

Tema 5

Redes de Área Extensa e Internet

Redes de Computadores

**Curso 2018/2019
Primer Semestre**

Bibliografía

- “**Computer Networks**”, Fifth Edition, Andrew S. Tanenbaum and David J. Wetherall. Pearson Education, Inc. 2011.
- “**Computer Networks. A Top-Down Approach**”, First Edition. Behrouz A. Forouzan & Firouz Mosharraf. Mc Graw Hill, 2011.
- “**Data and Computer Networks**”, 9th Edition, W. Stallings. Prentice Hall, 2010.

5. Redes de Área Extensa e Internet

- 5.1 Estructura y Organización de Internet
- 5.2 Redes WAN
- 5.3 Técnicas de Conmutación. Ejemplos de redes
- 5.4 Tecnologías de Acceso a Internet

5.1 Estructura y Organización de Internet

- **ISPs**
 - Niveles jerárquicos
- **IXP**
 - Peering
- **Sistemas Autónomos (encaminamiento)**
 - IGP y EGP

Funcionamiento de Internet

➤ Distribución de recursos

- **IANA (Internet Assigned Numbers Authority):** supervisa la asignación global de direcciones IPs, N°s de sistemas autónomos, servidores raíz de nombres de dominio DNS y otros recursos relativos a los protocolos de Internet.

➤ Servicios de acceso a usuarios

- **ISPs (Internet Services Providers-Proveedores de Servicios de Internet)**

➤ Evolución tecnológica

- RFCs (Request For Comments). Solicitudes de Comentarios numerados en secuencia de forma cronológica por su número.
- Grupos de trabajo

Funcionamiento de Internet

➤ Sistema Autónomos (Autonomous System: AS)

- Red o conjunto de redes de tecnología IP que realiza su propia gestión (encaminamiento) del tráfico que fluye entre él y los restantes Sistemas Autónomos que forman Internet.
- Los SA intercambian **tráfico IP e información de encaminamiento y rutas** (direcciones IP alcanzables) mediante el protocolo BGP en los Puntos Neutros (IXP) o en los POPs (Puntos de presencia).
- Todo SA de operador dispone de un número identificador público (16 bits). *asignado por una Autoridad de Registro en Internet (p.ej., el Registro Regional europeo: RIPE NCC)*
- Ejemplo: RedIRIS: AS766; Telefónica de España: AS3352

Organización de Internet

El acceso a Internet

- Un operador o Proveedor de Servicios de Internet (**PSI** ó **ISP**, *Internet Service Provider*) es una empresa u organización que ofrece acceso a Internet a sus clientes
 - Ej: Los operadores de telecomunicaciones como Telefónica, Orange, Vodafone, etc.
 - Muchos PSIs, también, ofrecen servicios extras relacionados con Internet a través de su red IP, como servidores de correo electrónico, servidores de páginas Web, servidores DNS, registro de dominios, etc.

Organización de Internet

La gestión del tráfico

- El ISP que da servicio a los usuarios debe garantizar que éstos pueden alcanzar máquinas en cualquier SA de Internet
 - ✓ El objetivo final es conseguir la accesibilidad global, es decir que cualquier red de cualquier cliente sea accesible, independientemente de su ubicación geográfica o del ISP que le proporcione servicio

➤ **Peering IP**

Intercambio de tráfico con otros ISP sin pago entre ellos en los puntos neutros (Internet eXchange Point (IXP))

➤ **Transito IP**

No es posible viable ni económicamente viable conectar todos los ISP entre sí. La mayoría de los ISP de pequeño tamaño optan por acuerdos de gestión de su tráfico IP en forma de tránsito IP. Pagan a un ISP con presencia en todo o parte del planeta para que transporte su tráfico IP

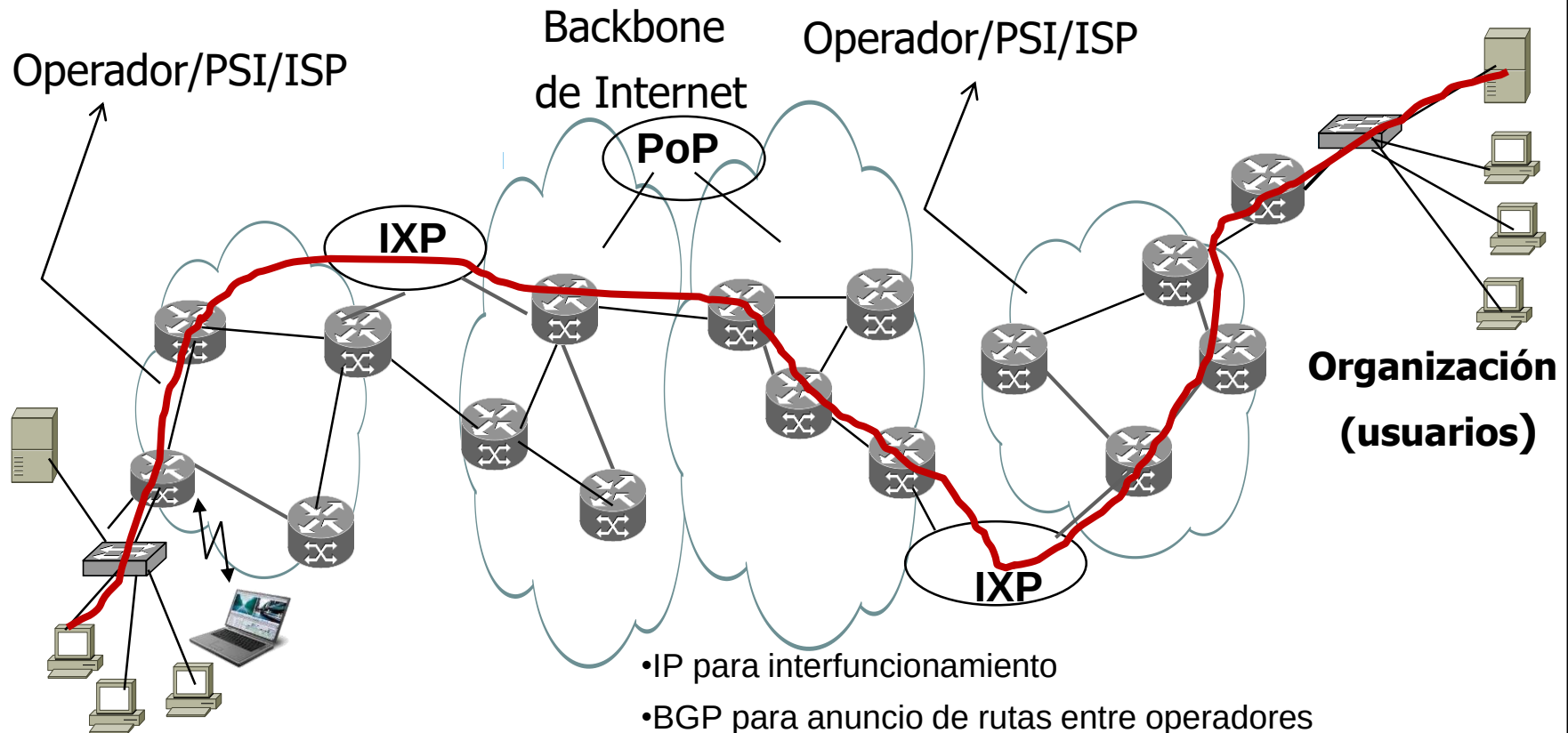
PoP, IXPs, NAPs

PoP Versus IXP:

- En un POP (Point of Presence) intercambian tráfico dos operadores. Las instalaciones a veces suelen ser de una tercera empresa. (peering privado)
- En un IXP intercambian tráfico (peering público) múltiples operadores.

NAP: Network Access Point: Primeros centros de interconexión de los ISP, con el paso del tiempo han evolucionado a los actuales IXPs.

Comunicaciones en Internet



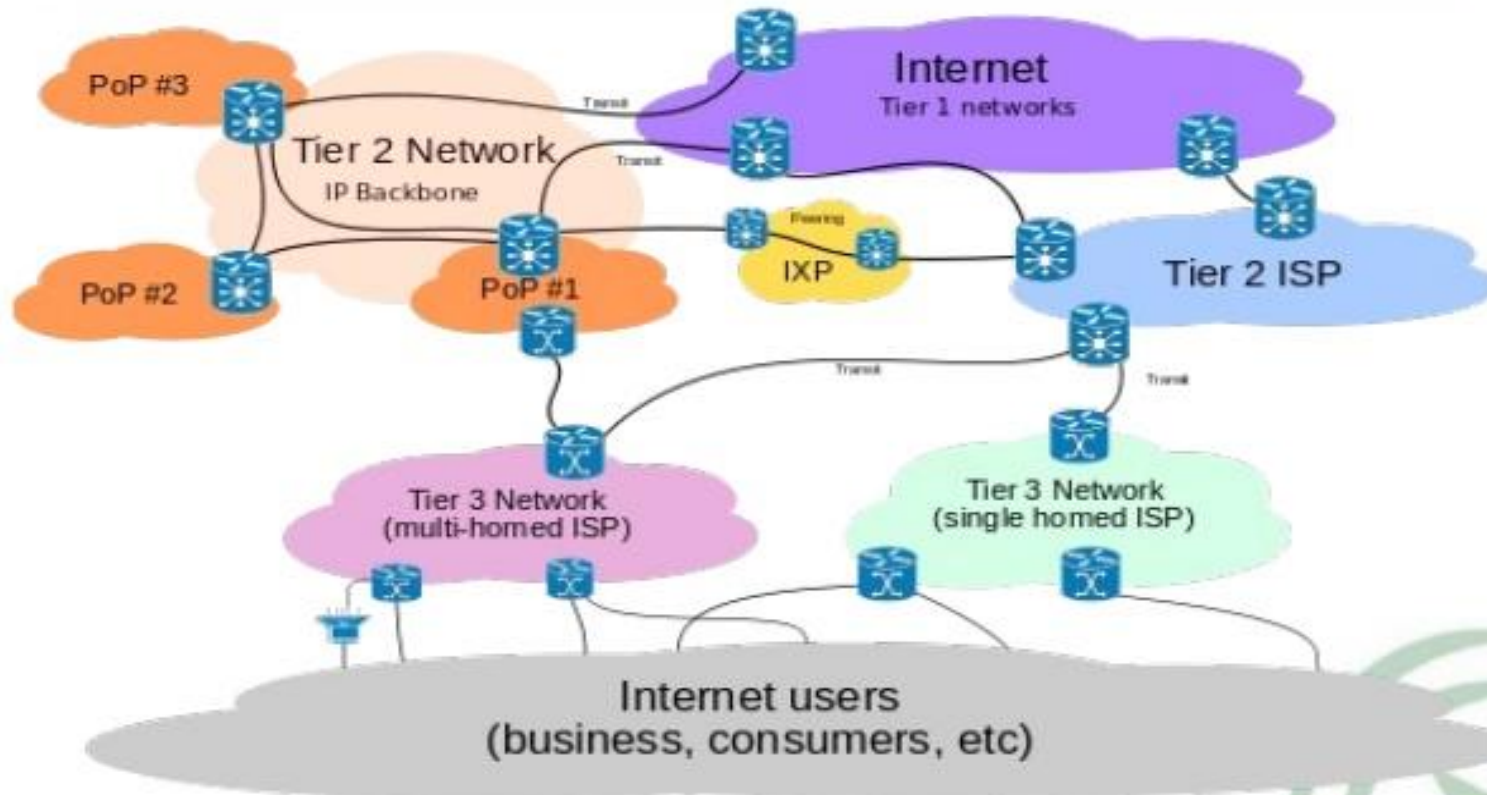
• Tecnologías de acceso a la red

- Ethernet
- Wifi

- IP para interfuncionamiento
- BGP para anuncio de rutas entre operadores
- TCP para establecer conexiones fiables
- UDP para TR y otras aplicaciones
- DNS para encontrar la dirección IP
- **IXP: Internet Exchange Point o Punto Neutro y PoP: Point of Presence** para manejo del tráfico

Jerarquía de ISPs en Internet

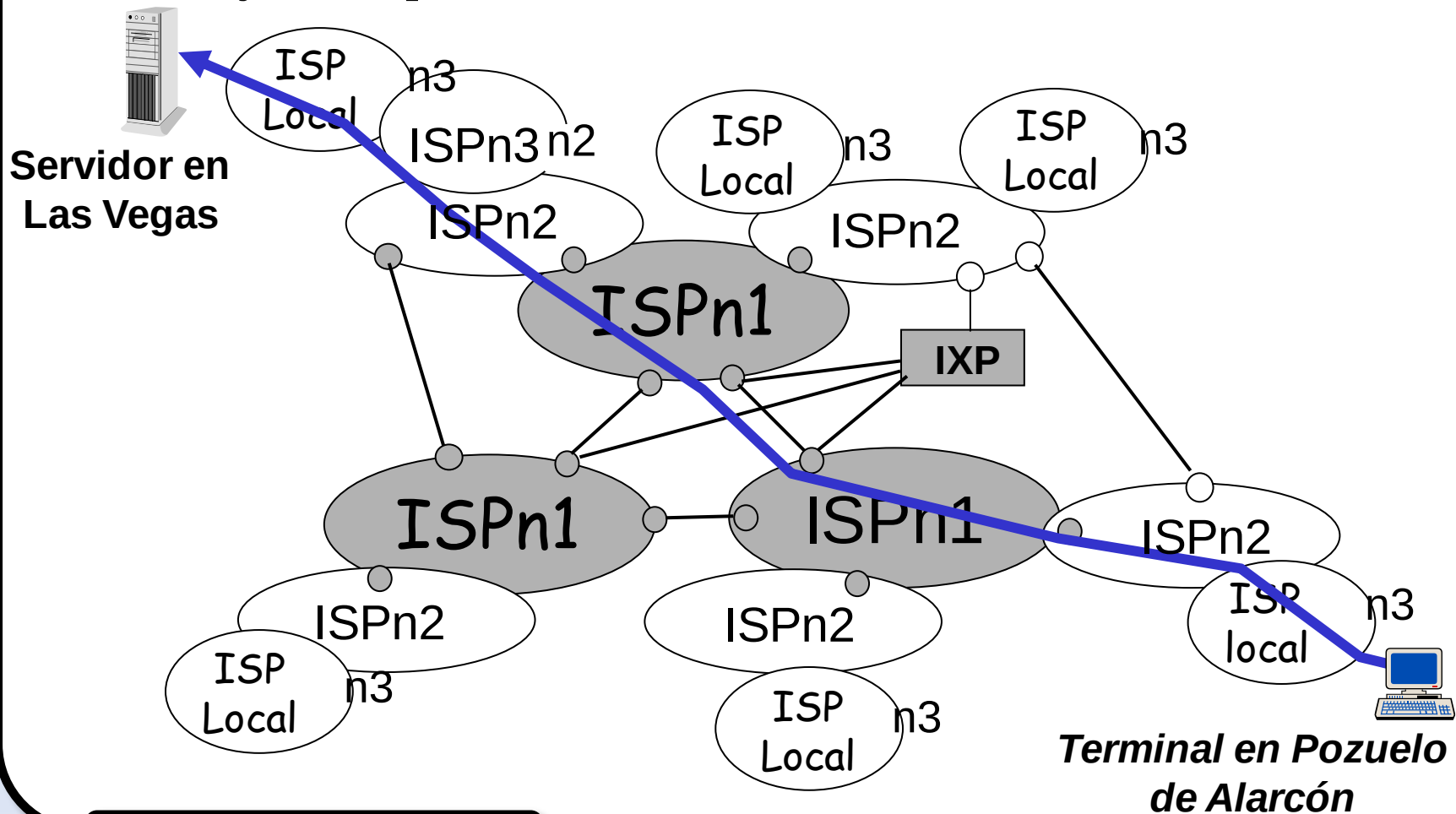
Estructura jerárquica de internet



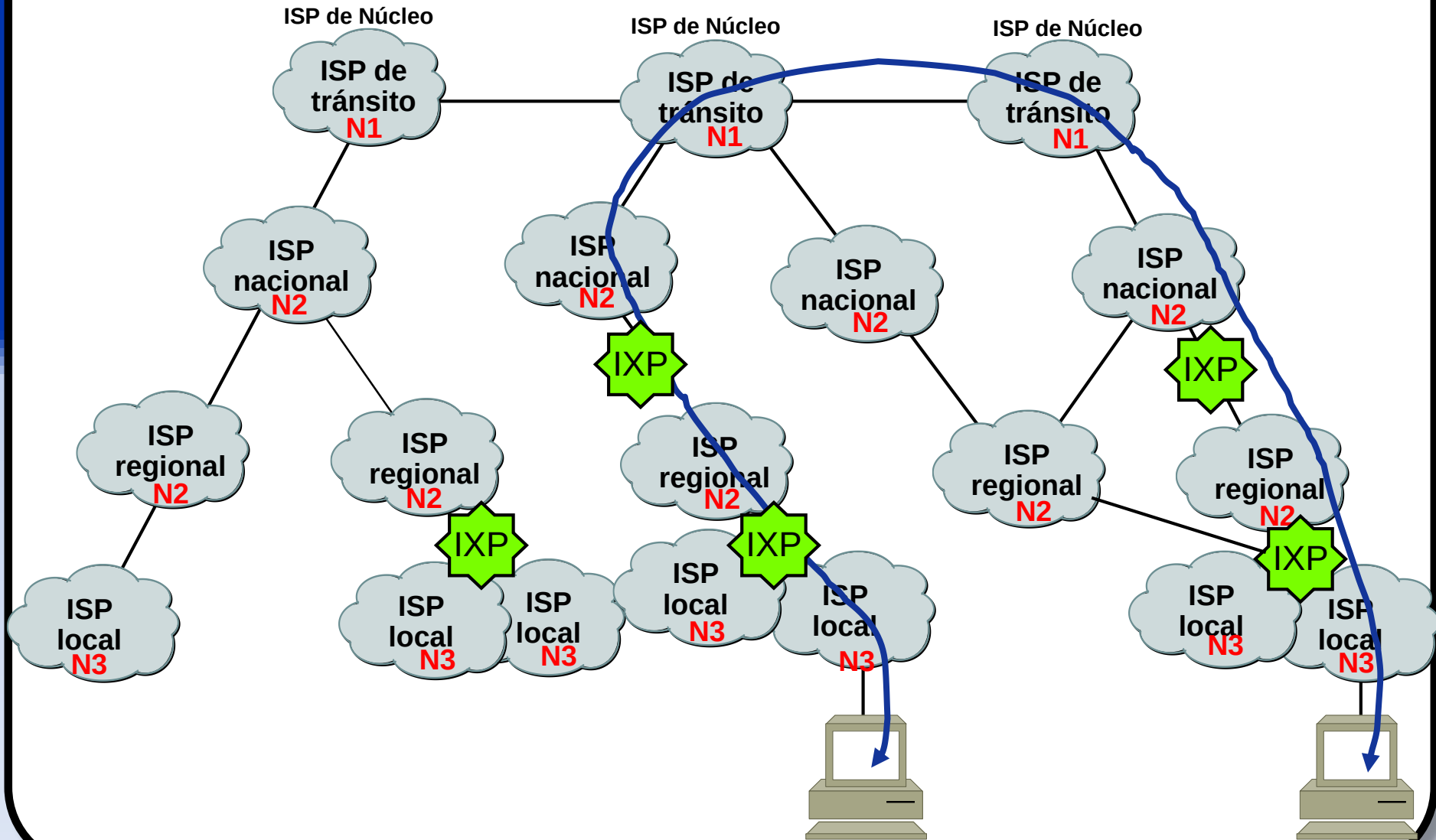
Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Internet_Connectivity_Distribution_%26_Core.svg

Encaminamiento por la Jerarquía de ISPs en Internet

- Los paquetes IP pueden pasar a través de una gran variedad de routers y redes pertenecientes a diferentes ISP (SAs)



Modelo de Encaminamiento en Internet vía 3 Niveles de ISPs



ISPs Tiers 1

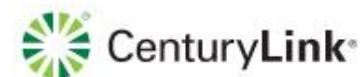
Constituyen el **Backbone de Internet**. Tiene presencia en gran parte del planeta. Pueden alcanzar cualquier SA sin pagar transito IP. Establecen acuerdo de peering privados con otros tiers1.

- **Century Link** (AS209; Level 3 / Global Crossing) (AS3356, AS3549)
- **Cogent** (AS174)
- **Global Telecom and Technology** (AS3257)
- **TeliaSonera International Carrier** (AS1299)
- **NTT Communications** (AS2914)
- **Tata Communications** (AS6453)
- **Telecom Italia Sparkle** (AS6762)
- **Telefónica Internacional Wholesale** (AS12956)
- ..

Red de CenturyLink(level 3-Global Crossing)



CenturyLink Global Network

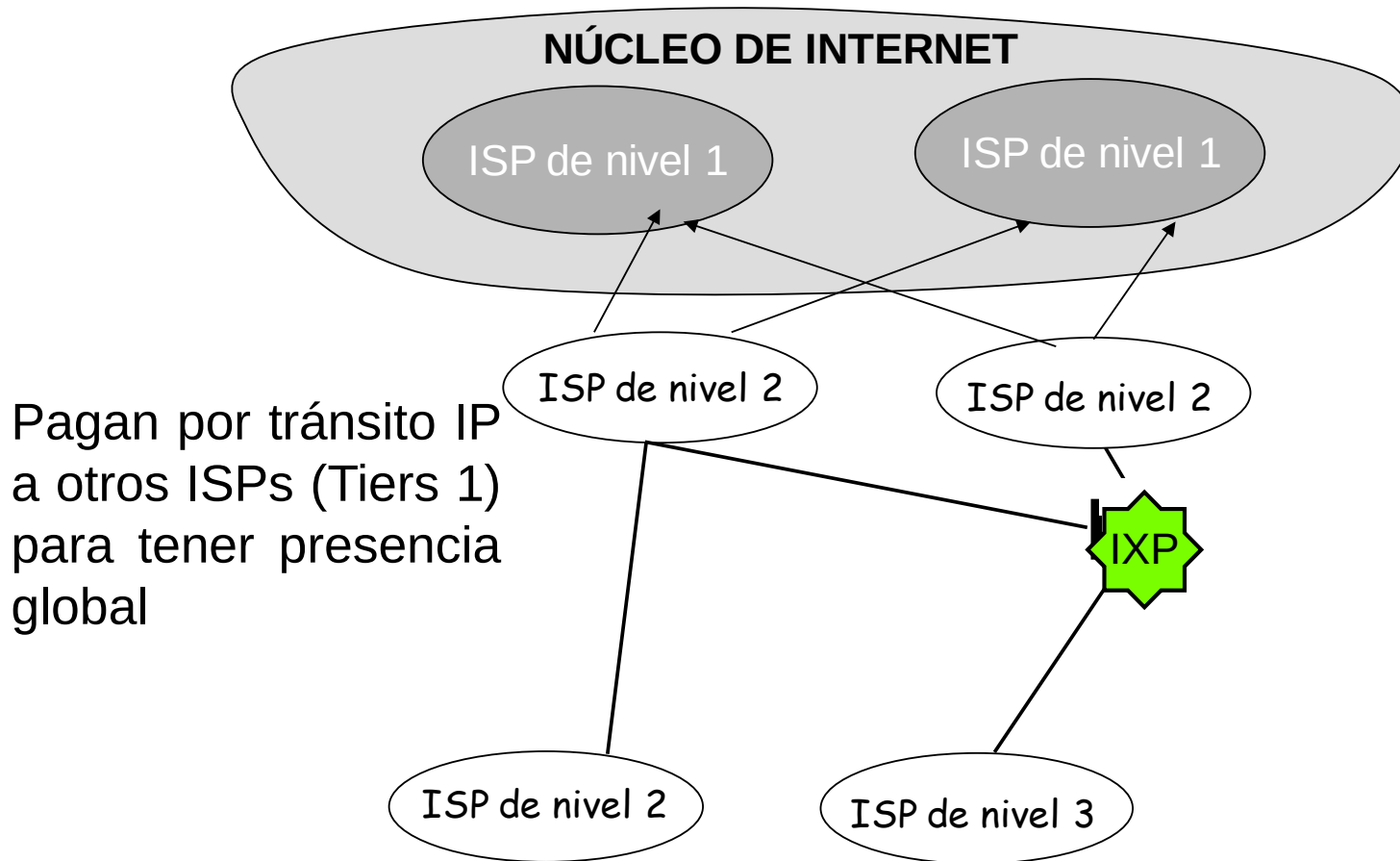


WAN e Internet

Estructura de Internet de Nivel 2

ISPs intermediarios para tránsito nacional e internacional

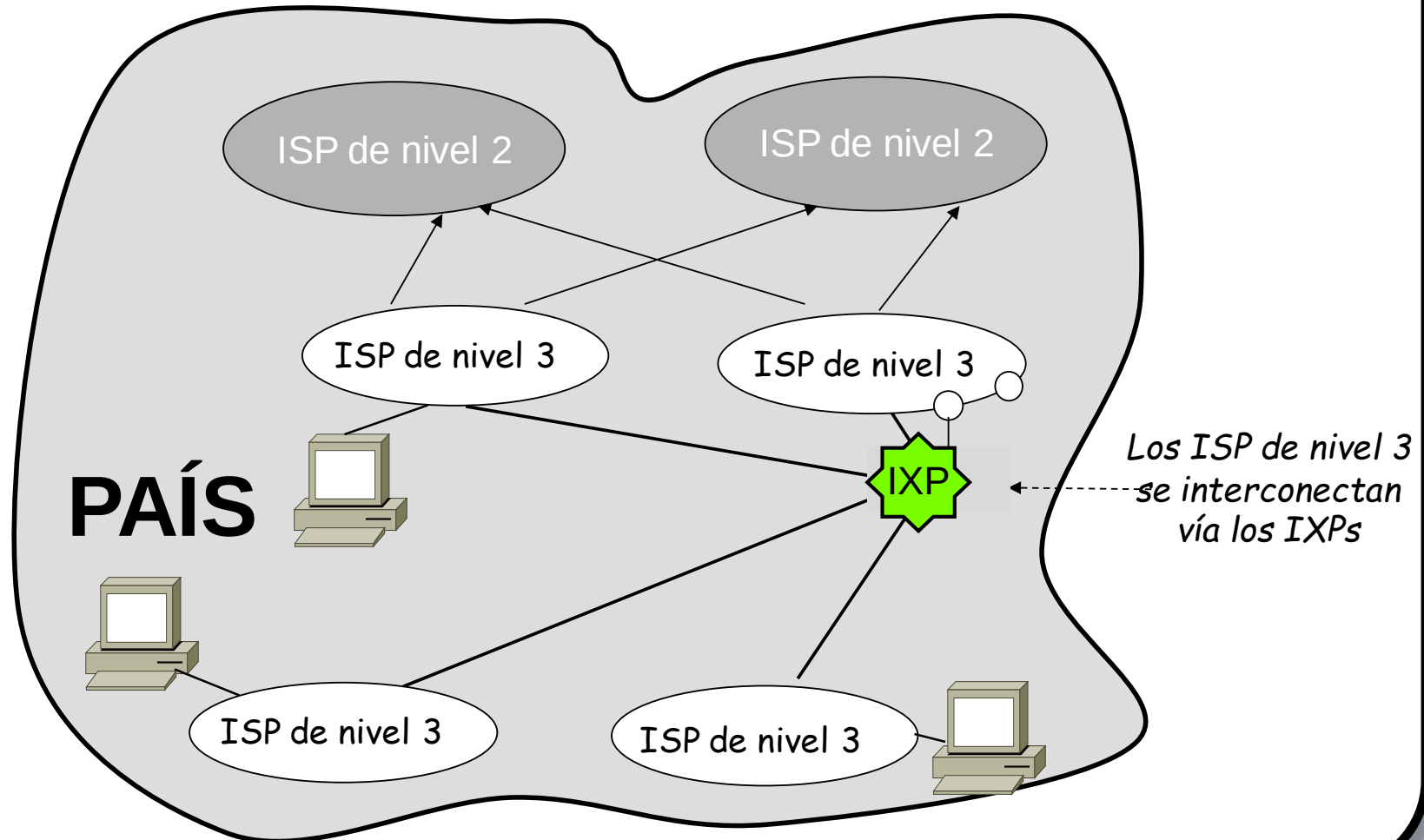
- Los ISP de nivel 2 pueden ser clientes o no de uno o más ISP de nivel 1



Estructura de Internet de Nivel 3

ISPs que permiten al usuario final acceder a Internet

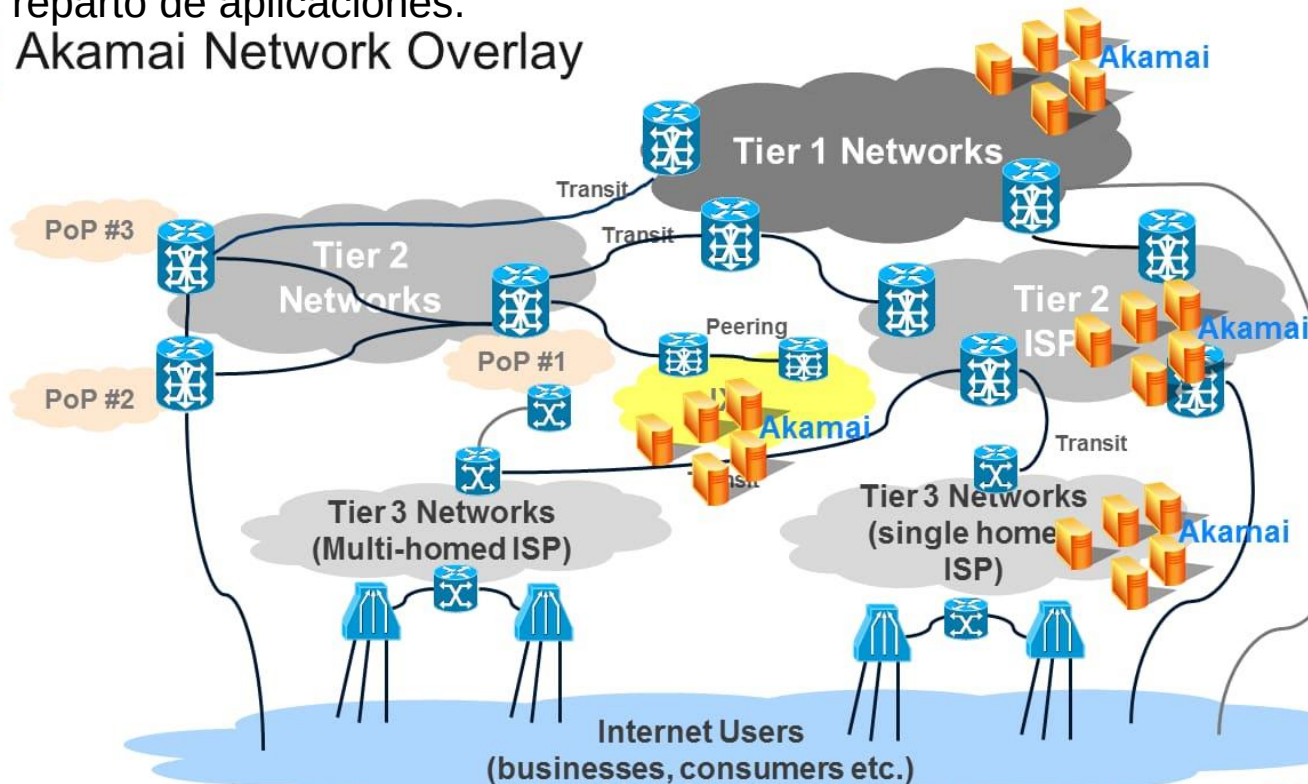
- Los ISP de nivel 3 pueden ser clientes o no de uno o más ISP de nivel 2



Red de Akamai

Red de Distribución de contenidos a nivel mundial, fundada en 1998 por el entonces estudiante graduado del MIT **Daniel Lewin**, en colaboración con el profesor de Matemáticas Aplicadas del MIT **Tom Leighton**. . Provee, entre otros servicios, una plataforma de computación distribuida para la entrega de contenidos global de Internet y el reparto de aplicaciones.

Akamai Network Overlay

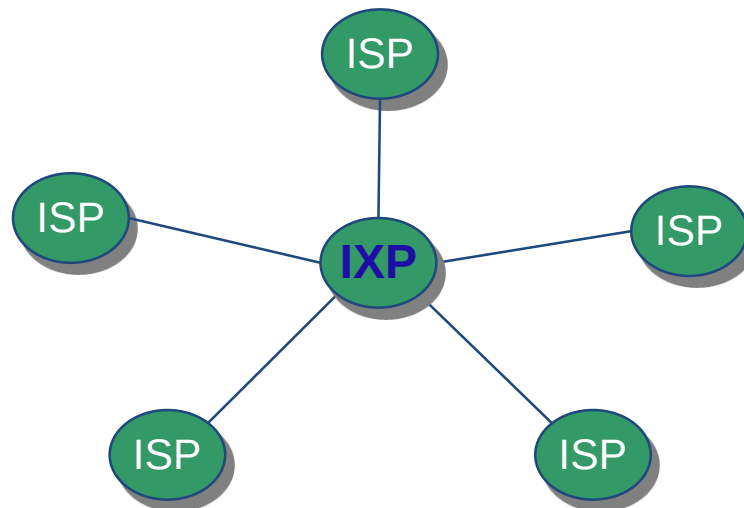


5.1 Estructura y Organización de Internet

- **ISPs**
 - Niveles jerárquicos
- **IXP**
 - Peering
- **Sistemas Autónomos (encaminamiento)**
 - IGP y EGP

Centros de Intercambio Previo de Rutas (Información IP) y Tráfico IP entre ISPs

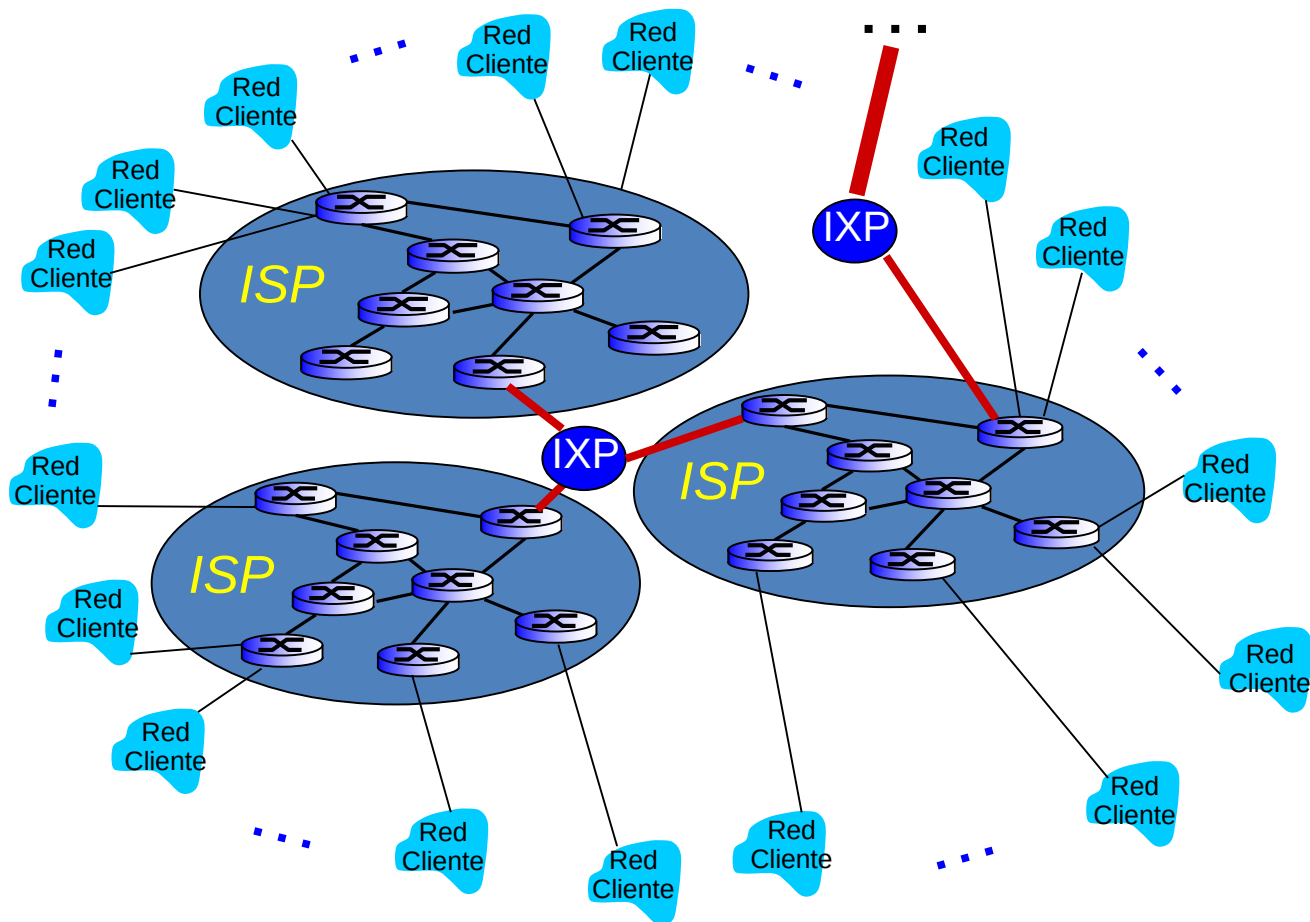
- Los IXP (Internet eXchange Point) o Puntos Neutros de Intercambio son centros u organizaciones que ofrecen una infraestructura de comunicaciones en donde los ISPs:
 - Previamente, se intercambian RUTAS (direcciones IPs de los clientes) de forma dinámica vía un protocolo de comunicaciones de distribución y actualización de información IP (BGP)
 - Posteriormente, se intercambian TRÁFICO IP vía el protocolo IP



Acuerdo de “Peering” o Acuerdo “entre Pares”

- El hecho de que dos ISPs estén conectados **DIRECTAMENTE** o **INDIRECTAMENTE** no conlleva automáticamente el intercambio de información y tráfico IP
 - Para ello es necesario que además establezcan un “acuerdo de peering”
 - ✓ Un acuerdo de “peering” (acuerdo entre pares) es el que realizan dos ISPs cuando acuerdan intercambiar rutas y tráfico sin cobrarse por el servicio que mutuamente se prestan
 - ✓ Para que el intercambio de tráfico sea posible es preciso que las redes estén interconectadas, o **DIRECTAMENTE** vía un **PEERING DIRECTO** o **INDIRECTAMENTE** mediante un IXP

Ejemplo de Interconexión de Redes IP de Operadores



Puntos Neutros en España

➤ Objetivo

- Facilitar el intercambio de tráfico de Internet entre Proveedores de Acceso a Internet (PSIs) y de rutas.
- El protocolo de encaminamiento a utilizar entre PSIs es el BGP-4, optimizando al máximo las capacidades de agregación permitidas por el CIDR.

➤ En España

➤ Nacional

- ✓ ESPANIX; Madrid 1997

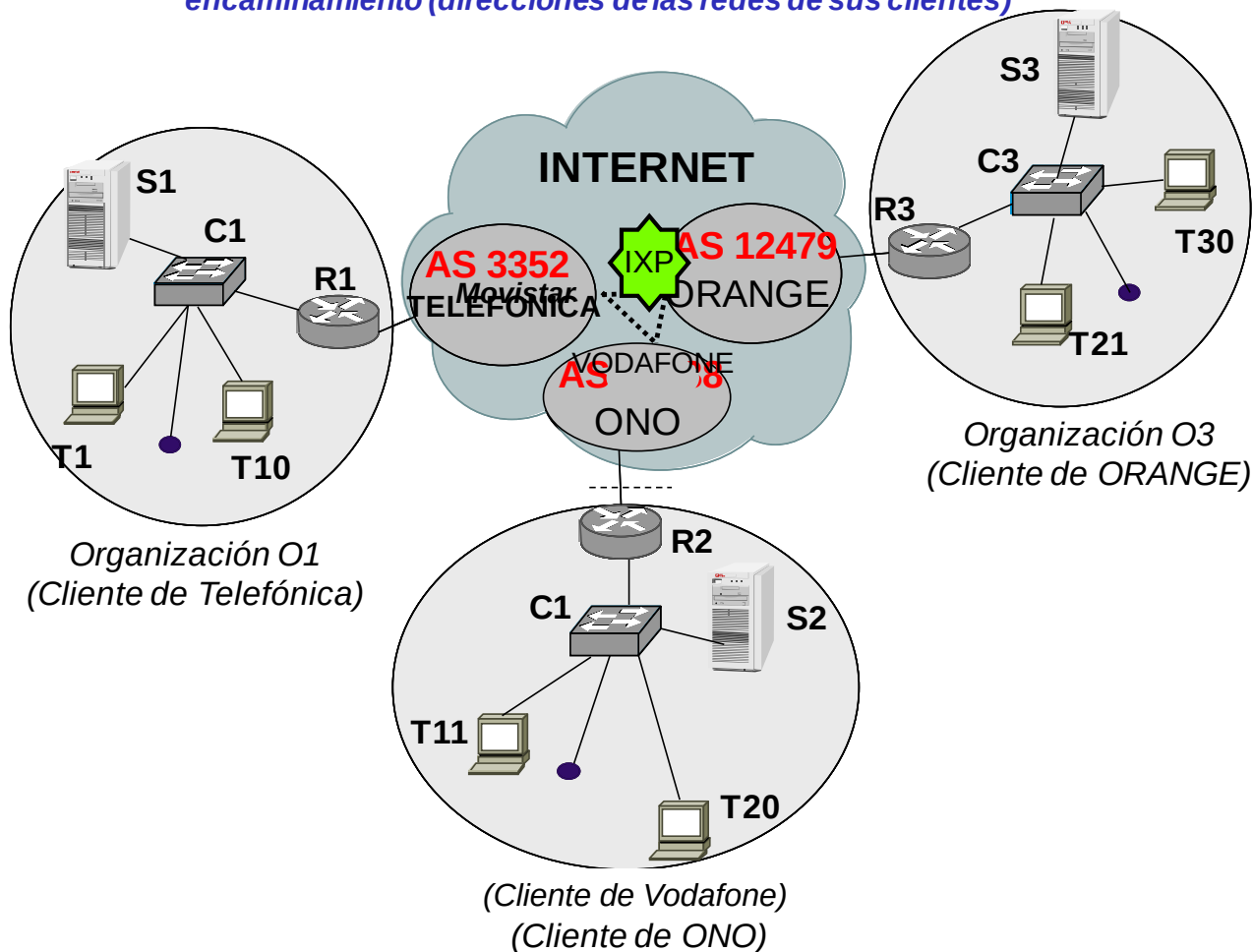
➤ Regionales

- ✓ CATNIX ; Barcelona 1999
- ✓ EUSKONIX; Bilbao 2000
- ✓ GALNIX; Santiago de Compostela. 2002
- ✓ MAD-IX; Madrid 2003

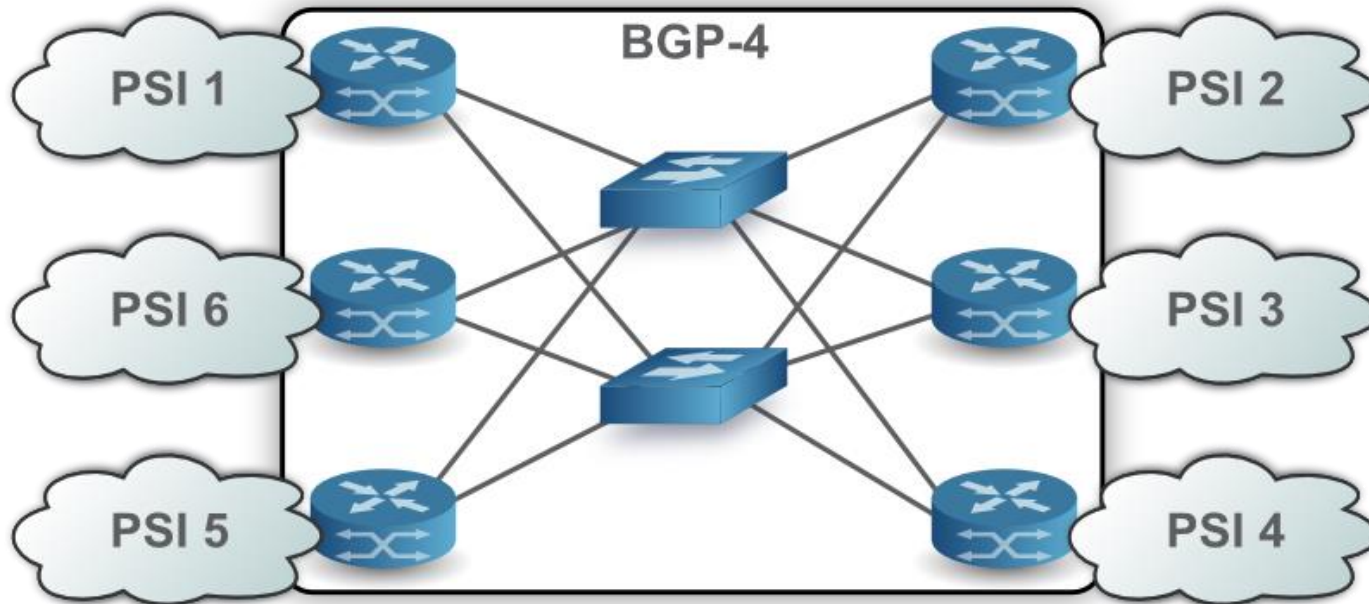
Comunicación entre distintas Organizaciones por Internet

A través de los SA de los ISP de cada organización

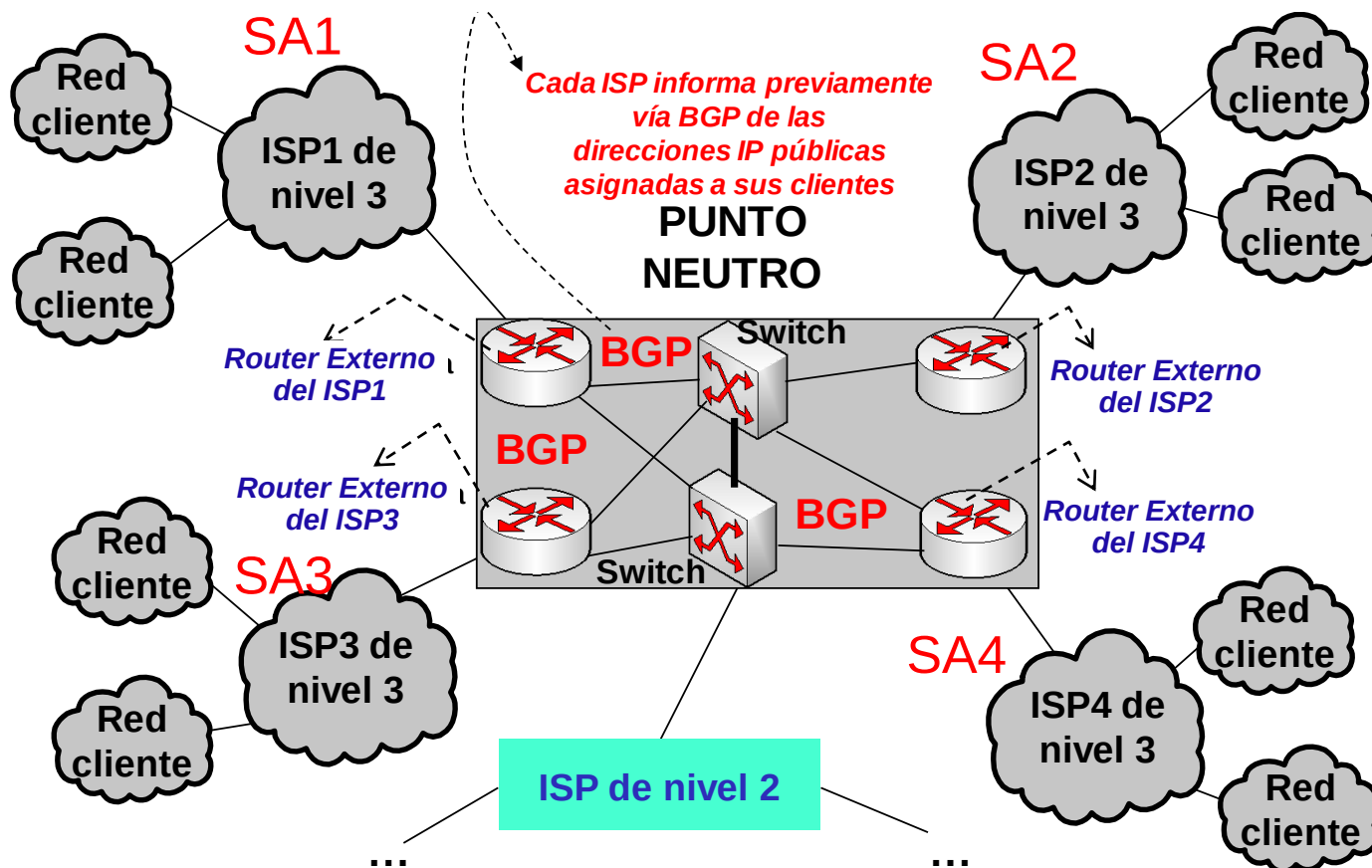
Es importante que los routers de los operadores intercambien información de encaminamiento (direcciones de las redes de sus clientes)



Implementación de Internet Exchange Point (IXP)



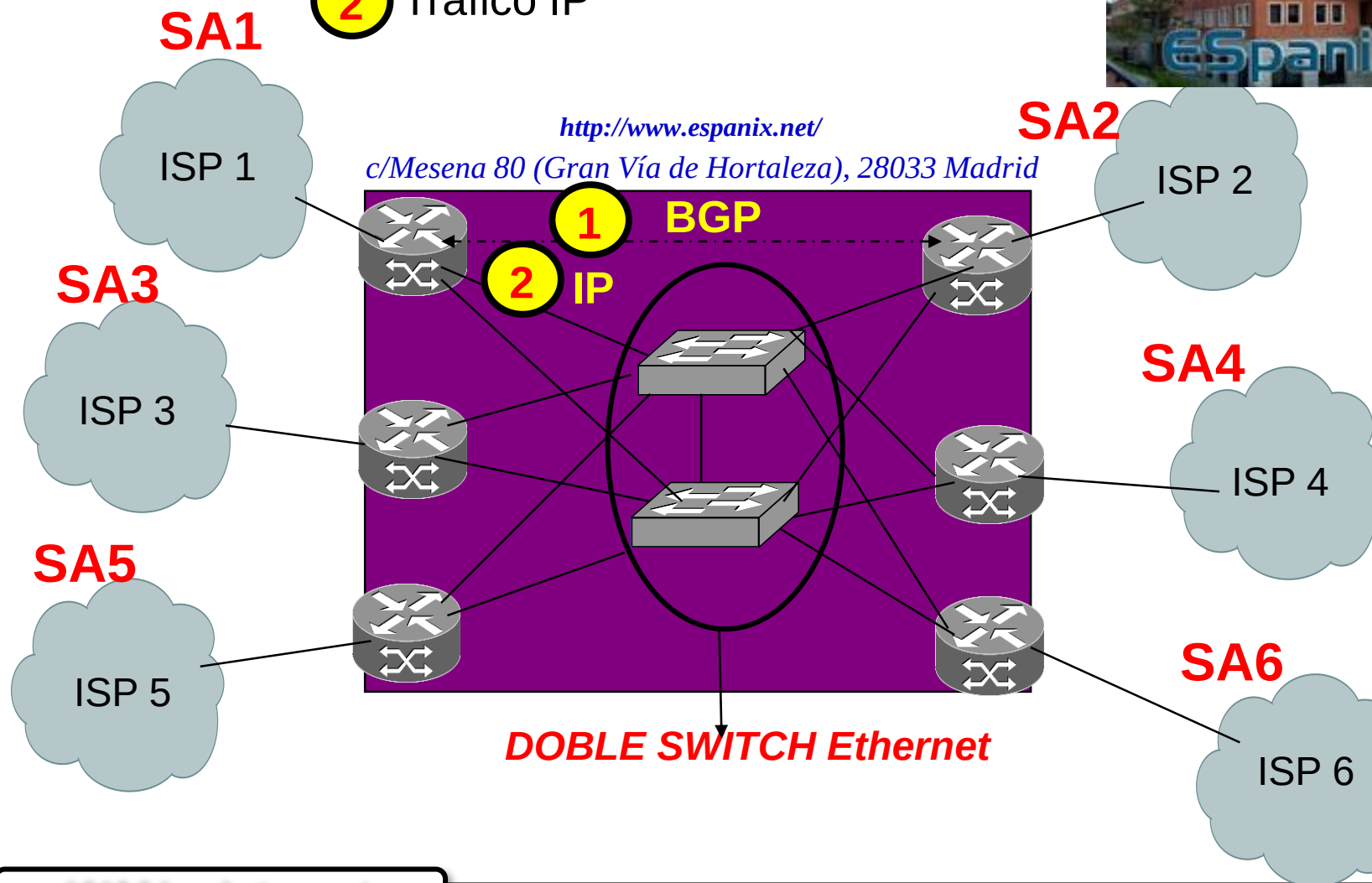
Típica Implementación Física de un IXP *Doble Switch Ethernet*



IXP = Doble Switch que interconecta directamente los routers externos de cada ISP de nivel 3 para el intercambio previo de las direcciones públicas de las redes de sus clientes

ESpanix

- 1 Intercambio de Rutas (BGP)
- 2 Tráfico IP

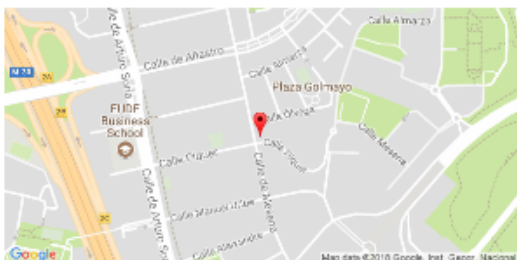


WAN e Internet

Espanix PAR

Como consecuencia del crecimiento del tráfico, Espanix ha ido instalando Punto de Acceso Remoto (PAR) en Centros de Datos de otras compañías

ESpanix NODO



Calle Mesena, 80, Madrid, 28033

ESpanix PAR



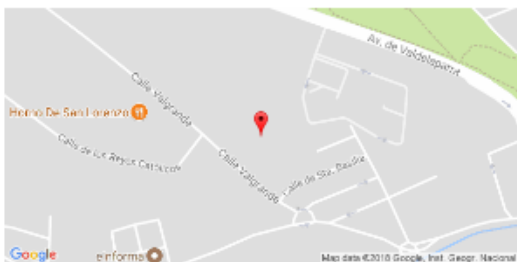
Calle Yecora, 4, Madrid, 28022

ESpanix PAR



Calle Albasanz, 71, Madrid, 28037

ESpanix PAR



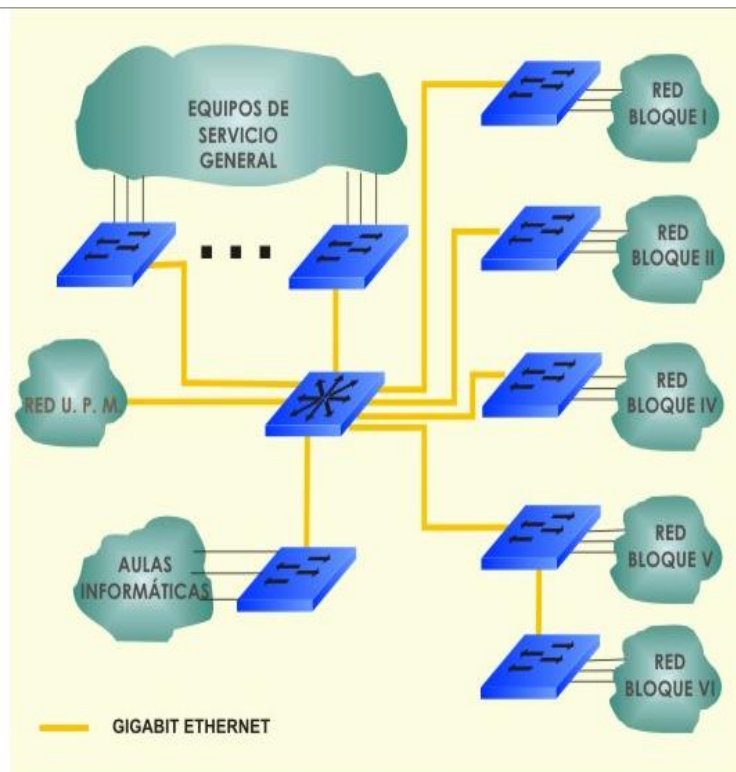
Avenida Valgrande, 6, Alcobendas, 28108

ESpanix PAR



Avenida Manoteras 42, Calle 3, Madrid, 28050

Red del centro



Forma parte de
RedIris

El troncal (*backbone*) de la red está formado por un *switch* GigabitEthernet/10GigabitEthernet que interconecta los diversos edificios del Centro.

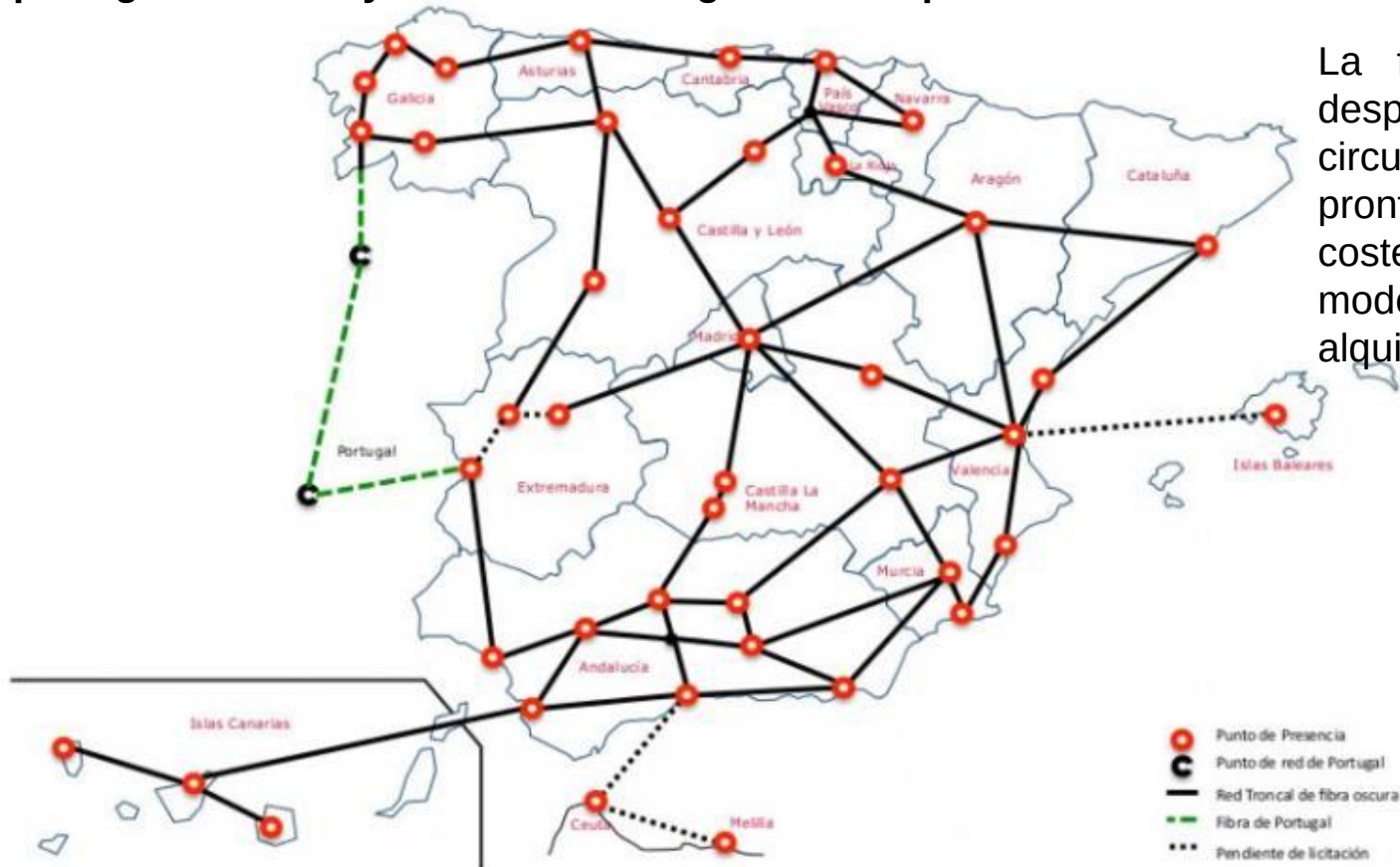
La conexión con la red de la UPM se realiza mediante un enlace de 1Gbs. Este enlace podrá ir aumentando su capacidad a medida que vaya siendo necesario.

Los *switch* que dan servicio a los distintos edificios, se encuentra conectados con el *Switch* principal mediante enlaces GigabitEthernet y 10GigabitEthernet sobre fibra óptica dependiendo de las necesidades de tráfico.

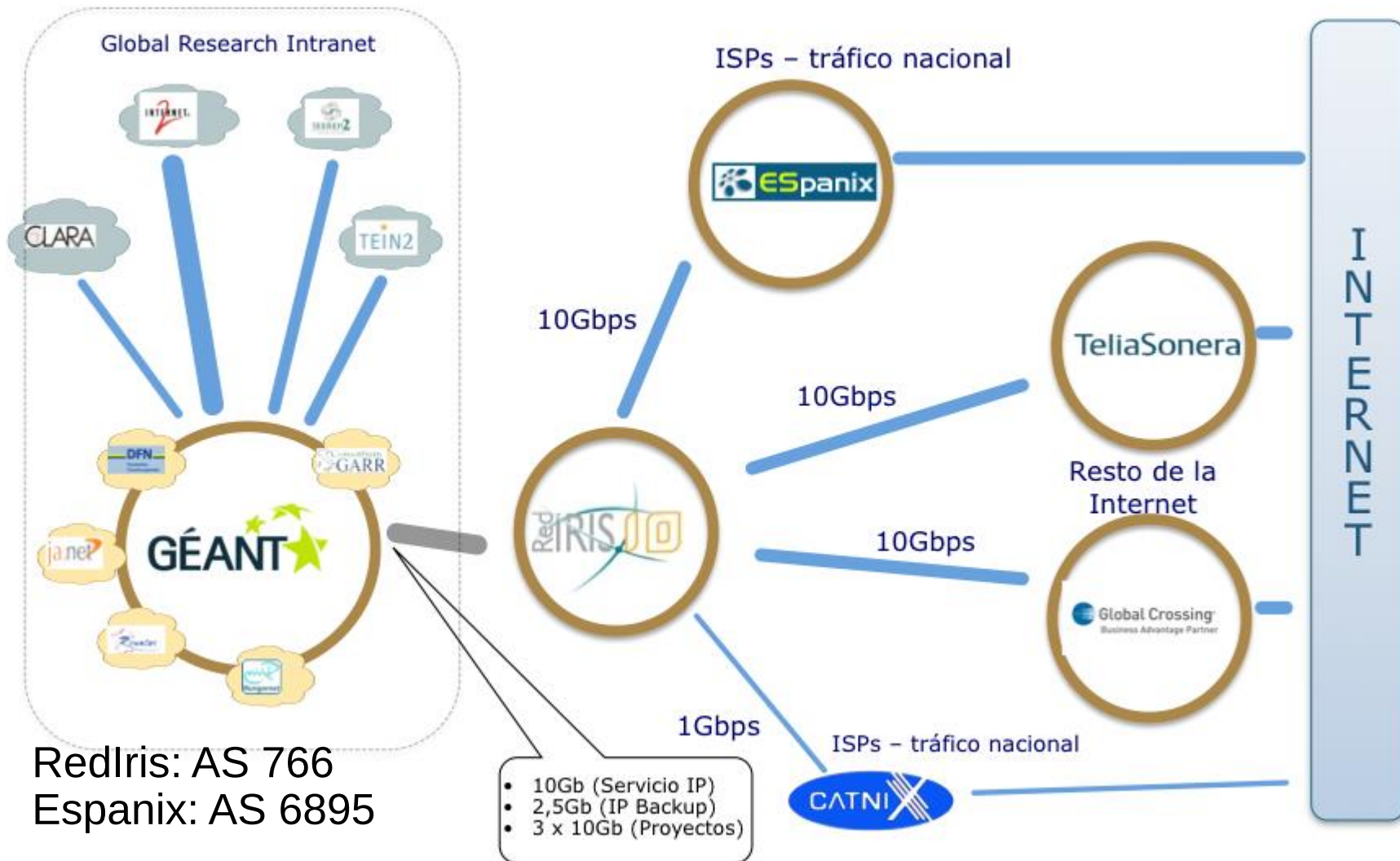
El *switch* principal dispone de un módulo de *switch* nivel 3 que permite realizar el encaminamiento entre las diferentes redes virtuales (VLAN) y desde donde se gestiona el acceso hacia/desde la Facultad del tráfico IP.

Conexión a Internet. RedIRIS-NOVA

Red óptica de alta capacidad de RedIRIS, que conecta las redes de todas las comunidades autónomas y los principales centros de investigación de España con el resto de redes académicas internacionales y en especial las redes académicas y de investigación portuguesa FCCN y la red de investigación europea GÉANT.



RedIris. Conectividad externa



RedIris. Conectividad externa

- RedIRIS forma parte de la red pan-europea de investigación GEANT.
- Interconexión con proveedores comerciales o ISPs.
 - A nivel nacional, con la conexión a dos puntos neutros: ESPANIX (en Madrid) y CATNIX (en Barcelona).
 - A nivel internacional, por medio de contratos con proveedores de tránsito de ámbito mundial.

RedIris: AS 766
Espanix: AS 6895

5.1 Estructura y Organización de Internet

- **ISPs**
 - Niveles jerárquicos
- **IXP**
 - Peering
- **Sistemas Autónomos (encaminamiento)**
 - IGP y EGP

Encaminamiento Dinámico

- El encaminamiento empleado en un Sistema Autónomo se basa en un **ENCAMINAMIENTO DINÁMICO o AUTOMÁTICO**
 - Utilizando un **PROTOCOLO INTERNO (IGP: Interior Gateway Protocol)** de distribución y actualización de información de encaminamiento IP
 - Y un **PROTOCOLO EXTERNO (EGP: Exterior Gateway Protocol)** de distribución y actualización de información de encaminamiento IP
 - **OBJETIVO: REALIZAR UNA CONFIGURACIÓN DINÁMICA o AUTOMÁTICA SIN PARAR NINGÚN ROUTER DE NINGÚN SISTEMA AUTÓNOMO (mediante una configuración manual)**
 - POSTERIORMENTE, una vez configuradas las Tablas IP de los correspondientes Routers se encamina el tráfico IP de la manera habitual mediante el protocolo IP

Protocolos de encaminamiento dinámico en Internet

■ Protocolos internos IGP (Interior Gateway Protocol)

➤ RIPv2 (Routing Information Protocol, RFC-2453): **IAB**

- ✓ **Protocolo estándar en Internet**
- ✓ Métrica basada en el nº de routers hasta llegar a un destino
- ✓ Algoritmo del Vector Distancia (Bellman-Ford-Fulkerson)

➤ IGRP (Internet Gateway Routing Protocol, www.cisco.com): **Cisco**

- ✓ Protocolo propietario de CISCO
- ✓ RIP mejorado con métricas más sofisticadas (capacidad, retardo, ...)
- ✓ Algoritmo del Vector Distancia (Bellman-Ford-Fulkerson)

➤ EIGRP (Enhanced IGRP, www.cisco.com): **Cisco**

- ✓ Protocolo propietario de CISCO
- ✓ IGRP mejorado
- ✓ Algoritmo del Vector Distancia (Bellman-Ford-Fulkerson)

➤ OSPFv2 (Open Shortest Path First Protocol, RFC-2328): **IAB**

- **Protocolo estándar en Internet**
- Métrica basada en la capacidad de los enlaces hasta llegar a un destino
- Algoritmo del Estado del Enlace (Dijkstra)

➤ IS-IS (Intermediate System to Intermediate System, ISO DP 10589, RFC-1195: *Use of OSI IS-IS for Routing in TCP/IP and Dual Environments*): **ISO**

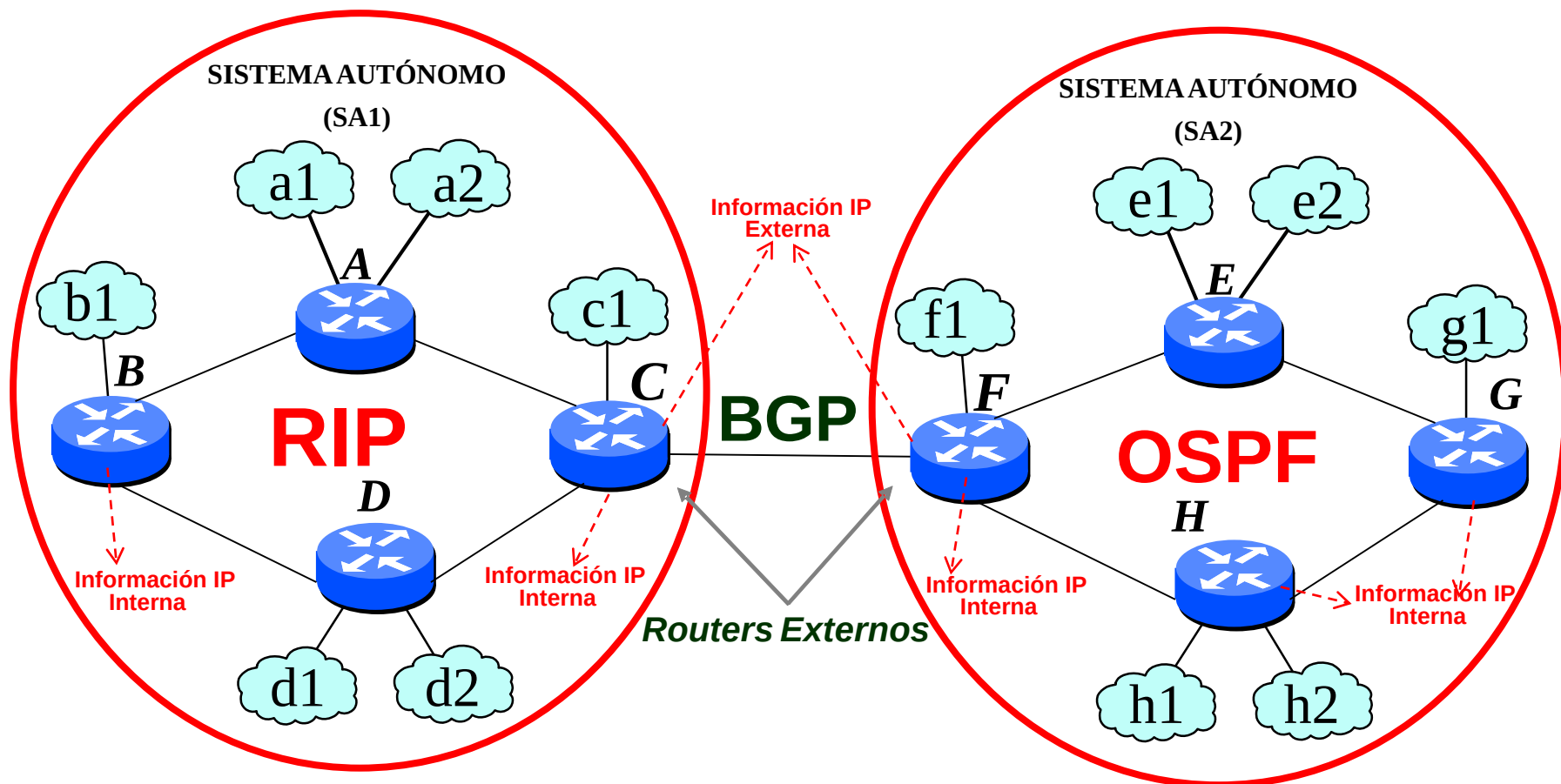
- Protocolo estándar no específico en Internet (protocolo de la arquitectura de comunicaciones OSI adaptado a TCP/IP)
- Algoritmo del Estado del Enlace (Dijkstra)

■ Protocolos externos EGP (Exterior Gateway Protocol)

➤ BGP-4 (Border Gateway Protocol 4, RFC-4271): **IAB** entre Sistemas Autónomos

- **Protocolo estándar en Internet**
- Métrica basada en el número de identificadores de SAs hasta llegar a un destino
- Algoritmo adaptado del Vector Distancia (Bellman-Ford-Fulkerson)

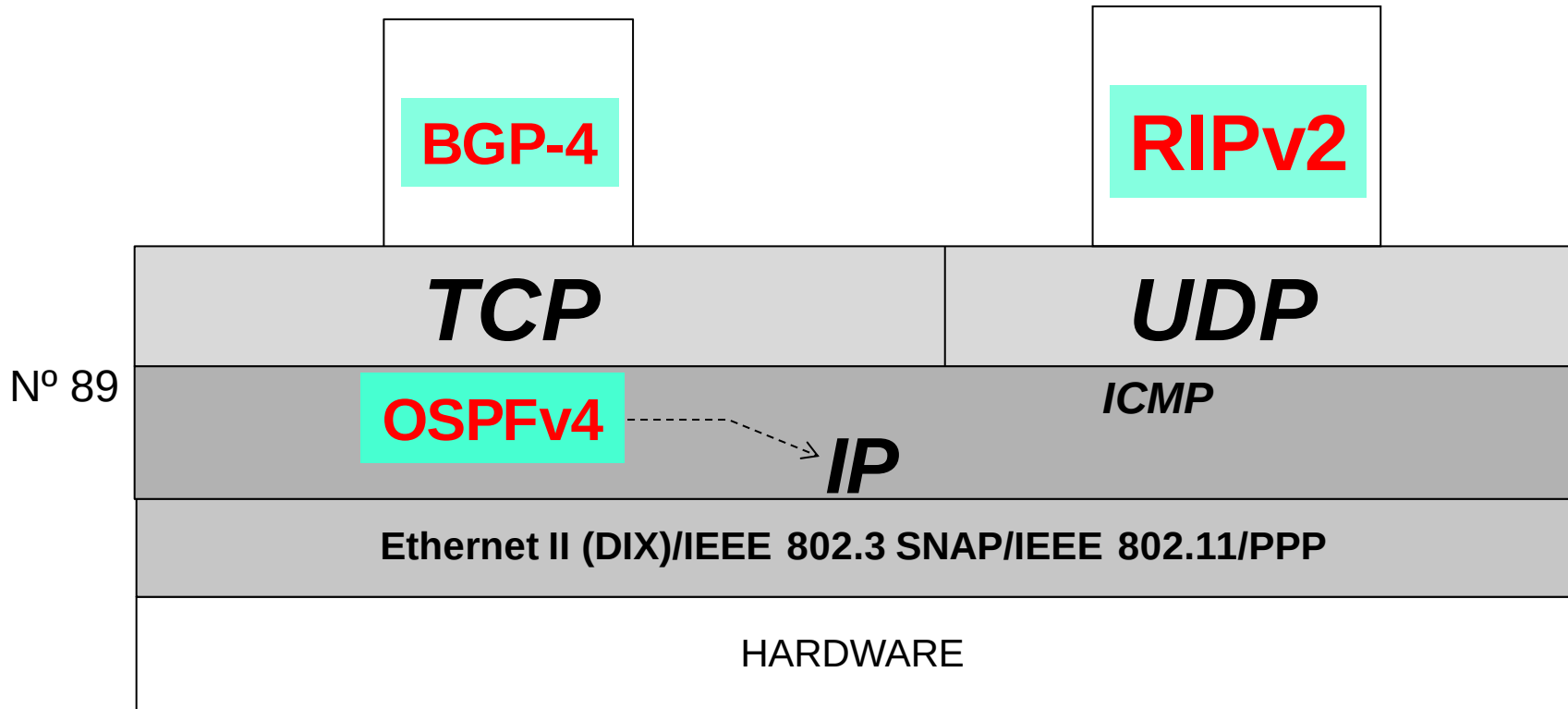
Ejemplo de Aplicación en 2 SAs de los PROTOCOLOS ESTÁNDARES DE ENCAMINAMIENTO DINÁMICO



ESTÁNDARES EN INTERNET

Protocolos de Encaminamiento Dinámico

ARQUITECTURA TCP/IP



ALGORITMOS DE ENCAMINAMIENTO DINÁMICO

1. Vector de Distancias (Bellman-Ford o Ford-Fulkerson) o Lista de Distancias 
2. Estado del Enlace (Dijkstra) o algoritmo SPF (Shortest Path First) o del Primer Camino más Corto

ALGORITMO DE ENCAMINAMIENTO DINÁMICO

1. Vector de Distancias (Bellman-Ford o Ford-Fulkerson) o Lista de Distancias

- ✓ Métrica (forma más básica y más usada) = número de encaminamientos o saltos o routers que hay que atravesar hasta llegar a un destino (p.ej., RIP o estándar en Internet para encaminamientos dinámicos usando el algoritmo del Vector de Distancias) pero se pueden usar otras medidas como el ancho de banda, la capacidad del enlace, retardos, paquetes encolados, etc., o una mezcla (p. ej., protocolos de CISCO)
- ✓ Métrica del enlace asocia un mismo coste a cada enlace (generalmente = 1 salto como RIP, cuando la métrica es el número de saltos, aunque el enlace sea una conexión telefónica o de fibra óptica o vía satélite)
- ✓ Métrica total a un destino = Coste total a un destino = DISTANCIA a un destino (métrica basada en el número de saltos) = SUMA MENOR de los costes de cada enlace (salto) hasta llegar al destino o número mínimo de saltos para llegar al destino

ACTUALIZACIÓN DINÁMICA DE LA TABLA DE ENCAMINAMIENTO DE UN ROUTER

- Aparición de un destino nuevo (red o máquina)
- **Eliminación de un destino** ya incluido en la tabla
- Aparece una **distancia más corta** (“*buenas noticias*”) a un destino a través de un router vecino ya incluido en la TABLA para dicho destino
- Aparece una **distancia más larga** (“*malas noticias*”) a un destino a través de un router vecino ya incluido en la TABLA para dicho destino (siempre y cuando no aparezca otra ruta más corta al mismo destino a través de otro router vecino diferente)

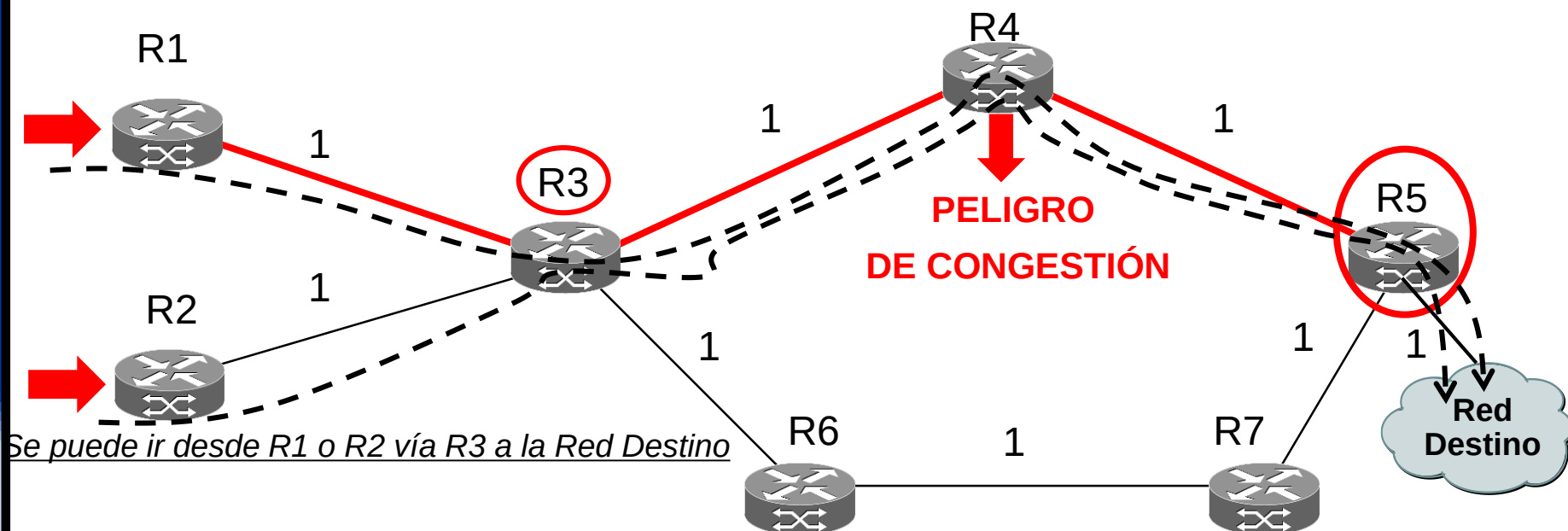
PROTOCOLO DE DISTRIBUCIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE ENCAMINAMIENTO ESPECÍFICO EN EL AMBIENTE INTERNET

Protocolo RIPv2 (Routing Information Control)

- Adaptación, por la Universidad de Berkeley para el Unix BSD, del XNS RIP de Xerox (*después se convirtió en el RFC 1058, RIPv2 = RFC-2453*)
- IGP estándar
- Vector de Distancias
 - ✓ Métrica basada en el número de saltos
 - ✓ Número total de saltos: Mínimo 1 (conexiones directas) y máximo 15
 - ✓ 16 saltos: Destino inalcanzable o “no puedo llegar hasta allí”
- UDP y puerto 520 (actualizaciones regulares)
- Difusión (broadcast) de TABLAS COMPLETAS entre routers vecinos cada 30 segundos
- Si en 180 segundos no hay noticias de un router vecino “A” se marcan todas las entradas aprendidas de “A” como inalcanzables (métrica = 16)
 - ✓ Si en 2 minutos no se descubre una nueva ruta a un destino marcado como inalcanzable su entrada se elimina (“recogida de basura”)
- Seguridad: Todos los intercambios entre routers están previamente autenticados
- Sencillo y disponible (se encuentra en cualquier Unix)
- Organizaciones con una topología simple, un número reducido de routers y poco tráfico
- Vía RIP, las rutas son fijas, por el número de saltos, y pueden producir sobrecargas de tráfico

LIMITACIONES DE RIP

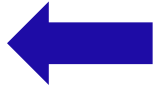
TOPOLOGÍA DEL “PROBLEMA DEL PEZ”



2 caminos alternativos desde R3 a la Red Destino: R3-R4-R5 (distancia = 3) y R3-R6-R7-R5 (distancia = 4)

- Se configura la Tabla IP de R3 con R4 como siguiente salto para llegar a la Red Destino con una Métrica de Distancia = 3
- Alto uso del camino R3-R4-R5 = Peligro de congestión y PÉRDIDA DE INFORMACIÓN
- Desaprovechado (sin tráfico) el camino R3-R6-R7-R5

ALGORITMOS DE ENCAMINAMIENTO DINÁMICO

1. Vector de Distancias (Bellman-Ford o Ford-Fulkerson) o Lista de Distancias
2. Estado del Enlace (Dijkstra) o algoritmo SPF (Shortest Path First) o del Primer Camino más Corto 

Estado del Enlace (Dijkstra) o Algoritmo SPF (Shortest Path First) o del Primer Camino más Corto

- **Métrica puede usar diferentes medidas** como el ancho de banda, la capacidad del enlace, retardos, longitud del enlace, paquetes encolados, etc., o una mezcla
- **Métrica del enlace asocia un mismo coste o diferente** (p.ej., costes más bajos a los enlaces de más alta capacidad: 1 a un enlace de 100 Gbps, 2 a otro de 50 Gbps, 3 a otro de 10 Gbps, etc.) **a cada enlace para calcular, posteriormente, la ruta de coste mínimo**
- **Métrica total a un destino = COSTE TOTAL a un destino = RUTA DE COSTE MÍNIMO a un destino = SUMA MENOR de los costes de cada enlace hasta llegar al destino**

ALGORITMO DE ENCAMINAMIENTO DINÁMICO

2. Estado del Enlace (Dijkstra) o algoritmo SPF (Shortest Path First) o del Primer Camino más Corto

✓ DESVENTAJA

✓ Protocolos más complejos y más complicados en su uso y configuración

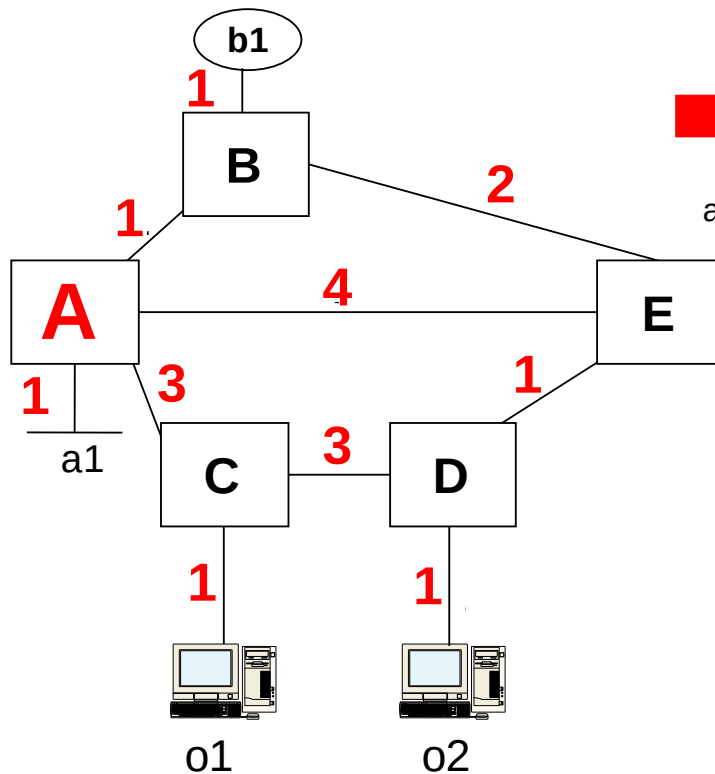
✓ VENTAJAS

✓ Mensajes intercambiados son, generalmente, cortos: Salvo en el inicio, cada router intercambia las actualizaciones puntuales de su TABLA DE ENCAMINAMIENTO

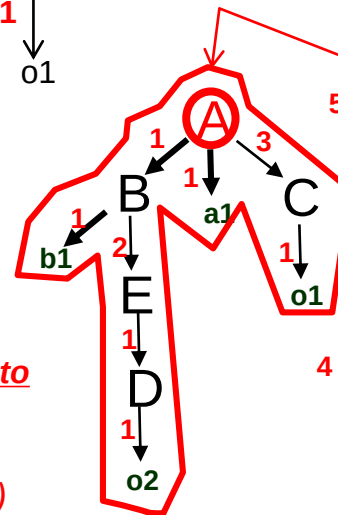
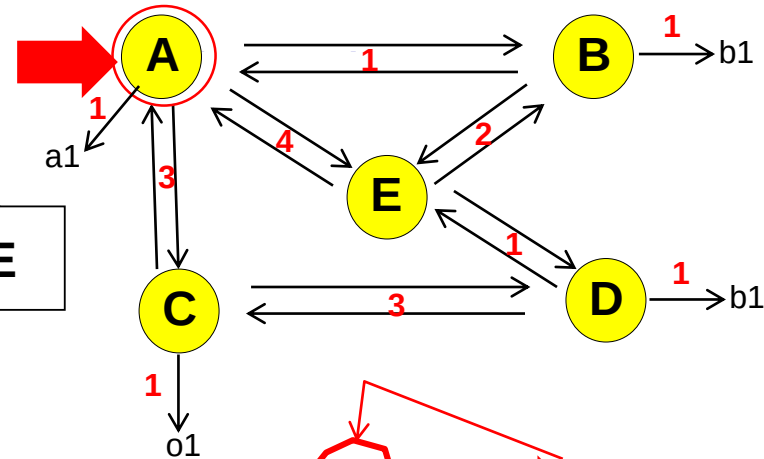
✓ TABLAS se actualizan más rápidamente = mensajes se difunden con rapidez = rutas se restablecen antes

1 ➡ Protocolo OSPFv4 (Open Shortest Path First)

2 ➡ Ejemplo de Estrategia Dinámica: Algoritmo ESTADO DEL ENLACE



MAPA TOPOLÓGICO



5 ➡ A partir del Subconjunto Óptimo (sólo para el router "A") del Árbol completo del SA desde "A" se actualiza su Tabla IP

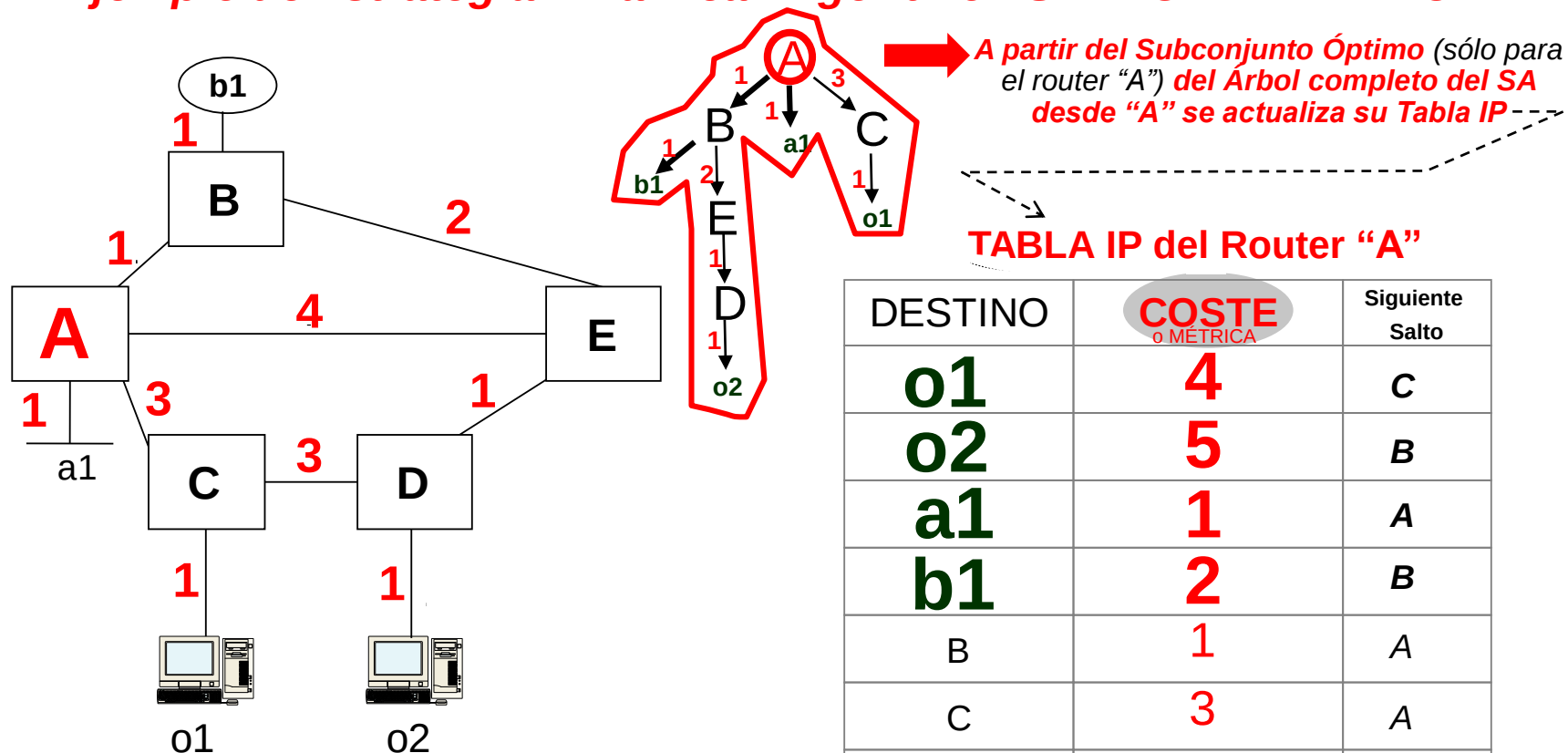
4 ➡ Un Router (nodo raíz) va creando, con toda la información que recibe de sus vecinos, la topología completa o el árbol completo del SA con todos los destinos y routers

3 ➡ Sistema Autónomo con un dominio de encaminamiento formado por 5 routers que hacen uso del protocolo de encaminamiento dinámico OSPF

Métrica del enlace = CAPACIDAD (retardo, ...)

Protocolo OSPFv4 (Open Shortest Path First)

Ejemplo de Estrategia Dinámica: Algoritmo ESTADO DEL ENLACE



Sistema Autónomo con **un dominio de encaminamiento** formado por **5 routers** que hacen uso del protocolo de encaminamiento dinámico OSPF

Métrica del enlace = CAPACIDAD (retardo, ...)

PROTOCOLO EGP

BGP-4 (Border Gateway Protocol 4)

- Desarrollado por el BGP Working Group del IETF: *RFC-4271*
 - ✓ *Use of BGP-4 Multiprotocol Extensions for IPv6 Inter-Domain Routing: RFC-2545*
- **EGP estándar obligatorio en Internet entre los SA**
- Protocolo de distribución y actualización de información de encaminamiento entre routers de SA diferentes
- **Vector de distancias**
 - ✓ *Pero la métrica no se basa en el número de saltos hasta llegar a un destino*
 - ✓ **Métrica = Número de identificadores de SA consecutivos hasta llegar al destino**
 - **Ruta más corta = Menor número de identificadores**
- **Un router BGP dispone de la topología completa o itinerario de SAs hacia un determinado destino**
 - ✓ **Cada router no sólo guarda el siguiente salto a un destino sino la ruta completa** (registro de la trayectoria seguida) evitando que se formen bucles (fácil detección de bucles: si un router externo recibe un aviso con su propio identificador no tiene más que eliminar dicha información)
- TCP y puerto 179
- §
- Seguridad: Autenticación

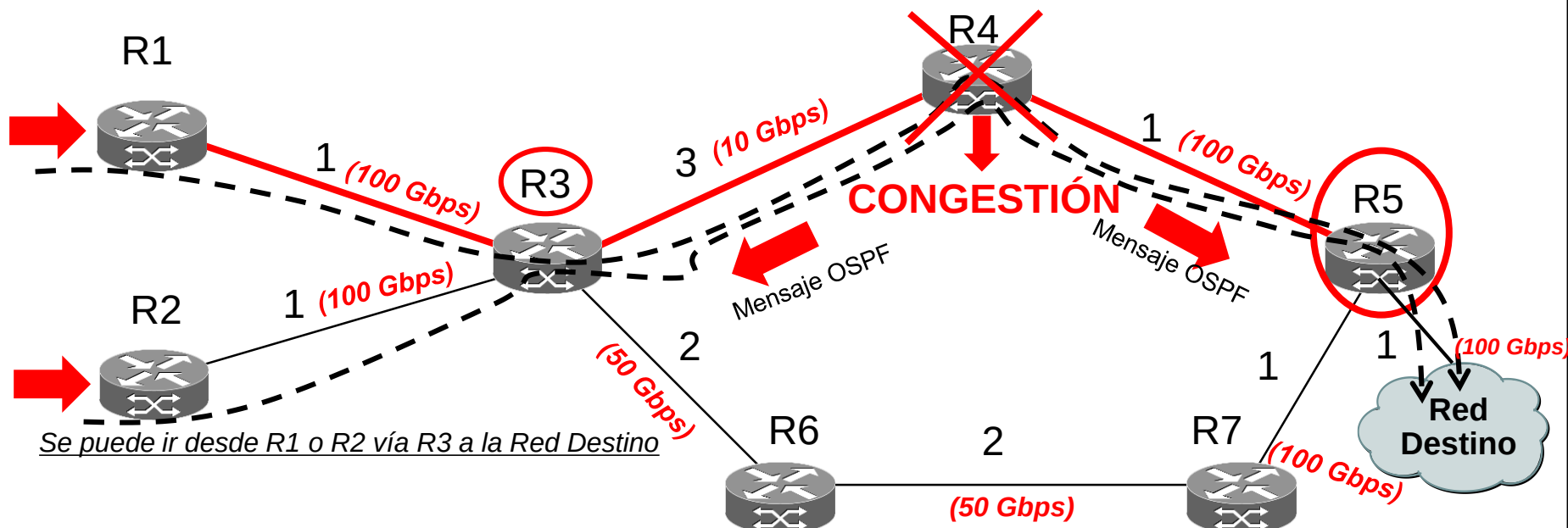
PROTOCOLO DE DISTRIBUCIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE ENCAMINAMIENTO ESPECÍFICO EN EL AMBIENTE INTERNET

Protocolo OSPFv4 (Open Shortest Path First)

- Desarrollado por el OSPF Working Group del IETF: *RFC-2328*
✓ *OSPF for IPv6: RFC-5340*
- IGP estándar
- Estado del Enlace
- Nivel de Red o IP (cabecera IP: tipo de protocolo = 89)
- Un router OSPF dispone, a través de mensajes OSPF, de la topología completa o itinerario completo de routers hacia un determinado destino
✓ A diferencia de RIP que en el mensaje sólo indica el siguiente salto, OSPF proporciona la ruta completa de routers hasta un destino
- Protocolo de encaminamiento dinámico para sistemas autónomos de todos los tamaños
- Baja sobrecarga mediante actualizaciones que informan de los cambios en lugar de todas las rutas de la tabla IP
- Vía OSPF permite a los routers cambiar dinámicamente las rutas en función de la sobrecarga de tráfico de éstas e incluso balancear o distribuir la carga de paquetes entre rutas alternativas a un mismo destino
- Seguridad (como RIPv2): Todos los intercambios entre routers están previamente autenticados

VENTAJAS DE OSPF

TOPOLOGÍA DEL “PROBLEMA DEL PEZ”



2 caminos alternativos desde R3 a la Red Destino:

R3-R4-R5 (coste = 5) y R3-R6-R7-R5 (coste = 6)

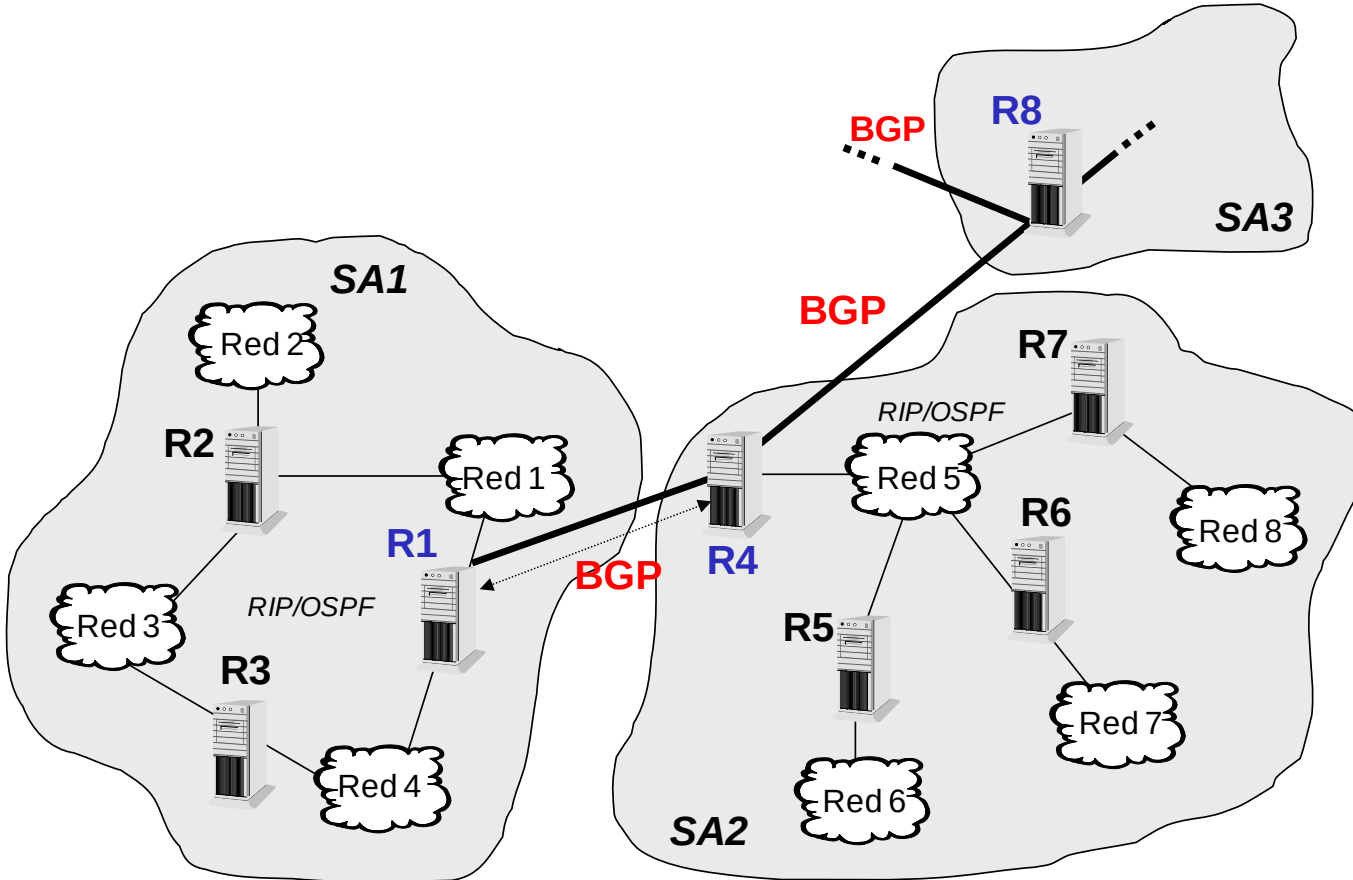
- Se configura la Tabla IP de R3 con R4 como siguiente salto para llegar a la Red Destino con una Métrica de Coste = 5
- **Alto uso del camino R3-R4-R5 = Peligro de congestión y PÉRDIDA DE INFORMACIÓN**
- **Cuando R4 se acerca a su umbral de congestión y, antes de perder paquetes IP avisa a sus Routers vecinos R3 y R5 mediante un mensaje OSPF de congestión**
- **Inmediatamente R3 (y R5 con R7), al recibir un mensaje OSPF de R6 a la Red Destino, actualiza la entrada de su Tabla IP con R6 como siguiente salto para llegar a la Red Destino con una Métrica de Coste = 6**

PROTOCOLO EGP

BGP-4 (Border Gateway Protocol 4)

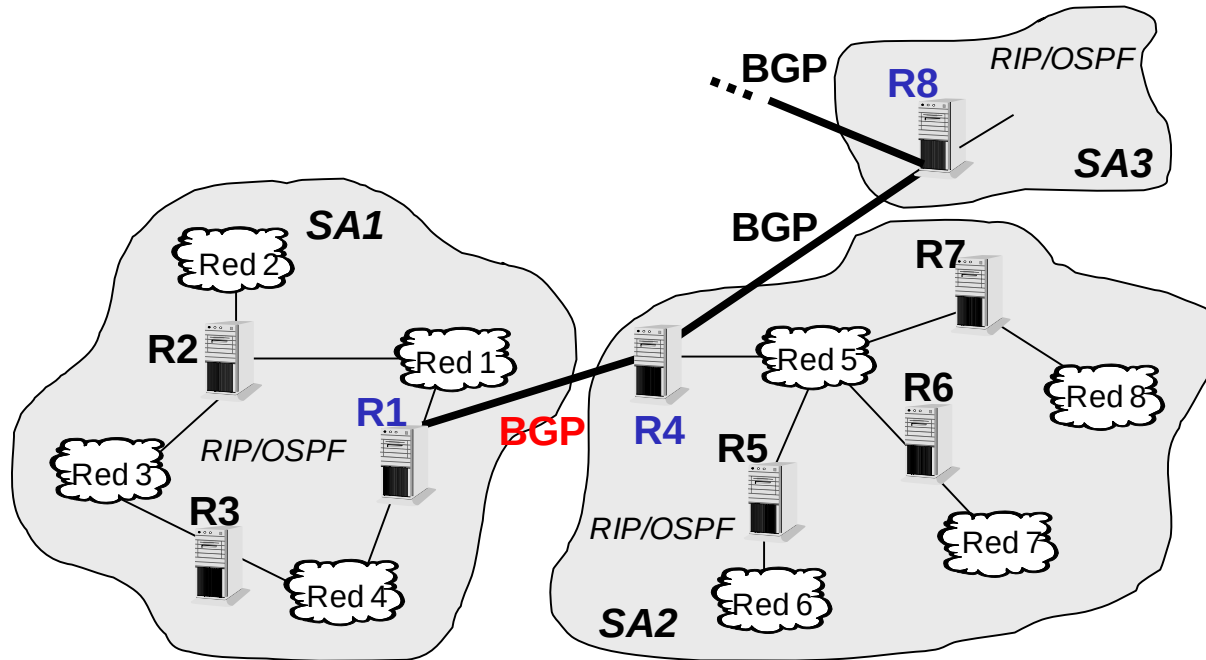
- Desarrollado por el BGP Working Group del IETF: *RFC-4271*
 - ✓ *Use of BGP-4 Multiprotocol Extensions for IPv6 Inter-Domain Routing: RFC-2545*
- **EGP estándar obligatorio en Internet entre los SA**
- Protocolo de distribución y actualización de información de encaminamiento entre routers de SA diferentes
- **Vector de distancias**
 - ✓ *Pero la métrica no se basa en el número de saltos hasta llegar a un destino*
 - ✓ **Métrica = Número de identificadores de SA consecutivos hasta llegar al destino**
 - **Ruta más corta = Menor número de identificadores**
- **Un router BGP dispone de la topología completa o itinerario de SAs hacia un determinado destino**
 - ✓ **Cada router no sólo guarda el siguiente salto a un destino sino la ruta completa** (registro de la trayectoria seguida) evitando que se formen bucles (fácil detección de bucles: si un router externo recibe un aviso con su propio identificador no tiene más que eliminar dicha información)
- TCP y puerto 179
- Soporte CIDR
- Seguridad: Autenticación

Ejemplo de Intercambio de Información de Encaminamiento entre Routers BGP



PROTOCOLO BGP

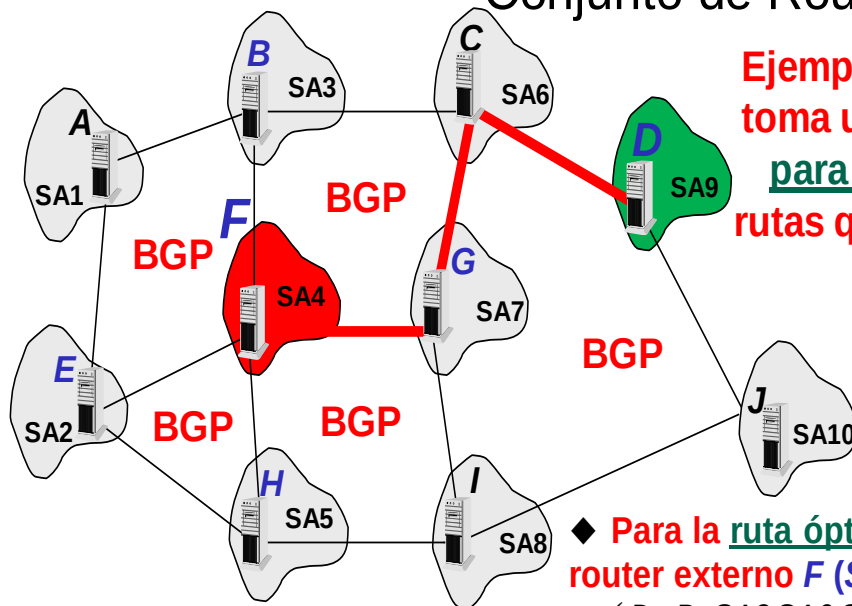
Intercambio de Información de Encaminamiento



- MENSAJE DE ACTUALIZACIÓN de R1 a R4**
- Camino_SA = **SA1**
 - Siguiente_Salto = **R1**
 - Destinos = **Red1 Red2 Red3 Red4**
- MENSAJE DE ACTUALIZACIÓN de R4 a R8**
- Camino_SA = **SA2, SA1**
 - Siguiente_Salto = **R4**
 - Destinos = **Red1 Red2 Red3 Red4**

PROTOCOLO BGP

Conjunto de Routers BGP



Ejemplo de cómo el **router externo "F"** toma una decisión de encaminamiento para llegar al **SA9** en función de las rutas que le indican sus routers vecinos "B", "G", "H" y "E"

◆ Para la ruta óptima **SA4 SA7 SA6 SA9 (FGCD)**, el router externo **F (SA4)** recibe de sus vecinos:

- ✓ De B: SA3 SA6 **SA9**
- ✓ De G: SA7 SA6 **SA9**
- ✓ De H: SA5 **SA4** SA7 SA6 **SA9** (ruta descartada al pasar a través de SA4)
- ✓ De E: SA2 **SA4** SA7 SA6 **SA9** (ruta descartada al pasar a través de SA4)

LA DECISIÓN CONSISTIRÁ EN PASAR POR **SA3** (SA3 SA6 SA9) o **SA7** (SA7 SA6 SA9) DEPENDIENDO DE LA POLÍTICA DE ENCAMINAMIENTO

Aunque a primera vista parezca ilógica una ruta, razones económicas, acuerdos políticos, de velocidad, dimensionamiento o capacidad del enlace, obligan frecuentemente a establecer una preferencia

5. Redes de Área Extensa e Internet

5.1 Estructura y Organización de Internet

5.2 Redes WAN.

5.3 Técnicas de Conmutación. Ejemplos de redes

5.3 Tecnologías de Acceso a Internet

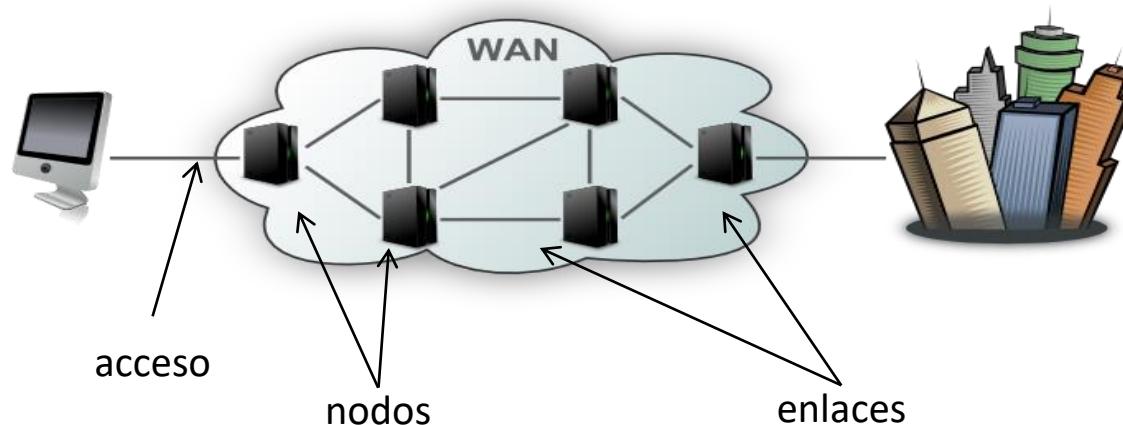
5.2 Redes WAN (Wide Area Network)

- Elementos constituyentes
- Funcionalidades

Redes WAN

Su finalidad es la provisión de servicios de comunicaciones

- Una red conmutada está formada por:
 - ✓ **medios de transmisión de acceso**
 - ✓ **nodos de conmutación**
 - ✓ **enlaces de comunicación entre los nodos**



Elementos constituyentes

➤ Medios de transmisión de acceso

- Cable de pares
- Cable coaxial
- Fibra óptica
- Radiofrecuencias

➤ Nodos de conmutación. Tecnologías

- Circuitos
- Paquetes
- Tramas

➤ Enlaces.

- Medios de transmisión
 - ✓ F.O, Satélites, Radioenlaces
- Sistemas de transmisión. Multiplexación
 - ✓ Jerarquía MIC
 - ✓ Jerarquía Digital Síncrona
 - ✓ Sistemas DWDM
- Ethernet

Servicios de Comunicaciones

➤ Sector residencial

- Telefonía (Fija, Móvil)
- Acceso a Internet
- Tv de pago

➤ Empresas

- Circuitos alquilados
- Red Privada Virtual
 - Telefonía
 - Videoconferencias
 - Datos corporativos
 - Mensajería electrónica
- Acceso a Internet

Funcionalidades

- **Direccionamiento**
- **Escalabilidad**
- **Protección y restauración de rutas**
- ***Calidad de servicio***
- **Diseño de red**

Direccionamiento

El direccionamiento consiste en un esquema o mecanismo para identificar a cada terminal que se conecta a la red de forma unívoca. En cada tecnología existe un mecanismo distinto para asignar **direcciones de red**

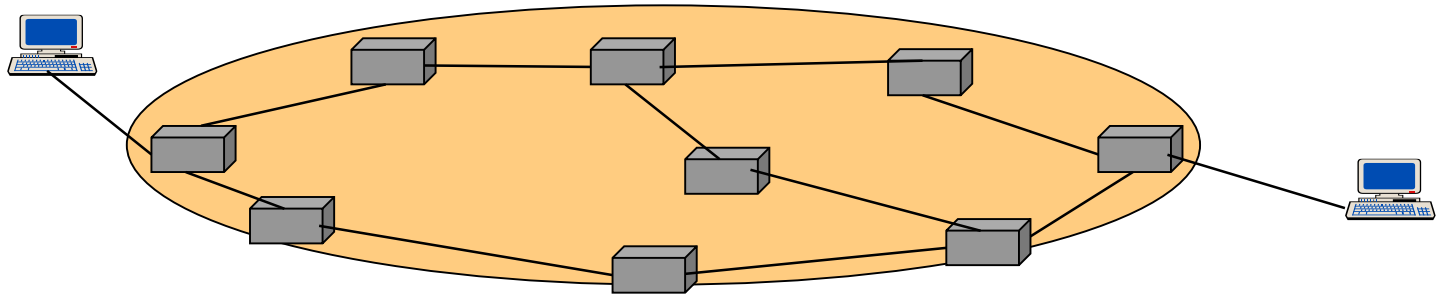
Escalabilidad

Facilidad para soportar el crecimiento sin tener que realizar cambios en su infraestructura

- N° de clientes
 - ✓ Su crecimiento debe afectar solamente al nivel de acceso
- Distribución geográfica
 - ✓ La dispersión de los clientes debe afectar solamente al nivel de acceso

Restauración y Protección de rutas

Los fallos en los nodos de conmutación y/o en los enlaces de transmisión provocan la interrupción de las comunicaciones (servicios de la red).



Restauración: Construcción de nueva ruta en tiempo real, al producirse el fallo

- Diseño original de Internet

Protección: Disponibilidad de rutas de *backup* y procedimientos de restauración en caso de fallos

- Comunicaciones en tiempo real: mseg
- Comunicaciones de datos: seg

Diseño de red

➤ Planificación de red

Se refiere al diseño de la red necesaria para manejar un determinado tráfico.

- ✓ Cálculo de nodos
- ✓ Dimensionamiento de enlaces

➤ Ingeniería de tráfico

- Distribución del tráfico por la topología de la red
- Dada una topología fija y una matriz de tráfico, calcular el conjunto de rutas explícitas que ofrecen las mejores prestaciones globales de la red

➤ *Control de congestión*

La demanda conjunta de los caudales de los clientes excede la capacidad disponible en los nodos y enlaces de la red.

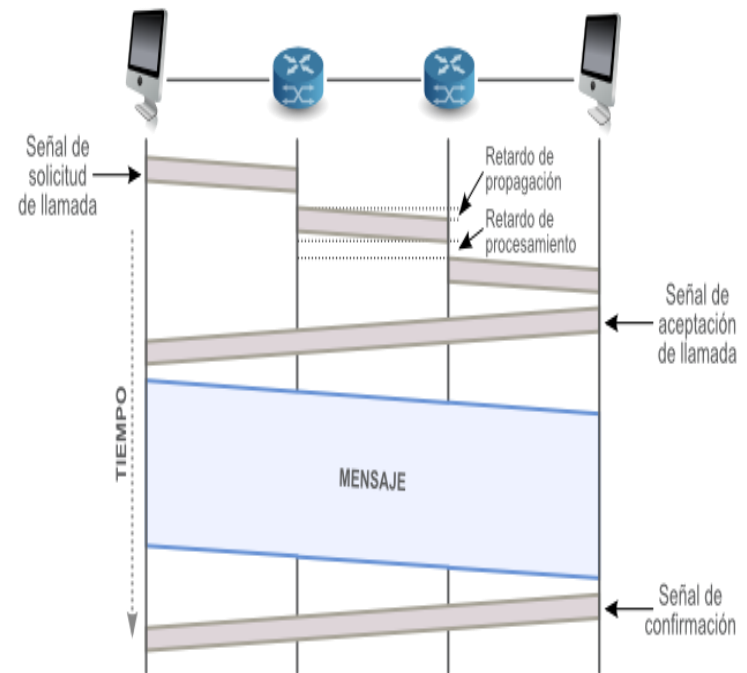
5.2 Técnicas de Conmutación

- Conmutación de circuitos
- Conmutación de paquetes
- Conmutación de tramas

Conmutación de Circuitos

Fases

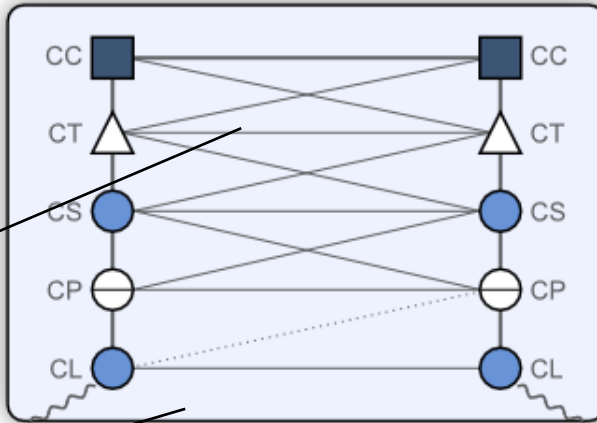
1. **Establecimiento de llamada:** Un terminal solicita el establecimiento del camino hasta otro terminal. El primer nodo reserva uno de sus canales para la comunicación y manda la solicitud al siguiente nodo, teniendo en cuenta las políticas de encaminamiento de la red; esta fase termina cuando se reserva en exclusiva un canal de comunicaciones entre ambos terminales.
2. **Transferencia de información:** En esta fase se realiza intercambio de información entre los dos terminales
3. **Liberación de la llamada:** En esta fase los terminales (uno de ellos) indican que ya han terminado su comunicación. Los nodos liberan el canal que estaba reservado.



Ejemplo de red WAN de conmutación de circuitos

Red Telefónica

Enlaces y
Sistemas de
transmisión



Nodos de conmutación

- CL: Central local
- CP: Central Primaria: tránsito; CS; CT; CC,



Acceso:

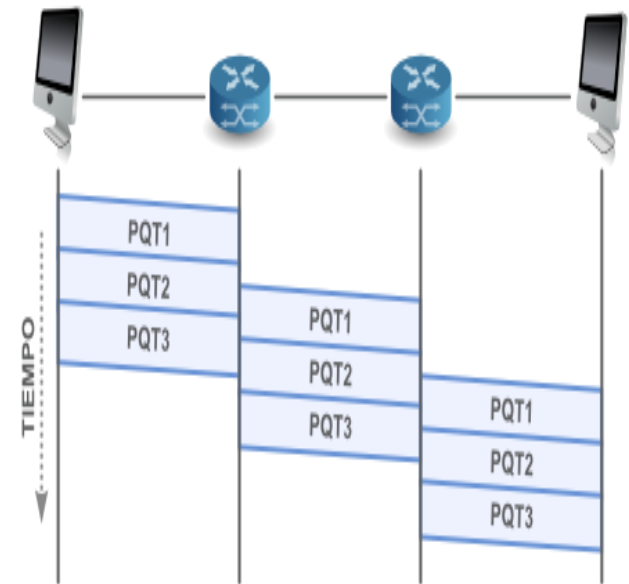
- **Analógico (4 kHz): Redes telefónicas convencionales**
 - La voz se transmite directamente en banda base de forma analógica. La señal producida por el micrófono se transmite directamente por el cable de pares.
- **Digital: en las líneas RDSI (Red Digital de Servicios Integrados)**
 - 2 canales B (64 Kbit/seg) y un canal D (16 Kbit/seg): $V_t = 192$ Kbit/s con señales de 4 estados

Conmutación de Paquetes

- La información a transmitir por el equipo terminal se descompone en unidades mínimas llamadas **paquetes**, de longitud prefijada.
- Cada uno de los paquetes contiene una parte de los datos de usuario además de información de control necesaria para el adecuado funcionamiento en la red

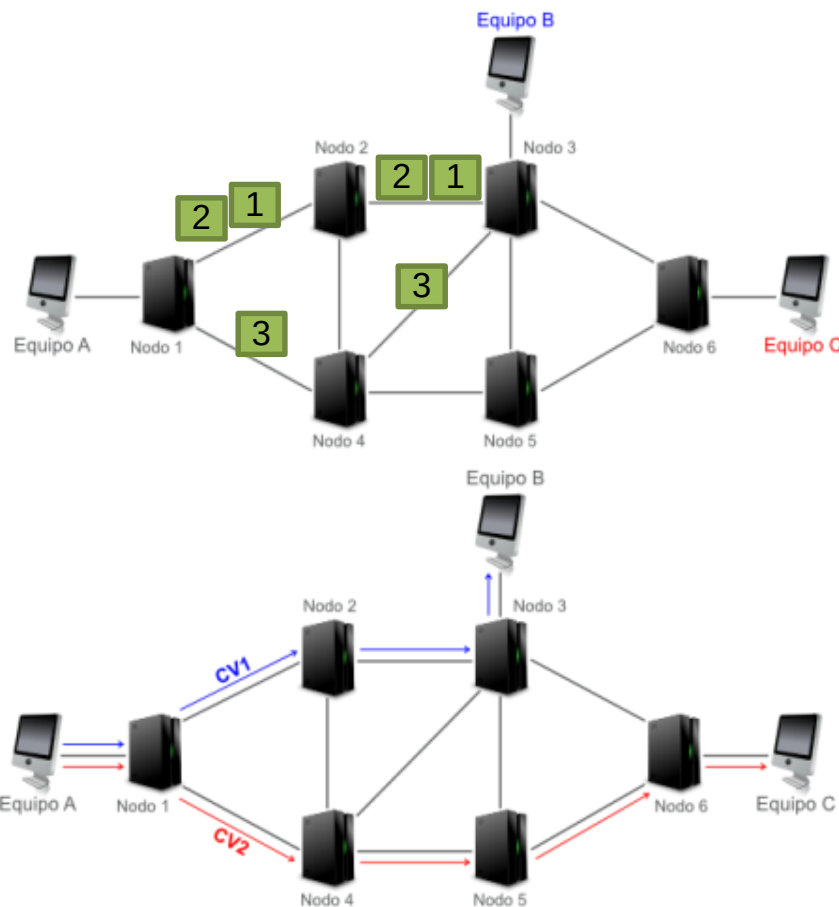
Paquete = Datos Usuario + Información Control

- Los nodos de la red reciben un paquete, lo procesan y lo **encaminan** hacia destino.
- No hay reserva de recursos, los recursos se asignan bajo demanda



Conmutación de Paquetes: Datagramas / Circuitos Virtuales

- **Datagramas:** cada paquete se encamina de forma independiente en los nodos de la red de acuerdo a la tabla de encaminamiento. Solo existe fase de transferencia de datos.
- **Circuitos Virtuales:** Se establece un trayecto en la red:
 - Mediante paquetes de control que envía el emisor
 - Se establece previamente mediante protocolos específicos.
 - Los paquetes de datos no tienen que ser encaminados ya que siguen el trayecto establecido.



Redes de conmutación de paquetes

Parámetros de QoS

➤ Latencia o retardo

- Tiempo de transferencia en la red

➤ Jitter

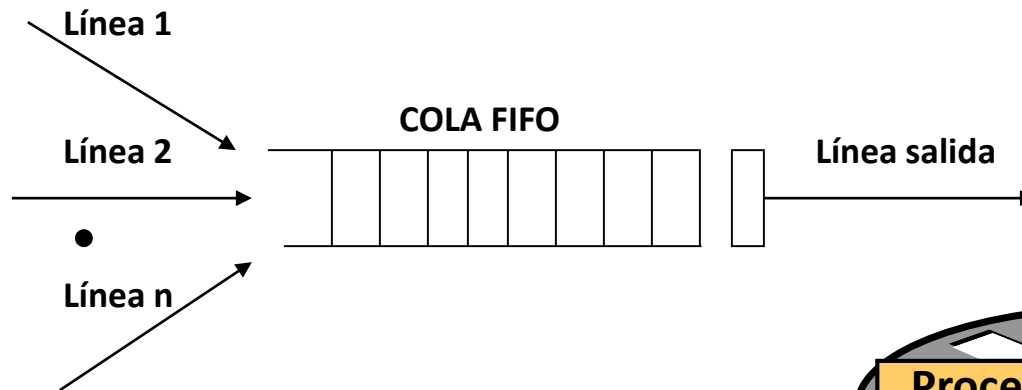
- Fluctuaciones del retardo (muy importante en servicios de comunicaciones de tiempo real)

➤ Pérdida

- Porcentaje de datagramas que no llegan al destino en un intervalo determinado (probabilidad de pérdida)

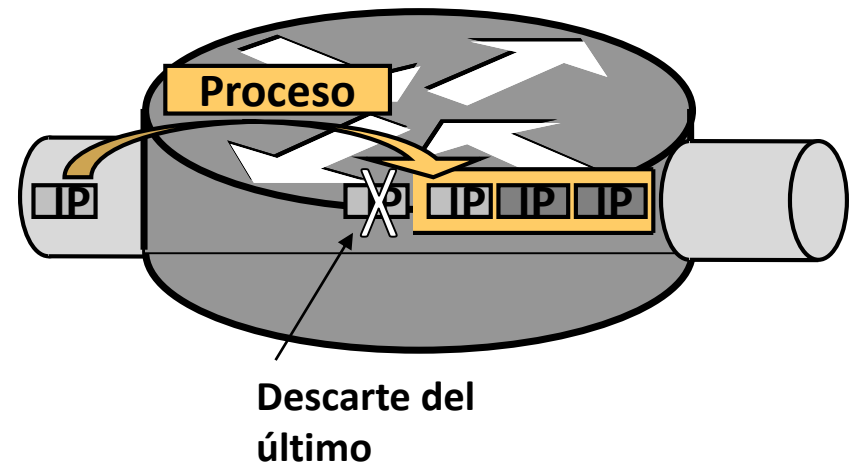
Servicio “best effort”

- **Servicio** (planificador): FIFO para cada línea de salida



Características

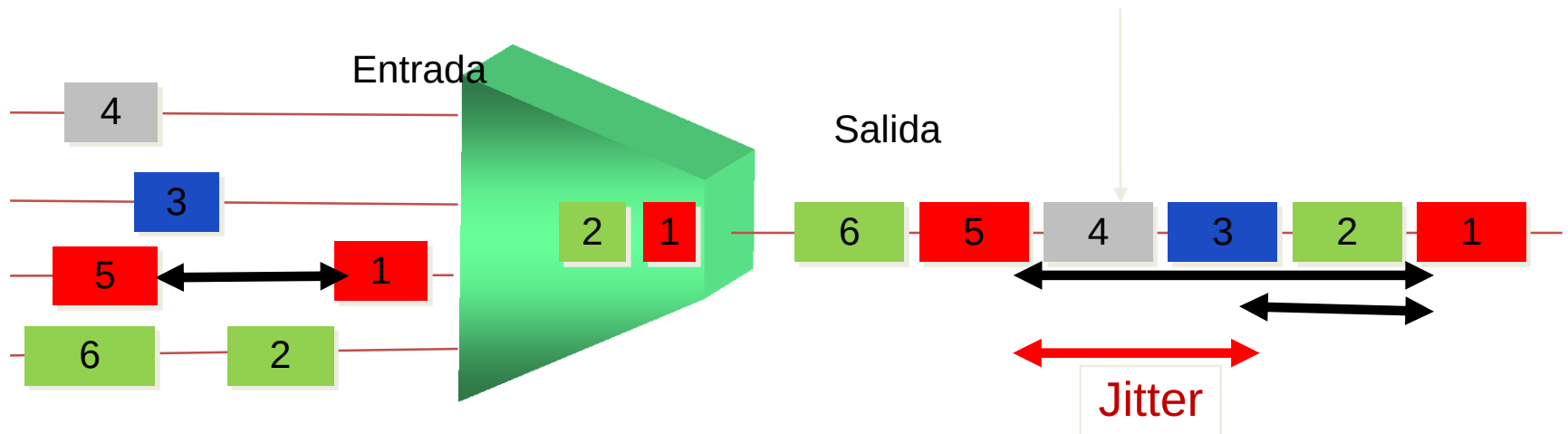
- No garantiza el retardo máximo en la entrega
- Retardos de transferencia variables (Jitter)
- Pierde datagramas (memoria de buffers llena)
- No garantiza un caudal a cada flujo



Efecto de una cola FIFO

➤ Ristra de paquetes:

- Retardo
- Jitter



Congestión

La demanda conjunta de los caudales de los clientes excede la capacidad disponible en los nodos y enlaces de la red.

➤ ¿Cómo se manifiesta?

➤ Redes de conmutación de circuitos:

✓ No se pueden establecer comunicaciones

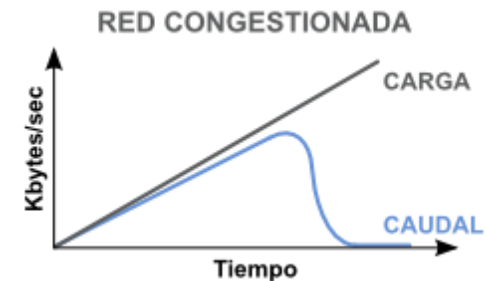
➤ Redes de conmutación de paquetes

✓ Degradación de las prestaciones

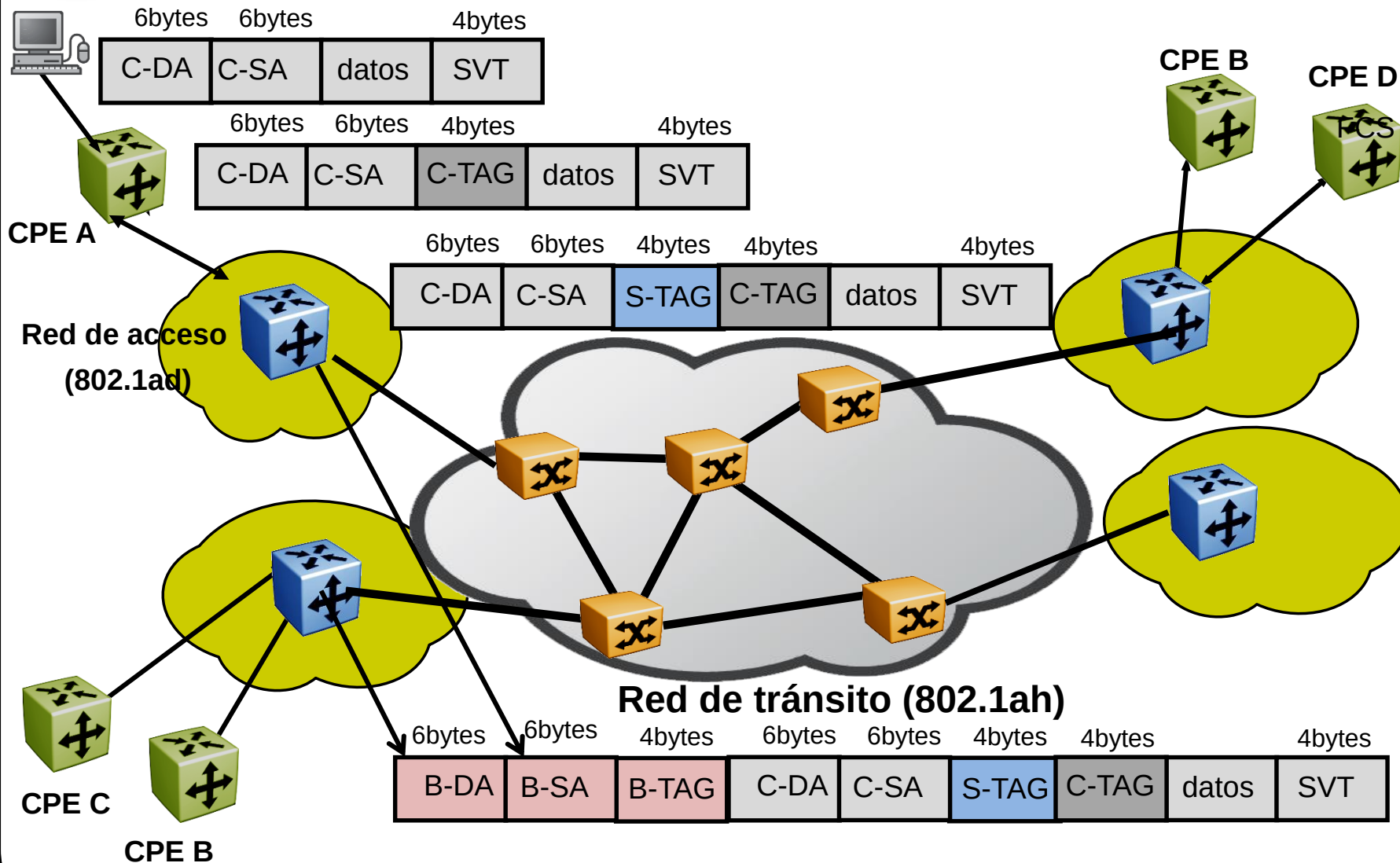
✓ Pérdida de múltiples paquetes

✓ Retardos de transferencia elevados

✓ Bajo caudal cursado por la red



Modelo de red WAN Ethernet



- Los Operadores están implementando redes con esta tecnología

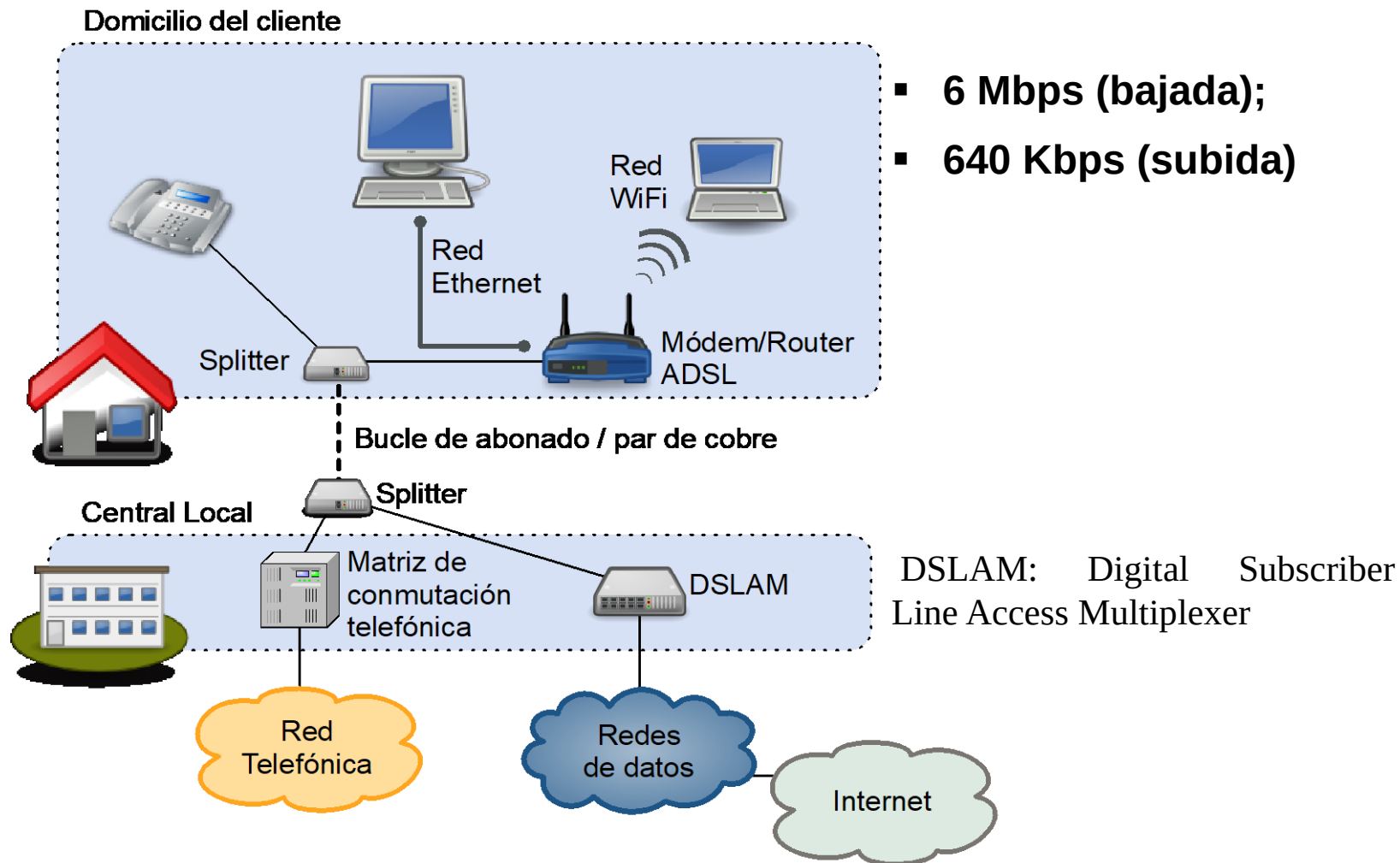
WAN e Internet

5.3 Tecnologías de acceso a Internet

- ADSL
- Fibra Óptica: FTTH y HFC
- Redes Móviles: GPRS, 3G, 3,5G y 4G
- Wifi
- Satélite

Redes de acceso

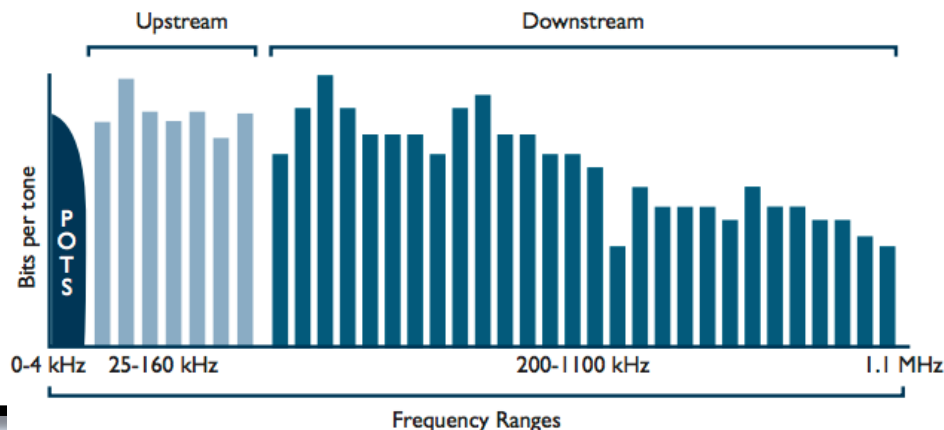
Acceso ADSL (Línea de abonado digital asimétrica)



ADSL

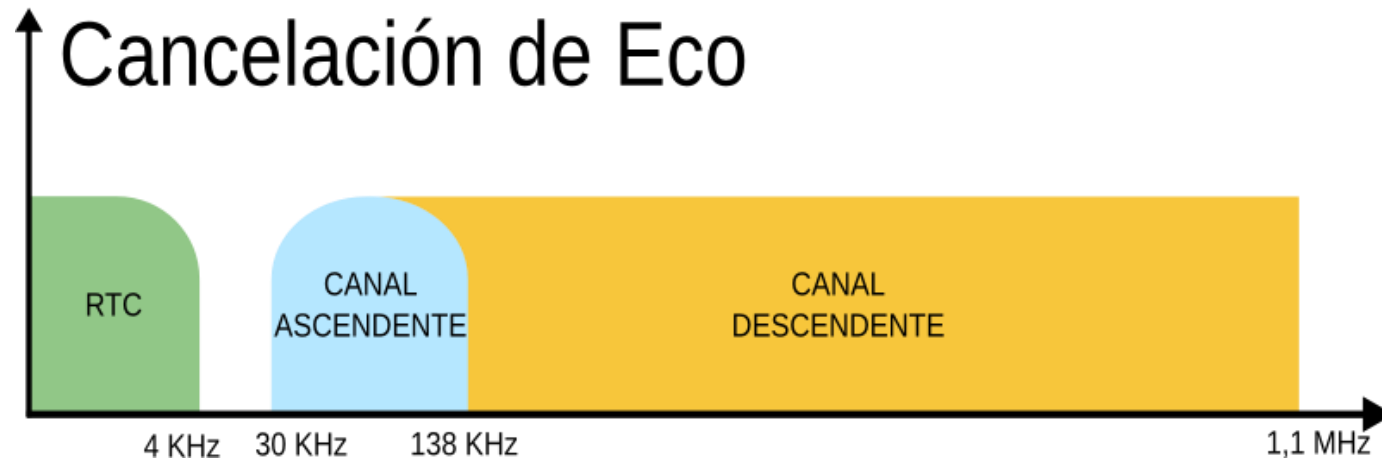
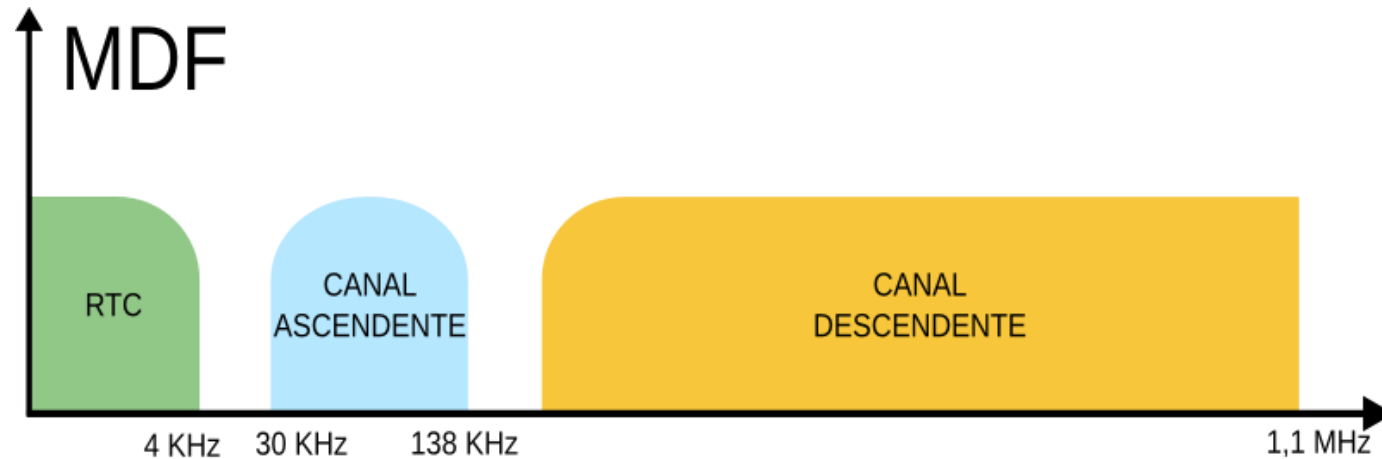
Fundamentos tecnológicos

- La tecnología ADSL ofrece servicios de banda ancha sobre bucles de abonado, considerando el espectro de 1,104 MHz y hasta **6 Km**
- Modulación **DMT** (Discrete Multi Tone)
 - Divide los 1.1 MHz disponibles del espectro del bucle de abonado en 256 bandas independientes de 4 KHz (subportadoras separadas 4,3125 kHz). Ancho de banda de 4 kHz.
 - ✓ La banda 0 se utiliza para RTC
 - ✓ Las bandas 1-5 no se utilizan para evitar interferencias entre voz y datos.
 - ✓ Las 250 bandas restantes (6 a 255) se utilizan para los datos de usuario.
 - Cada portadora se modula en cuadratura (QAM) a 4.000 baudios.
 - La calidad de la línea se monitoriza constantemente para adaptar las portadoras a las características de la misma.
 - ✓ Se pueden utilizar hasta un máximo de 15 bits por símbolo dependiendo de la S/R
- Servicios típicos comercializados:
 - 6 Mbps (bajada)- 640 Kbps (subida)



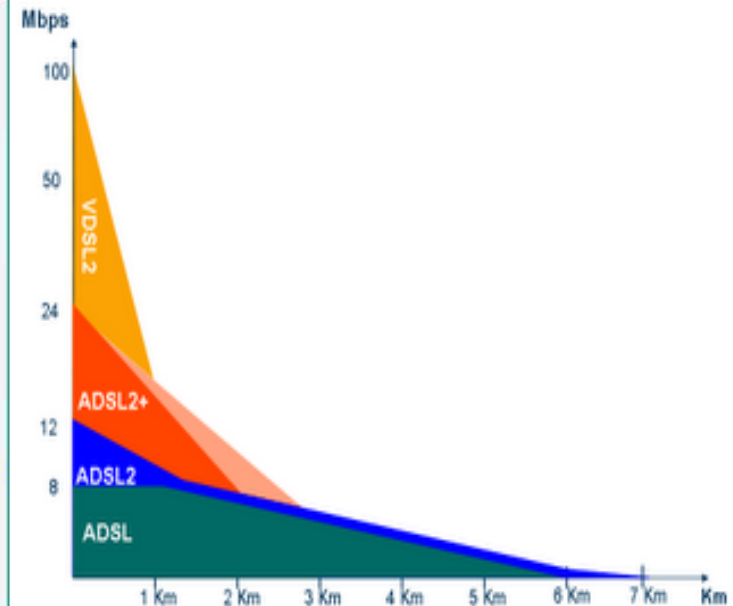
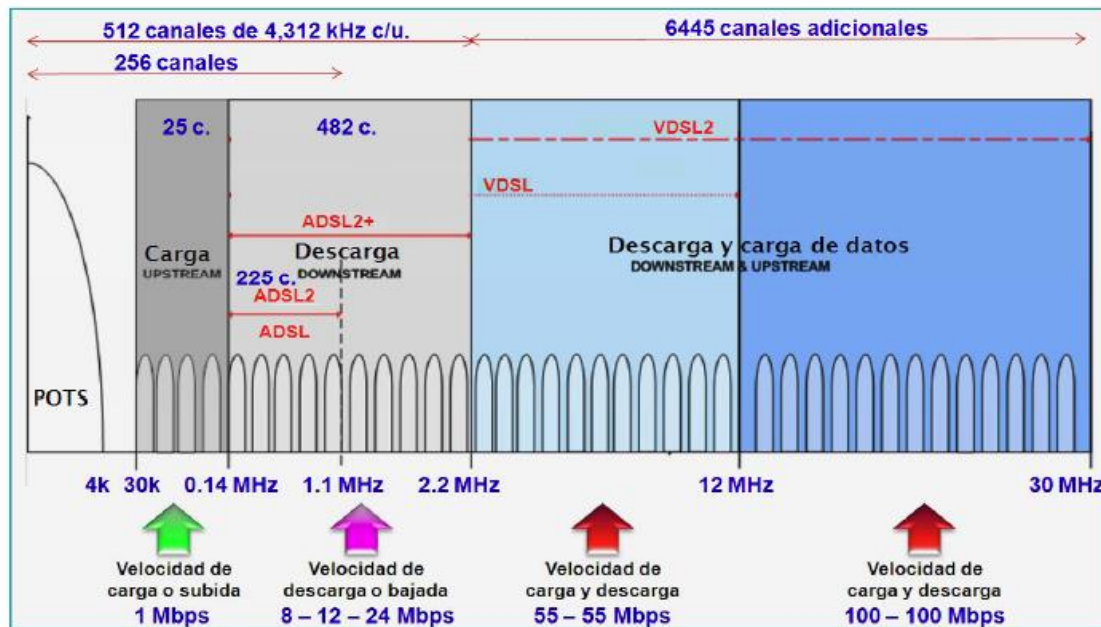
ADSL

Separación de canales

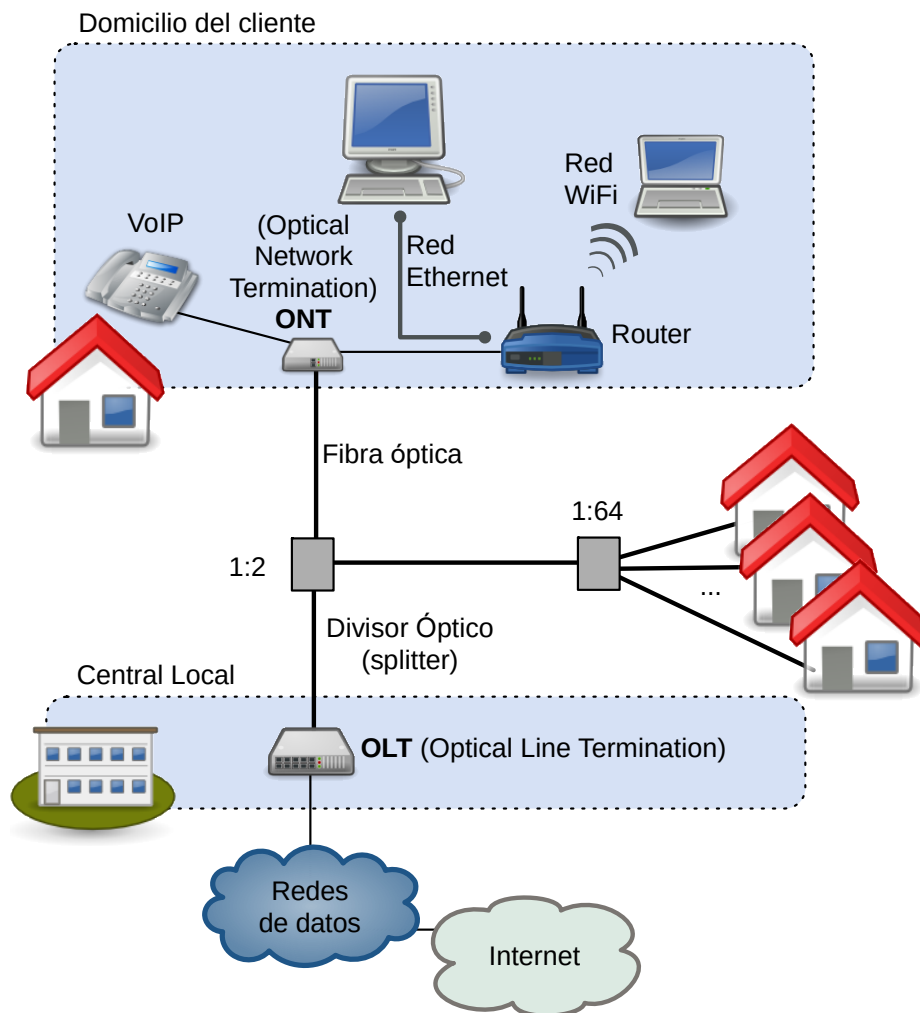


Tecnologías ADSL y VDSL

- **ADSL2:** Se utiliza la banda vocal para datos. Mejoras en la modulación que permiten aumentar la velocidad de bajada hasta 12 Mbps.
- **ADSL2+.** Aumento del espectro hasta 2,2 MHz (1,5 Km-2,5 Km). Velocidades de bajada hasta **24 Mbps**. Servicios típicos comercializados: **ADSL 10 Mbps (bajada)- 820 Kbps (subida)**
- **VDSL:** Aumento del espectro hasta 12 MHz (300m). Velocidades de 50 Mbps(B)-16 Mbps (S).
- **VDSL2:** Aumento del espectro hasta 30 MHz (300 m). Velocidad máxima 200 **Mbps**
 - Utilización de Ethernet en vez de ATM
 - Posibilidad de utilizar bandas de 8,6125 KHz (8 Kbaudios) en la banda alta



Accesos Fibra Óptica: FTTH (*Fibber to the home*)



ONT y OLT son elementos pasivos

Ofertas comerciales:

- Movistar, Orange y Vodafone: 50/5; 100/10; 200/20; 300/30 Mbps y 300/300 Mbps; Adamo 1000/200 Mbps

FTTH: (*Fibber to the home*)

Existen dos tipos de redes FTTH, según la forma de distribuir la fibra entre los múltiples domicilios de los usuarios

➤ Redes ópticas activas (**AON**, Active Optical Networks)

La fibra se distribuye entre los distintos usuarios mediante un dispositivo de conmutación (switch Ethernet o router)

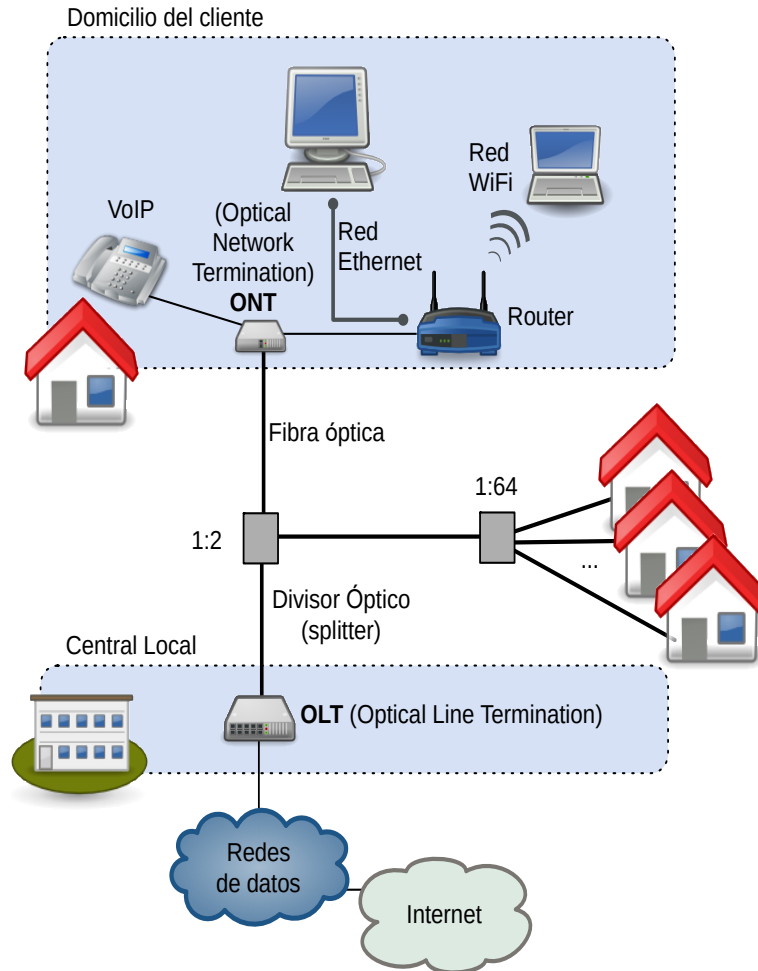
➤ **Redes ópticas pasivas (PON, Pasive Optical Networks)**

La fibra se distribuye entre los distintos usuarios mediante un **distribuidor óptico pasivo** (splitter).

GPON (Gigabit PON)

Accesos Fibra Óptica

FTTH (*Fibber to the home*):

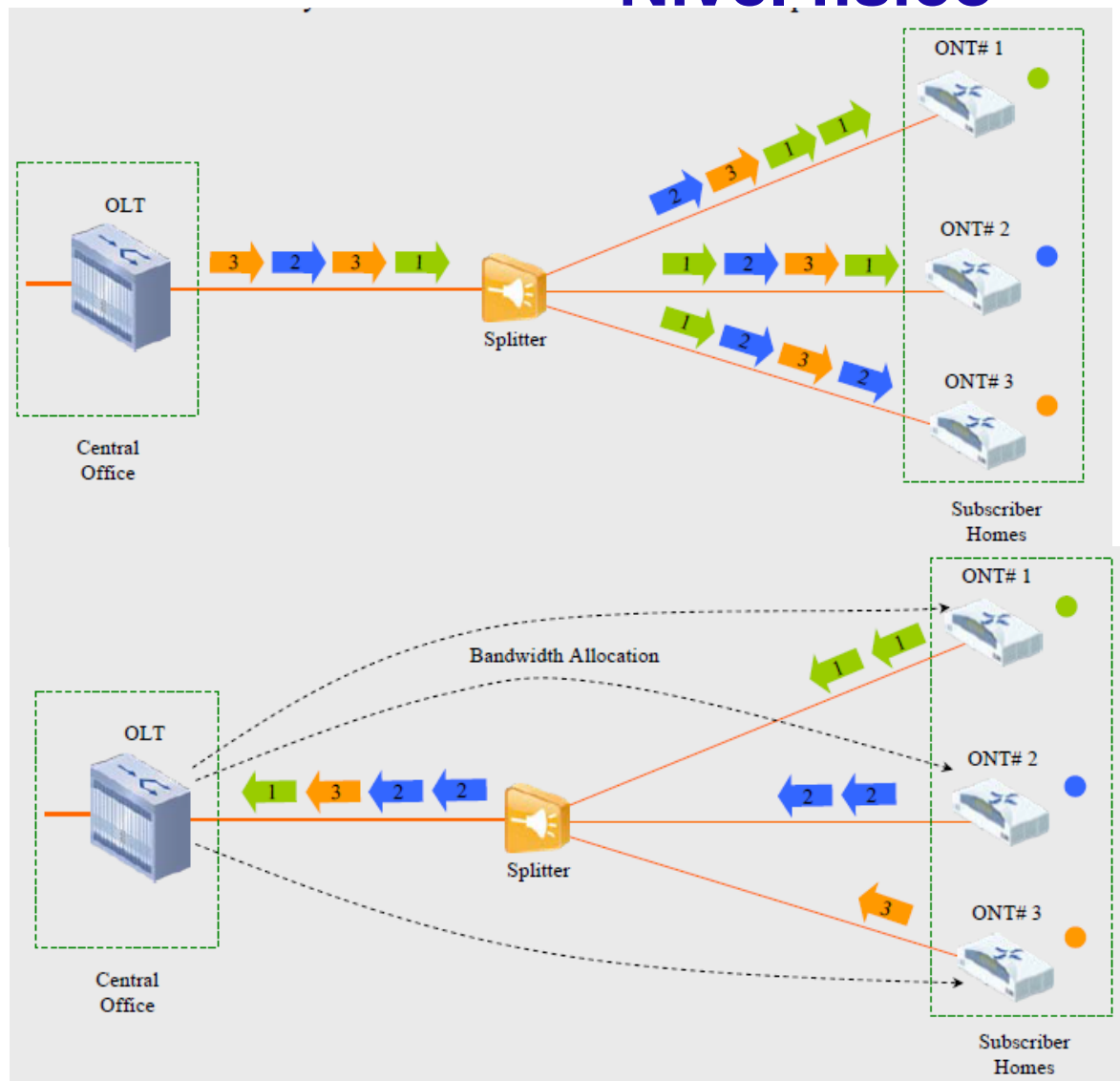


ONT y OLT son elementos pasivos

Ofertas comerciales:

- Movistar, Orange y Vodafone: 50/5; 100/10; 200/20; 300/30 Mbps y 300/300 Mbps

Nivel físico

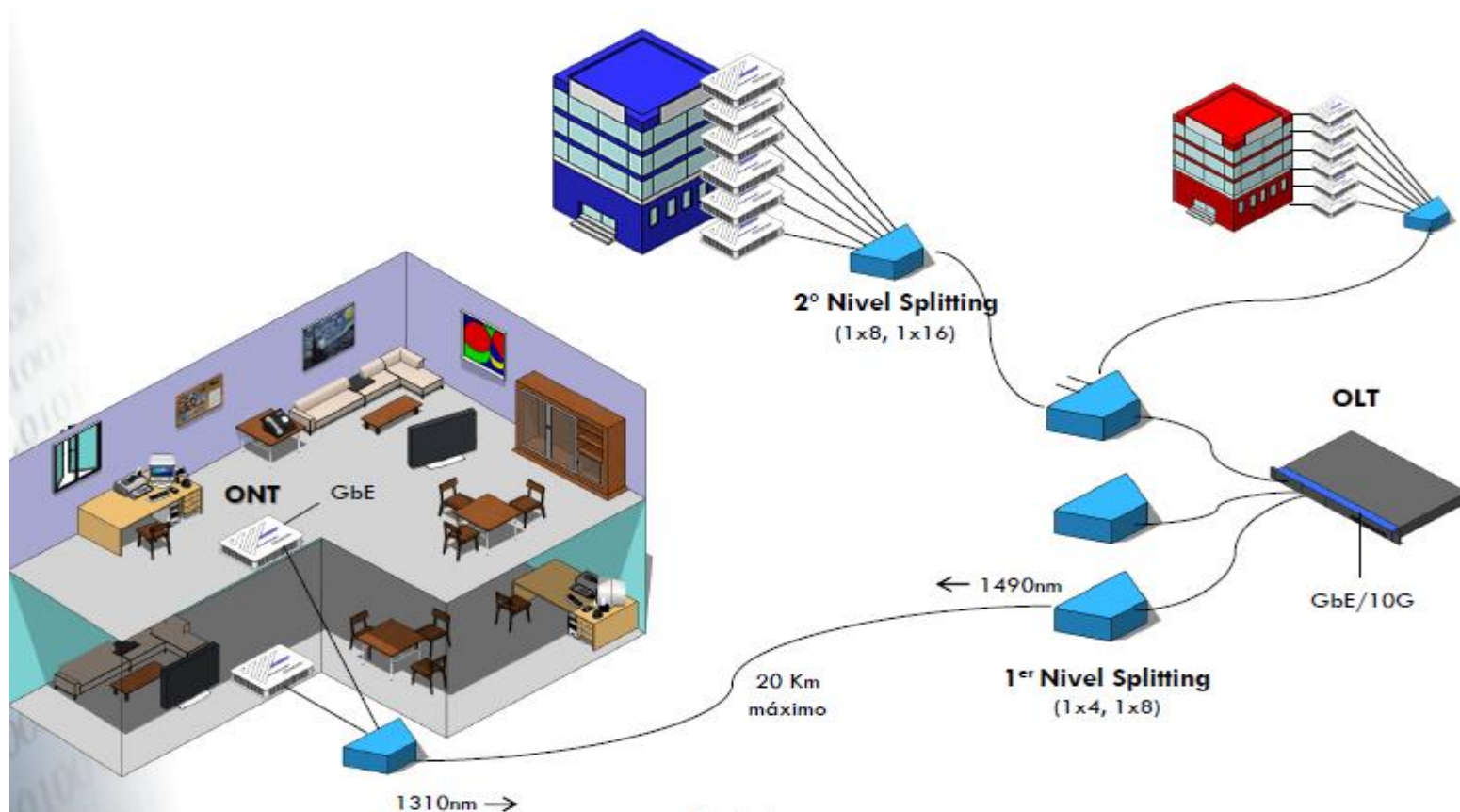


- TDM
- Difusión
- cifrado

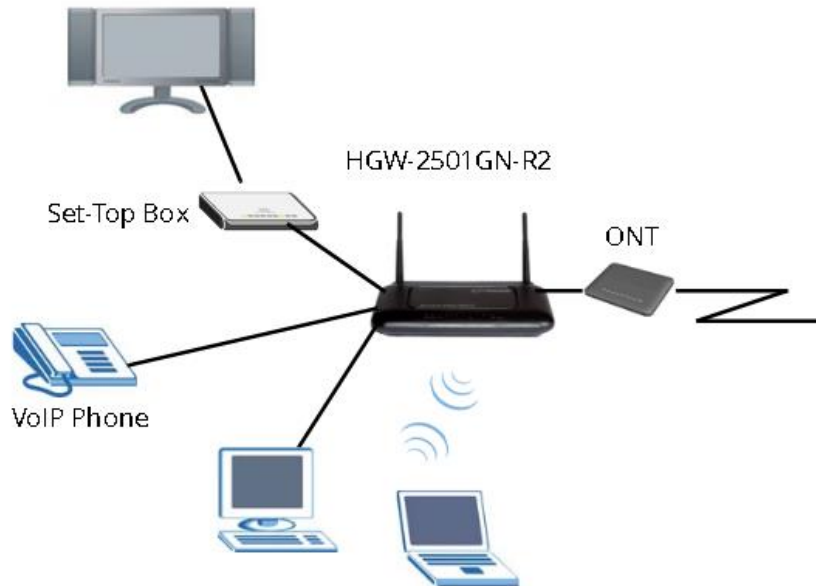
- TDMA
- Slot asignados por la OLT

FTTH: nivel físico

- Tasa de transmisión en sentido descendente: 2.4 Gbps
- Tasa de transmisión en sentido ascendente: 2.4 Gbps
- Modulación: 1bit/baudio
- Splitting 1: 64 / 1:128



FTTH: Servicios de comunicaciones



- Acceso a Internet: VLAN 6

IP	
PPP	IP
PPPoE	IPoE
Ethernet	Ethernet

- Telefonía: VoIP: VLAN 3

	Real-time Protocol	Transport
RTP		
UDP		
IP		

- 12 bytes de cabecera

- Televisión: IPTv: VLAN 2

Protocolo PPP (Point to Point Protocol)

- Servicio orientado a conexión
 - con confirmaciones (**fiable**) → protocolo PPP con negociación previa de fiabilidad
- sin confirmaciones (**no fiable**) → protocolo PPP con configuración por omisión
- Asignación de la dirección IP y opciones de nivel de red
- Autenticación de usuario:
 - Métodos de autenticación (protocolos PAP, CHAP, etc.)

Componentes de PPP

- Establece enlaces y negocia parámetros del nivel de enlace en el inicio de la conexión: **LCP (Link Control Protocol)**:, Ej.:
 - Supresión de campos dirección y control
 - Uso de protocolos fiables (con ACK): **ISO 7776 LAPB**
- **Negocia parámetros del nivel de red: NCP (Network Control Protocol)**
 - Protocolos soportados
 - Asignación dinámica de dirección IP (IPCP, NCP para protocolo IP)
- **Autenticación**
 - PAP (Password Authentication Protocol): protocolo de autenticación. Vulnerable, envía contraseñas en claro
 - CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol): realiza tarea de autenticación de usuario. Envía hashes MD5, más robusto que PAP
- **Transmisión de Datos**

Formato de trama PPP

➤ Utiliza estructura tipo HDLC:

Bytes → 1	1	1	1 ó 2	Variable	2 ó 4	1
Delimitad. 01111110	Dirección 11111111	Control 00000011	Protocolo	Datos	CRC	Delimitad. 01111110

- La trama siempre tiene un número entero de bytes
- El campo dirección no se utiliza, siempre vale 11111111
- El campo control casi siempre vale 00000011, que especifica trama no numerada (funcionamiento sin ACK).
- Generalmente en el inicio se negocia omitir los campos dirección y control (compresión de cabeceras), por lo que **la cabecera se reduce a 2 octetos**.

PPP

Transparencia (inserción de byte)

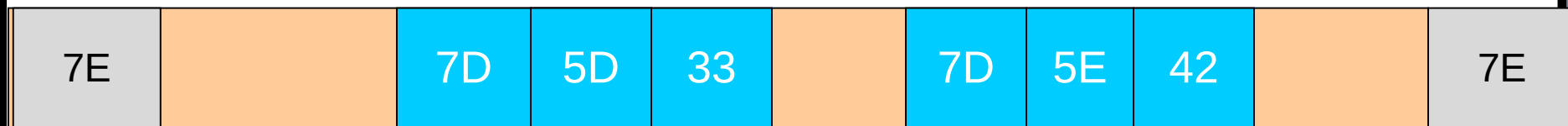
Se emplea el octeto “ESCAPE” 01111101 (hexadecimal 0x7d).

Después del cálculo de la SVT se examina la trama entera entre dos “delimitadores”. Se reemplaza cada ocurrencia de un “DELIMITADOR” y/o “octeto de ESCAPE” por una secuencia de dos octetos: el octeto ESCAPE seguido del resultado del or exclusivo entre el octeto original con el octeto 0x20.

Entrada • 7D → 7D 5D 7E → 7D 5E



Salida con relleno



Salida después de quitar el relleno



PPP over Ethernet (PPPoE)

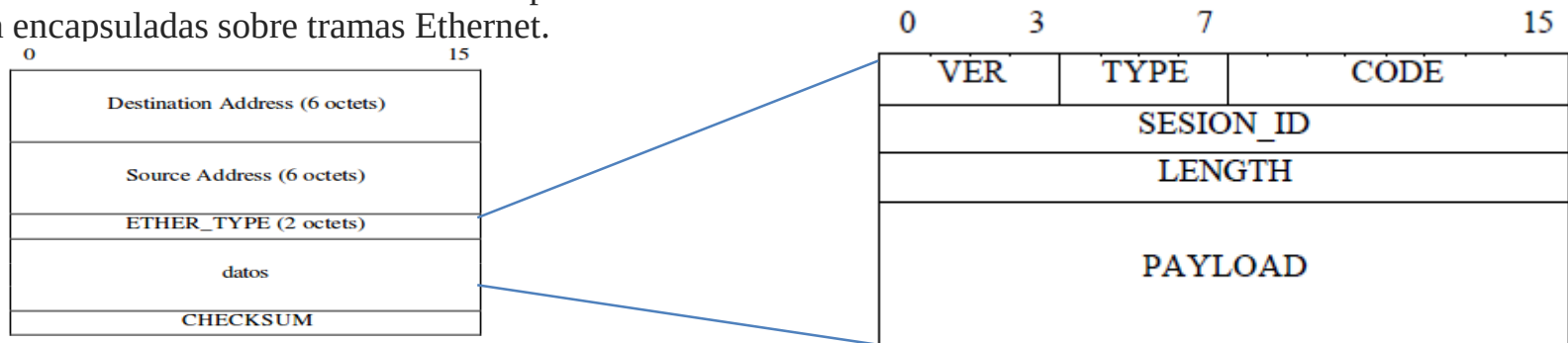
El protocolo PPPoE (PPP over Ethernet) permite establecer sesiones PPP y encapsular tramas PPP sobre Ethernet.

■ Fase de descubrimiento:

1. El cliente envía un paquete de inicio a toda la red, indicando los servicios que espera recibir
2. EL concentrador de acceso, si puede satisfacer los servicios requeridos, envía al cliente un paquete de oferta, indicando los servicios que ofrece
3. El cliente elige, de entre todos los Concentradores de Acceso que han enviado ofertas, aquél que mejor se ajusta a sus necesidades y envía a dicho concentrador un paquete de solicitud de establecimiento de sesión
4. El concentrador de acceso recibe la solicitud de establecimiento de sesión y envía un paquete de confirmación de sesión, indicando el identificador de la sesión establecida. A partir de este momento comienza la fase de sesión

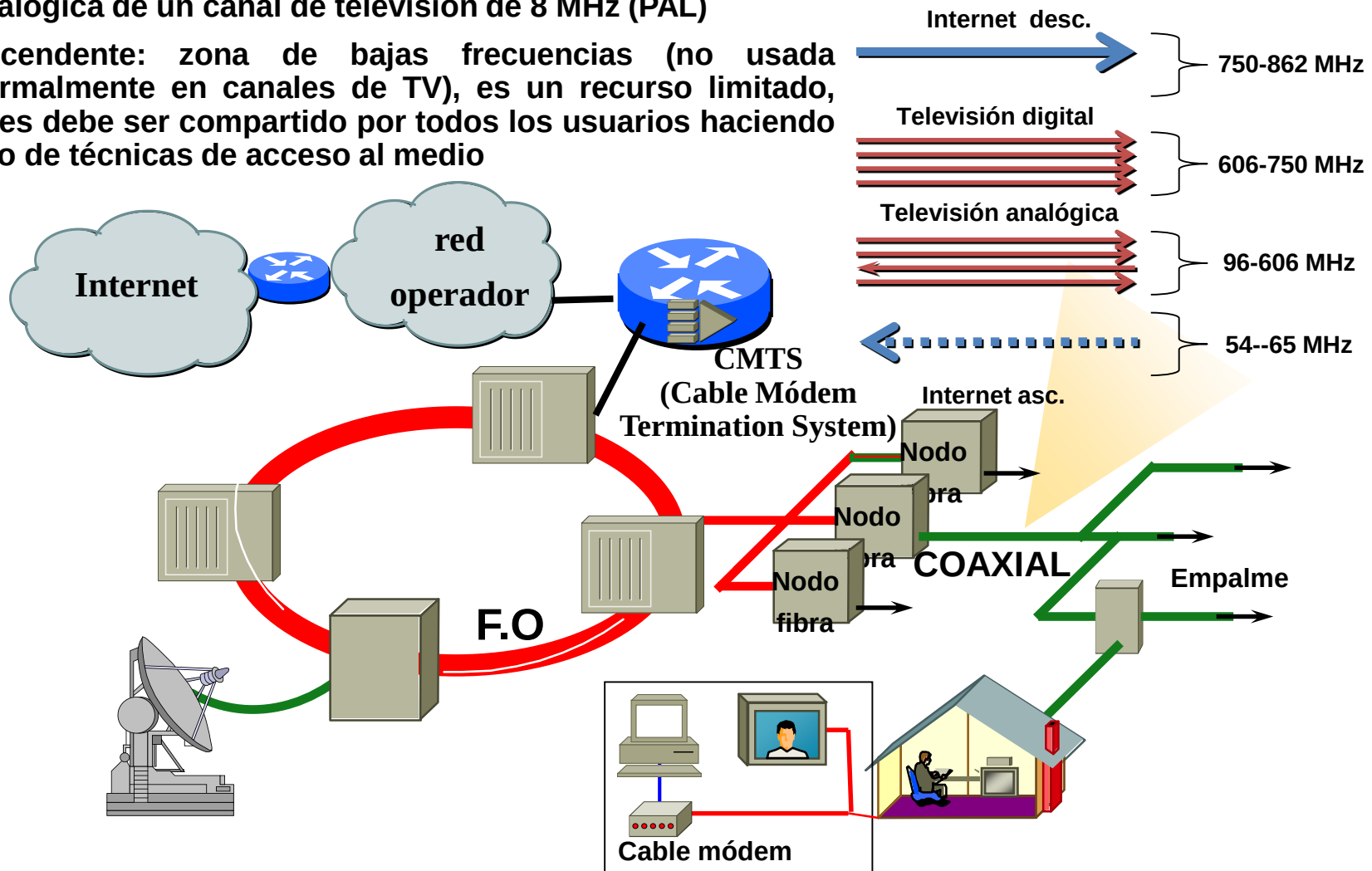
Fase de sesión

Una vez que la fase de descubrimiento se ha completado correctamente, tanto el cliente como el Concentrador de Acceso tienen la información necesaria para construir su conexión punto a punto sobre Ethernet. Las tramas intercambiadas entre los dos extremos corresponden a las de una sesión PPP, con la particularidad de que dichas tramas van encapsuladas sobre tramas Ethernet.



Redes HFC (Híbrida Fibra-Coaxial)

- Sentido descendente: datos modulados en portadora analógica de un canal de televisión de 8 MHz (PAL)
- Ascendente: zona de bajas frecuencias (no usada normalmente en canales de TV), es un recurso limitado, pues debe ser compartido por todos los usuarios haciendo uso de técnicas de acceso al medio

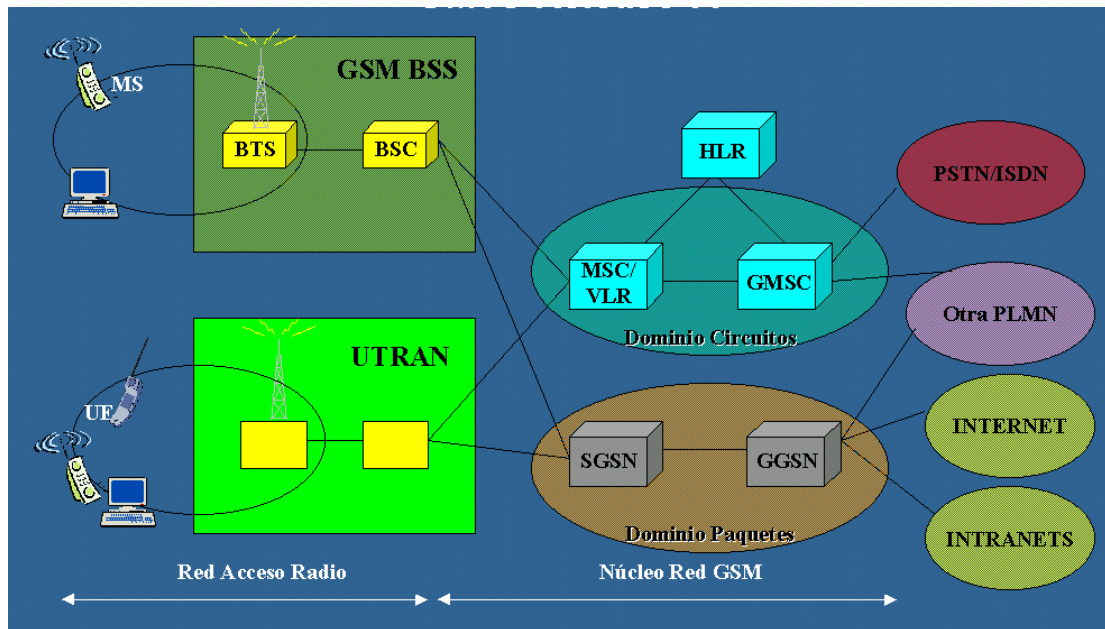


Redes móviles

- **GSM** (Global System for Mobile Communication) (2G)
- **GPRS** (2,5G)
- **UMTS** (Universal Mobile Telecommunications System) (3G)
- **HSPA y HSPA+** (3,5G)
- **4G**
- **5G**

Redes móviles: GSM-GPRS-3G

GSM:



- Acceso radio basado en FDM (Multiplex por División en Frecuencia y y TDMA (Acceso Múltiple por División en el Tiempo).
- Red de Conmutación de circuitos. Voz a **13 Kbps** y datos a **9,6 Kbps**
- Inviabile para dar acceso a Internet

GPRS:

- Añade dominio de Conmutación de paquetes y permite comunicaciones de paquetes de hasta 170 Kbps

3G:

- Interfaz de radio WCDMA (Wideband-Code Division Multiple Access) espectro expandido división de código)
- Red con dominio de conmutación de circuitos a 64 Kbps y con dominio de conmutación de paquetes de hasta 2 Mbps

Redes 3,5G

HSDPA, HSUPA, HSPA y HSPA+

HSPA: Denominación común a un grupo de tecnologías de acceso de paquetes de alta velocidad

- **HSPA** (*High Speed Packet Access*)

- Mejoras en codificación, intervalos de espera, Hybrid ARQ (FEC+ARQ), compartición de canales, optimización de la eficiencia espectral...

- **HSDPA** (*High Speed Downlink Packet Access*)

- ✓ Primera mejora sobre WCDMA
 - ✓ Hasta **14 Mbps** con menores tiempos de latencia

- **HSUPA** (*High Speed Uplink Packet Access*)

- ✓ Canal de subida dedicado de alta capacidad
 - ✓ Mejora aplicaciones simétricas como VoIP
 - ✓ Hasta **5,8 Mbps**

- **HSPA+** (*Evolved HSPA*)

- Mayores velocidades de bajada y subida, hasta 335 Mbps y 23 Mbps
 - Dual-Cell y Multi-carrier (hasta 8 portadoras agregadas) y MIMO

Redes 4G

➤ Tecnología: LTE : Long Term Evolution

Objetivo: Proporcionar un acceso de radiofrecuencia de alto rendimiento que permita altas velocidades

- Evolución de HSPA+ basada completamente en tráfico IP
- Bajada hasta 300 Mbps ó 3 Gbps (LTE Advanced)
- Subida hasta 75 Mbps ó 1,5 Gbps (LTE Advanced)
- Canales de 20 MHz, agregación hasta 100 MHz (LTE Advanced)
- Interfaz radio incompatible con GSM/3G
- ✓ Nuevas frecuencias (800 MHz en Europa)

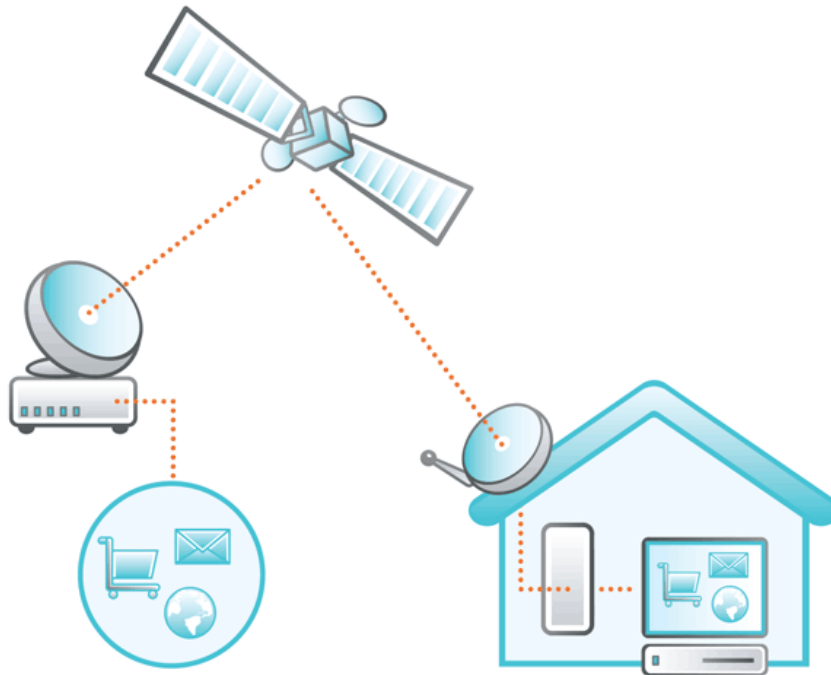
Redes 5G

Objetivo: Proporcionar un ancho de banda mas elevado y una latencia mas baja (2020)

✓ Frecuencia:

- 4G: 800 MHz y 2,6 Ghz
- 5G: 26 u 38 GHz
- Reducir la latencia hasta valores cercanos al milisegundo

Internet por satélite



- Zonas rurales
- Refugios de montaña
- Islas
- Aviones

Operadores

- Movistar
- Quantis
- Eircom Satellite
- ..

Servicios

- 22/6 Mbps

Accesos Wifi

- Una Zona Wi-Fi es un área desde donde un usuario final puede conectarse a Internet con la velocidad que ofrece la Banda Ancha de Movistar, usando su terminal portátil o PDA.
- Las Zonas Wi-Fi se despliegan en espacios de uso público como aeropuertos, estaciones de tren, hoteles, restaurantes, etc. En terminología anglosajona se denominan genéricamente “Hot Spots”.
- Pago del servicio:
 - Gratis
 - Tarjeta prepago, existiendo de 1 hora, 24 horas, 30 días y 90 días
 - Tarjeta Personal Zona Wi-Fi :Asociado a otros servicios
 - Tarjeta Global (pago por tiempo de acceso)