

Routing: Algoritmos y arquitectura

Area de Ingeniería Telemática
<http://www.tlm.unavarra.es>

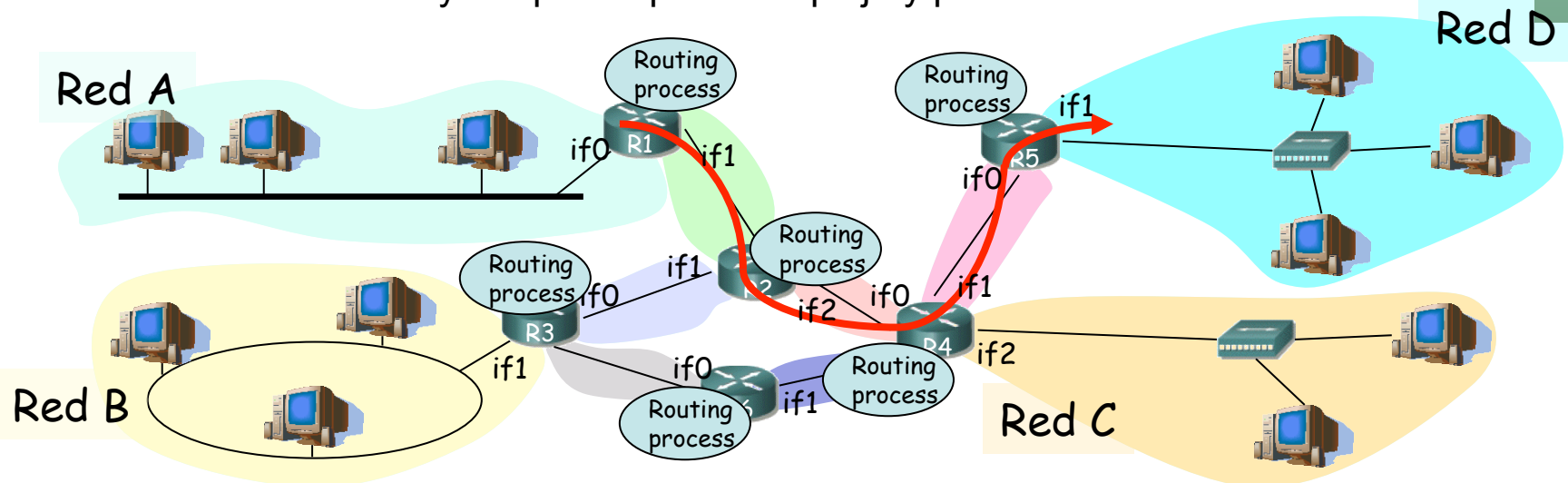
Grado en Ingeniería en Tecnologías de
Telecomunicación, 3º

Enrutamiento: Introducción

Introducción

- IP ofrece un servicio de datagramas
- Encamina salto a salto
- La tabla de rutas se puede especificar:
 - Estática
 - Configuración manual
 - Cambios lentos
 - Dinámica
 - Proceso en cada router
 - Cálculo distribuido
 - Escalable y adaptable pero complejo y poco controlado

Router R1	
Destino	Next-hop
Red A	IP de if1 de R1
Red B	IP de if0 de R3
Red C	IP de if0 de R4
...	...

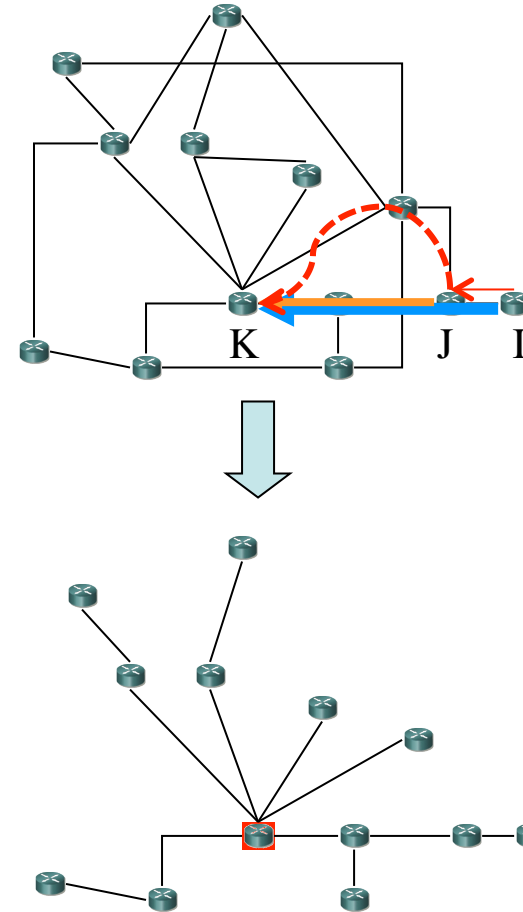


Diferentes alternativas

- **Proactivo** vs reactivo
 - Según se calculen las rutas ante tráfico o previamente
- Centralizado vs. **distribuido**
 - Centralizado es más simple pero no escala
- *Source-routing* vs. **salto a salto**
 - Source-routing camino en la cabecera (*loose* o *hard*)
- **Único camino** vs. múltiples caminos
 - Mantener un camino o varios por cada red destino
- **Adaptativo** vs. no adaptativo
 - Según reaccione a cambios en la red
- Tráfico **unicast** vs. Multicast
- Información global o descentralizada
 - Según el conocimiento de la red que tengan los routers

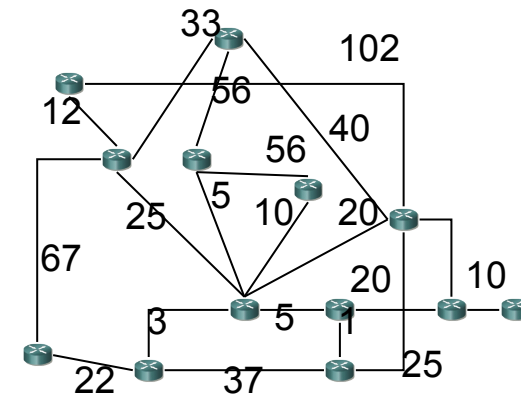
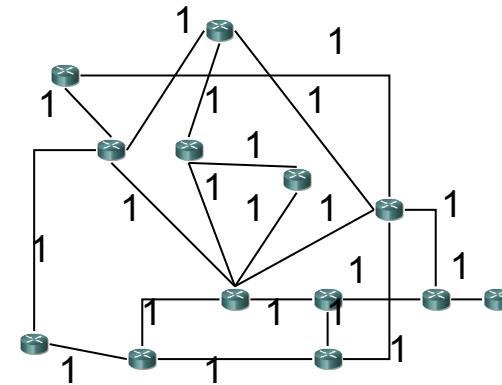
Principio de optimalidad

- Si router *J* está en el camino óptimo desde *I* a *K* entonces el camino óptimo de *J* a *K* está en la misma ruta (...)
- Si existiera una ruta mejor de *J* a *K* se podría concatenar con la de *I* a *J* (...)
- El conjunto de rutas óptimas a un destino es un árbol = **sink tree** (...)
- Árbol \Rightarrow sin lazos (*loops*)



¿Camino óptimo?

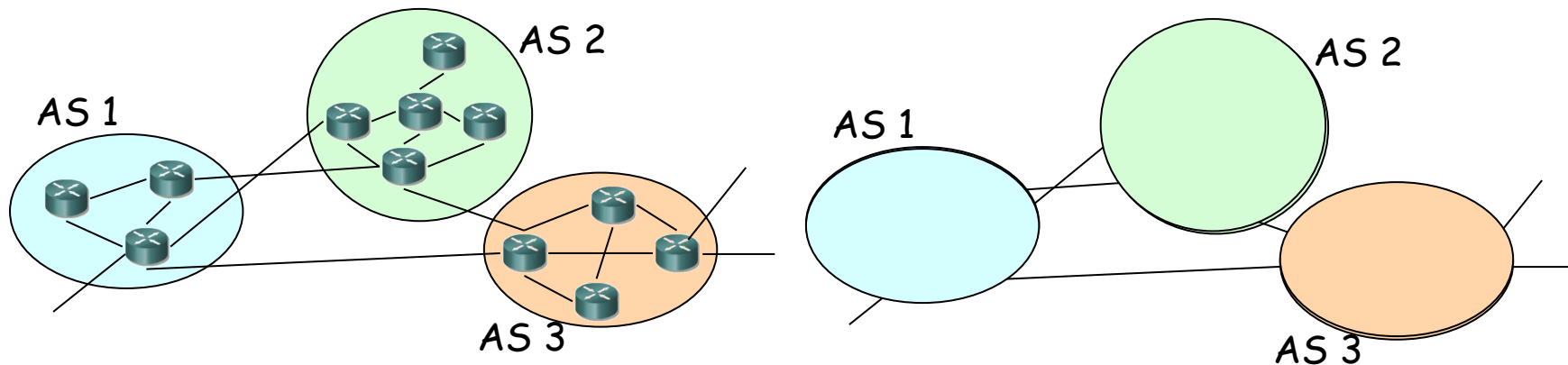
- Ante una métrica aditiva: **Shortest paths** (*minimum spanning tree*)
- Métrica (pesos) aditiva
 - Número de saltos (peso 1)
 - Distancia geográfica
 - Retardo de propagación
 - Longitud media de cola (retardo en cola)
 - Coste (€€)
- Métricas no aditivas
 - BW enlace
 - BW libre
 - Fiabilidad
- Combinación de métricas



Enrutamiento jerárquico

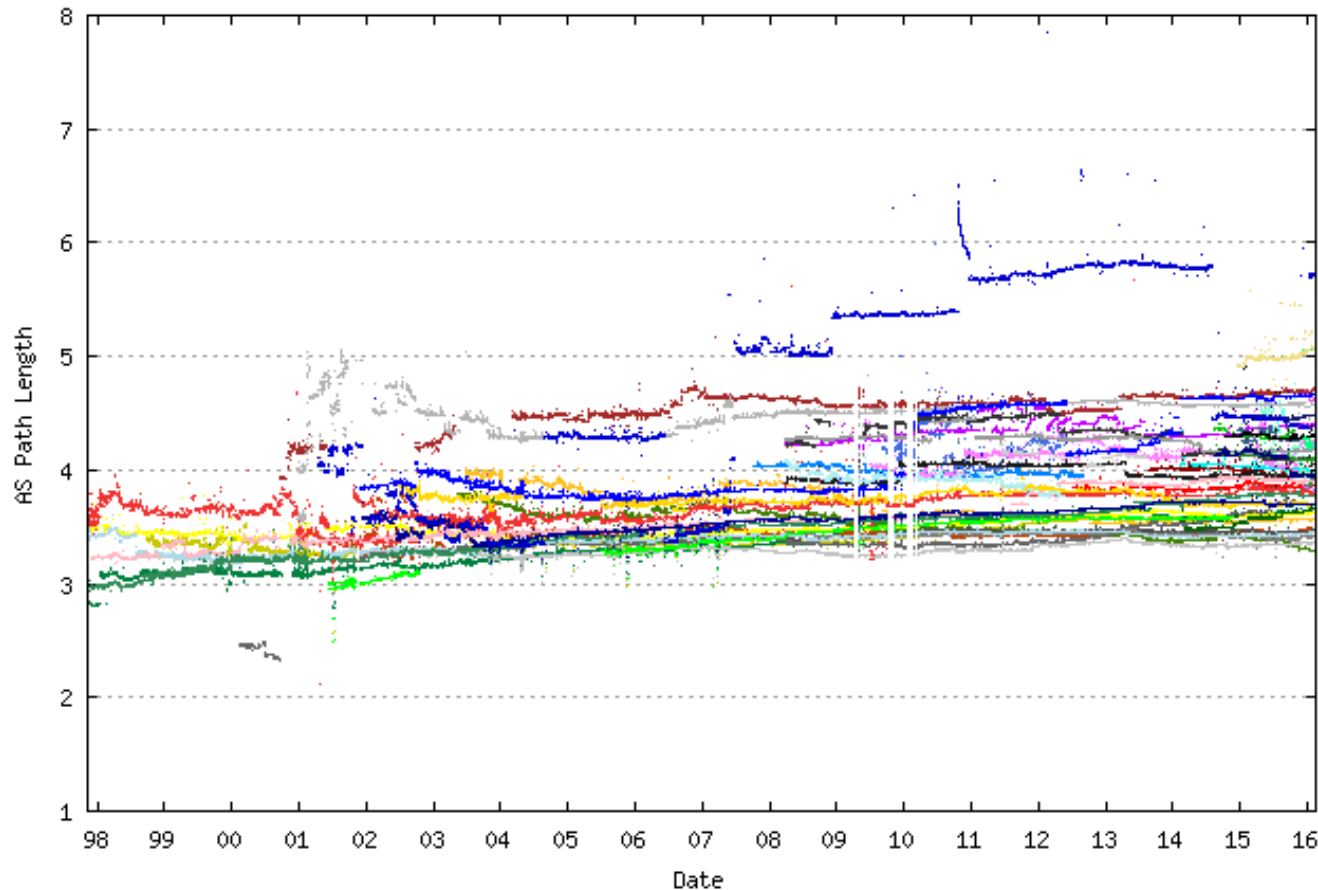
Enrutamiento jerárquico

- ¿Un solo grafo para toda la Internet?
 - Problemas de escala
 - Problemas de coordinación (¿métrica?)
- Enrutamiento jerárquico
 - IGP: Interior Gateway Protocol
 - EGP: Exterior Gateway Protocol
 - Interior/exterior respecto a “sistemas autónomos” (*Autonomous Systems*)
 - “An AS is a connected group of one or more IP prefixes run by one or more network operators which has a SINGLE and CLEARLY DEFINED routing policy” (BCP 6)



Longitud del camino exterior

- Ha crecido el número de ASs pero no las distancias entre ellos (en nº de ASs atravesados)
- Ha crecido el grado de conectividad



ASNs: Ejemplos

```
$ whois -h whois.cymru.com 130.206.164.68
AS      | IP              | AS Name
766     | 130.206.164.68 | REDIRIS Entidad Publica Empresarial Red.es
```

```
$ whois -h whois.cymru.com 169.229.216.200
AS      | IP              | AS Name
25      | 169.229.216.200 | UCB - University of California at Berkeley
```

```
$ whois -h whois.cymru.com 72.21.194.212
AS      | IP              | AS Name
16509   | 72.21.194.212   | AMAZON-02 - Amazon.com, Inc., US
```

```
$ whois -h whois.cymru.com 8.8.8.8
AS      | IP              | AS Name
15169   | 8.8.8.8         | GOOGLE - Google Inc., US
```

```
$ whois -h whois.cymru.com 81.47.192.13
AS      | IP              | AS Name
3352    | 81.47.192.13    | TELEFONICA-DATA-ESPANA TELEFONICA DE ESPANA, ES
```

```
$ whois -h whois.cymru.com 187.8.1.1
AS      | IP              | AS Name
10429   | 187.8.1.1       | Telefonica Data S.A., BR
```

ASNs privados

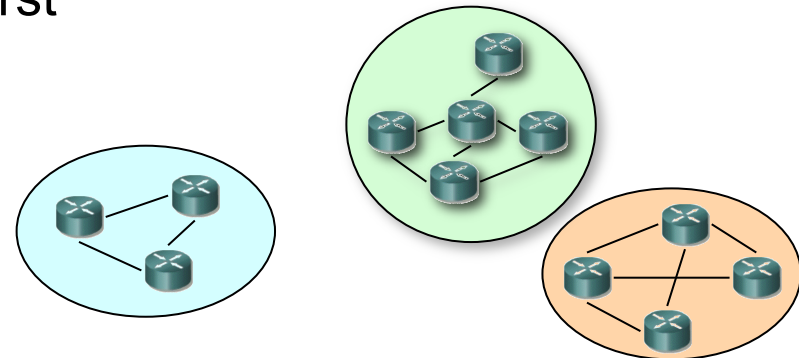
- RFC 6996 (antes RFC 1930)
- Parecido al direccionamiento privado, no deben anunciarse a Internet
- En el espacio de 16 bits son 64512 – 65534
- En el de 32 bits 4200000000 – 4294967294



IGPs vs BGP

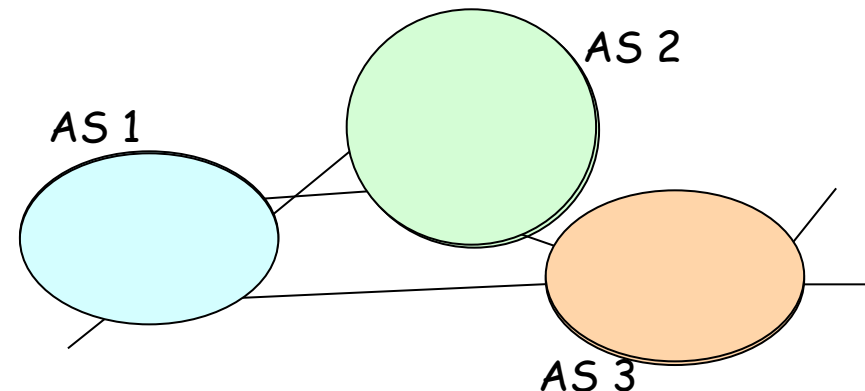
Interior Gateway Protocols (IGP)

- **Características:**
 - Simples
 - Calculan caminos eficientes respecto a una métrica
 - Recalculan rápidamente ante cambios
 - No escalan bien para redes grandes
- **Los más comunes:**
 - *RIP*: Routing Information Protocol
 - *(E)IGRP*: (Enhanced) Interior Gateway Routing Protocol (propietario de Cisco)
 - *IS-IS*: Intermediate System to Intermediate System (OSI)
 - *OSPF*: Open Shortest Path First



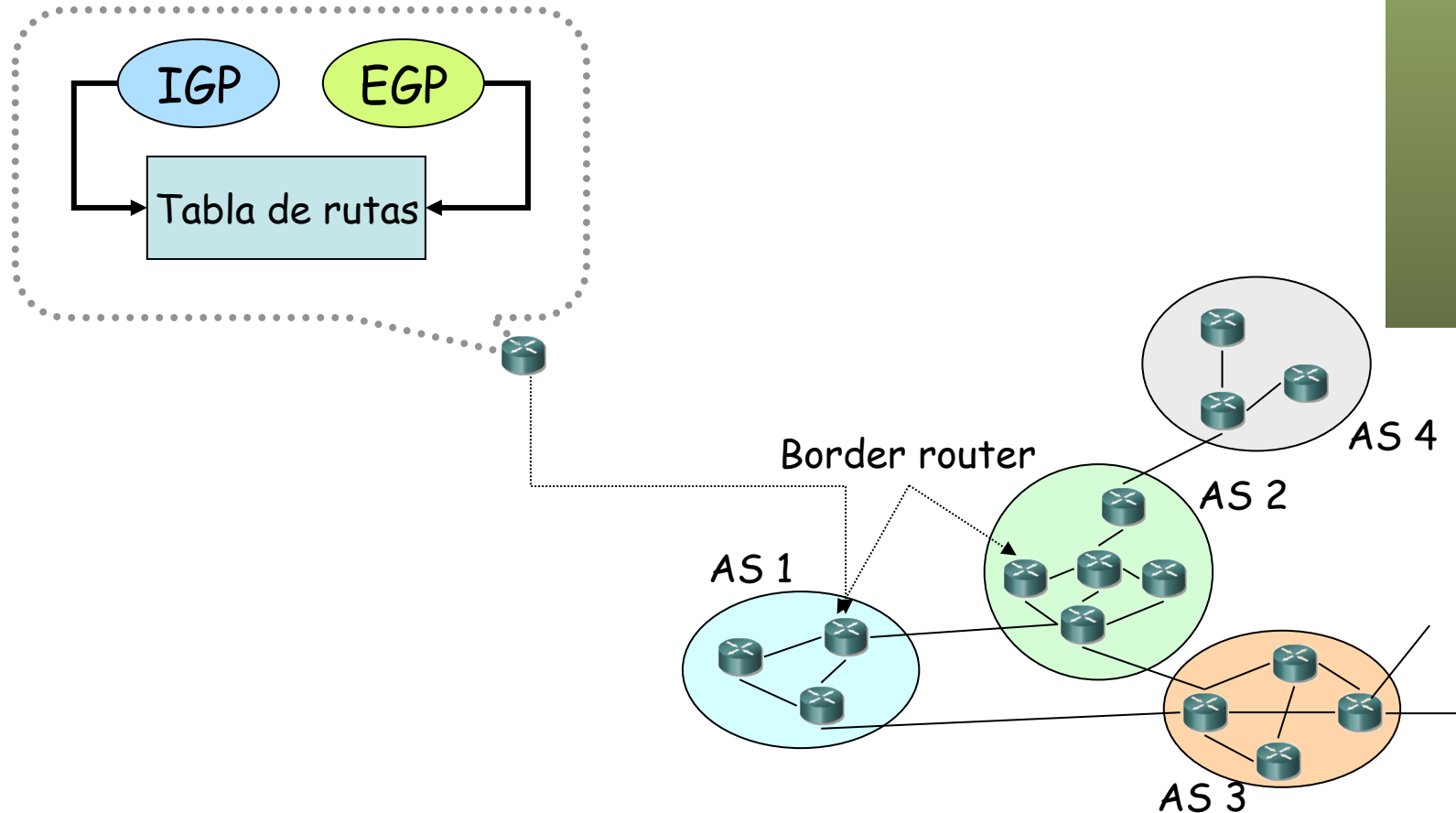
Exterior Gateway Protocols (EGP)

- **Características:**
 - Mejor escalabilidad
 - Habilidad para agregar rutas
 - Habilidad para expresar políticas
 - Mayor carga en el router
- **BGP (Border Gateway Protocol):**
 - *Estándar de facto*
 - Algoritmo *path-vector* : anuncia el camino completo al destino (como una secuencia de ASs)



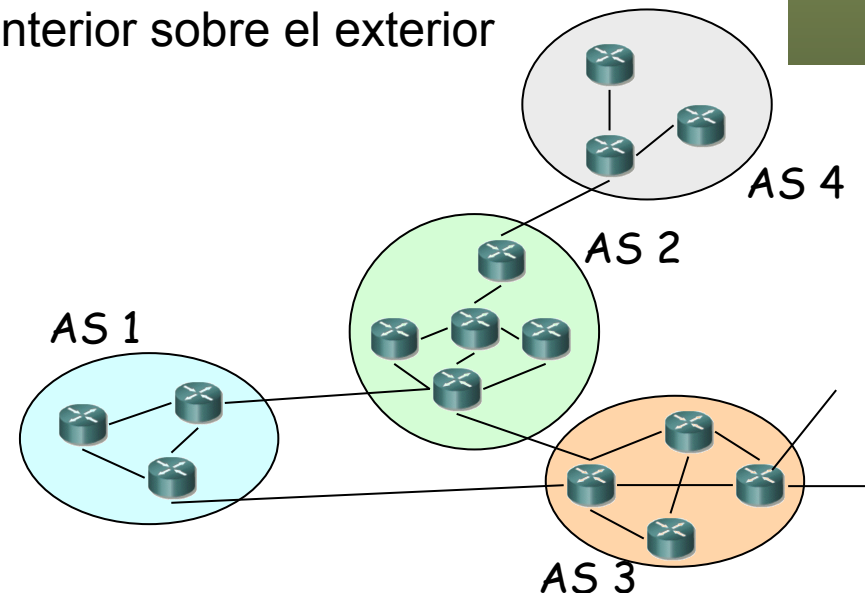
Routers frontera

- En ellos la tabla de rutas es configurada por ambos protocolos
- IGP: rutas a destinos internos
- EGP: rutas a destinos externos



Routers frontera

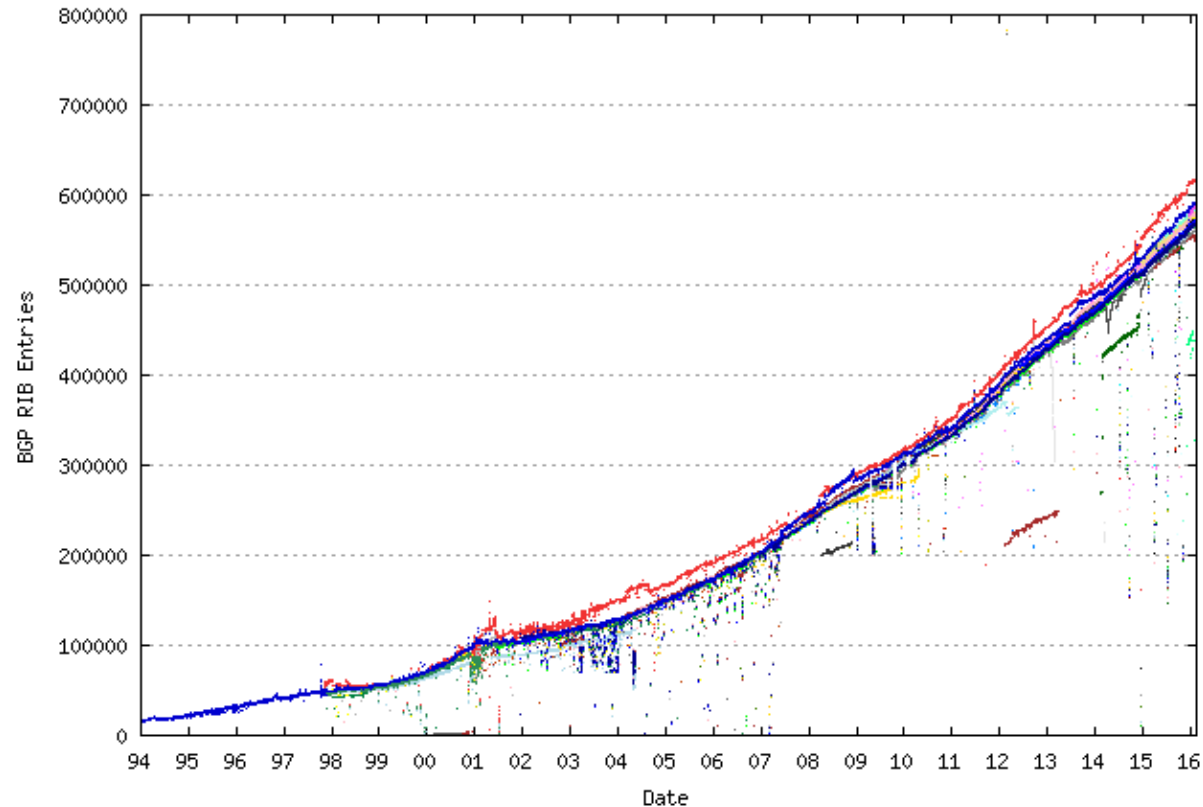
- Si hay un solo enlace al exterior:
 - *Stub network*
 - Routers internos solo necesitan una ruta por defecto hacia otros ASs
- Más de un enlace al exterior
 - Red multi-homed o de tránsito
 - Cada router interno necesita rutas para cada red externa para poder elegir la mejor salida del AS
 - O se puede mandar todo a la misma (la más cercana, *hot-potato*)
 - Requiere más información en el interior sobre el exterior



¿Tamaño de esa tabla?

- La tabla que se aprende por BGP puede ser ya muy grande
- Puede exceder ya las 600K entradas (2016)
- Pasar de las 500K ya nos dio algún que otro problema:

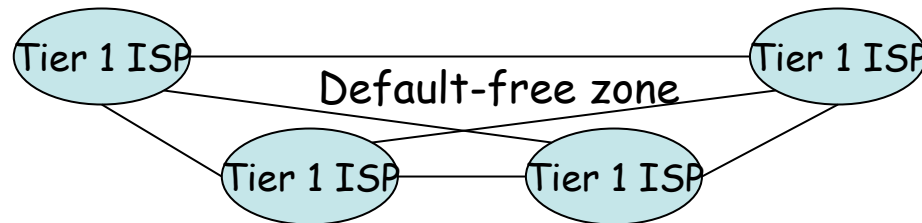
<http://www.bgpmon.net/what-caused-todays-internet-hiccup/>



Estructura de Internet

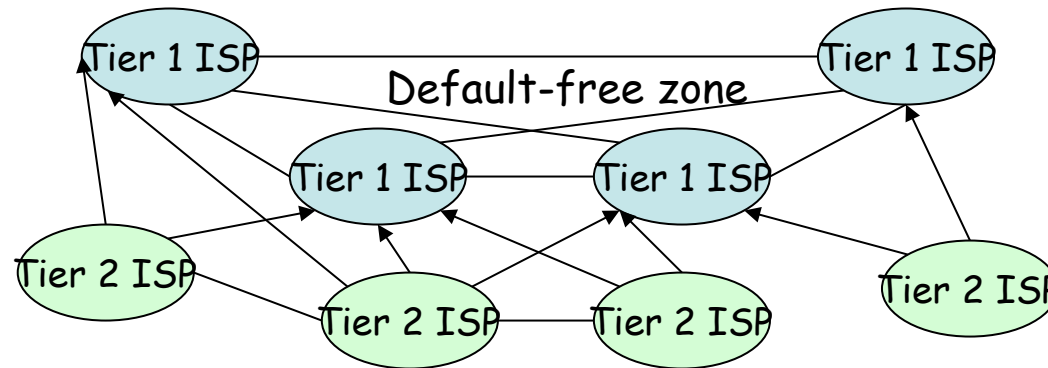
Estructura de Internet

- **Tier-1 ISPs o Internet backbone networks**
 - Grandes proveedores internacionales (no claro cuáles, AT&T, NTT, Telefónica, Sprint, Verizon, etc., aproximadamente una docena)
 - Conexión completamente mallada (*peering agreements*)
 - No pagan a nadie por el tránsito
 - No emplean “ruta por defecto”, tienen rutas a todas las redes (2013: más de 400K rutas)



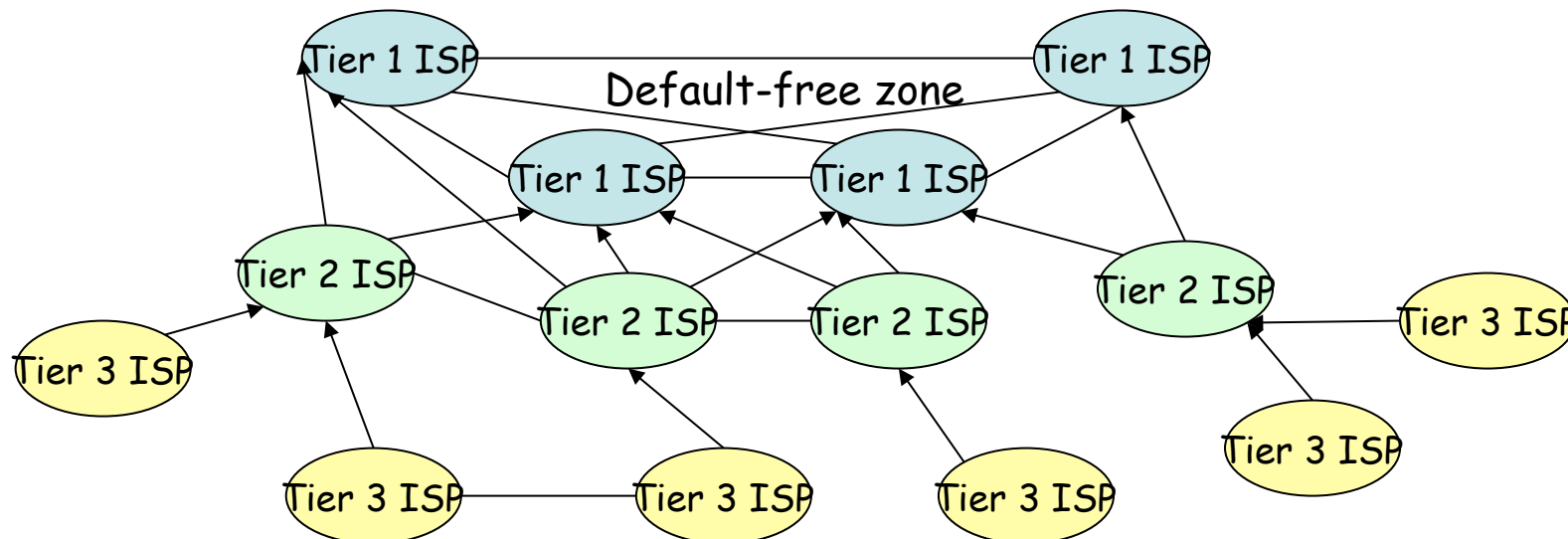
Estructura de Internet

- **Tier-2 ISPs**
 - Regionales o nacionales
 - Contratan tránsito a unos pocos tier-1 ISPs (ellos son los clientes y el tier-1 el proveedor de tránsito)
 - Pueden establecer *peering agreements* con otros tier-2



Estructura de Internet

- **Tier-3 ISPs**
 - ISPs locales de acceso
 - Contratan tránsito a uno o más tier-2 y pueden hacer *peering agreements* entre ellos



Estructura de Internet

Points of Presence (POPs)

NAPs (Network Access Points) o IXP (Internet eXchange Point)

- Son redes de alta velocidad en sí mismas
- Por ejemplo switch L2 + router de cada AS
- Pretenden ahorrar €€ y reducir retardo
- Mantener local el tráfico local (ej: Espanix)

