



---

## Bloque IV: El nivel de red

### Tema 10: Enrutamiento IP básico

---



# Índice

---

- Bloque IV: El nivel de red
  - Tema 10: Enrutamiento IP básico
    - Introducción
    - Tabla de enrutamiento
    - Algoritmo de enrutamiento
    - Direcciones IP privadas
    - NAT y DHCP
    - Ejemplo resumen
- **Referencias**
  - Capítulo 4 de “Redes de Computadores: Un enfoque descendente basado en Internet”. James F. Kurose, Keith W. Ross. Addison Wesley, 2ª edición. 2003.
  - Capítulos 3 y 9 de “TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols”, W. Richard Stevens, Addison Wesley, 1994.



# Introducción

---

- Algoritmo general de enrutamiento:
  - Si el destino está directamente conectado a la máquina (p.e. enlace punto a punto) o en una red compartida (p.e. Ethernet/Token Ring), se envía el datagrama IP directamente al destino.
  - En caso contrario: la máquina envía el datagrama a un router por defecto, y deja que este router entregue el datagrama al destino.
- El nivel IP se puede configurar de dos formas:
  - para actuar como host.
  - para actuar como router.
- El algoritmo de enrutamiento debe valer para poder ser utilizado por las dos posibles configuraciones. Cuando IP recibe un paquete:
  - Si el destino es la propia máquina o una dirección de broadcast, entonces se pasa a la capa de transporte correspondiente.
  - Sino:
    - Si la máquina está configurada para actuar como router, entonces encamina el paquete
    - Sino el paquete se descarta



# Tabla de enrutamiento

- La capa IP tiene una tabla de enrutamiento en memoria. Cada entrada de la tabla de enrutamiento contiene las siguientes informaciones:
  - Dirección IP de destino: Puede ser un host (host ID  $\neq 0$ ) o una dirección de red (host ID = 0).
  - Dirección IP del siguiente router o la dirección IP de una red conectada directamente. A el/ella se envían las datagramas para su posterior reenvío.
  - Flags:
    - Host: indica si la dirección IP de destino es de una red o de un host.
    - Gateway: indica si el siguiente router es realmente un router o una interfaz conectada directamente.
  - Especificación de la interfaz de red a la que se debe pasar el datagrama para su envío.
- El enrutamiento en IP se hace **salto a salto**:
  - IP no conoce cuál es la ruta completa al destino final de un datagrama.
  - Sabe cuál es el siguiente router en el camino de un datagrama.
  - El siguiente router está directamente conectado a la máquina que envía el datagrama.

Destino	Gateway	Flags	Interfaz

Tabla de  
enrutamiento



# Algoritmo de enrutamiento

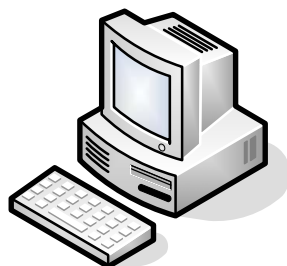
---

1. Se busca en una tabla de enrutamiento una entrada que se corresponda con la dirección completa IP de destino (ID de red + ID de “host”).
  - Si se encuentra, se envía el paquete al siguiente router indicado o a la interfaz conectada directamente (depende del flag).
2. Se busca en la tabla de enrutamiento una entrada que se corresponda sólo con el ID de red de destino.
  - Si se encuentra, se envía el paquete al siguiente router indicado o a la interfaz conectada directamente (depende del flag).
  - Esto permite que todos los hosts de una red (ej: una red ethernet local) se gestionen con una sola entrada en la tabla de enrutamiento.
3. Se busca en la tabla de enrutamiento una entrada “default” (por defecto). Si se encuentra, se envía el paquete al “router” indicado.
4. Si ninguno de los pasos anteriores tiene éxito, se genera el error “host o red inalcanzable”. Ha sido imposible entregar el datagrama.



# Enrutamiento IP básico

- Tabla de enrutamiento de un host aislado:



Destino	Gateway	Flags	Interfaz
127.0.0.1	----	<del>Host Gateway</del>	lo0

- Tabla de enrutamiento de un host conectado a una LAN:

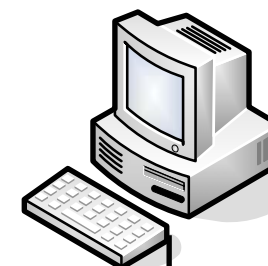
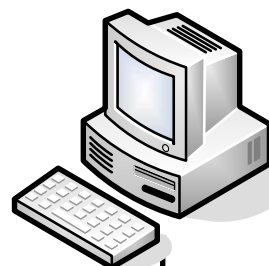
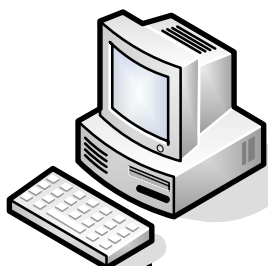
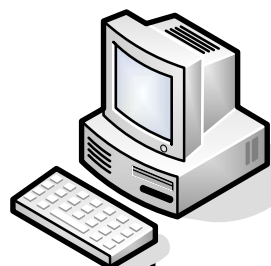
Destino	Gateway	Flags	Interfaz
127.0.0.1	----	<del>Host Gateway</del>	lo0
173.197.0.0	----	<del>Host Gateway</del>	le0

IP: 173.197.45.10

IP: 173.197.24.1

IP: 173.197.15.4

IP: 173.197.0.8



LAN A - 173.197.0.0



# Enrutamiento IP básico

- Tabla de enrutamiento de un host conectado a una LAN (alternativa):

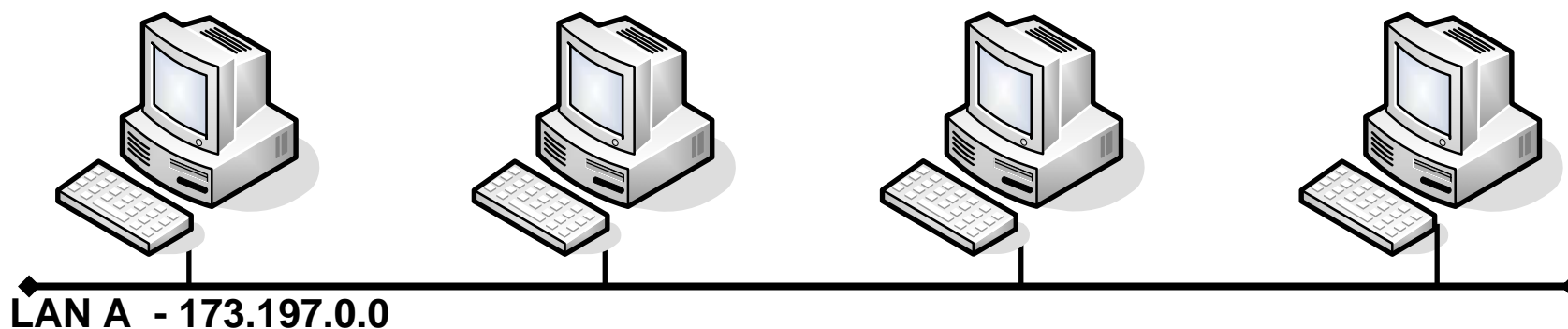
Destino	Gateway	Flags	Interfaz
127.0.0.1	----	<b>Host</b> Gateway	lo0
173.197.24.1	----	<b>Host</b> Gateway	le0
173.197.15.4	----	<b>Host</b> Gateway	le0
173.197.0.8	----	<b>Host</b> Gateway	le0

IP: 173.197.45.10

IP: 173.197.24.1

IP: 173.197.15.4

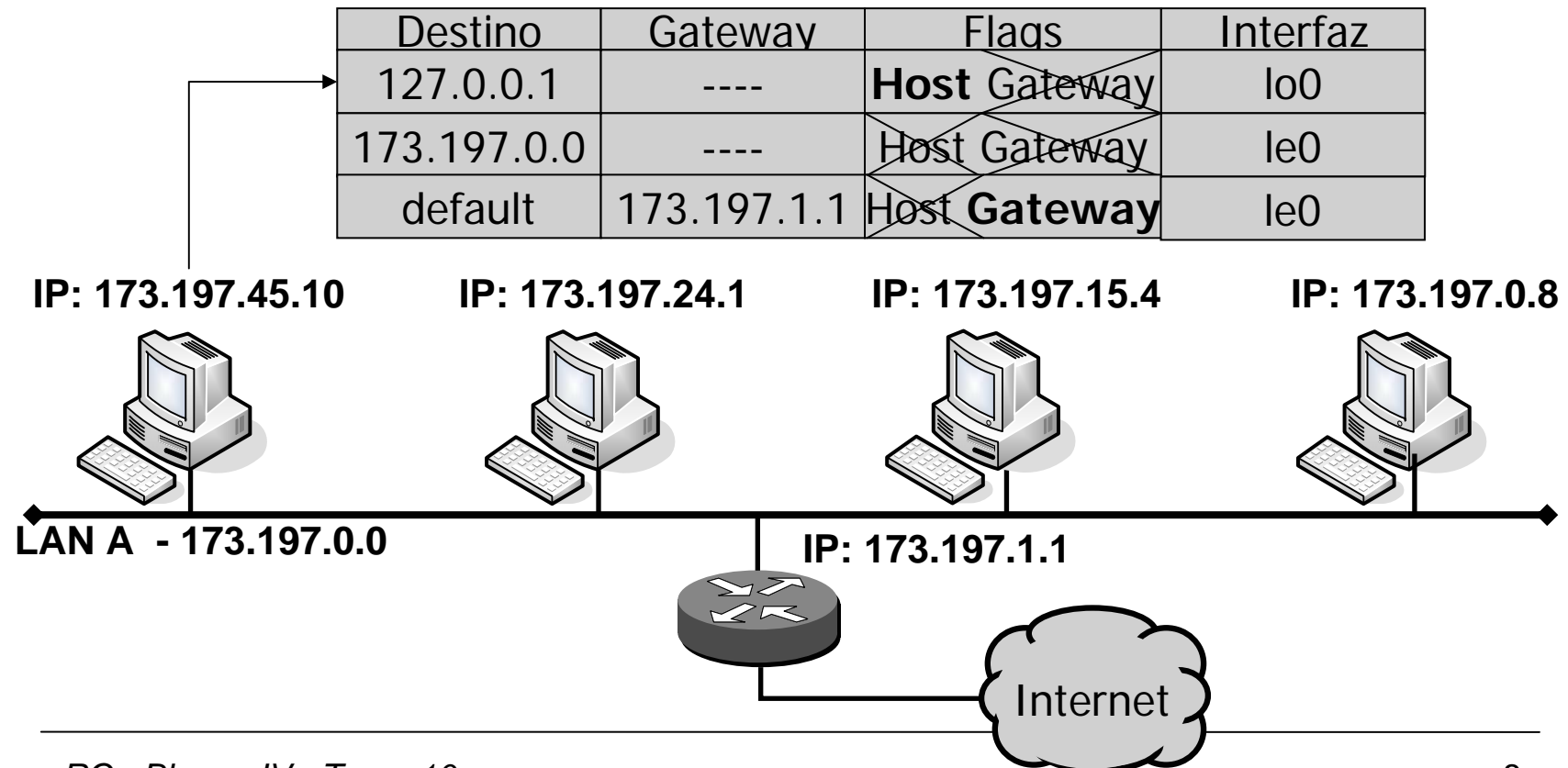
IP: 173.197.0.8





# Enrutamiento IP básico

- Tabla de enrutamiento de un host conectado a una red de área local con conexión a Internet a través de un router:







---

# Enrutamiento IP básico

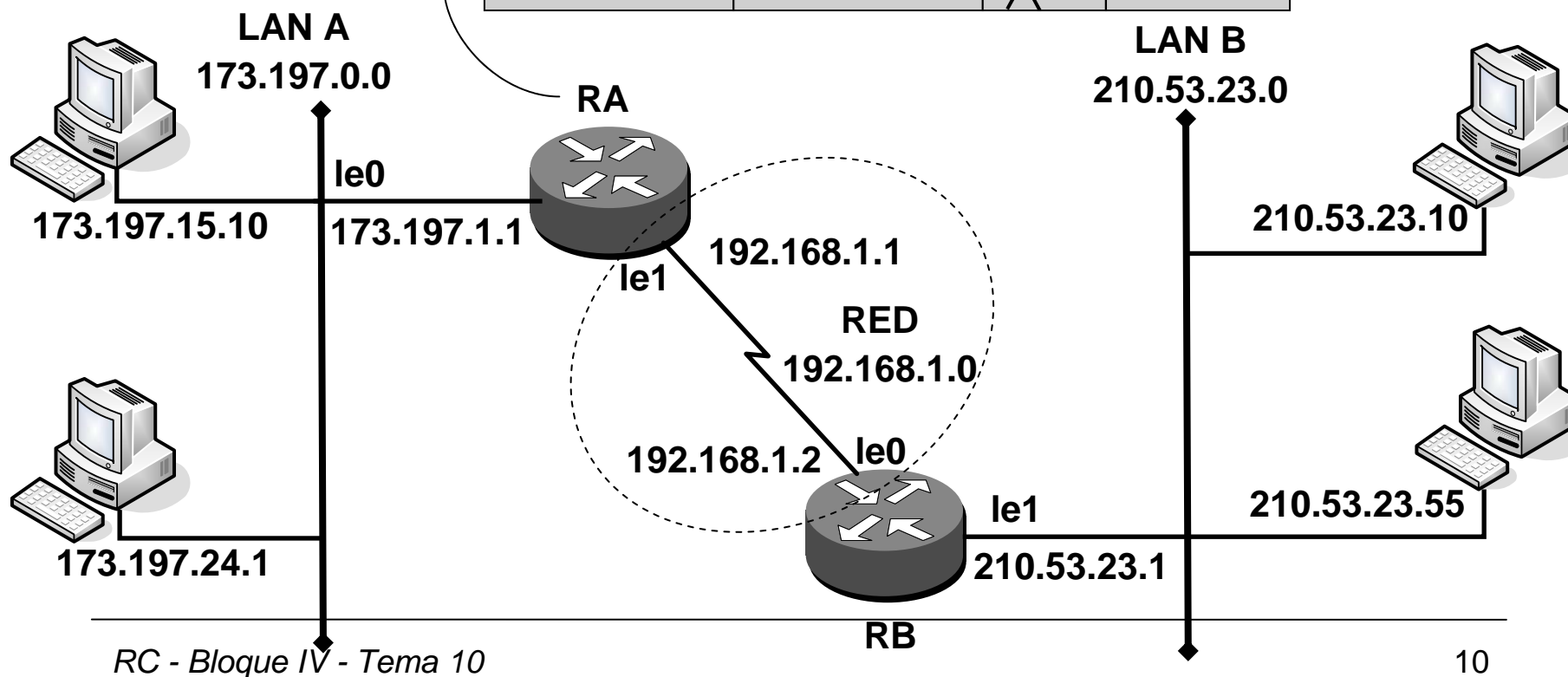
Ejemplo: Conexión de dos LANs  
mediante una línea serie

---



# Enrutamiento IP básico: Ejemplo

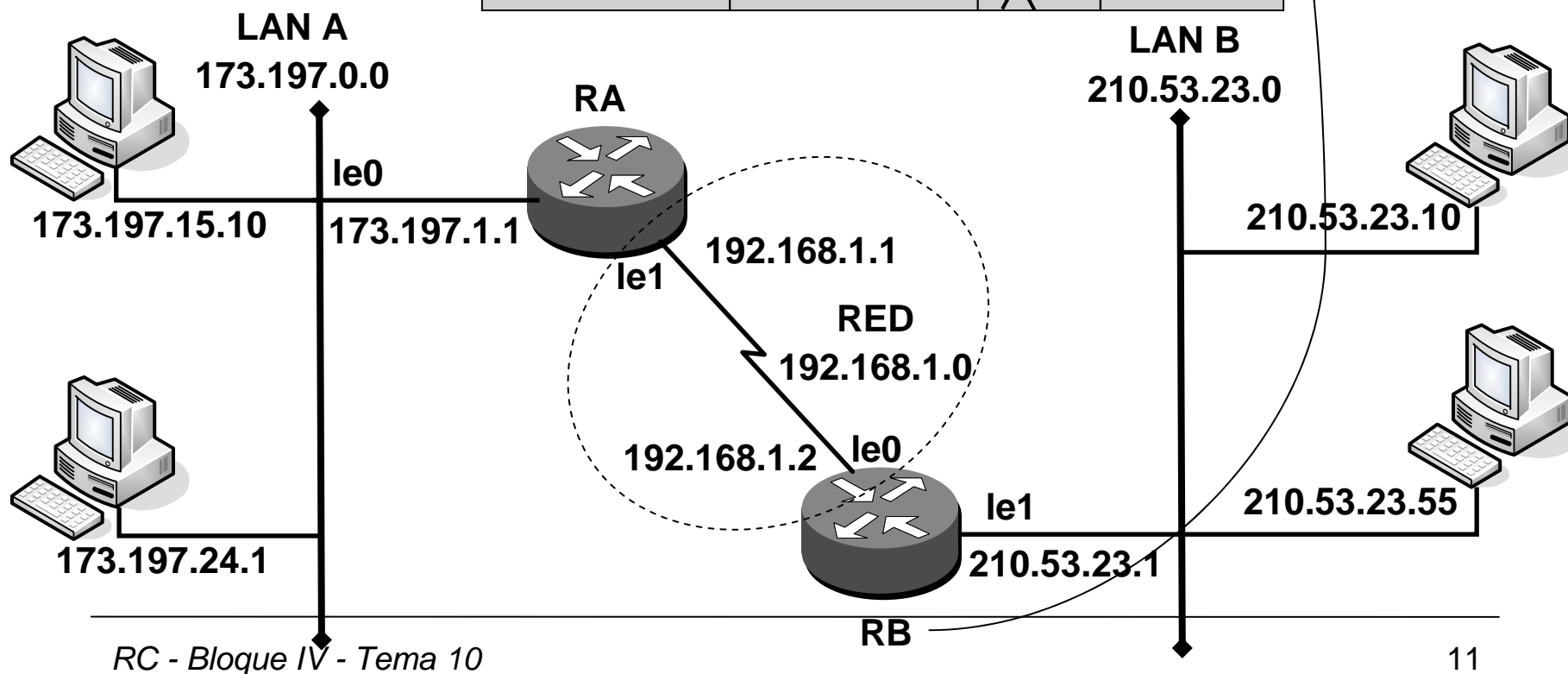
Destino	Gateway	Flags	Interfaz
127.0.0.1	----	<del>H</del> <del>G</del>	lo0
173.197.0.0	----	<del>H</del> <del>G</del>	le0
192.168.1.2	----	<del>H</del> <del>G</del>	le1
210.53.23.0	192.168.1.2	<del>H</del> <del>G</del>	le1





# Enrutamiento IP básico: Ejemplo

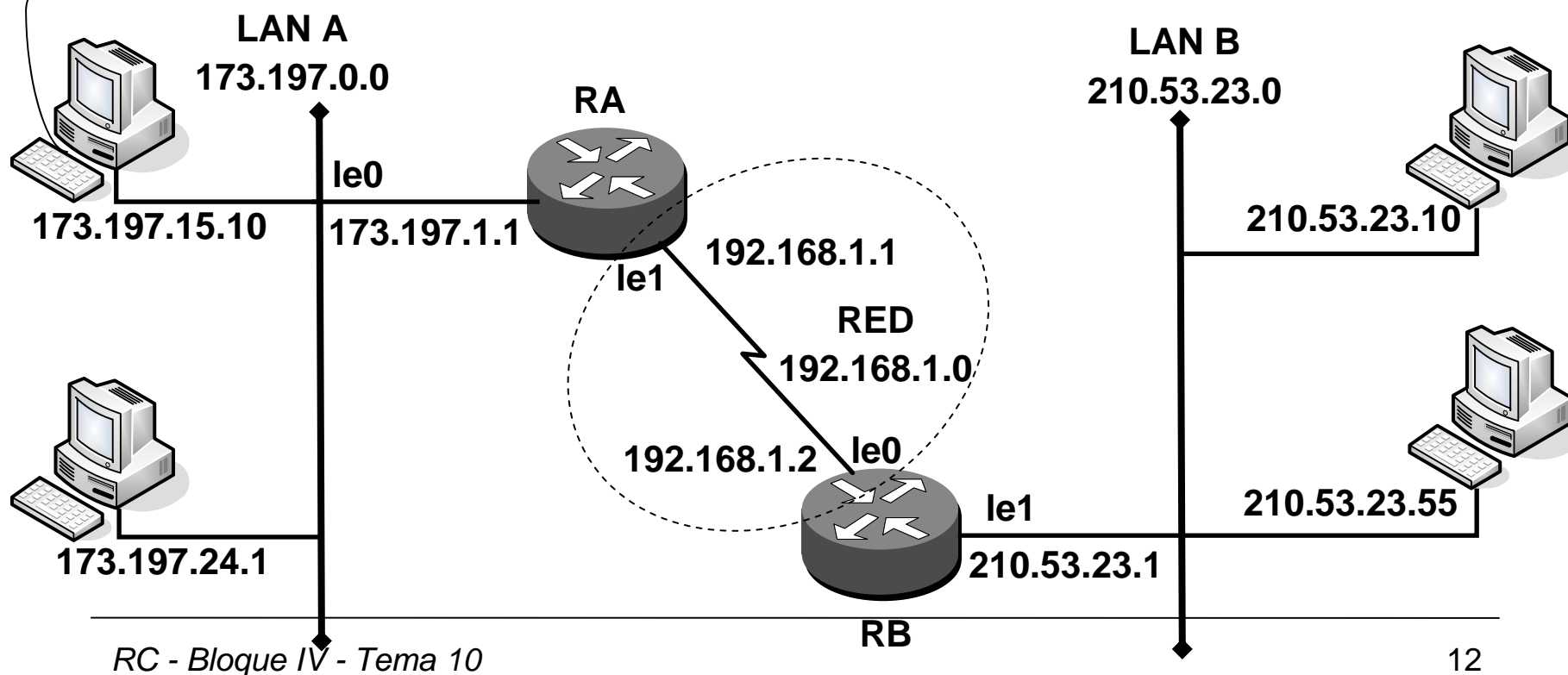
Destino	Gateway	Flags	Interfaz
127.0.0.1	----	<del>H</del> <del>G</del>	lo0
210.53.23.0	----	<del>H</del> <del>G</del>	le1
192.168.1.1	----	<del>H</del> <del>G</del>	le0
173.197.0.0	192.168.1.1	<del>H</del> <del>G</del>	le0





# Enrutamiento IP básico: Ejemplo

Destino	Gateway	Flags	Interfaz
127.0.0.1	----	<del>H</del> <del>G</del>	lo0
173.197.0.0	----	<del>H</del> <del>G</del>	le1
default	173.197.1.1	<del>H</del> <del>G</del>	le1





# Direcciones privadas

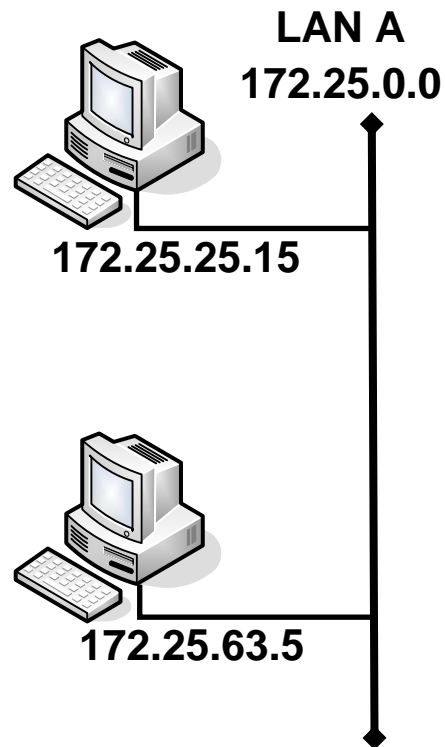
---

- En el caso anterior, las direcciones utilizadas para la línea serie entre RA y RB no son conocidas por los hosts. ¿Para qué malgastar direcciones IP públicas?  
➔ Se utilizan IPs privadas
- Direcciones IP reservadas y privadas (RFC 1918):
  - **10.0.0.0: privado**
  - **172.16.0.0 – 172.31.0.0: privado**
  - **192.168.0.0 – 192.168.255.0: privado**
  - 128.0.0.0, 192.0.0.0, 224.0.0.0: reservado (inicio del rango de las direcciones clase B, C y D).
  - 127.0.0.0, 191.255.0.0: reservado (fin direcciones clase A y B).
  - 240.0.0.0 – 255.255.255.254: reservado (clase E)

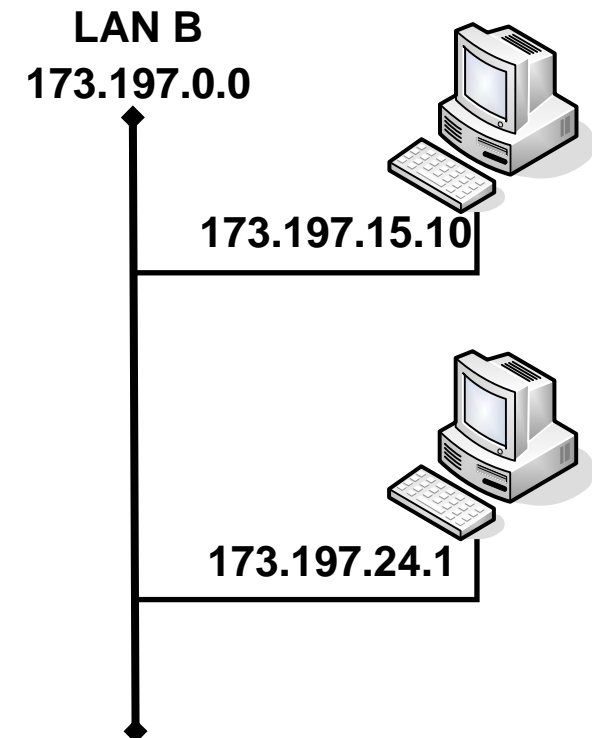


# Direcciones privadas

- Red privada A, utilizando una dirección privada.

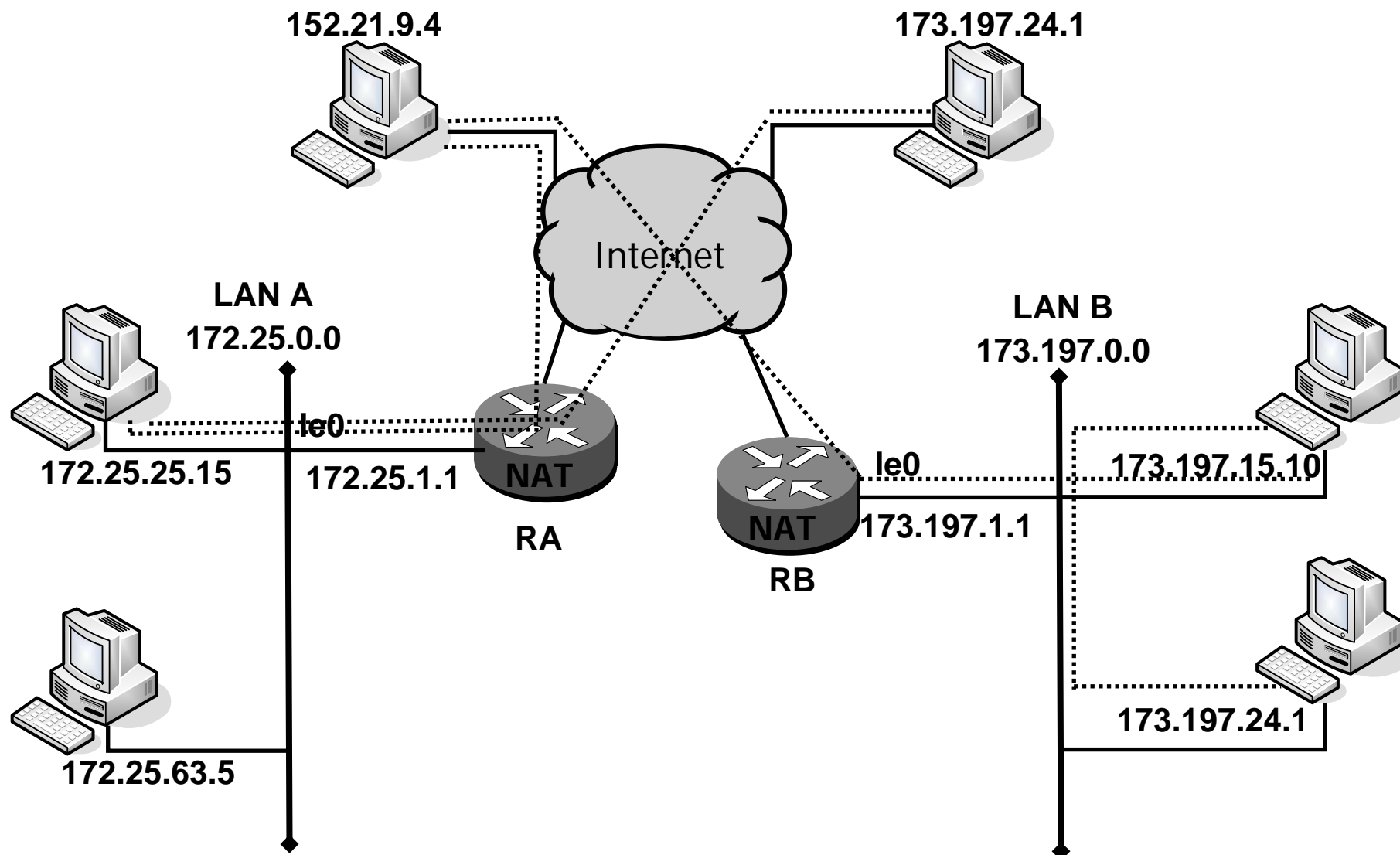


- Red privada B, utilizando una dirección pública.





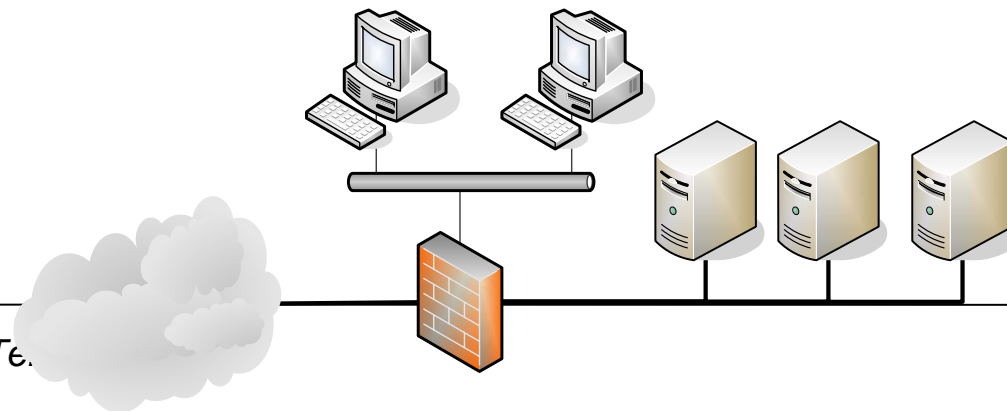
# Direcciones privadas





# NAT

- **Network Address Translation:** Consiste en modificar la dirección IP origen y/o destino de un datagrama IP al pasar a través de un router o firewall:
  - Normalmente se utiliza para permitir a múltiples máquinas en una red privada acceder a Internet usando una única dirección IP pública.
- **Firewall:** dispositivo configurado para permitir, denegar o actuar de intermediario en las comunicaciones de una red.
  - Puede ser hardware o software
  - Permite controlar el tráfico entre redes de diferentes zonas de confianza.
  - Normalmente, separa una red interna (intranet: alto nivel de confianza) de una red externa (Internet: confianza nula), evitando accesos irregulares a la red interna.
  - También se utiliza para crear una DMZ.
- **DMZ (DeMilitarized Zone):** parte de una red que sitúa entre la red interna de una organización y una red externa (p.e. Internet).
  - Se permiten las conexiones desde las redes externa e interna al DMZ.
  - Desde el DMZ sólo se permiten las conexiones a la red externa → Esto protege la red interna en caso de que una máquina de la DMZ sea comprometida.
  - En la DMZ se incluyen todos los servidores accesibles desde el exterior: servidor Web, correo electrónico, DNS, ...







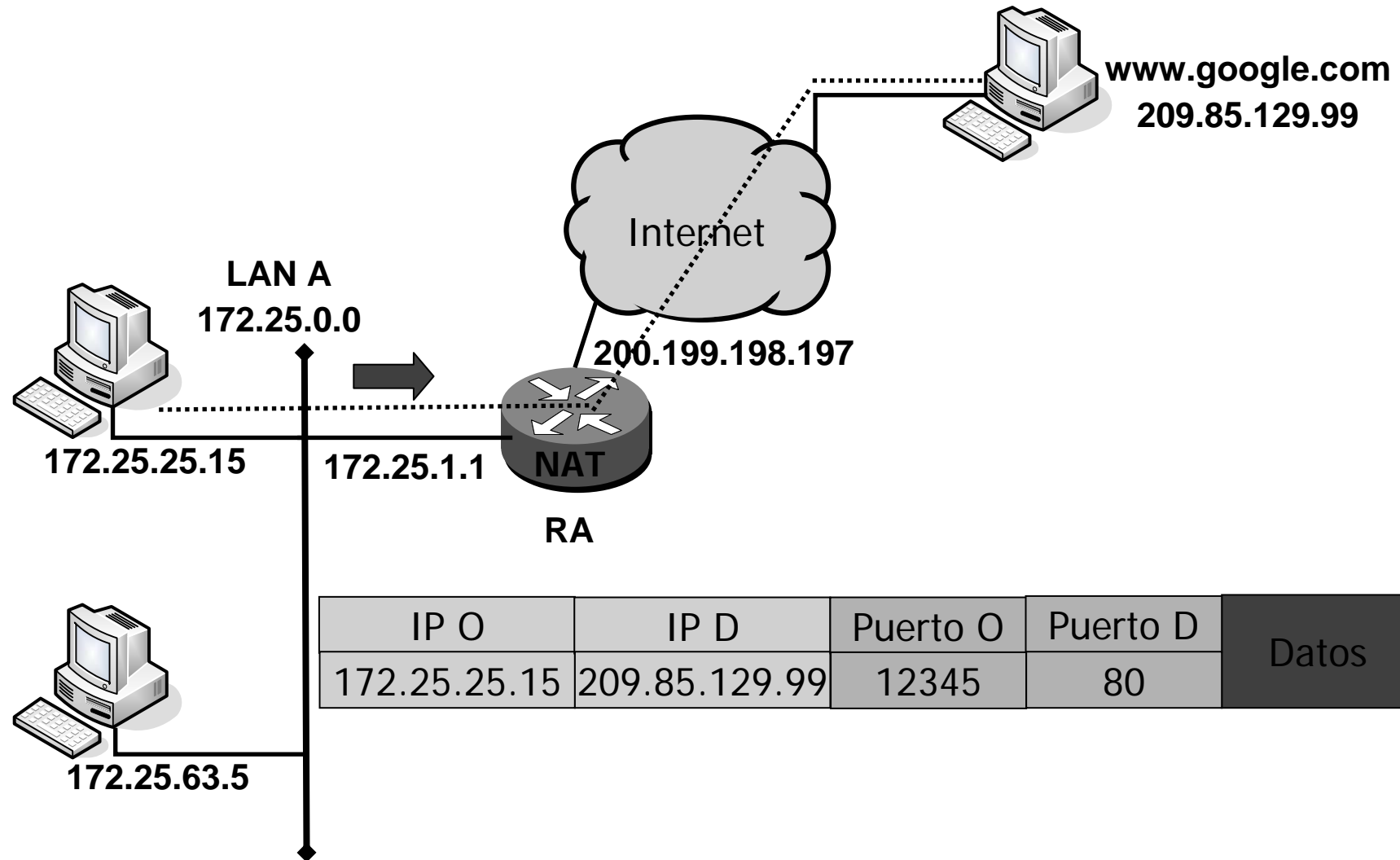
# NAT

---

- Configuración típica:
  - La red interna utiliza una dirección IP privada.
  - El router de la red tiene una interfaz con IP privada (conectada a la red interna) y otra interfaz con IP pública (conectada a Internet).
  - El router se encarga de realizar NAT:
    - Para el tráfico saliente modifica la dirección IP origen privada por una dirección IP pública.
    - El router debe almacenar la información básica para cada conexión (dirección IP + puerto destino, dirección IP + puerto interno)
    - Cuando se recibe la respuesta el router debe modificar la IP destino (pública) por la privada que corresponda.
  - Desde Internet parece que la comunicación se está realizando directamente con el router.
- Tipos de NAT:
  - NAPT (Network Address Port Translation): múltiples máquinas comparten una única dirección IP pública.
    - La traducción se realiza mapeando números de puerto.
  - Basic NAT (o NAT estático o NAT 1 a 1): sólo se realiza el mapeo de direcciones IP.
    - Cada dirección IP privada tiene asignada una dirección IP pública.

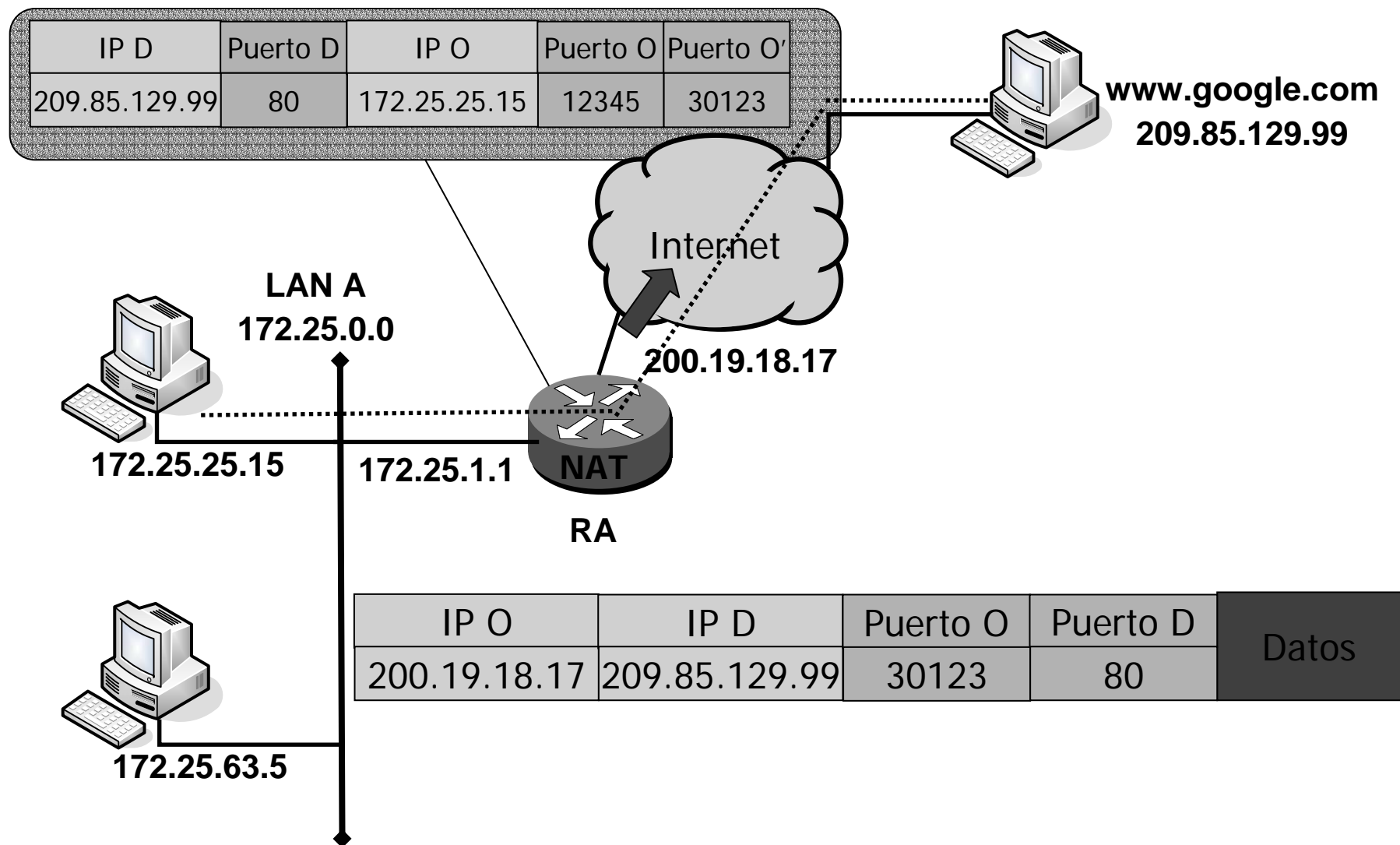


# NAPT



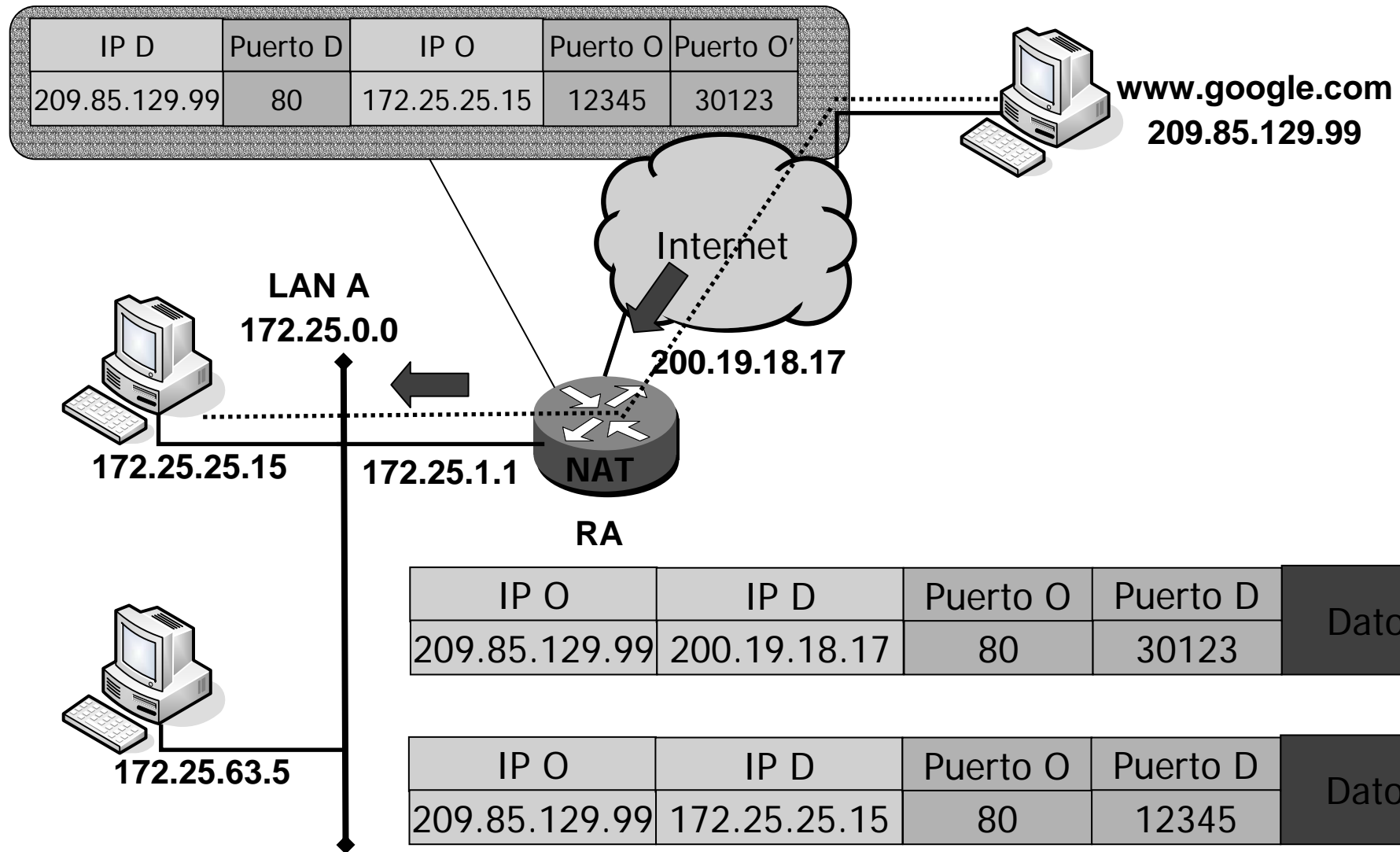


# NAPT





# NAPT





# NAT

---

- Ventajas:
  - Seguridad – No se permiten conexiones bidireccionales: una máquina interna debe iniciar la conexión con una máquina de Internet → Evita conexiones maliciosas desde el exterior.
  - Solución para la escasez de direcciones IPv4:
    - Utilizar direcciones IP públicas sólo para máquinas que requieran conexión bidireccional a Internet.
    - Direcciones privadas para las máquinas que sólo se conectan a Internet.
- Inconvenientes:
  - No existe una conectividad extremo a extremo real:
    - Limita la utilización de algunos protocolos de la capa de aplicación envían información sobre direcciones IP en los datos de la aplicación (p.e. FTP activo, SIP, IPSec, ...)
    - Desarrollo de gateways de aplicaciones específicos para estos casos (p.e. FTP pasivo)
  - Reduce la necesidad de IPv6



# DHCP

---

- Dynamic Host Configuration Protocol: permite asignar direcciones IP dinámicamente a los hosts:
  - Las direcciones IP se asignan durante un tiempo limitado (desde horas a días), después es necesario renovarlas.
  - También incluye otros parámetros como máscaras de subred, router por defecto (antes se utilizaba ICMP o BOOTP) y servidores DNS.
- Se basa en el modelo cliente-servidor
  - Cliente DHCP: cualquier máquina “nueva” en la red que se esté iniciando y necesite una configuración de red
  - Servidor DHCP: garantiza que todas las direcciones IP son únicas (durante su tiempo de vida).
- Métodos de asignación de direcciones:
  - Estática o manual: se asigna una dirección IP a una máquina concreta (en base a su dirección MAC). Evita que se conecten clientes no identificados.
  - Automática: asigna una dirección IP permanente a una máquina.
  - Dinámica: se utiliza un rango de direcciones IP y cada ordenador de la red está configurada para solicitar su dirección IP al iniciarse la interfaz.
    - Permite la reutilización dinámica de las direcciones IP.
    - Facilita la instalación de nuevas máquinas en la red.



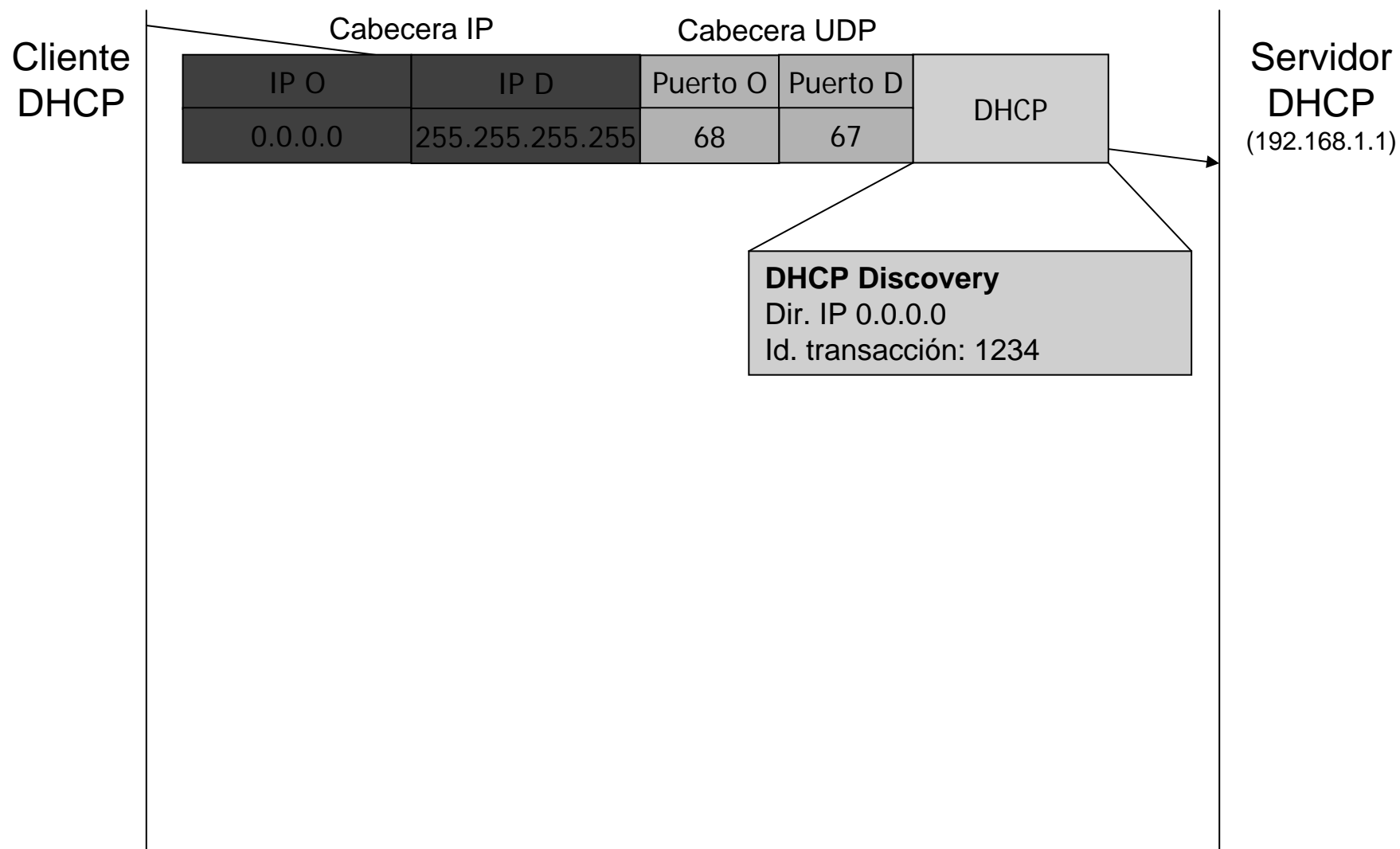
# DHCP: Funcionamiento

---

- Modelo cliente-servidor basado en UDP
  - Puerto 67 para el servidor y puerto 68 para el cliente.
- Mensajes DHCP: el cliente incluye un identificador de transacción en el mensaje de descubrimiento, que deberá ser repetido en los siguientes.
  - **Discovery**: mensaje difundido en la red por el cliente para descubrir el/los servidores DHCP.
    - Envía un mensaje UDP a la dirección de broadcast 255.255.255.255.
  - **Offer**: mensaje que contiene la dirección IP que el servidor ofrece al cliente DHCP.
    - Incluye la dirección MAC del cliente, la IP ofertada, la máscara, el tiempo de validez y la dirección del servidor.
  - **Request**: el cliente seleccionará una dirección de las ofertadas.
    - En caso de existir varios servidores, se indica el servidor del que se acepta la oferta.
  - **Acknowledgement**: el servidor confirma la solicitud del cliente y le indica cualquier otra información solicitada por el cliente.



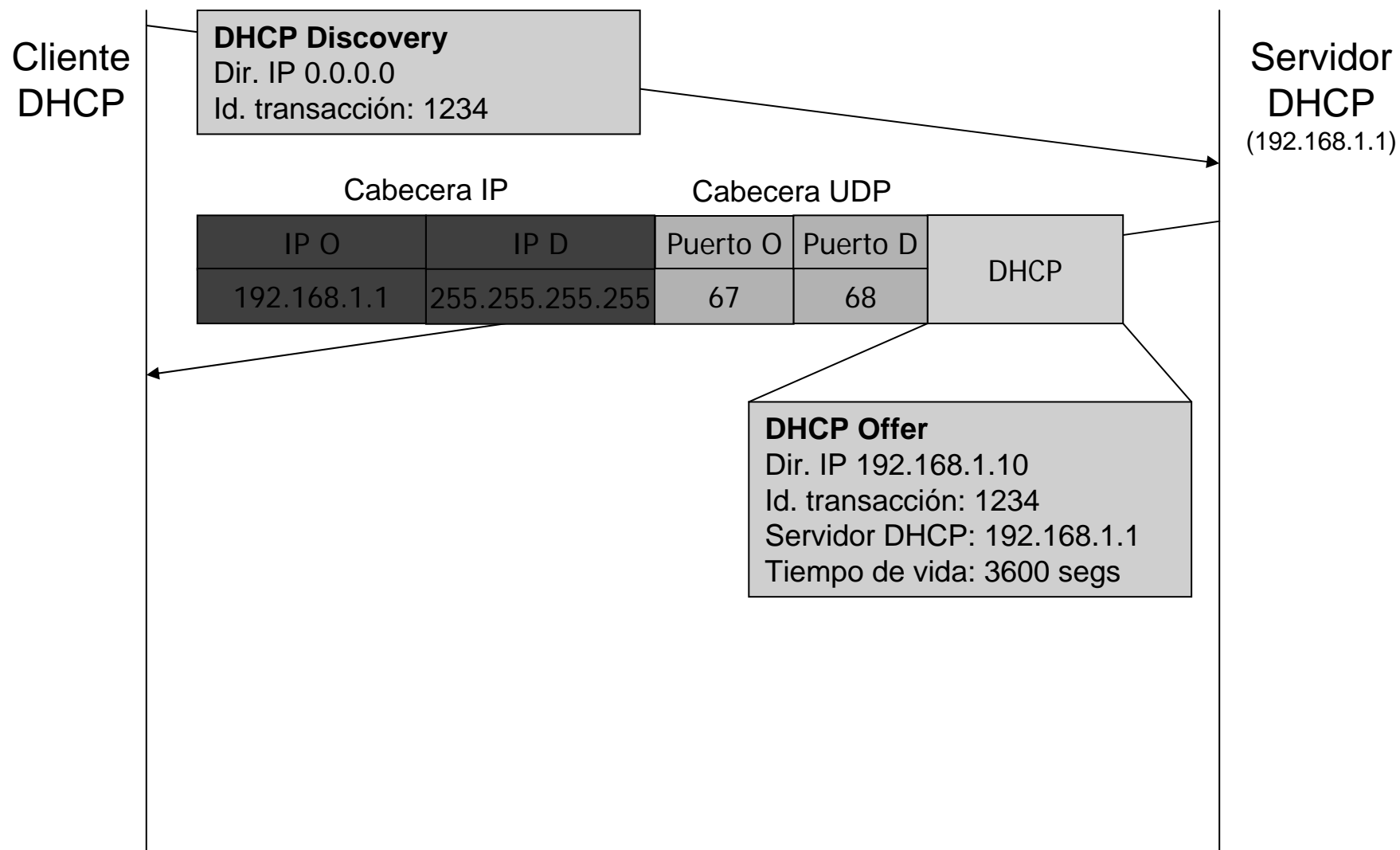
# DHCP: Funcionamiento





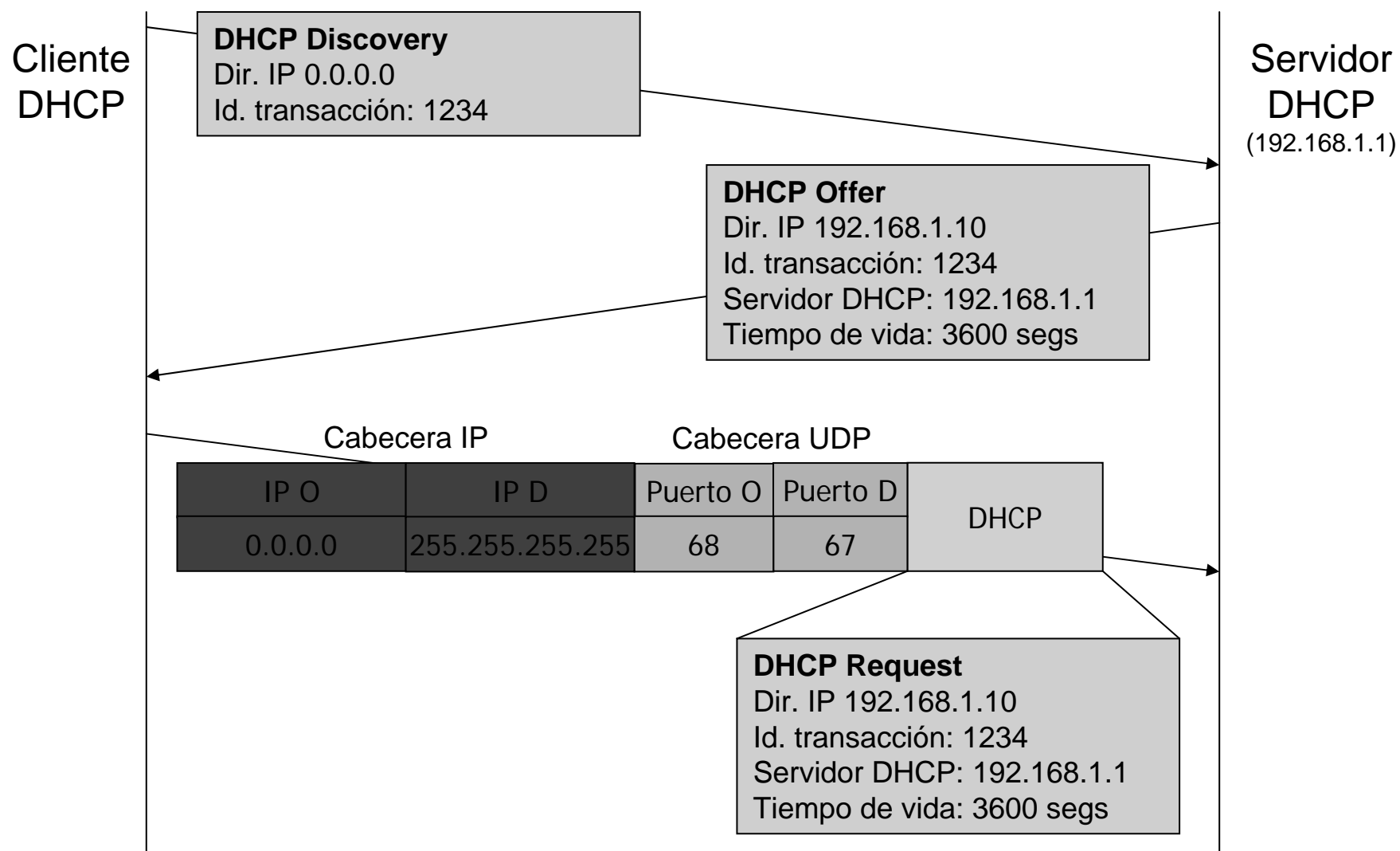


# DHCP: Funcionamiento



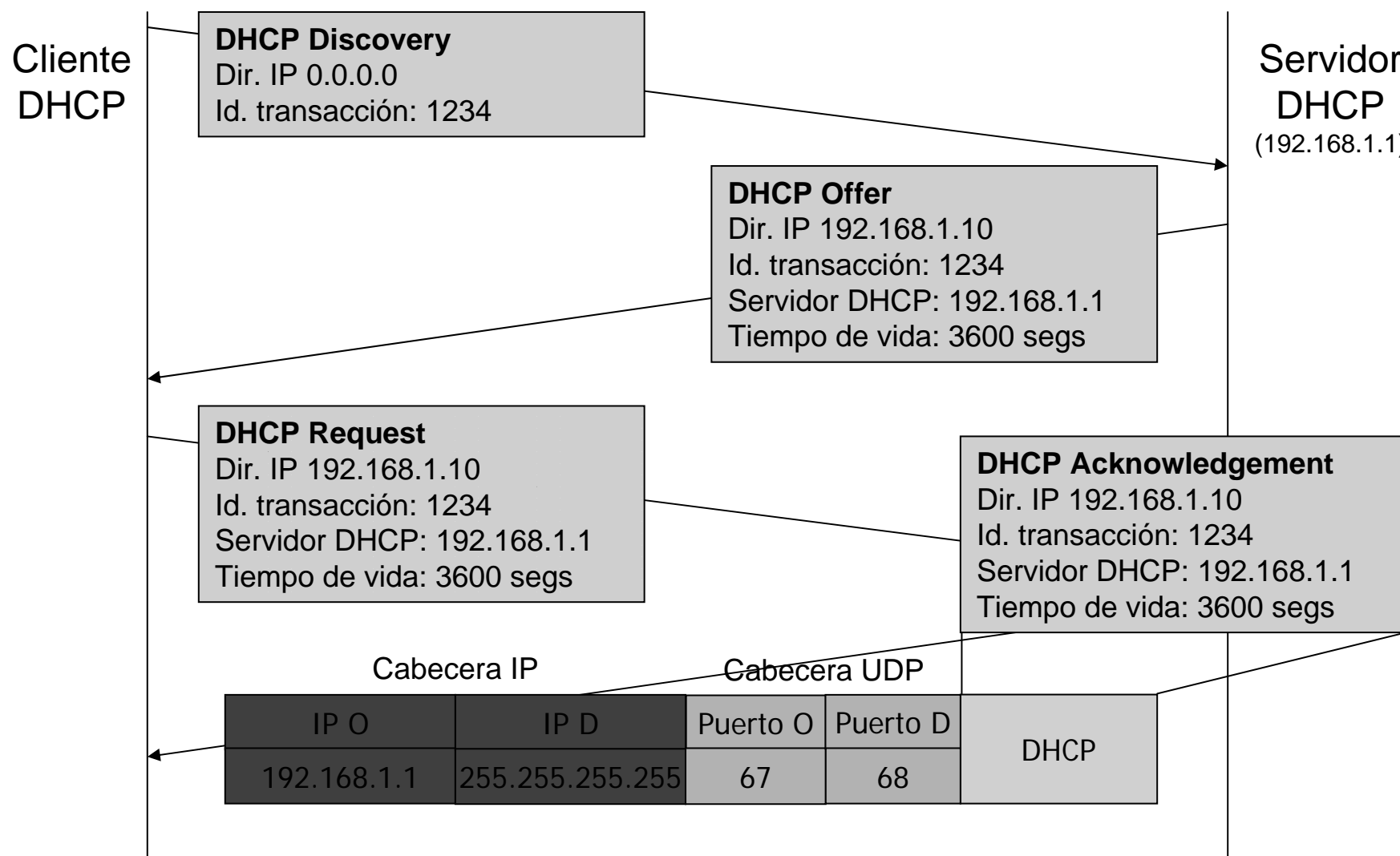


# DHCP: Funcionamiento





# DHCP: Funcionamiento





---

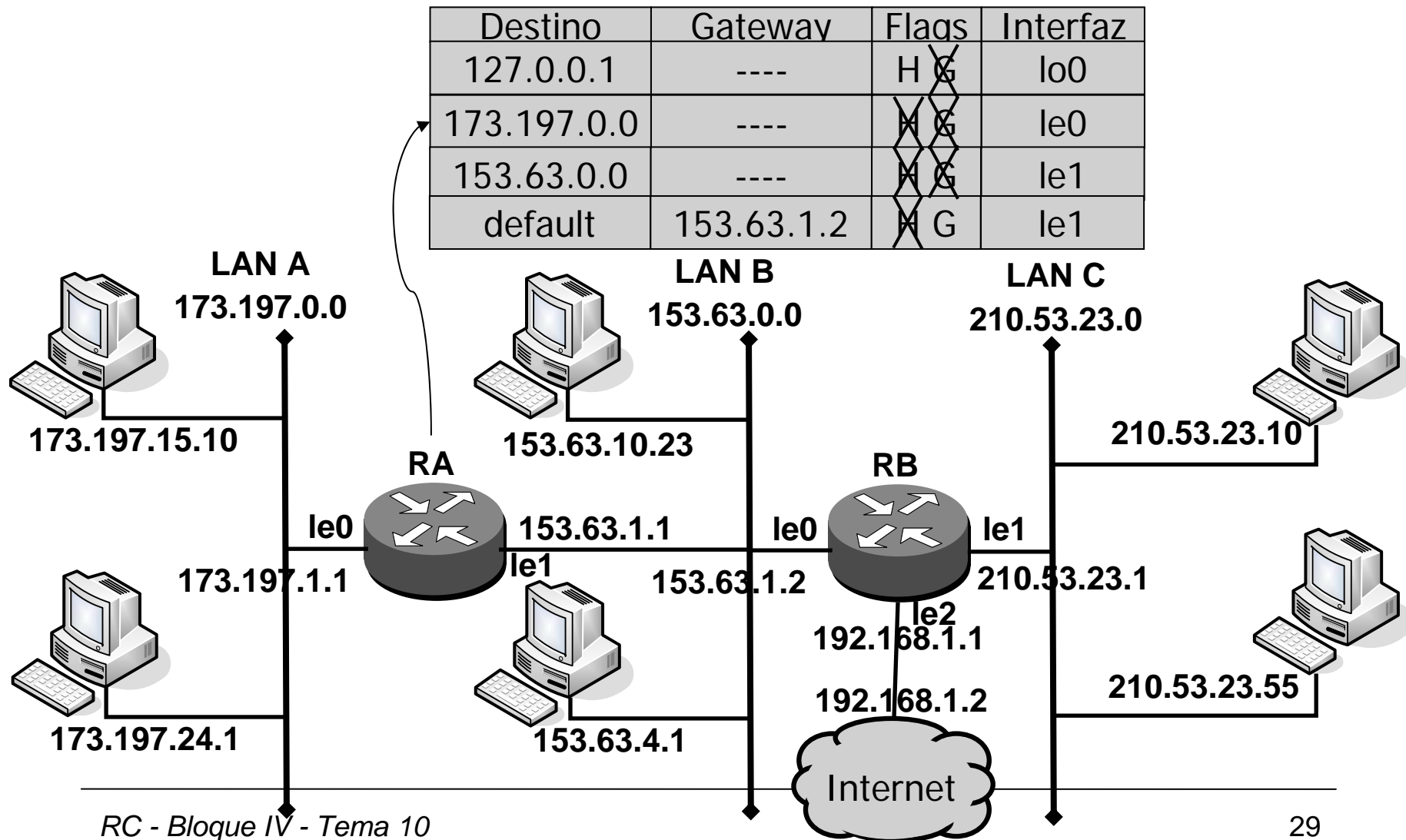
# Enrutamiento IP básico

## Ejemplo resumen

---



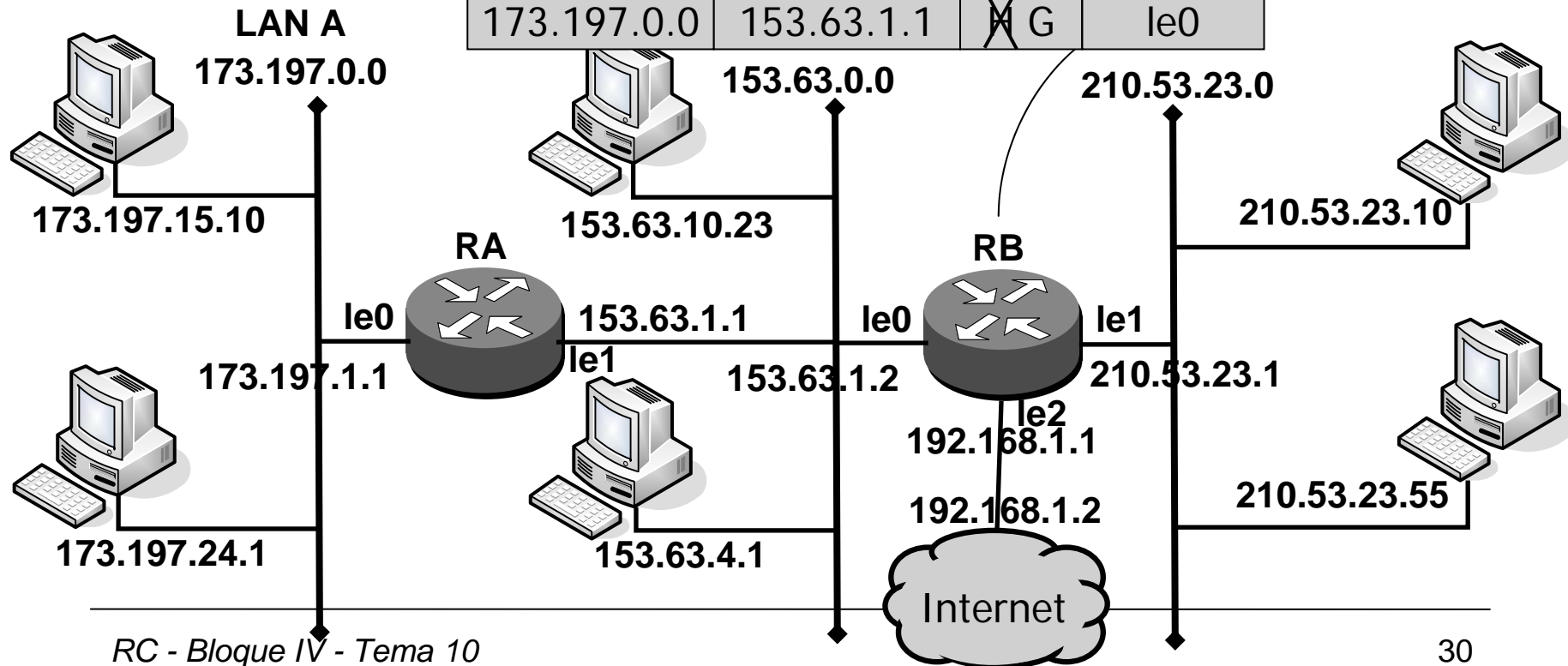
# Enrutamiento básico: Ejemplo resumen





# Enrutamiento básico: Ejemplo resumen

Destino	Gateway	Flags	Interfaz
127.0.0.1	----	H <del>G</del>	lo0
153.63.0.0	----	<del>H</del> <del>G</del>	le0
210.53.23.0	----	<del>H</del> <del>G</del>	le1
192.168.1.2	----	H <del>G</del>	le2
default	192.168.1.2	<del>H</del> G	le2
173.197.0.0	153.63.1.1	<del>H</del> G	le0





# Enrutamiento básico: Ejemplo resumen

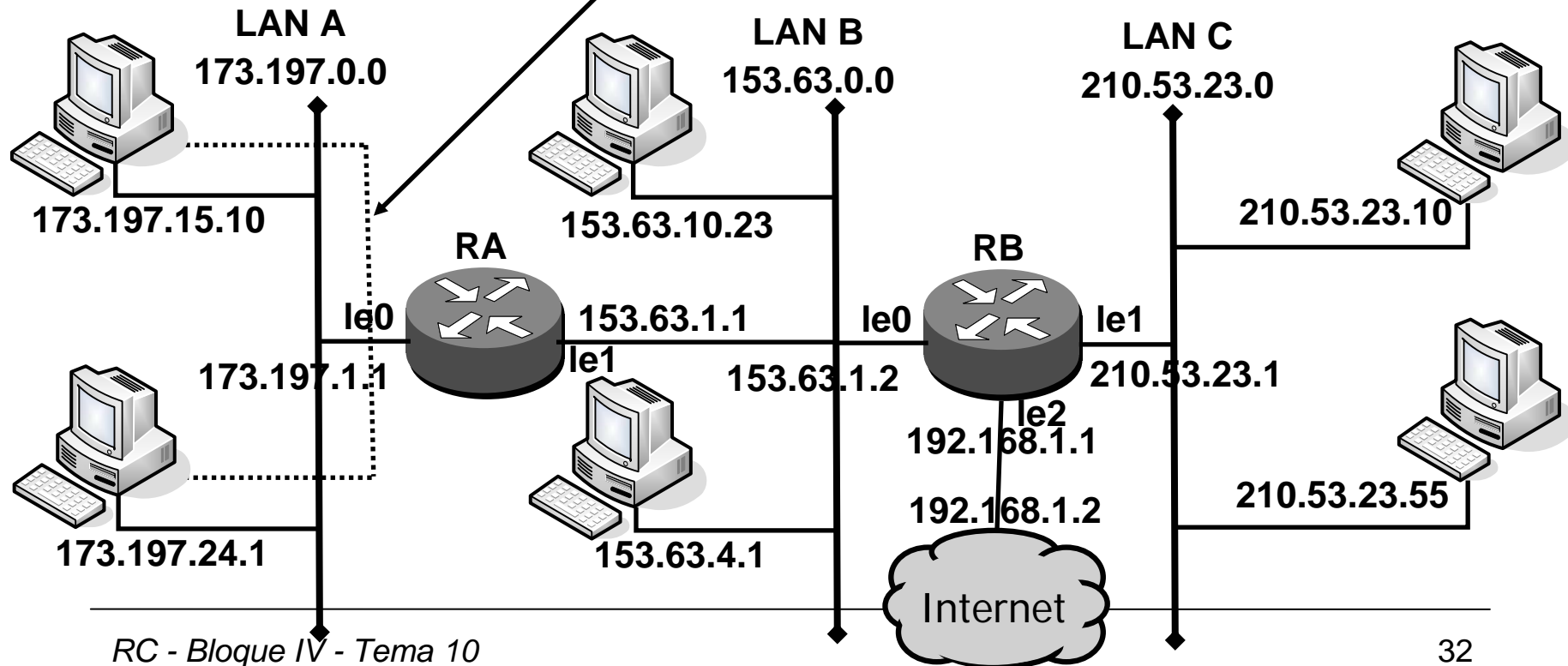
---

- 173.197.15.10 envía un datagrama a 173.197.24.1:
  - El nivel de red de 173.197.15.10 recibe un datagrama, con destino 173.197.24.1
  - Algoritmo de enrutamiento (tabla de enrutamiento): 173.197.0.0 → Directamente conectada
  - El datagrama se envía al nivel de enlace (p.e. Ethernet), que consigue la dirección Ethernet de destino utilizando ARP.



# Enrutamiento básico: Ejemplo resumen

Ethernet D	Ethernet O	IP D	IP O	Datos
Eth(173.197.24.1)	Eth(173.197.15.10)	173.197.24.1	173.197.15.10	







# Enrutamiento básico: Ejemplo resumen

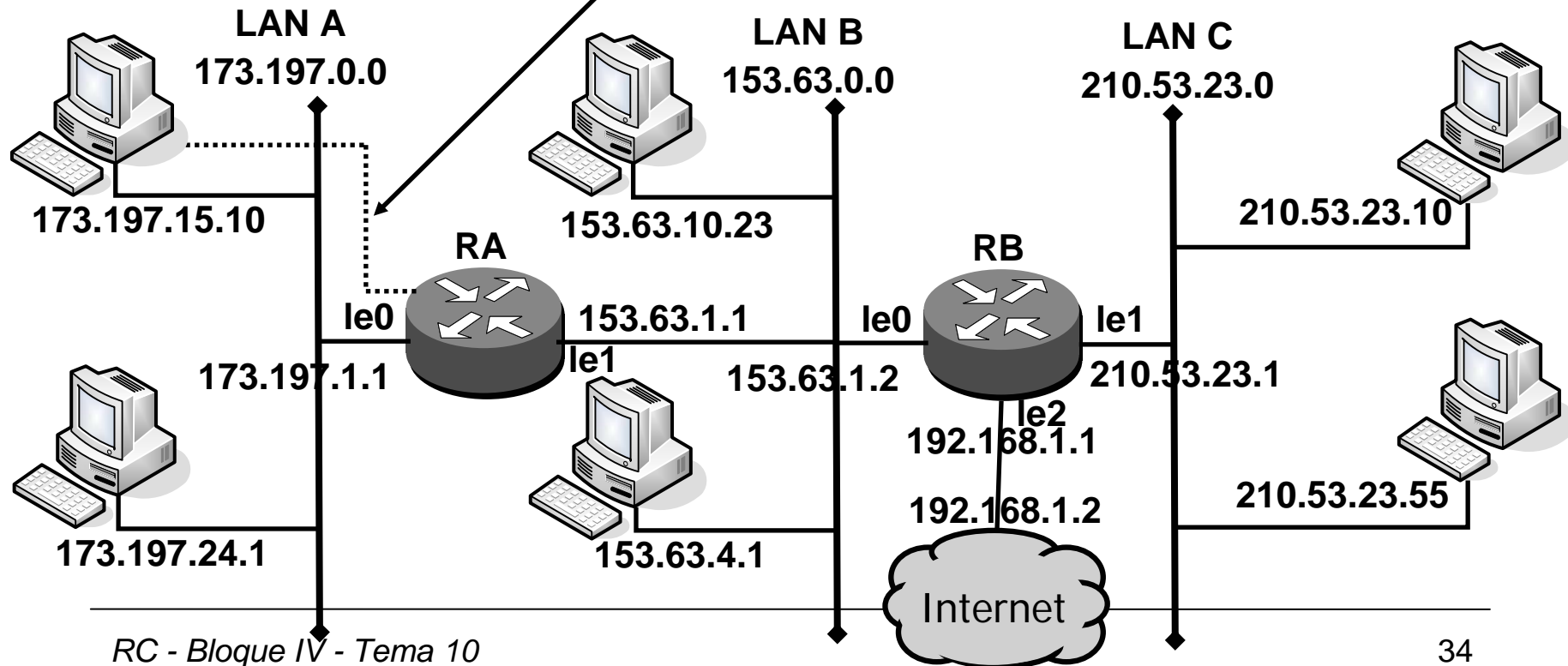
---

- 173.197.15.10 envía un datagrama a 156.95.76.53 (paso 1):
  - El nivel de red de 173.197.15.10 recibe un datagrama, con destino 156.95.76.53.
  - Algoritmo de enrutamiento (tabla de enrutamiento): default → 173.197.1.1
  - El datagrama se envía al nivel de enlace, con la dirección Ethernet de destino de 173.197.1.1 (y dirección IP destino 156.95.76.53).

# Enrutamiento básico: Ejemplo resumen



Ethernet D	Ethernet O	IP D	IP O	Datos
Eth(173.197.1.1)	Eth(173.197.15.10)	156.95.76.53	173.197.15.10	





# Enrutamiento básico: Ejemplo resumen

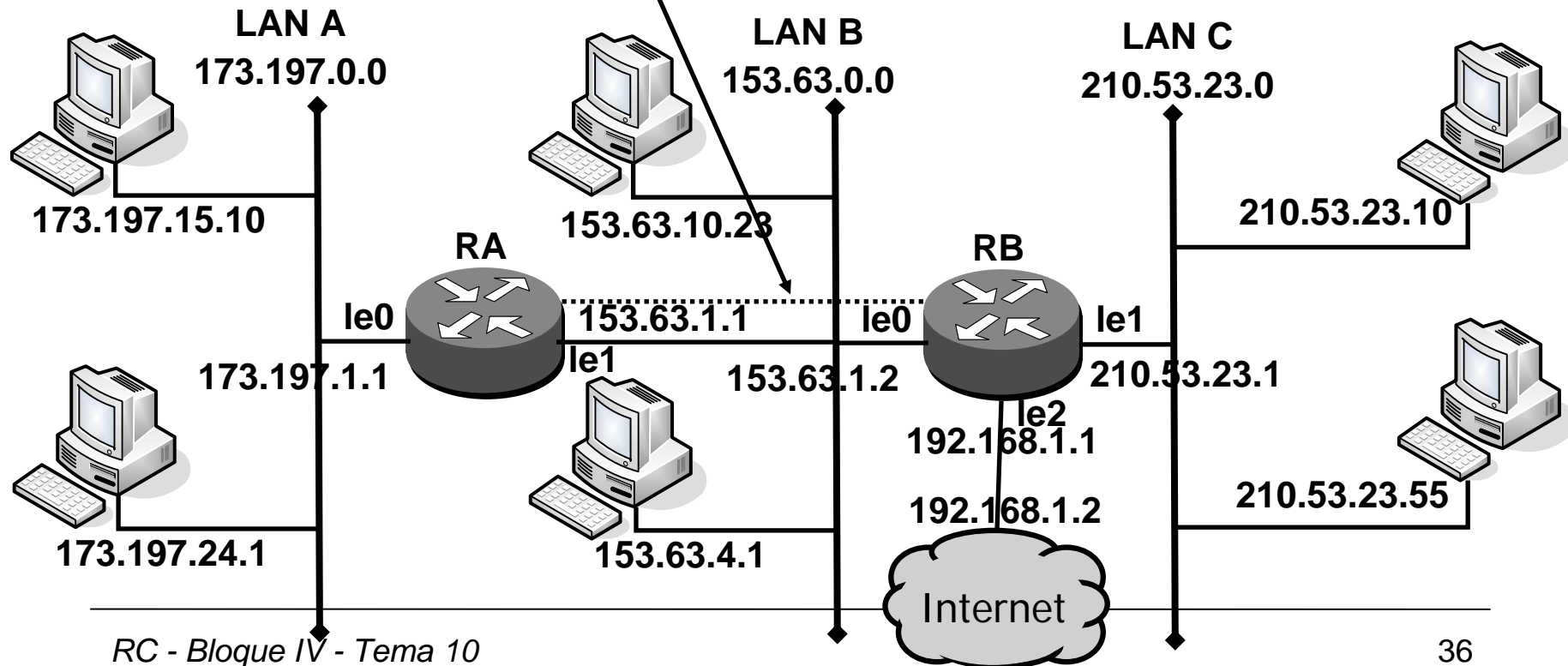
---

- 173.197.15.10 envía un datagrama a 156.95.76.53 (paso 2):
  - El nivel de red de 173.197.1.1 (RA) recibe un datagrama, con destino 156.95.76.53.
  - Algoritmo de enrutamiento (tabla de enrutamiento): default → 153.63.1.2
  - El datagrama se envía al nivel de enlace, con la dirección Ethernet de destino de 153.63.1.2 (y dirección IP destino 156.95.76.53).

# Enrutamiento básico: Ejemplo resumen



Ethernet D	Ethernet O	IP D	IP O	Datos
Eth(153.63.1.2)	Eth(153.63.1.1)	156.95.76.53	173.197.15.10	





# Enrutamiento básico: Ejemplo resumen

---

- 173.197.15.10 envía un datagrama a 156.95.76.53 (paso 3):
  - El nivel de red de 153.63.1.2 (RB) recibe un datagrama, con destino 156.95.76.53.
  - Algoritmo de enrutamiento (tabla de enrutamiento): default → 192.68.1.2
  - El datagrama se envía al nivel de enlace, con la dirección Ethernet de destino de 192.68.1.2 (y dirección IP destino 156.95.76.53).



# Enrutamiento básico: Ejemplo resumen

Ethernet D	Ethernet O	IP D	IP O	Datos
Eth(192.168.1.2)	Eth(192.168.1.1)	156.95.76.53	173.197.15.10	

