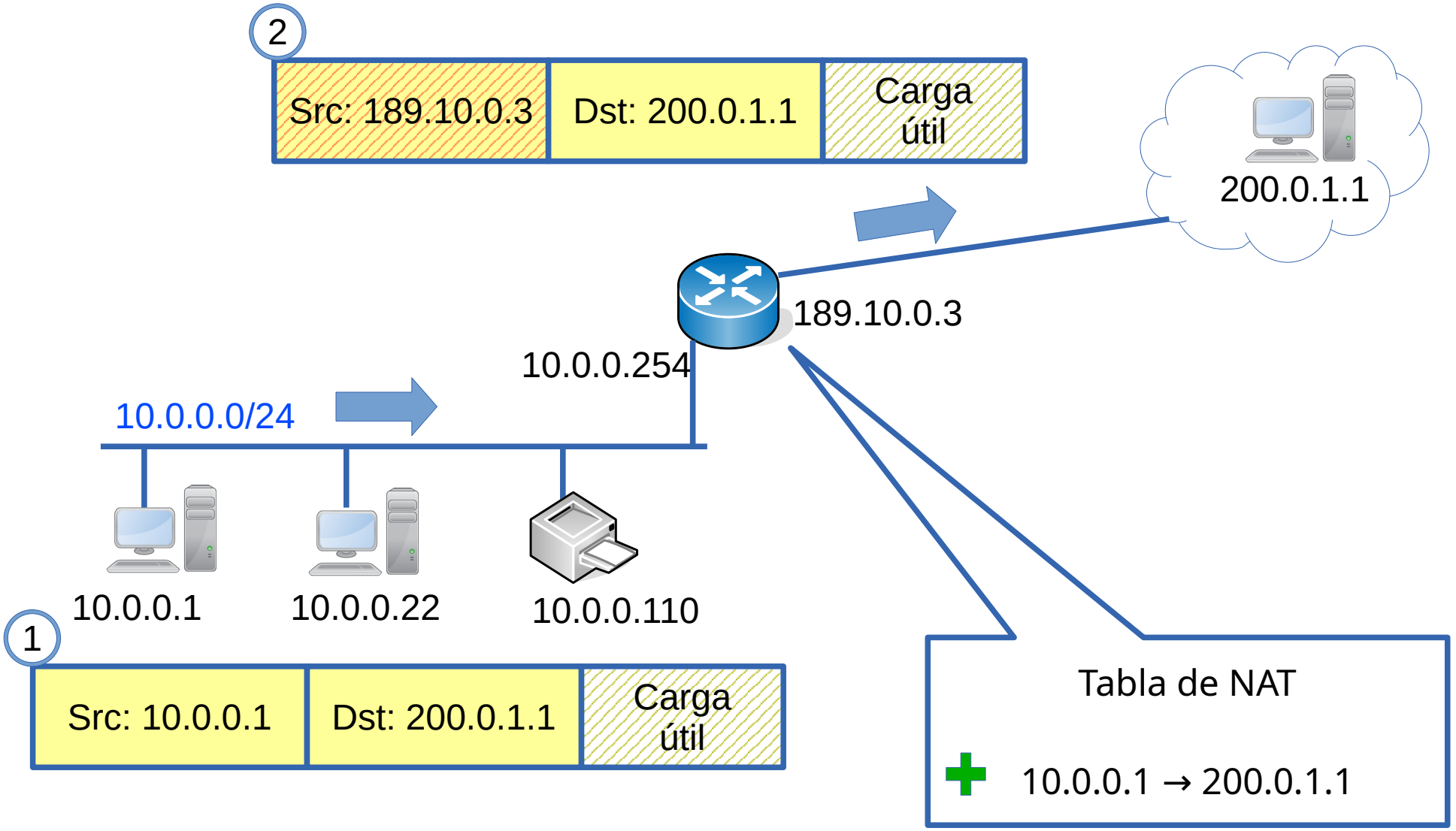
NAT: Network Address Translation

- ¿Necesitamos direcciones con validez global para comunicarnos entre los equipos de mi red?
- Podríamos usar otro protocolo diferente de IP, pero eso sería poco práctico
- La idea es usar IP con rangos de “direcciones privadas” (RFC 1918), en contraposición con “direcciones públicas”
- Esos rangos se pueden usar libremente dentro de mi red, pero no tienen validez en la red global
- ¿Cómo hago cuando necesito conectarme con un equipo de Internet?



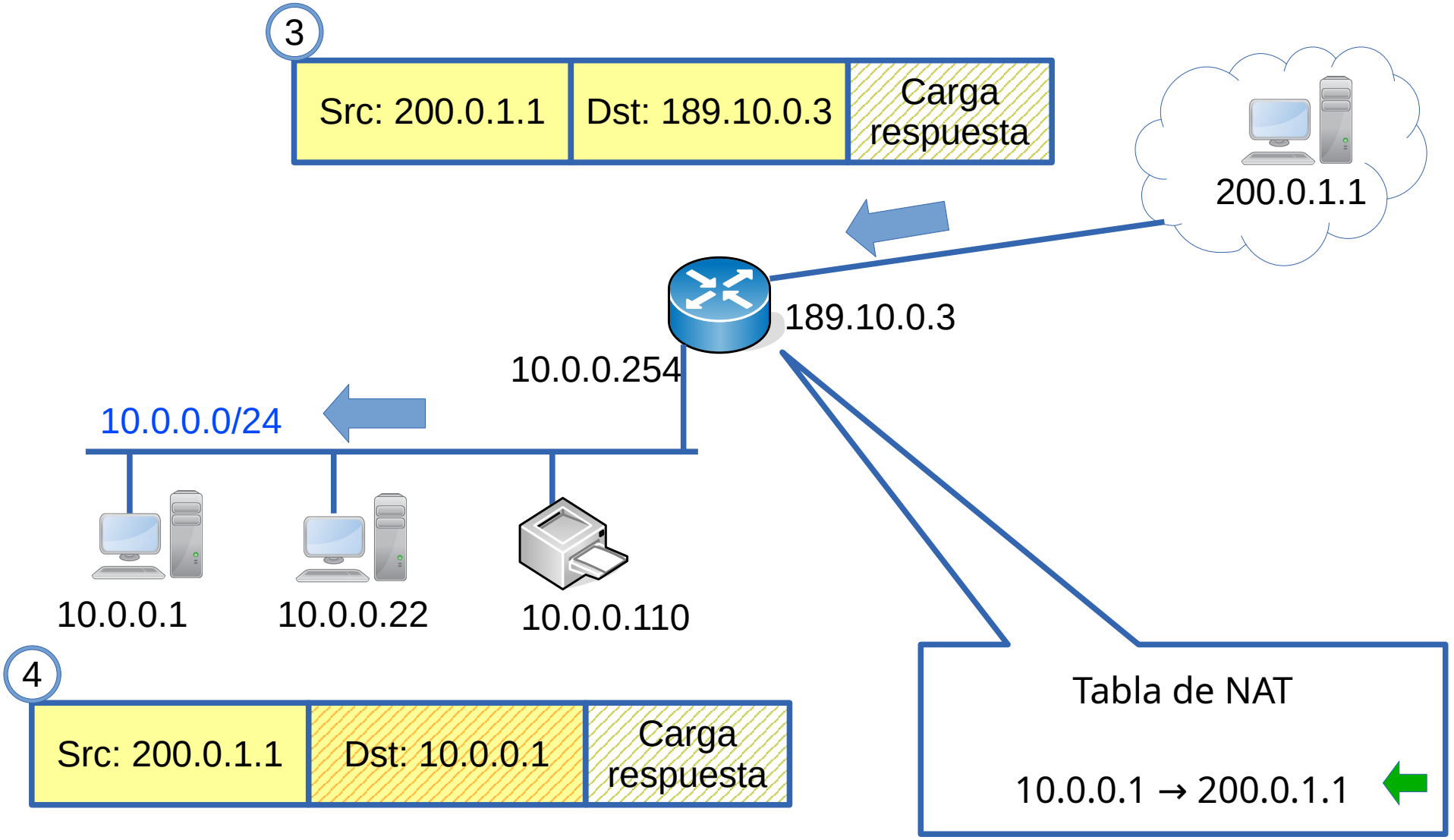
NAT: Network Address Translation

- La idea es cambiar o traducir las direcciones privadas en direcciones públicas, sólo cuando los paquetes tienen que salir a la red global



NAT: Network Address Translation

- Vuelta de los paquetes



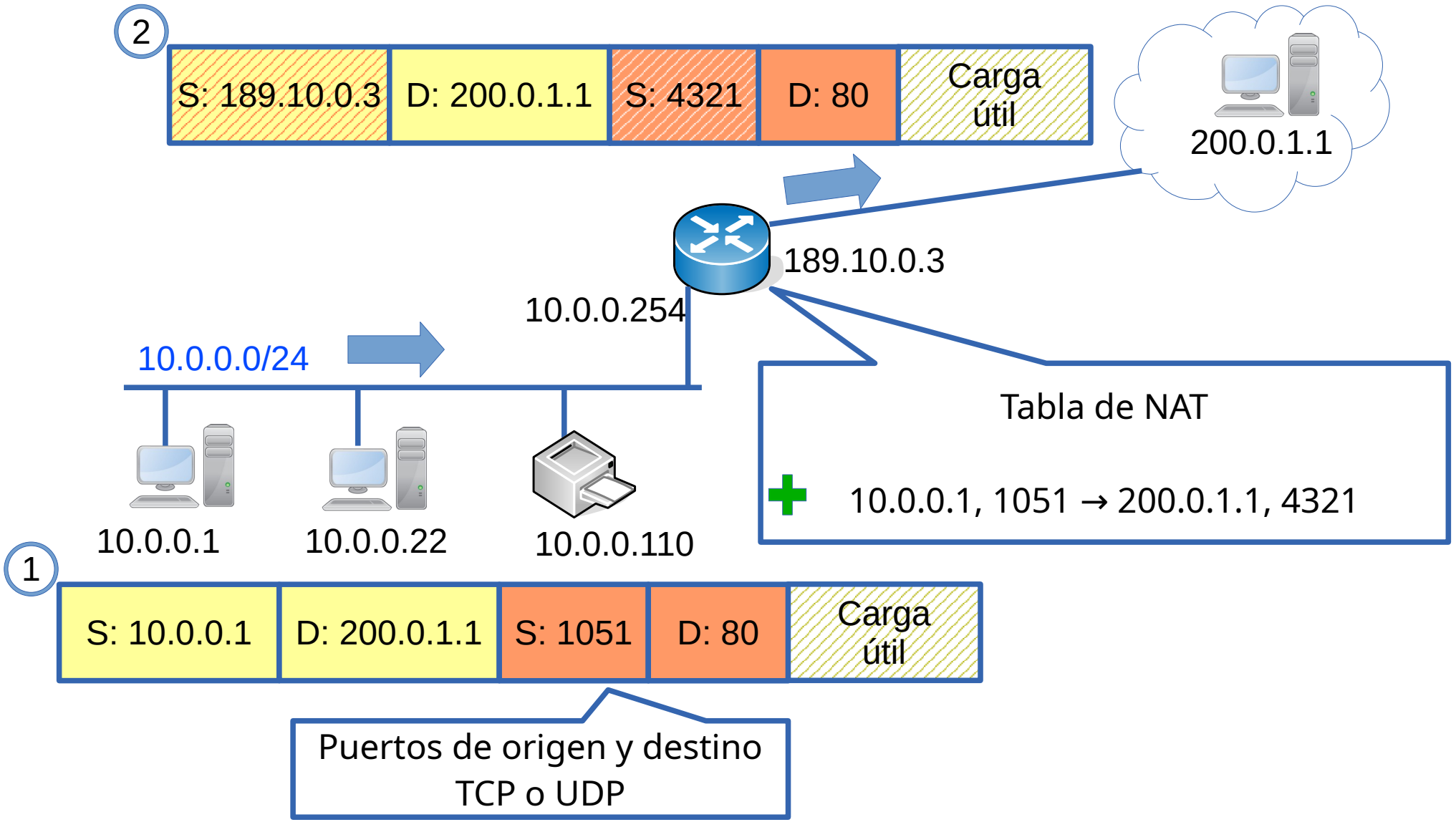
Direcciones para uso privado RFC 1918

- Rangos de direcciones para uso privado
  - 10.0.0.0/8
    - 10.0.0.0 a 10.255.255.255
  - 172.16.0.0/12
    - 172.16.0.0 a 172.31.255.255
  - 192.168.0.0/16
    - 192.168.0.0 a 192.168.255.255
- Estas direcciones no pueden aparecer (no tienen sentido) en la red pública y generalmente están filtradas por los enrutadores y los proveedores

NAT: Algunas limitaciones

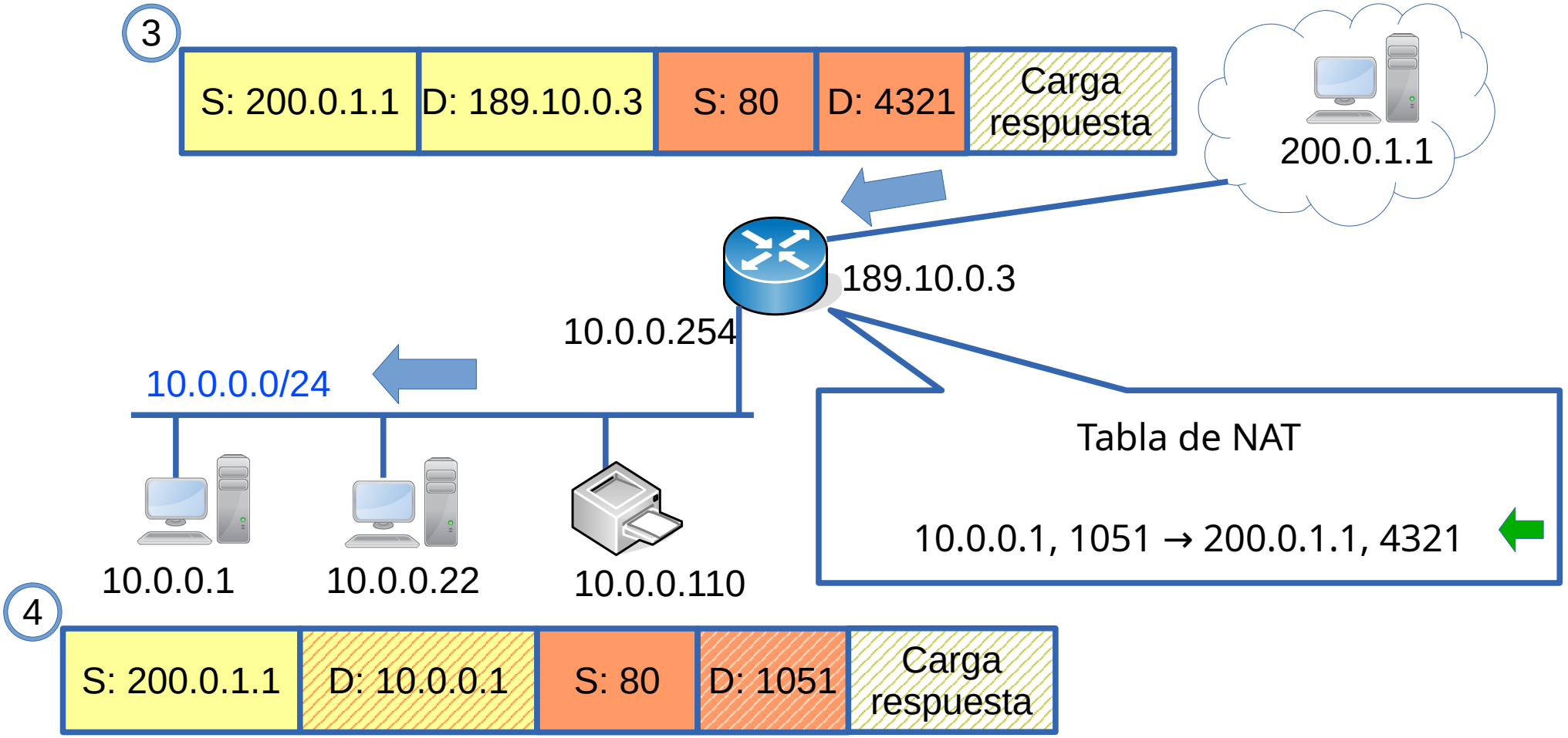
- Qué pasa si dos máquinas quieren salir a la vez ?
- Y si además quieren ir al mismo destino ?
  - Podría tener más de una dirección IP pública
- Qué pasa si se quiere ingresar desde Internet a una máquina de la red ?
  - Destination NAT
  - Tabla con asignación de IP y puerto público con IP y puerto privados
- Solución más general:
  - NAT/PAT: Network Address Translation y Port Address Translation
  - Cambiar los puertos de capa de transporte (TCP o UDP)

NAT/PAT


2
S: 189.10.0.3
D: 200.0.1.1
S: 4321
D: 80
Carga útil
200.0.1.1
189.10.0.3
10.0.0.254
10.0.0.0/24
Tabla de NAT
10.0.0.1, 1051 → 200.0.1.1, 4321
10.0.0.1
10.0.0.22
10.0.0.110
1
S: 10.0.0.1
D: 200.0.1.1
S: 1051
D: 80
Carga útil
Puertos de origen y destino
TCP o UDP

NAT/PAT

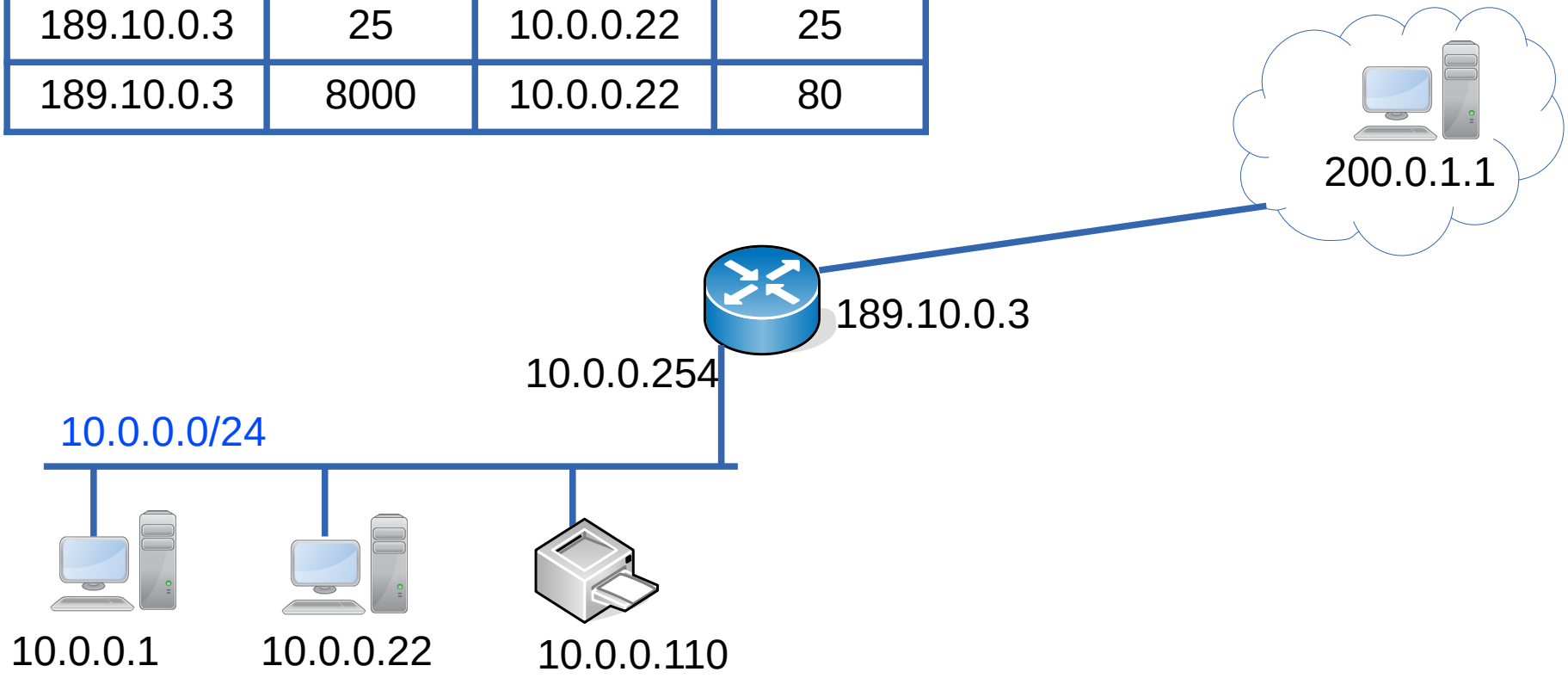
- Vuelta de los paquetes



Destination NAT

- ¿Cómo hago para brindar servicios accesibles desde Internet?
- ¿Cómo publico mi servidor web, mi servidor de correo?

IP Pública	Puerto Público	IP Privada	Puerto Privado
189.10.0.3	80	10.0.0.1	80
189.10.0.3	25	10.0.0.22	25
189.10.0.3	8000	10.0.0.22	80

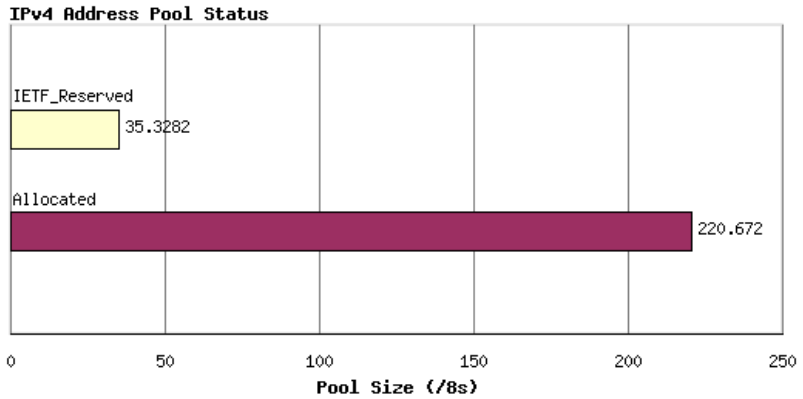


NAT/PAT

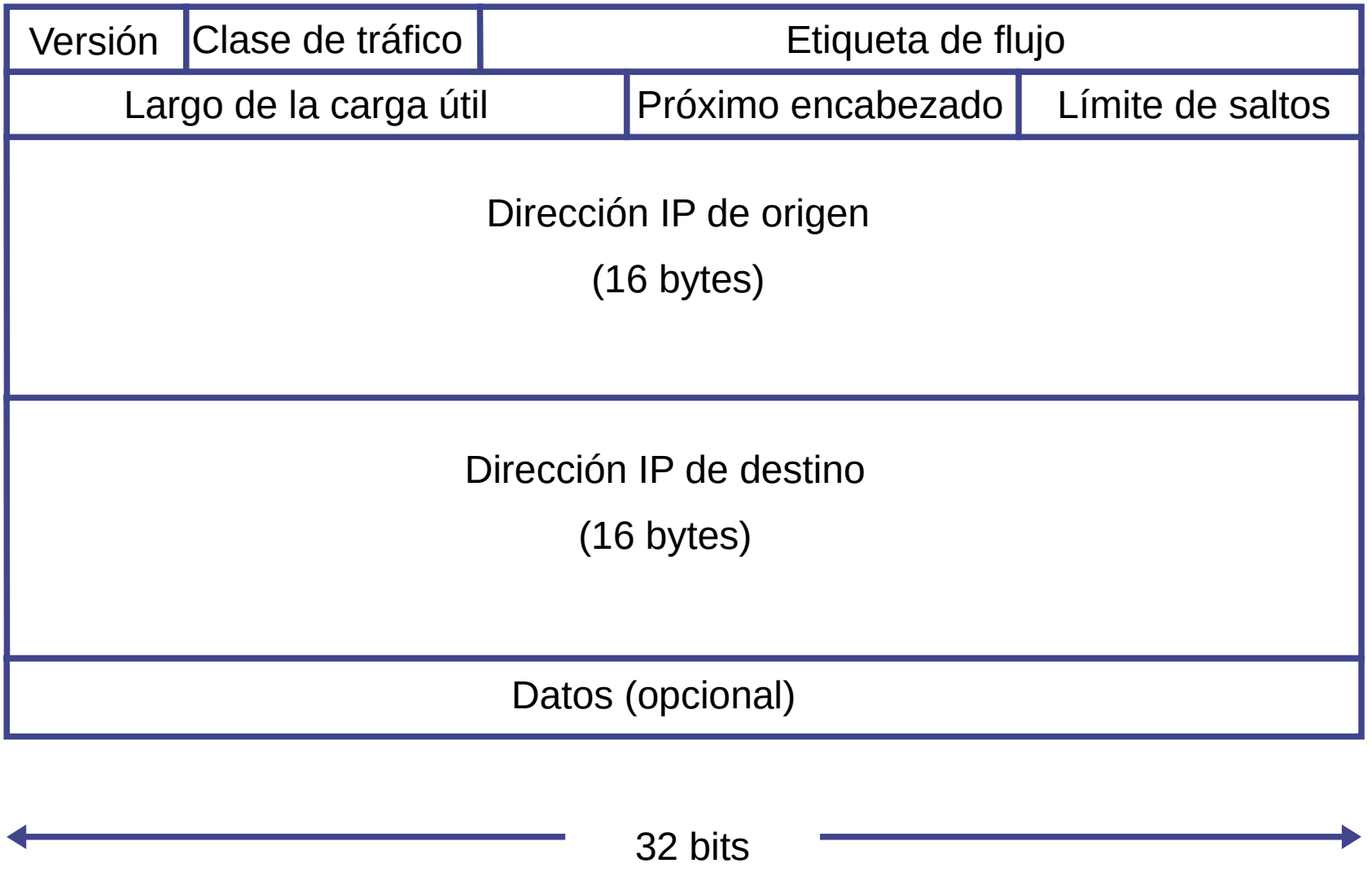
- En las redes de hogar, el router obtiene una dirección IP del proveedor y asigna un rango de IPs mediante DHCP a los equipos de la red privada
- Algunas aplicaciones tienen problemas con el NAT porque en sus mensajes de capa de aplicación incluyen las direcciones IP o puertos que están usando los equipos en los extremos de la conexión
  - Existen mecanismos de "NAT Traversal" para esos casos
- El NAT esconde la topología y las direcciones de la red interna
- El NAT rompe principio end-to-end:
  - Los nodos intermedios solamente deberían encaminar los paquetes de origen a destino sin analizarlos, modificarlos o procesarlos
  - Está vinculado al concepto de Neutralidad de la red
- Pero hay otras "middle-boxes" que también lo hacen:
  - Balance de carga
  - Priorización de tráfico
  - Firewalls
  - Intruction detection y protection systems (IDS, IPS)

Escasez de direcciones: Protocolo IPv6

- A principios de los ‘90 se identificó que se necesitaba una nueva versión del protocolo IP, principalmente para aumentar el espacio de direcciones
- El NAT/PAT se incorporó como un mecanismo transitorio
- Además de aumentar el espacio de direcciones se aprovechó para mejorar otras cosas de IPv4
- Estado actual de IPv4 (https://ipv4.potaroo.net/, reporte del 21-Aug-2019):
  - ➔ IANA Unallocated Address Pool Exhaustion: 03-Feb-2011
  - ➔ RIR Address Pool Exhaustion Dates:
  - APNIC: 19-Apr-2011 (real)
  - RIPE NCC: 14-Sep-2012 (real)
  - LACNIC: 10-Jun-2014 (real)
  - ARIN: 24 Sep-2015 (real)
  - AFRINIC: 12-Feb-2020 (proyectado)



Paquete IPv6

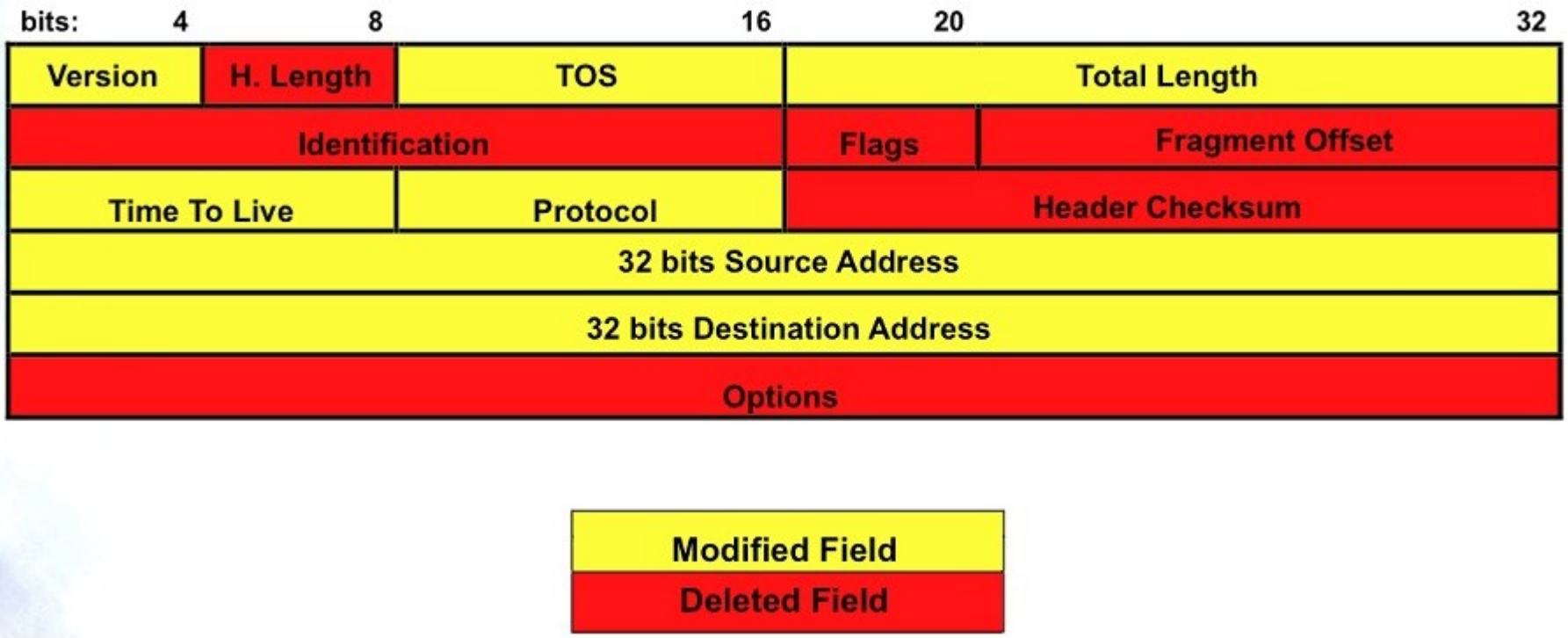


Principales cambios de IPv4 a IPv6

- Direccionamiento:
  - Se pasa de direcciones de 32 bits a 128 bits!!
    - Hay 2^{128} direcciones (aproximadamente 3×10^{38})
    - Hay 7×10^{23} direcciones por metro cuadrado del planeta (incluyendo el agua!!)
  - Además de las direcciones unicast (una interfaz) o multicast (varias interfaces, en particular broadcast) existentes en IPv4, se definen las direcciones anycast que permiten direccionar a una dirección de un grupo de equipos
    - Usadas para distribución de contenido
- Simplificación del encabezado
  - Para encaminamiento más rápido en los enrutadores
  - Encabezado de tamaño fijo
  - Eliminación del checksum
  - No se permite fragmentación en equipos intermedios

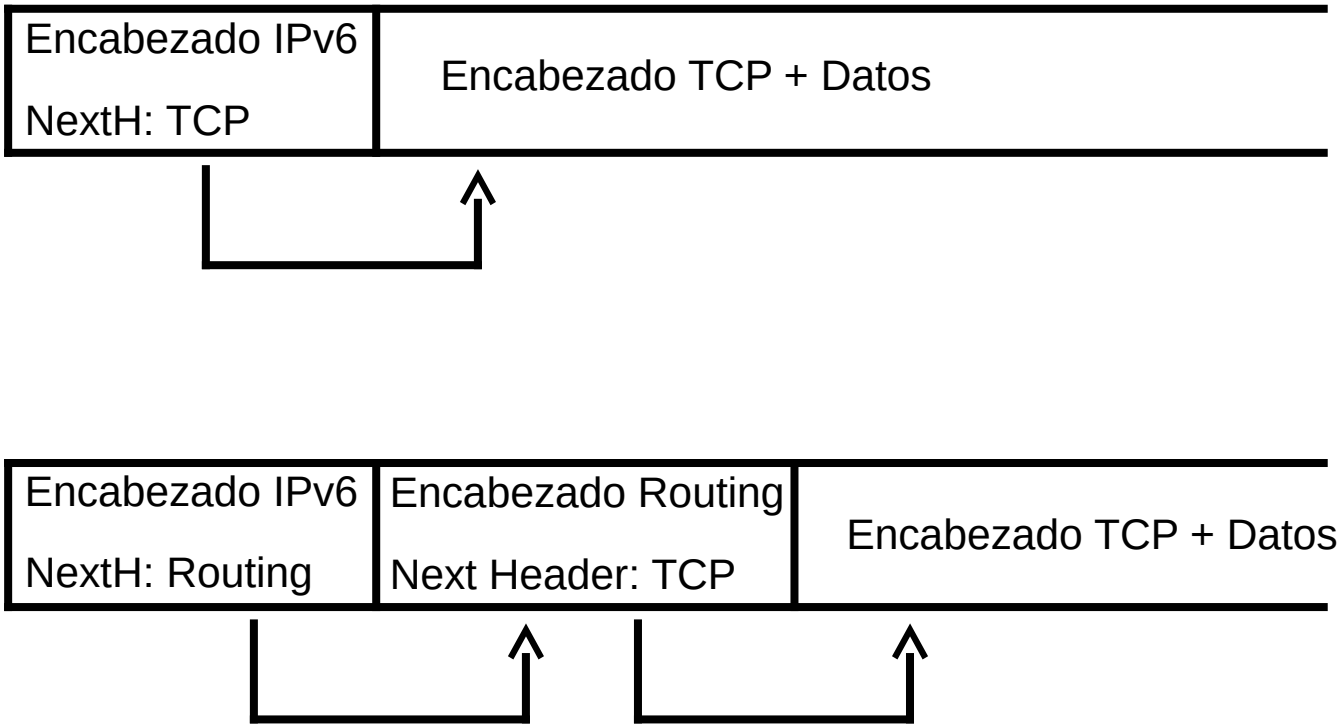
Principales cambios de IPv4 a IPv6

- Revisión de parámetros:
  - largo (de carga útil), protocolo (next header), TTL (hop limit)
  - versión
- Identificadores de flujo
  - Para permitir tráficos con calidad diferenciada
  - Nuevos campos flow label, traffic class (tipo de servicio en IPv4)



Principales cambios de IPv4 a IPv6

- El campo Opciones de IPv4 ahora se implementa con encabezados de extensión (extension headers)



Capa de red
Plano de control

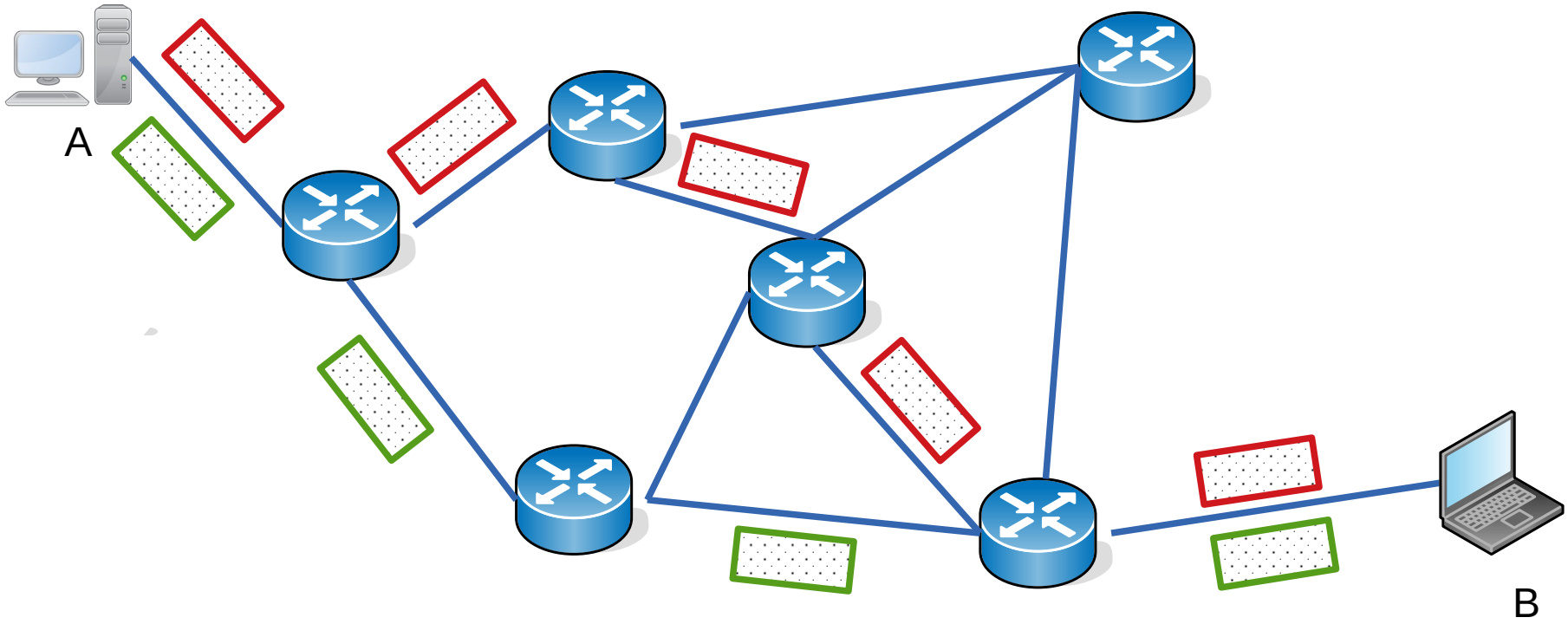
Facultad de Ingeniería – Universidad de la República

Agenda

- Conceptos de capa de red
- Plano de datos
- Plano de control
  - Algoritmos de ruteo
  - Clasificación de algoritmos
  - Algoritmos de estado del enlace
  - Algoritmos de vector distancia
  - Internet Control Message Protocol (ICMP)
- Redes de circuitos virtuales
- Seguridad: Firewalls

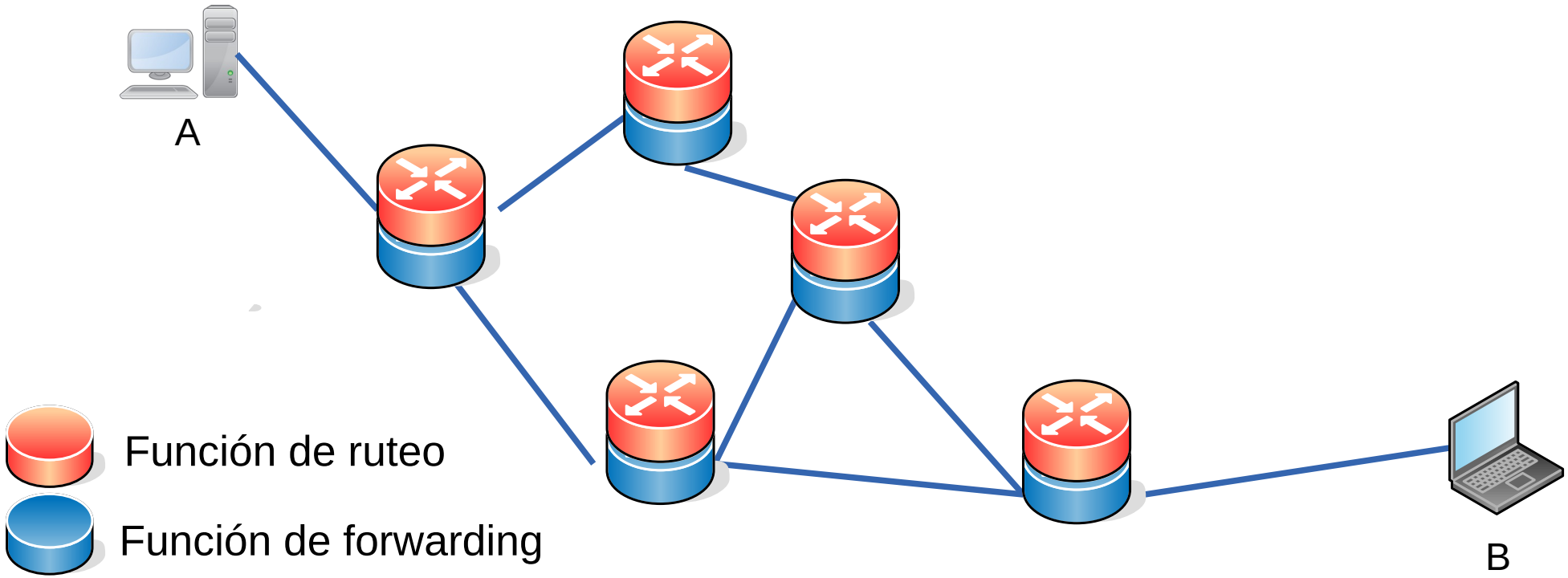
Función de Ruteo

- Cuál es el mejor camino para ir de A a B?



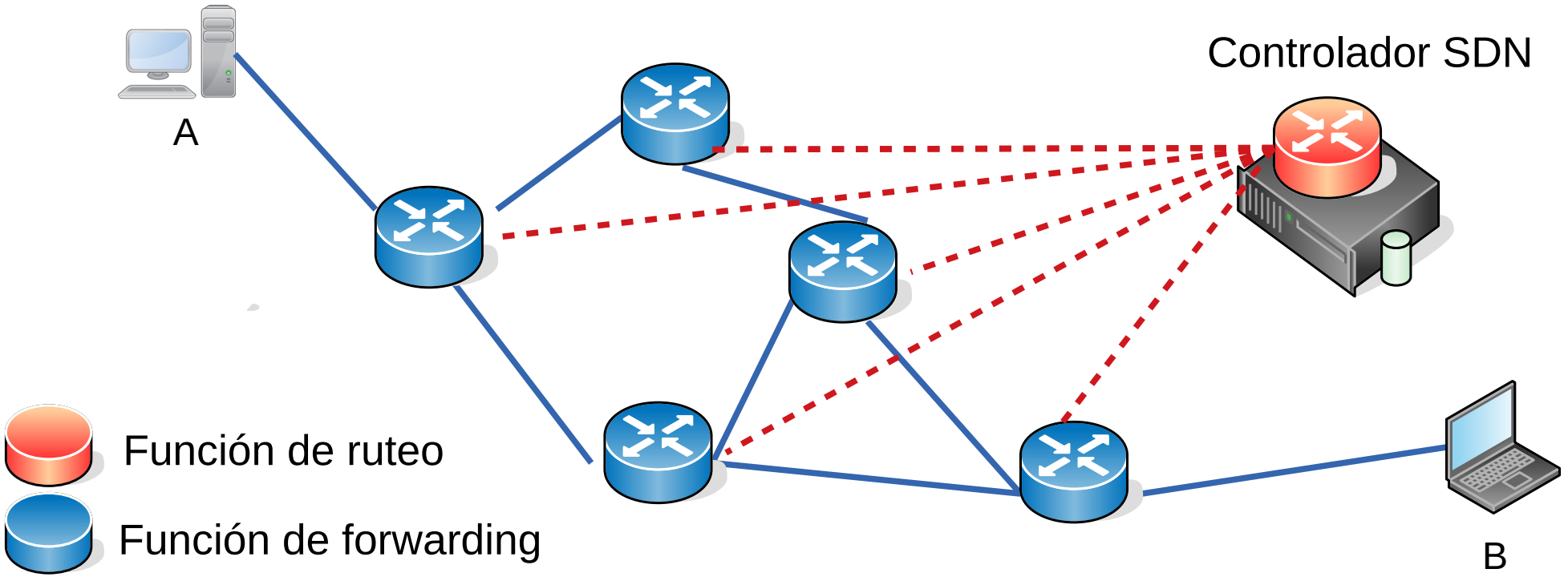
Relación entre ruteo y forwarding

- Las decisiones de ruteo (elección del camino), determinan el contenido de las tablas de forwarding de los equipos involucrados en el camino
- En la arquitectura tradicional los nodos implementan ambas funciones



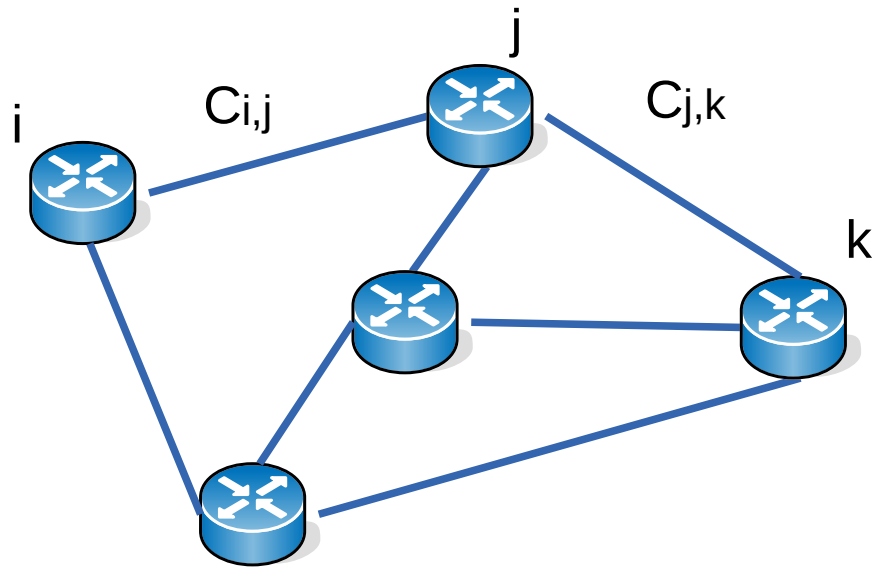
Relación entre ruteo y forwarding

- La arquitectura SDN (Sofware Defined Networking) plantea la separación del plano de control y de datos en diferentes equipos
- Plano de Control: equipo con un controlador SDN que toma las decisiones (función de ruteo en particular) y distribuye las tablas de forwarding a los conmutadores. El controlador es un software que corre en un servidor
- Plano de Datos: conmutadores especializados en el forwarding de paquetes a alta velocidad



Algoritmos de ruteo

- Ya sea que la función de ruteo se realice de forma distribuida o centralizada, se necesitarán algoritmos que permitan encontrar los mejores caminos desde todos los posibles orígenes a todos los posibles destinos
- Se hace una abstracción de la red a un grafo con pesos o costos
  - Los pesos o costos pueden ser los largos de los enlaces, las velocidades, el costo en $
- El costo del camino entre A y B será la suma de los costos de cada tramo que compone el camino
- Interesa obtener el "camino de menor costo" (least-cost path) o "camino más corto" (shortest path)



Clasificación de algoritmos de ruteo

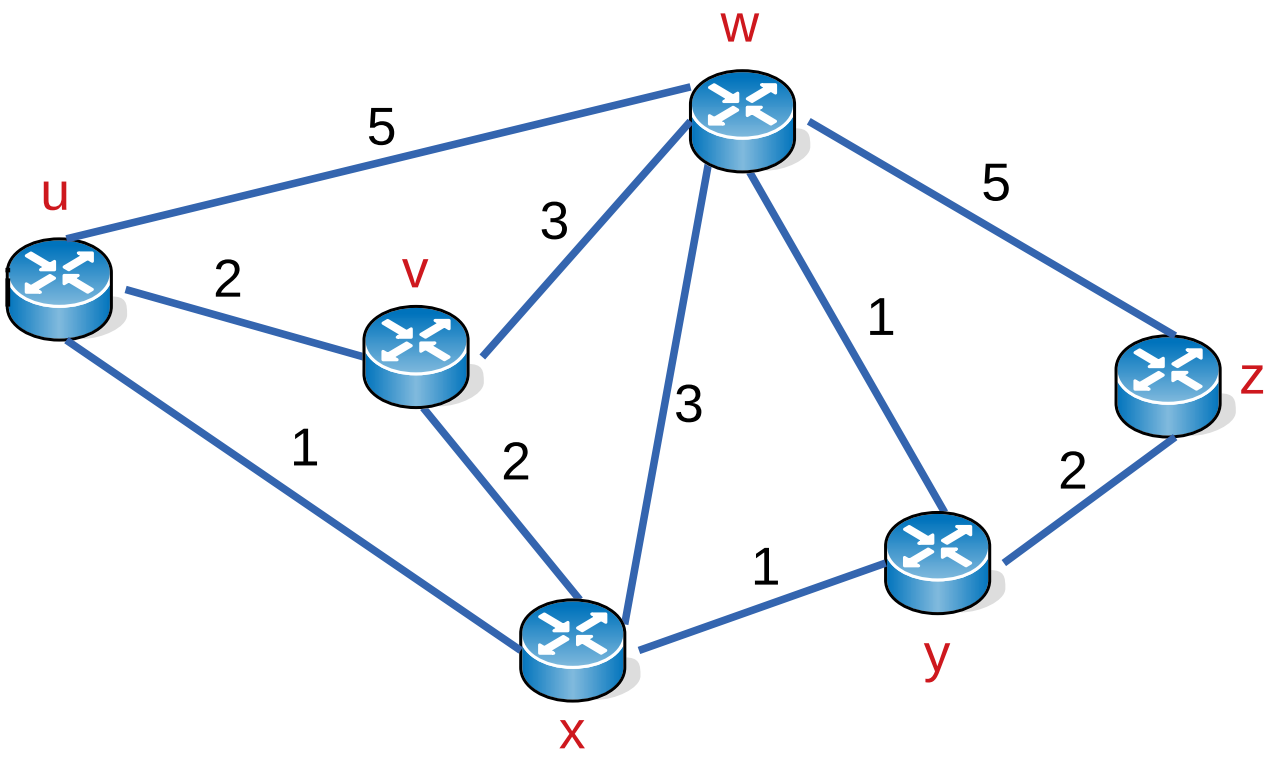
- Estáticos
  - Se realiza el cálculo una vez y luego se configuran manualmente las tablas de forwarding en base a esos cálculos
  - No se adaptan a los cambios, requieren procedimientos manuales si cambia la topología de la red o los costos de los enlaces
- Dinámicos
  - Permiten cambiar los caminos automáticamente teniendo en cuenta los cambios de la topología o los costos de los enlaces de la red
  - Pueden recalcular periódicamente los caminos o recalcularlos cuando se producen cambios en la red (cambios de topología o de costos)
  - Requieren intercambio de información entre los enrutadores o entre los switches y el controlador (en SDN) para enterarse de los cambios de topología (protocolos de ruteo)
- En la práctica en Internet, los algoritmos que se usan no son sensibles a la carga de los enlaces

Clasificación de algoritmos de ruteo dinámico

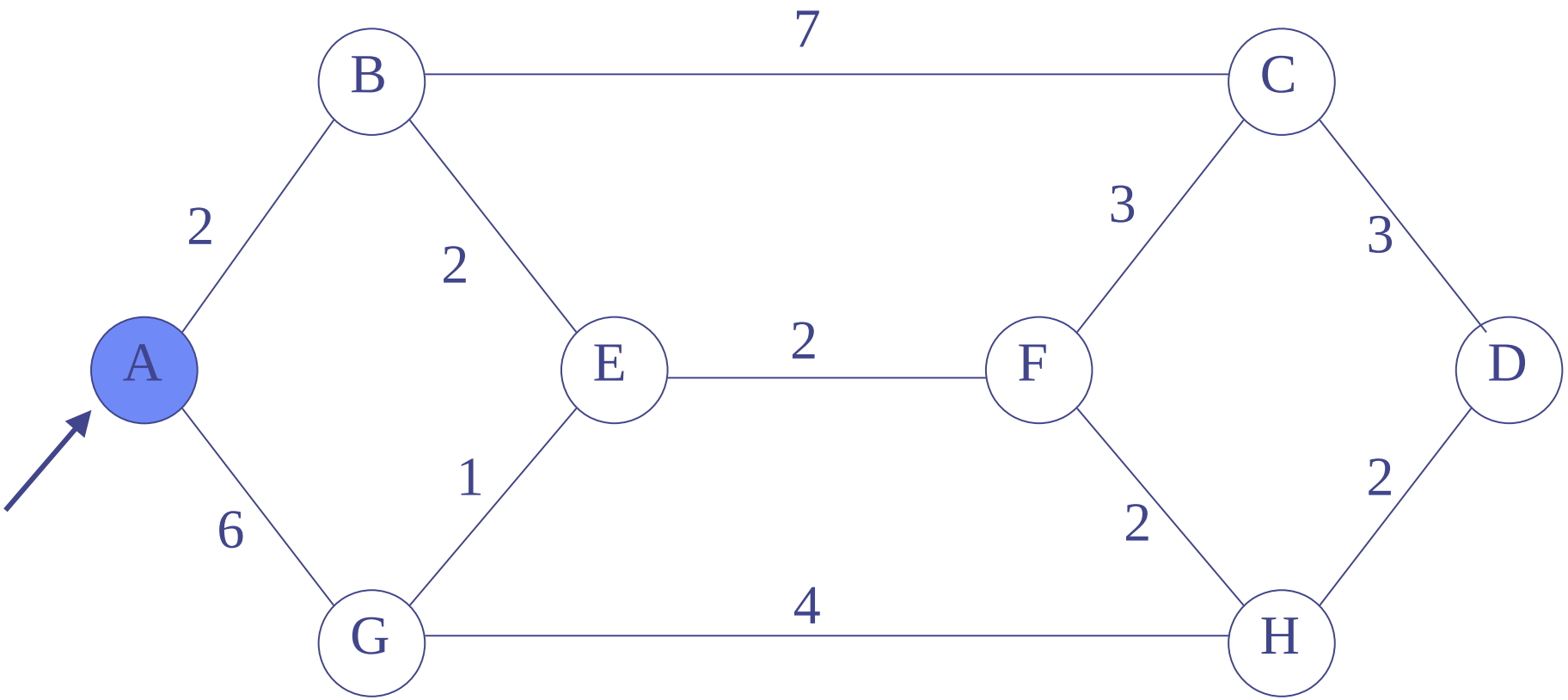
- Centralizados
  - Se conoce el grafo de la red con sus nodos, enlaces y costos
  - El cálculo se puede hacer en cada componente de la red (arquitectura tradicional) o en un controlador central (arquitectura SDN)
  - Estos algoritmos se conocen como de “estado del enlace” o “link-state (LS)” ya que conocen el costo (o estado) de todos los enlaces de la red
- Descentralizados
  - Los caminos se calculan de forma iterativa y distribuida en los enrutadores
  - No hay un nodo que tenga la información completa de todos los enlaces
  - Cada nodo comienza sabiendo los costos de los enlaces con sus vecinos y mediante intercambios de información con ellos, iterativamente va aprendiendo cómo llegar a los demás destinos
  - Se conocen como de “vector distancia” o “distance-vector (DV)” ya que cada enrutador mantiene una tabla de distancias aprendidas a los destinos de la red

Algoritmos de estado del enlace

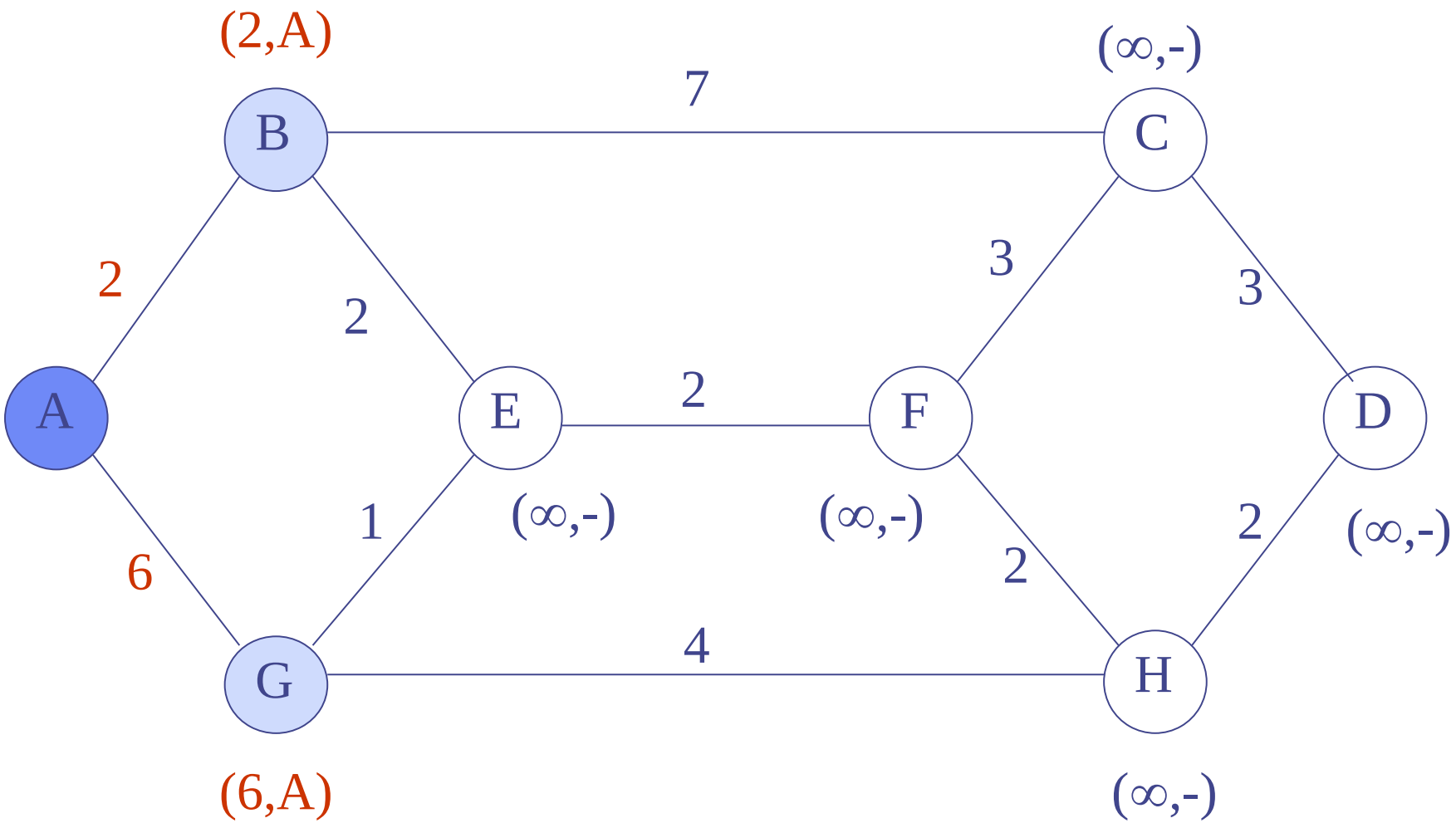
- Link State routing algorithms (LS)
- En la arquitectura tradicional, cada nodo conoce el grafo con nodos, enlaces y costos
- En la arquitectura SDN, el controlador tiene la información de toda la red
- El algoritmo más conocido y usado es el de Dijkstra
- Permite calcular el camino de menor costo desde cada origen a cada destino



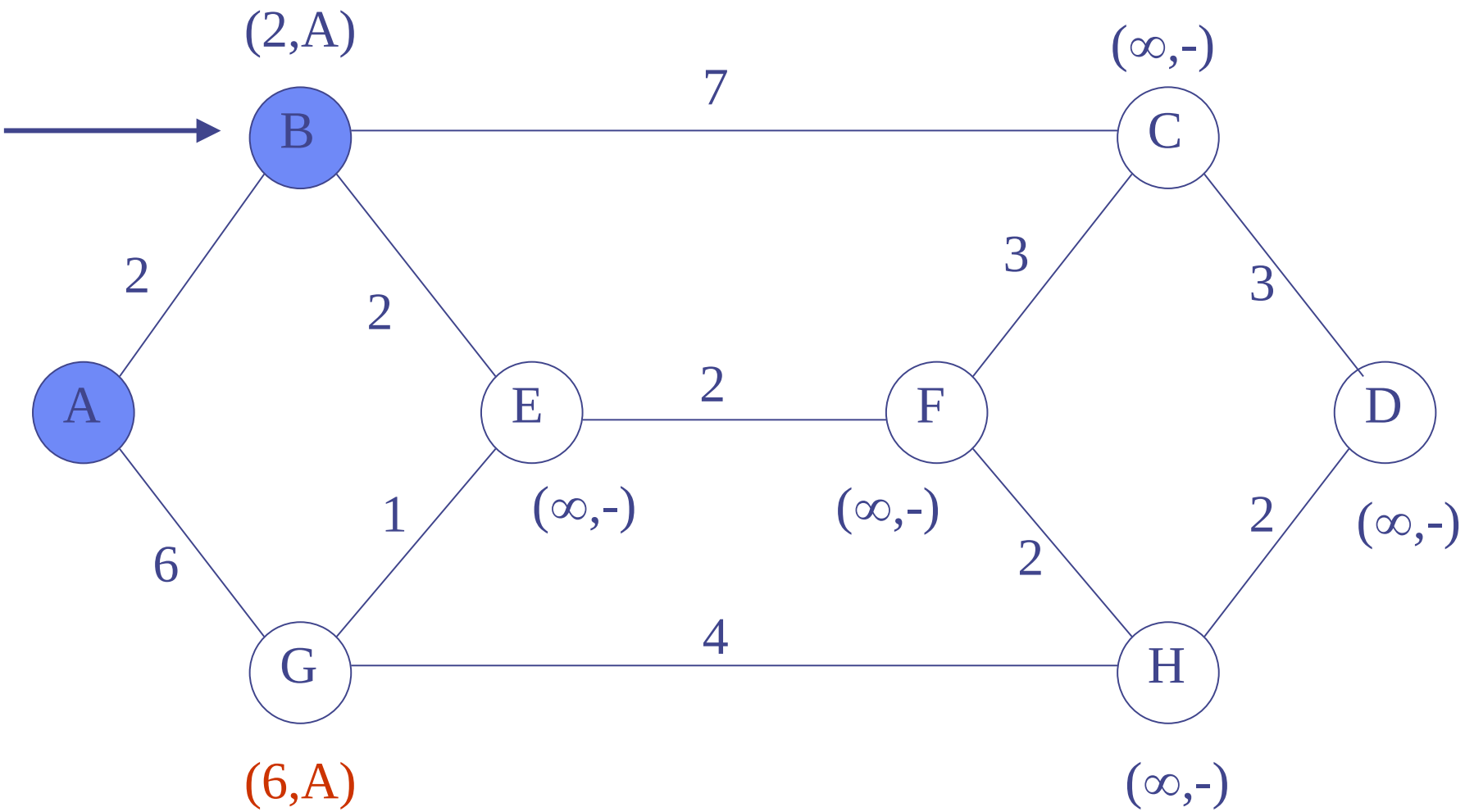
Ejemplo de Algoritmo de Dijkstra



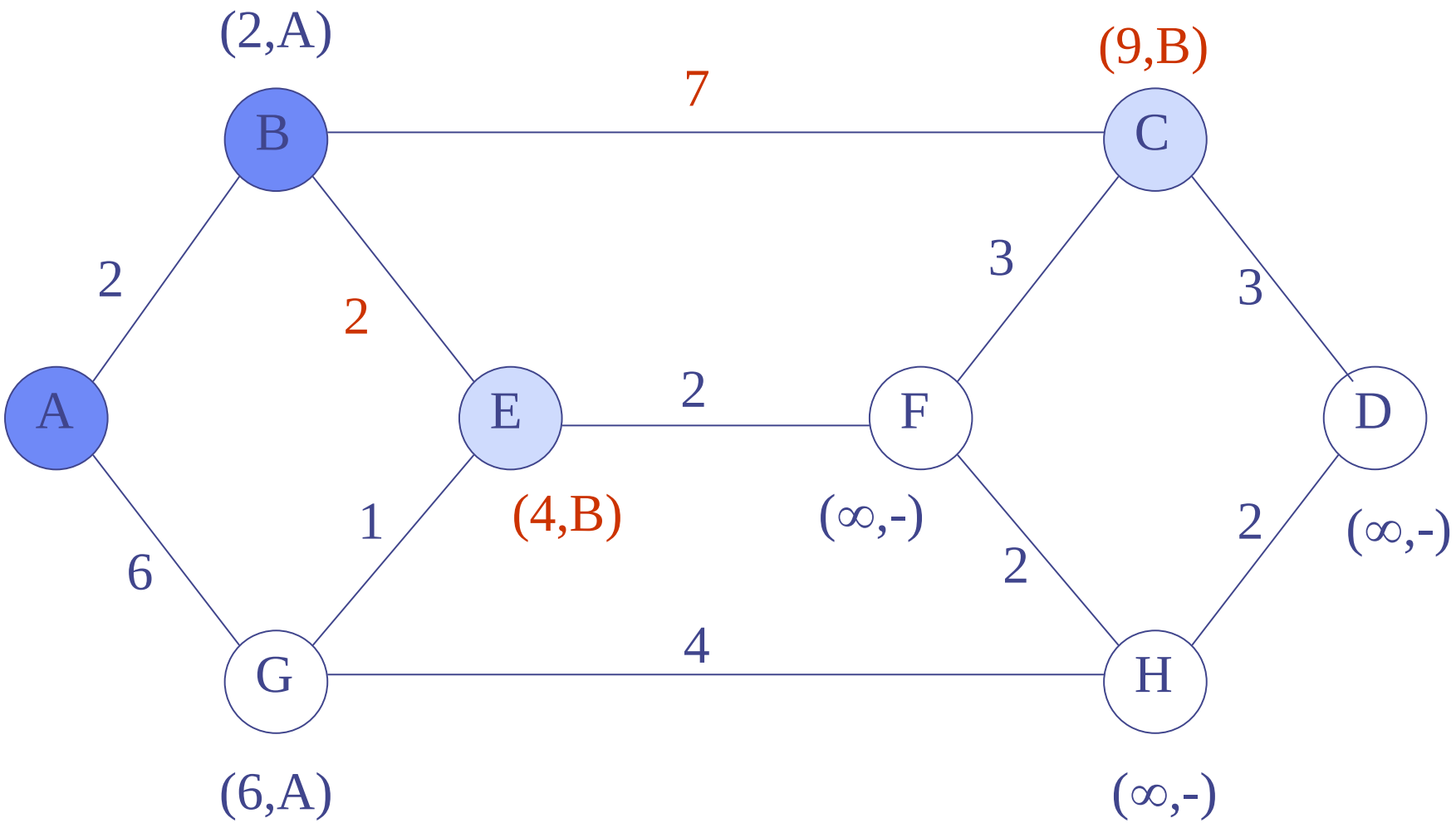
Dijkstra: Etiquetado inicial



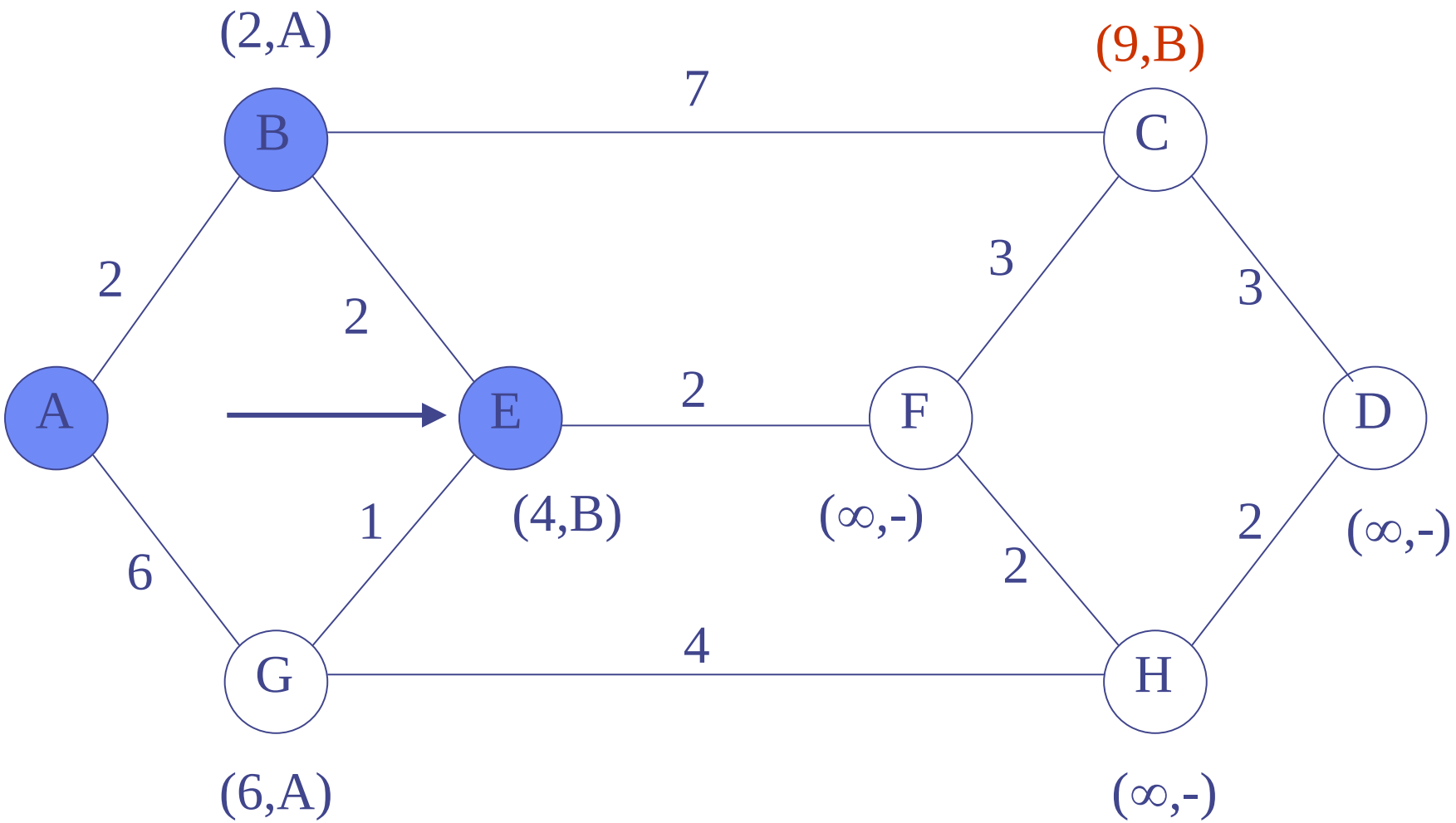
Dijkstra: Etiquetado inicial



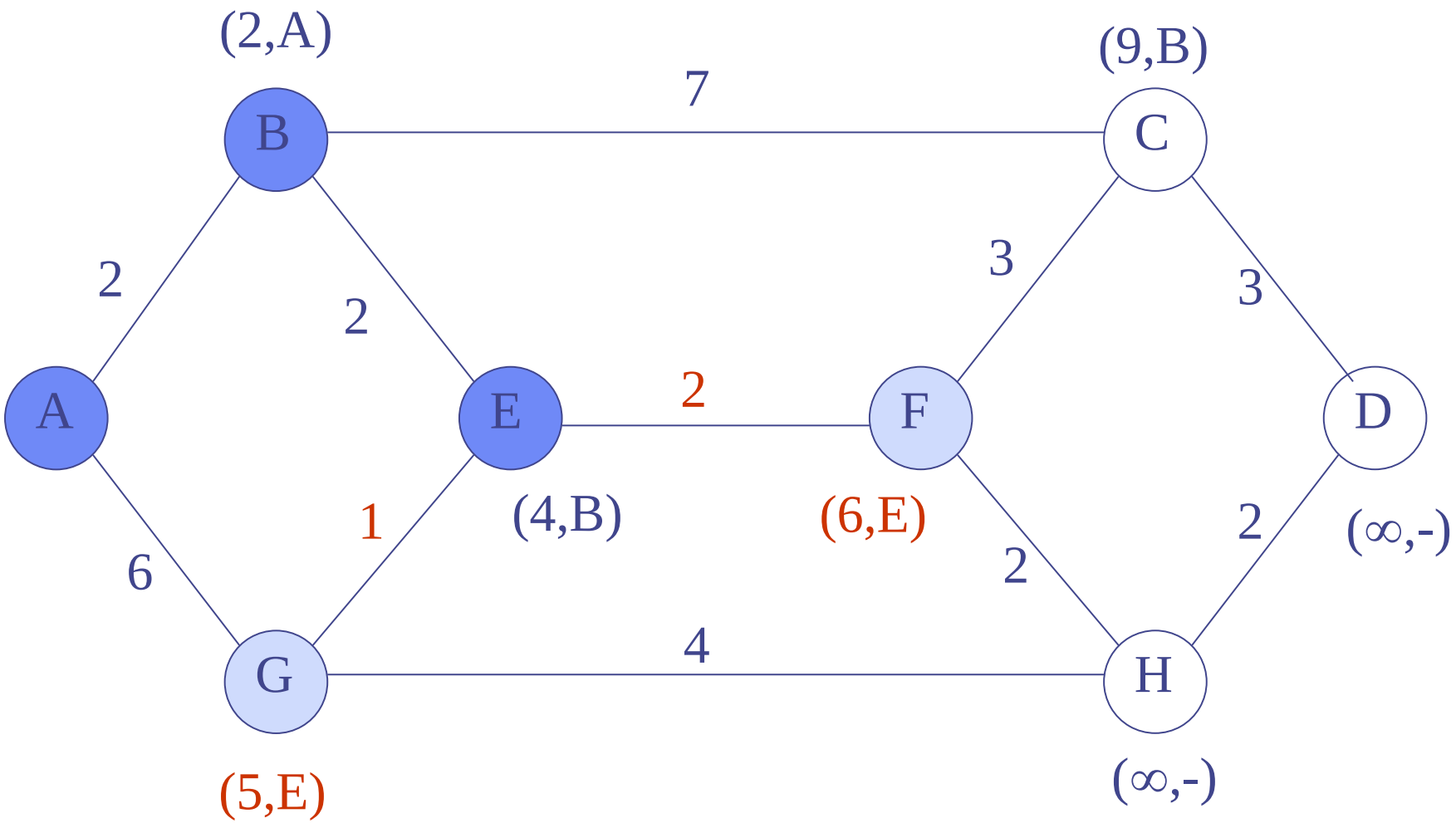
Dijkstra ...



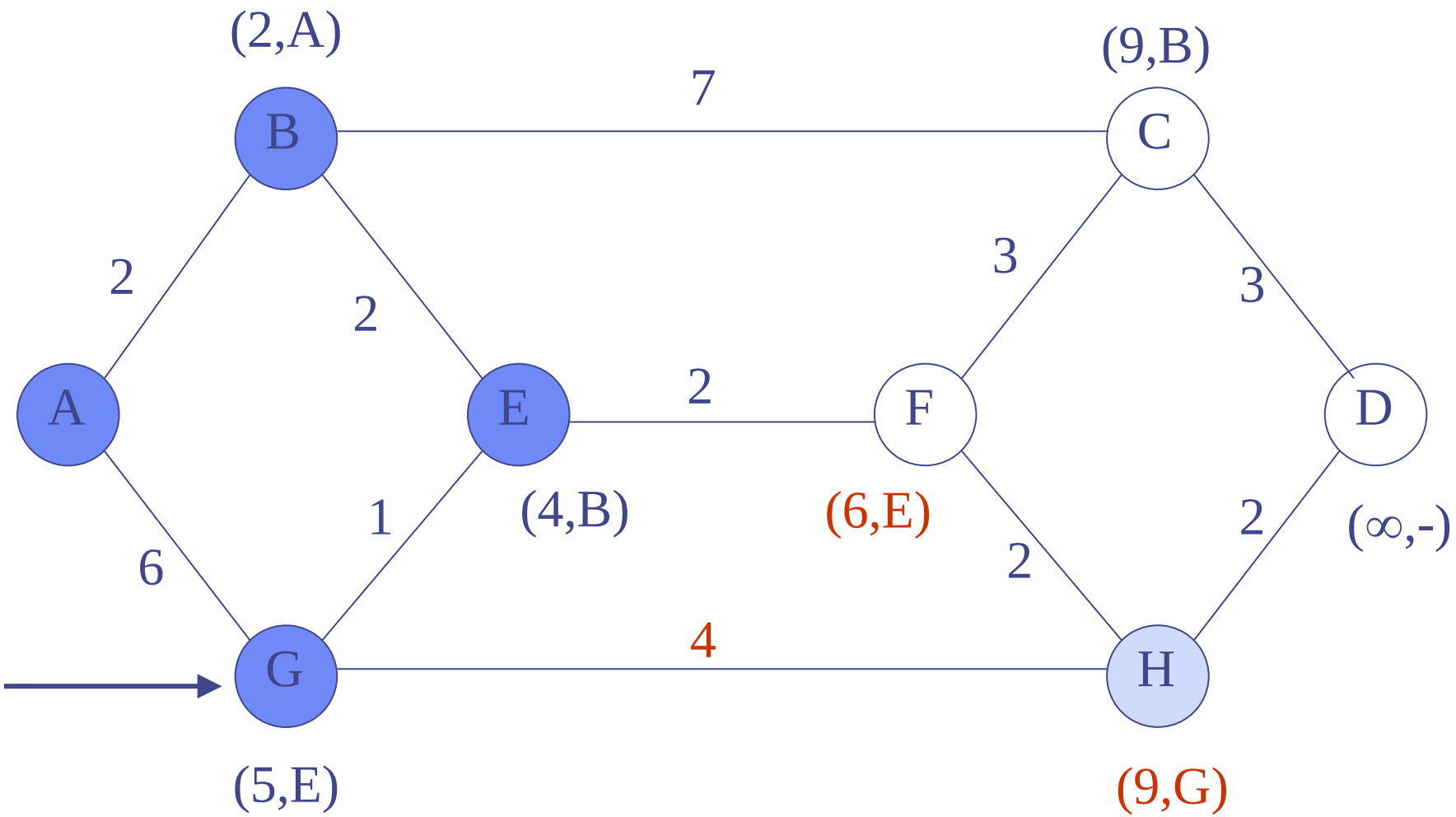
Dijkstra ...



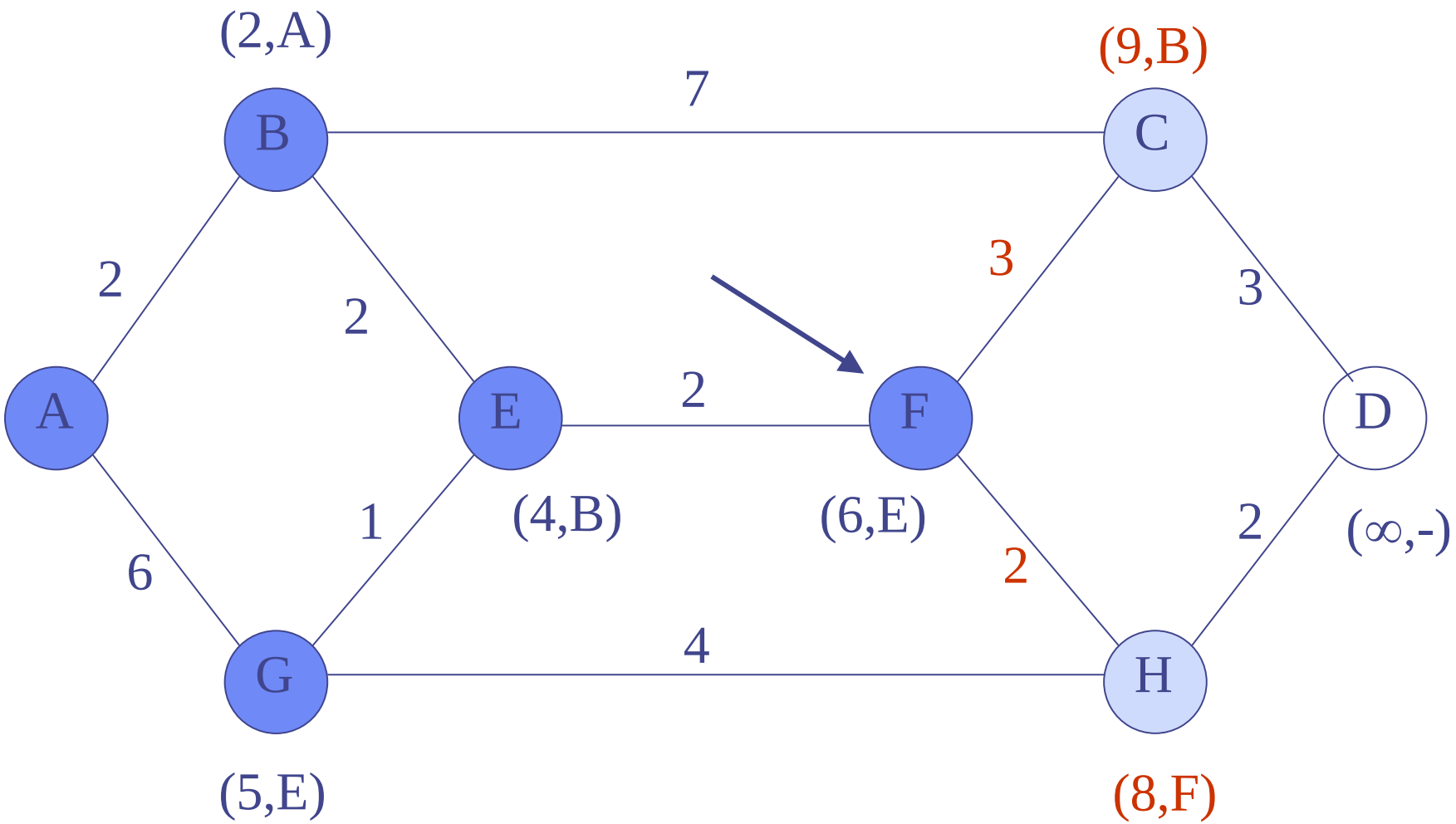
Dijkstra ...



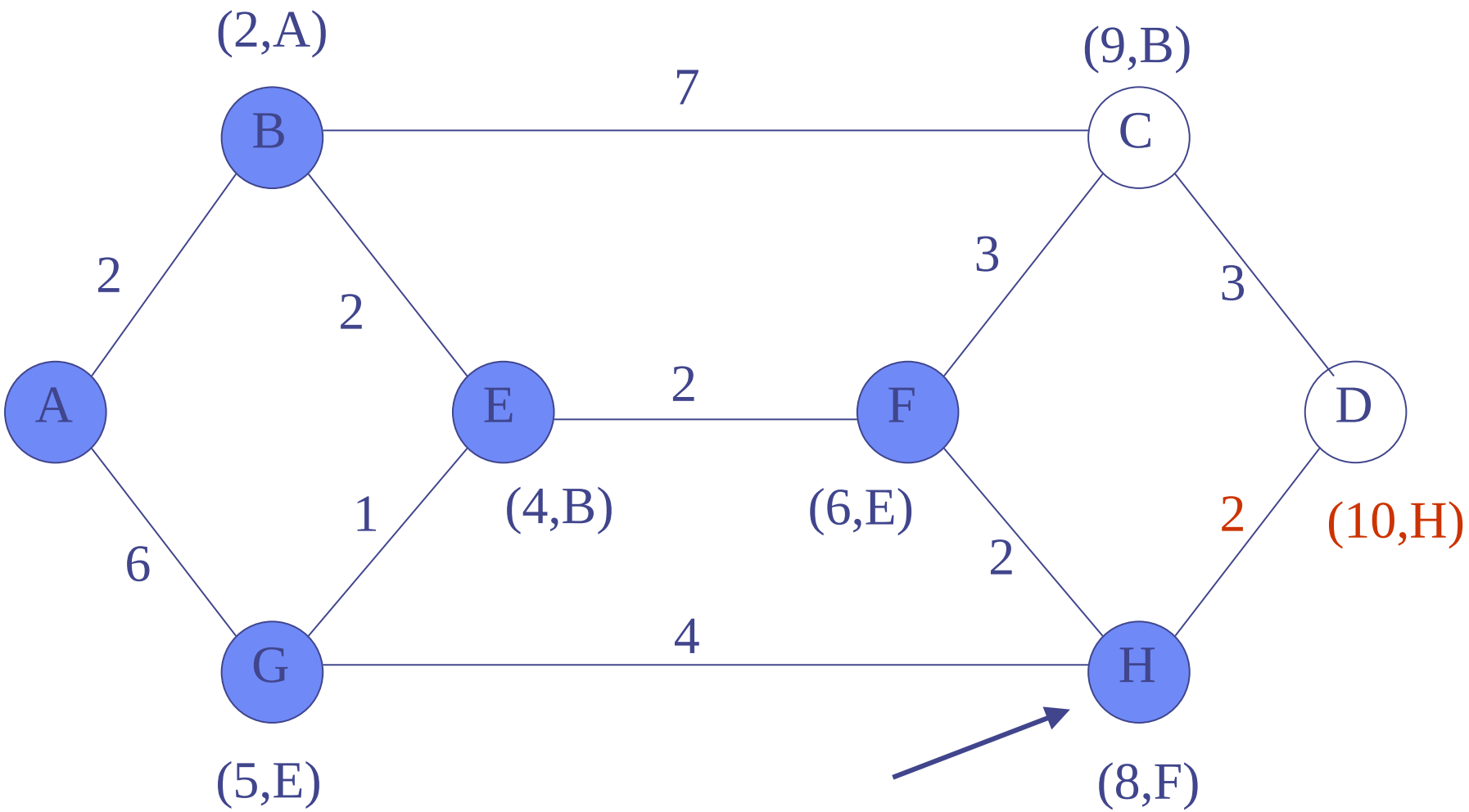
Dijkstra ...



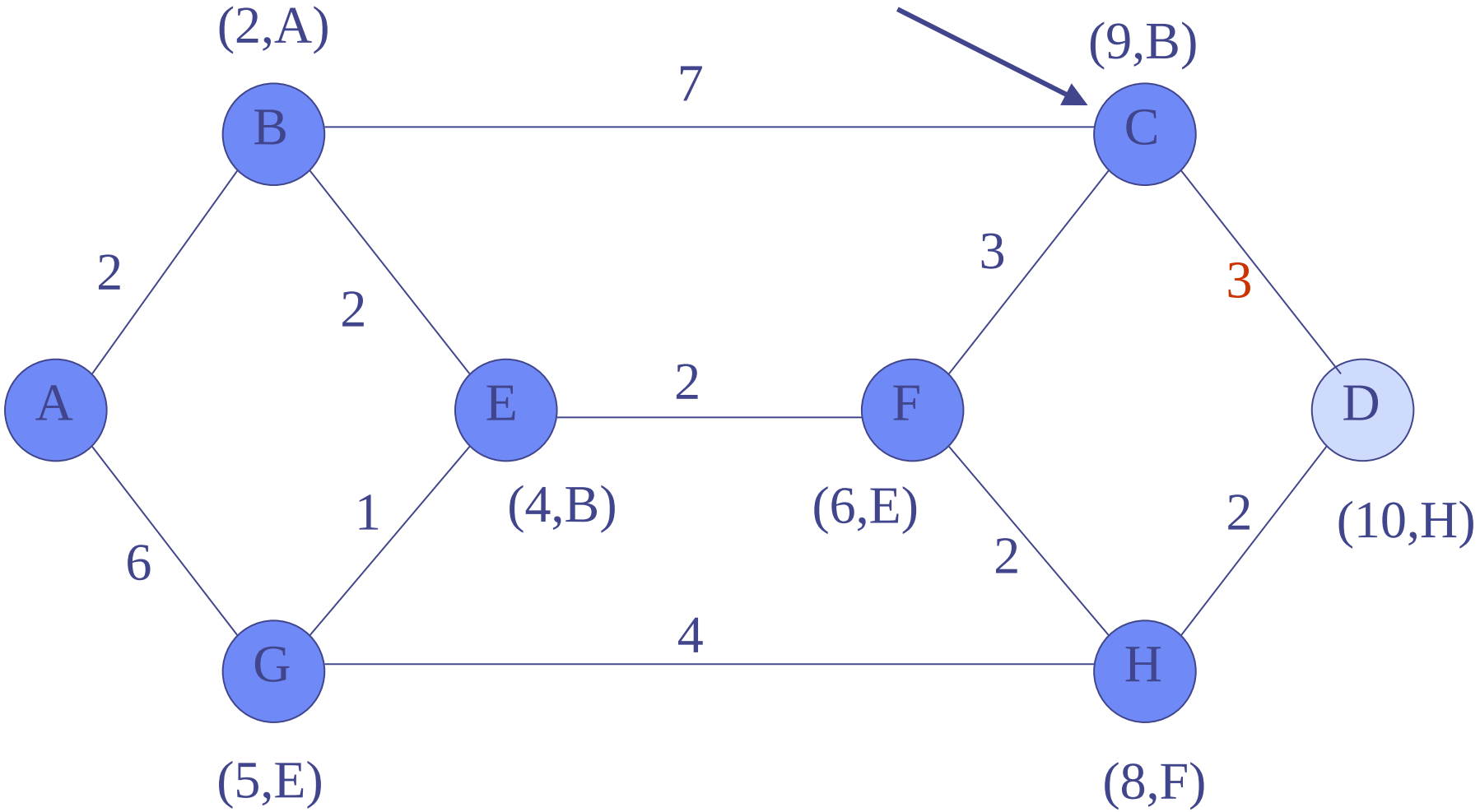
Dijkstra ...



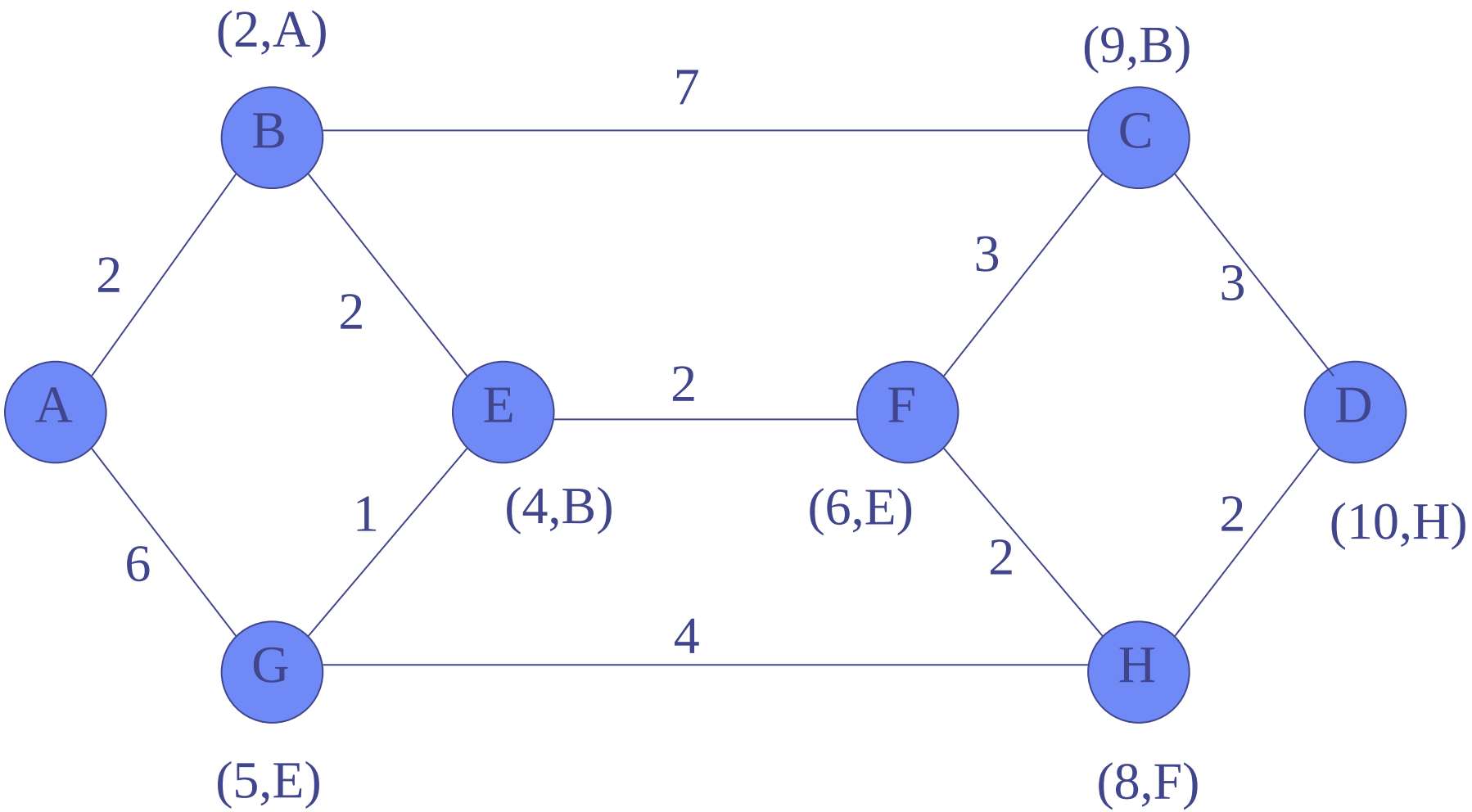
Dijkstra …



Dijkstra …



Dijkstra ...



Dijkstra: Notación

- Es un algoritmo iterativo que dado un nodo origen permite, en sucesivos pasos, calcular la distancia y camino a los demás nodos
- Notación:
  - N : conjunto de nodos del grafo
  - c(i, j) : costo del enlace entre i y j
  - D(i) : distancia del nodo i al nodo origen en un paso dado
  - p(i) : vecino de i por el que se llega al origen con el menor costo en un paso dado
  - N’ : conjunto de nodos cuya distancia ya está definitivamente conocida

Dijkstra - Nodo origen: u

Paso	N'	D(v), p(v)	D(w), p(w)	D(x), p(x)	D(y), p(y)	D(z), p(z)
0	u	2, u	5, u	1, u	∞	∞
1	ux	2, u	4, x		2, x	∞
2	uxy	2, u	3, y			4, y
3	uxyv		3, y			4, y
4	uxyvw					4, y
5	uxyvwz					

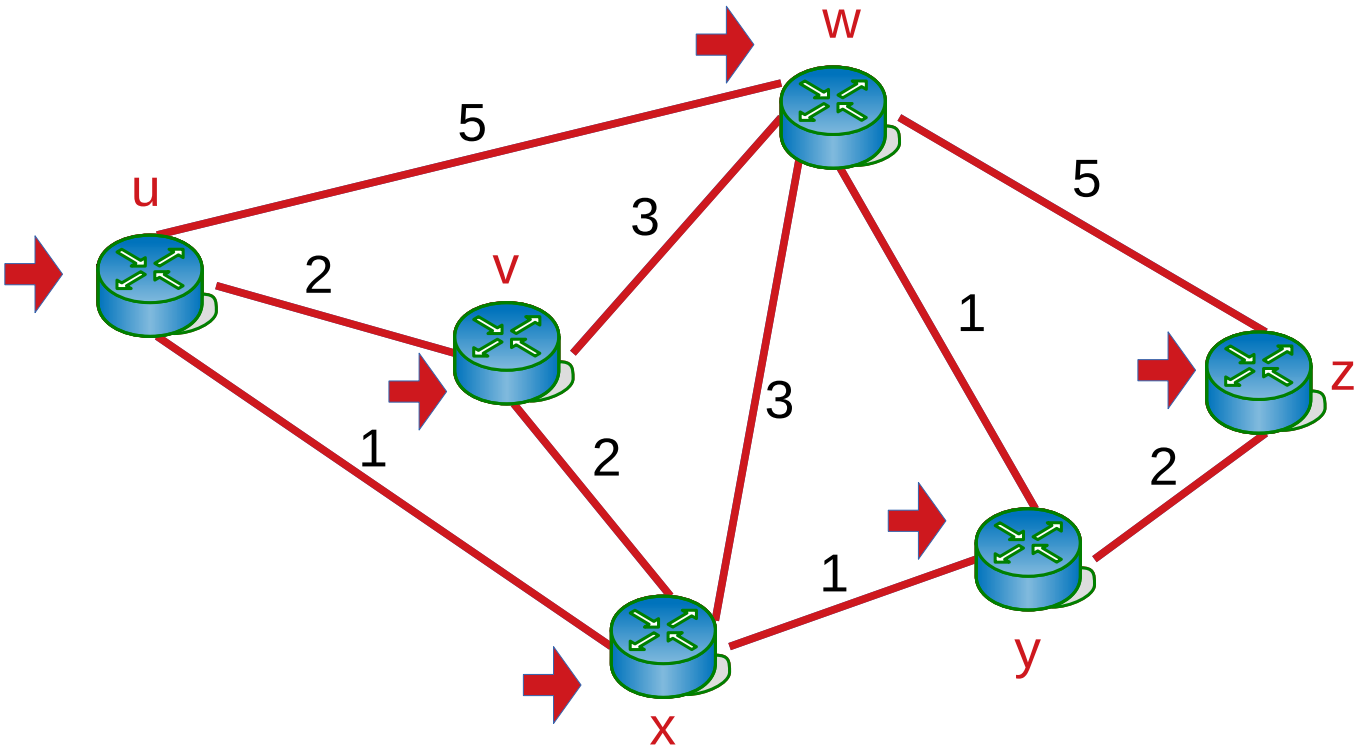
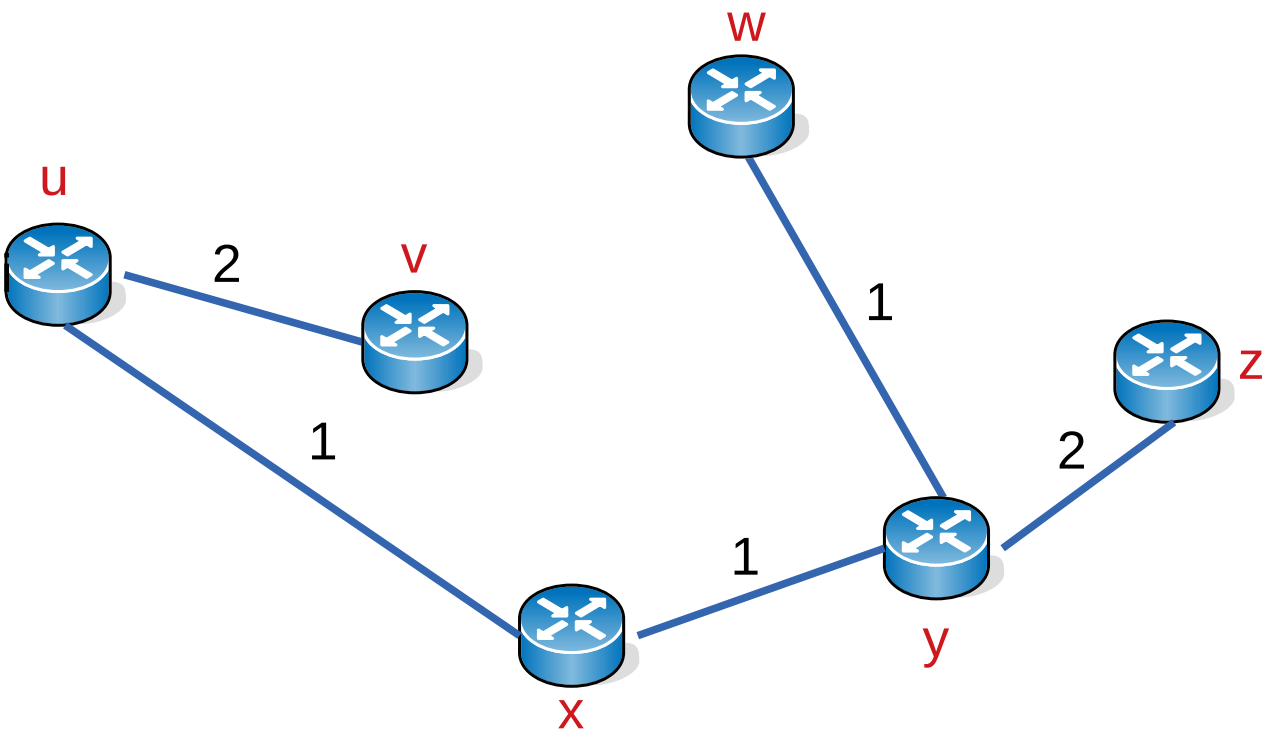


Tabla de forwarding de u

Paso	N'	D(v), p(v)	D(w), p(w)	D(x), p(x)	D(y), p(y)	D(z), p(z)
0	u	2, u	5, u	1, u	∞	∞
1	ux	2, u	4, x		2, x	∞
2	uxy	2, u	3, y			4, y
3	uxyv		3, y			4, y
4	uxyvw					4, y
5	uxyvwz					



Destino	Enlace
v	(u, v)
w	(u, x)
x	(u, x)
y	(u, x)
z	(u, x)

Dijkstra: pseudo código, nodo u

- Inicialización

  N’ = { u }

  para todos los nodos v

    si v es vecino de u

      entonces D(v) = c(u,v)

      sino D(v) = infinito

- Loop hasta que N’ = N

  encontrar w no incluido en N’ tal que D(w) sea mínima

  agregar w a N’

  actualizar D(v) para todo vecino v de w no incluido en N’:

    D(v) = min{ D(v), D(w) + c(w,v) }

Algoritmos de vector distancia

- Distance Vector routing algorithms (DV)
- Algoritmo iterativo, asíncrono y distribuido
- Cada nodo recibe información de sus nodos vecinos directamente conectados, hace cálculos y redistribuye esa información a sus vecinos
- Se basa en la ecuación de Bellman-Ford:

  $d_x(y) = \min_j\{ c(x,j) + d_j(y) \}$

  - j son los vecinos directamente conectados a x
  - La distancia de x a y pasando por j resulta de sumar la distancia de x a j más la distancia de j a y

  – El nodo j^* que minimice la distancia, será el siguiente nodo en el mejor camino hacia y

- Cada nodo x, recibe un vector de cada vecino j con sus distancias $D_j(y)$ para todo y
- Construye su propio vector

  $D_x(y) = \min_j\{ c(x,j) + D_j(y) \}$ para todo y

Dj(y) para cada j vecino de u

- Inicialmente cada nodo arma su tabla con los vecinos directamente conectados

Tabla de u	
Destino	**Costo**
w	5
v	2
x	1

Tabla de w	
Destino	**Costo**
v	3
x	3
y	1
z	5
u	5

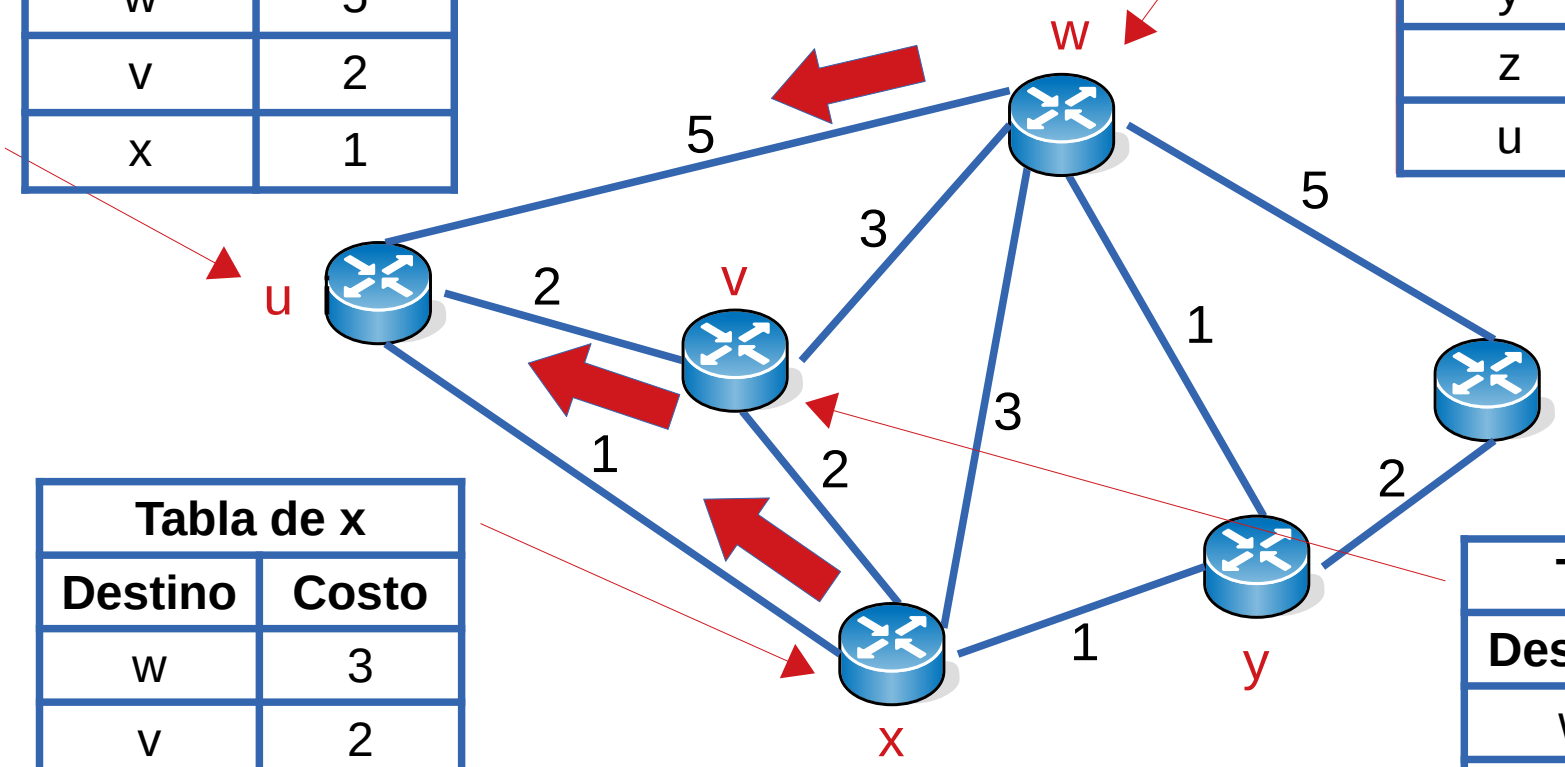


Tabla de x	
Destino	**Costo**
w	3
v	2
y	1
u	1

Tabla de v	
Destino	**Costo**
w	3
x	2
u	2

¿ Cómo calcula u su Du(y) ?

- Tabla inicial de u

Tabla de u	
Destino	**Costo**
w	5
v	2
x	1

Tabla de w	
Destino	**Costo**
v	3
x	3
y	1
z	5
u	5

- Nueva tabla de u en base a la información recibida de w

Destino	Costo inicial	Costo por w	Decisión mínimo	Hacia (j*)
w	5	∞	5	w
v	2	5 + 3	2	v
x	1	5 + 3	1	x
y	∞	5 + 1	6	w
z	∞	5 + 5	10	w
u	0	5 + 5	0	-

¿ Cómo calcula u su Du(y) ?

- Ahora recibe la información de v

Tabla de u		
Destino	**Costo anterior**	**Hacia (j*)**
w	5	w
v	2	v
x	1	x
y	6	w
z	10	w
u	0	-

Tabla de v	
Destino	**Costo**
w	3
x	2
u	2

- Nueva tabla de u en base a la información recibida de v

Destino	Costo anterior	Costo por v	Decisión mínimo	Hacia (j*)
w	5	2 + 3	5	w
v	2	∞	2	v
x	1	2 + 2	1	x
y	6	∞	6	w
z	10	∞	10	w
u	0	2 + 2	0	-

¿ Cómo calcula u su Du(y) ?

- Ahora recibe la información de x

Tabla de u		
Destino	**Costo anterior**	**Hacia (j*)**
w	5	w
v	2	v
x	1	x
y	6	w
z	10	w
u	0	-

Tabla de x	
Destino	**Costo**
w	3
v	2
y	1
u	1

- Nueva tabla de u en base a la información recibida de x

Destino	Costo anterior	Costo por x	Decisión mínimo	Hacia (j*)
w	5	1 + 3	4	x
v	2	1 + 2	2	v
x	1	∞	1	x
y	6	1 + 1	2	x
z	10	∞	10	w
u	0	1 + 1	0	-

Vector distancia: pseudo código nodo x

- Inicialización

  para todos los destinos y en N:

    si v es vecino de u

      entonces $D_x(v) = c(u,v)$

      sino $D_x(v) = infinito$

  para cada vecino w

    enviar vector $D_x = \{ D_x(y)$ para todo y $\}$

- Loop para siempre

  esperar a:

    recibir vectores de los vecinos w

    o ver si costo a algún vecino cambia

  para cada y en N:

    $D_x(y) = \min_v\{ c(x,v) + D_v(y) \}$

  si Dx(y) cambió para algún destino y

    para cada vecino w

      enviar vector $D_x = \{ D_x(y)$ para todo y $\}$

Protocolos de ruteo dinámico

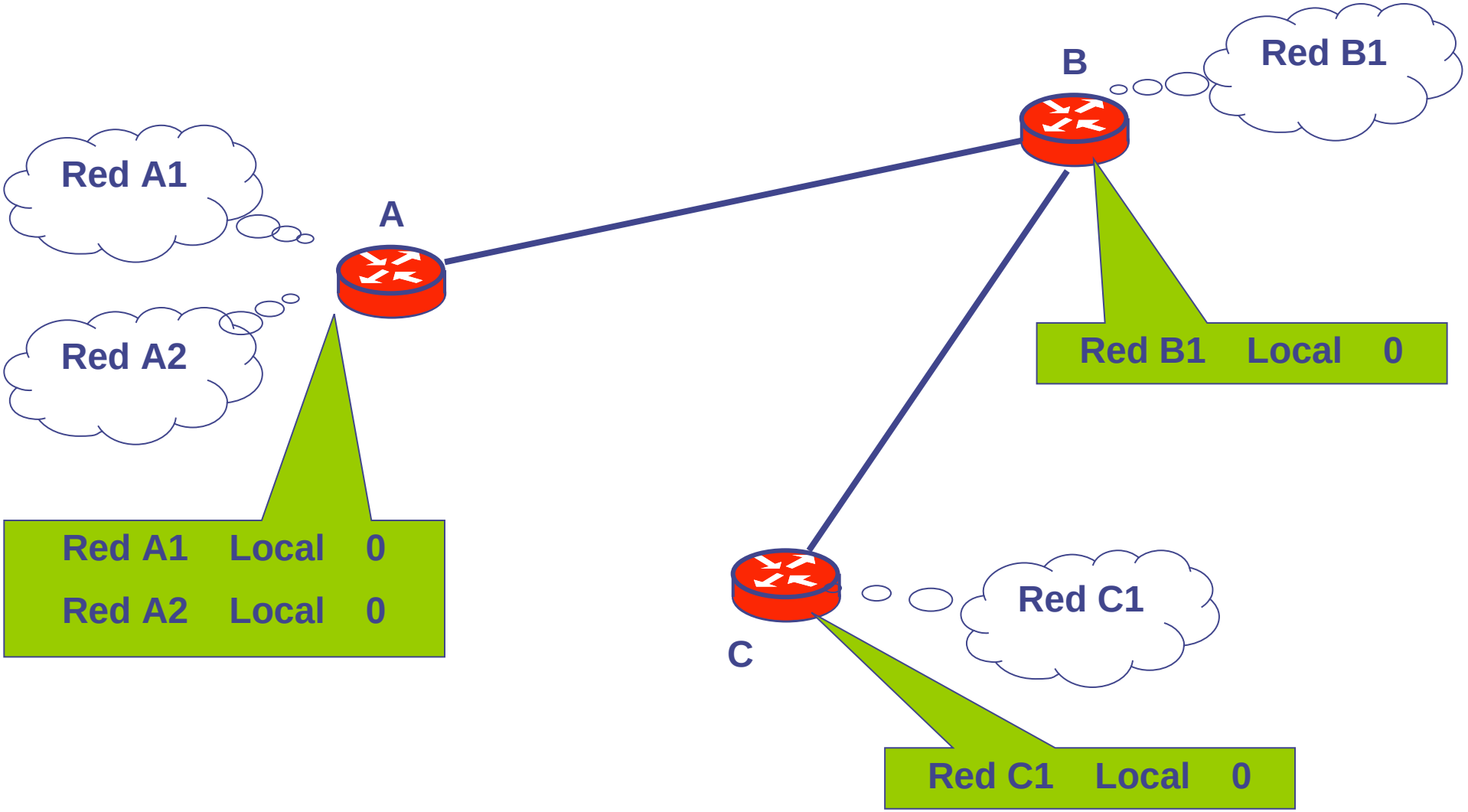
- En la arquitectura tradicional los algoritmos vistos (vector distancia, DV o estado del enlace, LS) necesitan que los nodos intercambien información entre si
  - En la arquitectura SDN, el controlador conoce la topología de la red mediante su vínculo con cada conmutador SDN
- Para intercambiar esa información (vector de distancias o distancias a los vecinos respectivamente) se utilizan protocolos específicos
- Esos protocolos pueden usar UDP o viajar directamente sobre IP o sobre Ethernet
- Algunos ejemplos usados en Internet
  - RIP (Routing Information Protocol): Vector distancia
  - OSPF (Open Shortest Path First): Estado del enlace
  - ISIS (Intermediate System to intermediate System): Estado del enlace
  - BGP (Border Gateway Protocol): Vector distancia (vector de caminos)

Protocolos de ruteo dinámico: Vector Distancia (DV)

- Ejemplo: RIP, Routing Information Protocol)
  - Lo veremos en detalle en el laboratorio
- Protocolo
  - La información entre enrutadores se envía usando un protocolo sobre UDP
- Algoritmo:
  - Se conoce la distancia a los vecinos
    - destinos directamente conectados
  - Periódicamente se recibe información desde los vecinos
  - Se actualiza la tabla con la información recibida, recalculándose las mejores distancias
  - Se actualiza la tabla
  - Se informa a los vecinos de la tabla completa

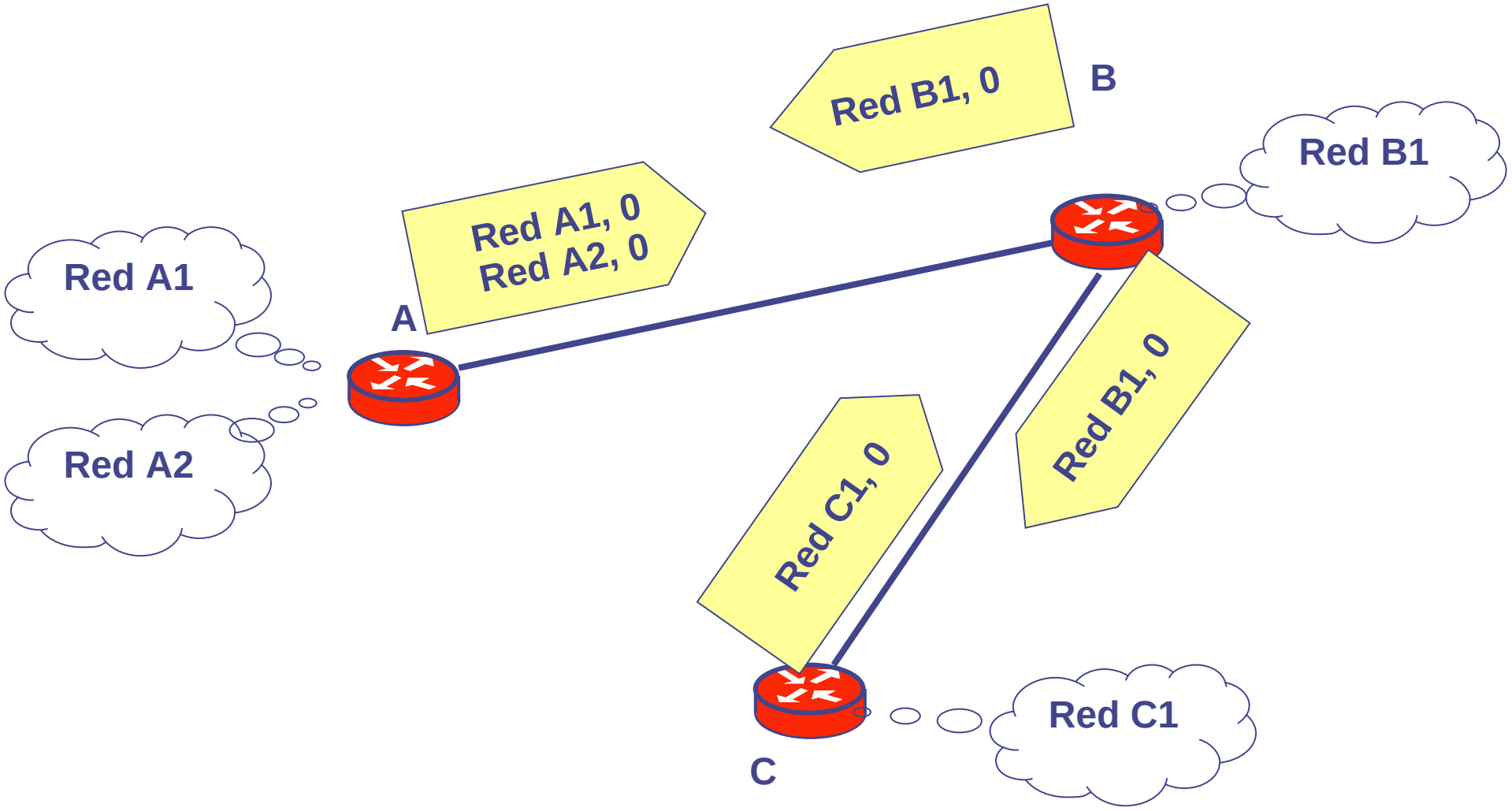
Protocolos de ruteo dinámico: Vector Distancia

- Inicialmente cada enrutador conoce los destinos directamente conectados a él y sus distancias



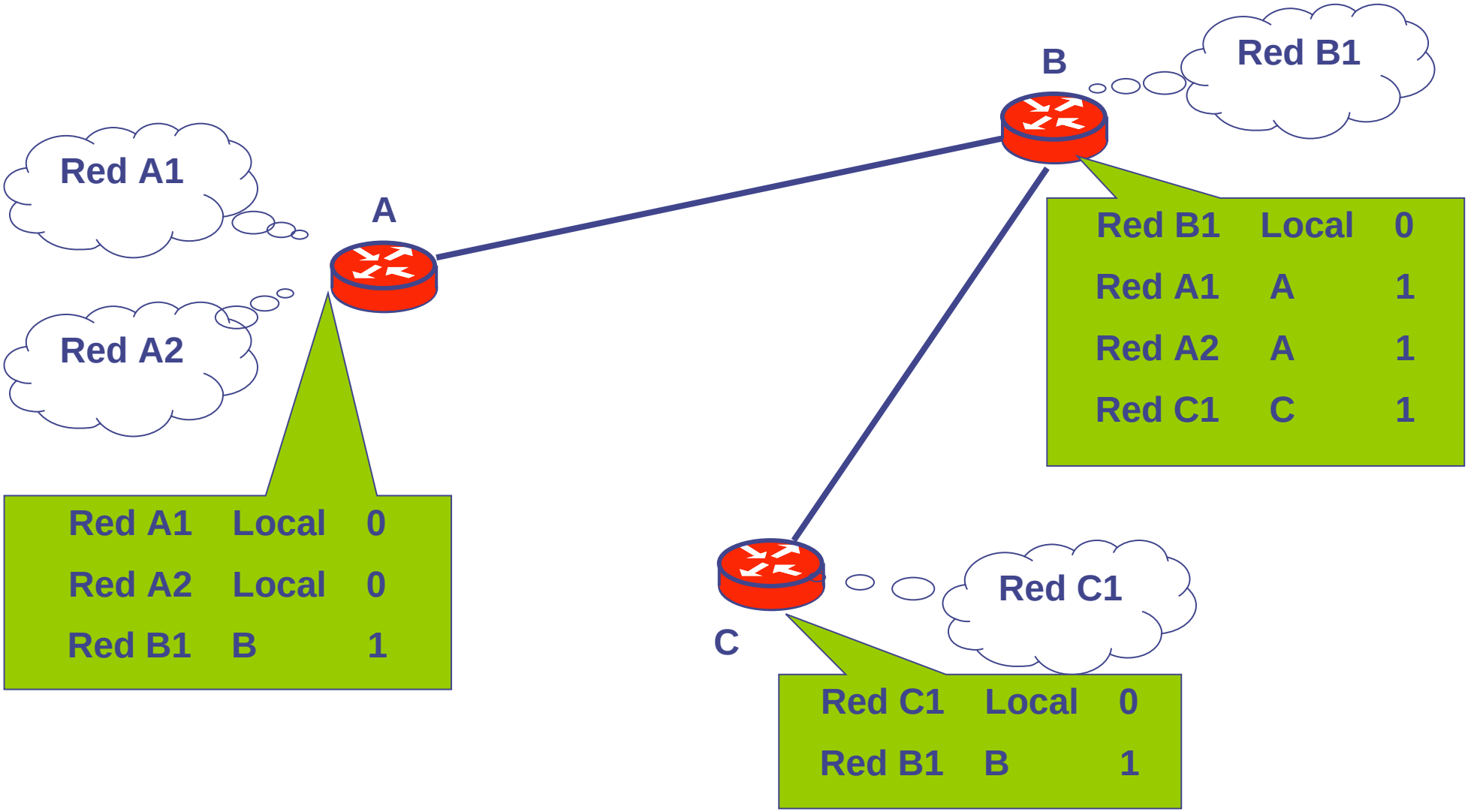
Protocolos de ruteo dinámico: Vector Distancia

- Luego cada uno envía la información que conoce a sus vecinos



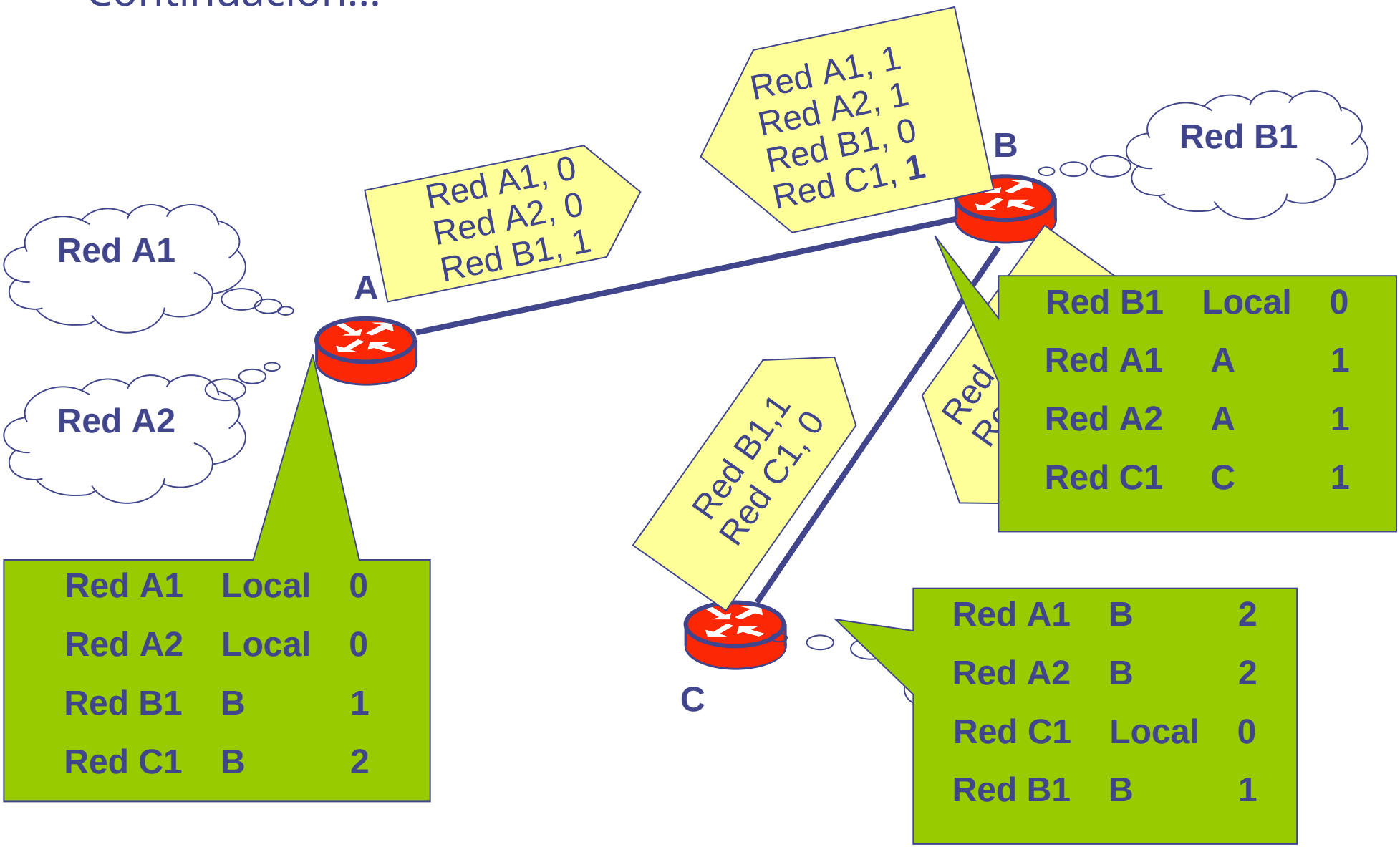
Protocolos de ruteo dinámico: Vector Distancia

- Con la información recibida cada uno actualiza su tabla de ruteo



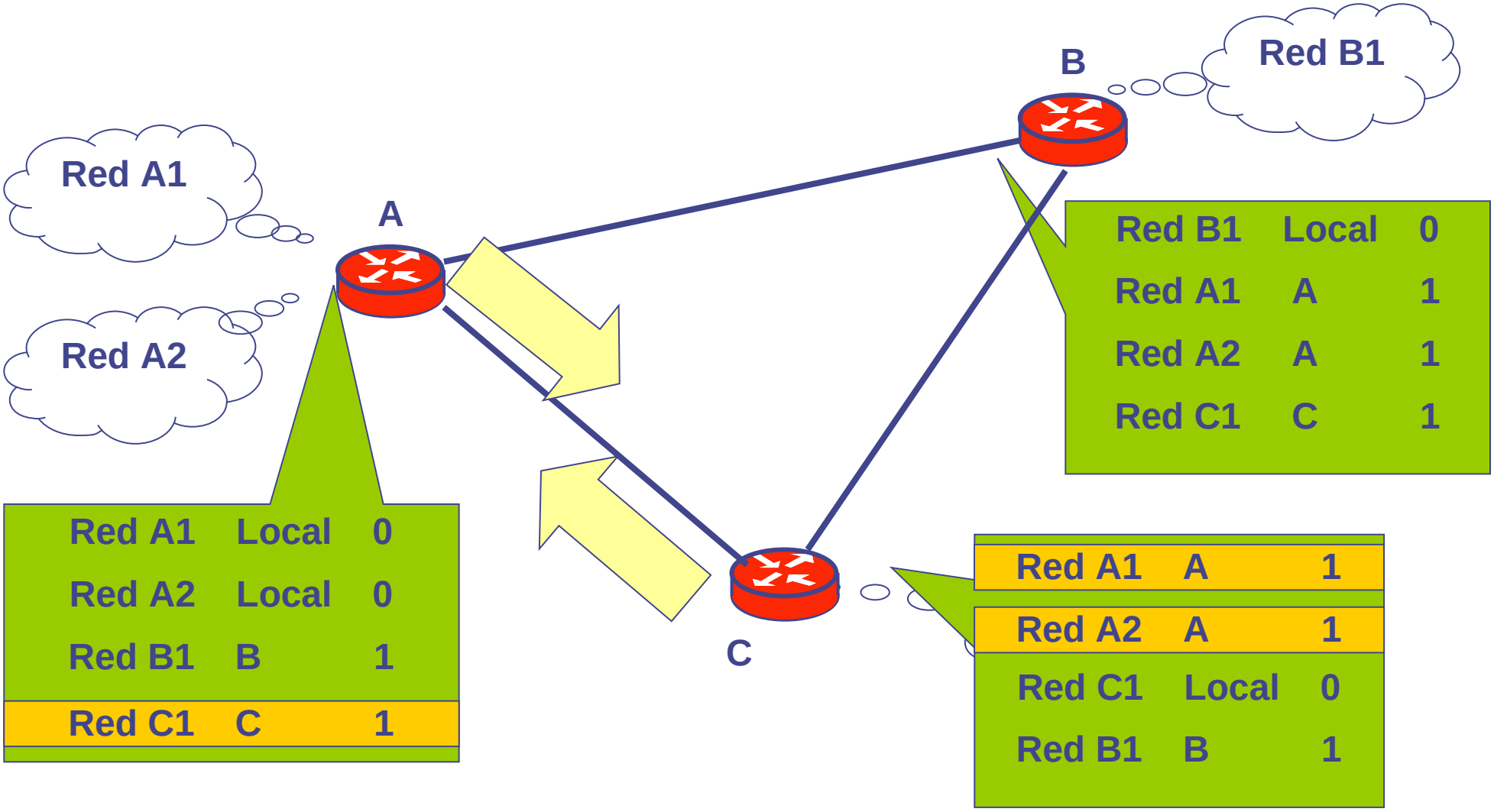
Protocolos de ruteo dinámico: Vector Distancia

- Continuación...



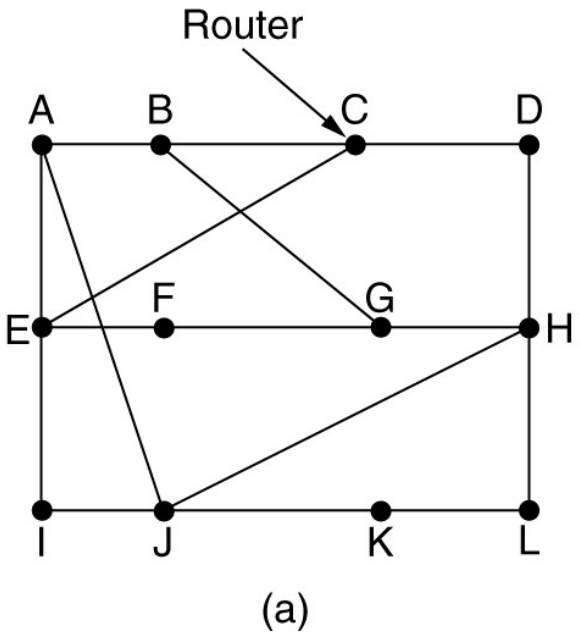
Protocolos de ruteo dinámico: Vector Distancia

- Al cambiar la topología...



Protocolos de ruteo dinámico: Vector Distancia

- ¿Cómo se calcula la tabla del nodo J?



(a)

New estimated delay from J

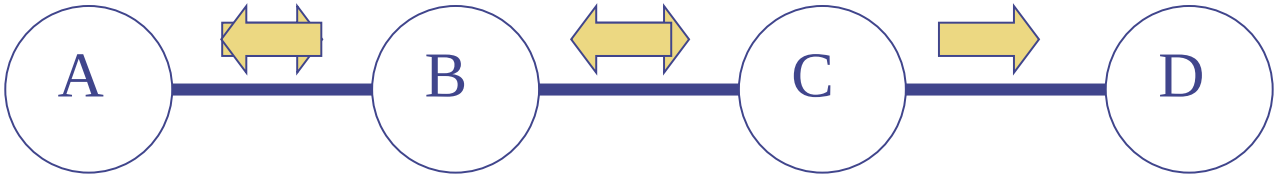
To	A	I	H	K	Line
A	0	24	20	21	8 A
B	12	36	31	28	20 A
C	25	18	19	36	28 I
D	40	27	8	24	20 H
E	14	7	30	22	17 I
F	23	20	19	40	30 I
G	18	31	6	31	18 H
H	17	20	0	19	12 H
I	21	0	14	22	10 I
J	9	11	7	10	0 –
K	24	22	22	0	6 K
L	29	33	9	9	15 K
	JA delay is 8	JI delay is 10	JH delay is 12	JK delay is 6	New routing table for J

Vectors received from J's four neighbors

(b)

Vector Distancia: Problema del conteo a infinito

- Distancia a nodo A (buenas noticias)

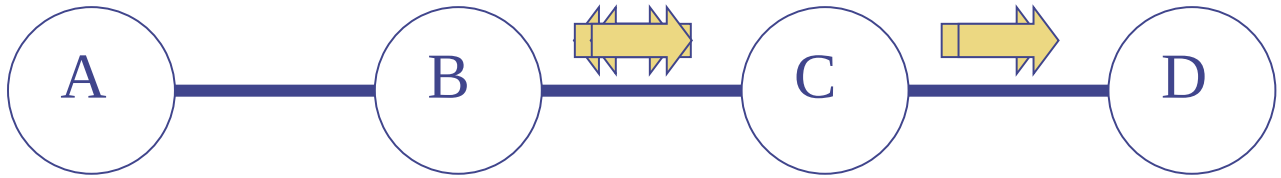


∞	∞	∞	(inicial)
1	∞	∞	(paso 1)
1	2	∞	(paso 2)
1	2	3	(paso 3)

Estado estable

Vector Distancia: Problema del conteo a infinito

- Distancia a nodo A (malas noticias)



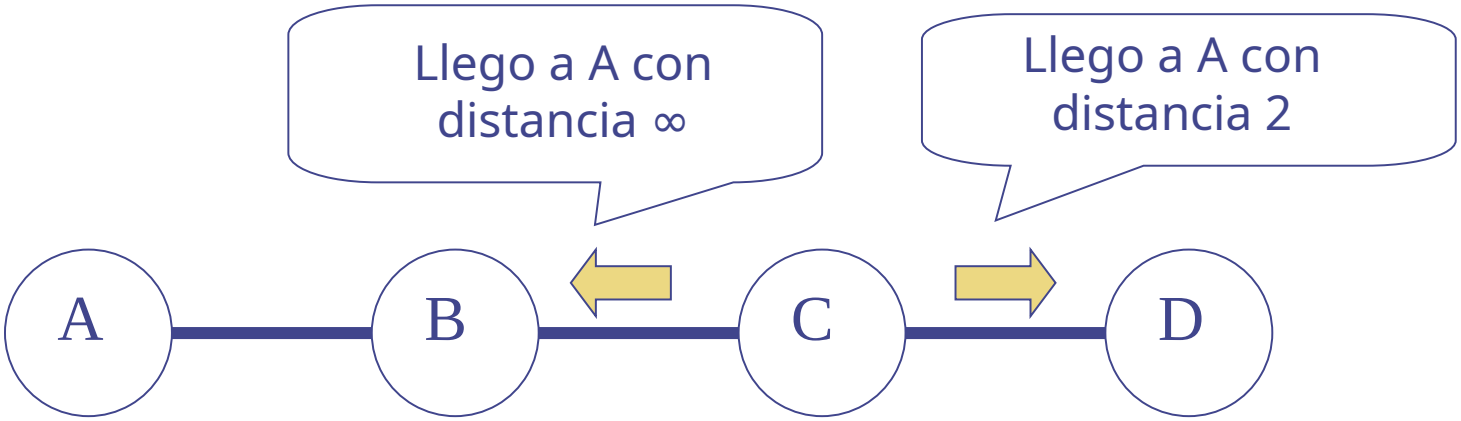
Estado estable

1	2	3	(inicial)
3	2	3	(paso 1)
3	4	3	(paso 2)
5	4	5	(paso 3)
5	6	5	(paso 4)
5	6	7	(paso 5)

Hacia ∞ !!

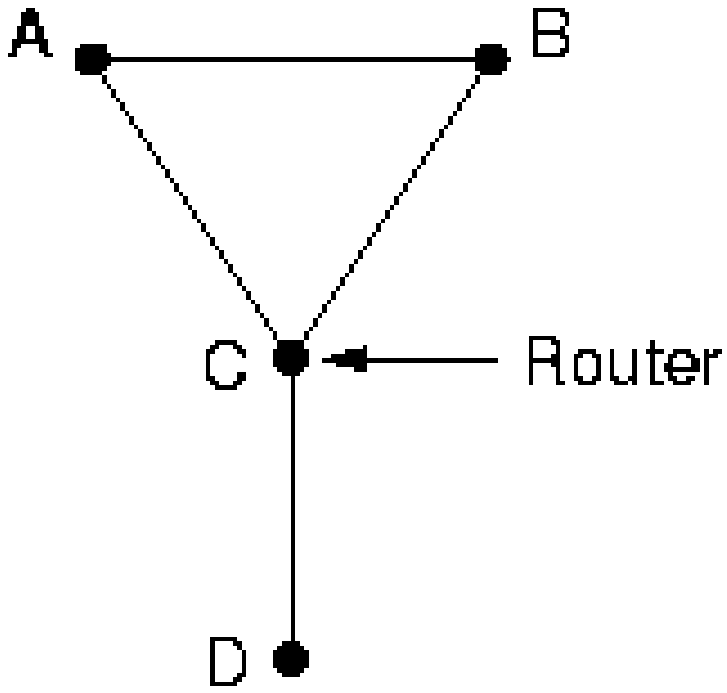
Vector Distancia: Horizonte dividido

- No se envía información cierta sobre un destino hacia el enrutador que actúa como próximo salto
- Si al destino A voy por el enrutador B, le digo a B que mi distancia a A es infinita
  - En la práctica, por ejemplo en RIP se limita el conteo a 16
- A los demás, le digo la verdad!



Vector Distancia: Horizonte dividido

- No es solución en todas las topologías
- Cuando se cae D,
  se produce un conteo
  a infinito entre
  A->B->C
- (Pensarlo considerando
  que las actualizaciones
  no son sincrónicas)

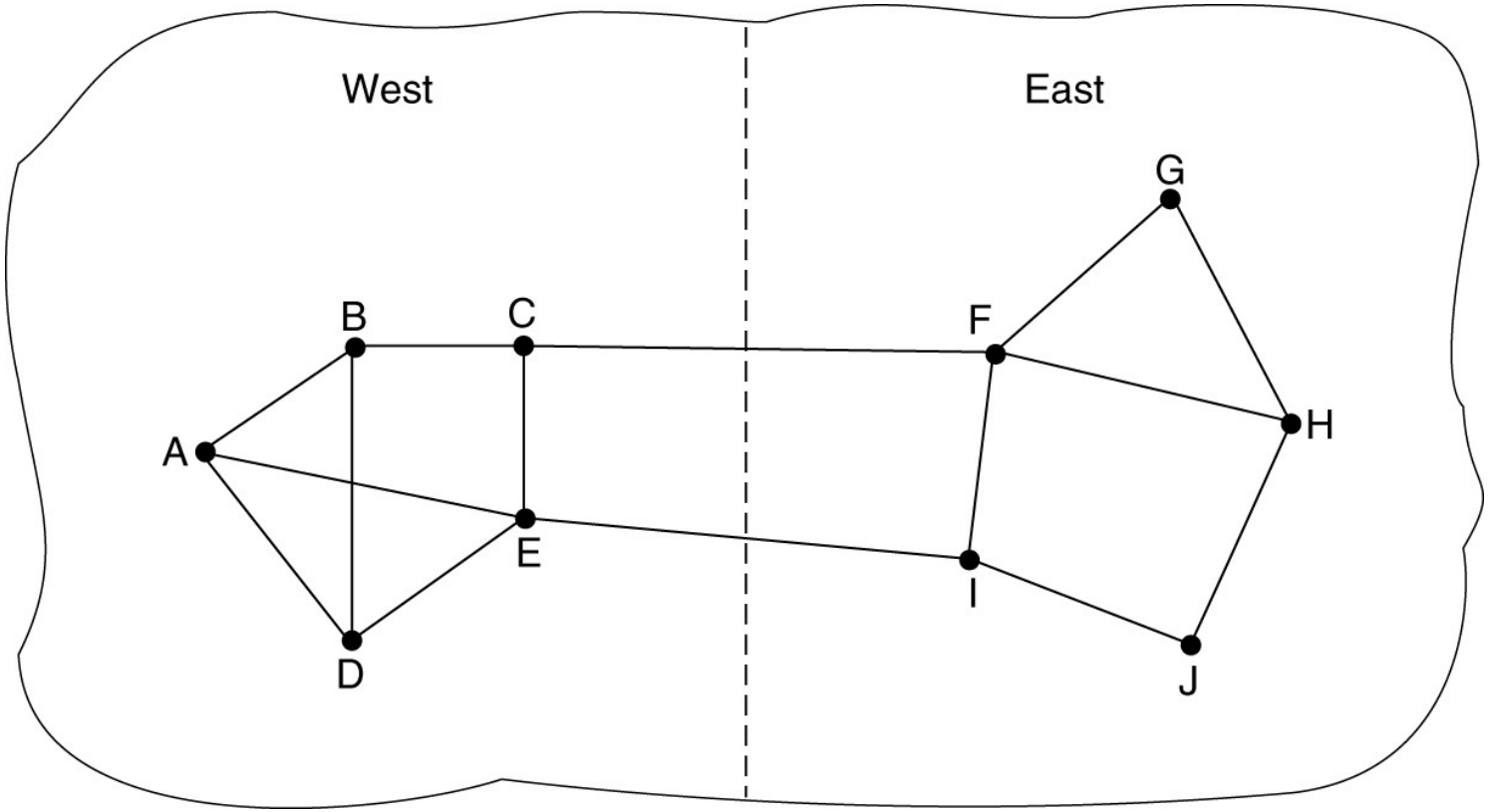


Protocolos de ruteo dinámico: Estado del Enlace (LS)

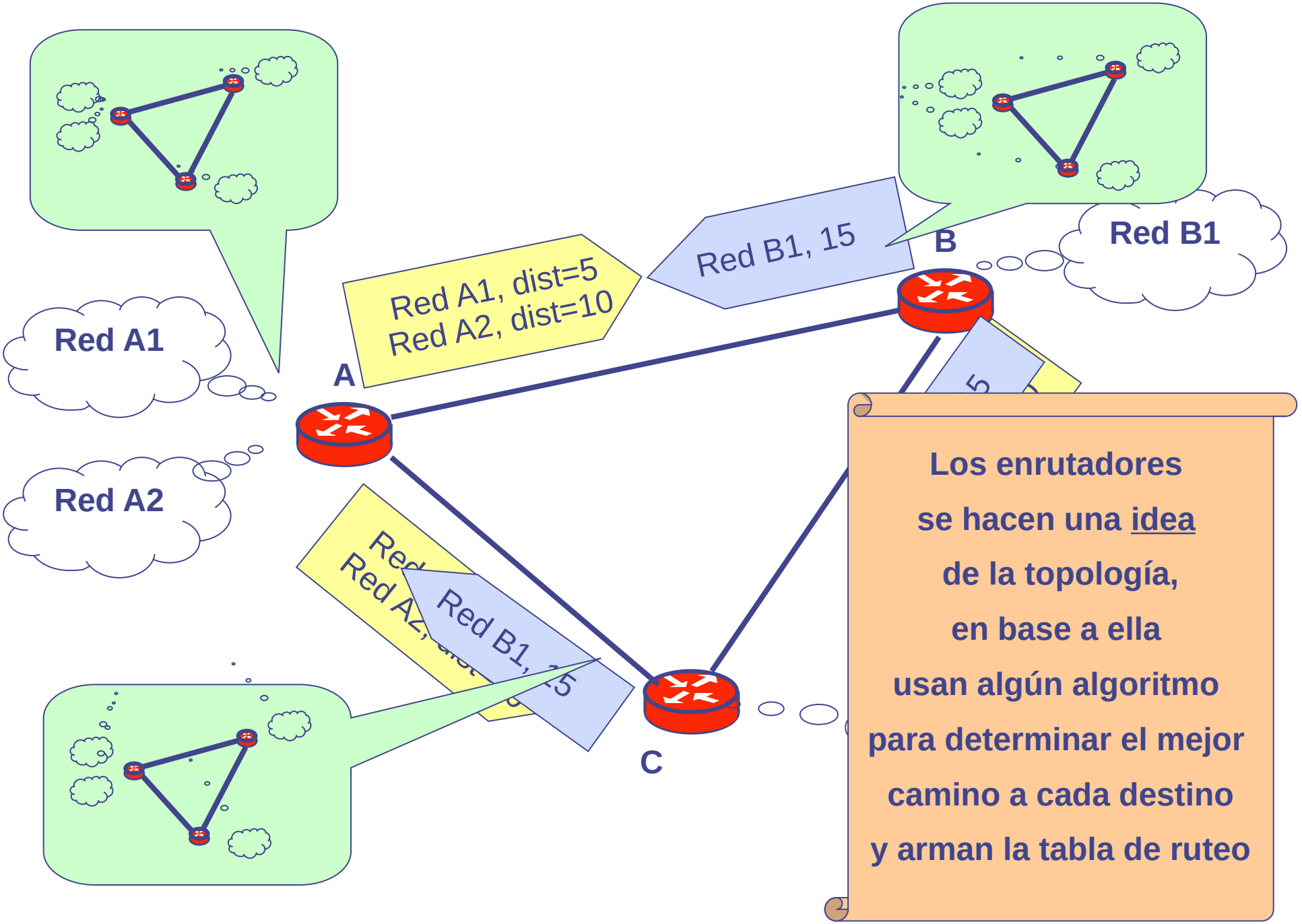
- Ejemplo: OSPF, Open Shortest Path First
  - Lo veremos en el laboratorios
- Protocolo:
  - La información entre enrutadores se envía directo sobre IP (no usa TCP ni UDP)
- Algoritmo:
    - Descubrir vecinos (HELLO)
    - Establecer o medir el costo con los vecinos
      - Tiene mensajes de ECHO para medir retardo
      - En la práctica se usan métricas manuales
    - Construir paquete de estado de enlaces con sus vecinos (quienes son, distancia)
    - Enviar el estado de los enlaces a todos los enrutadores (inundación)
  - Con la información recibida de los demás se conoce la topología
  - Se calcula el camino más corto para cada destino (por ej. con Dijkstra)
  - La mejor ruta se establece en la tabla de ruteo

Estado del Enlace: Oscilación del costo de retardo

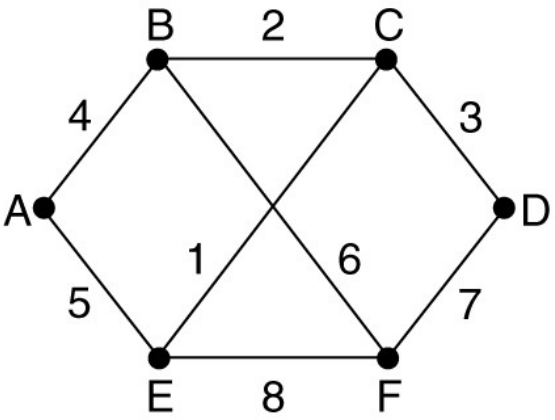
- Con métrica de retardo, si paso el tráfico por C-F, se recarga y se aumenta retardo
- Cambio por E-I …..



Estado del Enlace: Ejemplo



Estado del Enlace: Mensajes de estado del enlace



(a)

Link State Packets

A	
Seq.	
Age	
B	4
E	5

B	
Seq.	
Age	
A	4
C	2
F	6

C	
Seq.	
Age	
B	2
D	3
E	1

D	
Seq.	
Age	
C	3
F	7

E	
Seq.	
Age	
A	5
C	1
F	8

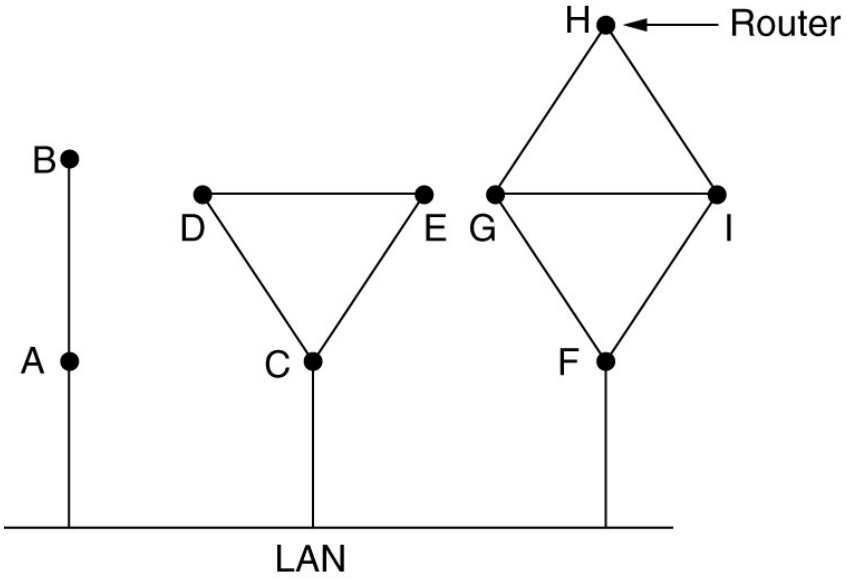
F	
Seq.	
Age	
B	6
D	7
E	8

(b)

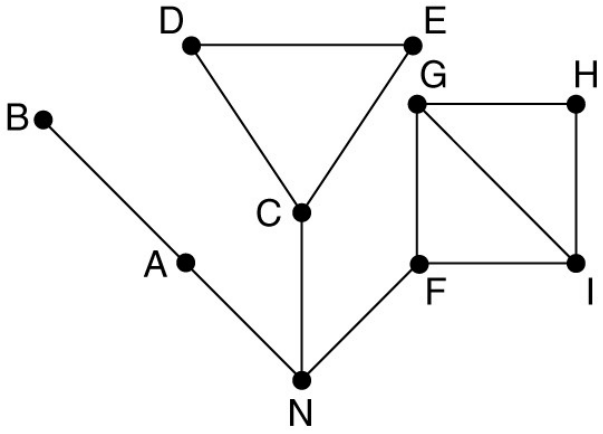
- Quién generó la información (qué enrutador)
- Número de secuencia (para saber si el mensaje es más nuevo)
- Marca de tiempo (para saber si el mensaje es más nuevo)
- Vecinos y distancias (lista de vecinos)

Estado del Enlace: Modelo en grafo de una LAN

- En una LAN para evitar enviar información de A a C y de A a F (que pasa 2 veces por el medio compartido) se designa un router que representa la red (designated router, DR) y se le envía solo a él por multicast
  - Lo veremos en el laboratorio



(a)



(b)

Comparación Estado del Enlace y Vector Distancia

	Estado del enlace Link State (LS)	Vector Distancia Distance Vector (DV)
¿Qué información se envía?	Cada nodo envía sólo las distancias a sus vecinos	Todo lo que tienen en su tabla (inicial y aprendido)
¿A quién se la envía?	A todos los nodos que participan del protocolo	A sus vecinos directamente conectados
Convergencia	Rápida	Lenta por problema del conteo a infinito
Carga a la red	Baja: Cada nodo envía sólo la información de distancias a sus vecinos Sólo cuando detecta cambios	Alta: Se envía toda la tabla de distancias De forma periódica
Necesidad de memoria y CPU	Alta: Hay que almacenar la topología de la red y aplicar Dijkstra para calcular los mejores caminos	Baja: Cálculos sencillos (sumas y comparaciones) en base a la información anterior y la nueva

Clasificación de algoritmos de ruteo

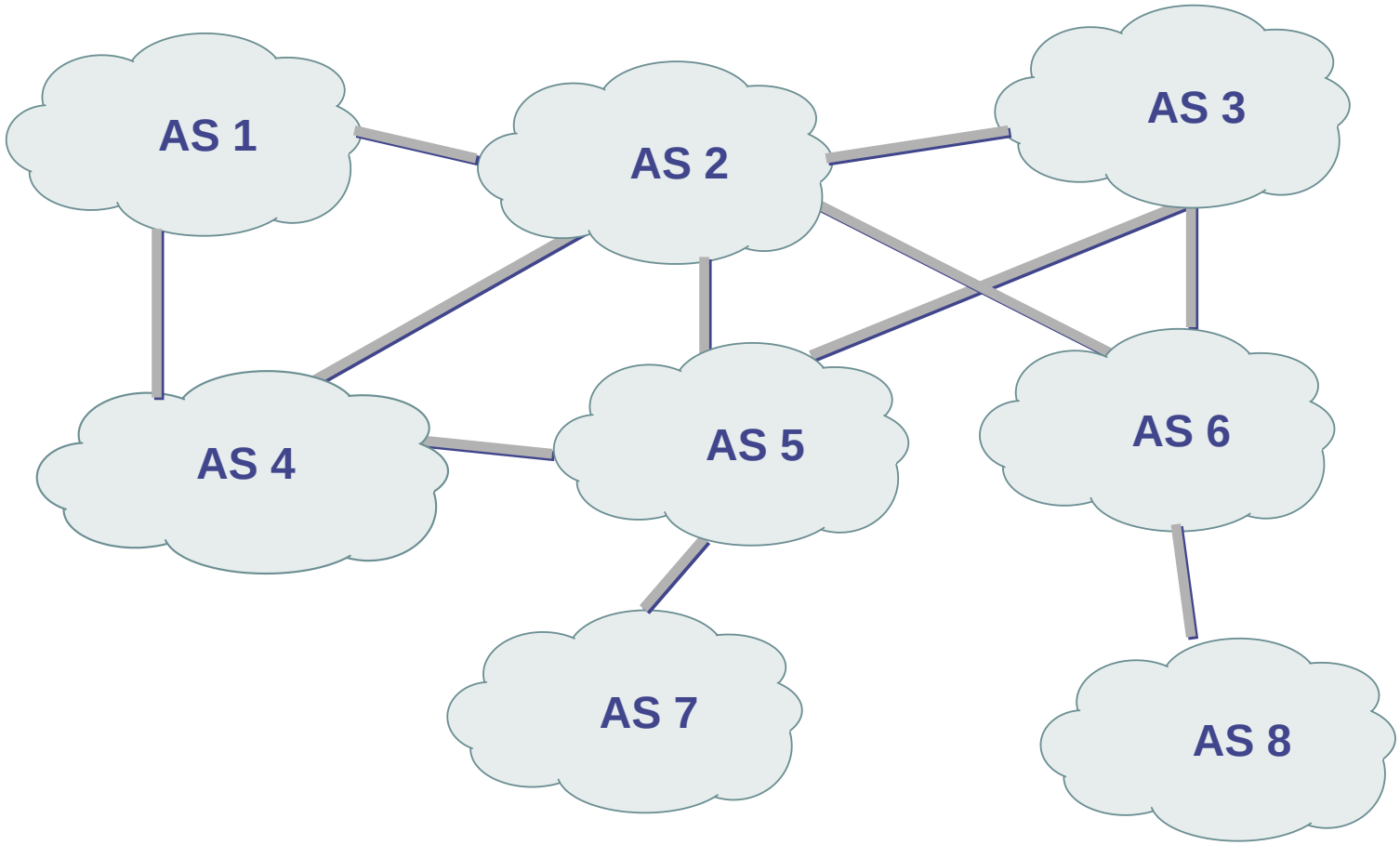
- En la realidad la red global no es un conjunto de nodos homogéneo en la que todos los nodos puedan intercambiar información de ruteo
  - Escala
    - Sería imposible que los cientos de millones de enrutadores que hay en Internet almacenaran y compartieran información de ruteo
    - Habría un altísimo tráfico de información de ruteo circulando por la red
    - Con la dinámica de cambio de estado de los enlaces los algoritmos nunca convergerían
  - Proveedores de servicio
    - Los proveedores de servicio (ISP, Internet Service Providers) son dueños y administran sus enrutadores
    - Cada proveedor de servicio utilizará el algoritmo de ruteo que prefiera
    - Querrá ocultar información interna de su red a otros proveedores

Sistemas Autónomos

- Los enrutadores de la red se organizan en Sistemas Autónomos (ASs)
  - Un AS es un conjunto de enrutadores bajo control de una misma administración
- Un ISP puede dividir su red en varios ASs o tener un solo AS para toda su red
- Cada AS tiene un número único asignado por ICANN
- Los protocolos y algoritmos de ruteo que se usan dentro de un AS se llaman intra-AS o de ruteo interno
- Los protocolos y algoritmos de ruteo que intercambian información entre ASs se llaman inter-AS o de ruteo externo
  - Permiten aplicar políticas para decidir qué quiero informar a los otros ASs o qué quiero aceptar de lo que otros ASs me informen
  - El protocolo de ruteo externo usado en internet es BGP (Border Gateway Protocol)

Arquitectura de Internet

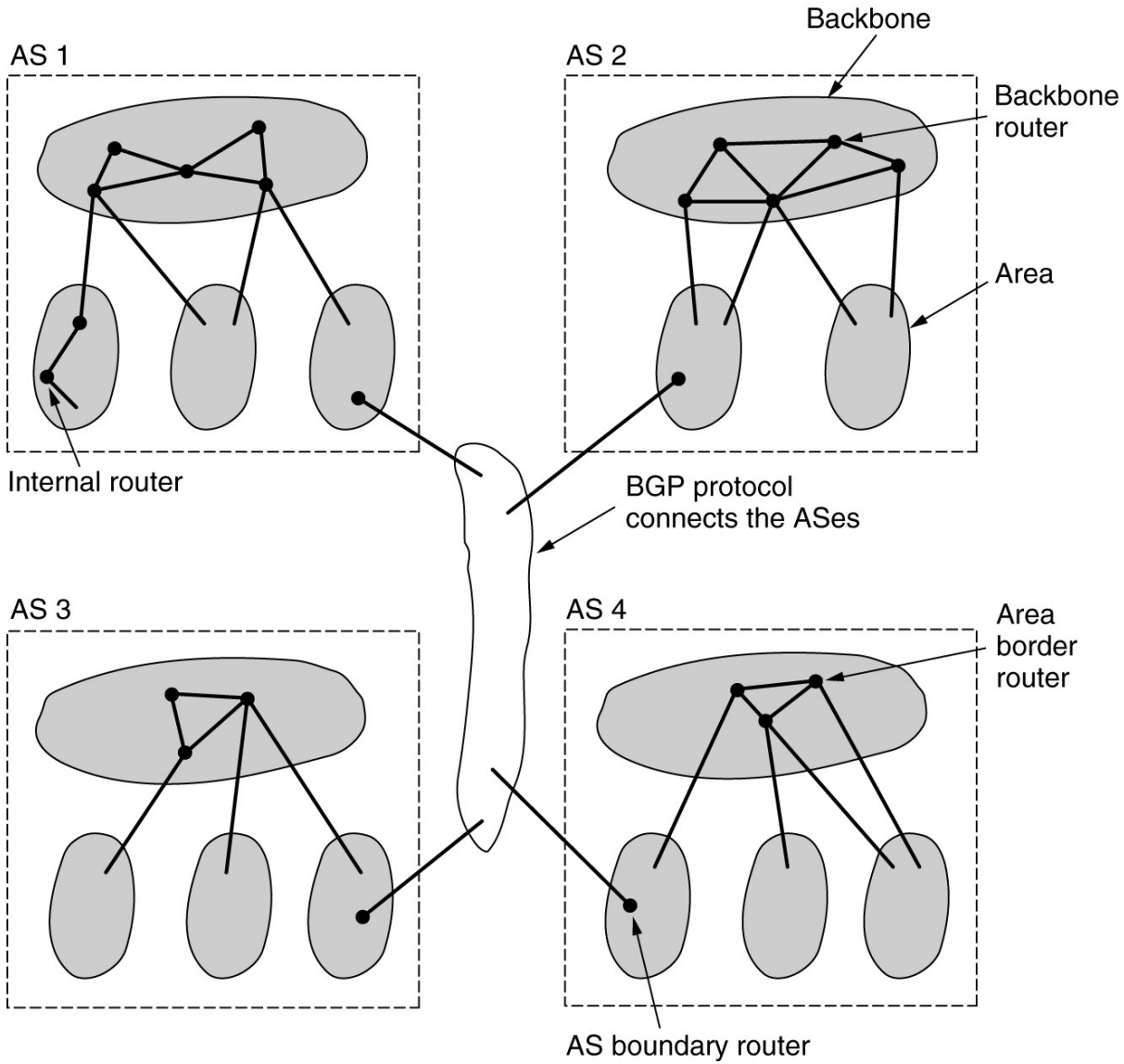
- Conexión de sistemas autónomos (ASs)
- No hay un backbone explícito



Enrutamiento externo: BGP

- Vector de caminos
  - Es como vector distancia, pero los enrutadores se envían el camino que están usando
  - Por eso se evita el conteo a infinito
- Permite aplicar políticas
  - Ejemplos:
    - No quiero transitar a través de ciertos AS
    - Ejemplo: no quiero que el tráfico de google pase por la red de microsoft
  - Se configuran manualmente

Relación entutamiento externo/interno



ICMP: Internet Control Message Protocol

- Protocolo para mensajes de control, principalmente para reportar errores (RFC 792)
- Los mensajes ICMP viajan como carga de paquetes IP
- Usos destacados:
  - Cuando un enrutador procesa un paquete decrementa el TTL en 1 y si llega a 0,
    - Descarta el paquete
    - Envía al originador un mensaje ICMP “TTL expired”
    - En el mensaje se indica la IP del enrutador que descartó el paquete
  - Cuando un enrutador no encuentra en su tabla de forwarding una ruta hacia la IP destino del paquete (caso en que no hay ruta por defecto),
    - Descarta el paquete
    - Envía al originador (IP origen del paquete) un mensaje ICMP “destination network unreachable”
    - En el mensaje se indica la IP del enrutador que descartó el paquete

ICMP: Internet Control Message Protocol

- Usos destacados:
  - Cuando un enrutador tiene un paquete destinado a una IP que no está disponible dentro de un rango de direcciones en una red de difusión,
    - Descarta el paquete
    - Envía al originador un mensaje ICMP “destination host unreachable”
    - En el mensaje se indica la IP del enrutador que descartó el paquete
  - Cuando hay puertos filtrados por temas de seguridad, el enrutador o firewall,
    - Descarta el segmento
    - Envía al originador un mensaje ICMP “destination port unreachable”
    - En el mensaje se indica la IP del equipo que descartó el paquete

Comandos que usan ICMP

- Comando “ping”
  - Saber si un equipo está activo en la red
  - Usa mensajes ICMP “echo request” y “echo reply”
- Comando “traceroute” o “tracert”
  - Permite descubrir la secuencia de enrutadores en el camino hacia un destino
  - Envía una secuencia de mensajes UDP a la IP del destino de interés y a un puerto destino (raro)
    - El sistema operativo Windows lo hace con ICMP
  - En cada envío el campo de TTL de IP se incrementa en 1
  - Los mensajes ICMP “TTL expired” se usan para determinar los enrutadores en el camino al destino
  - Como se usa un puerto destino raramente usado, cuando se llega a la IP de destino, el mensaje recibido será un ICMP “port unreachable”

Algunos tipos de mensajes ICMP

ICMP Type	ICMP Code	Descripción
0	0	Echo reply
3	0	Destination network unreachable
3	1	Destination host unreachable
3	2	Destination protocol unreachable
3	3	Destination port unreachable
4	0	Source Quench (control de congestión, no usado)
5	0	Redirect
8	0	Echo request
11	0	TTL expired
12	0	IP header bad

Capa de red
Circuitos Virtuales

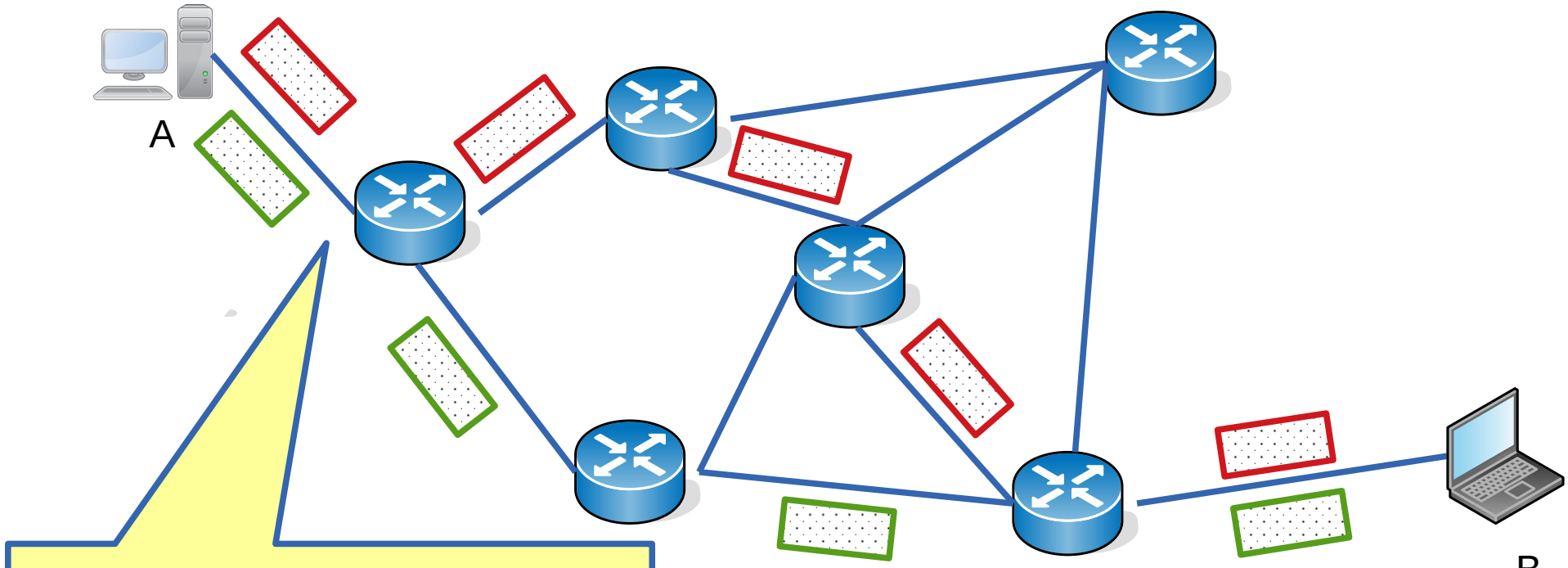
Facultad de Ingeniería – Universidad de la República

Agenda

- Conceptos de capa de red
- Plano de datos
- Plano de control
- Redes de circuitos virtuales
  - Concepto de circuitos virtuales
  - Ejemplo: MPLS (Multi Protocol Label Switching)
- Seguridad: Firewalls

Redes de datagramas

- En la arquitectura de red de datagramas vista
  - Los paquetes se encaminan por separado en base a su dirección de destino y consultando la tabla de forwarding
  - El camino lo define la función de ruteo y podría cambiar en el curso de una comunicación



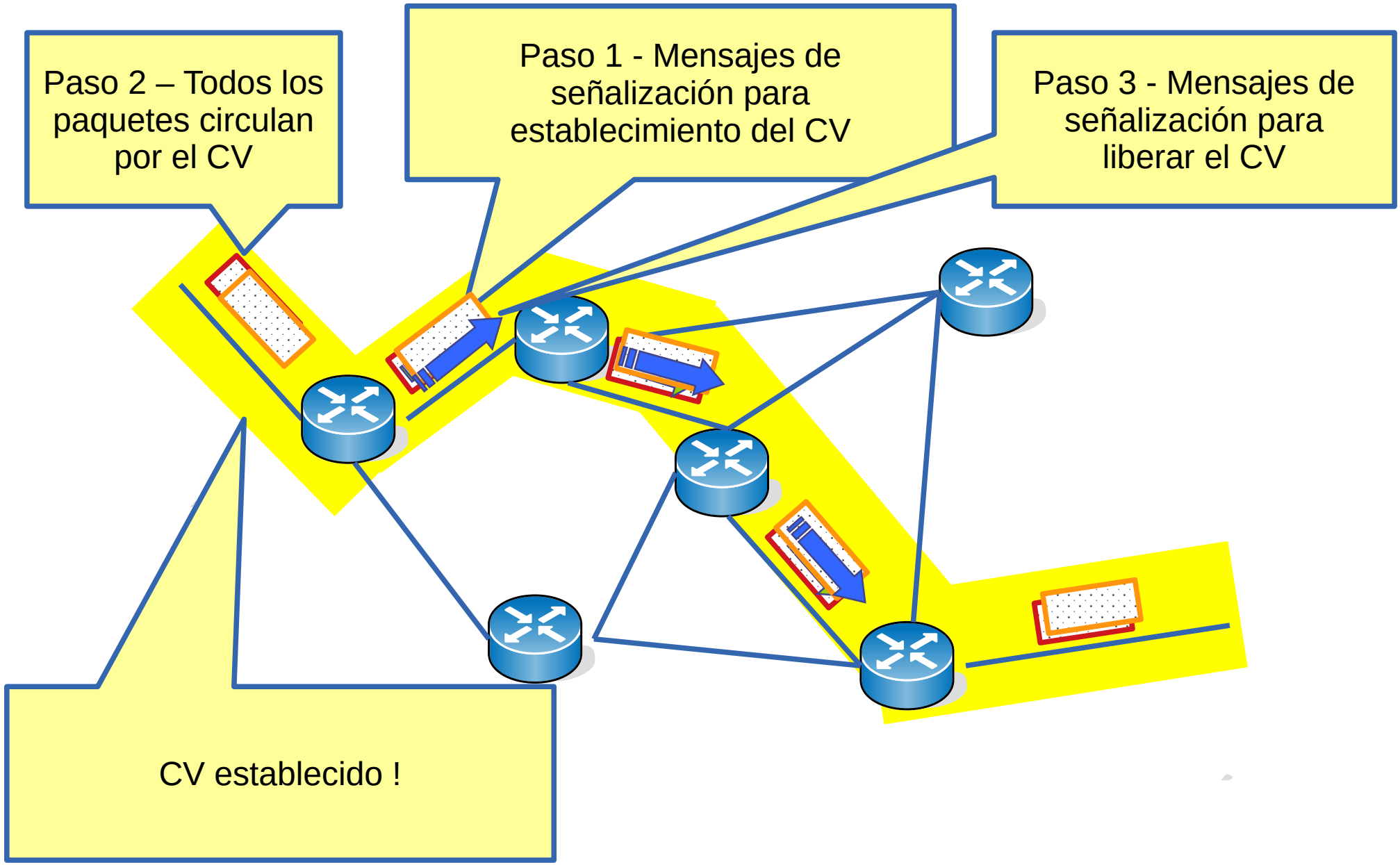
Limitaciones de la arquitectura de datagramas

- Algunas aplicaciones son más sensibles que otras a las pérdidas, retardos y variaciones de retardo (jitter)
- Una capa de red basada en encaminamiento de datagramas con criterio de “best effort” posee escasas herramientas para proveer calidad de servicio de extremo a extremo
  - No se puede hacer un control de congestión adecuado
    - Un escenario de congestión aumenta las pérdidas, el retardo y las variaciones de retardo
  - No se puede garantizar calidad de servicio entre proveedores
  - Es complicado implementar ingeniería de tráfico
    - Para que diferentes tipos de tráfico circulen por caminos diferentes
- En general las soluciones tradicionales apuntan a aumentar los recursos de la red de modo de minimizar los problemas de congestión, pero ese sobredimensionamiento es caro

Redes de Circuitos Virtuales

- Se elige un camino (circuito virtual, CV) y se usa durante toda la comunicación
  - La elección del camino lo hace la función de ruteo
- Se identifican 3 fases:
  - Establecimiento del CV
  - Uso del CV (envío de datos)
  - Liberación del CV
- Ventajas:
  - En el establecimiento del CV se pueden identificar las zonas congestionadas
    - Se podrían eludir las zonas congestionadas usando caminos alternativos
    - Se podría no aceptar el establecimiento de un CV si no se se puede garantizar la calidad requerida
    - Se pueden negociar y reservar recursos de capacidad en nodos y enlaces
  - Todos los paquetes siguen la misma ruta por lo que los retardos y la variación de retardos será más predecible

Redes de Circuitos Virtuales



Redes de circuitos virtuales

- El camino se identifica por un número, genéricamente llamado “identificador de Circuito Virtual”
  - Distintas tecnologías lo llaman de otras maneras (etiquetas, DLCI, etc.)
- No es práctico tener un identificador de CV para todo el circuito porque requeriría acuerdo y disponibilidad del mismo número en todos los nodos intermedios
  - El CV se identifica concatenando los identificadores de cada tramo
  - Cada par de nodos acuerda un identificador de CV local para ese tramo
- Cada nodo debe mantener tablas con los CVs establecidos
  - Si un nodo falla, se pierden los CV establecidos en los que participa
  - Para poder continuar enviando información, deberá establecerse un nuevo CV

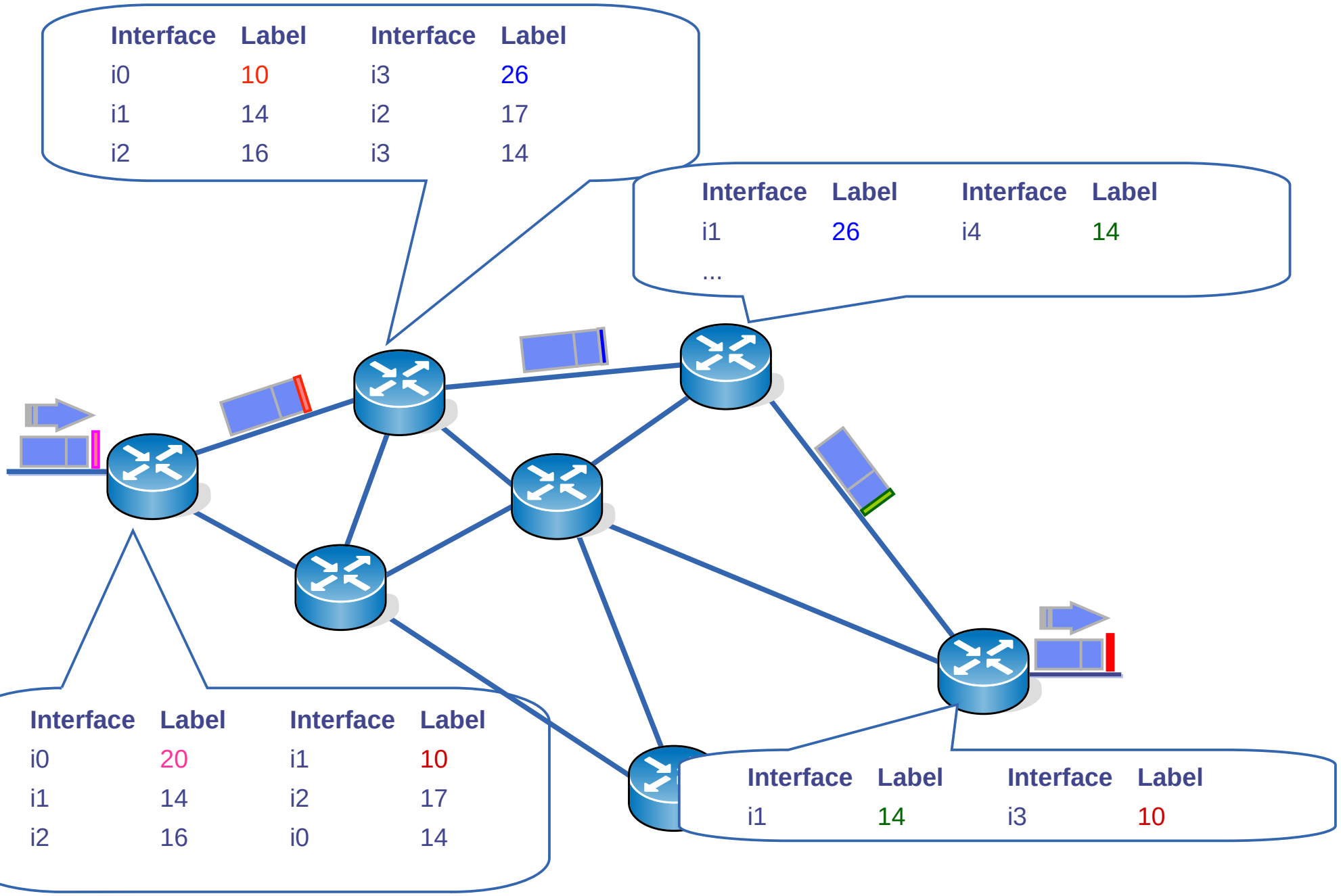
Tipos de Circuitos Virtuales

- Estáticos o permanentes
  - Se configuran administrativamente por el proveedor
  - Permanent Virtual Circuit, PVC
- Dinámicos o conmutados
  - Se establece el CV cuando se necesita
  - Switched Virtual Circuit, SVC
  - Se requiere señalización (mensajes de control) para establecerlo
    - Con esa señalización se asignan los identificadores de CV de cada tramo

Encaminamiento o forwarding en redes de CV

- Cuando conmutan un paquete los nodos deberán cambiar el identificador de entrada (acordado con el nodo anterior) por el de salida (acordado con el nodo siguiente)
- El identificador de CV será parte del encabezado del paquete
- Los nodos tendrán una tabla de los CV que tienen establecidos con las correspondencias de identificador de entrada con identificador de salida
- Se dice que los nodos hacen cambios de identificadores o etiquetas ("label swapping")
- La búsqueda es mucho más sencilla que en datagramas

Tablas de forwarding en circuitos virtuales



Liberación de circuitos virtuales

- Cuando no se precisa más, es necesario liberar el circuito
  - Para liberar los recursos en los equipos involucrados
- Si el circuito era conmutado (SVC), se requiere señalización (mensajes de control) para liberarlo
- Puede haber liberación por parte de la red (por ejemplo en caso de caída de un extremo)

Comparación datagramas vs circuitos virtuales

	Datagramas	Circuitos Virtuales
Establecimiento previo	No	Si
Dirección para forwarding	La del destino final	El identificador de CV
La red almacena el estado de los flujos	No	Si, en la tabla de CVs establecidos
Encaminamiento de paquetes	Se consulta la tabla de forwarding	Se consulta la tabla de CV
Fallas en los enrutadores	Afectan solamente a los paquetes en tránsito	Cortan los Cvs establecidos
Control de Congestión	Difícil	Posible
Calidad de Servicio	Difícil	Posible

Ejemplo: MPLS

- MPLS = Multi Protocol Label Switching
- El objetivo es agregar a una red de datagramas como IP las bondades de las redes de circuitos virtuales
  - Ingeniería de tráfico
  - Calidad de servicio
  - Más simplicidad y por tanto mayor velocidad en el forwarding
- Estandarizado en RFC 3031 y RFC 3032
- Agrega un pequeño encabezado a los paquetes IP para especificar las etiquetas

```
 0                   1                   2                   3
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                Label                  | Exp |S|  TTL          |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Label: Valor de la etiqueta, 20 bits

Exp: Calidad de servicio, 3 bits

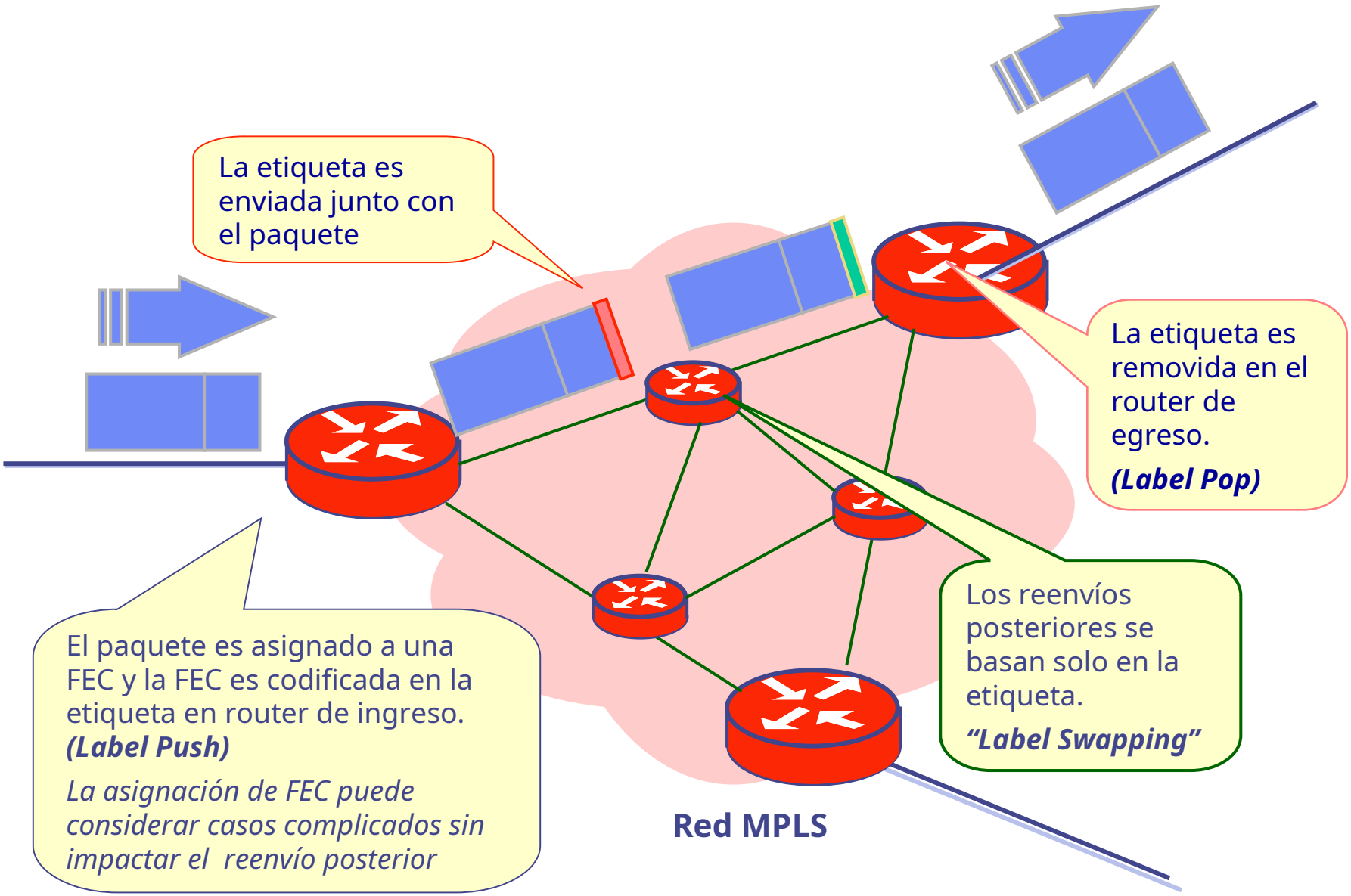
S: Bottom of Stack, 1 bit

TTL: Time to Live, 8 bits

MPLS

- Se hace una partición del conjunto de todos los posibles paquetes en clases de equivalencia "Forwarding Equivalence Classes (FECs)"
  - Una FEC es un grupo de paquetes que se reenvían de la misma manera
    - En IP sería un rango en la tabla de forwarding
  - Cuando ingresa un paquete a la red MPLS se lo asigna una FEC
  - Una vez asignados a una FEC los paquetes son indistinguibles desde el punto de vista de su encaminamiento
  - En los equipos intermedios se encamina por las etiquetas MPLS
- El concepto de FEC provee gran flexibilidad y escalabilidad
  - Paquetes con distinto destino pueden agruparse en la misma FEC
  - Posibles criterios de FEC
    - IP Destino
    - IP Origen – IP Destino
    - IP Origen - IP Destino - puertos origen y destino
    - Calidad de servicio requerida
    - Etc.

Asignación de FECs y encaminamiento de paquetes

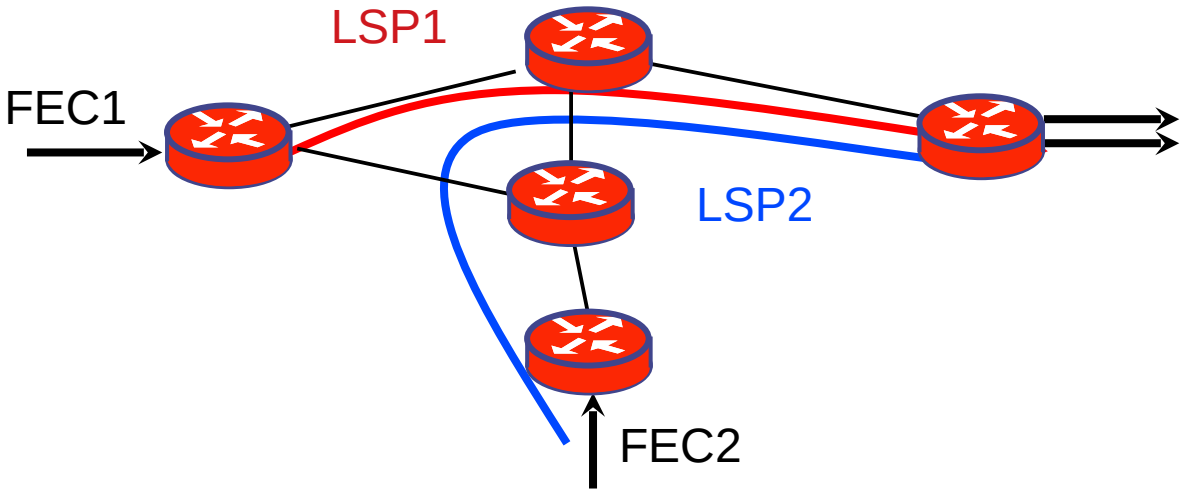


LSP: Label switched path

- En cada router se realiza la siguiente asociación:

Tabla de CVs			
Interfaz de entrada	**Etiqueta de entrada**	**Interfaz de salida**	**Etiqueta de salida**
*	2000	o4	18
…..	…..	…..	…..

- De esta forma se construye para cada FEC un túnel, llamado Label Switched Path (LSP)



Protocolos de distribución de etiquetas

- Un protocolo de distribución de etiquetas es un conjunto de procedimientos por los cuales un router MPLS informa a otro de las asociaciones FEC - Etiqueta que ha realizado
- Algunos Protocolos propuestos:
  - LDP Specification (RFC 3036)
  - Carrying Label Information in BGP-4 (RFC 3107)
  - RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels (RFC 3209)
  - Constraint-Based LSP Setup using LDP (RFC 3212)
- La arquitectura no asume que exista un único protocolo funcionando

Usos típicos de MPLS

- VPNs (Virtual Private Networks)
  - Por ejemplo un cliente tiene una red con puntos de presencia en varios departamentos (sucursales) y lo ven como una red privada
  - Varios clientes pueden ver “su” red de forma independiente de la red de otros clientes
- Ingeniería de tráfico
  - Elegir caminos para los paquetes con criterios diferentes a la dirección de destino que es lo que hace el “Longest Prefix Match”

Seguridad: Firewalls

Facultad de Ingeniería – Universidad de la República

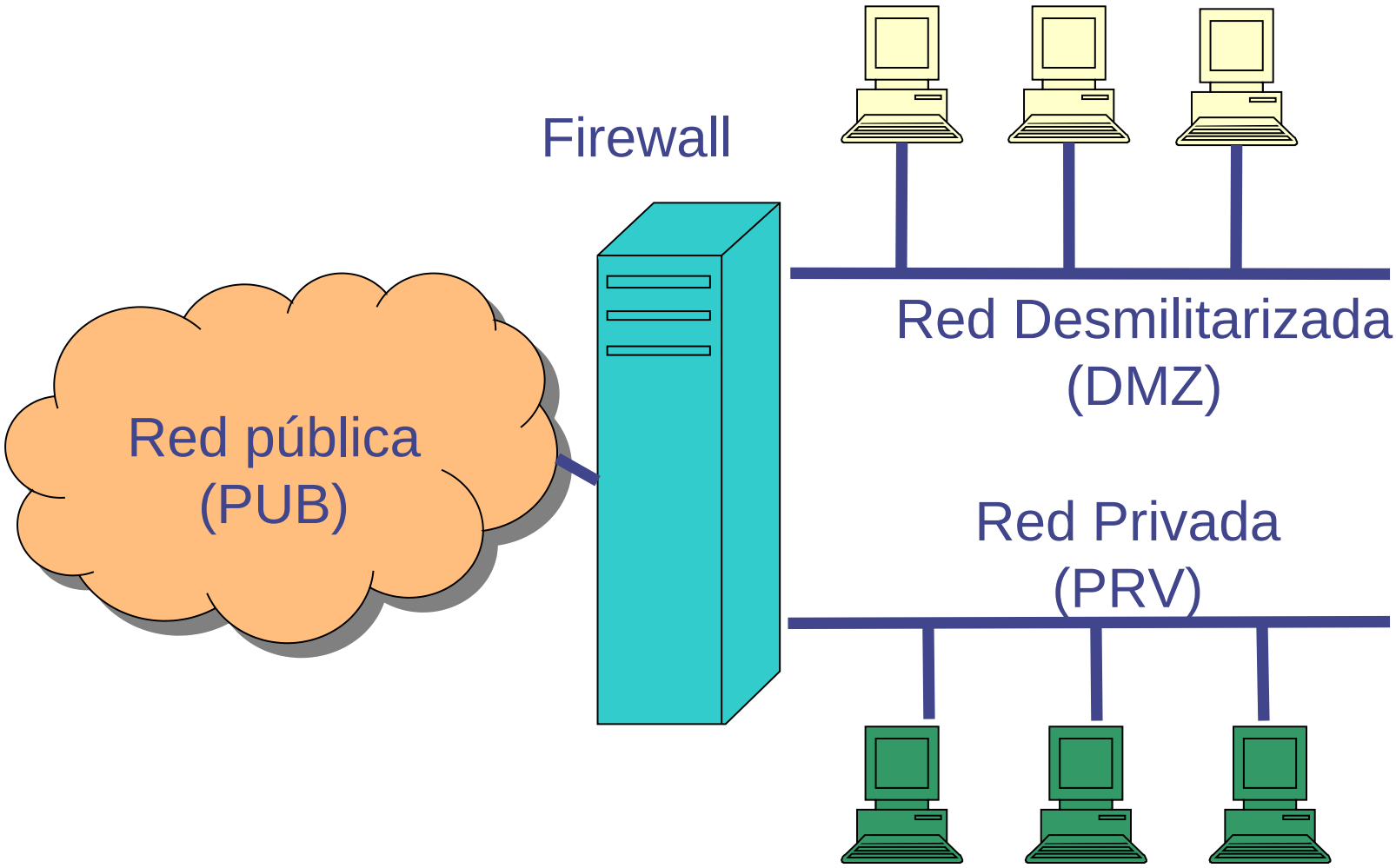
Agenda

- Conceptos de capa de red
- Plano de datos
- Plano de control
- Redes de circuitos virtuales
- Seguridad: Firewalls

Seguridad: Firewalls

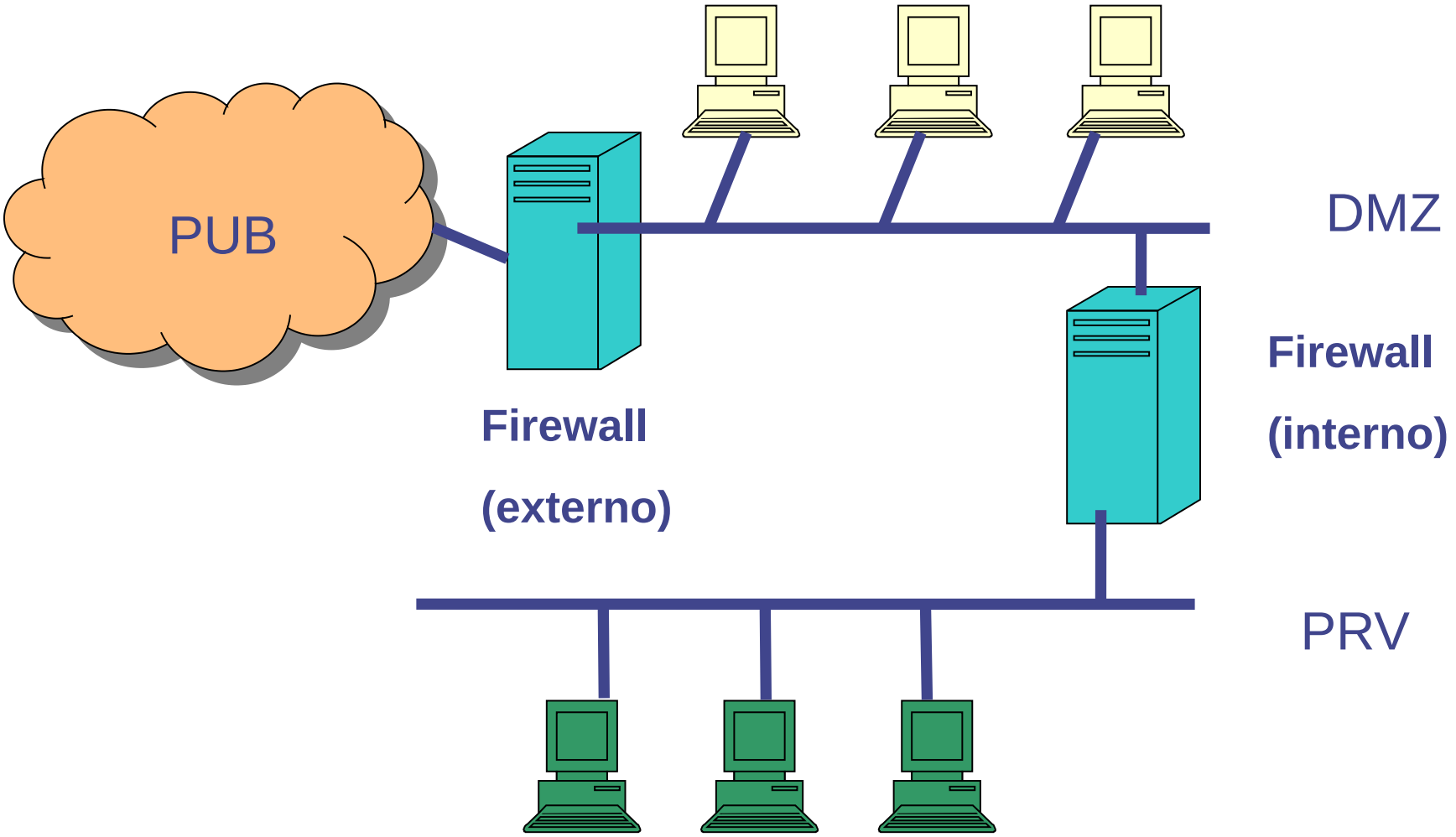
- Las redes conectadas a Internet son en principio vulnerables, ya que pueden recibir paquetes desde cualquier parte del mundo
- Se requieren mecanismos de seguridad conocidos como Firewalls (o corta fuegos)
- La idea es analizar los paquetes e implementar filtros en base a:
    - Dirección IP de origen, Dirección IP de destino
    - Puerto de origen, Puerto de destino
    - Protocolo de capa de transporte
    - Banderas (SYN)
    - Control de conexiones establecidas (estados)

Seguridad: Firewalls



- Web
- Mail
- etc

Seguridad: Firewalls



Seguridad: Firewalls