

lacnic45

25 - 28 MAYO / CIUDAD DE PANAMÁ, PANAMÁ

El grafo de los ASNs de Internet (parte 1)

Carlos Martinez Cagnazzo

Claudio Riso Montaldo

¿Quiénes somos?

Carlos Martínez Cagnazzo



MSc. candidate, Eng., Chief Technology Strategist de LACNIC, el Registro Latinoamericano de Direcciones de Internet.

Claudio Risso Montaldo



MSc., Eng., PhD (Comb. Optimization), Profesor Agregado y Jefe del Departamento de Investigación Operativa, Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, UdelaR, Uruguay.

Objetivos de este trabajo

Crear un marco que nos permita crear modelos del grafo de Internet a nivel de sistemas autónomos con la mayor verosimilitud posible

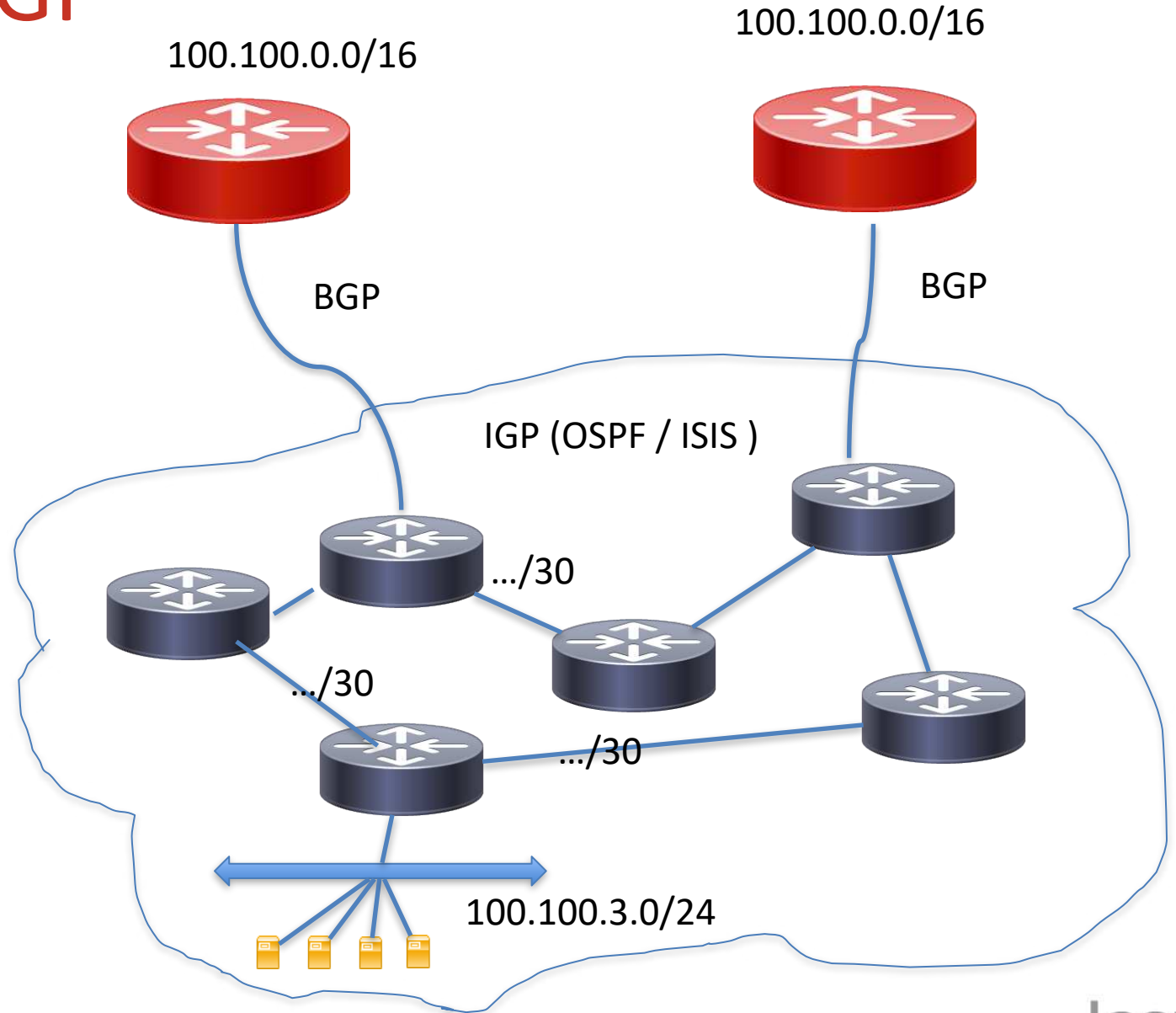
- Posibles aplicaciones:
 - Identificar características globales de Internet, imposibles de capturar con el sesgo que introduce la visión desde cualquier AS hacia el resto
 - Permitir una toma de decisiones de políticas (enrutamiento, despliegue) informada con datos y con la posibilidad de valorar diferentes escenarios
 - Simulaciones de nuevas técnicas que afecten al enrutamiento (RPKI, ASPA, ROAs)

Objetivos de este trabajo

- Relevar el grafo de Internet a nivel de sistemas autónomos a partir de fuentes públicas de información
 - RIPE RIS, RouteViews, CAIDA
 - Procesarlo hasta obtener la topología base (únicamente los tránsitos)
 - Obtener una matriz de tránsitos (globalmente visibles) y una de peerings (tienen efecto local)
- Buscamos aplicar una visión estructural de la red tratando de reproducir a escala sus propiedades topológicas

Recordar IGP vs BGP

- El IGP link-state descubre toda la complejidad interna de cada red (topología)
- BGP comunica hacia fuera información resumida introduciendo sesgos por cada AS



Fuentes de datos públicas de BGP

- Usamos hasta ahora [RIS](#) y [Route Views](#)
- ¿Qué hacen?
 - Ambos proyectos alojan *probes*, sensores que hablan BGP con un conjunto de peers y que periódicamente graban dumps de su tabla BGP y de los mensajes BGP que les llegan
- ¿Cómo se lee esta información?
 - Los archivos están en formato [MRT](#) y existen diversas herramientas para procesarlos
 - En este trabajo usamos BGPStream (<https://bgpstream.caida.org/>)

Routing Information Service (RIS)



¿Porque son importantes estos datos de BGP?

- Monitoreo
 - *Estado global y regional del enrutamiento*
- Modelado
 - *Permiten reconstruir la topología de Internet a partir de mediciones distribuidas*
- Simulaciones
 - *Diseño de políticas de enrutamiento o despliegue, mediante pruebas de diferentes escenarios*

Routing Information Service (RIS)



Colectores en IXP



Contenido de un archivo MRT

(RIB-File)

```
R|R|1779040801.000000|singlefile|singlefile|||61522|45.68.16.2|  
181.16.198.0/23|45.68.16.175|7049 52323 52323|52323|  
61522:65012 61522:65120||
```

```
R|R|1779040801.000000|singlefile|singlefile|||61522|45.68.16.1|  
37.57.55.0/24|45.68.16.244|6939 13188|13188|61522:65012  
61522:65120||
```

```
R|R|1779040801.000000|singlefile|singlefile|||61522|45.68.16.2|  
37.57.55.0/24|45.68.16.244|6939 13188|13188|61522:65012  
61522:65120||
```

```
R|R|1779040801.000000|singlefile|singlefile|||61522|45.68.16.1|  
179.0.156.0/22|45.68.16.223|6057 28000|28000|61522:65012  
61522:65120||
```

Cómo construimos el grafo de ASes

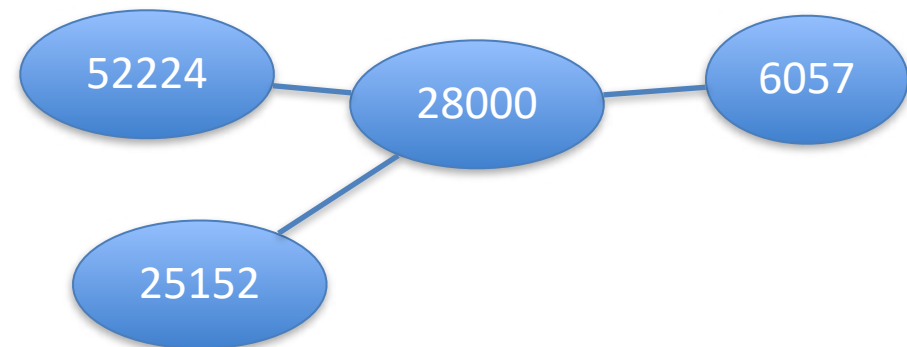
- Para cada archivo MRT (full y updates), tomamos todos los ASPATH
- Para cada ASPATH consideramos que cada salto representa una arista
 - Descartamos ASes no registrados (bogons) y duplicados (prependes)

```
ASPATH: 6057 28000 52224  
ASPATH: 6057 28000 25152
```

MRT INPUT

```
# Aristas  
6057 28000  
28000 52224  
28000 25152
```

OUTPUT

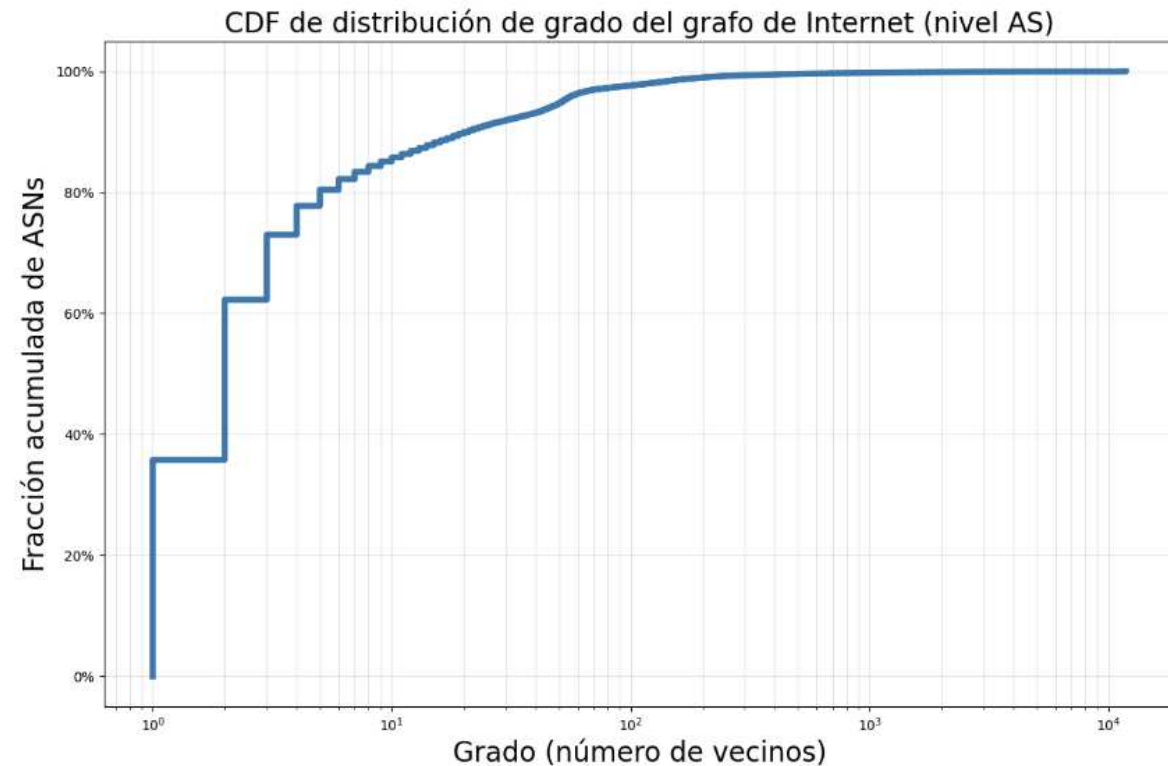


Cómo construimos el grafo de ASes (ii)

- Para cada archivo MRT (full y updates) y para cada día del mes de **abril de 2025** tomamos todos los ASPATH
 - Procesamos los MRT de 24 colectores de RIS mas los MRT de 4 colectores de RouteViews
 - 28*30 archivos completos mas 288*30 archivos de updates
- Para cada ASPATH consideramos que cada salto representa una arista
 - Descartamos ASes no registrados (bogons) y duplicados (prepends)

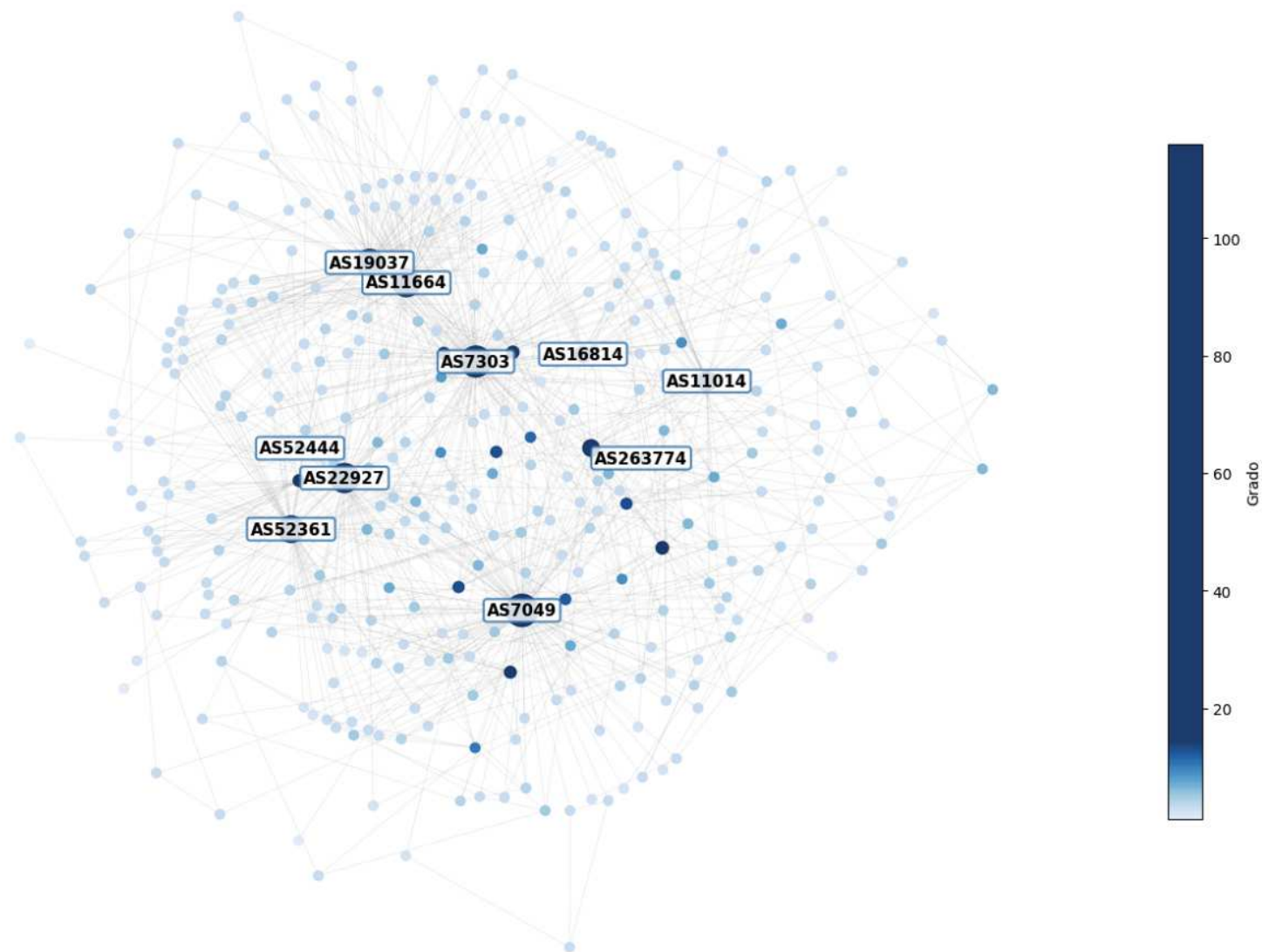
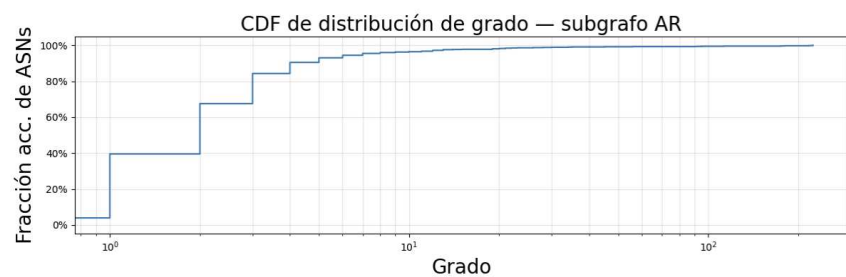
Primeros resultados (pre-filtrado)

- ~86.400 nodos (*sistemas autónomos*)
 - El 36.8% son “hojas” (grado 1)
 - **El 85.8% tienen grado menor a 10**
- ~750.000 aristas (grado no-dirigido)
 - Si fuera un grafo full-mesh/cliq ue debería tener 3.732.436.800 aristas $(N*(N-1))/2$
 - Internet-transit tiene **a lo sumo el 0.02% de las aristas que tendría que tener para ser un full—mesh: es poco denso.**
 - ¡El grafo obtenido es conexo!
- Grado medio de los nodos: 16.6



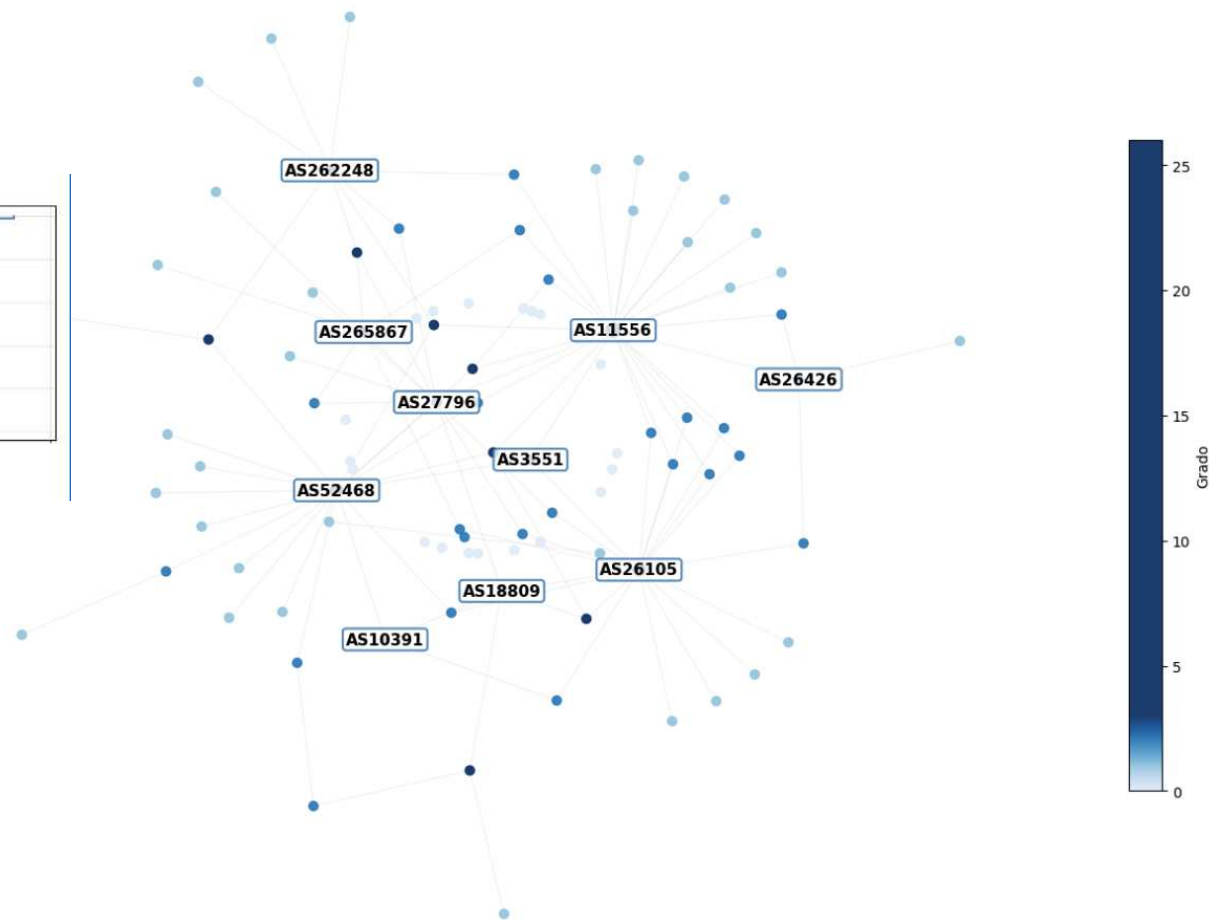
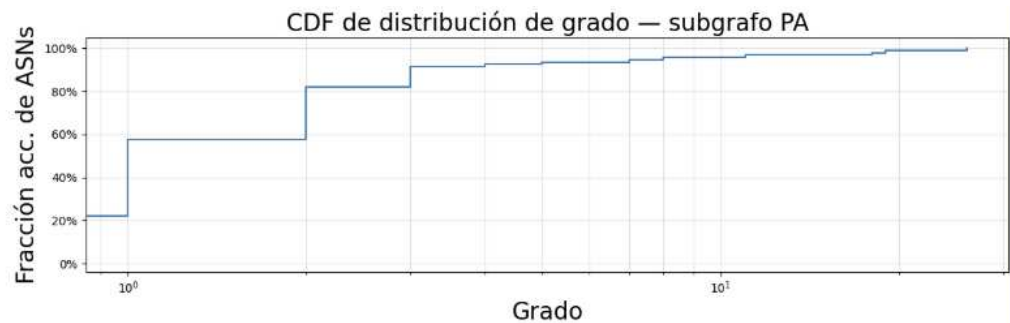
Subgrafos por país

Argentina:



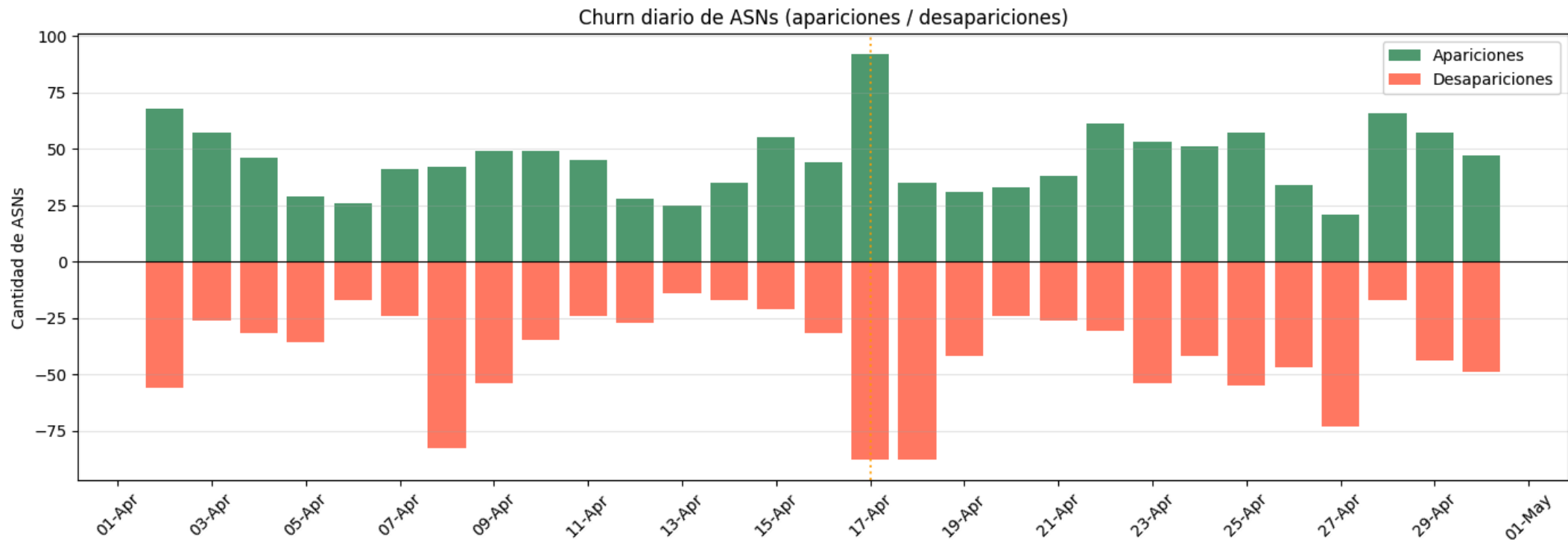
Subgrafos por país

Panamá:



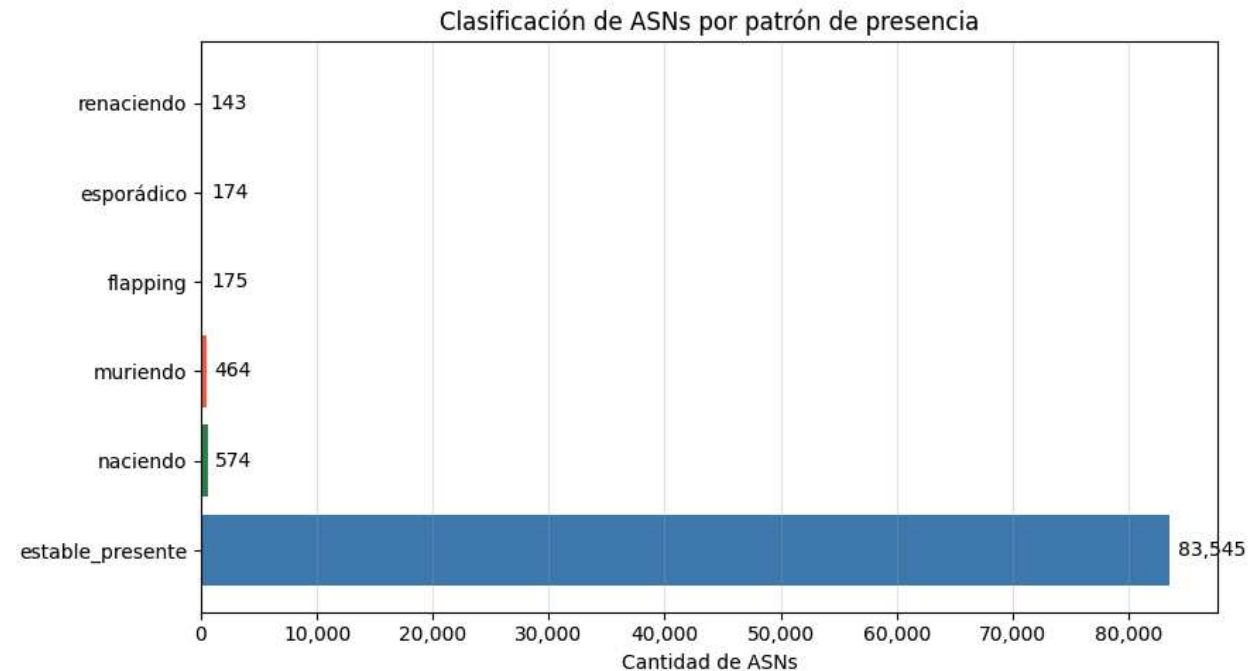
Estabilidad temporal

- Cada día hay algunos sistemas autónomos que aparecen y otros que desaparecen



Estabilidad temporal

- **Estable** — Presente todos los días del período. Sin transiciones.
- **Naciendo** — Ausente al inicio, presente al final: una única transición $0 \rightarrow 1$ sin retorno.
- **Muriendo** — Presente al inicio, ausente al final: una única transición $1 \rightarrow 0$ sin retorno.
- **Flapping** — 4 o más transiciones en total (apariciones + desapariciones). Aparece y desaparece repetidamente — señal de inestabilidad en el ruteo.
- **Esporádico** — Tiene transiciones pero no encaja en ninguno de los patrones anteriores.
- **Renaciendo** — Tuvo al menos una desaparición y una reaparición, con su última transición siendo $0 \rightarrow 1$ (presente al final del período).



lacnic45

25 - 28 MAYO / CIUDAD DE PANAMÁ, PANAMÁ

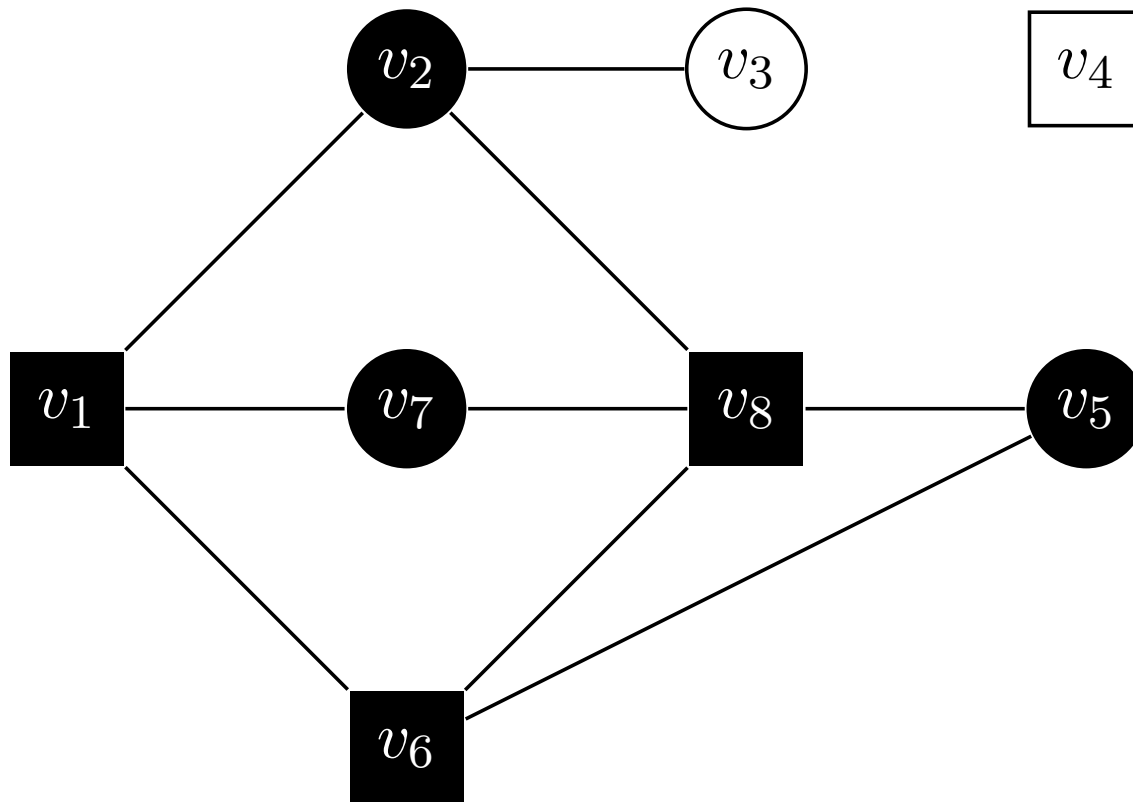
El grafo de los ASNs de Internet (parte 2)

Carlos Martinez Cagnazzo

Claudio Riso Montaldo

Optimización de Redes n-conexas

- Hasta los 90's la infraestructura telefónica soportaba la de Internet.
- En la PSTN/TDM, la numeración telefónica incorporaba el routing: +598 (Uruguay) 2 (Montevideo) 403 (Central Cordón) 0038 (Abonado 38).
- La red física se optimizaba previendo niveles de conectividad: core, distribución, acceso.



$$r = \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \\ 1 \\ 0 \\ 2 \\ 3 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}$$

Optimización de Redes n-conexas

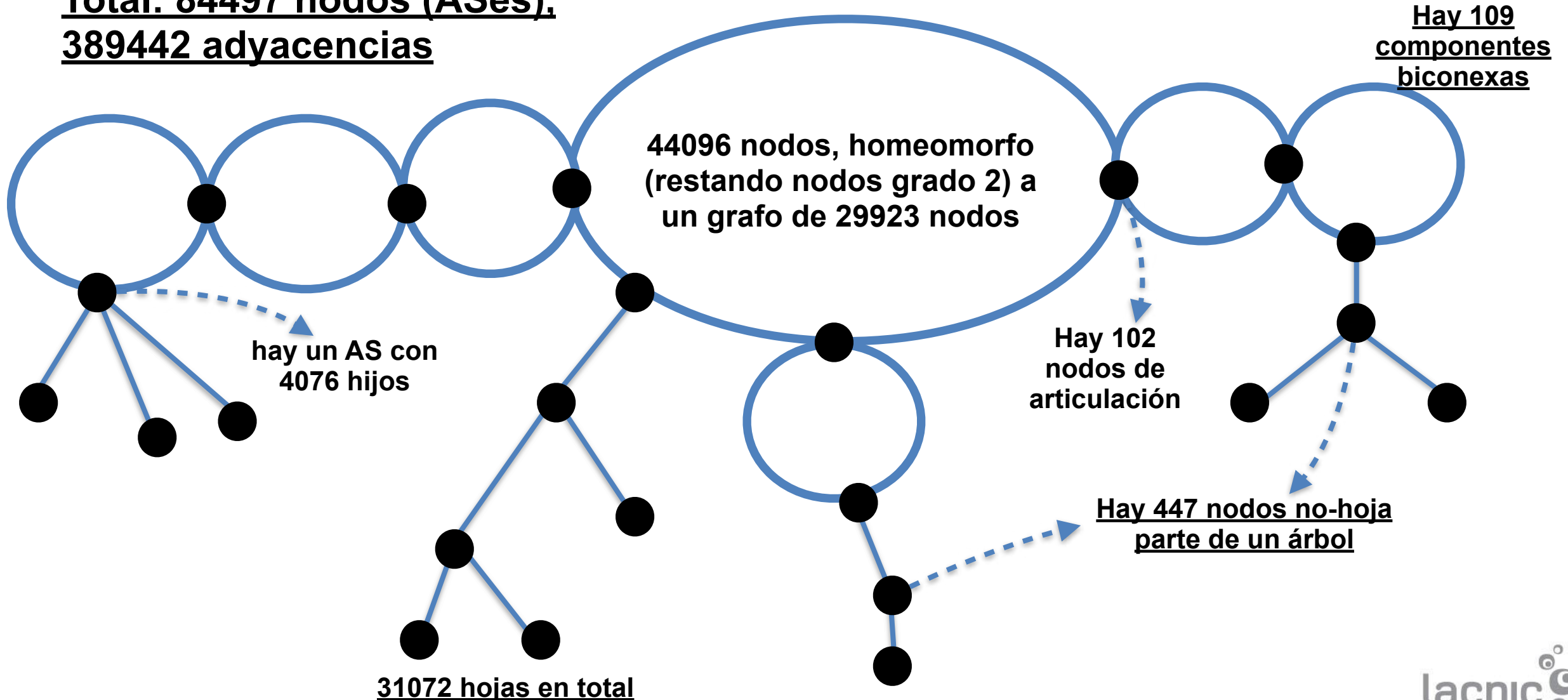
- Hasta los 90's la infraestructura telefónica soportaba la de Internet.
- En la PSTN/TDM, la numeración telefónica incorporaba el routing: +598 (Uruguay) 2 (Montevideo) 403 (Central Cordón) 0038 (Abonado 38).
- La red física se optimizaba previendo niveles de conectividad: core, distribución, acceso.

Las decisiones para la interconexión entre ASes se basan en criterios distintos, más comerciales que topológicos. No obstante, cabe preguntarse:

- ¿Cómo sería Internet interpretada desde su topología?
- ¿Qué nivel de conectividad tiene?
- ¿Tiene porciones asimilables a un core, distribución o acceso?

Estructura de Internet (Grafo de Tránsito)

Total: 84497 nodos (ASes),
389442 adyacencias



Estructura de Internet (Grafo de Tránsito)

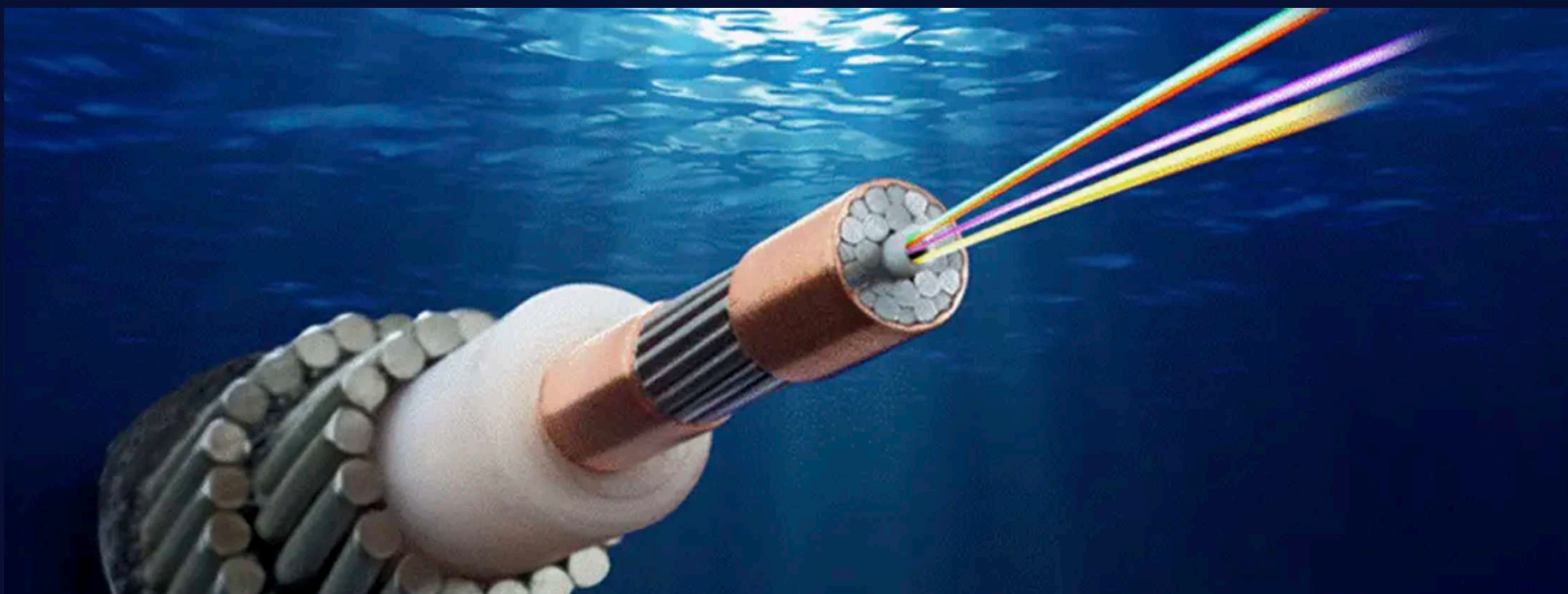
- En términos de conectividad, si hay un Backbone en Internet debe estar sobre los 44096 ASes asimilables a su vez en estructura a una red de 29923 nodos 2-conexa.
- ¿Hay subcomponentes mejor conectadas? (3, 4,..., 10-conexas)? Sí, por ejemplo: a este momento, hemos identificado un clique de 31 y otro de 35 nodos.
- Si parece poco, pensar que para desconectar un AS del segundo clique, deben caer al menos los otros 34 ASes simultáneamente. Si la probabilidad de que un AS esté caído durante un día dado fuera 1% y los eventos fueran independientes, habría que esperar $2 \cdot 10^{55}$ veces la edad del universo (estimada en 14.000 millones de años) para encontrar uno de esos ASes desconectado.
- Si tal desconexión sucediera, no va a casual, sino causal, por un incidente.
- Otra forma de entender el Core es identificar los nodos que están presentes con más frecuencia en los caminos óptimos entre los otros. NO SON INDEPENDIENTES.
- También bajo esa interpretación, debe estar contenido en la componente 2-conexa.
- **Estamos avanzando activamente en eso.**

POLÍTICA | CHILE

Un cable entre China y Chile desata la ira de Estados Unidos

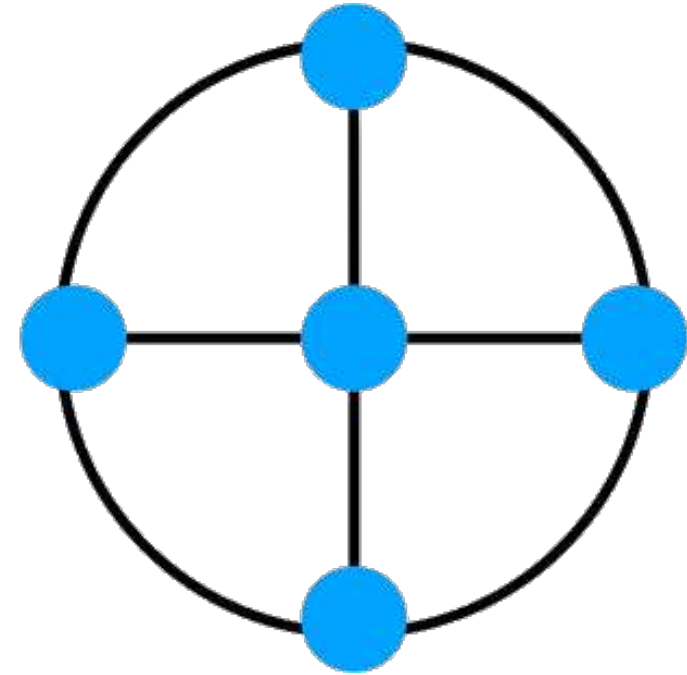
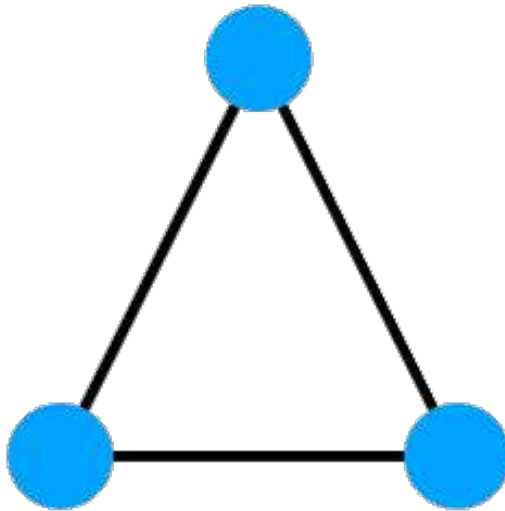
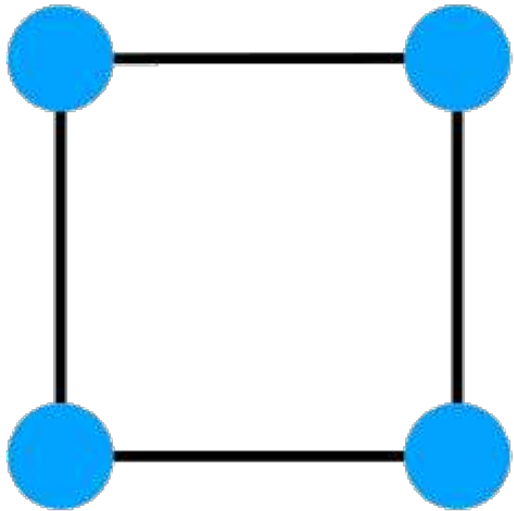
Diego Zúñiga
25/02/2026

Santiago estudia la posibilidad de conectarse con Hong Kong por medio de un cable submarino de fibra óptica. Esta sola idea hizo que tres funcionarios del Gobierno de Gabriel Boric fueran sancionados por Estados Unidos.



Distribución de Probes en la Red

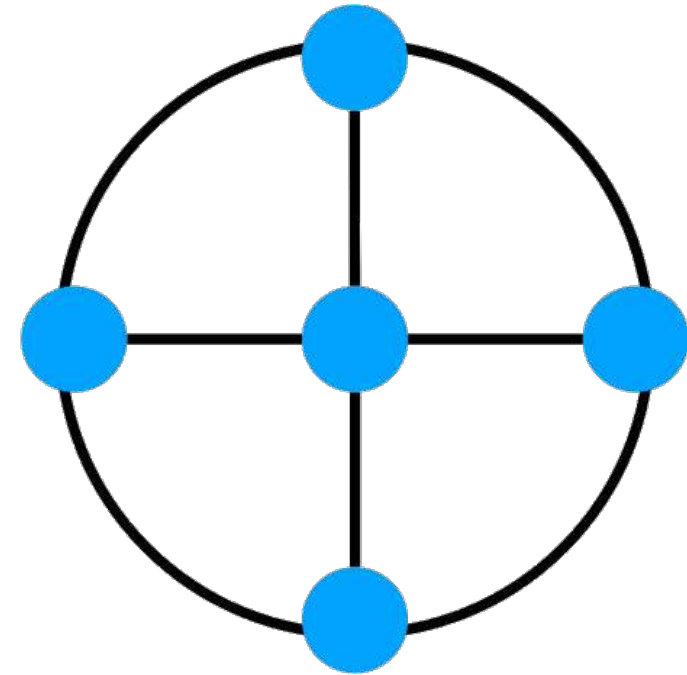
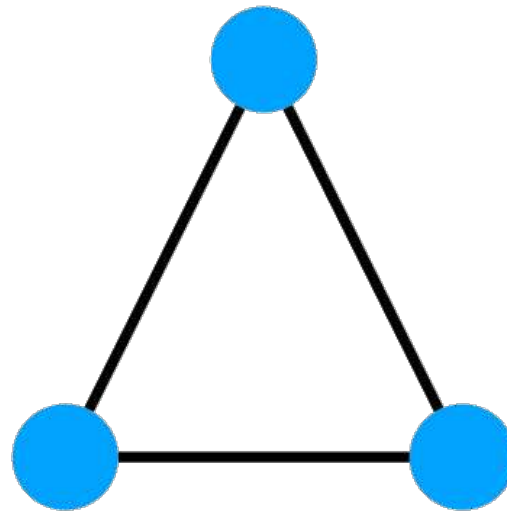
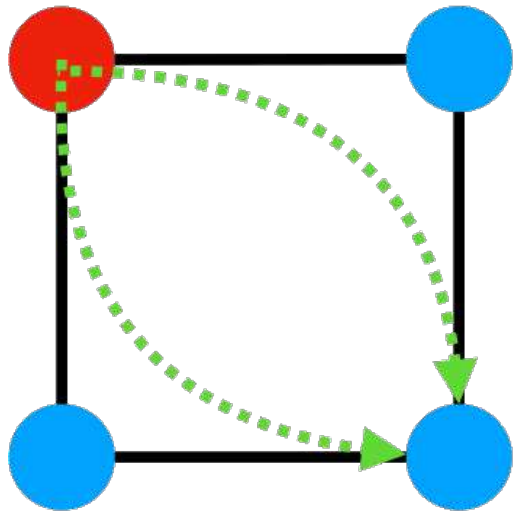
- Los probes —en este caso de BGP— son el insumo esencial para estos estudios.
- ¿Qué podemos decir sobre la consistencia y eficiencia de su distribución?
- El problema tampoco es simple, según se ve en los ejemplos:



¿Cuántos y cuáles son los probes necesarios para reconstruir la topología del grafo?

Distribución de Probes en la Red

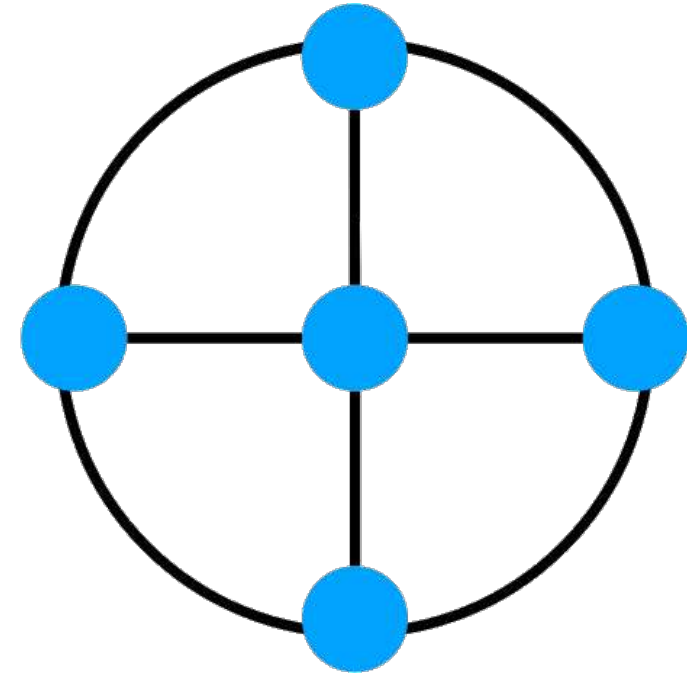
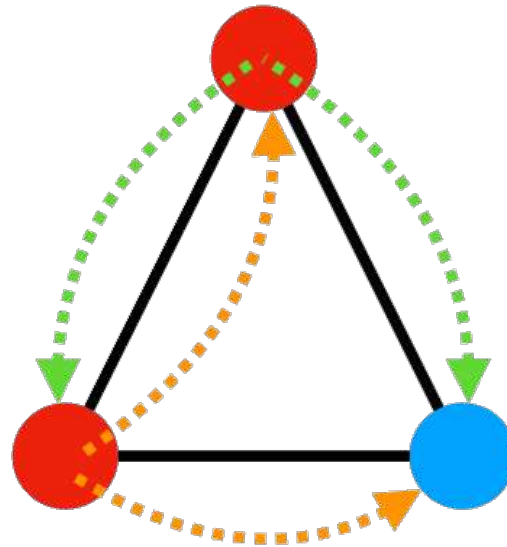
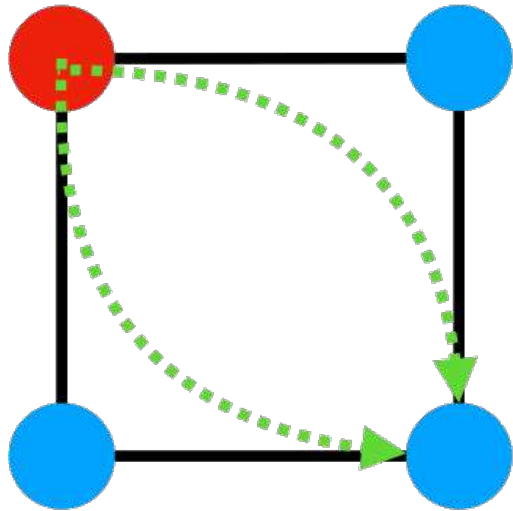
- Los probes —en este caso de BGP— son el insumo esencial para estos estudios.
- ¿Qué podemos decir sobre la consistencia y eficiencia de su distribución?
- El problema tampoco es simple, según se ve en los ejemplos:



¿Cuántos y cuáles son los probes necesarios para reconstruir la topología del grafo?

Distribución de Probes en la Red

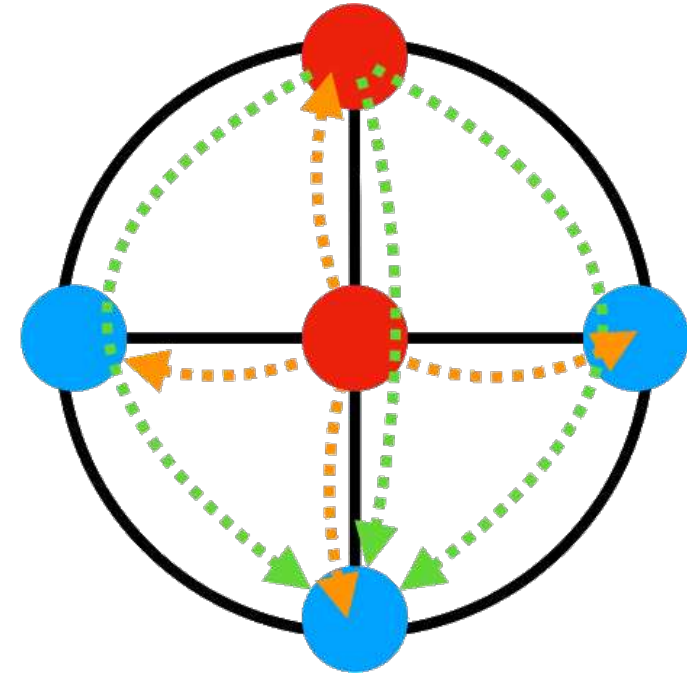
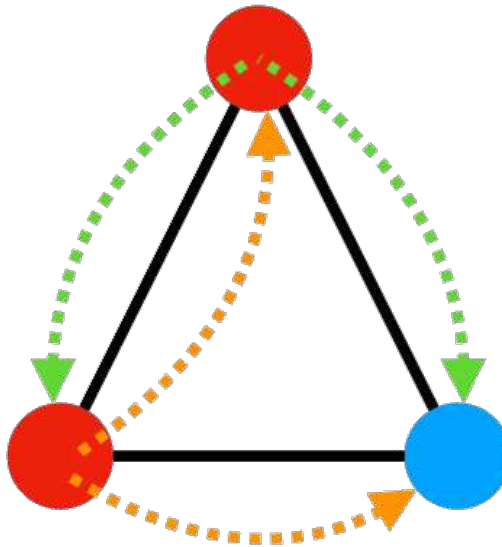
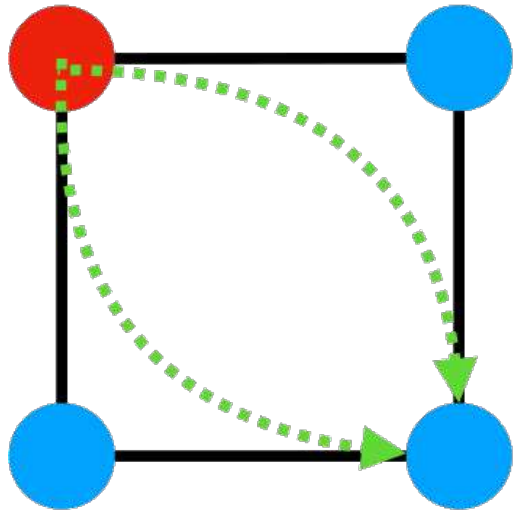
- Los probes —en este caso de BGP— son el insumo esencial para estos estudios.
- ¿Qué podemos decir sobre la consistencia y eficiencia de su distribución?
- El problema tampoco es simple, según se ve en los ejemplos:



¿Cuántos y cuáles son los probes necesarios para reconstruir la topología del grafo?

Distribución de Probes en la Red

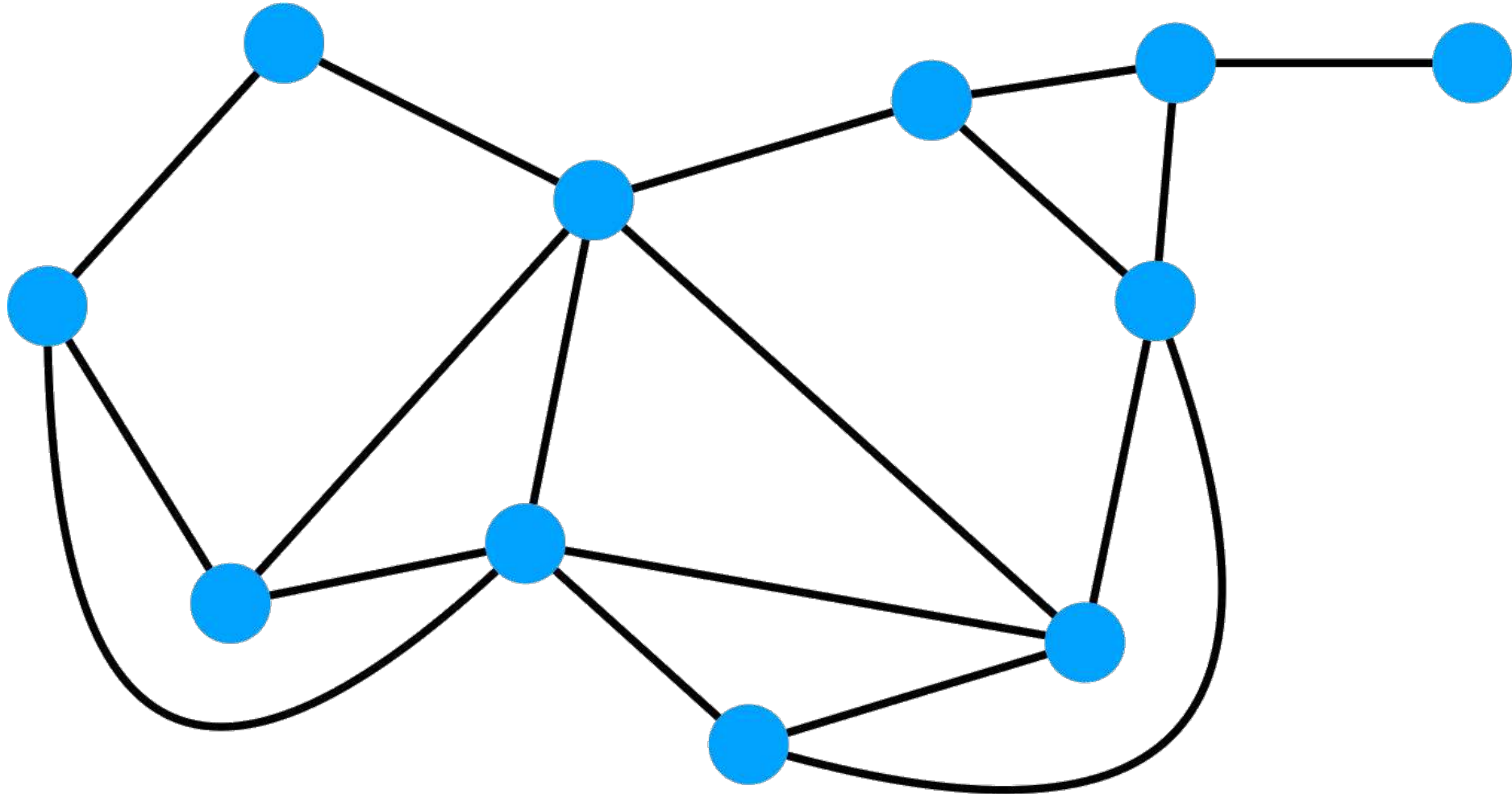
- Los probes —en este caso de BGP— son el insumo esencial para estos estudios.
- ¿Qué podemos decir sobre la consistencia y eficiencia de su distribución?
- El problema tampoco es simple, según se ve en los ejemplos:



¿Cuántos y cuáles son los probes necesarios para reconstruir la topología del grafo?

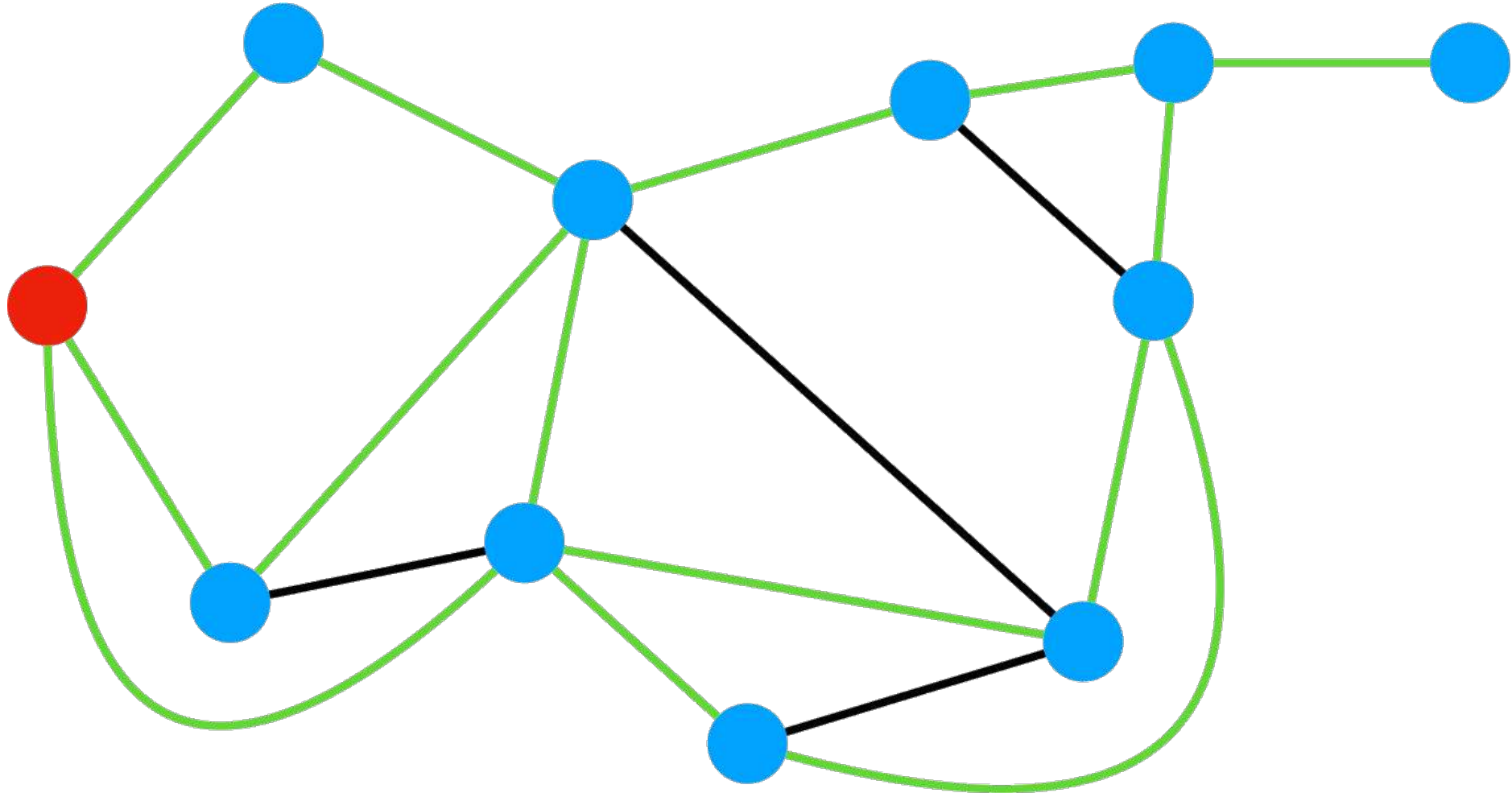
Distribución de Probes en la Red

En un grafo un poco más grande el problema ya no es intuitivo.

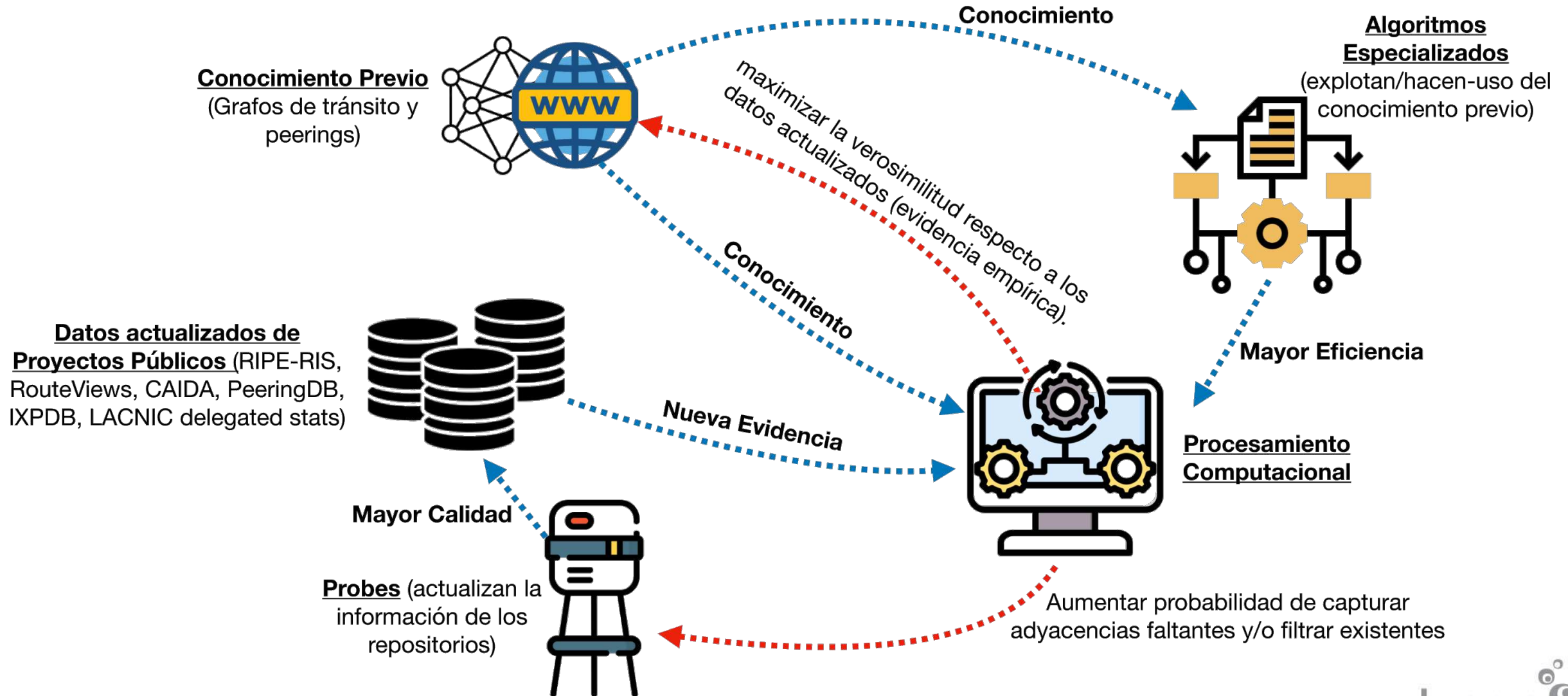


Distribución de Probes en la Red

En un grafo un poco más grande el problema ya no es intuitivo.



Procedimiento Iterativo para Maximizar Verosimilitud



Otros participantes de este estudio



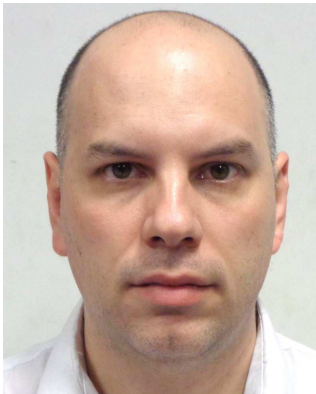
Eduardo Canale

Eng., PhD (Graph Theory), Profesor Adjunto y Miembro del Departamento de Probabilidad y Estadística, Instituto de Matemáticas, Facultad de Ingeniería, UdelaR, Uruguay.



Cristina Mayr

MSc., Eng., PhD (Comb. Optimization), Profesora y Coordinadora de carrera Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería, Universidad de Montevideo, Uruguay.



José Restaino

MSc., Eng., Experto de la Sección Red IP Internacional, dentro del Área Técnica Internacional, ANTEL, Uruguay.