

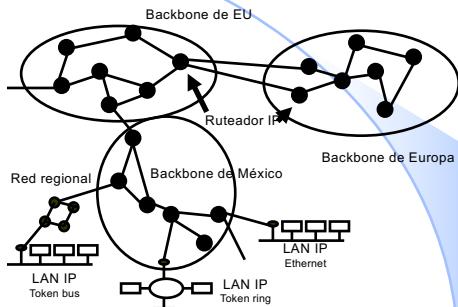
## Protocolos de Nivel de Red en Internet

Dr. Miguel Angel León Chávez

Network MALCH

1

## Capa de Red en Internet

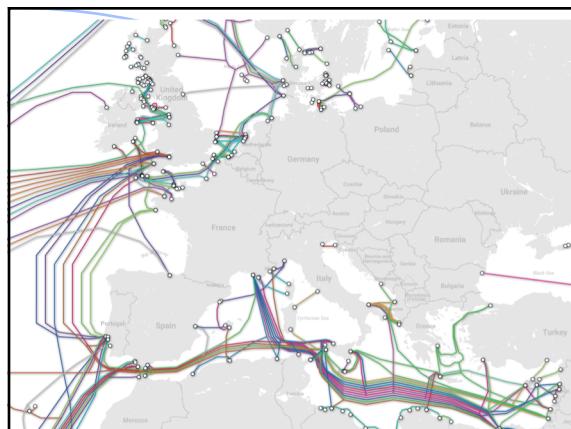


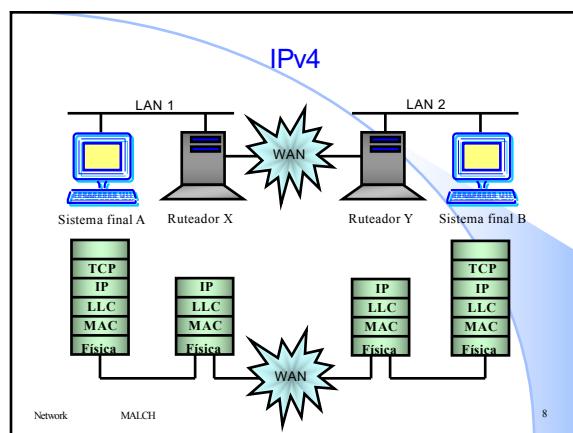
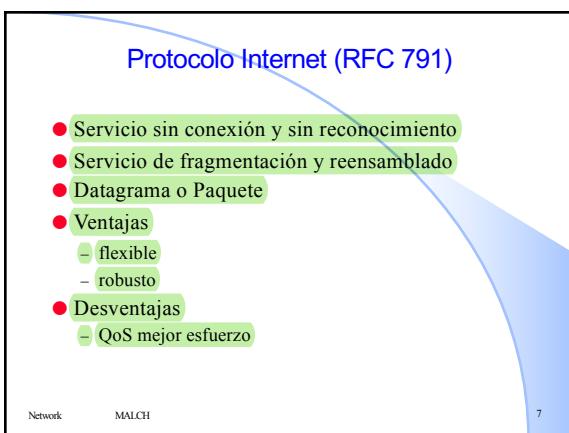
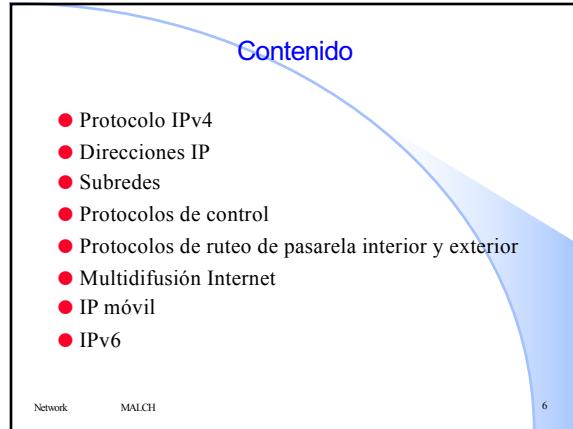
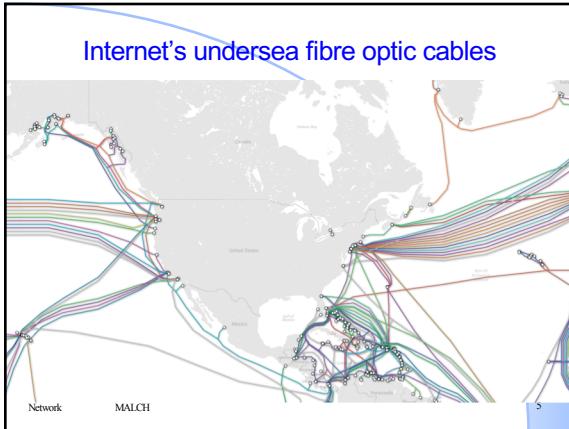
2

## Internet's undersea fibre optic cables

Network MALCH

3





## Problemas de diseño

- Encaminamiento o ruteo
- Tiempo de vida de los datagramas
- Fragmentación y reensamblado
- Control de errores
- Control de flujo

Network      MALCH

9

## Encaminamiento o ruteo

- Tabla de ruteo en cada ruteador
  - Estática = fijas + alternativas
  - Dinámica
- Otros servicios:
  - seguridad
  - prioridad
  - registro de la ruta: comprobación y depuración

Network      MALCH

10

## Tiempo de vida de los datagramas

- Para evitar que un datagrama viaje indefinidamente a través de la red, éste se marca con un tiempo de vida, al expirar, el datagrama se descarta
- Contador de saltos
- Timer

Network      MALCH

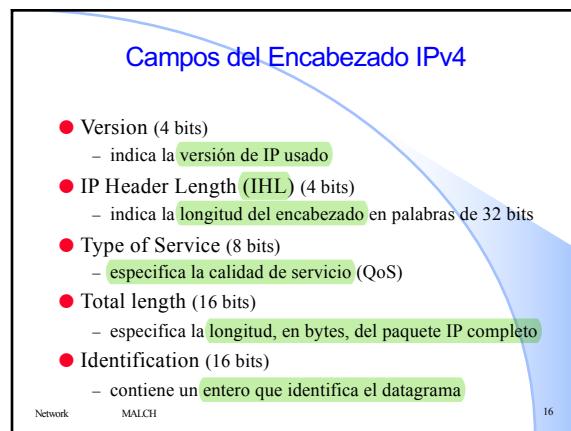
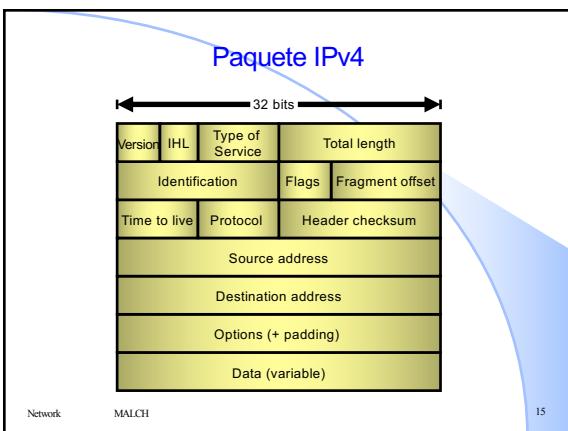
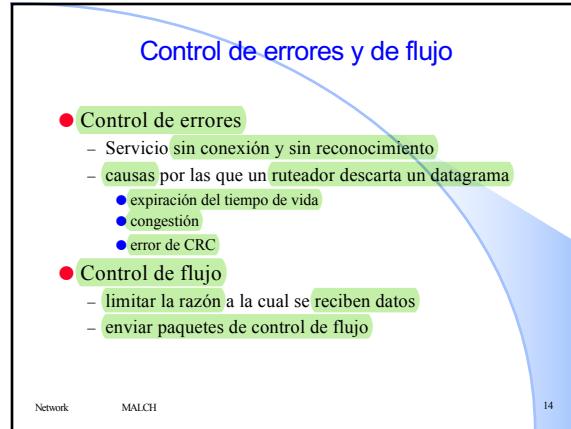
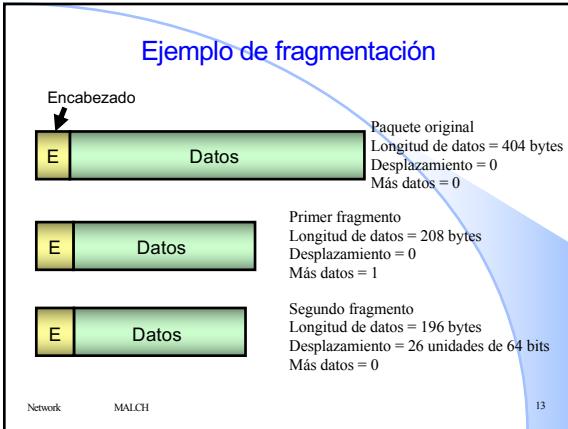
11

## Fragmentación y reensamblado

- Campos del encabezado IP para la segmentación:
  - Identificador de la unidad de datos (ID)
    - dirección fuente y destino, identificador del protocolo que genera los datos (TCP) y número de secuencia
  - Longitud de los datos
    - longitud del campo de datos del usuario en octetos (bytes)
  - Desplazamiento
    - posición del fragmento de datos en el campo de datos del datagrama original en múltiplos de 64 bits
  - Indicador de más datos

Network      MALCH

12



## Campos del Encabezado IPv4

- Flags (3 bits)
  - campo de 3 bits para controlar la fragmentación: LSB indica si el paquete puede ser fragmentado, el bit intermedio indica si el paquete es el último fragmento, MSB no se usa
- Fragment offset (13 bits)
  - indica la posición del fragmento relativo al inicio del datagrama original, en unidades de 64 bits
- Time to live (8 bits)
  - contador de decremento, en segundos, cuando es cero el paquete es descartado

Network      MALCH

17

## Campos del Encabezado IPv4

- Protocol (8 bits)
  - indica qué protocolo de capa superior recibe el paquete después del procesamiento IP
- Header checksum (16 bits)
  - código de detección de errores aplicado al encabezado
  - suma complemento a uno de todas las palabras de 16 bits
- Source address (32 bits)
  - especifica el nodo emisor
- Destination address (32 bits)
  - especifica el nodo receptor

Network      MALCH

18

## Campos del Encabezado IPv4

- Options (variable) (+ padding, múltiplo de 32 bits)
  - Seguridad, etiqueta de seguridad
  - Ruteo por la fuente, especifica la ruta a seguir
  - Registro de la ruta, registra la secuencia de ruteadores seguidos
  - Marcas de tiempo, registra el tiempo conforme pasa por algunos o todos los ruteadores
- Data (variable, múltiplo de 8 bits)
  - contiene información de capa superior incluyendo los datos del usuario

Network      MALCH

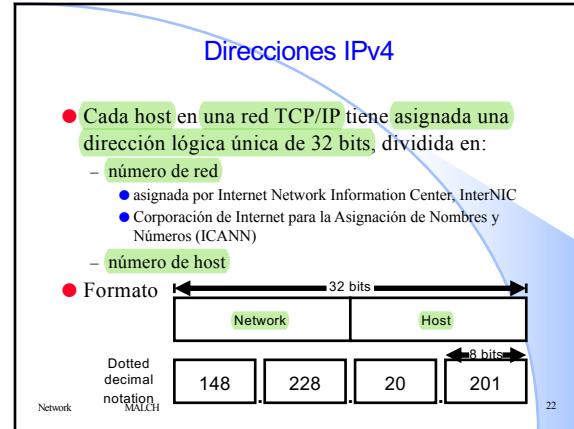
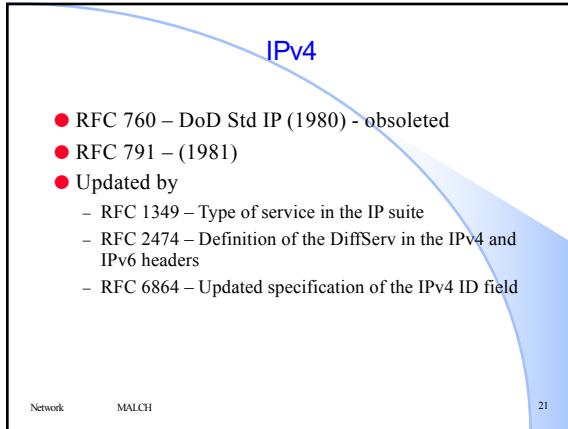
19

## Campos del Encabezado IPv4

- Type of Service (8 bits) (RFC 795)
  - especifica la calidad de servicio (QoS)
    - Precedencia, medida de la importancia relativa del datagrama, 8 niveles
    - Seguridad, 2 niveles: normal o alto (minimizar la probabilidad de que el datagrama se pierda o se dañe)
    - Retardo, 2 niveles: normal o bajo (minimizar el retardo que experimentará el datagrama)
    - Rendimiento, 2 niveles: normal o alto (maximizar el rendimiento para el datagrama)

Network      MALCH

20

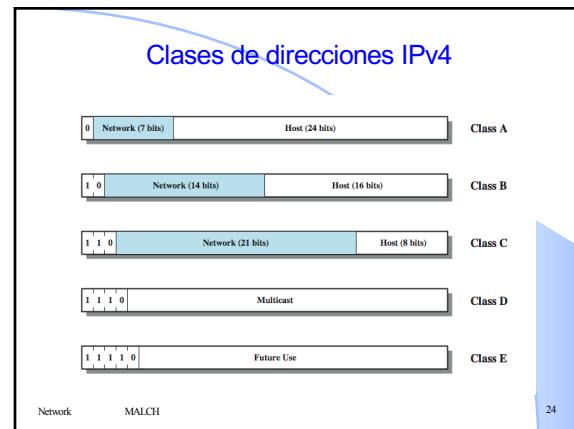


**Clases de direcciones IPv4**

Clases	Formato	Propósito	Bits de orden superior	Rango de direcciones	Hosts máximos
A	N.H.H.H	Organizaciones grandes	0	1.0.0.0 a 126.0.0.0	( $2^{24}$ -2)
B	N.N.H.H	Organizaciones medianas	1, 0	128.1.0.0 a 191.254.0.0	( $2^{16}$ -2)
C	N.N.N.H	Organizaciones pequeñas	1, 1, 0	192.0.1.0 a 223.255.254.0	( $2^8$ -2)
D	N/A	Grupos multicast	1, 1, 1, 0	224.0.0.0 a 239.255.255.255	N/A
E	N/A	Experimental	1, 1, 1, 1	244.0.0.0 a 254.255.255.255	N/A

Network      MALCH

23



## Subredes

- Redes IP pueden ser divididas en redes más pequeñas llamadas subredes
- Ventajas
  - flexibilidad, uso más eficiente de direcciones, capacidad de contener tráfico broadcast y administración local
- Ejemplo
  - 148.228.0.0
    - los ceros en el campo de dirección del host especifica la red buap
  - 148.228.1.0, 148.228.2.0, ... 148.228.20.0, ...
    - subredes

Network

MALCH

25

## Máscara de subred

- Permite a un nodo determinar si un datagrama de salida va dirigido a otro nodo en la misma LAN (envío directo) o en otra LAN (envío a un ruteador)
- Operación AND lógico bit a bit entre la dirección IP del datagrama y la máscara de subred
  - retiene el número de red y el número de subred
- Máscaras de subred por default
  - clase B, 255.255.0.0 (sin subredes)
  - clase B, 255.255.255.0 (con subredes)
  - clase C, 255.255.255.0

Network

MALCH

26

## Máscara de subred

(a) Dotted decimal and binary representations of IP address and subnet masks

	Binary Representation	Dotted Decimal
IP address	11000000.11100100.0001.00111001	192.228.17.57
Subnet mask	11111111.11111111.11111111.11100000	255.255.255.224
Bitwise AND of address and mask (resultant network/subnet number)	11000000.11100100.0001.00100000	192.228.17.32
Subnet number	11000000.11100100.00010001.0001	1
Host number	00000000.00000000.00000000.00011001	25

(b) Default subnet masks

	Binary Representation	Dotted Decimal
Class A default mask	11111111.00000000.00000000.00000000	255.0.0.0
Example Class A mask	11111111.11000000.00000000.00000000	255.192.0.0
Class B default mask	11111111.11111111.00000000.00000000	255.255.0.0
Example Class B mask	11111111.11111111.11110000.00000000	255.255.248.0
Class C default mask	11111111.11111111.11111111.00000000	255.255.255.0
Example Class C mask	11111111.11111111.11111111.11111100	255.255.255.252

## Máscara de subred

- Es identificada como una dirección IP
  - 255.255.255.0
- Es identificada por prefijo/longitud
  - 10.2.0.0/16
- Ruteo sin clases
  - Sin interpretación de las direcciones IP clases A, B, C
  - Los protocolos de ruteo pueden transportar la máscara de subred

Network

MALCH

28

## Direcciones IP especiales (RFC 6890)

- This host on this network

- 0.0.0.0/8

- Private-Use Networks

- 10.0.0.0/8

- Shared Address Space

- 100.64.0.0/10

- Loopback

- 127.0.0.0/8

- Link Local

- 169.254.0.0/16

Network

MALCH

29

## Direcciones IP especiales (RFC 6890)

- Private-Use Networks

- 172.16.0.0/12

- IETF Protocol Assignments

- 192.0.0.0/24

- DS-Lite

- 192.0.0.0/29

- TEST-NET-1

- 192.0.2.0/24

- 6to4 Relay Anycast

- 192.88.99.0/24

Network

MALCH

30

## Direcciones IP especiales (RFC 6890)

- Private-Use Networks

- 192.168.0.0/16

- Network Interconnect Device Benchmark Testing

- 198.18.0.0/15

- TEST-NET-2

- 198.51.100.0/24

- TEST-NET-3

- 203.0.113.0/24

- Reserved for Future Use

- 240.0.0.0/4

- Limited Broadcast

- 255.255.255.255/32

Network

MALCH

31

## Direcciones Privadas

- Rango de direcciones para uso privado (RFC 1918)

- 10.0.0.0 – 10.255.255.255

- 172.16.0.0 – 172.31.255.255

- 192.168.0.0 – 192.168.255.255

Network

MALCH

32

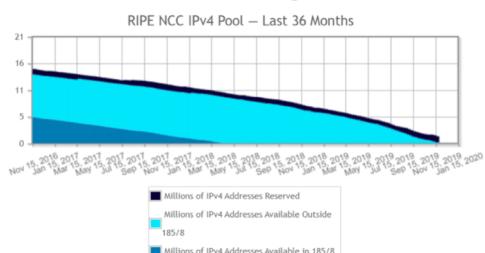
## Network Address Translation (NAT)

- El NAT Gateway permite conectar host con direcciones IP privadas al Internet
  - NAT mapeo estático 1:1
  - NAT mapeo dinámico n:1
    - una dirección IP oficial es compartida por  $n$  host usando IP privadas
  - TCP/UDP – Port Address Translation

Network MALCH

33

## Direcciones IPv4 disponibles 25/11/19



Network MALCH

34

## Protocolos de Control de Internet

- ARP (Address Resolution Protocol)
- RARP (Reverse Address Resolution Protocol)
- ICMP (Internet Control Message Protocol)

Network MALCH

35

## Protocolo de Resolución de Direcciones

- An Ethernet Address Resolution Protocol (ARP)
  - RFCs 826, 5227, 5494
  - Para que dos nodos se comuniquen, en una red dada, deben conocer sus direcciones físicas o direcciones MAC
    - Por ejemplo Ethernet de 48 bits
  - ¿ Cómo proyectar direcciones IP sobre direcciones MAC ?
    - Difundir (broadcast) un frame ARP preguntando por el dueño de la dirección IP (insertando su dirección MAC)
    - El propietario responderá con la dirección MAC
    - Almacenar en la memoria caché la dirección MAC

Network MALCH

36

## Protocolo de Resolución de Direcciones

- Si el propietario de la dirección IP se encuentra en otra LAN (ruteadores no difunde frames MAC)
  - Configurar a los ruteadores para responder a las solicitudes ARP de algunas redes (proxy ARP)
    - el nodo crea en el caché de ARP la entrada (IP, ruteador)
  - No configurar a los ruteadores
    - el nodo envía las solicitudes ARP a la dirección MAC predeterminada para el manejo del tráfico remoto (ruteador)

Network      MALCH

37

## Protocolo de Resolución de Direcciones en Reversa

- Reverse Address Resolution Protocol (RARP)
- RFC 903
- Dada una dirección Ethernet, ¿ Cuál es la dirección IP correspondiente ?
  - Difundir la dirección MAC y preguntar por la dirección IP
  - Servidor RARP recibe la solicitud, busca la dirección MAC en sus archivos de configuración y envía la dirección IP

Network      MALCH

38

## Protocolo de Control de Mensajes de Internet

- Internet Control Message Protocol (ICMP)
- RFCs: 792, 950, 4884, 6633, 6918
- Proporciona un medio de transferir mensajes desde los ruteadores y/o el nodo destino al nodo emisor
  - Informa sobre los problemas del entorno de comunicación
  - Si un mensaje ICMP no puede ser entregado, no se genera otro

Network      MALCH

39

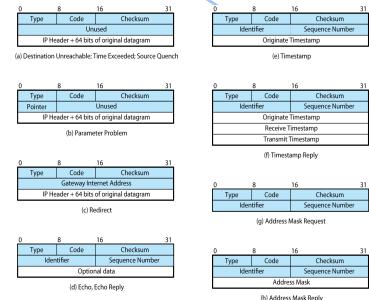
## Tipos de mensajes ICMP

- destino inalcanzable (network, host, protocol, port)
- tiempo excedido: expiración del contador de vida
- problema de parámetros: error sintáctico o semántico en el encabezado IP
- reducir de origen: control de flujo
- redirección: mal enrutado
- solicitud de eco - respuesta a eco (comando ping)
  - para decidir si el destino es alcanzable y está vivo
- solicitud de marca de tiempo - respuesta a la marca de tiempo
  - para medir el desempeño de la red (tiempo de llegada y partida)
- solicitud de máscara de dirección - respuesta de máscara
  - permiten a un nodo conocer la máscara de red usada en la LAN

Network      MALCH

40

## Formato de los mensajes ICMP



Network

Figure 18.8 ICMP Message Formats

41

## Mensajes ICMP obsoletos

### ● RFC 6918 (2013)

- Alternate Host Address
- Information Request – Information Reply
- Address Mask Request – Address Mask Reply
- Traceroute
- Datagram Conversion Error
- Mobile Host Redirect
- IPv6 Where-Are-You – IPv6 I-Am-Here
- Mobile Registration Request – Mobile Registration Reply
- Domain Name Request – Domain Name Reply
- SKIP

Network

MALCH

42

## Protocolos de ruteo

- Internet se compone de muchos Sistemas Autónomos
- Protocolo de pasarela interior (Interior Gateway Protocol, IGP)
  - Algoritmo de ruteo interno de un Sistema Autónomo (AS)
- Protocolo de pasarela exterior (Exterior Gateway Protocol, EGP)
  - Algoritmo de ruteo entre varios Sistemas Autónomos

Network

MALCH

43

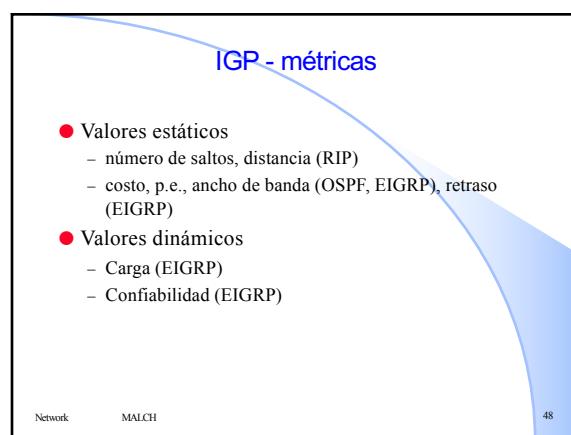
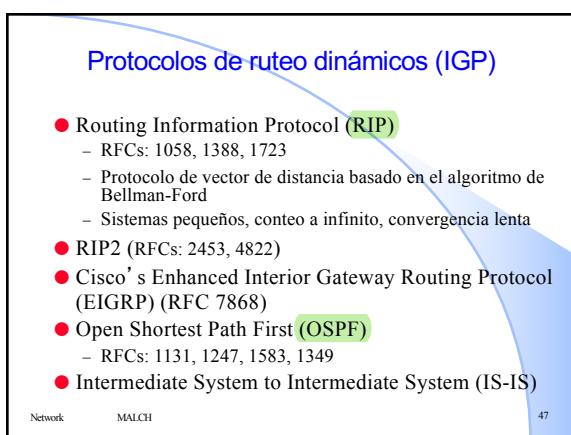
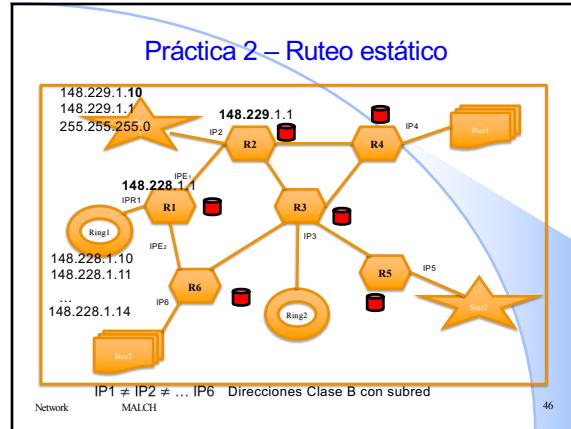
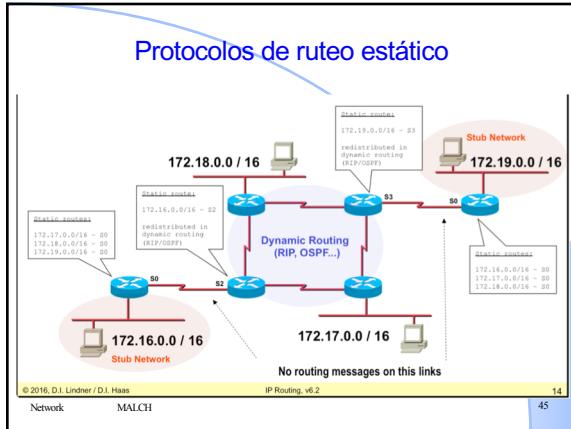
## Protocolos de ruteo

- Estático
  - El administrador de la red configura manualmente las rutas en cada ruteador
  - Se configuran rutas por default
  - Bueno para redes pequeñas
- Dinámico
  - Los ruteadores comparten información de las rutas con sus vecinos
  - Cuando el protocolo detecta un cambio en alguna ruta automáticamente lo propaga al resto de los ruteadores
  - Consumen gran ancho de banda

Network

MALCH

44



**IGP**

Routing Protocol	Complexity	Max. Size	Convergence Time	Reliability	Protocol Traffic
RIP	very simple	16 Hops	High (minutes)	Not absolutely loop-safe	High
RIPv2	very simple	16 Hops	High (minutes)	Not absolutely loop-safe	High
IGRP	simple	x	High (minutes)	Medium	High
EIGRP	complex	x	Fast (seconds)	High	Medium
OSPF	very complex	Thousands of Routers	Fast (seconds)	High	Low
IS-IS	complex	Thousands of Routers	Fast (seconds)	High	Low
BGP-4	very complex	more than 100,000 networks	Middle	Very High	Low

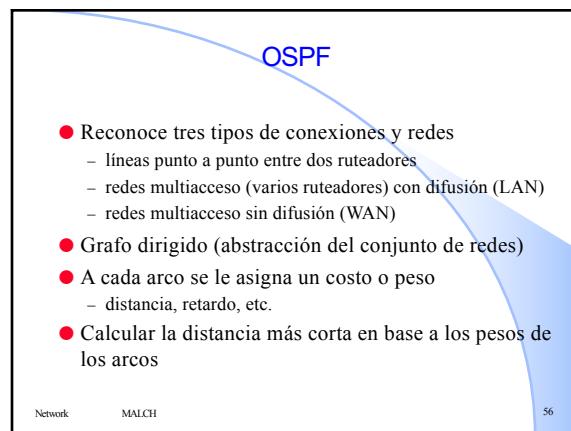
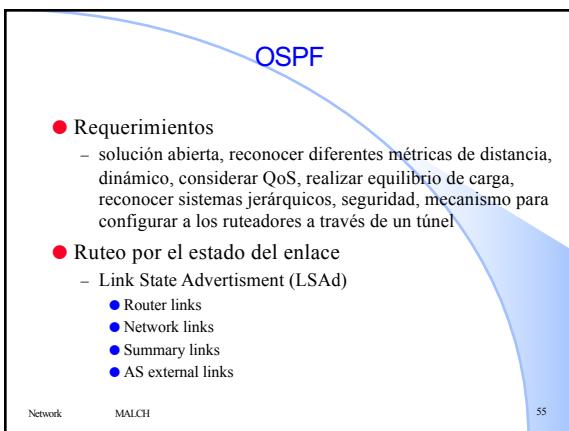
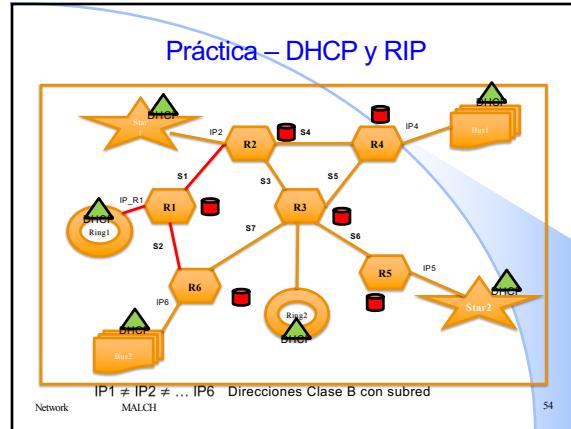
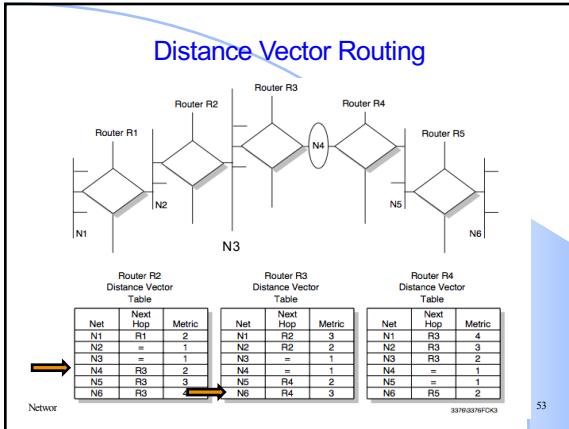
Network      MALCH

49

- Protocolos de Vector de Distancia**
- Un ruteador conoce sólo las redes a las que está conectado después de que es encendido
  - La tabla de ruteo se envía periódicamente a sus ruteadores vecinos
  - Las actualizaciones recibidas se analizan y se actualizan en su tabla de ruteo
  - La métrica es el número de saltos
  - Retraso en la propagación de las actualizaciones – conteo al infinito
  - Vista limitada de la topología
  - Pueden ocurrir lazos
- Network      MALCH
- 50

- Protocolos del estado del enlace**
- Los ruteadores vecinos establecen adyacencias
  - Los ruteadores conocen la topología de la red
    - Link State Advertisements (LSA)
    - Almacenados en una base de datos
  - Las actualizaciones se envían sólo si hay cambios en la topología de la red
  - La tabla de ruteo se calcula buscando la trayectoria más corta
    - libre de lazos
- Network      MALCH
- 51

- Protocolo de Información de Ruteo (RIP)**
- Routing Information Protocol
  - RIPv1 - RFCs 1058, 1388, 1723
  - RIPv2 - RFCs 1723, 2453
  - Protocolo de vector de distancia
    - Cada ruteador mantiene la distancia de él mismo al resto de los ruteadores en una tabla de vector de distancia
    - Las tablas de vector de distancia consisten de una serie de destinos (vectores) y costos (distancia) para alcanzarlos y define el menor costo a los destinos
    - La distancia en las tablas se calculan con la información enviada por los ruteadores vecinos
- Network      MALCH
- 52



## OSPF

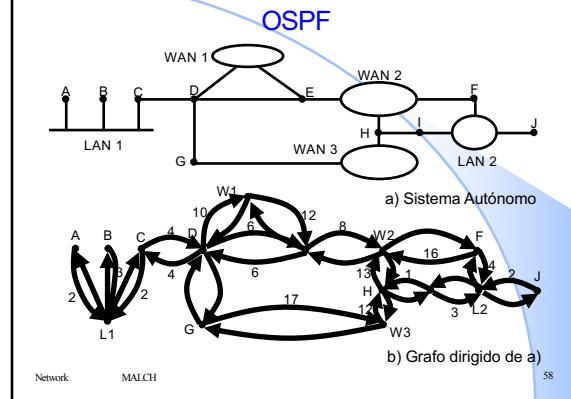
- Una conexión serie entre dos ruteadores se representa por un par de arcos, uno en cada dirección
- Una red multiacceso se representa por un nodo para la red misma más un nodo por cada ruteador
- Los arcos de un nodo al ruteador tienen un peso de cero y se omiten en el grafo
- Sistemas grandes se pueden dividir en áreas numeradas
- Cada sistema autónomo tiene un área de backbone, área 0, donde se conectan todas las áreas mediante túneles (un arco con peso)

Network

MALCH

57

## OSPF



58

## OSPF

- Dentro de un área, cada ruteador tiene la misma BD y ejecuta el mismo algoritmo: calcular la trayectoria más corta de sí mismo a todos los ruteadores del área, incluido al ruteador conectado al backbone
- OSPF construye tres grafos (rutas separadas)
  - etiquetado con el peso cuando la métrica es el retardo
  - etiquetado con el peso cuando la métrica es el rendimiento
  - etiquetado con el peso cuando la métrica es la confiabilidad

Network

MALCH

59

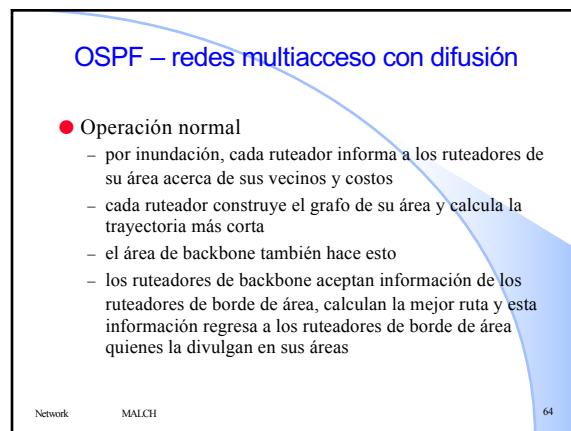
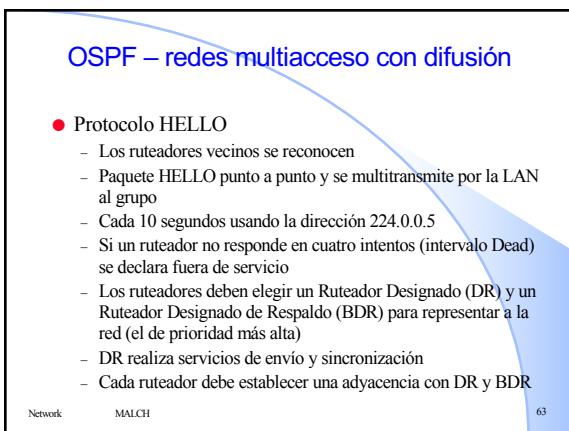
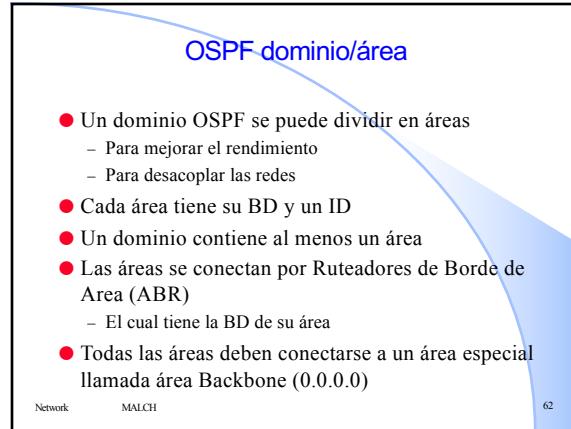
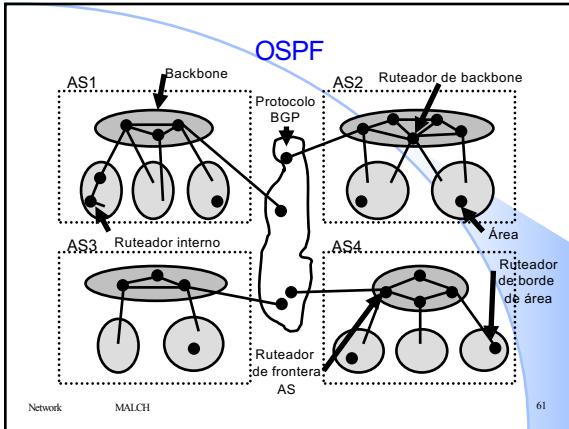
## OSPF

- En operación normal puede requerirse tres tipos de rutas:
  - intraárea
  - interárea (configuración en estrella)
    - va del origen al backbone
    - pasa a través del backbone al área destino
    - va al destino
  - interAS
    - protocolo BGP
- OSPF distingue cuatro clases de ruteadores
  - internos, borde de área, backbone, frontera de AS

Network

MALCH

60



### OSPF - redes multiacceso sin difusión

- Todos los ruteadores deben tener conexión física con DR y BDR

Network      MALCH

65

### OSPF – redes punto a punto

- El ruteador detecta dinámicamente a sus vecinos enviando paquetes HELLO
  - usando la dirección de multidifusión 224.0.0.5
  - cada 10 seg
- No existe DR ni BDR

Network      MALCH

66

### Tipos de mensajes OSPF

- Hello
  - para descubrir quiénes son sus vecinos
- Database Description
  - intercambio de BD
- Link State Request
  - solicita información del estado de un enlace
- Link State Update
  - proporciona la información al solicitante
- Link State Acknowledge
  - reconoce la recepción del estado del enlace

Network      MALCH

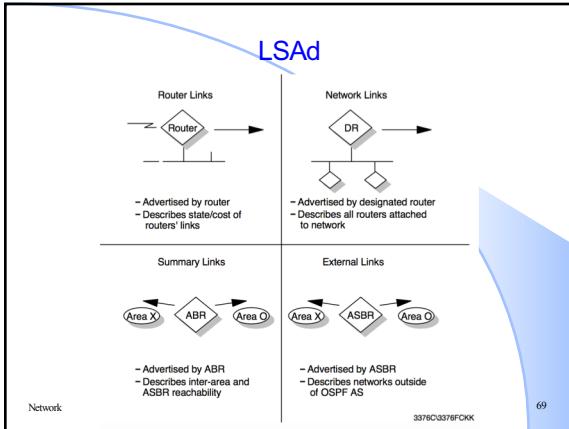
67

### LSAd

- Link State Advertisement (LSAd)
  - Router links
    - informa la sincronización de las BD entre dos ruteadores al resto de los ruteadores OSPF
  - Network links
    - informa una nueva sincronización de las BD a ruteadores ya sincronizados
  - Summary links
    - generados por los ruteadores de borde de área
  - AS external links
- LSAd sequence number (32 bits)
  - para detener la multitransmisión (flooding)

Network      MALCH

68



## Configuración de OSPF en una sola área

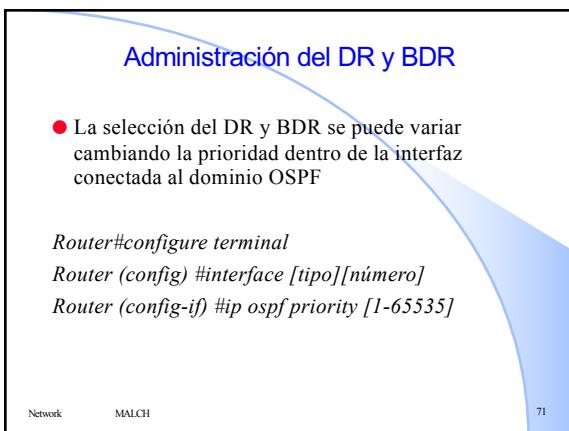
```
Router (config) #router ospf process-id
Router (config-router) #network address wildcard-mask
area area-id
```

### ● Donde

- process-id
  - identificador del proceso ospf en el router
- network
  - identifica las redes conectadas directamente mediante la máscara wildcard
- area
  - identifica el área a la que pertenece
  - área 0 es el área del Backbone

Network MALCH

70



## Cálculo del costo del enlace

- Costo =  $10^8/\text{ancho de banda}$
- Modificación del ancho de banda

```
Router(config) #interface serial 0/0
Router(config-if) #bandwidth 64
```
- Modificación del costo

```
Router(config-if) #ip ospf cost number
```

Network MALCH

72

## Autenticación OSPF

- Crear contraseña

```
Router(config-if) #ip ospf authentication-key  
[contraseña]
```

- Definir cifrado en la contraseña

```
Router(config-if) #ip ospf message-digest-key  
[identificador] md5 [tipo de cifrado]
```

```
Router(config) #router ospf [número de proceso]
```

```
Router(config-router) #area [número] authentication
```

```
Router(config-router) #area [número] authentication  
message-digest
```

Network

MALCH

73

## Comandos OSPF - Cisco

- **show ip route**

– muestra tabla de ruteo

- **show ip protocols**

– muestra los parámetros de los protocolos

- **show ip ospf neighbors**

– muestra información de los vecinos

- **debg ip ospf events**

– muestra adyacencias, DR, inundaciones, etc.

- **debug ip ospf packet**

– muestra información de los paquetes

- **debug ip ospf hello**

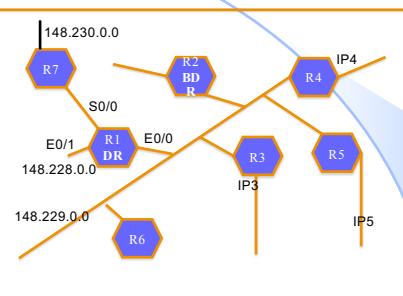
– muestra las actualizaciones del protocolo Hello

Network

MALCH

74

## Ejemplo OSPF – un área



Network

MALCH

75

## Ejemplo OSPF – un área

```
RouterDR (config) #router ospf 100
```

```
RouterDR (config-router) #network 148.228.0.0  
0.0.0.255 area 0
```

```
RouterDR (config-router) #network 148.229.0.0  
0.0.0.255 area 0
```

```
RouterDR (config-router) #network 148.230.0.0  
0.0.0.255 area 0
```

```
RouterDR (config-if) #exit
```

Network

MALCH

76

### Ejemplo OSPF – un área

```

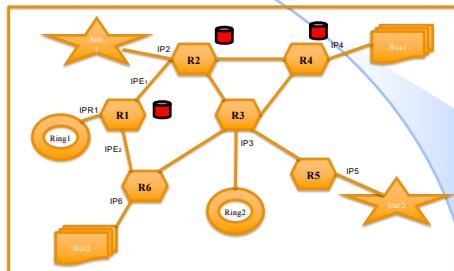
RouterDR (config-if) #ip ospf priority 1           {DR}
RouterDR (config-if) #exit
RouterDR (config) #interface ethernet 0/0
RouterDR (config-if) #ip address 148.229.0.0      255.255.255.0
RouterDR (config-if) #no shutdown
RouterDR (config-if) #ip ospf priority 2           {BDR}
RouterDR (config-if) #exit

```

Network      MALCH

77

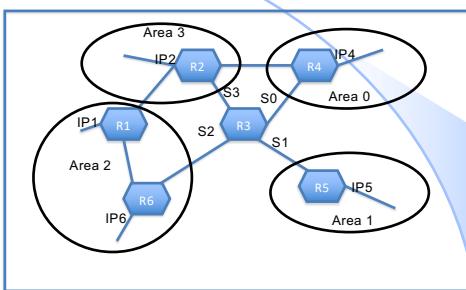
### Práctica – OSPF - un área



IP1 ≠ IP2 ≠ ... IP6   Direcciones Clase B con subred

78

### Ejemplo OSPF – múltiples áreas



Network      MALCH

79

### Ejemplo OSPF – múltiples áreas

- RouterR3 (config) #interface Serial0
- RouterR3 (config-if) #ip address 10.2.1.1 255.255.255.0
- RouterR3 (config-if) #no shutdown
- RouterR3 (config) #interface Serial1
- RouterR3 (config-if) #ip address 10.3.1.1 255.255.255.0
- RouterR3 (config-if) #no shutdown

Network      MALCH

80

### Ejemplo OSPF – múltiples áreas

- RouterR3 (config) #interface Serial2
- RouterR3 (config-if) #ip address 10.4.1.1 255.255.255.0
- RouterR3 (config-if) #no shutdown
- RouterR3 (config) #interface Serial3
- RouterR3 (config-if) #ip address 10.5.1.1 255.255.255.0
- RouterR3 (config-if) #no shutdown

Network MALCH

81

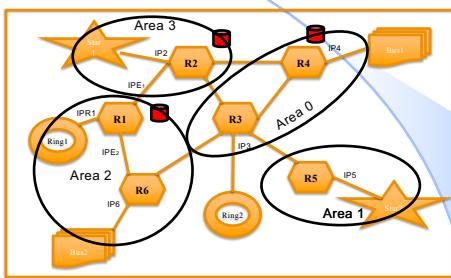
### Ejemplo OSPF – múltiples áreas

- RouterR3 (config) #router 200
- RouterR3 (config-router) #network 10.2.1.1 0.0.0.0 area 0
- RouterR3 (config-router) #network 10.3.1.1 0.0.0.0 area 1
- RouterR3 (config-router) #network 10.4.1.1 0.0.0.0 area 2
- RouterR3 (config-router) #network 10.5.1.1 0.0.0.0 area 3
- RouterR3 (config-router) #exit

Network MALCH

82

### Práctica – OSPF - múltiples área



Network MALCH

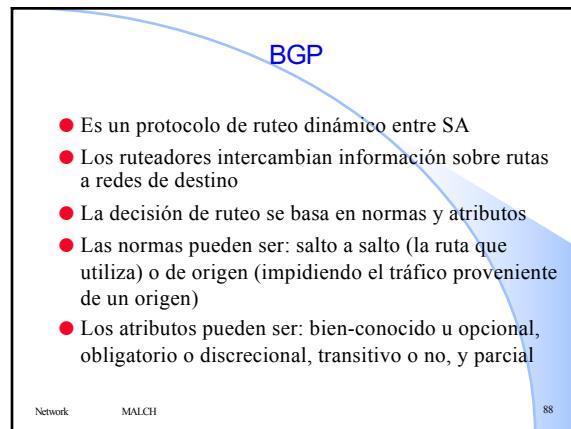
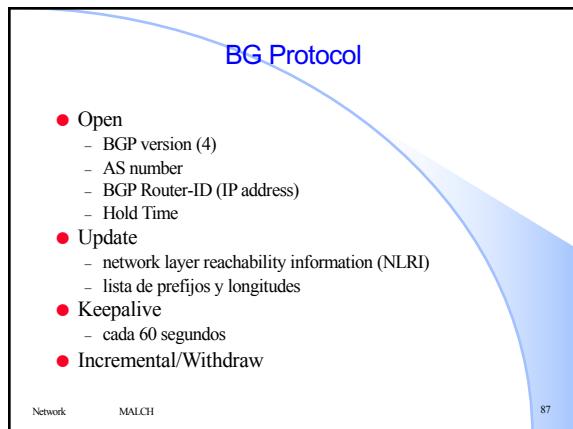
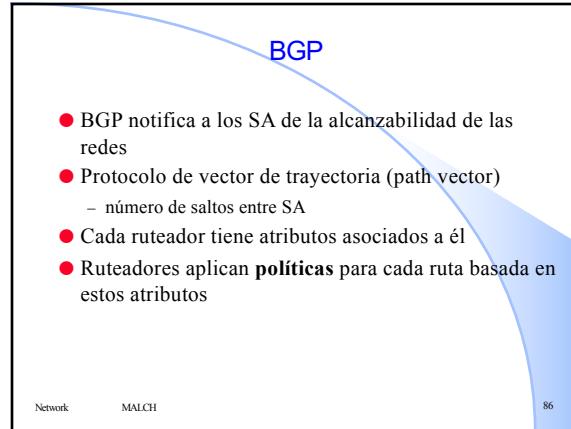
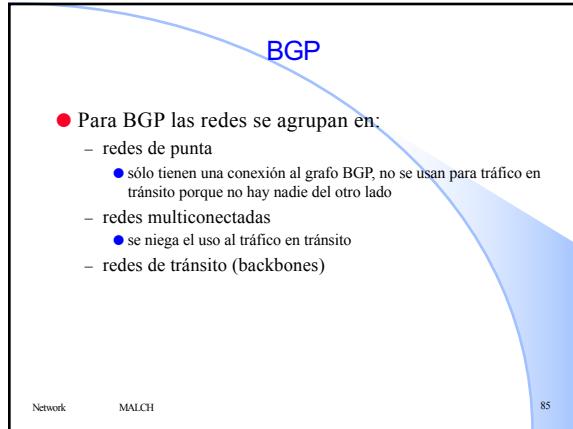
83

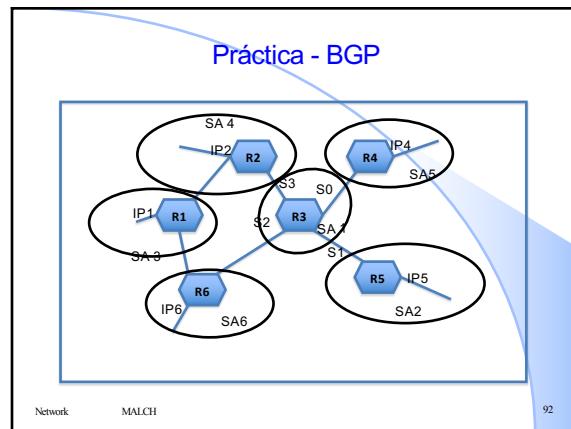
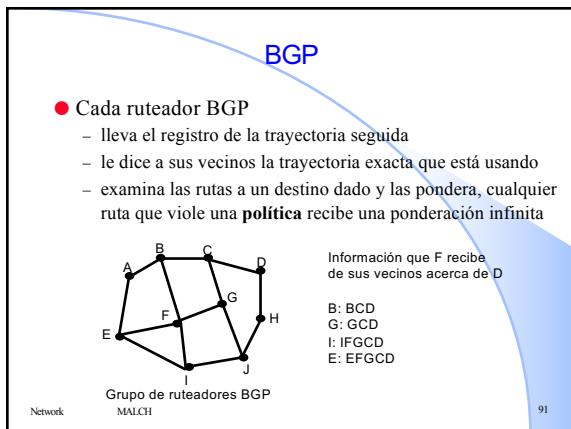
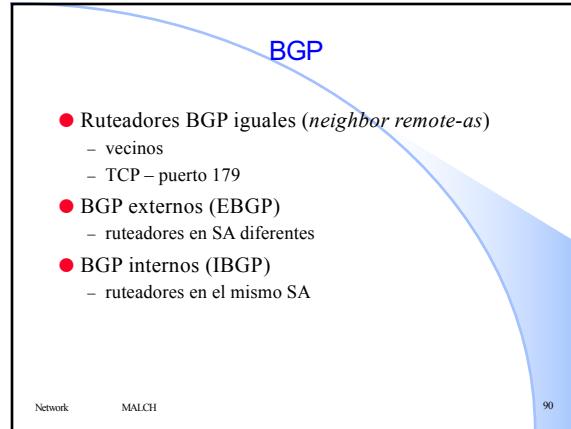
### Protocolo de Pasarela Exterior (BGP)

- Border Gateway Protocol (BGP)
  - RFC: 1163, 1267, 1771
  - protocolo de ruteo entre los AS, diseñado para definir tipos de políticas de ruteo aplicables al tráfico interAS
  - tipos de políticas: políticas, seguridad, económicas, ...

Network MALCH

84





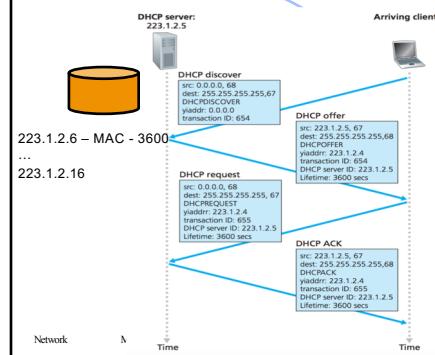
## Protocolo de Configuración Dinámico de Host (DHCP)

- Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)
- RFC 2131, 2132
- DHCP consiste de dos componentes:
  - 1. Un protocolo que asigna parámetros de configuración específicos al Host desde un servidor DHCP
  - 2. Un mecanismo de asignación de direcciones de red permanentes o temporales a los Hosts

Network      MALCH

93

## DHCP simple



Network      Time

Time

94

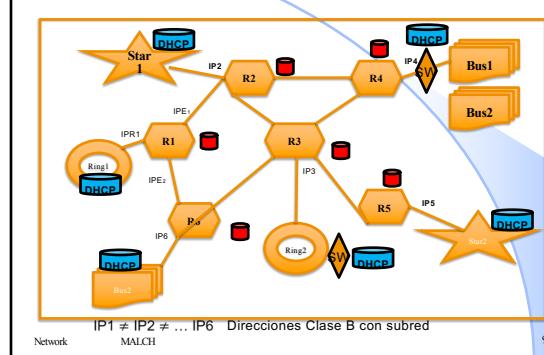
## Servidor DHCP en el ruteador

- Router(config-if)#ip address dhcp
- 1. Define the DHCP address pool:  
Router(config)#ip dhcp pool *dhcp-pool-name*
- Router(dhcp-config)#network *network-address subnetmask*
- 2. Configure the parameters to be sent to the client:  
Router(dhcp-config)#dns-server *dns-server-address*
- Router(dhcp-config)#default-router *default-gateway-address*
- Router(dhcp-config)#lease *days hours minutes*
- 3. Configure the IP addresses to be excluded from the pool.  
Router(config)#ip dhcp excluded-address *excluded-ip-address*
- Router(config)#ip dhcp excluded-address *start-ip-address end-ip-address*
- 4. Enable the DHCP service in the router:  
Router(config)#service dhcp

Network      MALCH

95

## Práctica – DHCP



Network      MALCH

96

### Multidifusión Internet

- IP maneja multidifusión usando direcciones clase D
- Cada dirección clase D identifica a un grupo de hosts
- 28 bits disponibles para la identificación de grupos
  - 250 millones de grupos
- QoS comunicación en grupo
  - mejor esfuerzo
- Direcciones de grupo
  - permanentes
    - 224.0.0.1 todos los sistemas de una LAN
  - temporales

Network      MALCH

97

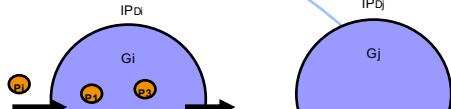
### Multidifusión Internet

- Comunicación en grupo
  - un proceso puede pedir a su host que se una a un grupo y que se retire
  - cada host lleva un registro de los grupos a los que pertenecen sus procesos
- Ruteadores multitransmisión especiales
  - periódicamente solicitan a los hosts de su LAN que informen de los grupos a los que pertenecen sus procesos
  - cada host responde con las direcciones clase D interesadas
  - Internet Group Management Protocol (IGMP) (RFC 1112)

Network      MALCH

98

### Multicast Internet Group Management Protocol (IGMP)

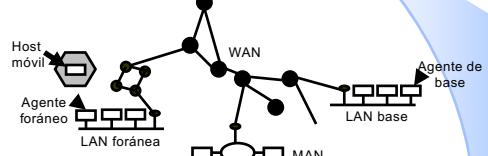


Network      MALCH

99

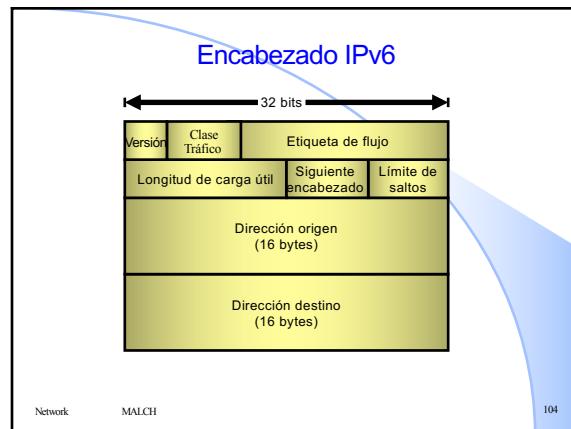
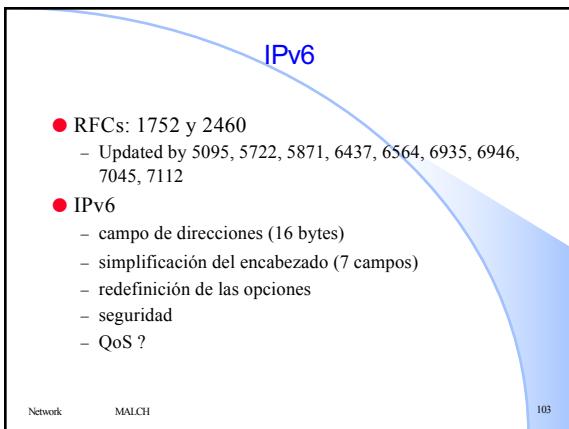
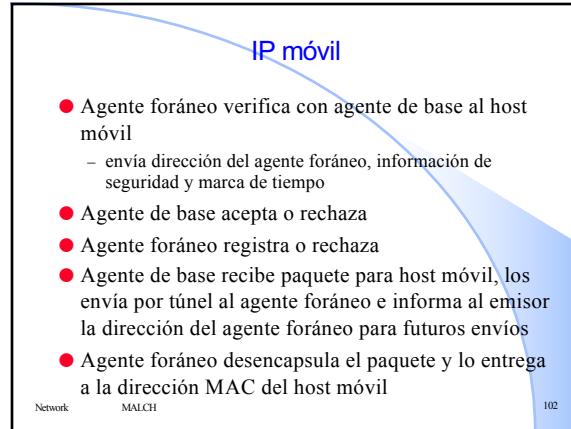
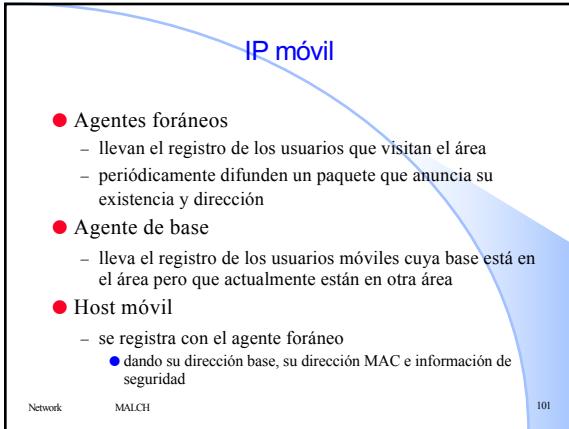
### IP móvil

- Dirección IP: clase, número de red y número de host
- Enviar (recibir) paquetes a (de) usuarios móviles usando su dirección base en cualquier lugar donde se encuentren



Network      MALCH

100



### Campos del Encabezado IPv6

- Versión (4 bits)
- Clase de Tráfico (8 bits)
  - usado para identificar y distinguir entre diferentes clases o prioridades de paquetes IPv6
- Etiqueta de flujo (20 bits)
  - para permitir a un origen y a un destino establecer una pseudoconexión con propiedades y requisitos particulares
- Longitud de carga útil (16 bits)
  - longitud del resto del paquete IPv6 excluido el encabezado, en bytes

Network      MALCH

105

### Campos del Encabezado IPv6

- Siguiente encabezado (8 bits)
  - indica el tipo de cabecera que sigue a la cabecera IPv6
    - cabecera de opciones salto-a-salto
      - indica opciones que requieren procesamiento en cada salto
    - cabecera de encaminamiento
      - proporciona un ruteo ampliado, similar al ruteo por la fuente del IPv4
    - cabecera de fragmentación
      - contiene información de fragmentación y reensamblaje
    - cabecera de autenticación
      - proporciona la integridad del paquete y la autenticación
    - cabecera de encapsulamiento de la carga de seguridad
      - proporciona seguridad
    - cabecera de opciones para el destino

Network      MALCH

106

### Campos del Encabezado IPv6

- Límite de saltos (8 bits)
  - número restante de saltos permitidos para el paquete
- Dirección origen (128 bits)
  - dirección del productor del paquete
- Dirección destino (128 bits)
  - dirección del destino deseado del paquete

Network      MALCH

107

### Encabezados de Extensión IPv6

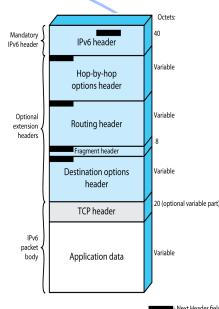
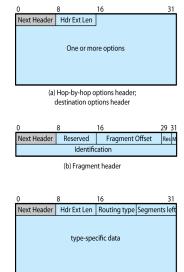


Figure 18.9 IPv6 Packet with Extension Headers  
(containing a TCP Segment)

108

### Encabezados de Extensión IPv6



Network

109

Figure 18.11 IPv6 Extension Headers

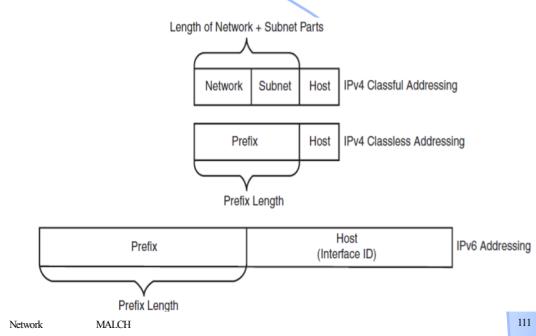
### Direccionamiento IPv6

- RFC 2373
- Direcciones de 128 bits
- Notación hexadecimal: 8 números hex divididos por dos puntos
- FE80:0000:0000:0001:0800:23e7:f5db
- FE80:0:0:1:800:23e7:f5db
- FE80::1:800:23e7:f5db

Network MALCH

110

### Espacio de direcciones IPv6

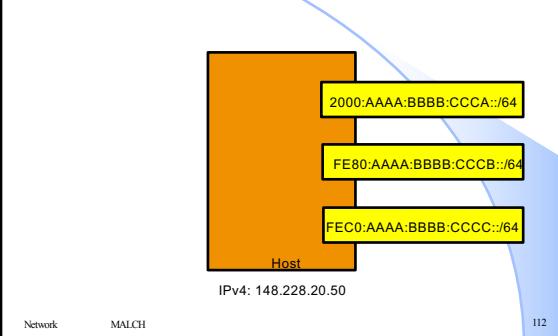


Network

MALCH

111

### IPv4 vs IPv6



Network MALCH

112

## Espacio de direcciones IPv6

Table 12. IPv6 - Format Prefix Allocation				
Allocation	Prefix (bin)	Start of Address Range (hex)	Mask Length (bits)	Fraction of Address Space
Reserved	0000 0000	0::/8	8	1/256
Reserved for NSAP	0000 0001	200::/7	7	1/128
Reserved for IPX	0000 010	400::/7	7	1/128
Aggregatable Global Unicast Addresses	001	2000::/3	3	1/8
Link-local Unicast	1111 1110 10	FE80::/10	10	1/1024
Site-local Unicast	1111 1110 11	FEC0::/10	10	1/1024
Multicast	1111 1111	FF00::/8	8	1/256
Total Allocation				15%

Network      MALCH

113

## Ejemplos de prefijos

- /longitud de bits destinados a la red
- Dir. IP: 2000:1234:5678:9ABC:1234:5678:9ABC:DEF1 /64  
Prefijo: 2000:1234:5678:9ABC:0000:0000:0000:0000 /64  
Prefijo resumido: 2000:1234:5678:9ABC:: /64
- Dir. IP: 2000:1234:5678:9ABC:1234:5678:9ABC:DEF1 /56  
Prefijo: 2000:1234:5678:9A00:0000:0000:0000:0000 /56  
Prefijo resumido: 2000:1234:5678:9A00:: /56

Network      MALCH

114

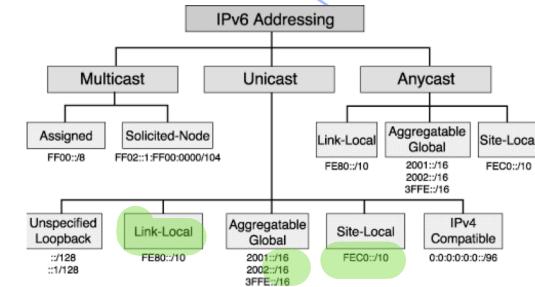
## Tipos de direcciones IPv6

- **Unicast**
  - identifica a una sola interface de red
- **Multicast**
  - a todos los miembros del grupo
- **Anycast**
  - a la interface de red más cercana

Network      MALCH

115

## Tipos de direcciones IPv6



Network      MALCH

116

## Tipos de direcciones IPv6

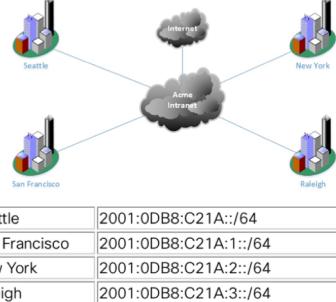
- Unicast - Identificador asignado a sólo una interfaz
  - Aggregable Global unicast
    - prefijo 2000::/3
    - tráfico IPv6 en el Internet
    - Compuesto por tres partes:
      - Prefijo recibido por un proveedor de servicio (/48)
      - Site (16 bits para subredes)
      - Host (64 bits de la interfaz)

Prefixes	Binary Representation	Description
2001::/16	0010 0000 0000 0001	IPv6 Internet
2002::/16	0010 0000 0000 0010	6to4 transition mechanism
2003::/16 through 3FFD::/16	0010 xxxx xxxx xxxx	Unassigned (available)
3FFE::/16	0010 1111 1111 1110	6bone

Network

117

## Ejemplo - Global unicast



118

## Tipos de direcciones IPv6

- Unicast
  - Link-local address
    - prefijo FE80::/10
    - red física
    - asignada automáticamente a cada interfaz del nodo
    - no son ruteados



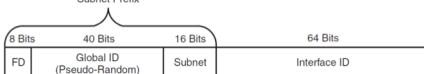
Network

MALCH

119

## Tipos de direcciones IPv6

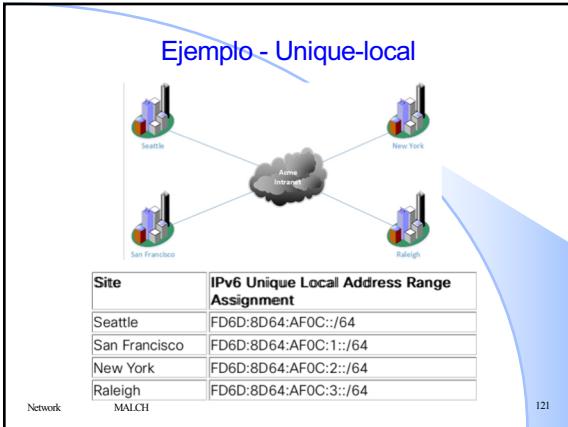
- Unicast
  - Unique-local
    - prefijo FD00::/8
    - no son ruteados
- Site-local address
  - prefijo FEC0::/10
  - no pueden ser ruteados (~ 10.0.0.0/8, 172.16.0.0/12, y 192.168.0.0/16 en IPv4)
  - sustituido por Unique-local



Network

MALCH

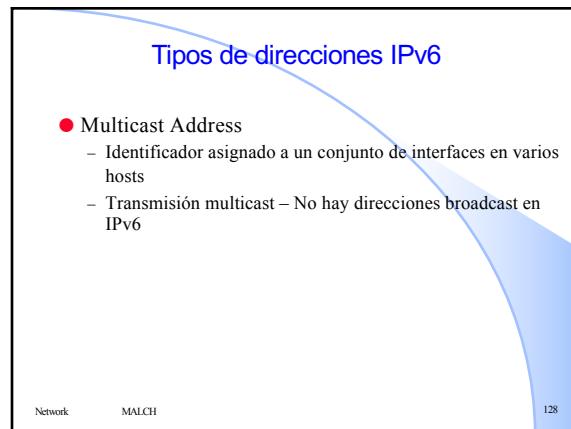
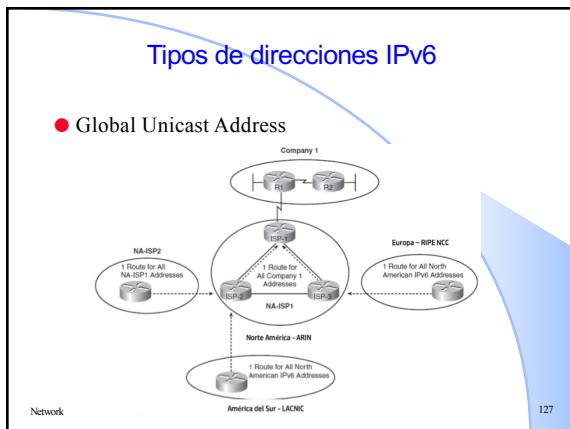
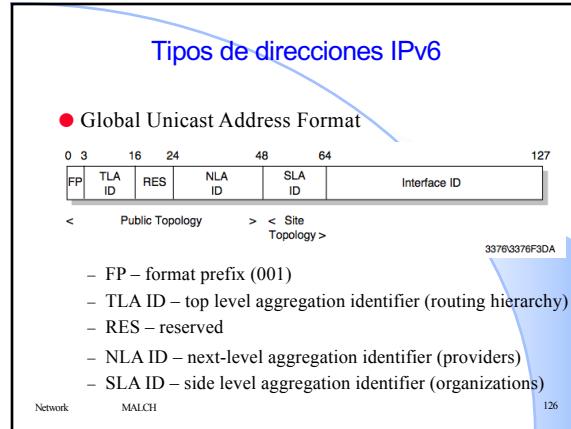
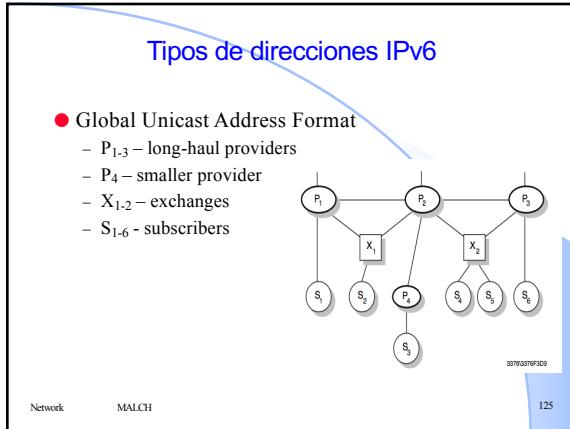
120

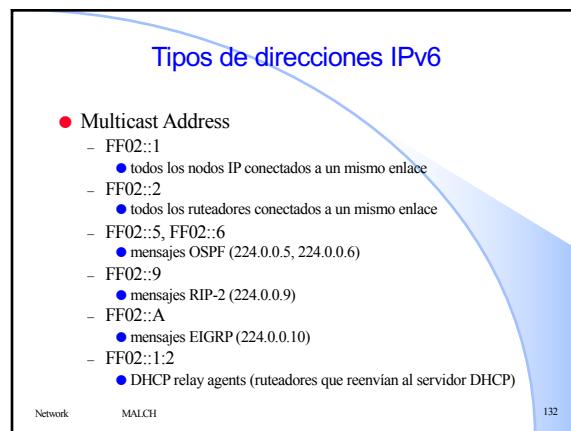
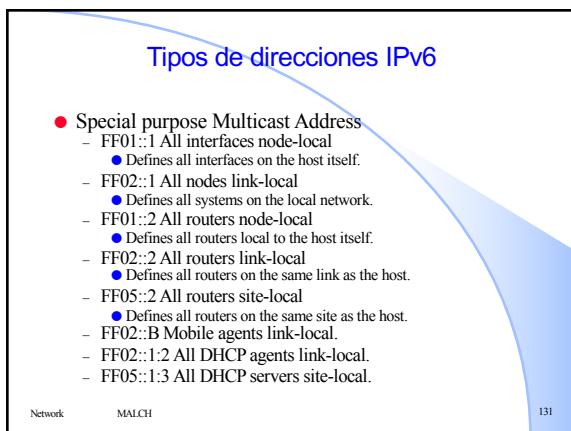
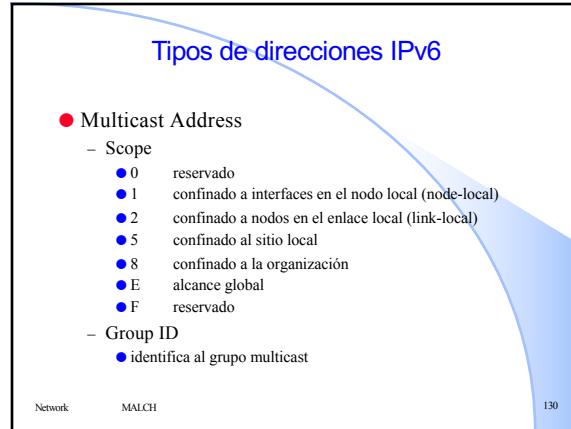
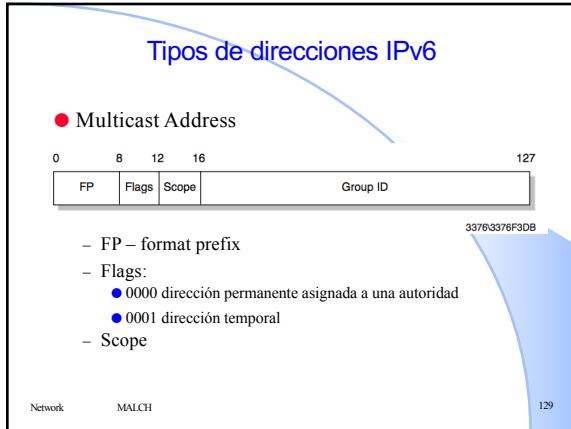


- Tipos de direcciones IPv6**
- Global Unicast
    - 2000::/3
    - Paquete unicast enviado por la red pública
  - Unique Local
    - FD00::/8
    - Paquete unicast dentro de una organización
  - Link Local
    - FE80::/10
    - Paquete enviado sólo dentro de una subred local
  - Multicast
    - FF02::/16
    - Paquete multicast que está dentro de una subred local
- Network      MALCH
- 122

- Tipos de direcciones IPv6**
- Direcciones particulares Unicast
    - Loopback address (::1/128)
      - host envía paquetes a él mismo ( $\approx$  127.0.0.1 IPv4)
    - Unspecified address (::128)
      - host realiza autoconfiguración ( $\approx$  0.0.0.0 /32 IPv4)
    - Default route (::0)
      - ruta por defecto ( $\approx$  0.0.0.0 /0 IPv4)
    - IPv4-compatible address (::<IPv4\_address>)
      - Túnel - 96 bits a cero antes de la dirección IPv4
    - IPv4-mapped address (::FFFF:<IPv4\_address>)
      - Comunicación con host IPv4
- Network      MALCH
- 123

- Tipos de direcciones IPv6**
- Global Unicast Address Format
    - RFC 2374
    - formato predominante
    - Esta dirección puede ser dividida de acuerdo a la jerarquía del Internet
      - Topología pública
        - servicio de tránsito público
      - Topología lateral (site)
        - no provee servicio de tránsito público, sólo a la organización local
      - Identificadores de interface
- Network      MALCH
- 124





## Tipos de direcciones IPv6

- Anycast Address
  - dirección asignada a interfaces en múltiples hosts
  - los ruteadores entregan los paquetes a la interface más cercana con base a su definición de distancia
  - Restricciones – RFC 3273
    - Una dirección anycast no debe usarse como dirección fuente de un paquete
    - Cualquier dirección anycast puede ser sólo asignada a un ruteador
  - Special anycast address
    - subnet-router address
      - consiste del prefijo de la subred seguido por ceros
      - usada cuando un nodo necesita contactar un ruteador de una subred

Network

MALCH

133

## Direcciones IPv6 Especiales (RFC 6890)

- Loopback Address
  - ::1/128
- Unspecified Address
  - ::/128
- IPv4-IPv6 Translation Address
  - 64:ff9b::/96
- IPv4-Mapped Address
  - ::ffff:0:0/96
- Discard-Only Prefix
  - 100::/64

Network

MALCH

134

## Direcciones IPv6 Especiales (RFC 6890)

- IETF Protocol Assignments
  - 2001::/23
- TEREDO
  - 2001::/32
- Benchmarking
  - 2001:2::/48
- Documentation
  - 2001:db8::/32
- ORCHID
  - 2001:10::/28

Network

MALCH

135

## Direcciones IPv6 Especiales (RFC 6890)

- 6to4
  - 2002::/16
- Unique-Local
  - fc00::/7
- Linked-Scoped Unicast
  - fe80::/10

Network

MALCH

136

### Required IPv6 Addresses for Nodes

Required Addresses	Representations of These Addresses
Link-local address for each network interface	FE80::/10
Loopback address	::1
All-nodes multicast addresses	FF01::1, FF02::1
Assigned aggregatable global unicast address	2000::/3
Solicited-node multicast address for each unicast and anycast address used	FF02::1:FFxx:xxxx, where xx:xxxx is the low-order 24-bit of each unicast or anycast address
Multicast addresses of all groups to which the host belongs	FF00::/8

137

### Required IPv6 Addresses for Routers

Required Addresses	Representations of These Addresses
All required IPv6 addresses for a node	FE80::/10, ::1, FF01::1, FF02::1, 2000::/3, FF02::1:FFxx:xxxx, FF00::/8
All-routers multicast addresses	FF01::2, FF02::2, FF05::2
Subnet-router anycast address	UNICAST_PREFIX0:0:0:0
Other anycast configured addresses	2000::/3

Network      MALCH

138

### Métodos de configuración de IPv6

- Estático
  - Manual
  - EUI-64
- Dinámico
  - Autoconfiguración
  - DHCP
    - Statefull
    - Stateless

Network      MALCH

139

### Estático - Manual

- Router(config-if)#ipv6 address 2000:1111:2222:3333:4444:5555:6666:0001/64
- Router#show ipv6 interface
- FastEthernet0/0 is up, line protocol is down
- Global unicast address(es):
- 2000:1111:2222:3333:4444:5555:6666:1, subnet is 2000:1111:2222:3333::/64

Network      MALCH

140

### Estático – EUI-64

- En este método se debe configurar la subred a la cual pertenece (prefijo /64).
- Los 64 bits de la interface ID se obtienen de tomar los 6 bytes (48 bits) de la dirección MAC, dividirlo a la mitad, insertar dos byte (16 bits para completar los 64 bits) FFFE y poner en uno el séptimo bit del primer byte

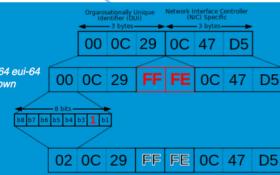
Network      MALCH

141

### Estático – EUI-64

Ejemplo router cisco:

```
Router(config-if)#ipv6 address 2001:AAAA:BBBB:CCCC::/64 eui-64
FastEthernet0/1 is administratively down, line protocol is down
Global unicast address(es):
 2001:AAA:BBBB:CCCC:20C:8FF:FE39:C702,
 subnet is 2001:AAA:BBBB:CCCC::/64 [EUI/TEN]
```

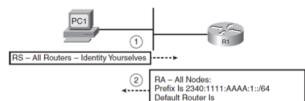


Network      MALCH

142

### Dinámico - Autoconfiguración

- Stateless autoconfiguration
- Un nodo solicita el prefijo /64 usado en la subred mediante NDP (Neighbor Discovery Protocol) y calcula el resto de la dirección usando EUI-64



Network      MALCH

143

### Dinámico - DHCP

- DHCP – Statefull
  - El servidor DHCP proporciona la IPv6, la máscara de red, default gateway, IP de servidores DNS y nombre de dominio
- DHCP – Stateless
  - El servidor DHCP proporciona sólo la IPv6

Network      MALCH

144

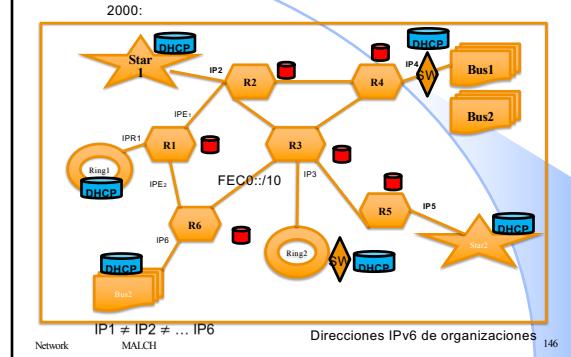
## Servidor DHCPv6 en el ruteador

- Create the DHCP pool:  
Router(config)#ipv6 dhcp pool *pool-name*
- Configure the parameters you want to pass to the clients:  
Router(config-dhcp)#dns-server server-*ipv6-address*  
Router(config-dhcp)#domain-name *domain*
- If you are working on a stateless address auto-configuration scenario, skip the next two steps and jump to 6.
- Configure the IPv6 address prefix:  
Router(config-dhcp)#address *prefix ipv6-address-prefix*
- An optional step is to set up a link address prefix:  
Router(config-dhcp)#link-address *ipv6-link-prefix*
- Enable DHCPv6 on the interface you want to be part of the DHCP process and assign a specific pool to the interface:  
Router(config-if)#ipv6 dhcp server *pool-name*
- Check the address leases (in stateful addressing only):  
Router#show ipv6 dhcp lease

Network MALCH

145

## Práctica – IPv6



## RIPng

- Routing Information Protocol new generation
- RIP para IPv6
- 1. Enable IPv6 routing:  
Router(config)#ipv6 unicast-routing
- 2. Enable RIPng process:  
Router(config)#ipv6 router rip *nombre del proceso*
- 3. For each interface in the RIPng process, assign an IP address:  
Router(config-if)#ipv6 address *ipv6-address/prefix-length*

Network MALCH

147

## RIPng

- 4. Enable the RIPng process on the interface:  
Router(config-if)#ipv6 rip *nombre del proceso*
- 5. For troubleshooting, use the following commands:  
Router#show ipv6 route  
Router#show ipv6 route rip  
Router#show ipv6 protocols  
Router#show ipv6 rip  
Router#show ipv6 rip next-hops  
Router#debug ipv6 rip

Network MALCH

148

## OSPFv3 para IPv6

- 1. Enable IPv6 routing on the router:

```
Router(config)#ipv6 unicast-routing
```

- 2. Setup the bandwidth of the serial interface

```
Router(config-if)#bandwidth bandwidth
```

- 3. Activate the OSPF routing process:

```
Router(config)#ipv6 router ospf process-number
```

Network      MALCH

149

## OSPFv3 para IPv6

- 4. Enable OSPF process on each interface:

```
Router(config)#interface interface-type interface-number
```

```
Router(config-if)#ipv6 enable
```

```
Router(config-if)#ipv6 ospf process-number Area 0
```

- Using the ‘*ipv6 enable*’ command will inform the router to create a link-local IPv6 address for this interface. If you want to use a different IPv6 address the user

```
Router(config-if)#ipv6 address ipv6-address/prefix-length    MALCH
```

150

## OSPFv3 para IPv6

- 1. To change the selection process of the DR (Designated Router) and BDR (Backup Designated Router)

```
Router(config)#ipv6 ospf priority priority
```

- 2. To restart the whole process of DR and BDR elections

```
Router#clear ipv6 ospf process *
```

- 3. To change the cost of a certain link

```
Router(config-if)#ipv6 ospf cost suggested-cost  
                  cost: 0-65,535
```

Network      MALCH

151

## OSPFv3 para IPv6

- For troubleshooting, you can use the following commands:

- To show the OSPF processes information:

```
Router#show ipv6 ospf
```

- To show the OSPF database of the topology:

```
Router#show ipv6 ospf database
```

- To show the OSPF operation on the interfaces:

```
Router#show ipv6 ospf interface
```

- To show the OSPF neighbors table:

```
Router#show ipv6 ospf neighbor
```

- To debug all the OSPF process events:

```
Router#debug ipv6 ospf events
```

Network      MALCH

152

## Dual-stack (IPv4 e IPv6)

- Configuración estática unicast
  - Configuración completa de 128 bits
  - Configuración EUI-64

```
Router(config)#interface tipo número
Router(config-if)#ipv6 address IPv6/prefijo

Router(config-if)#ipv6 unicast-routing
```

Network      MALCH

153

## Dual-stack (IPv4 e IPv6)

- Configuración dinámica unicast
  - Statefull DHCP
  - Staless Address Configuration (SLAAC)

```
Router(config)#interface tipo número
Router(config-if)#ipv6 address dhcp

Router(config)#interface tipo número
Router(config-if)#ipv6 address autoconfig
```

Network      MALCH

154

## Dual-stack

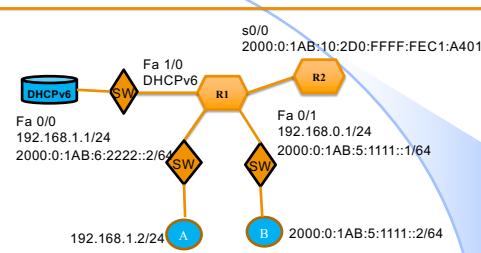
- Configuración Link-Local
  - El IOS de Cisco crea automáticamente la dirección Link-local a partir de la configuración de la IPv6 configurada en la interfaz.
  - Si la interfaz se configuró con el parámetro EUI-64 entonces el ruteador calcula la porción perteneciente al identificador de la interfaz y le añade el prefijo FE80::/10

```
Router(config)#interface fastEthernet 0/0
Router(config-if)#ipv6 address 2000:0:1AB:5::/64 eui-64
Router(config-if)#no shutdown
```

Network      MALCH

155

## Ejemplo Dual-stack



Network      MALCH

156

### Ejemplo Dual-stack

- R1(config)#ipv6 unicast-routing
- R1(config)#int fastEthernet 0/0
- R1(config-if)#ipv6 address 2000:0:  
1AB:6:2222::2/64
- R1(config-if)#ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
- R1(config-if)#no shutdown
- R1(config-if)#exit

Network      MALCH

157

### Ejemplo Dual-stack

- R1(config)#interface fastEthernet 0/1
- R1(config-if)#ipv6 address 2000:0:  
1AB:5:1111::1/64
- R1(config-if)#ip address 192.168.0.1 255.255.255.0
- R1(config-if)#no shutdown
- R1(config-if)#exit

Network      MALCH

158

### Ejemplo Dual-stack

- R1(config)#interface serial 0/2/0
- R1(config-if)#ipv6 address 2000:0:  
1AB:10::/64 eui-64
- R1(config-if)#no shutdown

Network      MALCH

159

### Ejemplo Dual-stack

- R1(config)#interface fastEthernet 1/0
  - R1(config-if)#ipv6 address autoconfig
  - R1(config-if)#ip address 192.168.0.1 255.255.255.0
  - R1(config-if)#exit
  - R1(config)#exit
- 
- R1#show running-config

Network      MALCH

160

## International Address Assignment

- RFC 1174
  - Modelo de asignación regional
- Regional Internet Registers (RIR)
  - RIPE NCC
  - APNIC
  - ARIN

Network MALCH

161

## RIR

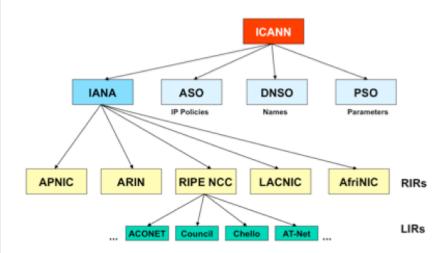
### RIRs

- RIPE NCC (1992)
  - Réseaux IP Européens (RIPE) founded the Network Coordination Centre (NCC)
- APNIC (1993)
  - Asia Pacific Information Centre
- ARIN (1997)
  - American Registry for Internet Numbers
- AfriNIC
  - Africa
- LACNIC
  - Latin America and Caribbean

Network MALCH

162

## ICANN, RIRs, and LIRs



Network MALCH

163

## Referencias

- Tanenbaum, A.S. *Computer Networks*, Ed. PEARSON, 5<sup>th</sup> Edition, 2012.
- W. Stallings. Data and Computer Communications, Ed. Pearson, 8<sup>th</sup> Edition, 2007.
- Murhammer, M. W., O. Atakan, S. Bretz, L. R. Pugh, K. Suzuki, D. H. Wood. *TCP/IP Tutorial and Technical Overview*, IBM, 1998.

Network MALCH

164