

# Direccionamiento IP

(2ª parte)

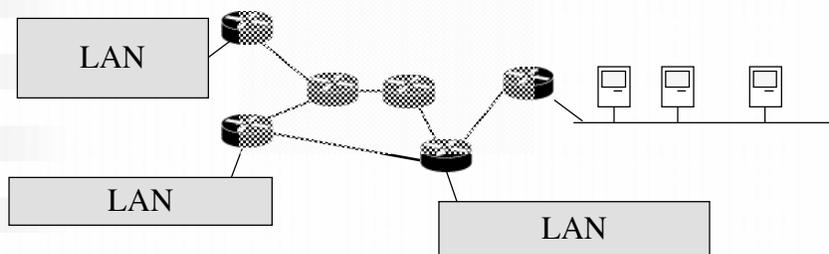
Daniel Morató  
Area de Ingeniería Telemática  
Departamento de Automática y Computación  
Universidad Pública de Navarra  
[daniel.morato@unavarra.es](mailto:daniel.morato@unavarra.es)  
Laboratorio de Programación de Redes  
<http://www.tlm.unavarra.es/asignaturas/lpr>

## Esquemas de direccionamiento IP

- Vamos a ver desde una perspectiva histórica cómo ha evolucionado la forma de crear redes y subredes IP
- Veremos:
  - Direccionamiento Classful
  - Subnetting *Hoy*
  - VLSM (Variable Length Subnet Masks)
  - Supernetting
  - CIDR (Classless InterDomain Routing)
- Hay que tener claro que la técnica actual empleada es CIDR pero resultará útil entender los conceptos uno a uno como se fueron creando

# Subnetting

- El esquema Classful ocasionaba ciertos problemas prácticos:
  - Las redes pueden llegar a ser muy grandes
  - Una red de clase A contiene direcciones para millones de hosts pero es difícil que una tecnología de LAN soporte esa cifra de máquinas conectadas
  - Podemos necesitar conectar dentro de la red con otro tipo de tecnología que nos permita llegar mayores distancias
  - Puede que el tráfico de broadcast a nivel de enlace sea demasiado abundante y queramos reducir el tamaño de la red



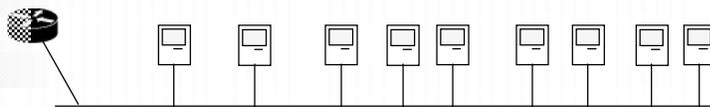
20 Oct

Direccionamiento IP

2/35

# Subnetting

- Empezó como una solución interna practicada por algunas redes muy grandes hasta que se estandarizó
- También llamado FLSM (Fixed Length Subnet Masks)
- Desde el exterior es como si la LAN no hubiera cambiado
- En el interior se divide la LAN en LANs más pequeñas interconectadas por routers



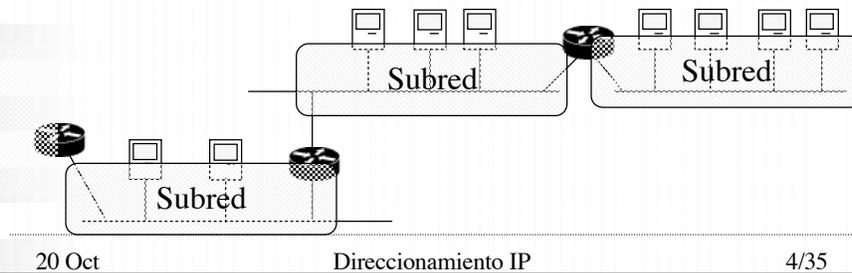
20 Oct

Direccionamiento IP

3/35

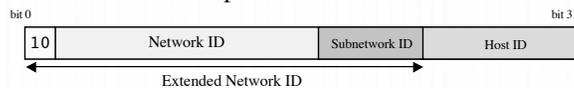
# Subnetting

- Empezó como una solución interna practicada por algunas redes muy grandes hasta que se estandarizó
- También llamado FLSM (Fixed Length Subnet Masks)
- Desde el exterior es como si la LAN no hubiera cambiado
- En el interior se divide la LAN en LANs más pequeñas interconectadas por routers...

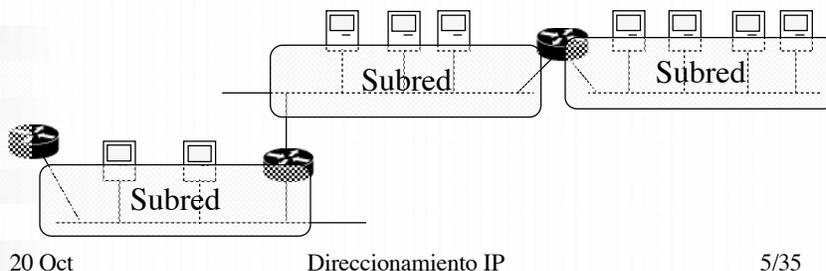


# Subnetting

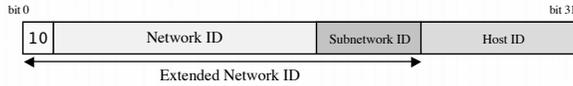
- Generalmente se aplicó en redes de clase B porque:
  - Redes de clase A hay muy pocas
  - Las de clase C son muy pequeñas (solo 254 hosts)
- Lo que se hace es dividir la parte del HostID en dos...



- A la primera parte se le llama el *Subnetwork ID* e identifica a la Subred dentro de la Red
- La segunda parte es el Host ID e identifica al host dentro de la Subred
- A la concatenación del Network ID y el Subnetwork ID se le llamó el *Extended Network ID*

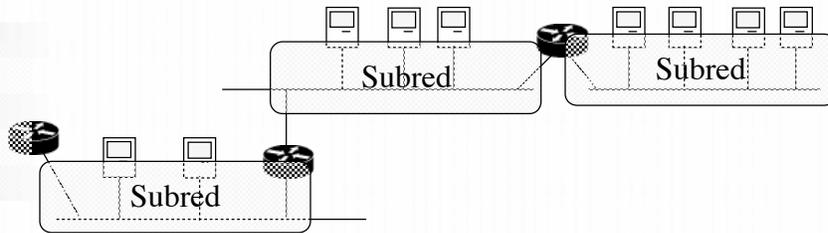


# Subnetting



- El Subnetwork ID puede tener cualquier número de bits entre 2 y la longitud del Host ID original menos 2 (al menos 2 bits para el Host ID)
- ¿Cómo sabemos dónde acaba el Extended Network ID?
  - Se añade a la configuración de los interfaces de red otro número de 32 bits
  - Este número se llama la *máscara*
  - La máscara tiene 1s en el Extended Network ID y 0s en el Host ID

11111.....111 000.....00

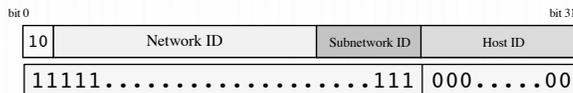


20 Oct

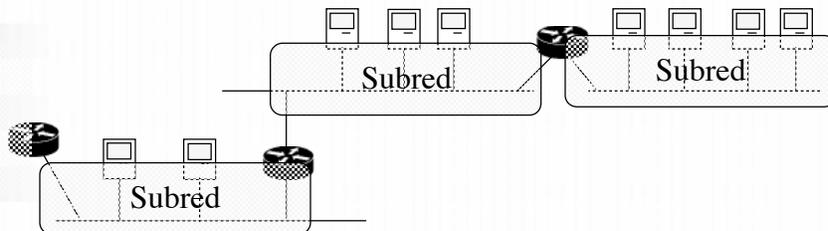
Direccionamiento IP

6/35

# Subnetting



- La máscara está asociada al interfaz de red
- Debe ser la misma para todos los interfaces conectados a esta red
- Aparecen nuevas direcciones reservadas:
  - La dirección con el Host ID a 0s es la dirección de la Subred
  - La dirección con el Host ID a 1s es la dirección de broadcast de la Subred
  - El Subnetwork ID todo 0s hace referencia a toda la red así que no se puede emplear para identificar a una subred (la dirección de esa subred se confundiría con la de la red)
  - El Subnetwork ID todo 1s hace referencia a todas las subredes, tampoco se puede emplear para identificar a una subred (la dirección de broadcast de esa subred se confundiría con la de toda la red)



20 Oct

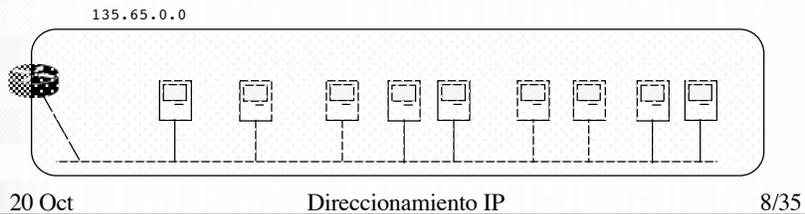
Direccionamiento IP

7/35

# Subnetting

## Ejemplo

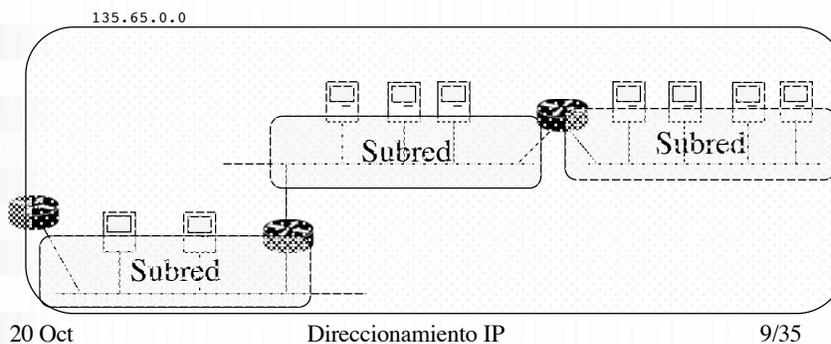
- Supongamos que nuestra LAN tiene asignada la red 135.65.0.0
- Queremos separar nuestra red en varias subredes como se ve en la figura



# Subnetting

## Ejemplo

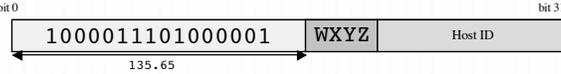
- Supongamos que nuestra LAN tiene asignada la red 135.65.0.0
- Queremos separar nuestra red en varias subredes como se ve en la figura
- ¿Cuál es el número mínimo de bits que debe tener el Subnetwork ID si deseo crear 3 subredes?...
- Con 2 bits tengo 4 posibles valores del subnetwork ID (00, 01, 10 y 11) pero 2 de ellos están reservados así que solo me quedan 2 (como se ve menos de 2 bits no dejaría ninguno libre)
- Con 3 bits tengo 8 posibles valores del subnetwork ID, menos los 2 reservados me deja 6 identificadores de subred diferentes. Este sería el mínimo.
- El resto de bits los puedo repartir entre el subnetwork ID y el host ID como quiera:
  - Cuantos más haya en el subnetwork ID más subredes podré crear en el futuro
  - Cuantos más haya en el host ID más hosts podré direccionar en cada subred



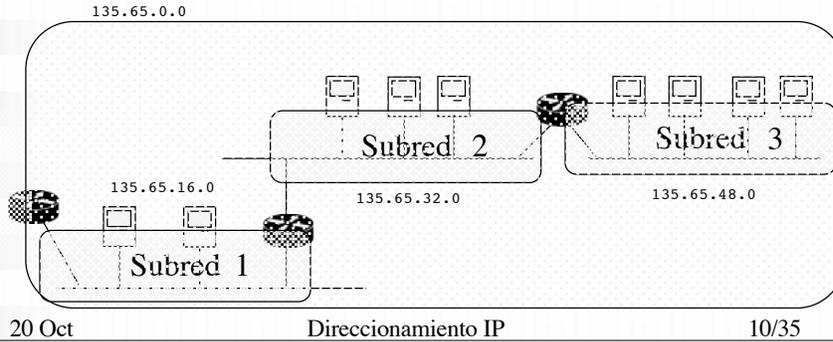
# Subnetting

## Ejemplo

- Supongamos que decidimos emplear 4 bits para el subnetwork ID:



- Numeramos las subredes con esos 4 bits WXYZ. Por ejemplo empleamos 0001, 0010 y 0011
- La dirección de la red 0001 será: 10000111010000010001000000000000 = 135.65.16.0
- La máscara a emplear por todos los interfaces de la red será:  
111111111111111111111100000000000000 = 255.255.240.0
- Por ejemplo las direcciones para hosts de la subred 2 irán de la 135.65.32.1 a la 135.65.47.254 y la dirección de broadcast de la subred será 135.65.47.255

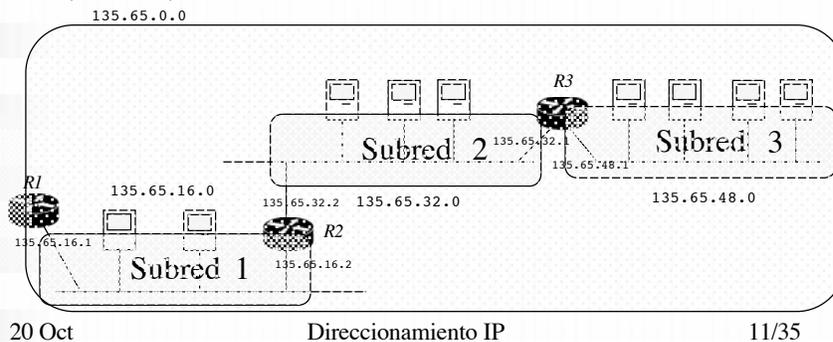


# Subnetting

## Ejemplo

- Supongamos la siguiente asignación de direcciones a los interfaces de los routers:
- Las tablas de rutas de los routers de la red serán:

<u>Router R1</u>			<u>Router R2</u>			<u>Router R3</u>		
Red destino	Next-hop	Interfaz	Red destino	Next-hop	Interfaz	Red destino	Next-hop	Interfaz
135.65.16.0	-	Ethernet 0	135.65.16.0	-	Ethernet 0	135.65.16.0	135.65.32.2	Ethernet 0
135.65.32.0	135.65.16.2	Ethernet 0	135.65.32.0	-	Ethernet 1	135.65.32.0	-	Ethernet 0
135.65.48.0	135.65.16.2	Ethernet 0	135.65.48.0	135.65.32.1	Ethernet 1	135.65.48.0	-	Ethernet 1
64.0.0.0	otro router	Ethernet 1	0.0.0.0	135.65.16.1	Ethernet 0	0.0.0.0	135.65.32.2	Ethernet 0
130.14.0.0	otro router	Ethernet 1						
(etc...)	(etc...)							



# Subnetting

Envío y reenvío de paquetes

- ¿Cómo actúan los hosts?:

- Tienen configurado:

- Su dirección IP
- La máscara de red
- La dirección IP que tiene el router de salida de su LAN en el interfaz en la misma
- Pueden averiguar el Extended Network ID de su subred aplicando a su dirección IP la máscara con una operación AND de bits. Por ejemplo:

```
IP 129.65.19.54 = 10000001010000010001001100110110
Máscara 255.255.255.240 = 11111111111111111111100000000000 AND
ExtNetID 129.65.16.0 = 10000001010000010001000000000000
```

- Dada la IP del destino al que desean enviar un paquete :

- Le aplica la máscara de su interfaz
- ¿El resultado es igual a mi Extended Network ID?
  - Sí: está en mi subred, se lo envío directamente (a su MAC)
  - No: está en otra red o subred, se lo envío al router (a la MAC del router)

20 Oct

Direccionamiento IP

12/35

# Subnetting

Envío y reenvío de paquetes

- ¿Cómo actúan los routers?:

- Tienen configurado:

- La dirección IP de cada uno de sus interfaces (cada interfaz está en una LAN y por lo tanto tiene una IP de dentro de esa LAN)
- Cada interfaz tiene configurada la máscara empleada en la red en la que está conectado
- Una *tabla de rutas* con rutas a subredes de redes a las que está conectado y tal vez rutas a otras redes

- Sin estado. Toman decisiones para cada paquete.

- Si recibe un paquete que no es para ninguna de sus direcciones IP:

- Busca en la tabla si hay alguna fila que en el campo *Red destino* tenga esa dirección IP. ¿Encuentra?

- Sí: Es una ruta a ese host en concreto, lo envía según indica la fila

- No: Calcula el NetID de la red a la que pertenece esa IP (classful)

- ¿Tiene algún interfaz en esa red?

- No: Ya tiene el identificador de la red destino

- Sí: Extrae la máscara de un interfaz que tenga en esa red. La aplica (AND) a la dirección. Ya tiene el identificador de la subred destino

- Busca ese identificador de red o subred en su tabla de rutas. ¿Lo encuentra?

- Sí: Lo envía según indica la fila

- No: Busca una ruta por defecto en la tabla de rutas. ¿Encuentra?

- Sí: Lo envía según indica la fila

- No: No sabe cómo hacer llegar el paquete al destino. Lo descarta.

20 Oct

Direccionamiento IP

13/35

# Subnetting

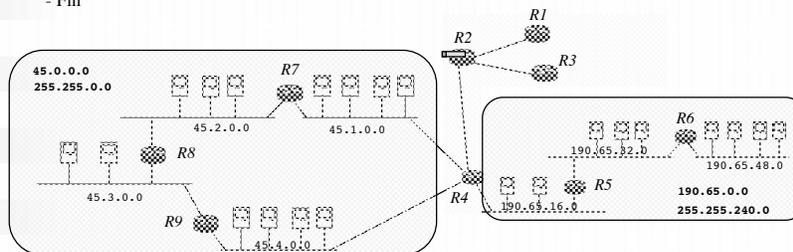
## Envío y reenvío de paquetes

- **Ejemplo 1:** El router R2 tiene un paquete cuya dirección IP destino es 190.65.32.14

- La tabla de rutas de R2 es por ejemplo:

Red destino	Next-hop	Interfaz
190.65.0.0	R4 IPInterface0	0
45.0.0.0	R4 IPInterface0	0
64.0.0.0	R1 IPInterface0	1
192.15.24.0	R3 IPInterface0	2
(etc...)	(etc...)	

- ¿Tiene una ruta a ese host?
- No... El NetID de esa red es 190.65.0.0 (es clase B). ¿Algún interfaz en esa red?
- No... Busca ese identificador en la tabla de rutas. ¿Lo encuentra?
- Sí... Indica reenviar al router R4, a su interfaz 0 (en la tabla aparecerá su IP). Lo reenvía.
- Fin



20 Oct

Direccionamiento IP

14/35

# Subnetting

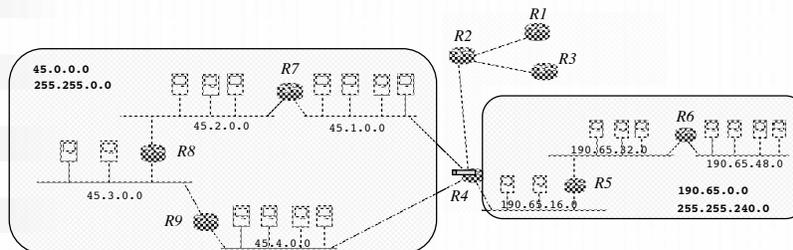
## Envío y reenvío de paquetes

- **Ejemplo 2:** El router R4 tiene un paquete cuya dirección IP destino es 190.65.32.14

- La tabla de rutas de R4 es por ejemplo:

- ¿Tiene una ruta a ese host?
- No... El NetID de esa red es 190.65.0.0 (es clase B). ¿Algún interfaz en esa red?
- Sí... Máscara 255.255.240.0 luego el ExtNetID es 190.65.32.0
- Busca ese identificador en la tabla de rutas. ¿Lo encuentra?
- Sí... Indica reenviar al router R5, a su interfaz 0 (en la tabla aparecerá su IP). Lo envía a su dirección MAC
- Fin

Red destino	Next-hop	Interfaz
190.65.16.0	-	0
190.65.32.0	R5 IPInterface0	0
190.65.48.0	R5 IPInterface0	0
64.0.0.0	R2 IPInterface0	1
45.1.0.0	-	2
45.2.0.0	R7 IPInterface0	2
45.3.0.0	R9 IPInterface0	2
45.4.0.0	-	3
0.0.0.0	R2 IPInterface0	1



20 Oct

Direccionamiento IP

15/35

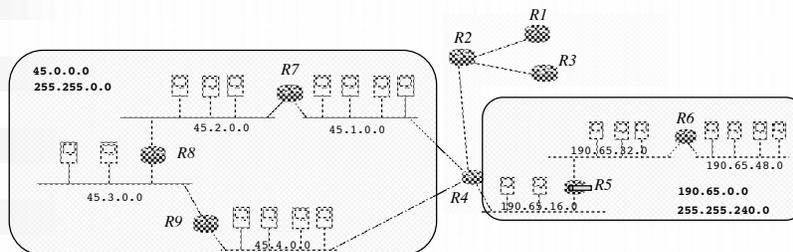
# Subnetting

Envío y reenvío de paquetes

- **Ejemplo 3:** El router R5 tiene un paquete cuya dirección IP destino es 190.65.32.14

- La tabla de rutas de R5 es por ejemplo:
- ¿Tiene una ruta a ese host?
- No... El NetID de esa red es 190.65.0.0 (es clase B). ¿Algún interfaz en esa red?
- Si... Máscara 255.255.240.0 luego el ExtNetID es 190.65.32.0 Busca ese identificador en la tabla de rutas. ¿Lo encuentra?
- Sí... Indica enviar directamente al host destino (si es una Ethernet hará un ARP para averiguar la MAC y se lo enviará)
- Fin

Red destino	Next-hop	Interfaz
190.65.16.0	-	0
190.65.32.0	-	1
190.65.48.0	R6 IPInterface0	1
0.0.0.0	R4 IPInterface0	0



20 Oct

Direccionamiento IP

16/35

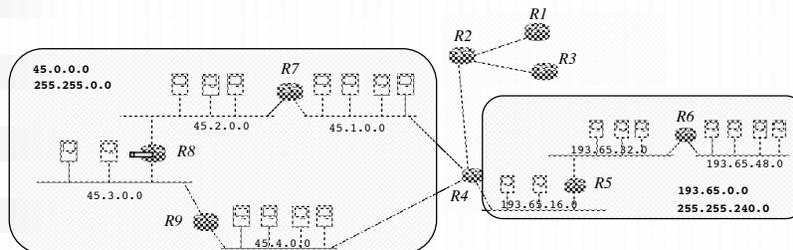
# Subnetting

Envío y reenvío de paquetes

- **Ejemplo 4:** El router R8 tiene un paquete cuya dirección IP destino es 201.234.14.56

- La tabla de rutas de R8 es por ejemplo:
- ¿Tiene una ruta a ese host?
- No... El NetID de esa red es 201.234.14.0 (es clase C). ¿Algún interfaz en esa red?
- No... Busca ese identificador en la tabla de rutas. ¿Lo encuentra?
- No... Busca una ruta por defecto en la tabla de rutas. ¿Encuentra?
- Sí. Lo envía a la MAC del interfaz 1 del router R9
- Fin

Red destino	Next-hop	Interfaz
45.1.0.0	R7 IPInterface1	0
45.2.0.0	-	0
45.3.0.0	-	1
45.4.0.0	R9 IPInterface1	1
0.0.0.0	R9 IPInterface1	1



20 Oct

Direccionamiento IP

17/35

## Resumen hasta ahora

- Subnetting nos permite introducir routers dentro de una red y dividirla en subredes
- Desde el exterior de la red no se sabe si hay subredes o no (compatible hacia atrás, como si no hubiera habido cambios)
- Una vez escogida la máscara queda fijada para toda la red

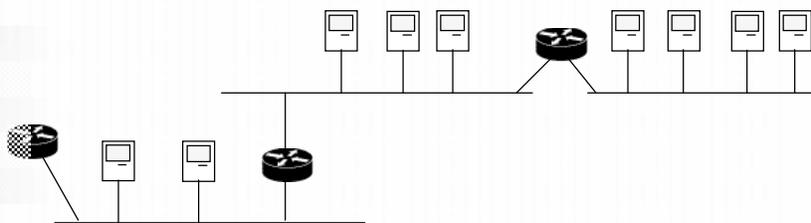
20 Oct

Direccionamiento IP

18/35

## Problemas con Subnetting

- Subnetting permite dividir un espacio de direcciones en subredes
- La restricción es que todas las subredes deben emplear la misma máscara
- Si las subredes no son de tamaño (número de hosts) homogéneo esto pueda dar lugar a un desaprovechamiento de direcciones
- Ejemplo...



20 Oct

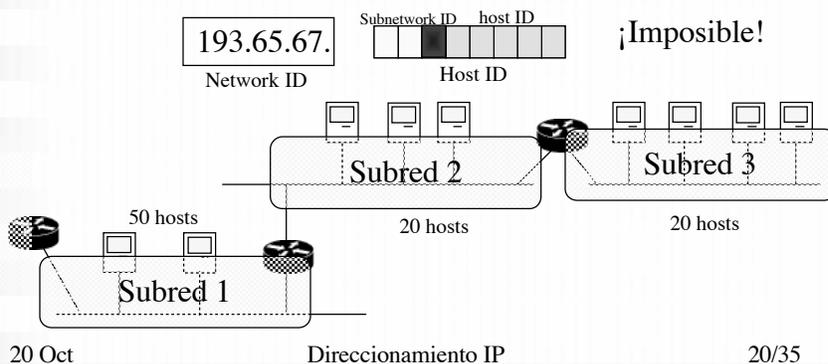
Direccionamiento IP

19/35

# Problemas con Subnetting

- Ejemplo:

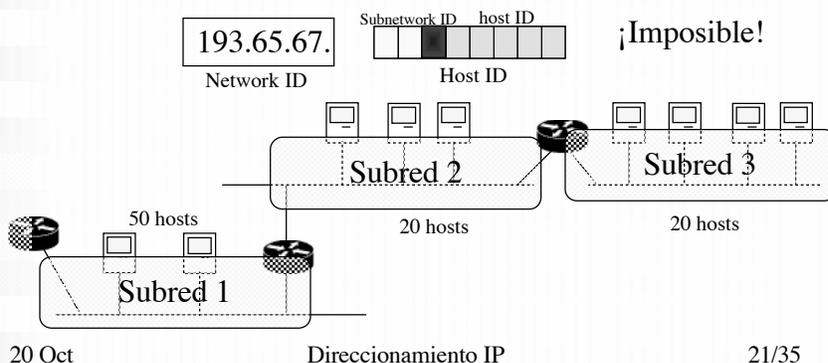
- En la red C 193.65.67.0 se crean tres subredes...
- El número de hosts en cada subred se quiere que sea: 50 en la subred 1, 20 en la subred 2 y 20 en la subred 3 (...)
- Total 90 hosts. Tenemos una red C con 254 direcciones disponibles. ¿Suficiente?
- El host ID de la red C es de 8 bits...
- Para tener 3 subredes el mínimo subnetwork ID es de 3 bits ( $2^2-2=2$ ,  $2^3-2=6$ )...
- Para tener 50 hosts en una red hacen falta al menos 6 bits en el host ID ( $2^5-2=30$ ,  $2^6-2=62$ )...



# Problemas con Subnetting

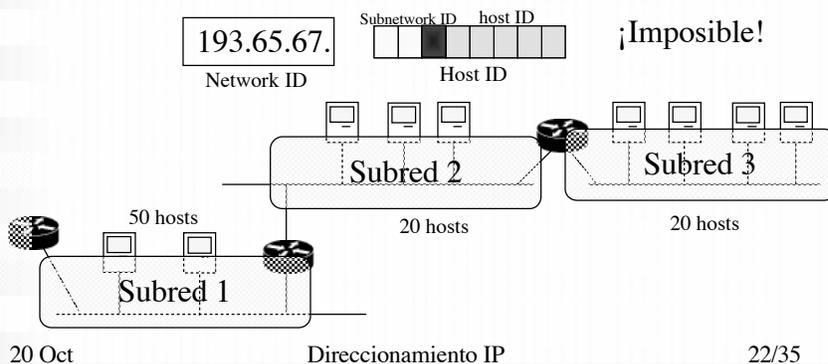
- ¿Dónde se han perdido las direcciones?

- Red C, 254 direcciones, no debería tener problemas con 90 hosts pero
- Al emplearse una máscara de tamaño fijo para toda la red hay que dimensionarla para la subred más grande. Es decir, la máscara de subred debe tener al menos 6 bits para hosts
- Las subredes que no necesitan tantos bits los tendrán, desperdiciando direcciones
- Para 20 hosts vale con 5 bits,  $2^5-2=30$  IPs y se desperdician 10 direcciones
- Asignando 6 bits se desperdician  $2^6-2-20=40$  direcciones en la subred 2 y en la subred 3



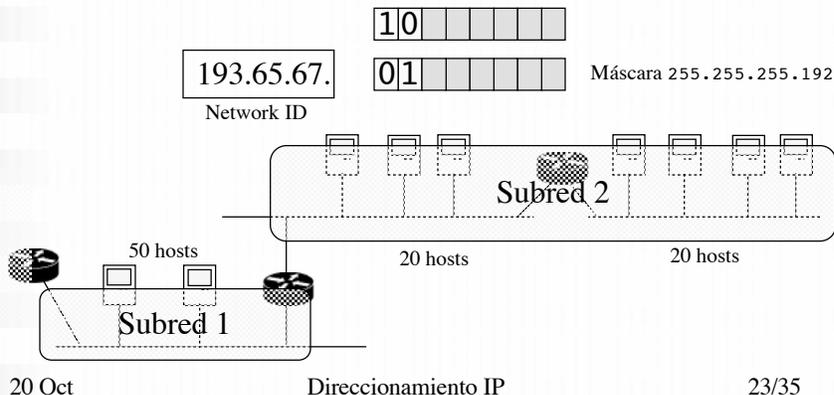
# Problemas con Subnetting

- ¿Dónde se han perdido las direcciones?
  - Además, para hacer 3 subredes necesitamos al menos 3 bits en el subnetwork ID
  - Pero 3 bits dan para  $2^3-2=6$  subredes
  - Estamos empleando 3 subredes, ¡¡ desperdiciamos  $3 \times 2^6=192$  direcciones !!
  - De hecho, con la subred 0 (000 en binario) y la 7 (111) estamos desperdiciando  $2 \times 2^6=128$  direcciones más
  - Todo este desaprovechamiento hace que sea imposible el direccionamiento



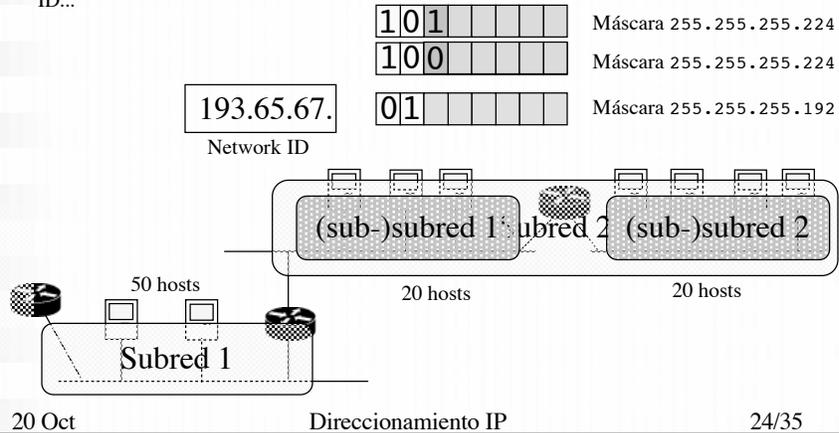
# VLSM

- ¿Cómo podrían aprovecharse mejor las direcciones de esa red?
  - Supongamos por un lado la subred 1 y por otro lado las otras dos subredes que en conjunto llamaremos ahora subred 2 (ficticia, solo para calcular el reparto en subredes) ...
  - La subred 1 tiene 50 hosts, la subred 2 tiene 40 hosts (en 2 sub-subredes), empleamos 6 bits para host ID en la subred 1 y fijamos el subnetwork ID a 01 (...)
  - A la subred 2 le asignamos las direcciones que tienen el subnetwork ID 10 (...)



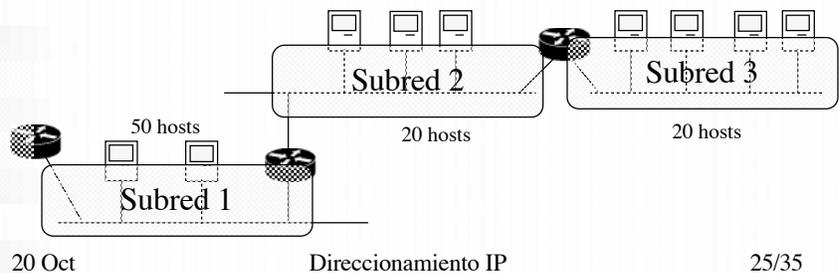
# VLSM

- ¿Cómo podrían aprovecharse mejor las direcciones de esa red?
  - Ahora podemos empezar de nuevo el problema suponiendo que a la subred 2 se le asigna un espacio de direcciones con 6 bits para el host ID
  - Tiene dos (sub-)subredes con 20 hosts cada una ...
  - Empleamos 1 bit para distinguir una (sub-)subred de otra y nos quedan 5 bits para host ID...



# VLSM

- ¿Resultado?
  - Subred 1: Dirección de red 193.65.67.64 máscara 255.255.255.192
  - Subred 2: Dirección de red 193.65.67.128 máscara 255.255.255.224
  - Subred 3: Dirección de red 193.65.67.160 máscara 255.255.255.224
  - Quedan disponibles las direcciones:
    - 193.65.67.0 máscara 255.255.255.192
    - 193.65.67.192 máscara 255.255.255.192
- Ahora la máscara es más importante porque puede ser diferente según la subred
- VLSM = Variable Length Subnet Masks
- Los routers deben ser capaces de almacenar en cada ruta no sola la dirección de la red sino también la máscara
- Veremos más adelante que requiere que el protocolo de enrutamiento transporte no solo las direcciones de las redes sino también las máscaras



# Supernetting

El problema

- Supongamos otra situación: Se desea un espacio de direcciones para una red que dispone de 1000 máquinas
- Una red de clase C solo dispone de 254 direcciones: insuficiente
- Tendríamos que solicitar una red de clase B pero
- Desperdiciaríamos  $2^{16}-2-1000=64534$  direcciones, ¡¡ el 98% de las direcciones !!
- Ante esta situación, redes de tamaño medio reservaban redes B sin utilizarlas a penas con lo que el espacio de direcciones de las redes B se agotaba

20 Oct

Direccionamiento IP

26/35

# Supernetting

- Una alternativa es asignarle varias redes C
- Una red de 1000 hosts necesitaría al menos 4 redes C y se necesitaría una entrada en las tablas de rutas de todos los routers de Internet por cada red C
- Solución:

– Asignar redes C “consecutivas”

– Ejemplo:

200.45.64.0	11001000 00101101 01000000 00000000
200.45.65.0	11001000 00101101 01000001 00000000
200.45.66.0	11001000 00101101 01000010 00000000
200.45.67.0	11001000 00101101 01000011 00000000
Red: 200.45.64.0	11001000 00101101 01000000 00000000
Máscara: 255.255.255.252.0	11111111 11111111 11111100 00000000

- Se agrupan las redes consecutivas en un solo prefijo/máscara
- Los routers pueden almacenar una sola entrada en su tabla de rutas siempre que sean capaces de recordar también la máscara de la red

20 Oct

Direccionamiento IP

27/35

# CIDR

- Classless InterDomain Routing
- Respuesta a los problemas que estaba teniendo Internet de:
  - Agotamiento de direcciones
  - Crecimiento de las tablas de rutas
- Junta el funcionamiento de VLSM y Supernetting
- Las clases (A, B y C) dejan de tener significado
- Las entradas en las tablas de rutas de los routers deben tener no solo la dirección de la red sino también la máscara
- El protocolo de enrutamiento que se emplee debe transportar las máscaras
- Permite:
  - Asignar redes más ajustadas al tamaño necesario. Se asigna un identificador de red y una máscara del tamaño deseado (VLSM)
  - Al no tener significado las clases la red puede estar en cualquier rango disponible (no hace falta que sea dentro de una red B o agrupando redes C)
  - Reducir el número de entradas en las tablas de rutas “resumiendo” varias entradas en una (Supernetting)

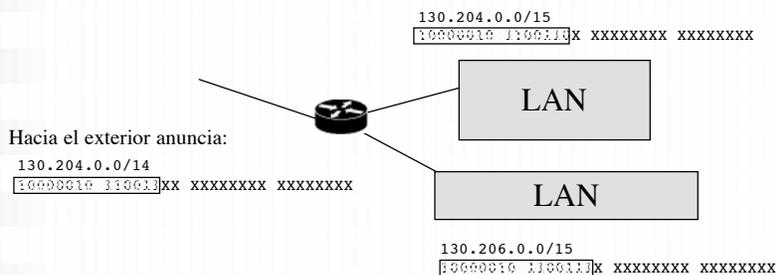
20 Oct

Direccionamiento IP

28/35

# CIDR

## Ejemplo de agregación de rutas



20 Oct

Direccionamiento IP

29/35

# CIDR

Envío y reenvío de paquetes

## ¿Cómo actúan los routers/hosts?

- Tienen configurado:
  - La dirección IP de cada uno de sus interfaces
  - Cada interfaz tiene configurada la máscara empleada en la red a la que está conectado
  - Una tabla de rutas con rutas a redes. Cada entrada identifica la red destino con su dirección de red Y una máscara de red
  - La máscara puede no ser la de la red destino final
- Si tiene un paquete IP que no es para una de sus direcciones:
  - Comprueba con todas las entradas en su tabla de rutas si esa IP pertenece a la red especificada por la ruta (teniendo en cuenta la máscara de red)
    - Si no pertenece a ninguna, descarta el paquete
    - Si encuentra una o más rutas válidas:
      - Escoge aquella con la máscara más “larga” (mayor número de 1s)
      - Reenvía el paquete por donde indica esa ruta
- Nombre: Longest Match

20 Oct

Direccionamiento IP

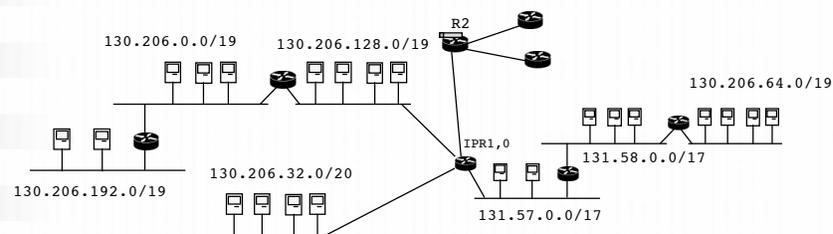
30/35

# CIDR

Ejemplo

- El Router R2 tiene un paquete dirigido a la dirección 130.206.66.45
  - Busca en su tabla de rutas aquellas redes destino a las que pertenece esta IP (solo 130.206.0.0/16)
  - De ellas emplea la del prefijo más largo
  - Fin

Red destino	Next-hop	Interfaz
130.206.0.0/16	IPR1,0	Ethernet 0
131.57.0.0/17	IPR1,0	Ethernet 0
131.58.0.0/17	IPR1,0	Ethernet 0



20 Oct

Direccionamiento IP

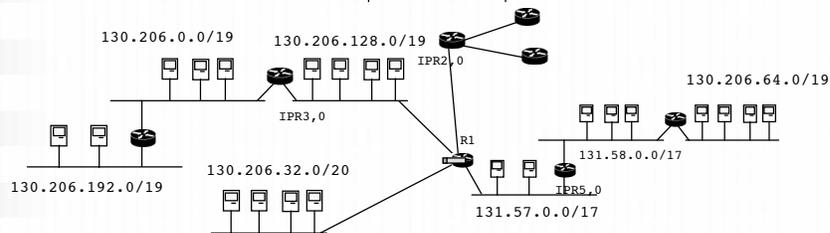
31/35

# CIDR

## Ejemplo

- El Router R1 tiene un paquete dirigido a la dirección 130.206.66.45
  - Busca en su tabla de rutas aquellas redes destino a las que pertenece esta IP (130.206.0.0/16, 130.206.64.0/19 y 0.0.0.0/0)
  - De ellas emplea la del prefijo más largo (130.206.64.0/19)
  - Fin

Red destino	Tabla de rutas de R1	Interfaz
	Next-hop	
130.206.0.0/16	IPR3,0	Ethernet 0
130.206.128.0/19	-	Ethernet 0
130.206.32.0/20	-	Ethernet 1
131.57.0.0/17	-	Ethernet 2
131.58.0.0/17	IPR5,0	Ethernet 2
130.206.64.0/19	IPR5,0	Ethernet 2
0.0.0.0/0	IPR2,0	Ethernet 3



20 Oct

Direccionamiento IP

32/35

# CIDR

- Ya no existe un “Subnetwork ID”
- Por lo tanto ya no hay que eliminar subredes que tengan todo 0s o 1s antes del Host ID
- Para que se puedan ir agregando rutas hace falta que el reparto de direcciones mantenga esa jerarquía
- Ahora se asignan direcciones manteniendo una jerarquía geográfica
- Según la región del mundo a la que pertenezca la red hay una organización (RIR, Regional Internet Registry) encargada de asignarle direcciones:
  - RIPE NCC ([www.ripe.net](http://www.ripe.net)): Europa, Oriente Medio, Asia Central y África al norte del ecuador
  - ARIN ([www.arin.net](http://www.arin.net)): América, parte del Caribe y África subecuatorial
  - APNIC ([www.apnic.net](http://www.apnic.net)): Asia y Pacífico
  - LACNIC ([lacnic.net](http://lacnic.net)): América Latina y el Caribe
- Las redes A, B y C que veíamos que estaban reservadas para redes privadas son:
  - 10/8
  - 172.16/12
  - 192.168/16

20 Oct

Direccionamiento IP

33/35

## Resumen

- Podemos tener mucha más flexibilidad en el tamaño de las redes empleando la máscara de red y así asignar espacios de direcciones más ajustados a las necesidades
- De esta forma aprovechamos mejor los bloques de direcciones aún disponibles
- CIDR ignora el significado de las clases A, B y C
- Con CIDR se pueden crear subredes con el prefijo que se desee y estén en el rango que estén (A, B...)
- Podemos también resumir varias rutas en una sola siempre que tengan un prefijo común

## Próximo día

### Routing IP Protocolos de enrutamiento