



**FACULTAD
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

Escuela de Graduados en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones (EGRIET)

Grupo de Redes Complejas y Comunicación de Datos

Tesis de Maestría

IMPACTO DE LOS TÚNELES MPLS EN LA TOPOLOGÍA DE INTERNET

Autor: Ing. Fernando Gabriel Dávila Revelo

Director: Dr. Ing. José Ignacio Alvarez-Hamelin

Contenido

- Estado del Arte
 - Topología de Internet
 - Limitaciones en la topología de routers
 - Métricas
- Experiencias y análisis de las exploraciones
 - Recolección de datos
 - Identificación de los túneles MPLS
 - Formación de Grafos
 - Análisis de los Grafos
 - Enlaces MPLS y AS
- Conclusiones

Contenido

- Estado del Arte
 - Topología de Internet
 - Limitaciones de la topología de routers
 - Métricas
- Experiencias y análisis de las exploraciones
 - Recolección de datos
 - Identificación de los túneles MPLS
 - Formación de Grafos
 - Análisis de los Grafos
 - Enlaces MPLS y AS
- Conclusiones

Topología del Internet

- Importancia
- Niveles
 - Topología nivel IP
 - Topología nivel routers
 - Topología nivel AS

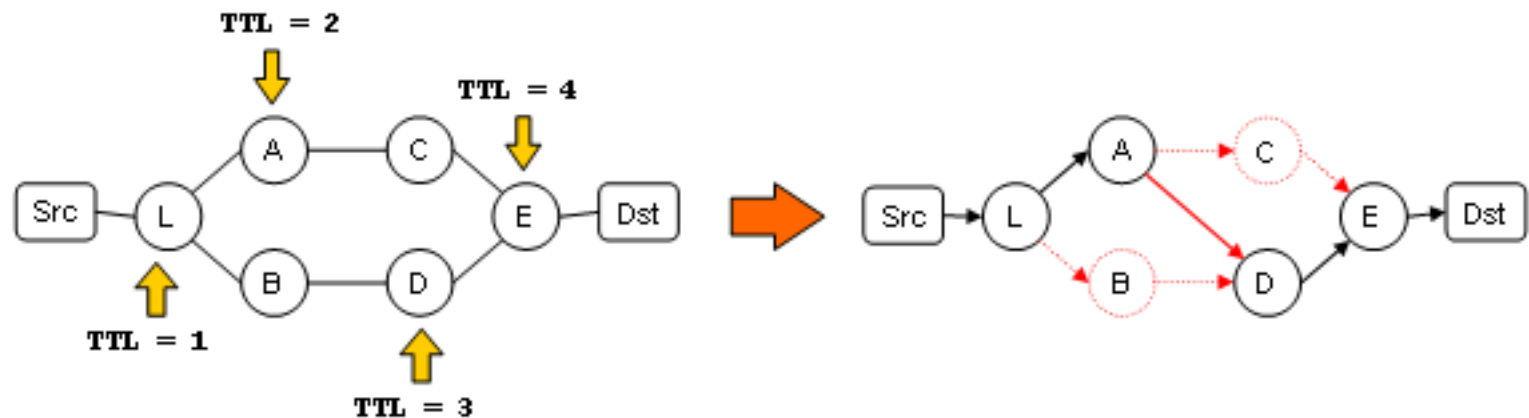
Contenido

- Estado del Arte
 - Topología de Internet
 - Limitaciones en la topología de routers
 - Métricas
- Experiencias y análisis de las exploraciones
 - Recolección de datos
 - Identificación de los túneles MPLS
 - Formación de Grafos
 - Análisis de los Grafos
 - Enlaces MPLS y AS
- Conclusiones

Limitaciones en la topología de routers

- Falsos enlaces y balanceadores de carga
- Interfaces que no responden
- Resolución de Alias
- Túneles MPLS

Falsos enlaces y balanceadores de carga



- **Balanceadores por flujo**
- **Balanceadores por paquetes** (atravesado por solo el 2% traceroutes)
- **Balanceadores por destino**

Falsos enlaces y balanceadores de carga

- Identificador de flujo
 - IP origen
 - IP destino
 - Protocolo
 - Tipo de servicio (TOS)
 - **Tipo (ICMP)**
 - **Codigo (ICMP)**
 - **Checksum.**
- Solución
 - Paris traceroutes

IP

Version	IHL	TOS	Total Length	
Identification (+)			Flags	Fragment Offset
TTL		Protocol	Header Checksum	
Source Address				
Destination Address				
Options and Paddings				

UDP

Source Port	Destination Port (#)
Length	Checksum (#,*)

ICMP Echo

Type	Code	Checksum (#)
Identifier (*)		Sequence Number (#, *)

TCP

Source Port	Destination Port
Sequence Number (*)	
Other fields	

Campos usados para el balanceo por *flujo*
 Campos no encapsulados en los paquetes "ICMP time exceeded"

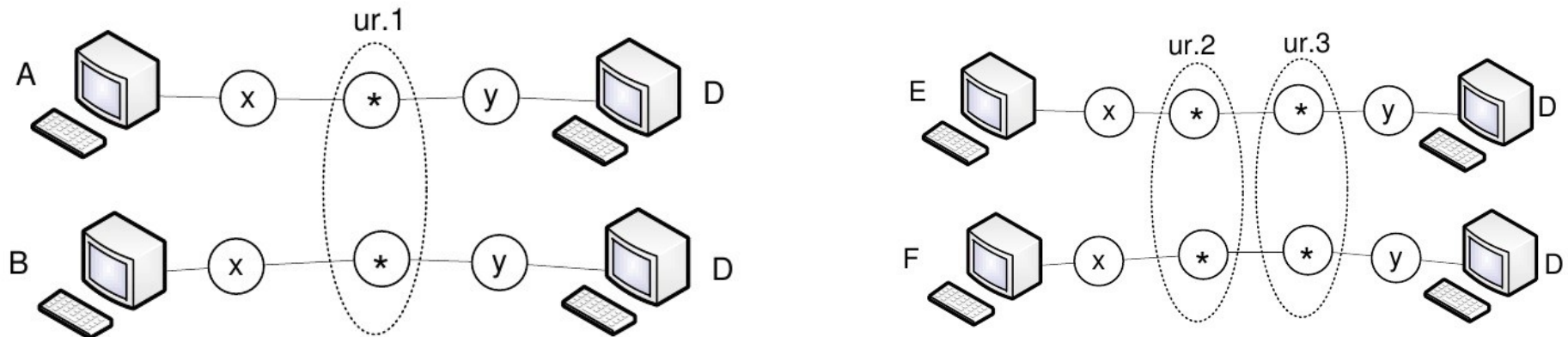
Usado por *traceroute* tradicional

+ Usado por *tcptraceroute*

* Usado por *paris-traceroute*

Interfaces que no responden

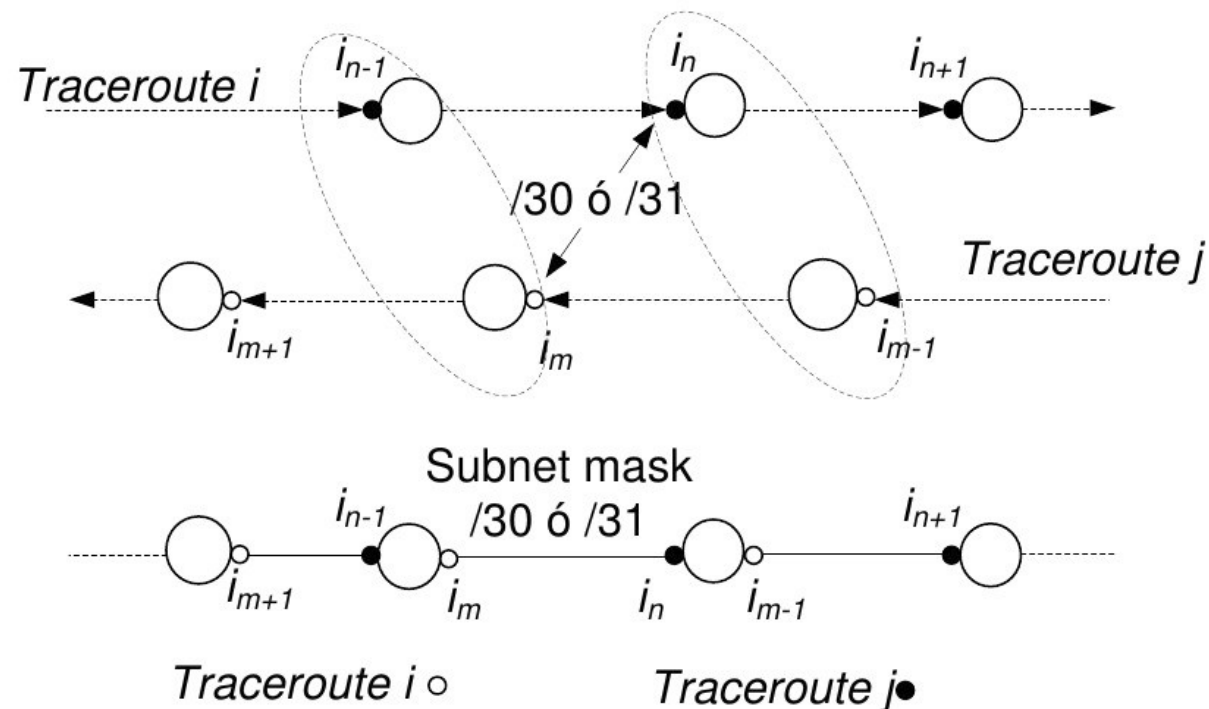
- Interfaces que muestran "*" a la salida del traceroute.
- Solución de Bilir et al. (2006):
 - Identificar en los distintos traceroute las interfaces sin respuesta que posiblemente pertenezcan al mismo router.



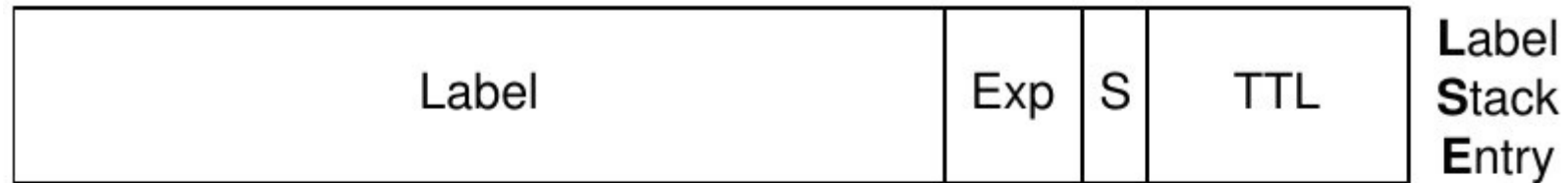
Más de 2 * no tiene sentido

Resolución de Alias

- APAR propuesto por Mehmet y Kamil (2009)
 - Proceso basado en alinear los traceroutes, identificando las IP que forman parte de un mismo enlace.



Túneles MPLS

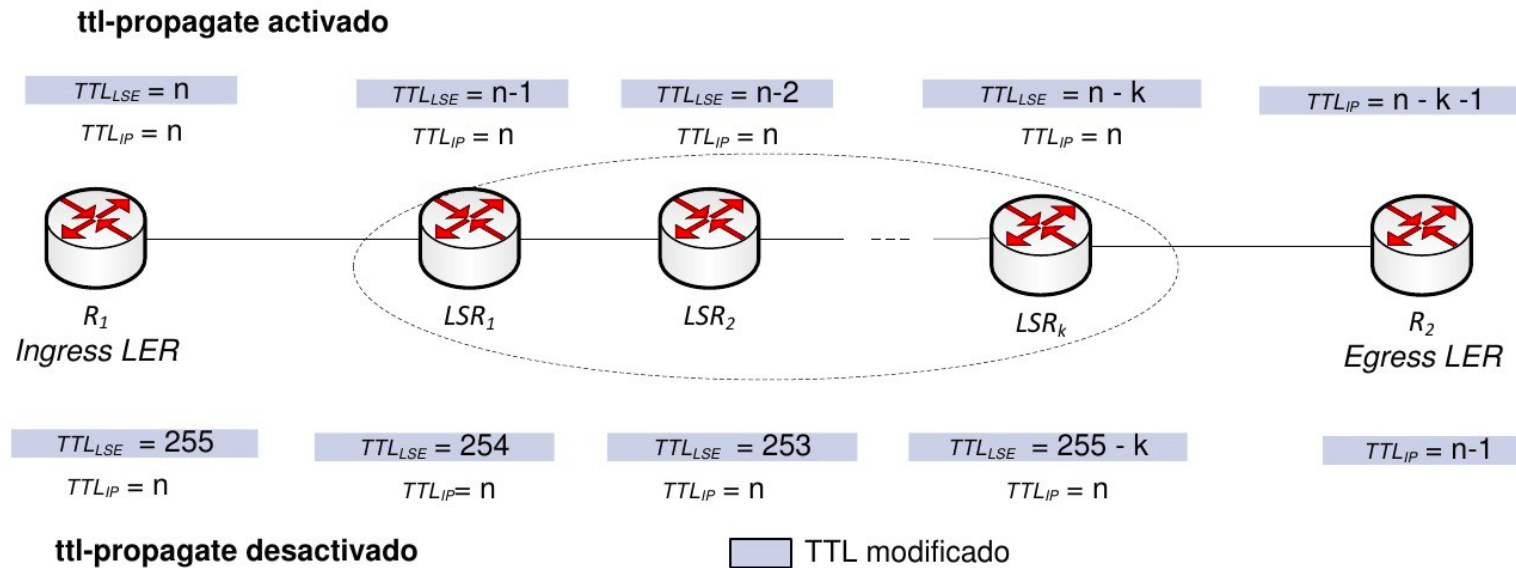


Label: Label Value, 20 bits
Exp: Experimental Use, 3 bits
S: Bottom of Stack, 1 bit
TTL: Time to Live, 8 bits

- RFC 4950
 - Extensión de ICMP: envía en el payload del mensaje ICMP time-exceeded una copia del LSE.

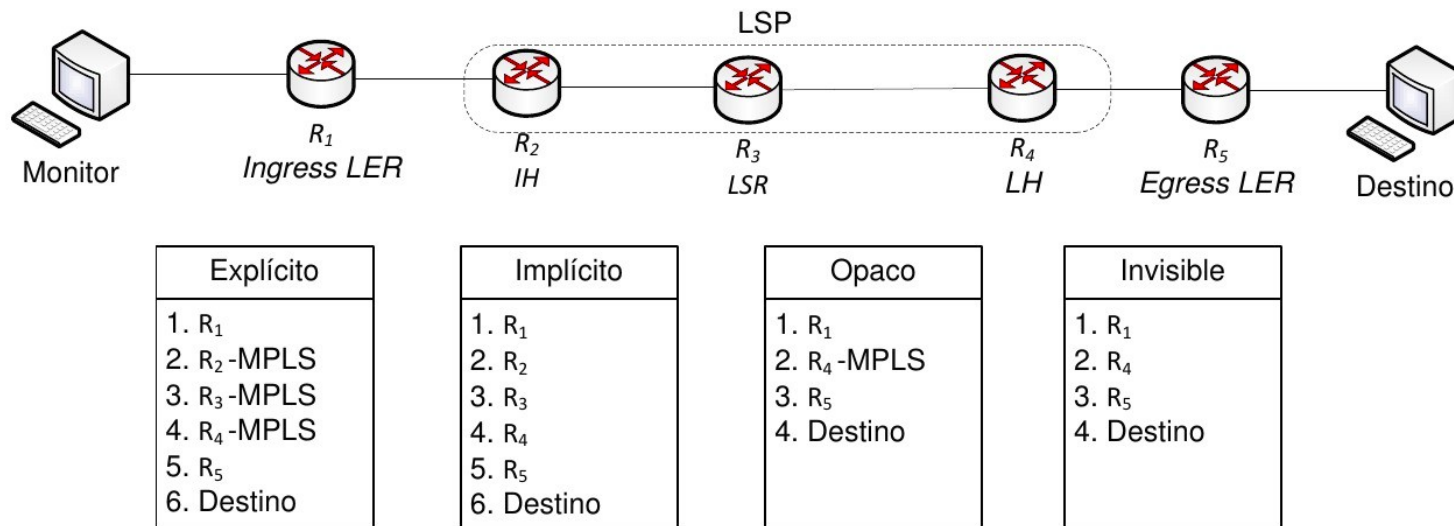
Túneles MPLS

- Propagación del TTL
 - El TTL IP se copia en el TTL LSE (MPLS).
- No propagación del TTL
 - EL TTL LSE (MPLS) se inicia en un valor por defecto.



Túneles MPLS

- Taxonomía de túneles MPLS
 - Explícitos: RFC 4950, propagación de TTL
 - Implícitos: propagación de TTL
 - Opacos: RFC 4950 implementada en Last hop MPLS
 - Invisibles: no se pueden detectar



Túneles MPLS

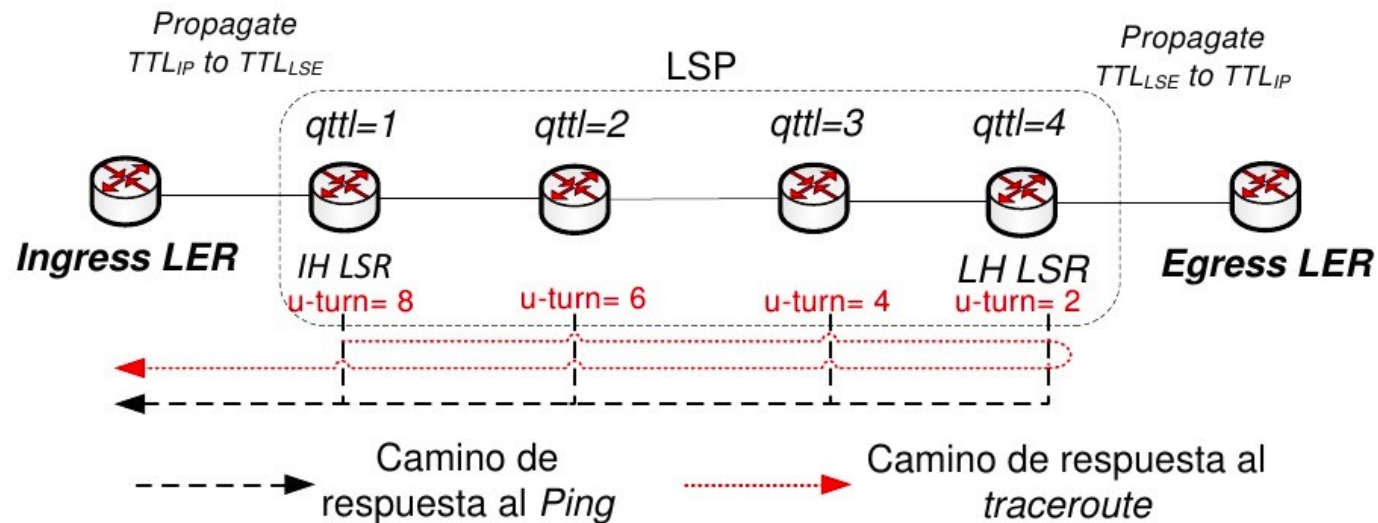
- Túneles implícitos

- **q-ttl**

- Los mensajes ICMP time-exceeded llevan en sí el encabezado IP del mensaje original. El TTL de ese mensaje IP lleva el nombre de q-ttl.
- Si $q\text{-ttl} > 1$, entonces el mensaje expiró en un túnel MPLS

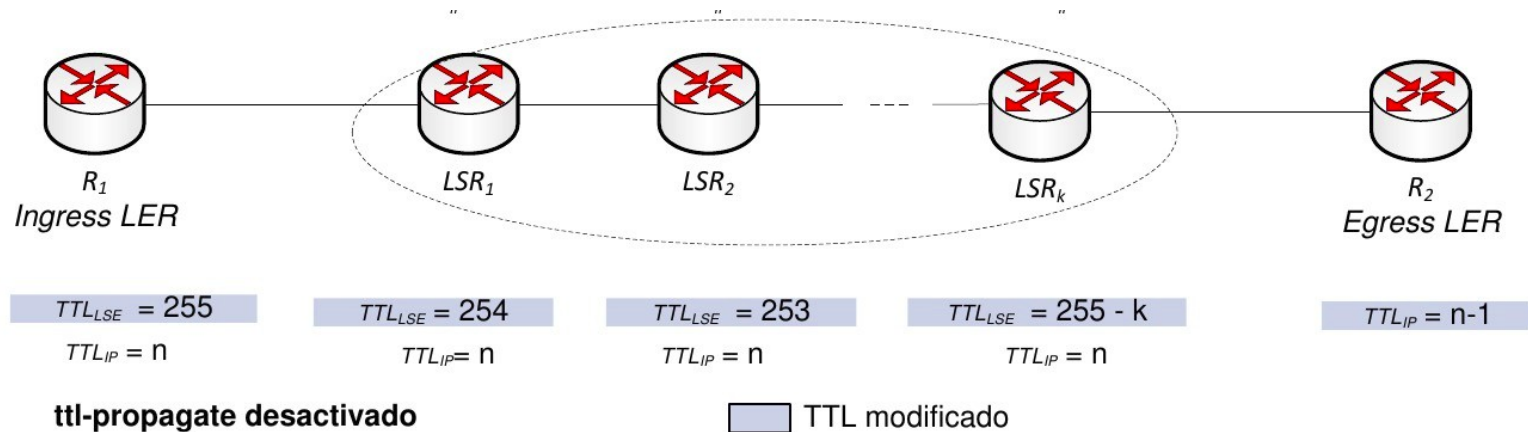
- **u-turn**

- Respuestas del ping y el traceroute llegan con TTL distintos.
- $u\text{-turn} = \text{TTL}(\text{ping}) - \text{TLL}(\text{traceroute})$



Túneles MPLS

- Taxonomía de túneles MPLS
 - Opacos: RFC 4950 implementada en Last hop MPLS
- No está habilitada la propagación del TTL
- EL TLL de la Label Stack Entry se inicializa al entrar al tunel MPLS (255,128,64) y nunca expira.
- El Last hop MPLS actualiza el TTL IP. Usando la RFC 4950 se conoce el TTL del Label Stack Entry $1 < TLL < 255$.



Contenido

- Estado del Arte
 - Topología de Internet
 - Limitaciones en la topología de routers
 - Métricas
- Experiencias y análisis de las exploraciones
 - Recolección de datos
 - Identificación de los túneles MPLS
 - Formación de Grafos
 - Análisis de los Grafos
 - Enlaces MPLS y AS
- Conclusiones

Métricas

- Distribución de Grados
- Distribución del Grado Medio de los Vecinos
- Distribución del Coeficiente de Clustering
- Visualización del Grafo mediante K-núcleos

Métricas

- Distribución de Grados

$$P(g) = \frac{1}{n} \sum_{\forall i / g(i) = g} 1$$

$$P(g) \approx g^{-\gamma}, 2 \leq \gamma \leq 3$$

Métricas

- Distribución de Grados

$$P(g) = \frac{1}{n} \sum_{\forall i / g(i)=g} 1$$

$$P(g) \approx g^{-\gamma}, 2 \leq \gamma \leq 3$$

- Distribución del Grado Medio de los Vecinos

$$g_{nn} = \frac{1}{n_g} \sum_{\forall j / g_j=g} \frac{1}{|V(j)|} \sum_{i \in V(j)} g_i$$

Métricas

- Coeficiente de Clustering

$$cc_i = \frac{2 n_{link}}{g_i (g_i - 1)}$$

$$c(g) = \frac{1}{n_g} \sum_{j | g_j = g} cc_j$$

Estado del Arte > Métricas

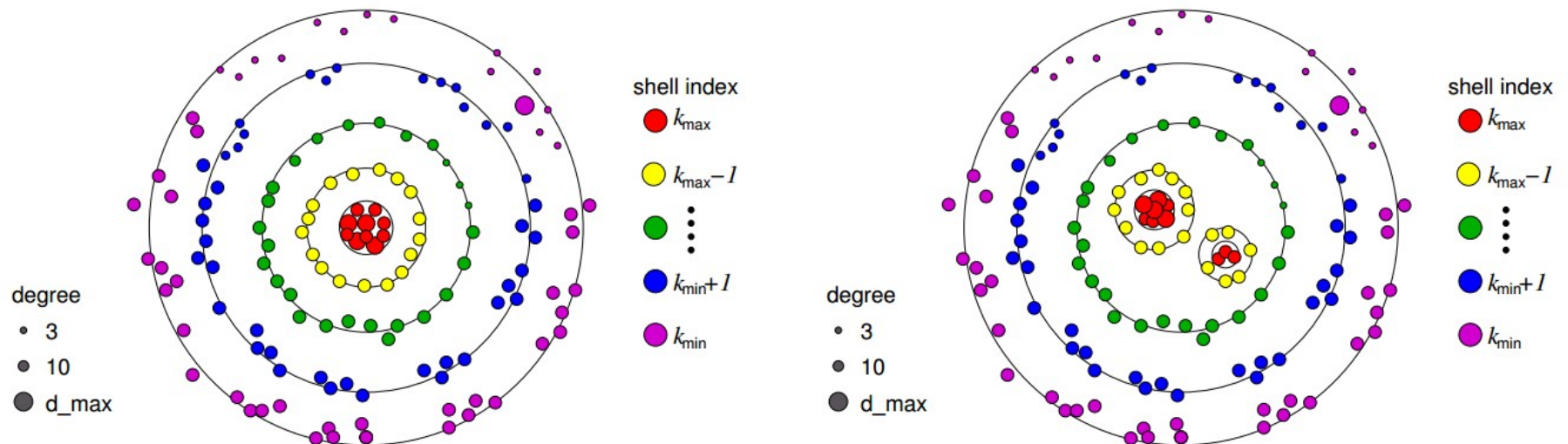
Métricas

- Visualización mediante k-núcleos

- Dado un grafo $G=(V, E)$
- **K-núcleo:** El Subgrafo $H=(C, E|C)$ $C \subseteq V$

Es un k-núcleo *sii* $\forall v \in C : grado_H(v) \geq k$

- **Capa:** Conjunto de vértices que pertenecen al k-núcleo, pero no al (k+1)-núcleo.



Contenido

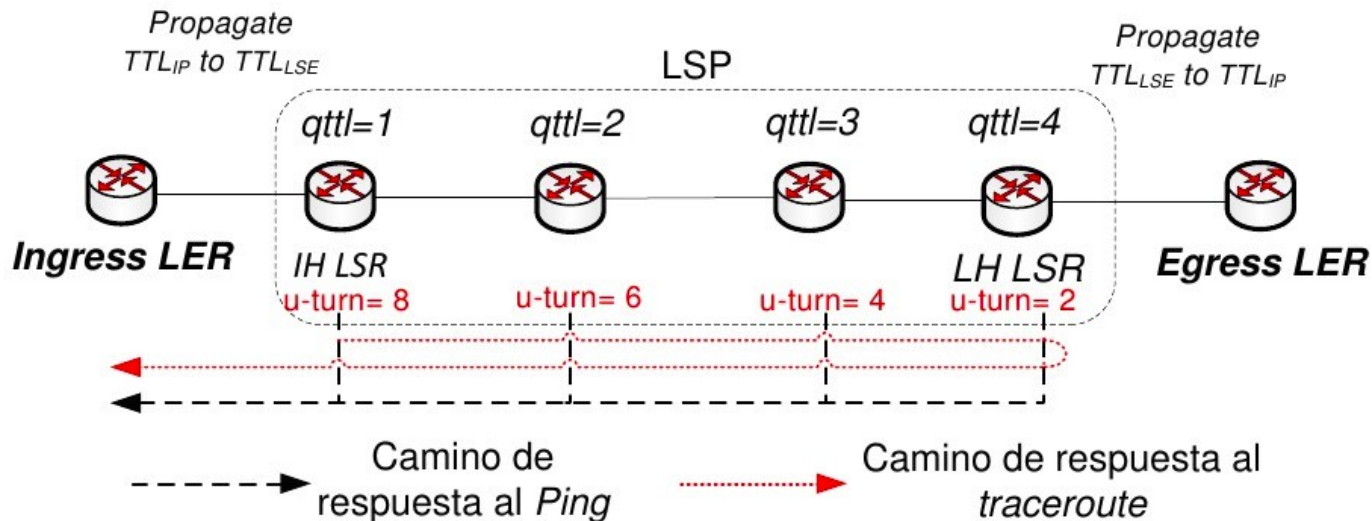
- Estado del Arte
 - Topología de Internet
 - Limitaciones en la topología de routers
 - Métricas
- Experiencias y análisis de las exploraciones
 - Recolección de datos
 - Identificación de los túneles MPLS
 - Formación de Grafos
 - Análisis de los Grafos
 - Enlaces MPLS y AS
- Conclusiones

Tamaño de la exploración

- Se usó la plataforma de PlanetLab
 - 434 nodos de recolección de datos
 - 13153 nodos destino
 - 4,17 millones de traceroutes

Herramienta de exploración

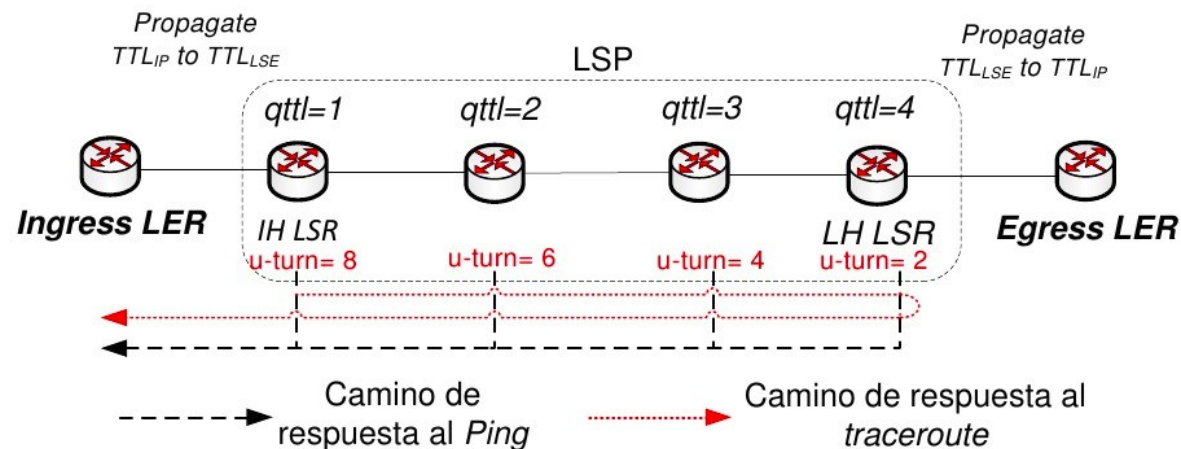
- Paris-Traceroute:
 - Soluciona el problema con balanceadores de carga
 - Compatible con la RFC 4950 ([descubre túneles mpls explícitos](#))
 - Los mensajes de error añaden una copia del encabezado IP en la respuesta ([descubre túneles mpls implícitos con firma q-ttl](#))
 - Modificando el TTL inicial puede emular el funcionamiento de un ping ([descubre túneles mpls implícitos con firma u-turn](#))



Herramienta de exploración

- Paris-Traceroute:
 - 1 traceroute al destino (3 pruebas en cada salto).
 - 6 pings a cada router descubierto en cada salto.
 - Traceroute y ping:
 - Mensajes enviados: ICMP echo request (checksum, code, type)
 - Mensajes respuesta: ICMP time exceeded (traceroute), ICMP echo reply (ping)
 - ICMP time exceeded (code 11), ICMP echo reply (code 0): **pertenecen a flujos distintos**

$$u - turn = TTL_{echoreply} - TTL_{time\ exceeded}$$



Contenido

- Estado del Arte
 - Topología de Internet
 - Limitaciones en la topología de routers
 - Métricas
- Experiencias y análisis de las exploraciones
 - Recolección de datos
 - Identificación de los túneles MPLS
 - Formación de Grafos
 - Análisis de los Grafos
 - Enlaces MPLS y AS
- Conclusiones

Túneles Explícitos

- Requisitos:
 - RFC 4950
 - Propagación de TTL
- Se encontraron túneles explícitos en el **39,6%** de paris-traceroutes.

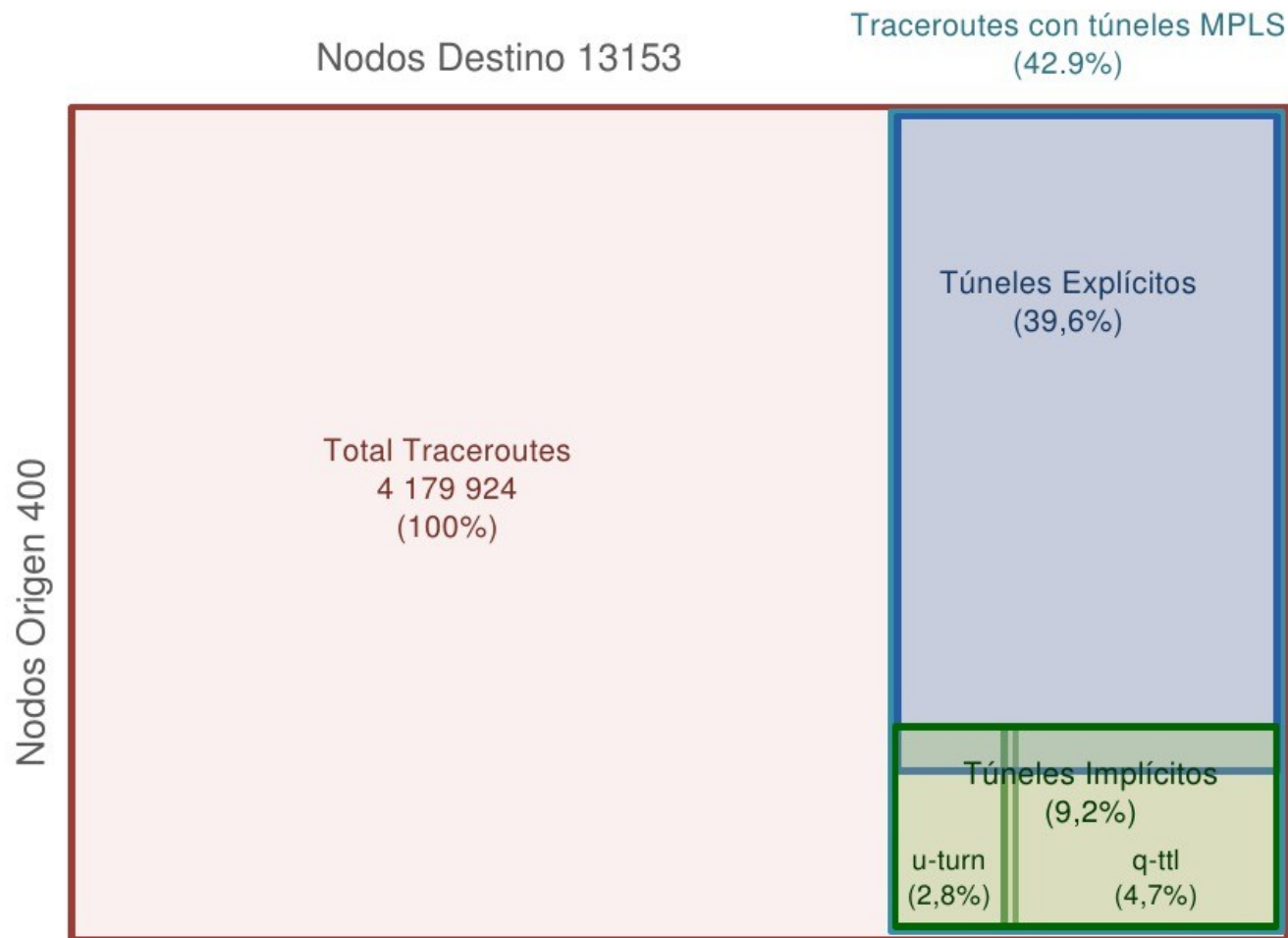
Túneles Implícitos

- Requisitos:
 - Propagación de TTL
- Implícitos por firma q-ttl
 - $q\text{-ttl} > 1$
 - Firma encontrada en el 4,7% de paris-traceroutes
- Implícitos por firma u-turn
 - Existe un error asociado a que ICMP echo reply e ICMP time exceeded pertenecen a flujos distintos
 - $U\text{-turn} > 4$ (minimizar el error)
 - Firma encontrada en el 2,8% de paris-traceroutes

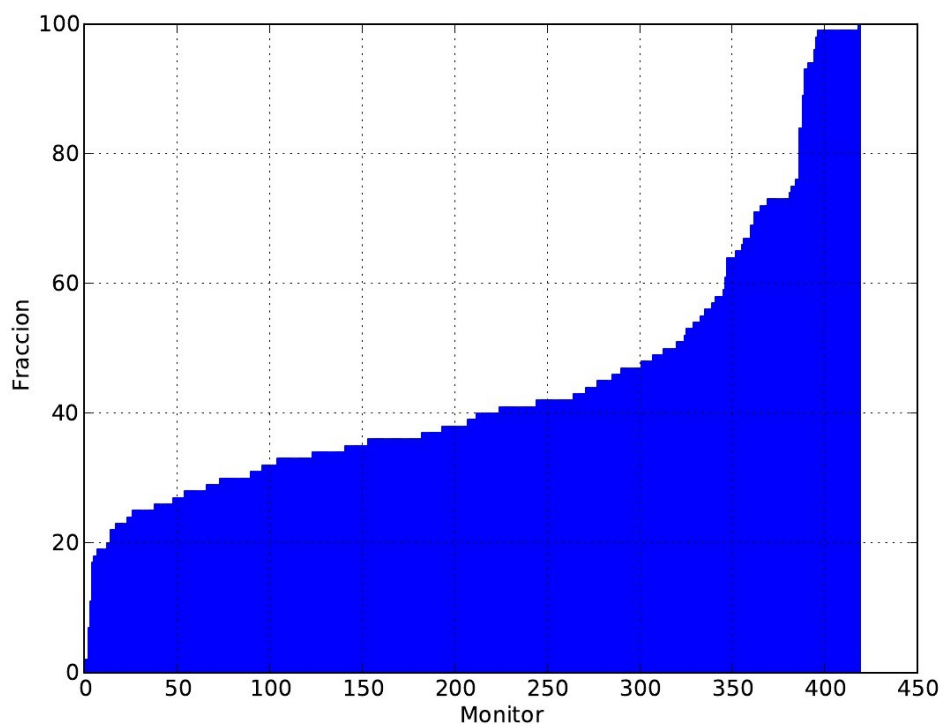
Túneles Opacos

- Requisitos:
 - RFC4950
- $1 < \text{TTL}(\text{mpls}) < 255$
- No se encontraron túneles opacos.

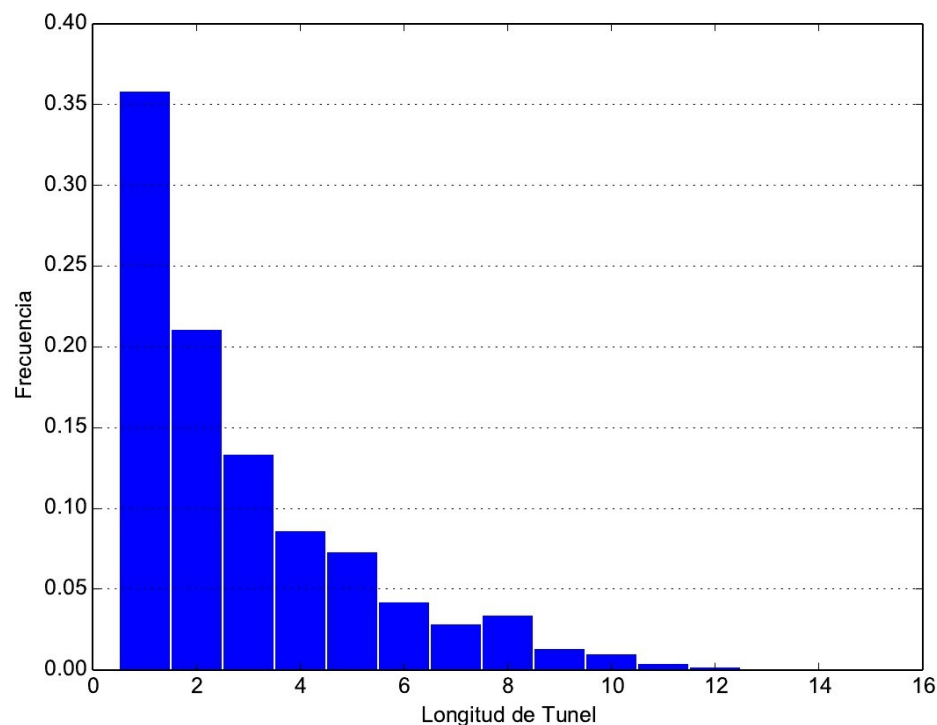
Análisis de los datos



Análisis de los datos



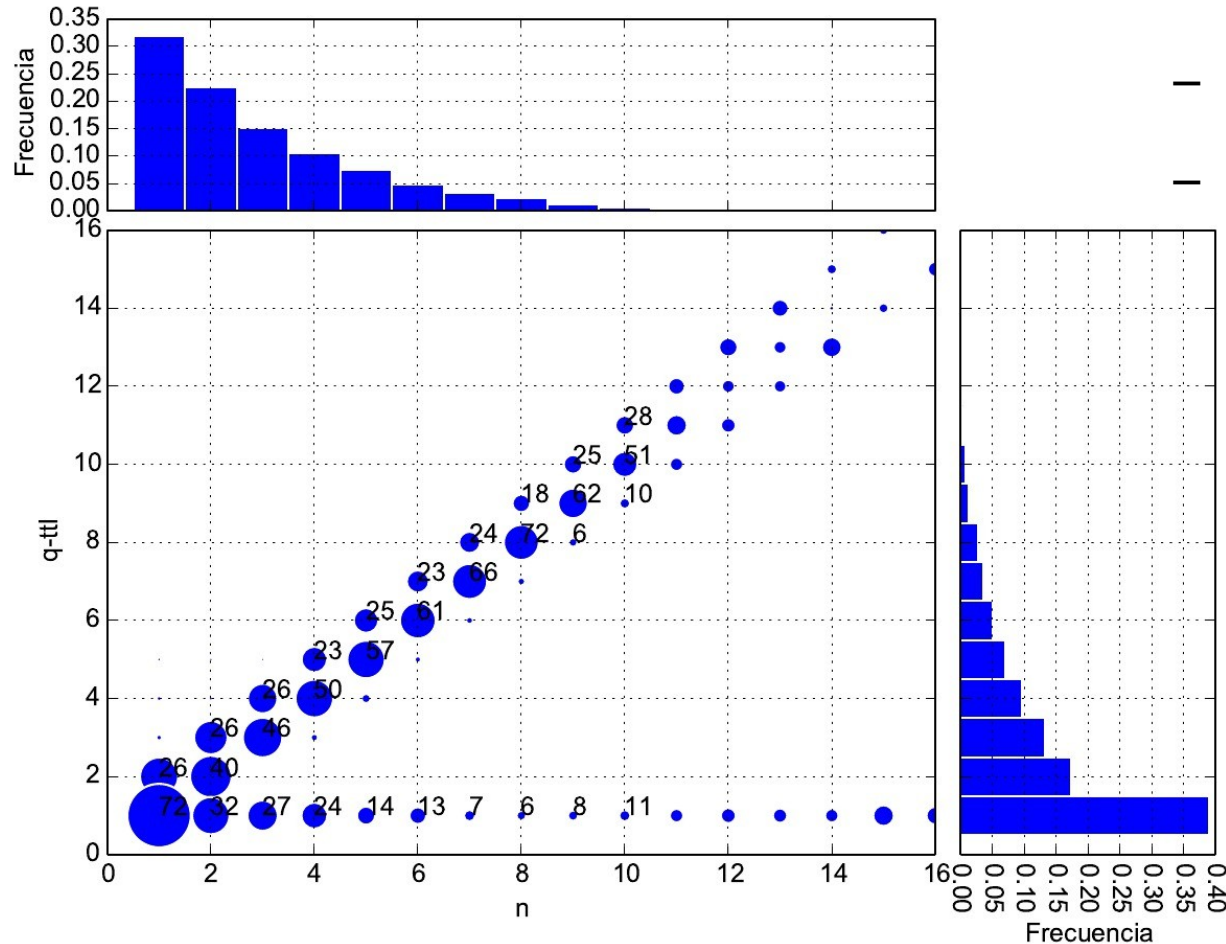
Fracción de Paris-traceroute que atravesaron al menos un túnel MPLS distribuida por monitor



Histograma de la longitud de túneles MPLS

q-ttl max=9

Análisis de la firma q-ttl



- Valor ideal: $q-ttl=n$

- Desviaciones:

- $q-ttl=n+1$

- El primer LSR solo se detecta si implementa la RFC4950.

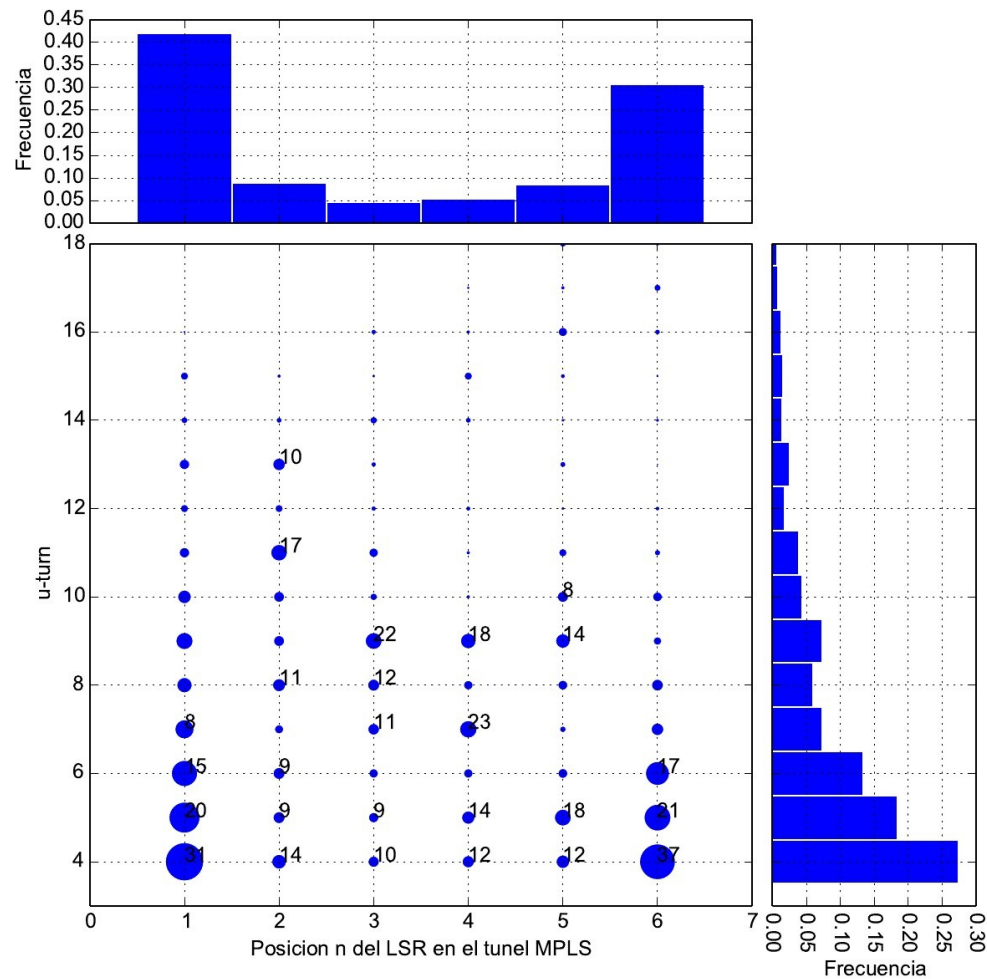
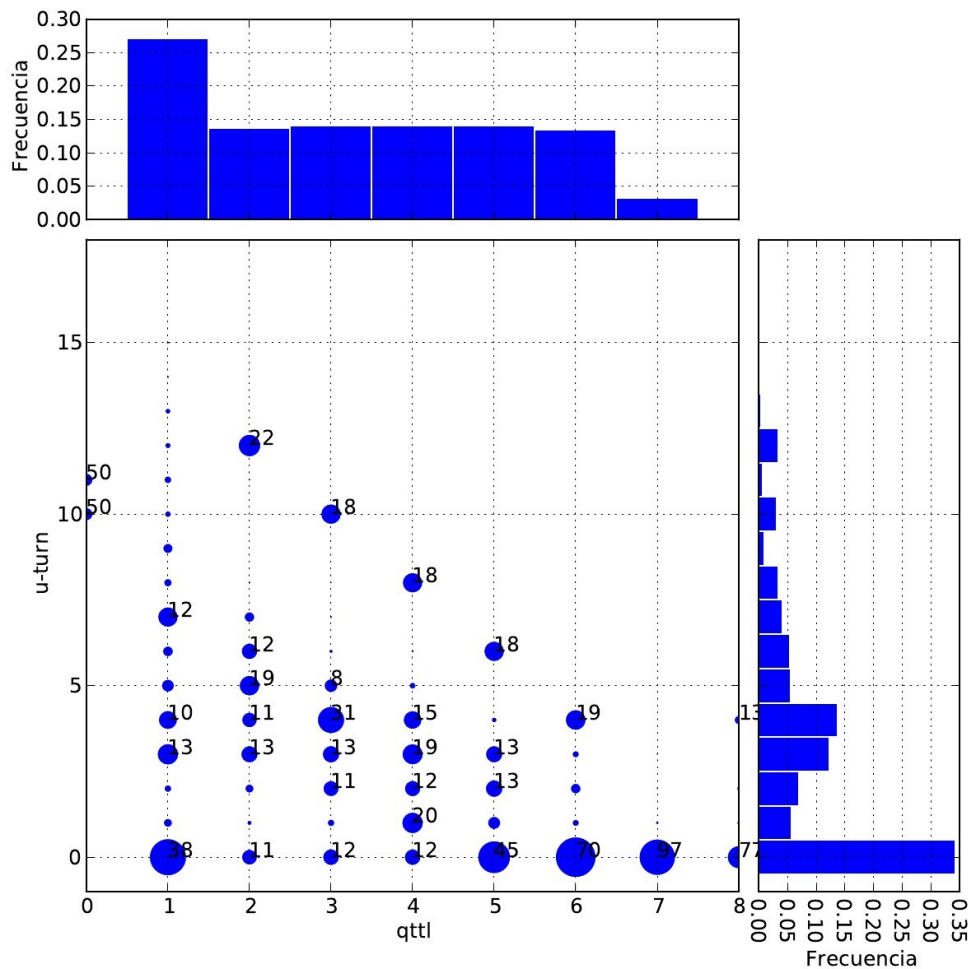
- $q-ttl=n-1$

- Balanceo de carga por paquetes

- $q-ttl=1$

- Actualización del TTL ip antes al valor del TTL mpls antes de formar el paquete ICMP

Análisis de la firma u-ttl



Longitud del túnel= 6

Contenido

- Estado del Arte
 - Topología de Internet
 - Limitaciones en la topología de routers
 - Métricas
- Experiencias y análisis de las exploraciones
 - Recolección de datos
 - Identificación de los túneles MPLS
 - Formación de Grafos
 - Análisis de los Grafos
 - Enlaces MPLS y AS
- Conclusiones

Formación de Grafos

- **Grafo IP** $G_{ip} = (V_{ip}, E_{ip})$
 - Obtenido de las salidas del paris-traceroute
- **Grafo de Routers** $G_r = (V_r, E_r)$
 - Obtenido a partir de la Resolución de interfaces que no responden y Resolución de Alias del Grafo IP
- **Grafo MPLS** $G_{mpls} = (V_{mpls}, E_{mpls})$
 - Formado por Routers con al menos una interfaz perteneciente a un túnel MPLS
 - Aristas formadas por enlaces MPLS
 - Desconexo

Formación de Grafos

- Grafos inducidos por vértices pertenecientes a un mismo AS

- $G_{ip}^{as} = (V_{ip}^{as}, E_{ip}^{as})$

- $G_r^{as} = (V_r^{as}, E_r^{as})$

- $G_{mpls}^{as} = (V_{mpls}^{as}, E_{mpls}^{as})$

- Grafo de routers con contracción de nodos MPLS

$$G_{r \setminus mpls} = (V_{r \setminus mpls}, E_{r \setminus mpls})$$

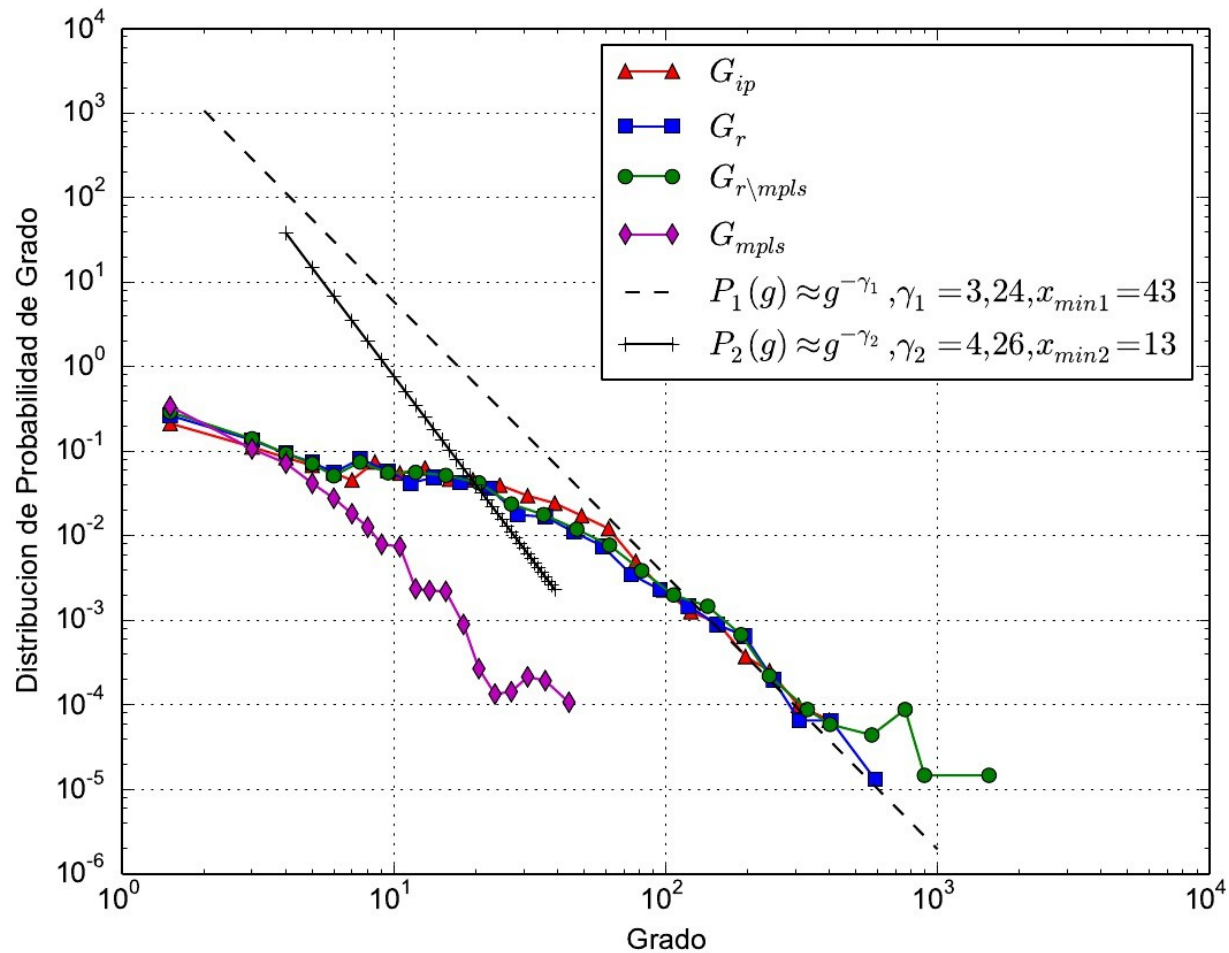
- Contracción de nodos MPLS: contraer en un sólo nodo todas las componentes MPLS conexas y que pertenezcan a un mismo AS

$$G_{mpls}^{as} = (V_{mpls}^{as}, E_{mpls}^{as})$$

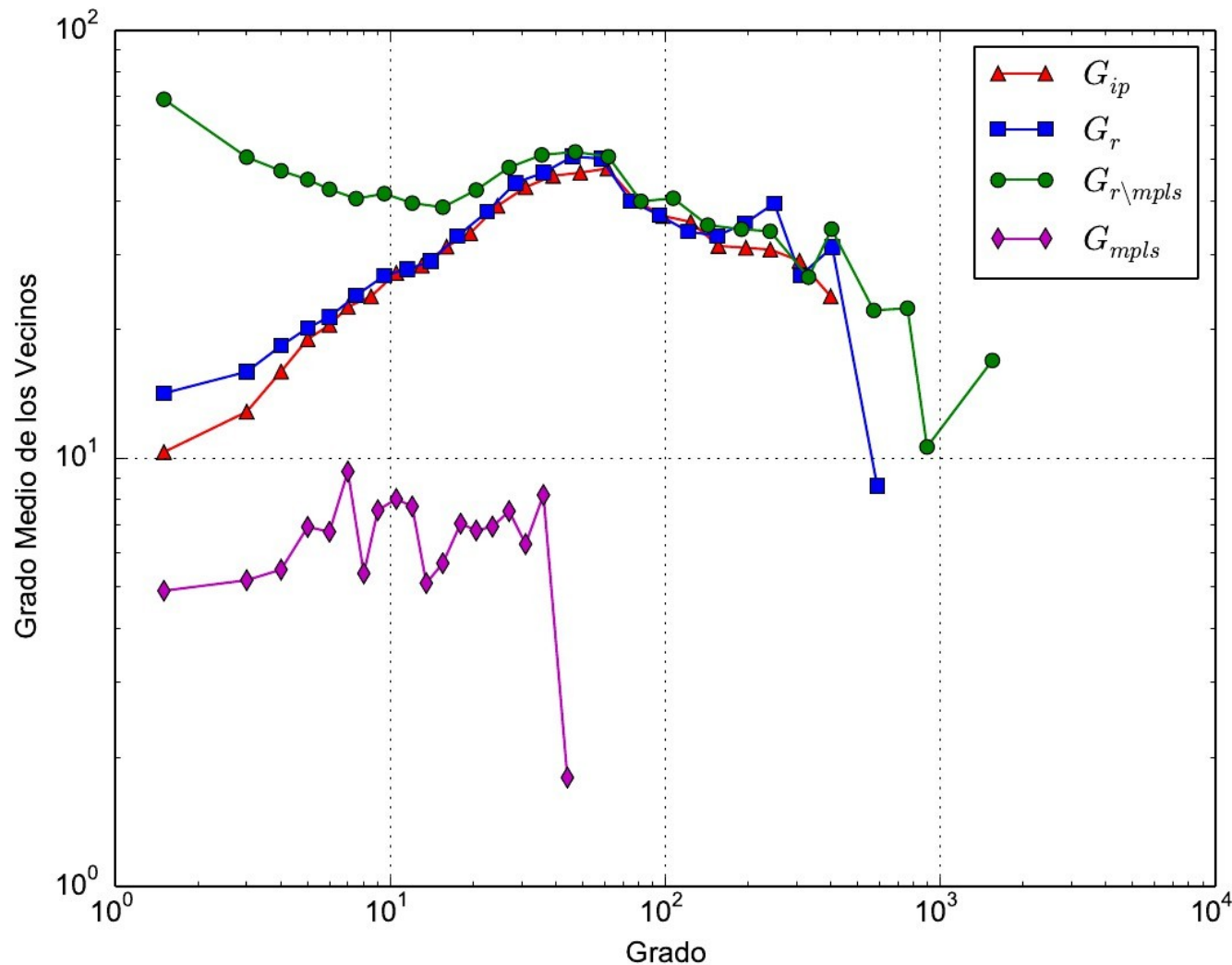
Contenido

- Estado del Arte
 - Topología de Internet
 - Limitaciones en la topología de routers
 - Métricas
- Experiencias y análisis de las exploraciones
 - Recolección de datos
 - Identificación de los túneles MPLS
 - Formación de Grafos
 - Análisis de los Grafos
 - Enlaces MPLS y AS
- Conclusiones

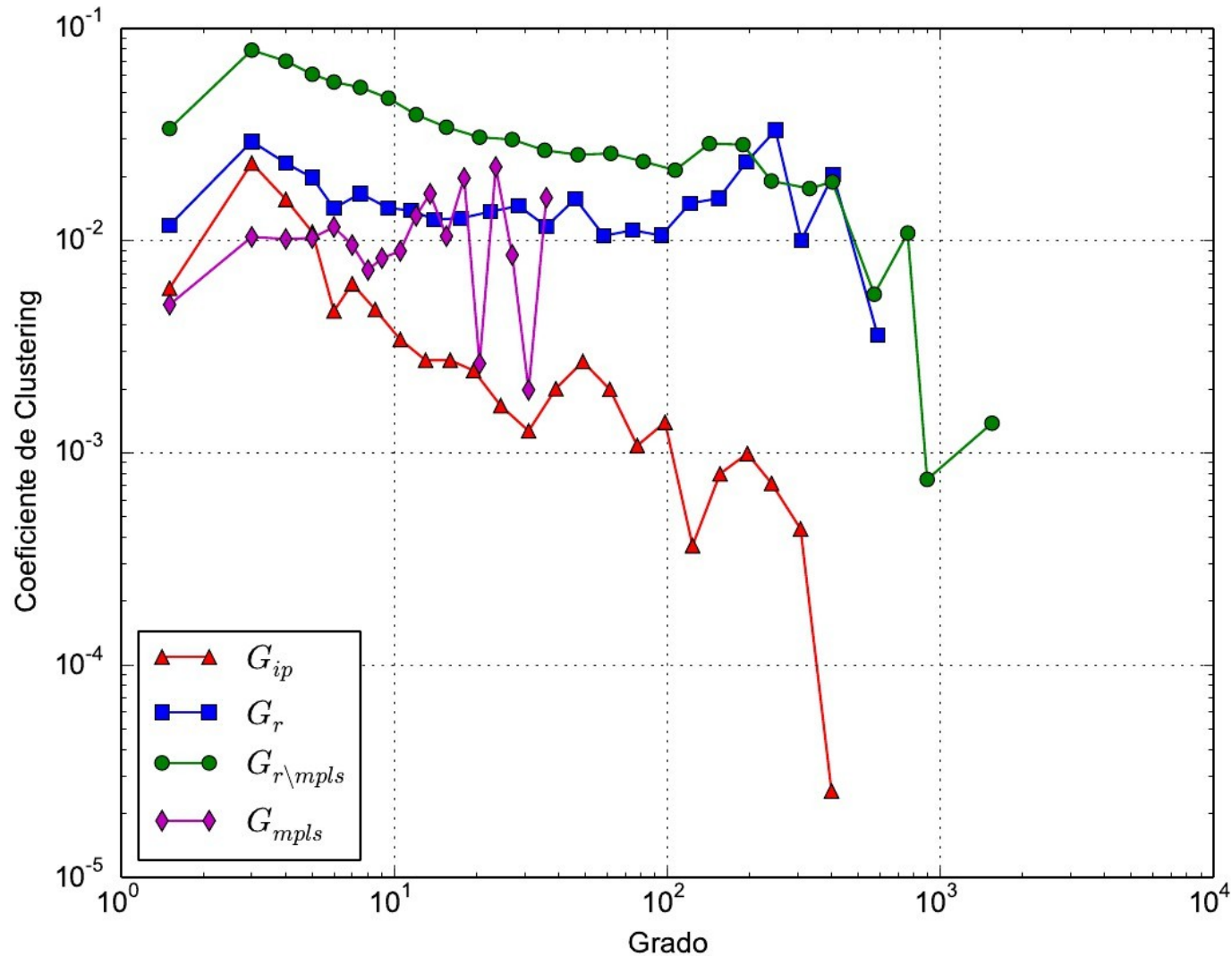
Distribución de Probabilidad Grado



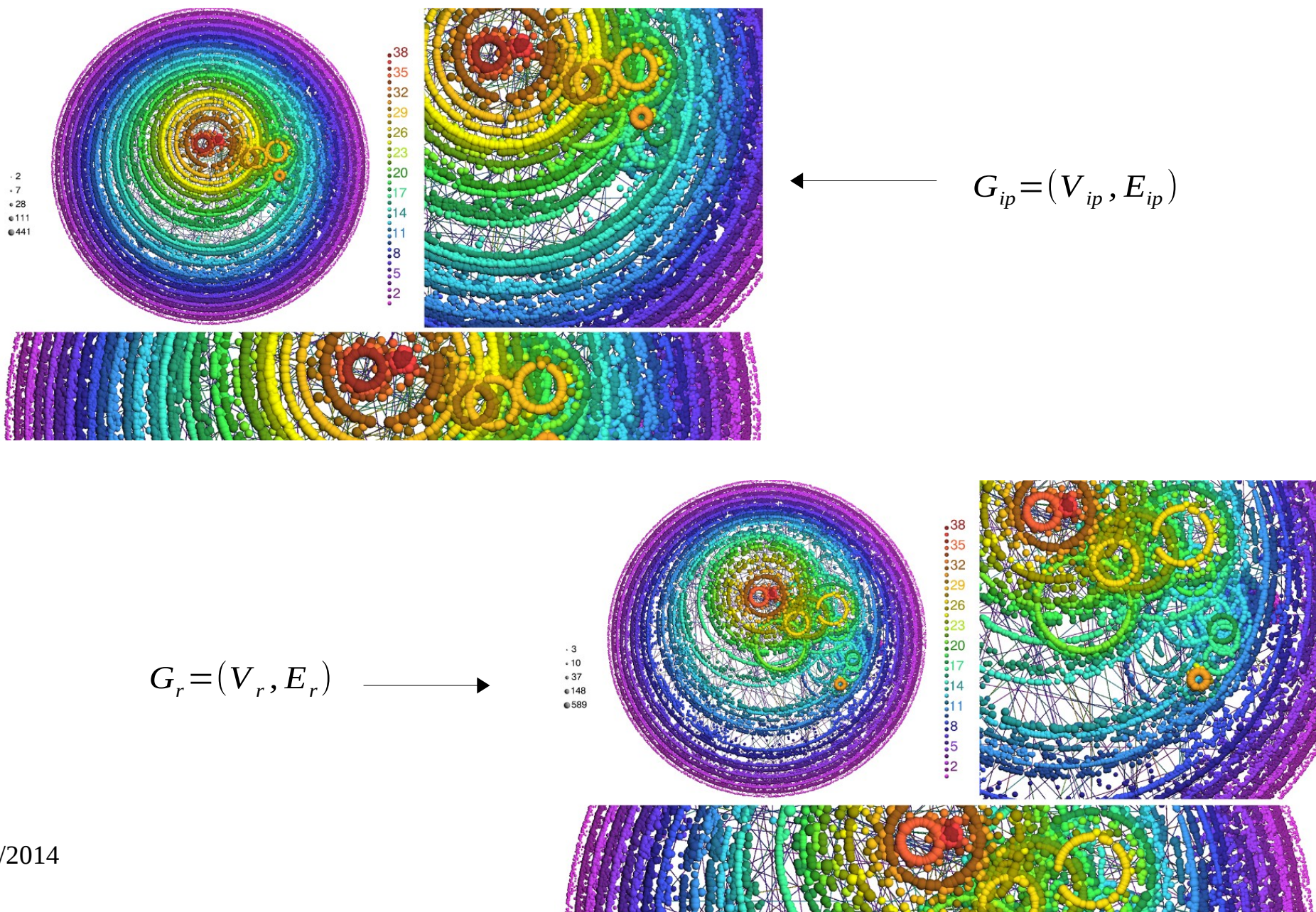
Distribución del grado medio de los vecinos



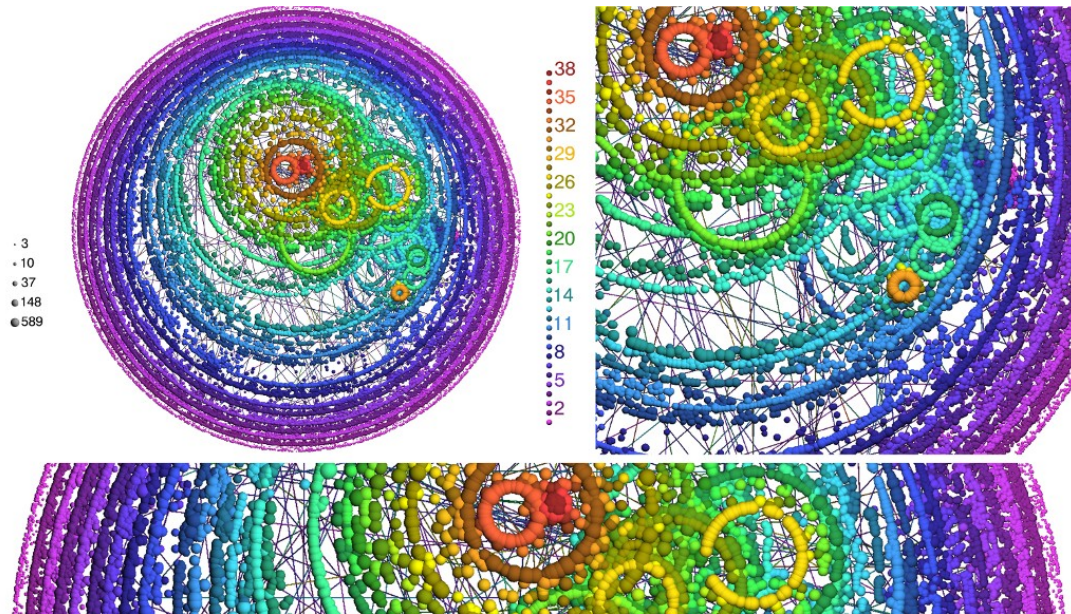
Distribución del coeficiente de clustering



Visualización de Grafos

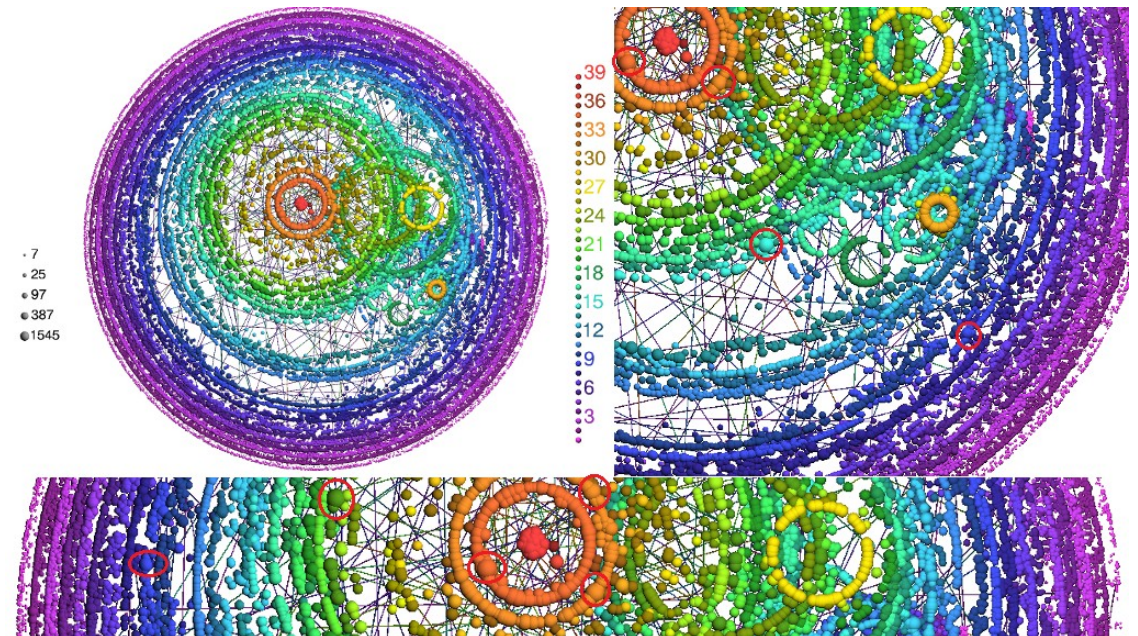


Visualización de Grafos



$$\leftarrow G_r = (V_r, E_r)$$

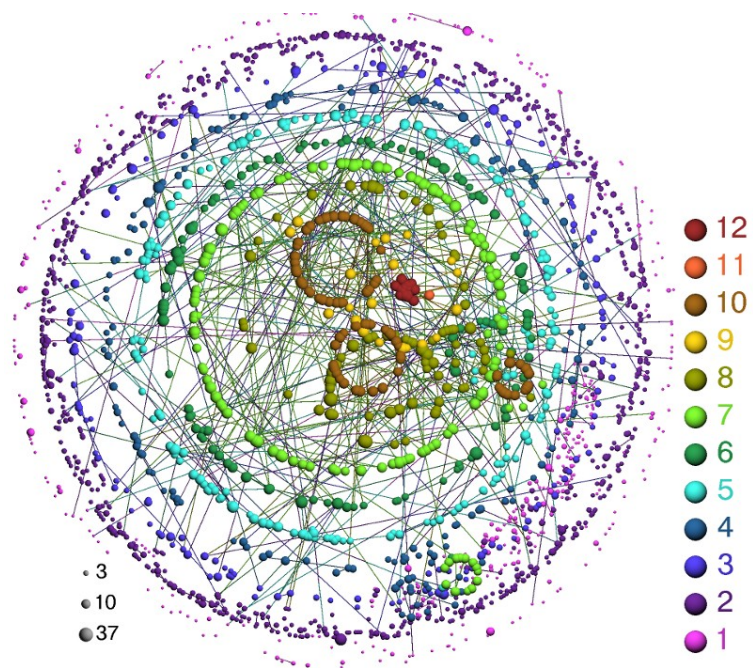
$$G_{r \setminus mpls} = (V_{r \setminus mpls}, E_{r \setminus mpls}) \longrightarrow$$



Contenido

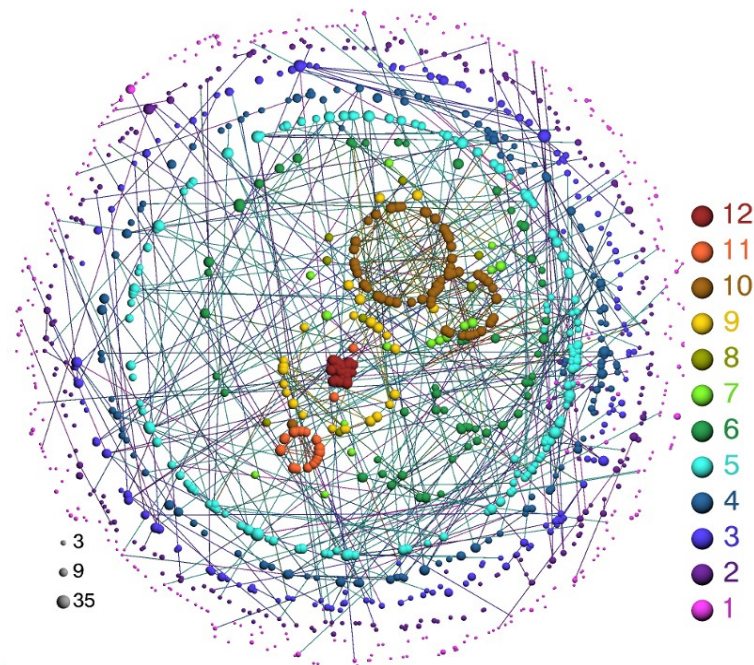
- Estado del Arte
 - Topología de Internet
 - Limitaciones en la topología de routers
 - Métricas
- Experiencias y análisis de las exploraciones
 - Recolección de datos
 - Identificación de los túneles MPLS
 - Formación de Grafos
 - Análisis de los Grafos
 - Enlaces MPLS y AS
- Conclusiones

- Objetivo:
 - Entender el comportamiento de los enlaces MPLS en un mismo AS y entre AS distintos.
- Enlaces MPLS Intra-AS
 - Enlaces entre LSRs pertenecientes a un mismo AS
 - El **86,35%** de enlaces MPLS son intra-AS
- Enlaces MPLS inter-AS.
 - Enlaces MPLS que pertenecen a AS distintos

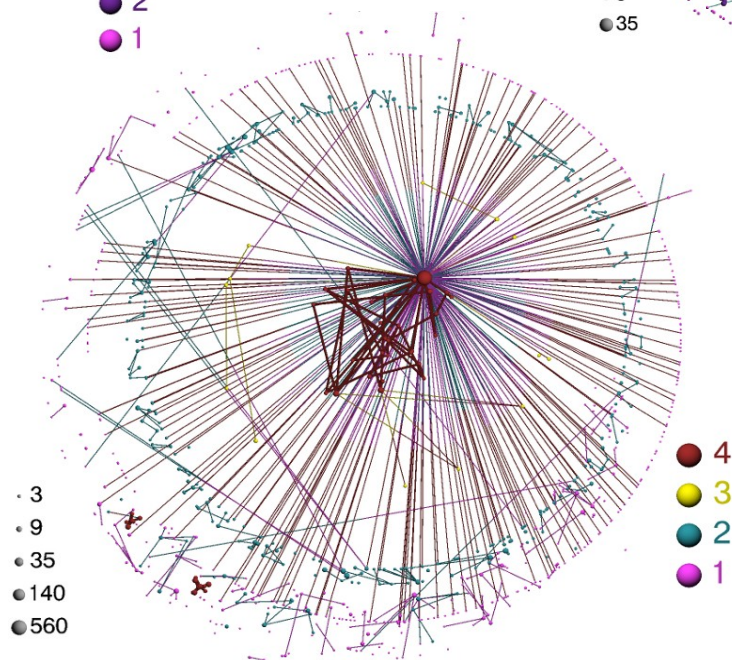


G_r^{AS7018}

AT&T



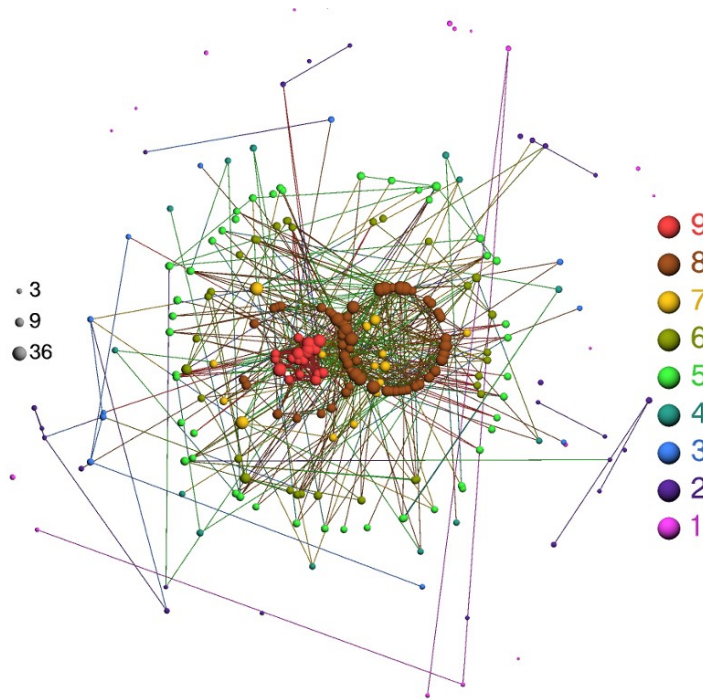
G_{mpls}^{AS7018}



$G_{r \setminus mpls}^{AS7018}$

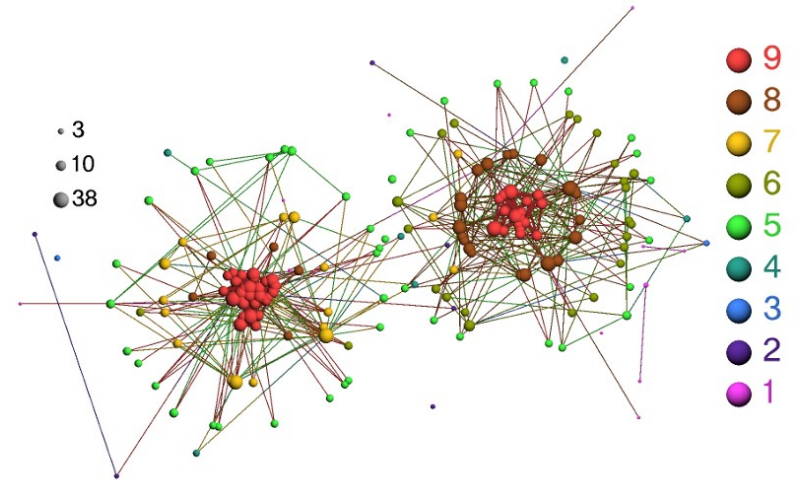
IMPACTO DE LOS TÚNELES MPLS EN LA TOPOLOGÍA DE INTERNET

Experiencias y análisis de las exploraciones > Enlaces MPLS y AS

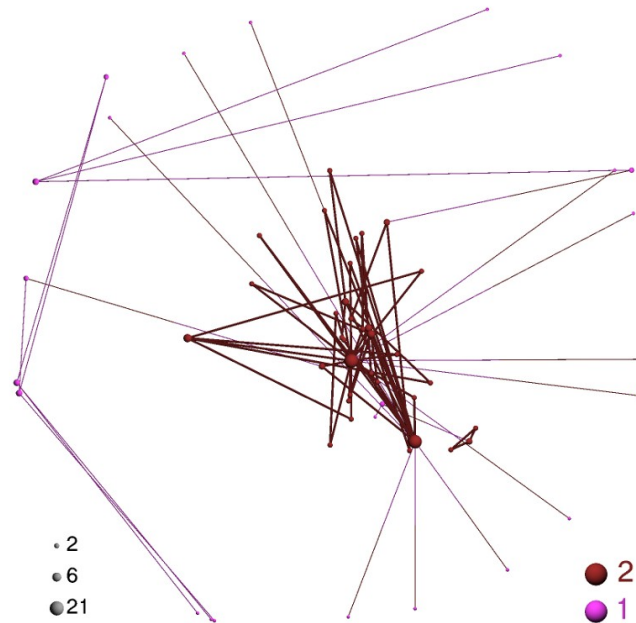


$G_r^{AS 33363}$

BRIGHT HOUSE NETWORK



$G_{mpls}^{AS 33363}$

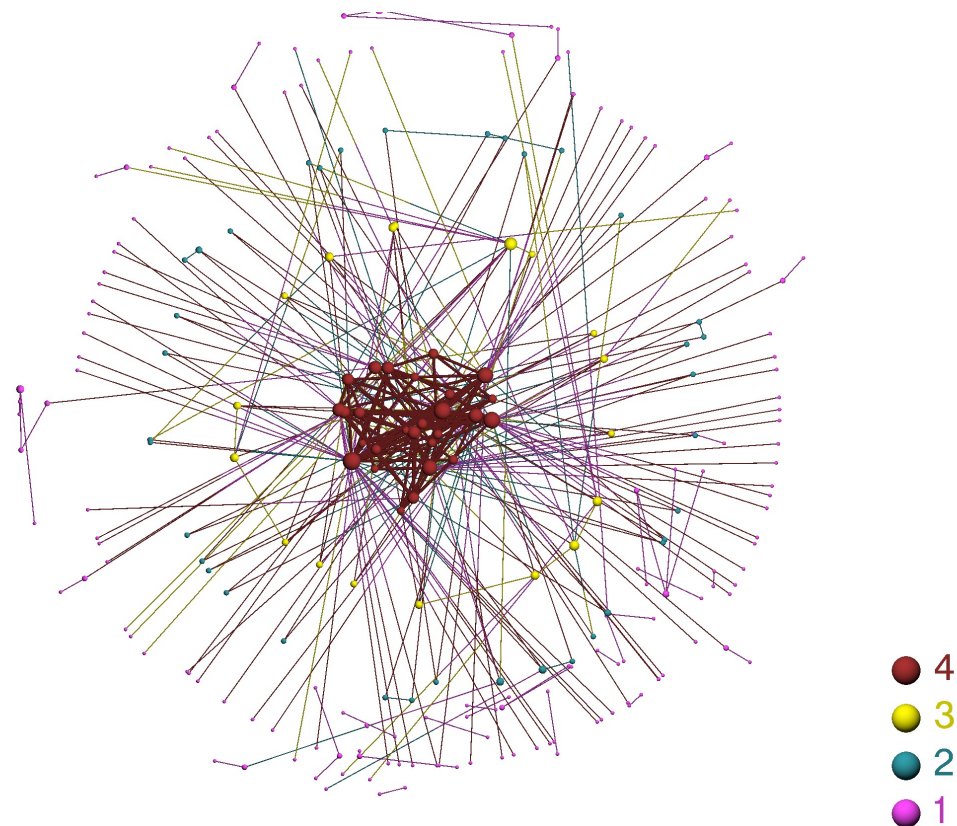


$G_{r \setminus mpls}^{AS 33363}$

Enlaces MPLS Inter-AS

AS	Top
Level 3	1
Verizon	2
MNI Telecom	3
Tinet	4
AMS-IX1	5
Seabone	6
Rostelecom	7
TeliaSonera	8
GlobeInternet	9
Global Crossing	10

• 3
● 10
● 40



Top AS Enlaces MPLS Inter-AS

AS	Top
Level 3	1
Verizon	2
MNI Telecom	3
Tinet	4
AMS-IX1	5
Seabone	6
Rostelecom	7
TeliaSonera	8
GlobeInternet	9
Global Crossing	10

Top AS Enlaces MPLS Intra-AS

AS	Top
Level 3	1
AT&T	2
Liberty Global	3
Bright House Network	4
Metromedia Fiber Network	5
KPN	6
NTT	7
GlobeInternet	8
Bacom	9
Seabone	10

Top AS Enlaces MPLS Inter-AS

AS	Top	% tuneles implícitos
Level 3	1	
Verizon	2	89,04
MNI Telecom	3	Sin tuneles
Tinet	4	100
AMS-IX1	5	100
Seabone	6	
Rostelecom	7	100
TeliaSonera	8	25,66
GlobeInternet	9	
Global Crossing	10	98,98

- **Comportamiento general:**
 - Túneles explícitos > Túneles implícitos
 - Enlaces mpls intra-AS > Enlaces MPLS inter-AS
- **Comportamiento en top 10 de enlaces Inter-AS:**
 - Túneles explícitos < túneles implícitos
 - Enlaces mpls intra-AS < enlaces MPLS inter-AS
- **CONCLUSIÓN:**
 - Indicio de túneles invisibles (?)

Conclusiones

- Túneles MPLS en aumento: 40% vs 30% (Donet et al., 2012)
- Firma u-turn (Donet et al., 2012) no es confiable
- Topología:
 - $P(g)_{G_{r \setminus mpls}} \approx P(g)_{G_r}$
 - $G_{ip} - G_r$ Aumenta coeficiente de clustering
 - $G_{r \setminus mpls}$ Aumenta grado de capas intermedias
 - En un mismo AS disminuyen las capas: $G_{ip} - G_{r \setminus mpls}$
- La relación de túneles MPLS dentro y fuera de un AS indicaría túneles MPLS invisibles

GRACIAS