



3º Grado en Ingeniería Informática

# Transmisión de Datos y Redes de Computadores

## TEMA 2. CAPA DE RED

(2021-2022)



# TEMA 2. Índice

- © **2.1.** Enrutamiento estático y dinámico. (2h)
- © **2.2.** Protocolos de enrutamiento. (2h)
- © **2.3.** El problema del direccionamiento en IPv4. (4h)

APLICACIÓN

PRESENTACIÓN

SESIÓN

TRANSPORTE

**RED**

ENLACE

FÍSICO





# TDRC

## Tema 2.1.

# Enrutamiento estático y dinámico

Antonio M. Mora García



# IPv4 (Recordatorio)

- Una **dirección IP** ⇔ **etiqueta numérica** que **identifica**, de manera lógica a **una interfaz** de un sistema **dentro de una red** que utilice el protocolo IP.
- Las direcciones IPv4 tienen **32 bits, agrupados en 4 bloques de 8 bits** cada uno.
- Se representan mediante **notación decimal** (entre 0 y 255) **separada por puntos**.  
Ej: 200.110.23.77
- Cada dirección IP tiene **dos partes** bien diferenciadas:
  - Un **identificador de la subred o prefijo** (parte izquierda de la IP)
  - Un **identificador del dispositivo** dentro de esa subred (parte derecha de la IP).
- Cada **subred** tiene un **identificador (o prefijo) único** en la intranet (red privada).
- Cada **dispositivo (interfaz)** tiene un **identificador único** en la subred.

# IPv4 (Recordatorio)

- La **máscara de red** es un patrón de '1s' que **determina qué bits** de la IP completa corresponden al **identificador de subred**.

Ejemplo:

Dirección IP: 200.27.4.112 → 11001000.00011011.00000100.01110000

Máscara: 255.255.255.0 → 11111111.11111111.11111111.00000000

- La máscara se puede representar de **forma compacta**, indicando el número de '1s' que tiene.

Ejemplo:

255.255.255.0 → 11111111.11111111.11111111.00000000 ⇔ /24

La dirección anterior con la máscara sería: 200.27.4.112/24

# IPv4 (Recordatorio)

- Dada una IP, para obtener la **dirección o identificador de la subred**, se realiza una **operación lógica “&” (AND)** con la **máscara de red**:

Ejemplo: 200.27.4.112  $\rightarrow$  11001000.00011011.00000100.01110000

& &

255.255.255.0  $\rightarrow$  11111111.11111111.11111111.00000000

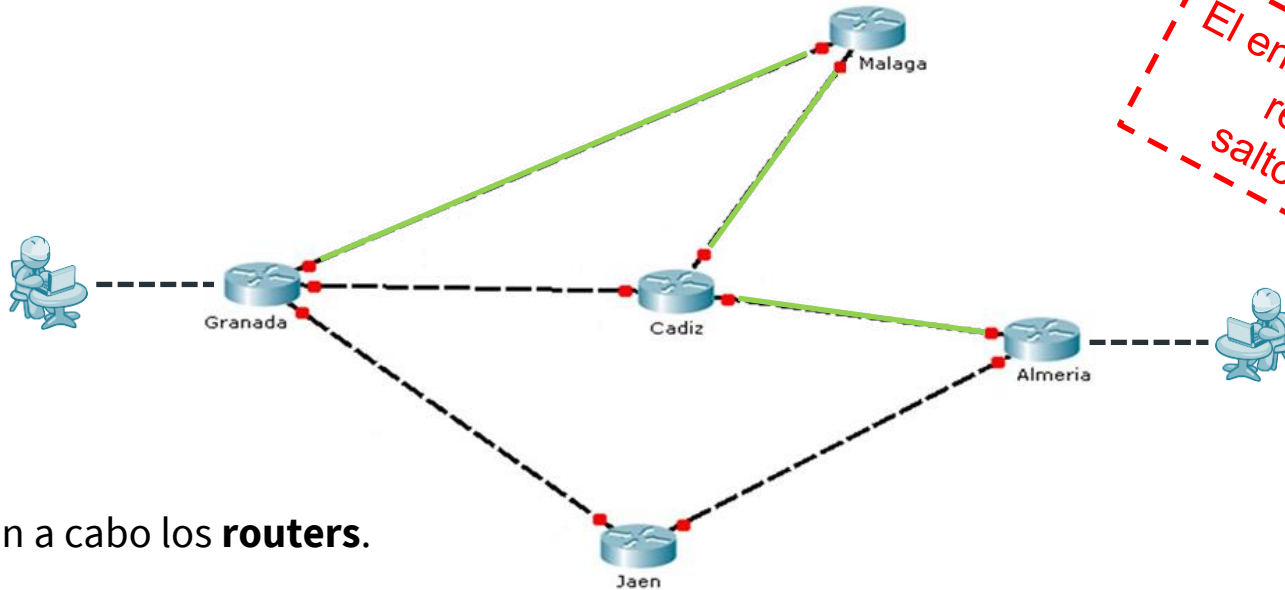
Subred ➔ 200.27.4.0 ⇔ 11001000.00011011.00000100.00000000

### (Ejemplo Máscara /24)

- 200.27.4.0 = 11001000.00011011.00000100.00000000 ➔ Reservada (identificador o prefijo subred)
- 200.27.4.1 = 11001000.00011011.00000100.00000001 ➔ Dispositivo #1
- ...
- 200.27.4.254 = 11001000.00011011.00000100.11111110 ➔ Dispositivo #254
- 200.27.4.255 = 11001000.00011011.00000100.11111111 ➔ Reservada (difusión/broadcast)

# Enrutamiento (Encaminamiento o routing)

- Es la **obtención de un camino** o ruta entre un **host emisor** y un **host receptor** sobre el que **llevar a cabo una transferencia** de datos entre ellos.



El enrutamiento se resuelve salto a salto

- Lo llevan a cabo los **routers**.

# Conmutación

- El enrutamiento se basa en mecanismos de **conmutación**, que permiten a un nodo intermedio de la red (router) **elegir** por qué interfaz de salida (es decir, **por qué ruta**), **enviará los datos** que debe transmitir hasta el siguiente nodo en el camino al destino.
- **Técnicas de conmutación** básicas:
  - Conmutación de circuitos: se establece una conexión física previa a la transferencia de la información entre los hosts emisor y receptor, que permanece durante toda la comunicación. Los datos se transmiten de forma secuencial siguiendo ese camino. Ej: Red de telefonía conmutada (RTC).
  - Conmutación de paquetes: el mensaje a transmitir se divide en ‘trozos’ llamados *paquetes*, los cuales se van transmitiendo nodo a nodo hasta alcanzar el destino. Pueden transmitirse de forma asíncrona y seguir distintos caminos (*datagramas*) o el mismo (*circuitos virtuales*).

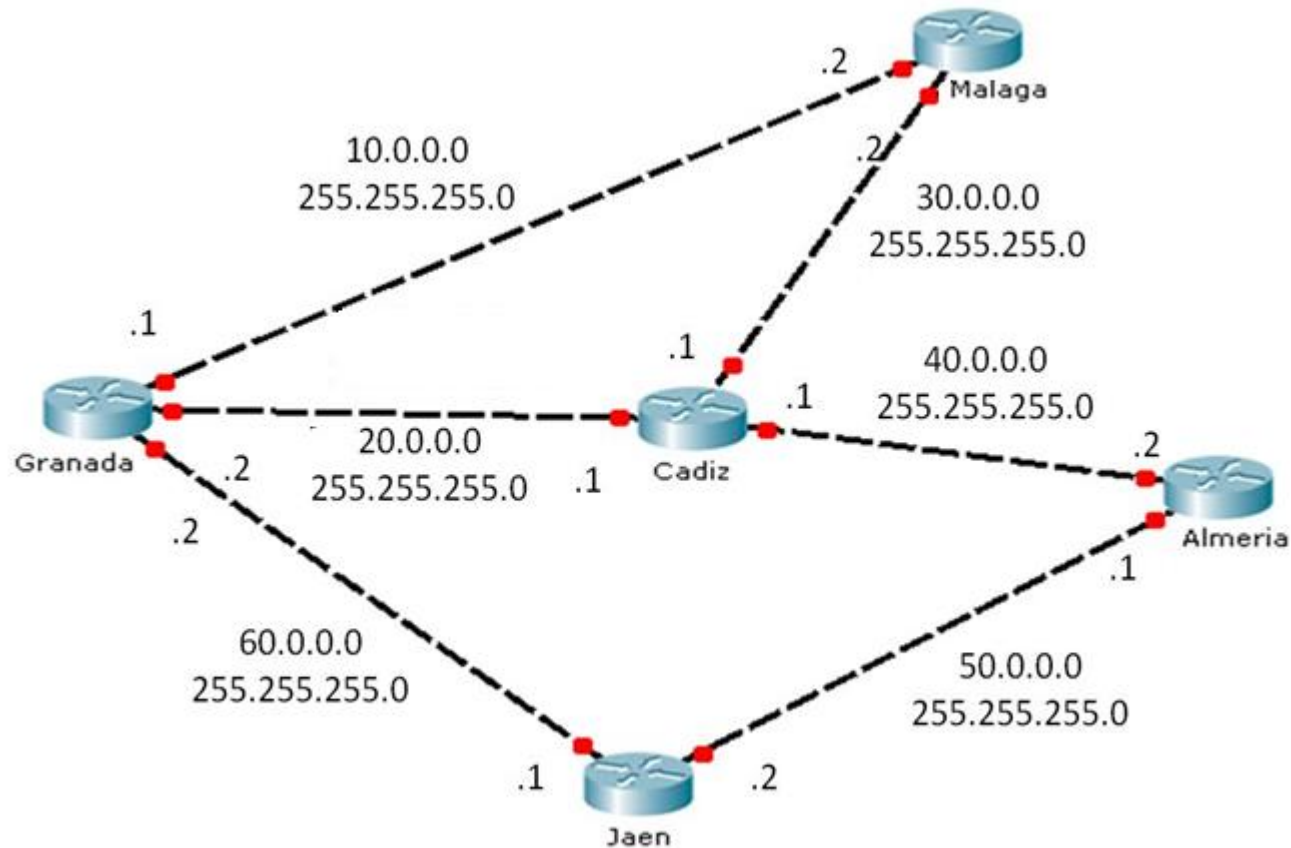


# Tabla de enrutamiento

- Cada router utiliza una **tabla de enrutamiento**, que indica los posibles destinos alcanzables desde él, así como el siguiente nodo al que se deberá pasar para alcanzar dicho destino.
- Tiene la forma:

| Destino ( <i>destination</i> )                  | Máscara ( <i>mask</i> )   | Siguiente salto ( <i>next hop</i> )  |
|---|---|--|
| Podrá ser un equipo concreto o toda una subred. | Permitirá agrupar varios destinos en una sola entrada (una subred o varias). Se indicará en formato de números decimales separados por puntos (o en forma reducida).<br><br>Ej: 255.255.255.0 ⇔ /24 | Siguiente router al que se debe pasar el paquete (datagrama) para alcanzar el destino. |

# Escenario de ejemplo

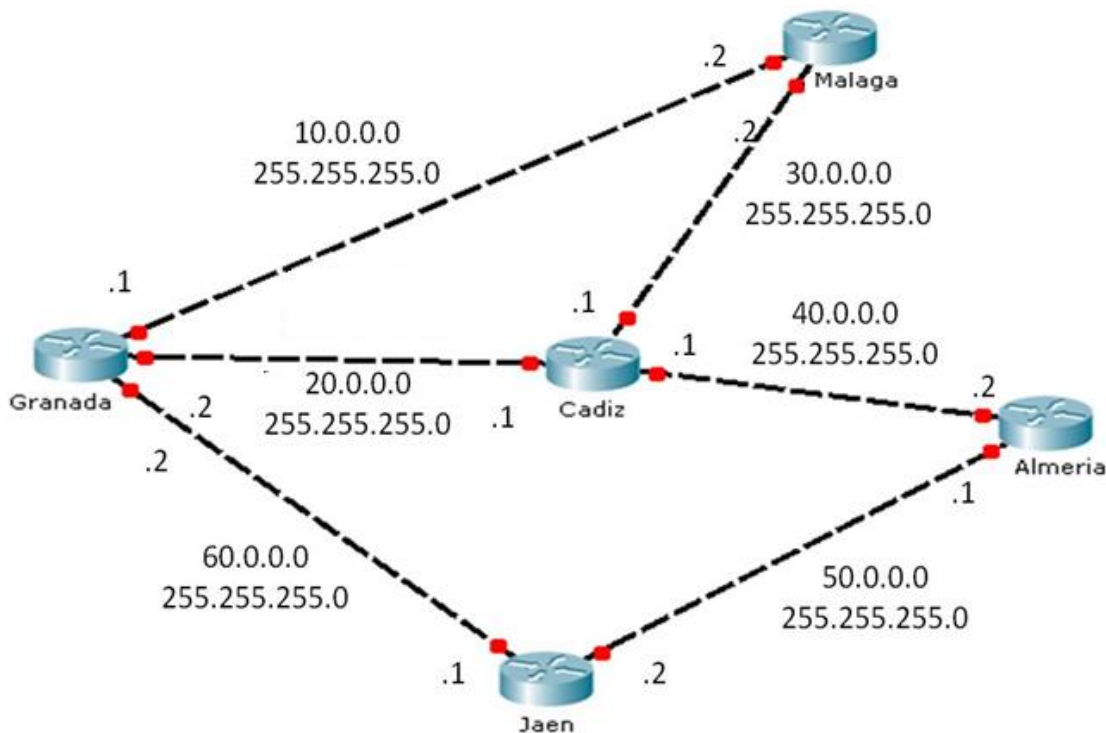


# Escenario de ejemplo

Un administrador quiere conseguir conectividad total según el criterio del menor número de saltos. Rellene la tabla de enrutamiento de cada router.

**router Granada**

|   | Destino  | Máscara       | Siguiente |
|---|----------|---------------|-----------|
| C | 60.0.0.0 | 255.255.255.0 | -         |
| C | 20.0.0.0 | 255.255.255.0 | -         |
| C | 10.0.0.0 | 255.255.255.0 | -         |
| S | 30.0.0.0 | 255.255.255.0 | 10.0.0.2  |
| S | 40.0.0.0 | 255.255.255.0 | 20.0.0.1  |
| S | 50.0.0.0 | 255.255.255.0 | 60.0.0.1  |



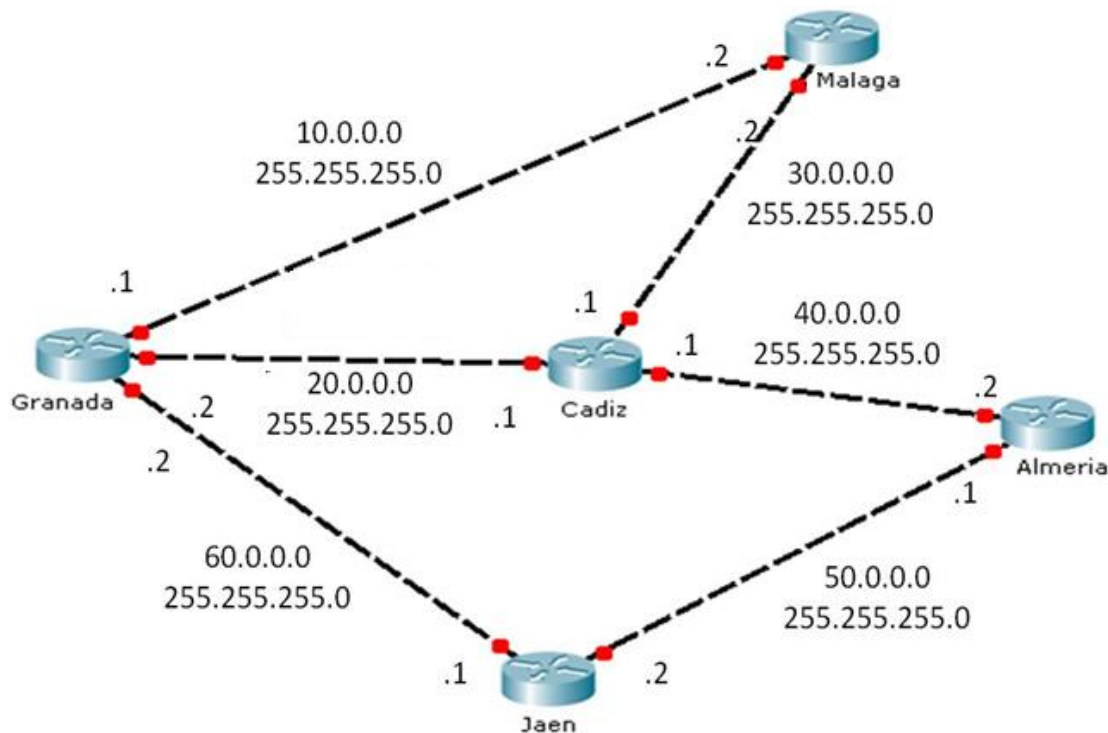
# Escenario de ejemplo

## router *Malaga*

| Destino | Máscara | Siguiente |
|---------|---------|-----------|
|---------|---------|-----------|

## router *Cadiz*

| Destino | Máscara | Siguiente |
|---------|---------|-----------|
|---------|---------|-----------|



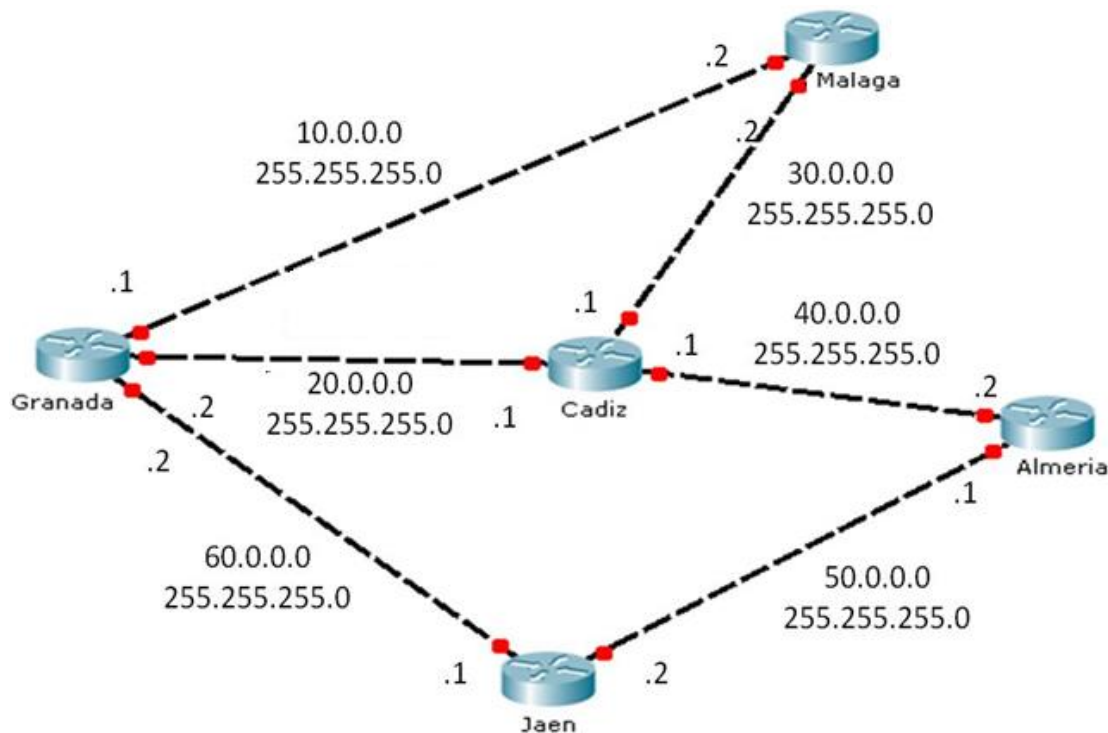
# Escenario de ejemplo

## router *Malaga*

|   | Destino  | Máscara       | Siguiente |
|---|----------|---------------|-----------|
| C | 10.0.0.0 | 255.255.255.0 | -         |
| C | 30.0.0.0 | 255.255.255.0 | -         |
| S | 20.0.0.0 | 255.255.255.0 | 30.0.0.1  |
| S | 40.0.0.0 | 255.255.255.0 | 30.0.0.1  |
| S | 50.0.0.0 | 255.255.255.0 | 30.0.0.1  |
| S | 60.0.0.0 | 255.255.255.0 | 10.0.0.1  |

## router *Cadiz*

|   | Destino  | Máscara       | Siguiente |
|---|----------|---------------|-----------|
| C | 20.0.0.0 | 255.255.255.0 | -         |
| C | 30.0.0.0 | 255.255.255.0 | -         |
| C | 40.0.0.0 | 255.255.255.0 | -         |
| S | 10.0.0.0 | 255.255.255.0 | 20.0.0.2  |
| S | 50.0.0.0 | 255.255.255.0 | 40.0.0.2  |
| S | 60.0.0.0 | 255.255.255.0 | 20.0.0.2  |



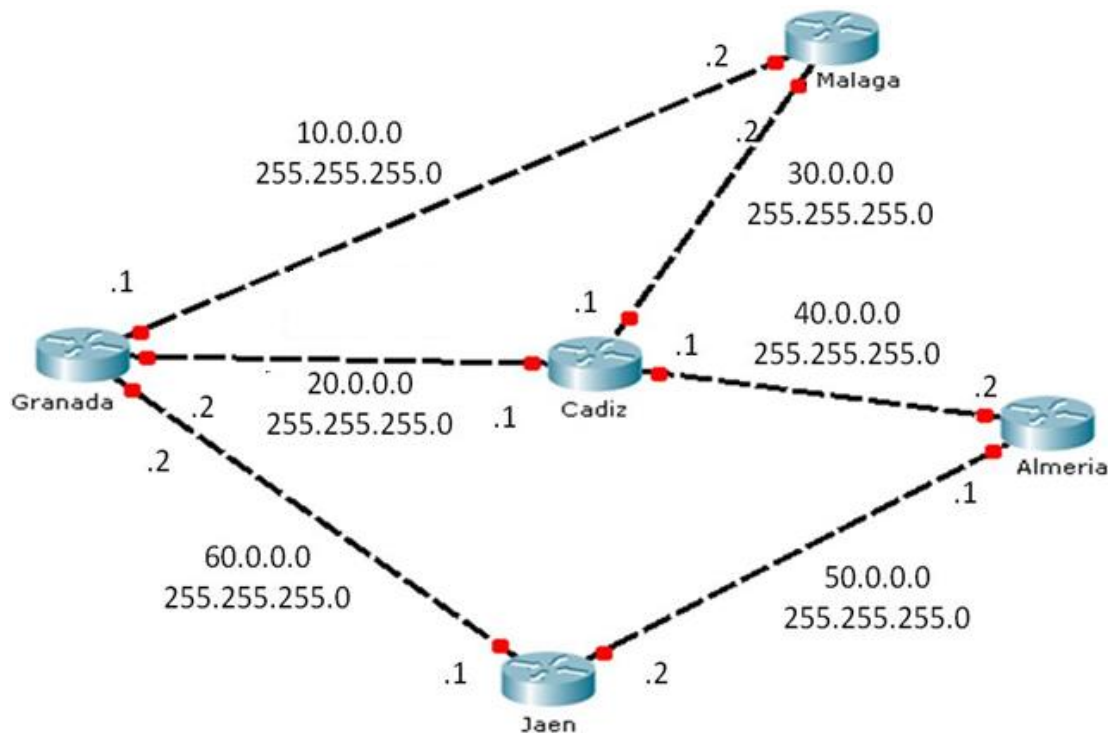
# Escenario de ejemplo

## router *Almeria*

| Destino | Máscara | Siguiente |
|---------|---------|-----------|
|---------|---------|-----------|

## router *Jaen*

| Destino | Máscara | Siguiente |
|---------|---------|-----------|
|---------|---------|-----------|



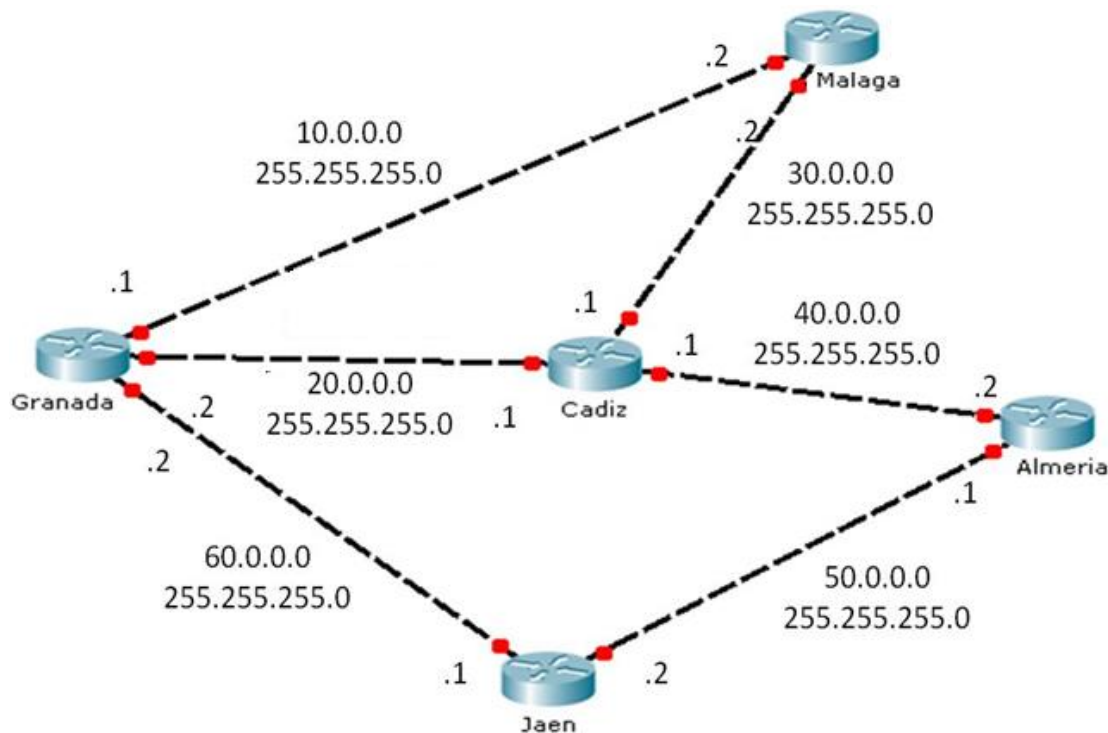
# Escenario de ejemplo

## router Almeria

|   | Destino  | Máscara       | Siguiente |
|---|----------|---------------|-----------|
| C | 40.0.0.0 | 255.255.255.0 | -         |
| C | 50.0.0.0 | 255.255.255.0 | -         |
| S | 10.0.0.0 | 255.255.255.0 | 40.0.0.1  |
| S | 20.0.0.0 | 255.255.255.0 | 40.0.0.1  |
| S | 30.0.0.0 | 255.255.255.0 | 40.0.0.1  |
| S | 60.0.0.0 | 255.255.255.0 | 50.0.0.2  |

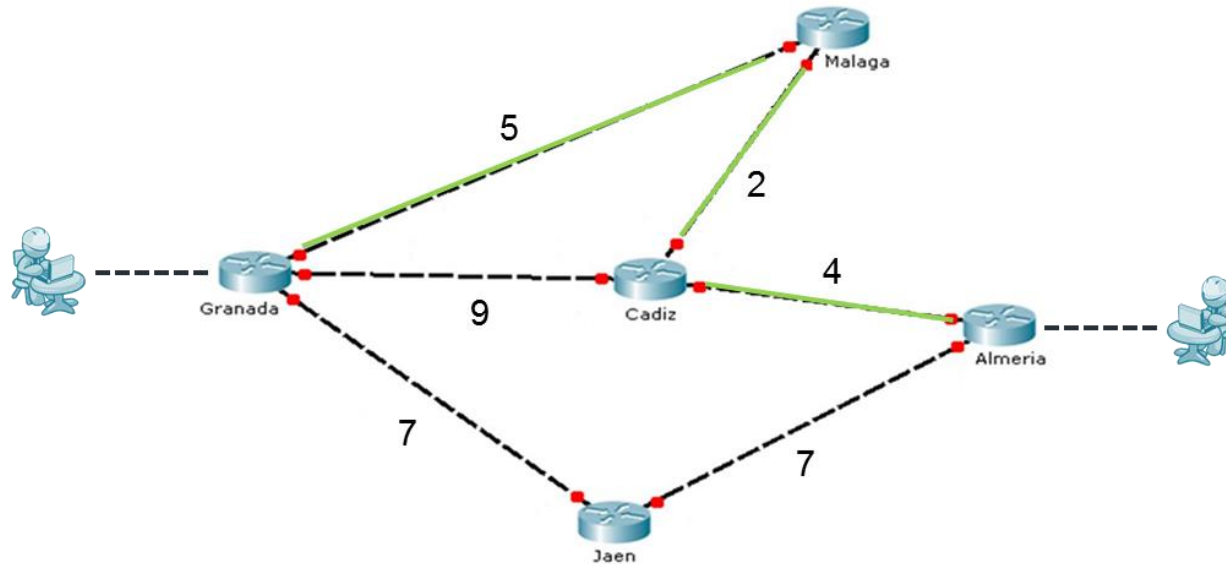
## router Jaen

|   | Destino  | Máscara       | Siguiente |
|---|----------|---------------|-----------|
| C | 50.0.0.0 | 255.255.255.0 | -         |
| C | 60.0.0.0 | 255.255.255.0 | -         |
| S | 10.0.0.0 | 255.255.255.0 | 60.0.0.2  |
| S | 20.0.0.0 | 255.255.255.0 | 60.0.0.2  |
| S | 30.0.0.0 | 255.255.255.0 | 50.0.0.1  |
| S | 40.0.0.0 | 255.255.255.0 | 50.0.0.1  |



# Métrica (coste)

- Se busca definir el **mejor camino posible**, por lo que se deben considerar **métricas**, es decir, medidas para valorar la bondad o 'deseabilidad' de cada posible camino.



- Ejemplos: número de saltos, ancho de banda de los enlaces, retardo, distancia.



# Tabla de enrutamiento con métrica

- De modo que se puede añadir a la **tabla de enrutamiento** información sobre la **métrica/coste** asociado al camino.

| Destino<br>( <i>destination</i> )               | Máscara<br>( <i>mask</i> )  | Siguiente salto<br>( <i>next hop</i> )                                     | Métrica<br>( <i>cost/distance</i> )   |
|---|---|--|---|
| Podrá ser un equipo concreto o toda una subred. | <p>Permitirá agrupar varios destinos en una sola entrada (una subred o varias).</p> <p>Se indicará en formato de números decimales separados por puntos (o en forma reducida).</p> <p>Ej: 255.255.255.0 ⇔ /24</p> | Siguiente router al que se debe pasar el paquete para alcanzar el destino. | Valor de la métrica para el camino desde el router actual hasta el destino final. |

# Escenario de ejemplo

Actualice las tablas de enrutamiento de los routers suponiendo que se considera la métrica con la expresión:

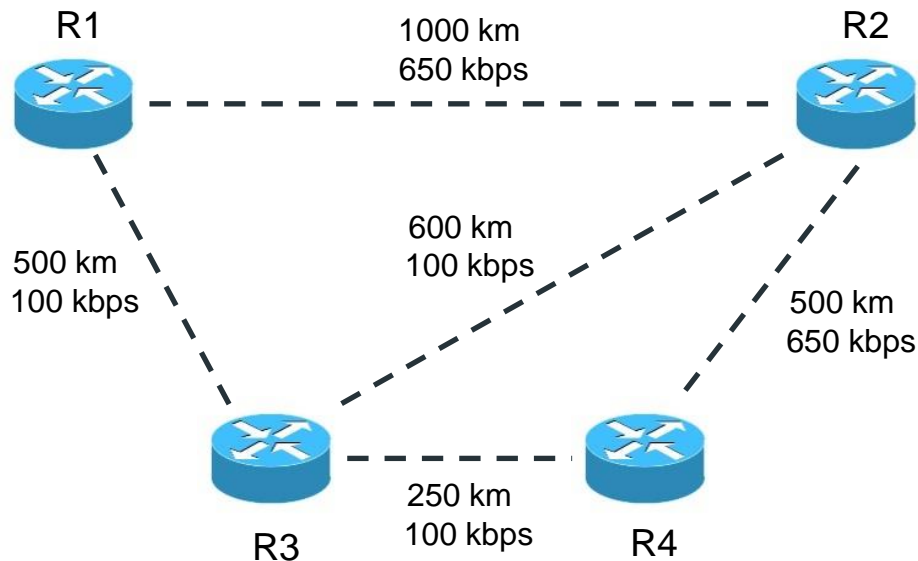
$$C = a \cdot d - (1-a) \cdot b$$

Donde:

$a \rightarrow 0,7$

$b \rightarrow$  ancho de banda en kbps del enlace

$d \rightarrow$  distancia en kilómetros del enlace



# Escenario de ejemplo

Tablas de enrutamiento iniciales.

Métrica inicial: Número de saltos

**router R1**

| Destino | Siguiente | Métrica |
|---------|-----------|---------|
| R2      | R2        | 1       |
| R3      | R3        | 1       |
| R4      | R3        | 2       |

**router R2**

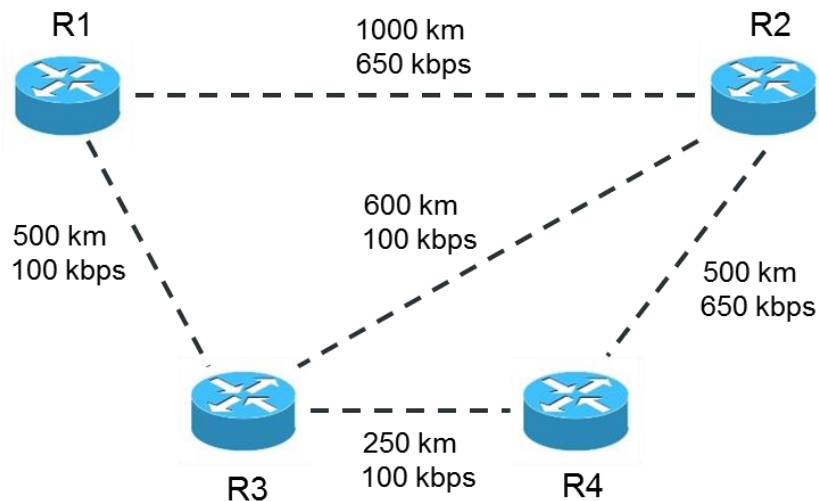
| Destino | Siguiente | Métrica |
|---------|-----------|---------|
| R1      | R1        | 1       |
| R3      | R3        | 1       |
| R4      | R4        | 1       |

**router R3**

| Destino | Siguiente | Métrica |
|---------|-----------|---------|
| R1      | R1        | 1       |
| R2      | R2        | 1       |
| R4      | R4        | 1       |

**router R4**

| Destino | Siguiente | Métrica |
|---------|-----------|---------|
| R1      | R2        | 2       |
| R2      | R2        | 1       |
| R3      | R3        | 1       |



# Escenario de ejemplo

Actualización de Tablas de enrutamiento.

Métrica  $\rightarrow C = a \cdot d - (1-a) \cdot b$

Donde:

$a \rightarrow 0,7$

$b \rightarrow$  ancho de banda en kbps del enlace

$d \rightarrow$  distancia en kilómetros del enlace

## router R1

| Destino | Siguiente | Métrica (C) |
|---------|-----------|-------------|
| R2      |           |             |
| R3      |           |             |
| R4      |           |             |

## router R2

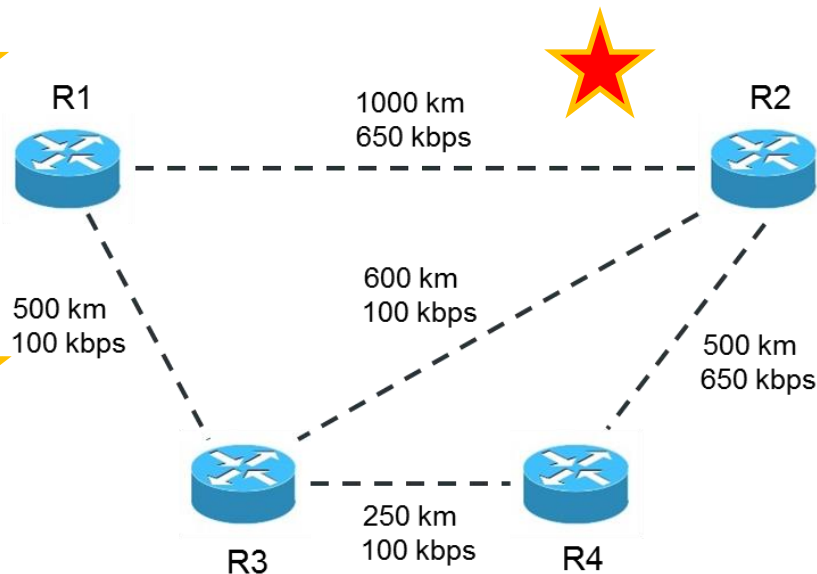
| Destino | Siguiente | Métrica (C) |
|---------|-----------|-------------|
| R1      |           |             |
| R3      |           |             |
| R4      |           |             |

## router R3

| Destino | Siguiente | Métrica (C) |
|---------|-----------|-------------|
| R1      |           |             |
| R2      |           |             |
| R4      |           |             |

## router R4

| Destino | Siguiente | Métrica (C) |
|---------|-----------|-------------|
| R1      |           |             |
| R2      |           |             |
| R3      |           |             |



# Escenario de ejemplo

Actualización de Tablas de enrutamiento.

Métrica  $\rightarrow C = a \cdot d - (1-a) \cdot b$

Donde:

$a \rightarrow 0,7$

$b \rightarrow$  ancho de banda en kbps del enlace

$d \rightarrow$  distancia en kilómetros del enlace

**router R1**

| Destino | Siguiente | Métrica (C) |
|---------|-----------|-------------|
| R2      | R2        | 505         |
| R3      | R3        | 320         |
| R4      | R3        | 465         |

**router R2**

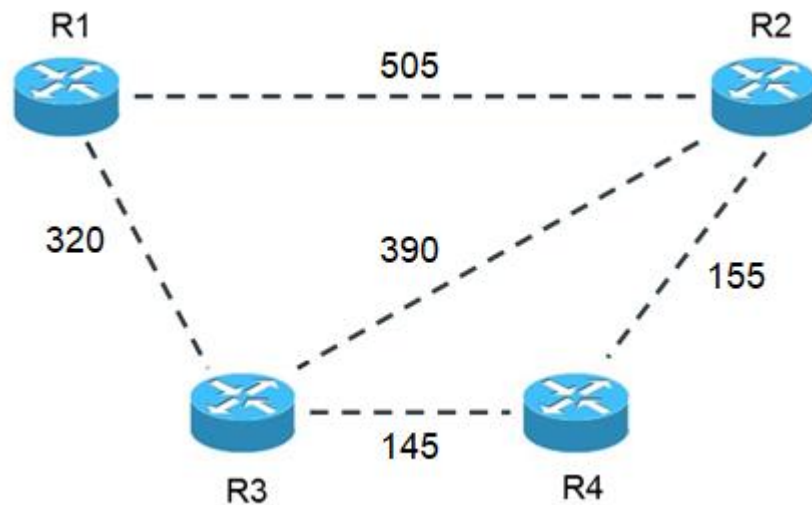
| Destino | Siguiente | Métrica (C) |
|---------|-----------|-------------|
| R1      | R2        | 505         |
| R3      | <b>R4</b> | 300         |
| R4      | R4        | 155         |

**router R3**

| Destino | Siguiente | Métrica (C) |
|---------|-----------|-------------|
| R1      | R1        | 320         |
| R2      | <b>R4</b> | 300         |
| R4      | R4        | 145         |

**router R4**

| Destino | Siguiente | Métrica (C) |
|---------|-----------|-------------|
| R1      | R3        | 465         |
| R2      | R2        | 155         |
| R3      | R3        | 145         |



# Tipos de enrutamiento

- **Estático:**

El administrador decide las rutas a seguir dentro de su red, mediante la **configuración manual** de los routers, definiendo sus tablas de enrutamiento.

- **Dinámico:**

Existen **algoritmos o protocolos** entre routers que establecen de forma dinámica (y autónoma) las mejores rutas de acuerdo a un *criterio definido* por el administrador.

# Tipos de enrutamiento



| Descripción  | Estát. | Dinám. |
|--|--------|--------|
| Se puede ajustar a cambios en la red e imprevistos                                     |        |        |
| Necesita un menor esfuerzo de gestión por parte del administrador                      |        |        |
| Requiere un conocimiento preciso de la red por el administrador                        |        |        |
| Consume menos recursos de la red (ancho de banda, memoria)                             |        |        |
| Los cambios en la red se actualizan de forma inmediata                                 |        |        |
| Es (fácilmente) escalable  |        |        |
| Puede ser apropiado en redes pequeñas  |        |        |
| Es adecuado cuando sólo hay una única ruta posible (Ej: routers frontera con Internet) |        |        |
| Todos los routers generan sus tablas de rutas mediante el mismo o mismos criterios     |        |        |
| Puede producir bucles en la red  |        |        |

# Tipos de enrutamiento

| Descripción  | Estát. | Dinám. |
|--|--------|--------|
| Se puede ajustar a cambios en la red e imprevistos                                     |        | X      |
| Necesita un menor esfuerzo de gestión por parte del administrador                      |        | X      |
| Requiere un conocimiento preciso de la red por el administrador                        | X      |        |
| Consume menos recursos de la red (ancho de banda, memoria)                             | X      |        |
| Los cambios en la red se actualizan de forma inmediata                                 |        | X      |
| Es (fácilmente) escalable  |        | X      |
| Puede ser apropiado en redes pequeñas  | X      |        |
| Es adecuado cuando sólo hay una única ruta posible (Ej: routers frontera con Internet) | X      |        |
| Todos los routers generan sus tablas de rutas mediante el mismo o mismos criterios     |        | X      |
| Puede producir bucles en la red  |        | X      |



# Ejercicio 1 (subnetting y enrutamiento)

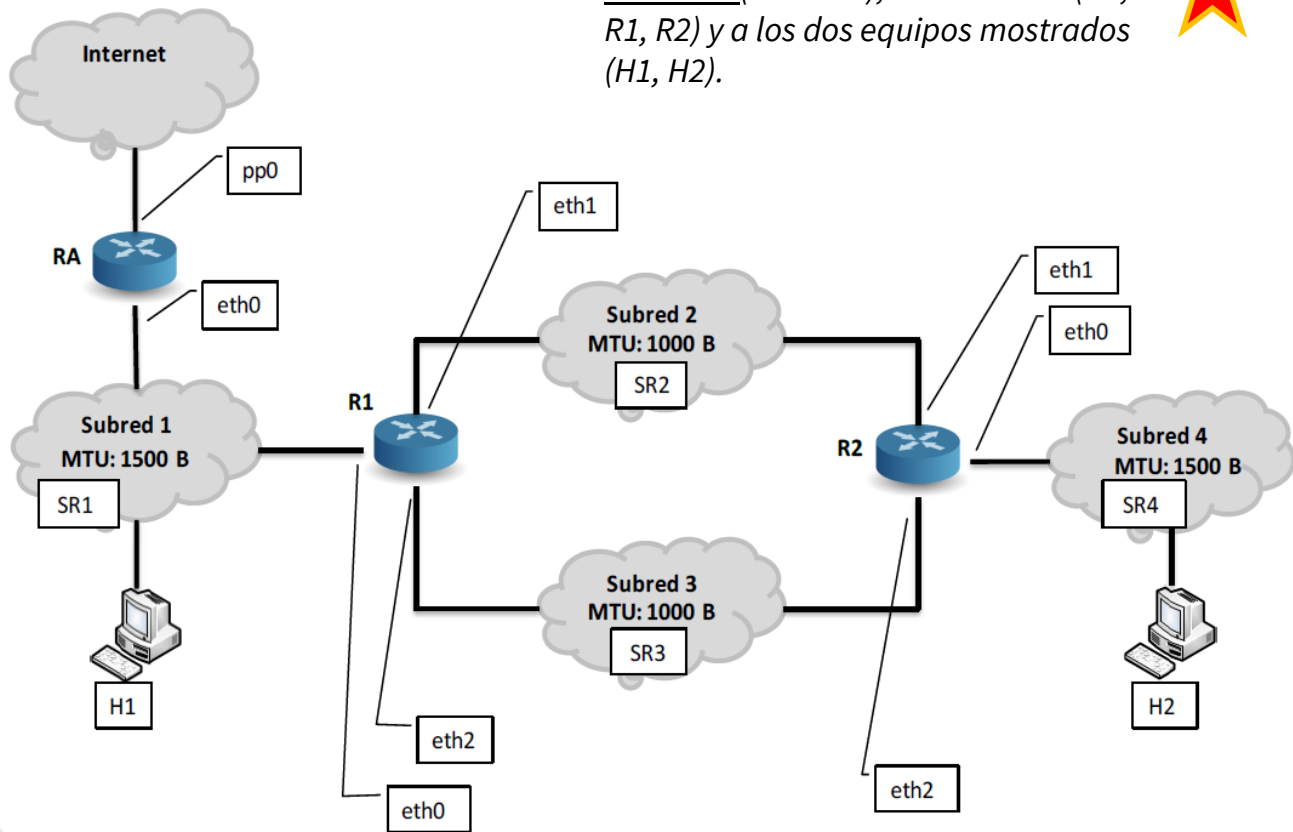
Una compañía con varias sedes desea configurar sus equipos según el esquema mostrado.

Se dispone del rango de direcciones

150.214.192.0/18.

Durante el establecimiento, el proveedor de servicios de Internet (ISP) asigna la dirección 10.0.1.18/24 al enlace externo del router de acceso.

El número de equipos conectados en cada subred es 124.



a) Asigne direcciones IP a las diferentes subredes (SR1-SR4), a los routers (RA, R1, R2) y a los dos equipos mostrados (H1, H2).



# Ejercicio 1 (subnetting y enrutamiento)

Una compañía con varias sedes desea configurar sus equipos según el esquema mostrado.

Se dispone del rango de direcciones

150.214.192.0/18.

Durante el establecimiento, el proveedor de servicios de Internet (ISP) asigna la dirección 10.0.1.18/24 al enlace externo del router de acceso.

El número de equipos conectados en cada subred es 124.

a) Asigne direcciones IP a las diferentes subredes (SR1-SR4), a los routers (RA, R1, R2) y a los dos equipos mostrados (H1, H2).



150.214.192.0/18

124 IPs por Subred + 3 = 127

150.214.11|000000.00000000

SR1 → 150.214.11000000.0 ⇔ 150.214.192.0/24

SR2 → 150.214.11000001.0 ⇔ 150.214.193.0/24

SR3 → 150.214.11000010.0 ⇔ 150.214.194.0/24

SR4 → 150.214.11000011.0 ⇔ 150.214.195.0/24

# Ejercicio 1 (subnetting y enrutamiento)

Una compañía con varias sedes desea configurar sus equipos según el esquema mostrado.

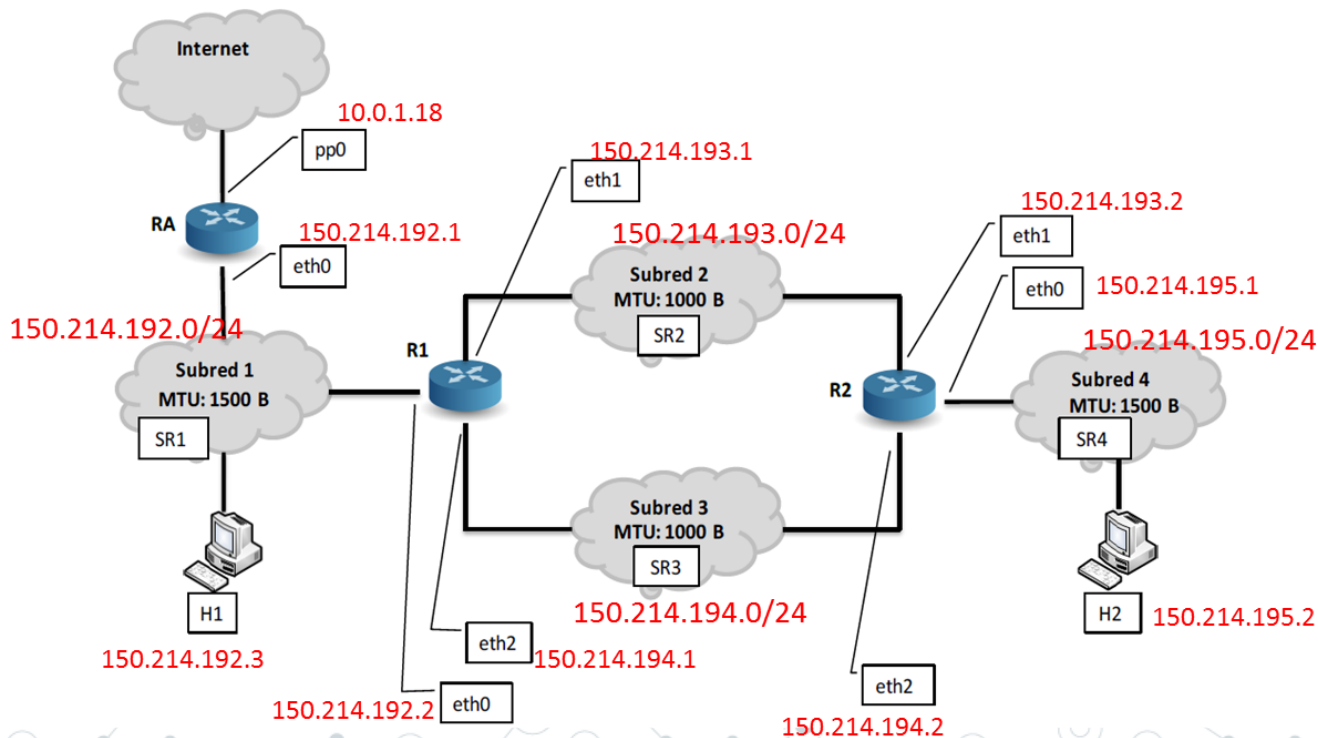
Se dispone del rango de direcciones

150.214.192.0/18.

Durante el establecimiento, el proveedor de servicios de Internet (ISP) asigna la dirección 10.0.1.18/24 al enlace externo del router de acceso.

El número de equipos conectados en cada subred es 124.

a) Asigne direcciones IP a las diferentes subredes (SR1-SR4), a los routers (RA, R1, R2) y a los dos equipos mostrados (H1, H2).



# Ejercicio 1 (subnetting y enrutamiento)

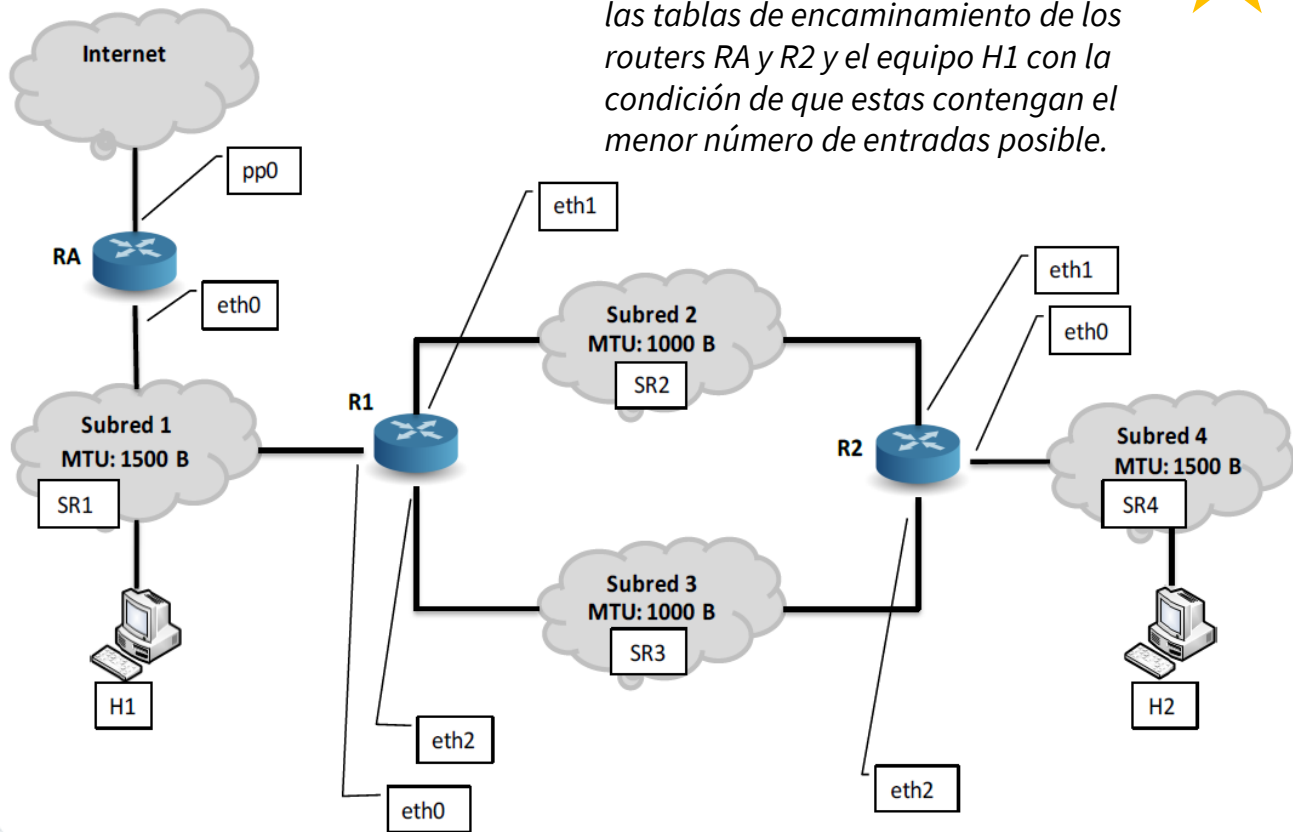
Una compañía con varias sedes desea configurar sus equipos según el esquema mostrado.

Se dispone del rango de direcciones

150.214.192.0/18.

Durante el establecimiento, el proveedor de servicios de Internet (ISP) asigna la dirección 10.0.1.18/24 al enlace externo del router de acceso.

El número de equipos conectados en cada subred es 124.



b) Si se utiliza encaminamiento estático con mínimo número de saltos, muestre las tablas de encaminamiento de los routers RA y R2 y el equipo H1 con la condición de que estas contengan el menor número de entradas posible.



# Ejercicio 1 (subnetting y enrutamiento)

Una compañía con varias sedes desea configurar sus equipos según el esquema mostrado.

Se dispone del rango de direcciones

150.214.192.0/18.

Durante el establecimiento, el proveedor de servicios de Internet (ISP) asigna la dirección 10.0.1.18/24 al enlace externo del router de acceso.

El número de equipos conectados en cada subred es 124.

b) Si se utiliza encaminamiento estático con mínimo número de saltos, muestre las tablas de encaminamiento de los routers RA y R2 y el equipo H1 con la condición de que estas contengan el menor número de entradas posible.



## RA

| Dest     | Masc | Sig                     |
|----------|------|-------------------------|
| 10.0.1.0 | /24  | *                       |
| Default  | -    | 10.0.1.17 (Gateway ISP) |
| ..192.0  | /24  | *                       |
| ..192.0  | /22  | 150.214.192.2 (R1)      |

## Agrupamiento SR2, SR3 y SR4:

150.214.110000/01.0|

150.214.110000/10.0| > 150.214.11000000.00000000/22

150.214.110000/11.0| 150.214.192.0/22

# Ejercicio 1 (subnetting y enrutamiento)

Una compañía con varias sedes desea configurar sus equipos según el esquema mostrado.

Se dispone del rango de direcciones

150.214.192.0/18.

Durante el establecimiento, el proveedor de servicios de Internet (ISP) asigna la dirección 10.0.1.18/24 al enlace externo del router de acceso.

El número de equipos conectados en cada subred es 124.

## R1

| Dest     | Masc | Sig           |
|----------|------|---------------|
| .. 192.0 | /24  | *             |
| .. 193.0 | /24  | *             |
| .. 194.0 | /24  | *             |
| .. 195.0 | /24  | 150.214.193.2 |
| Default  | -    | 150.214.192.1 |

## R2

| Dest                | Masc           | Sig                      |
|---------------------|----------------|--------------------------|
| .. 193.0            | /24            | *                        |
| .. 194.0            | /24            | *                        |
| .. 195.0            | /24            | *                        |
| <del>.. 192.0</del> | <del>/24</del> | <del>150.214.194.1</del> |
| Default             | -              | 150.214.194.1            |

## H1

| Dest    | Masc | Sig           |
|---------|------|---------------|
| ..192.0 | /24  | *             |
| Default | -    | 159.214.192.1 |

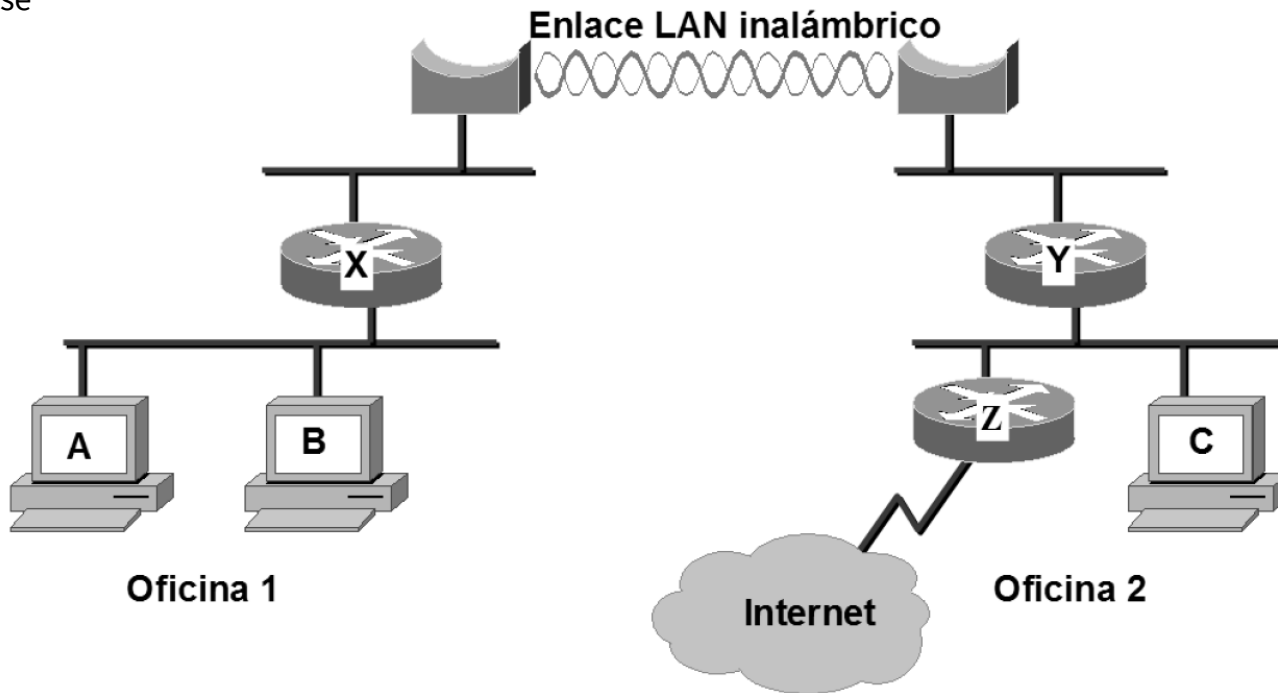
b) Si se utiliza encaminamiento estático con mínimo número de saltos, muestre las tablas de encaminamiento de los routers RA y R2 y el equipo H1 con la condición de que estas contengan el menor número de entradas posible.



## Ejercicio 2 (subnetting y enrutamiento)

Una empresa tiene dos oficinas conectadas mediante un enlace LAN inalámbrico, como se ilustra en la figura. Suponga que la empresa contrata una línea dedicada con un proveedor de Internet, el cual le ha asignado al router de acceso Z la dirección IP 192.169.15.6, con máscara de red de 30 bits. Suponga también que la empresa obtiene de su proveedor una dirección pública de red 150.214.60.0/24

a) Realice una asignación de direcciones IP para los distintos equipos, considerando subredes con hasta 40 IPs

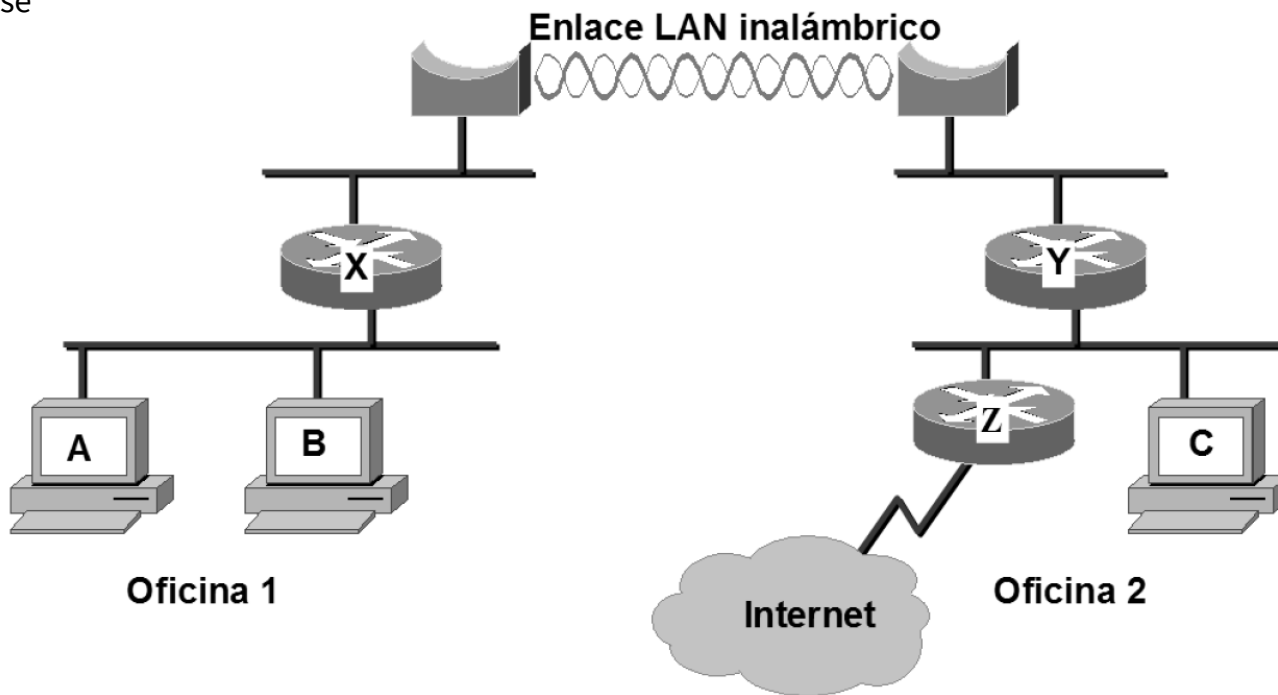


## Ejercicio 2 (subnetting y enrutamiento)

b) Indique las tablas de encaminamiento de X, Y, Z y A



Una empresa tiene dos oficinas conectadas mediante un enlace LAN inalámbrico, como se ilustra en la figura. Suponga que la empresa contrata una línea dedicada con un proveedor de Internet, el cual le ha asignado al router de acceso Z la dirección IP 192.169.15.6, con máscara de red de 30 bits. Suponga también que la empresa obtiene de su proveedor una dirección pública de red 150.214.60.0/24

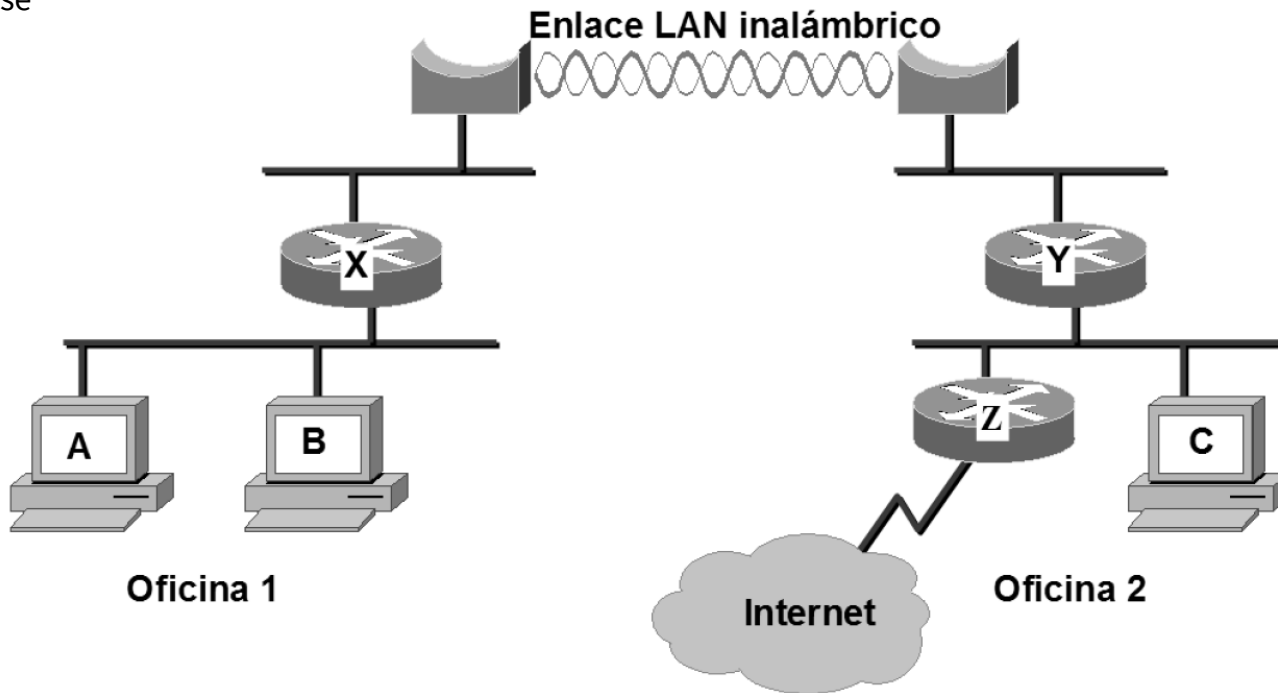




## Ejercicio 2 (subnetting y enrutamiento)

Una empresa tiene dos oficinas conectadas mediante un enlace LAN inalámbrico, como se ilustra en la figura. Suponga que la empresa contrata una línea dedicada con un proveedor de Internet, el cual le ha asignado al router de acceso Z la dirección IP 192.169.15.6, con máscara de red de 30 bits. Suponga también que la empresa obtiene de su proveedor una dirección pública de red 150.214.60.0/24

c) ¿Qué haría si apareciera un nuevo grupo de equipos (D) en la oficina 1 con 70 nuevos usuarios?



# Bibliografía

- P. García-Teodoro, J.E. Díaz-Verdejo, J.M. López-Soler. Transmisión de datos y redes de computadores, 2ª Edición. Editorial Pearson, 2014.
- James F. Kurose, Keith W. Ross. Redes de computadoras. Un enfoque descendente. 7º Edición. Editorial Pearson S.A., 2017.
- Behrouz A. Forouzan. Transmisión de datos y redes de comunicaciones, 4º Edición. Editorial Mc Graw Hill 2007.
- Ernesto Ariganello. Redes Cisco: guía de estudio para la certificación CCNA Routing y Switching.

# Next week on TDRC...

## PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO

- **IGP (Interior Gateway Protocol):** Son los que se dan dentro de un sistema autónomo, es decir dentro de una red definida por una única política administrativa (un único administrador de red). Ejemplos: RIP y OSPF.
  - Vector distancia: Los routers construyen su tabla de rutas con el único conocimiento del número de saltos y el siguiente salto para llegar a la red, por lo que es similar a un vector.
  - Estado del enlace: Los routers necesitan conocer previamente toda la topología de la red (cómo se conectan todos los nodos entre sí) antes de generar su tabla de enrutamiento.
  - Híbrido: Una mezcla entre ambos.
- **EGP (Exterior Gateway Protocol):** Son los que hablan distintos sistemas autónomos entre sí. Por ejemplo entre distintos ISPs. Ejemplo: BGP.

...stay tuned

# Entonces... ¿tenemos ya delegad@?

Para que sea el/la intermediario/a para la comunicación entre la clase y los profesores de la asignatura.



The background of the slide features a complex, light gray network pattern. It consists of numerous small circles, some of which are solid gray and others are hollow with a gray outline. These circles are interconnected by a web of thin, light gray lines, creating a dense, interconnected mesh that covers the entire slide area.

# ¿Alguna duda?