

El trasfondo técnico de Internet en la región: ¿qué hay detrás de la pantalla?

Ing. Esteban Carisimo y Dr. Ing. J.I Alvarez-Hamelin

CONICET

Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires
CoNexDat (Grupo de investigación UBA-CONICET)

<http://cnet.fi.uba.ar/>

8 de Agosto de 2017



UBA

Universidad de Buenos Aires

CONICET



Objetivos de la clase

1 Introducción a los protocolos

- Origen histórico
- Fundamentos técnicos

2 Arquitectura de la red

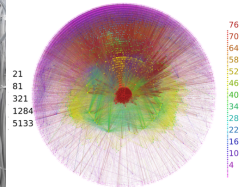
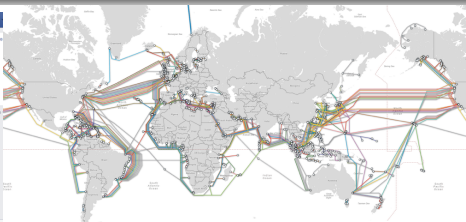
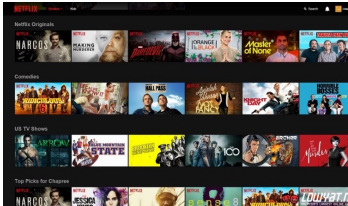
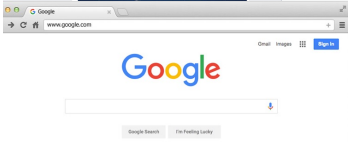
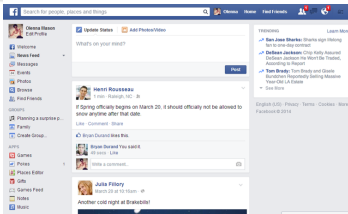
- Dispositivos
- Organizaciones
- Estructura actual de la red

3 Estudio de la red en latinoamérica

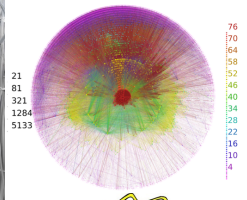
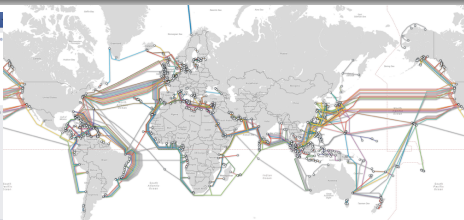
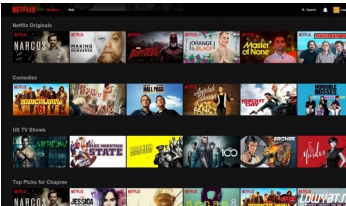
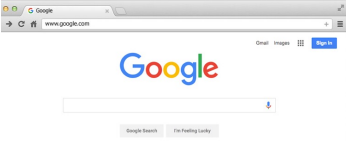
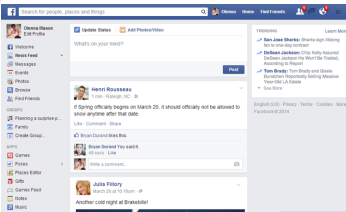
- 1 Internet: Conceptos teóricos, principios de funcionamiento y protocolos
- 2 Interconexión de la red, las CDNs y los IXPs
- 3 Estructura y desafíos de la red en latinoamérica
- 4 Conclusiones

- 1 Internet: Conceptos teóricos, principios de funcionamiento y protocolos
- 2 Interconexión de la red, las CDNs y los IXPs
- 3 Estructura y desafíos de la red en latinoamérica
- 4 Conclusiones

¿Qué es Internet?



¿Qué es Internet?



¿Un protocolo? ← RFC 791 [1]

Origen de ARPANET

- Principios de 1960 Leonard Kleinrock desarrolla en MIT la **conmutación de paquetes** [2]
- A fines de 1960 **DARPA** financia un proyecto para la creación de una **red** de conmutación de paquetes.

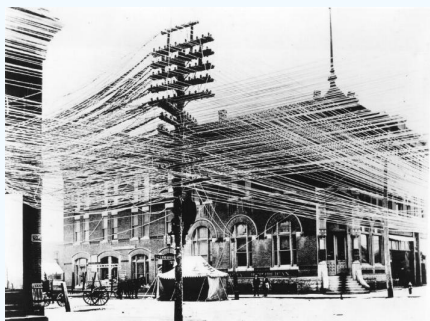
Origen de ARPANET

- Principios de 1960 Leonard Kleinrock desarrolla en MIT la **conmutación de paquetes** [2]
- A fines de 1960 **DARPA** financia un proyecto para la creación de una **red** de conmutación de paquetes.

¡ALTO!

¿Qué es la conmutación de paquetes?

Conmutación de Circuitos



Conmutación de Paquetes

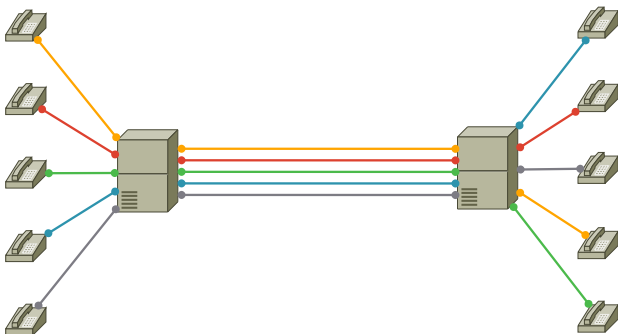


Conmutación de circuitos



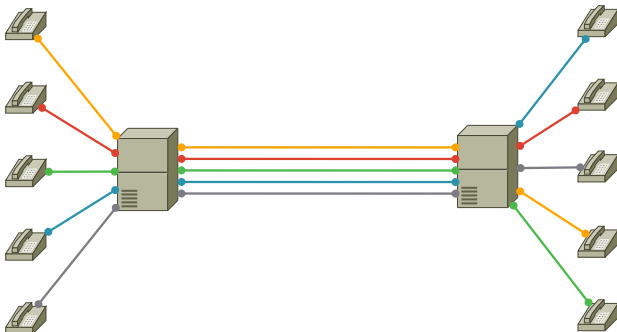
Características

- **Conexión** ← 1 a 1, establecimiento (dispar, atender)
- Uso **exclusivo** del **canal**
- Terminales (teléfonos) sencillos
- Intermediarios (centrales) complejas

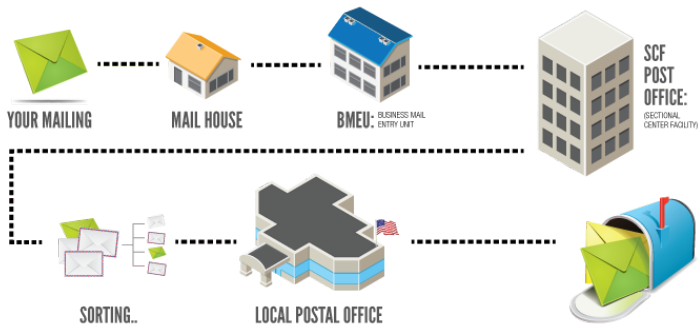


Limitaciones

- Desperdicio con **canal ocioso**
 - Troncales **subutilizados**
 - Pérdidas \$
- Hardware/Software para el **mantenimiento** de la **conexión**
- Imposibilidad de **conexiones simultáneas**.



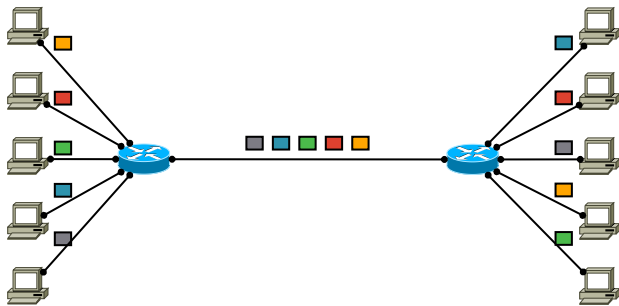
Commutación de paquetes



<http://www.delivermedia.com/wp-content/uploads/2014/10/mail.png>

Características

- Analogía **modelo postal**
- **Información** dividida en **partes** denominada **paquetes**
- Terminales (PC) complejas
- Intermediarios (routers) sencillos



Motivaciones

● Ancho de banda escaso

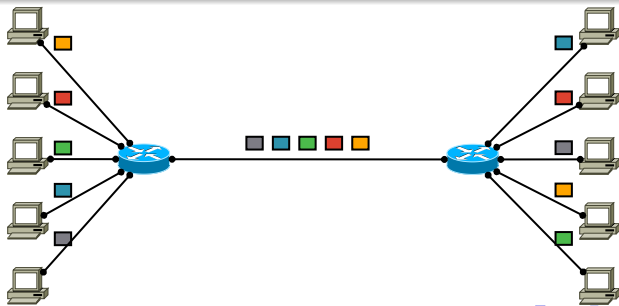
- ~ 50kbps en 1960s
- Optimización de uso

● Utilización de recursos distribuidos

- Supercomputadoras remotas

● Conectar redes heterogéneas → Aún válido

- WiFi
- Cable



Los 3 principios de diseño del protocolo IP

1. Conmutación de paquetes

- La **información** se envía en **trozos** llamados **paquetes**
- Los **infraestructura** se **comparte**

2. Máximo esfuerzo → Simplicidad ↔ Confiabilidad

- Los **paquetes** se **pueden** **“perder”**
- **No** existe **garantía** de entrega
- **No** hay **reenvíos** en caso de pérdidas
- **No** hay **aviso** de pérdida¹

3. Sin conexión

- Intermediarios **sin memoria**
- Cada paquete tiene que ser procesado individualmente
- El **procesamiento** es **sumamente** sencillo

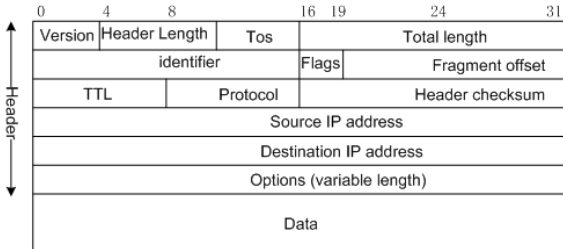
¹ Puede existir avisos en cierto casos utilizado el protocolo ICMP [3]

¿Cómo es la estructura de un paquete?

Paquetes IP

Paquete: secuencia de datos dividida en **header** y **payload**

- **Header:** Envoltorio del paquete que contiene la información para el envío
- **Payload:** Información **útil** a ser transmitida



¿Qué es la nube?

- Protocolo IP definido como **end-to-end**
 - Al igual que las cartas, los **envoltorios sólo** incluyen dirección **origen** y **destino**
 - Cada dispositivo tiene su dirección IP
 - **Sólo conozco** el **buzón** donde depositar la carta
- **end-to-end** → **abstracción de la red**
 - **No se conoce** como es la **topología** de la red
 - No interesa como se genera el envío
 - Permite **desentenderse** de las **tecnologías** para poder hacerlo (ej: Satélite, Fibra Óptica, ADSL)

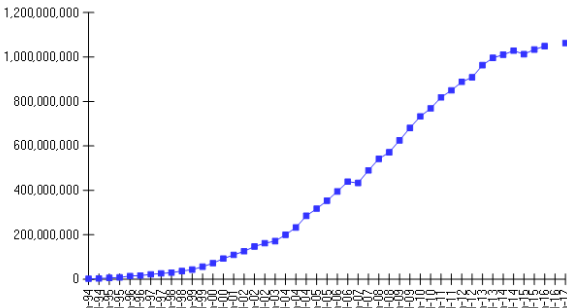


¿Qué es IPv6 y por qué existe?

Internet en la actualidad

- Hasta ahora hemos hablado de **IP versión 4**
 - Versión **actual**, activa **desde 1981**
- **Problemas** de Internet en la actualidad (IPv4)
 - **Muchos dispositivos**, *“pocas direcciones”*
 - Direcciones = **recurso escaso** ⇒ Oferta y demanda
 - Norte América consumió su stock de direcciones IPv4 en 2015 [4]

Internet Domain Survey Host Count



¿Qué es IPv6 y por qué existe?

Soluciones

- **Solución #1: Parche Network Address Translator (NAT).** RFC 1631 (1994) [5]
 - No requiere de **cambios estructurales**
 - Permite conectar infinitos dispositivos
 - Es *desprolijo* y **viola** principio **end-to-end**
- **Solución #2: Expansión IPv6.** RFC 2460 (1998) [6]
 - **Aumenta** el número de **direcciones IP** de forma sustancial
 - **requiere** de **cambios estructurales**
 - **Conserva** y optimiza los conceptos del **paradigma IP**

IPv4 vs IPv6

Cantidad de direcciones	
IPv4	IPv6
4.4×10^9	3.4×10^{38}

Stack de protocolos

¿Qué más hay cuando accedo a un *servicio en línea*?

- ¿Con el Protocolo de **Internet** alcanza? → **NO**
- Existen **otros protocolos** y **tecnologías** involucradas
- Cada **capa** viaja **contenida dentro** de la **otra** → Mamushka



Recordemos IP, sencillo pero...

- **No garantiza entregas**
- **No retransmite** en caso de pérdidas

TCP: Transport Control Protocol

Recordemos IP, sencillo pero...

- No **garantiza** entregas
- No **retransmite** en caso de pérdidas

Solución: TCP sobre IP

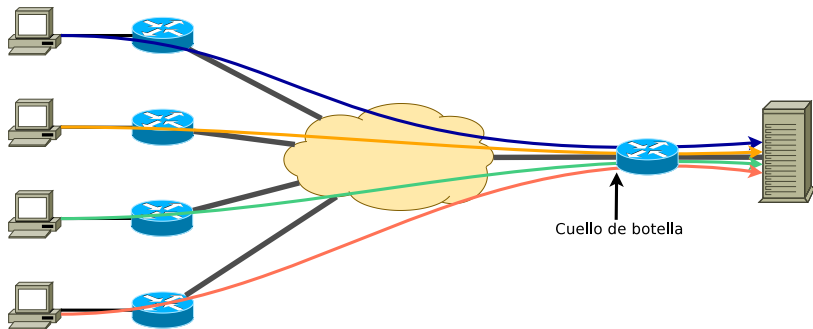
- **TCP** viaja **sobre** de IP
- El **manejo** del protocolo TCP **únicamente** lo hacen el **origen** y **destino**
- Técnicas de **confirmación** y **retransmisión** → Complejidad

Más sobre TCP

- Su **dominio** en Internet es casi **absoluto**
- Permite **diferenciar** cuando **múltiples datos** provienen de la **misma fuente**
 - Por ejemplo: Google = YouTube + Gmail

La red como recurso escaso

- La **infraestructura** de Internet es un **bien compartido**
- Naturalmente existen **cuellos de botella**
- Si hay **congestión TODOS** nos **perjudicamos**
- **TCP** ejecuta mecanismos para **moderar** la **congestión** [7]



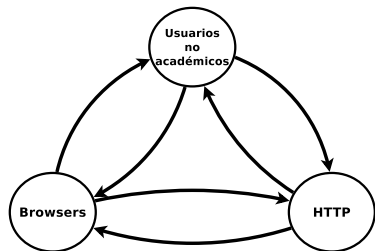
HTTP: HyperText Transfer Protocol

Historia

- **Creado** por Tim Berners-Lee en **1989**
- Objetivo: Poder **vincular** los **archivos** de CERN²
- Nace con esto el concepto central de la WEB: **hipervínculos**

Importancia: *the killer application*

- Rol clave en la **incorporación** de **usuarios no académicos**
- Simbiosis con **browsers**
- Le dio **forma** a la **Internet actual**
 - **Auge** de Internet en los **90s**
 - Privatización de la NSFNET
 - Burbuja .COM
 - Protocolo dominante



²CERN: Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, conocido por el Colisionador de Hadrones

¿Qué es DNS?

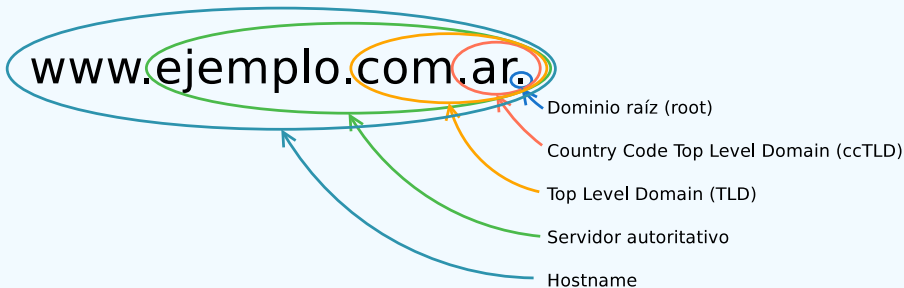
Domain Name Service [8, 9]

- **Problema:** Direcciones IPv4 de 32 bits → Difícil de recordar
- **Solución:** Asignar **nombres** a las **direcciones IP** → **DNS**

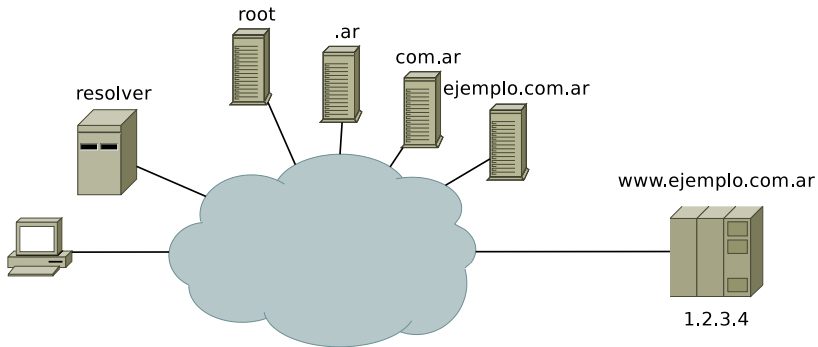
Otra ventaja

- Independencia entre **nombre** y **dirección IP**
- Permite **migraciones sin** necesidad de **cambio de nombre**

¿Cómo son los nombres? [9, 10, 11]



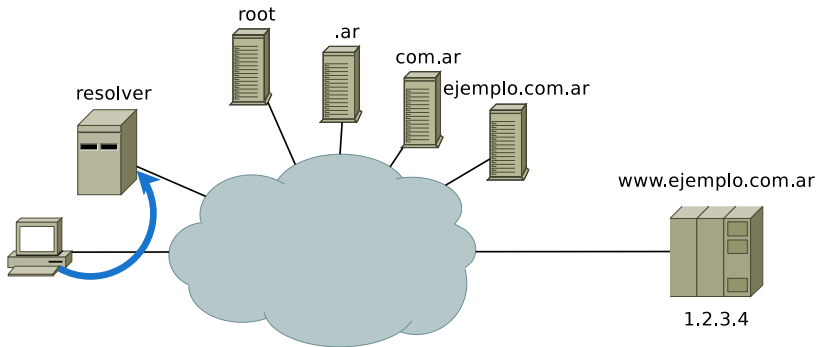
¿Cómo funciona DNS?



PREGUNTA: ¿Cuál es la dirección de `www.ejemplo.com.ar`?

RESPUESTA:

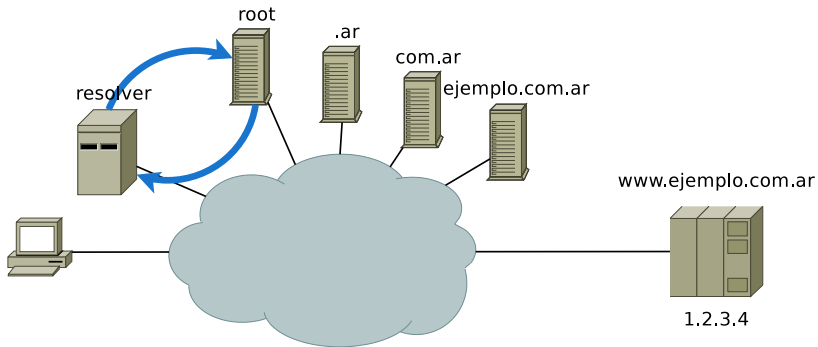
¿Cómo funciona DNS?



PREGUNTA: ¿Cuál es la dirección de `www.ejemplo.com.ar`?

RESPUESTA: No se aún, hay que procesarlo

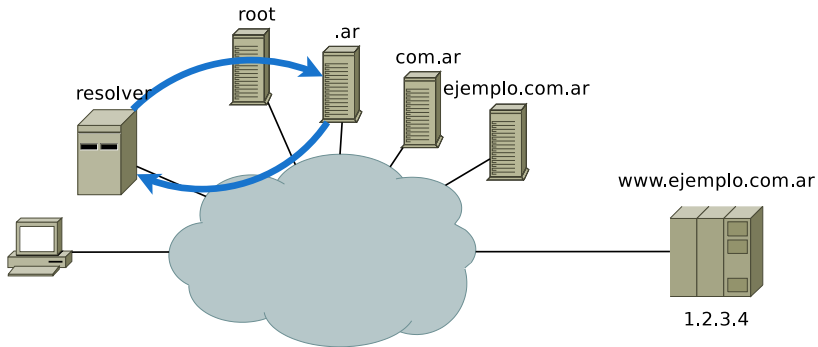
¿Cómo funciona DNS?



PREGUNTA: ¿Cuál es la dirección de `www.ejemplo.com.ar`?

RESPUESTA: No se, pero se quien es `.ar`

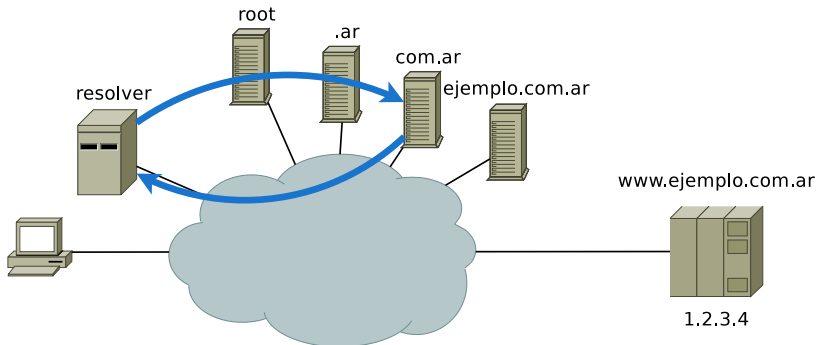
¿Cómo funciona DNS?



PREGUNTA: ¿Cuál es la dirección de `www.ejemplo.com.ar`?

RESPUESTA: No se, pero se quien es `com.ar`

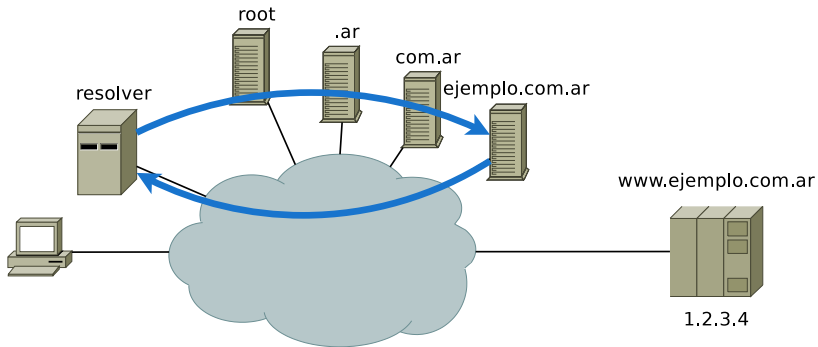
¿Cómo funciona DNS?



PREGUNTA: ¿Cuál es la dirección de `www.ejemplo.com.ar`?

RESPUESTA: No se, pero se quien es `ejemplo.com.ar`

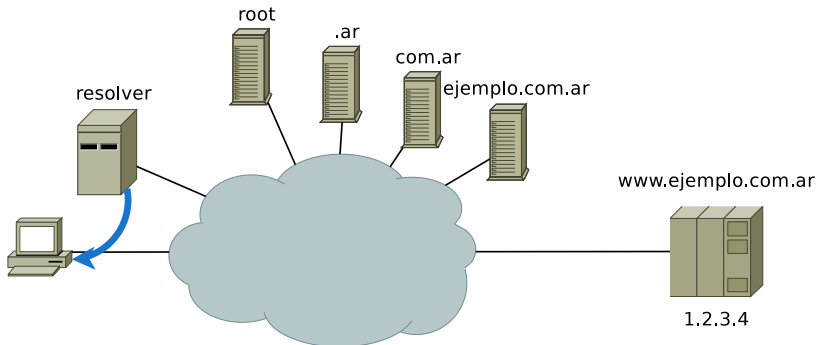
¿Cómo funciona DNS?



PREGUNTA: ¿Cuál es la dirección de `www.ejemplo.com.ar`?

RESPUESTA: `www.ejemplo.com.ar` es 1.2.3.4

¿Cómo funciona DNS?



PREGUNTA: ¿Cuál es la dirección de `www.ejemplo.com.ar`?

RESPUESTA: (Luego de procesar) `www.ejemplo.com.ar` es `1.2.3.4`

DNS: Arquitectura

- **Sistema distribuido jerárquico**
- Más de un servidor por cada zona

Descentralización ↔ Robustez ↔ Complejidad ↔ Integridad

DNS: Optimización

- Una **consulta** puede **tardar** hasta **2 segundos!**
- ¿Cómo se puede optimizar esto?
 - **Almacenar** las **consultas previas** en resolvers → **CACHE**
 - **Reduce tiempo** de consulta
 - **Reduce tráfico** en la red
 - La **duración** de la consulta tiene **fecha de vencimiento**

- 1 Internet: Conceptos teóricos, principios de funcionamiento y protocolos
- 2 Interconexión de la red, las CDNs y los IXPs
- 3 Estructura y desafíos de la red en latinoamérica
- 4 Conclusiones

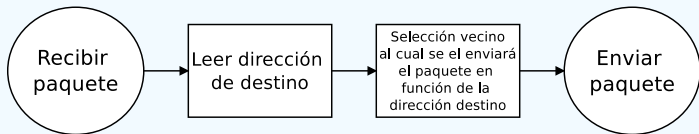
¿Qué es un router y para qué se utiliza?

- **Objetivo: Interconectar** o dividir **redes** y subredes

- ¿Qué es una red o subred?

Conjunto de N direcciones IP consecutivas entre las cuales no se requiere ningún intermediario IP para realizar la comunicación

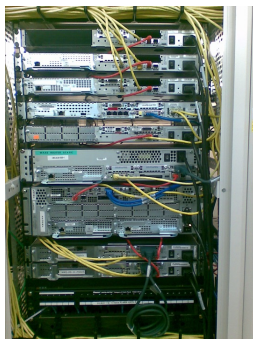
- **Tarea**



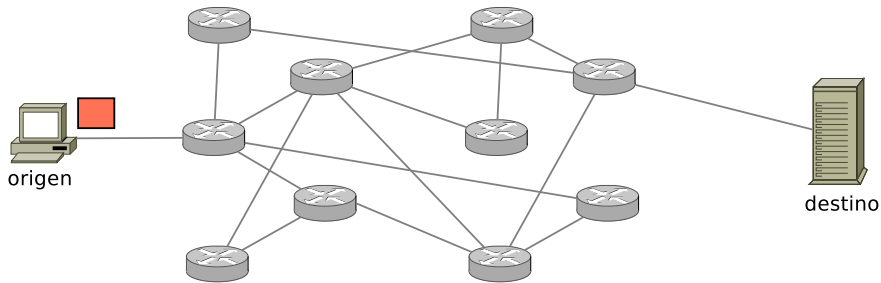
- **Complejidad**

- **Conocimiento** de como **camino hacia** los **4.400 M destinos** de la red. → Necesidad de **agregación**
- Decisiones ante **múltiples caminos** disponibles

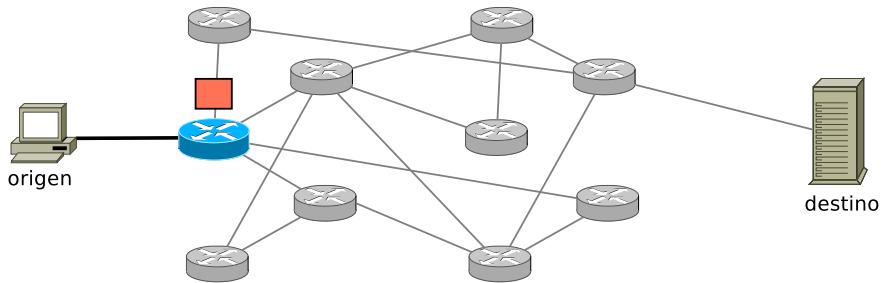
¿Cómo es un router?



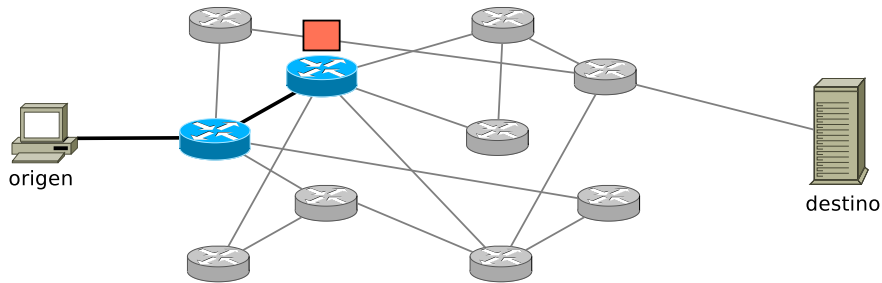
¿Cómo es el ruteo?



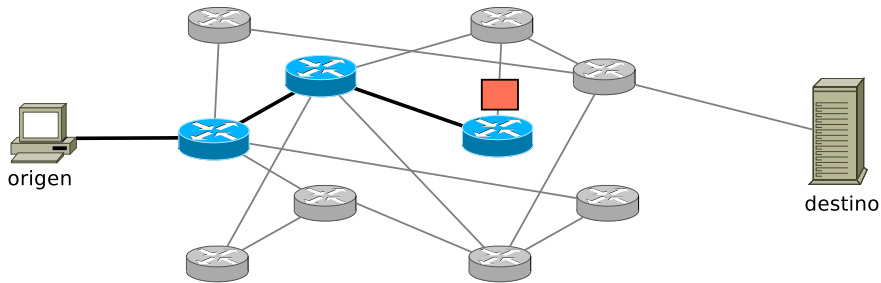
¿Cómo es el ruteo?



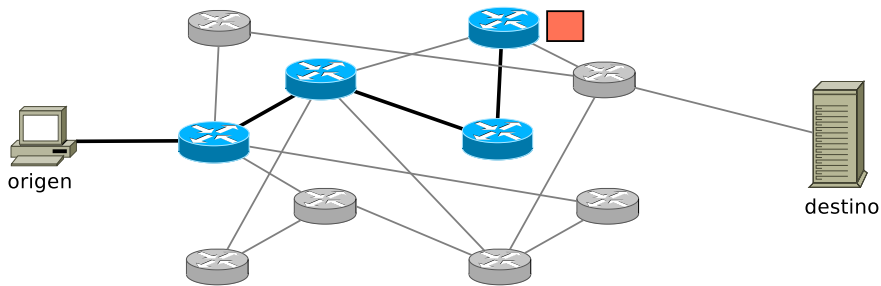
¿Cómo es el ruteo?



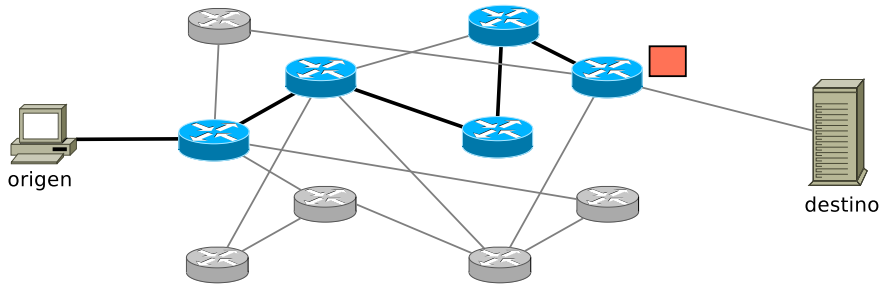
¿Cómo es el ruteo?



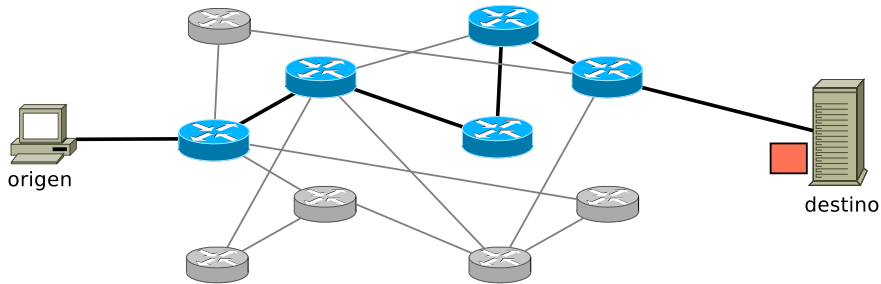
¿Cómo es el ruteo?



¿Cómo es el ruteo?



¿Cómo es el ruteo?



¿Cómo se interconectan los routers?

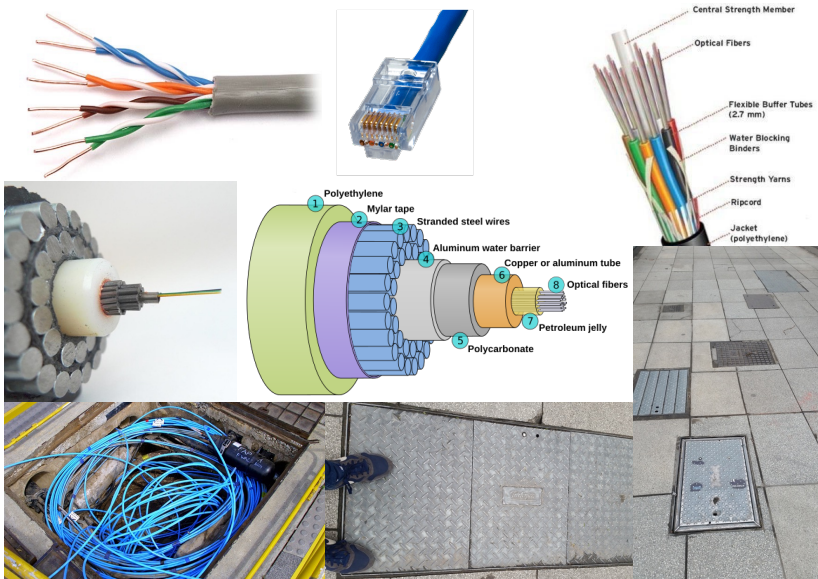
Interconexión según la distancia

- **Corta distancia (LAN)**
 - Cable par trenzado (<100m)
 - Fibra Óptica (Necesidad de capacidad o distancia)
- **Larga distancia (WAN)**
 - Fibra Óptica (**casi siempre**)
 - Enlace Satelital (condiciones extremas)
 - Radioenlace Terrestre

Interconexión según el propietario de la infraestructura

- **Infraestructura propia:** Routers+Cable+Túneles
- **Infraestructura arrendada:** “Alquiler” de enlaces a proveedores que ya hayan desplegado su infraestructura o proveen conectividad.
Ejemplo: ARSAT

¿Cómo se interconectan los routers?



¿Cómo se interconectan los routers?



¿Qué es un Sistema Autónomo (AS)?

Entidad administrativa que cuenta **con autonomía** en la instalación y el uso de sus routers.

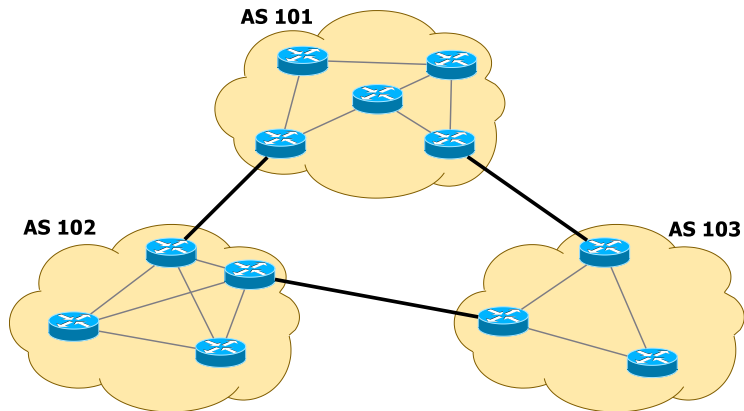
Características

- Administrativa y política
- Protocolos
- Arquitectura de red
- Interconexión

Niveles de interconexión

- Interconexión de **routers** → **red de routers** → AS
- Interconexión de **ASes** → **red de redes**

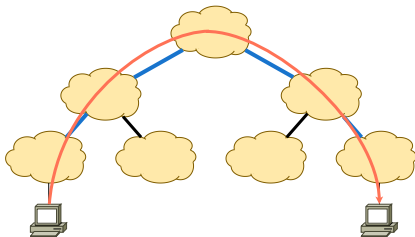
Interconexión a nivel macroscópico: red de ASes



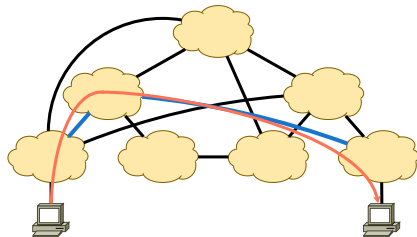
¿Por qué es descentralizada?

- **No** existe un **punto central** en la red
 - **No** hay una red de **interconexión central** (backbone único)
 - **No** hay un **administrador central** el funcionamiento operativo de la red (ruteo)
- La operación de la **red** tiene una **orientación comunitaria**
- Descentralización ↔ Robustez ↔ Complejidad

Red estrictamente jerárquica

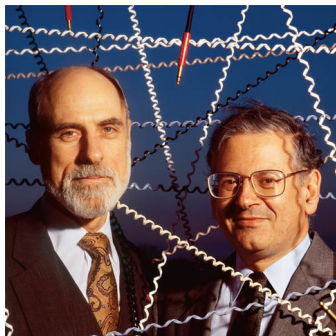


Red desjerárquizada



Estructura de la red de ASes: Descentralizada

*“Fue a partir de estudio de RAND, que se creó un **falso rumor** que ARPANET estaba relacionada con la creación de una **red resistente** a la **guerra nuclear**. **Eso nunca fue cierto** de ARPANET, solo el estudio RAND, que no estaba relacionado, en voz segura consideraba la guerra nuclear. Sin embargo, la palabra interredes enfatiza la robustez y la supervivencia, incluyendo la capacidad de soportar la pérdida de grandes partes de las redes subyacentes.”*



Vinton Cerf y Robert Kahn

<https://www.internetsociety.org/es/breve-historia-de-internet>

Noticia: Reciente ruptura del enlace submarino de Las Toninas

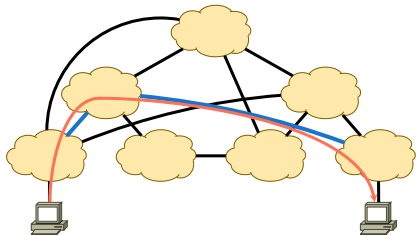
- ¿Qué **consecuencias** hubo?
- ¿**Cómo actúa Internet** en estos caos?



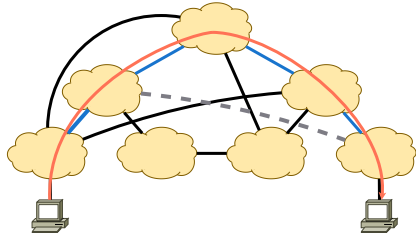
Three tweets from the account @bgpstream reporting submarine cable outages:

- Tweet 1:** BGP,OT,263181,Cooperativa Telefonica de Grand Bourg,-,Outage affected 43 prefixes, bgpstream.com/event/93079. 2:59 - 3 ago. 2017.
- Tweet 2:** BGP,OT,26593,Telespazio Argentina,-,Outage affected 32 prefixes, bgpstream.com/event/93080. 2:59 - 3 ago. 2017.
- Tweet 3:** BGP,OT,10481,Prima S.A.,-,Outage affected 555 prefixes, bgpstream.com/event/93034. 15:34 - 2 ago. 2017.

Ruta antes de la caída del enlace

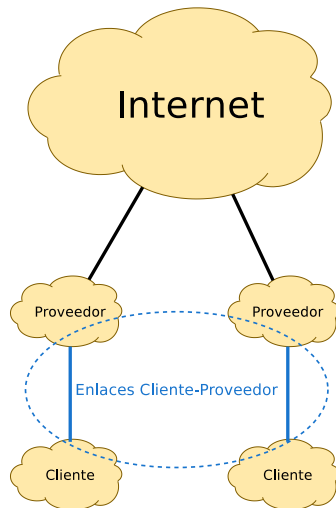


Ruta después de la caída del enlace



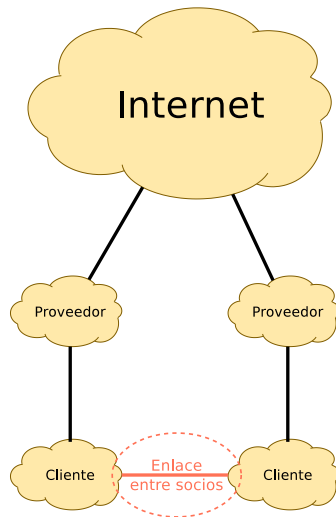
Vínculos Cliente-Proveedor

- **Proveedores mejor ubicados** que clientes
- Se les provee a los clientes *visibilidad*
- **Cientes dependen** de sus **proveedores**
- **Tráfico asimétrico**
- **Proveedores tarifican** el acceso de sus clientes



Vínculos entre socios (P2P) [12]

- **Beneficio mutuo**
- **Sólo los socios** pueden enviar paquetes por este enlace
- **Tráfico simétrico**
- **No** existe **tarifación**



Parámetros: definición y unidades

● Ancho de banda

- **Definición:** Es la **tasa de transferencia** de bits por segundo que dispone un enlace. Este parámetro está asociado a **características físicas** y **no varía en el tiempo**.
- **Unidad:** **bits por segundo** (bps)

● Tráfico

- **Definición:** Es la **cantidad de datos** transmitidos en una **unidad de tiempo**. Este indicador varía acorde al **uso de la red**.
- **Unidad:** **bits por segundo** (bps)

● Latencia

- **Definición:** Es el tiempo que **demora** un paquete en **alcanzar un destino y regresar con una respuesta**. La composición de esta demora está dada por la **distancia física** al destino, el **ancho de banda** (velocidad) y el **tráfico** de la red
- **Unidad:** **segundos** (s)

¿Qué es IXP?

Problemas P2P

- Vínculos P2P **beneficiosos pero costosos**
- **Escasos** vínculos entre ASes **justifican** su **costo**

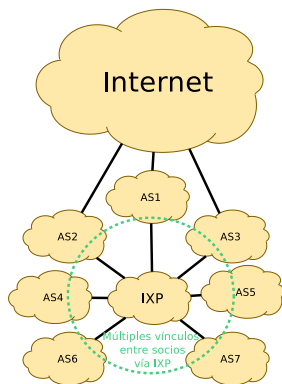
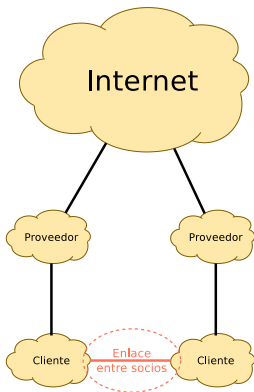
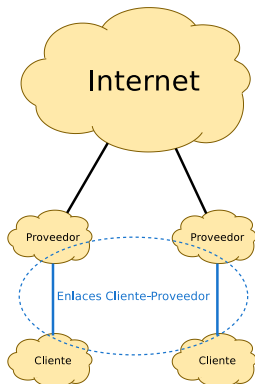
IXP: Solución a P2P

- **Punto para interconexión** de ASes
- **Un sólo enlace** permite vincularse con **múltiples ASes**

IXP: otras motivaciones y origen histórico

- En **90s** comunicaciones entre ASes europeos requerían **intermediarios en EE.UU.**
- Consecuencia **tráfico** por **enlaces submarinos** → **Muy costoso!**
- IXPs → **intercambios local** → **reducción de costos**
- Intercambio local → **reducción latencia** (100ms a 10ms)

Comparación categoría de enlaces [13]



IXPs: características

Leitmotive

“Mantener local el tráfico local” [14]

¿Qué se entiende por “local”?

- **Alcance Ciudad** (CABASE NAP-BUE)
- **Alcance Nacional** (DE-CIX, IXPy Paraguay, PIT Bolivia)
- **Alcance Mundial** (AMS-IX, HKIX)

Clasificación por tipo de organización

- **Sin fines de lucro.** Modelo Europeo. **Ejemplo: Mayoría**
- **Con fines de lucro.** Modelo EE.UU.. Ejemplo: Equinix

Niveles de tráfico agregado

AMS-IX (4.5 Tbps)

DE-CIX (4.5 Tbps)

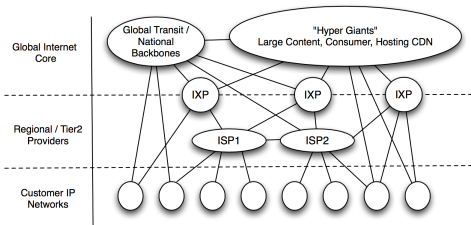
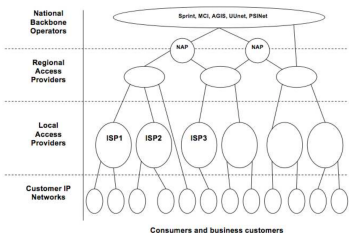
PTT-SP (2.5 Tbps)

PIT Bolivia (1.2 Gbps)

IXP: Influencia en el ecosistema de ASeS

Expansión de los IXP

- Creciente **expansión** desde **1990s**
- Presencia en todo el mundo (Cantidad ≈ 455)
- Responsable del **proceso de desjerarquización** de la red [15, 16, 17]³.



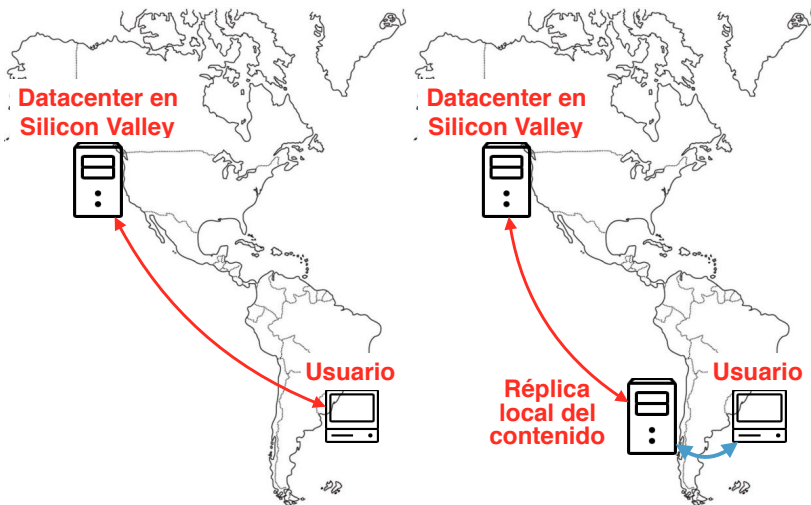
Imágenes extraídas de Labovitz *et al.* [16]

³ Contraejemplo: Red China [18].

The Google logo, consisting of the word "Google" in its signature multi-colored font.The Facebook logo, consisting of the word "facebook." in a blue, lowercase, sans-serif font.The YouTube logo, consisting of the word "You" in black and "Tube" in white inside a red rounded rectangle.The Netflix logo, consisting of the word "NETFLIX" in a bold, red, uppercase, sans-serif font.

No son sólo buenas ideas, también necesitan
infraestructura **adecuada**

Content Delivery Networks: principio de operación



Necesidades y consecuencias

- **Reducir latencia**
 - **Solución:** **Acercar** el **contenido** a los usuarios
- **Reducir el tráfico hacia ASes proveedores**
 - **Conexión directa** entre ISPs y CPs
 - **Ventaja económica** para ISPs consumidores
 - Reducción de la congestión → **mejor QoE⁴**

Despliegue

- Necesidad de **cobertura global**
- **Inversión** en **infraestructura** (*routers, servidores, enlaces*)
- **Gastos** de **operación** (*administración de la red, creación de acuerdos*)
- Complejidad operacional: Distribución eficiente del contenido
- CDN propia (Google [19]) vs CDN tercerizada (Akamai)

⁴QoE: Quality of Experience

IXPs y CDNs: objetivos comunes

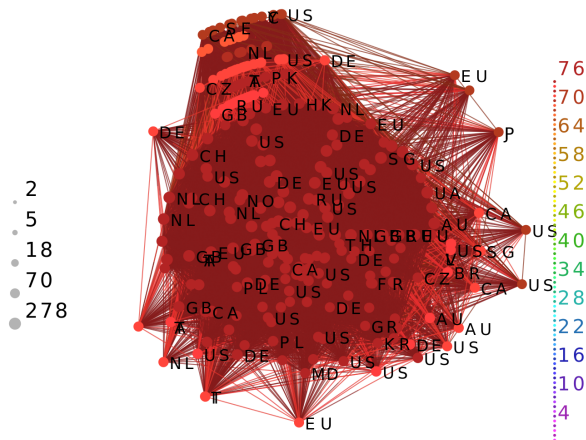
- Reducción del tráfico internacional (\$)
- Acceso a múltiples ASes simultáneamente (CDN como un socio más)
- Mejora de la calidad (congestión y latencia)

IXPs + CDNs

- Beneficio mutuo
- CDNs como *catalizador* de la expansión de los IXPs
- Casi todos los IXP contienen CDNs como participantes
- IXP sin CDNs ⇒ bajo tráfico agregado

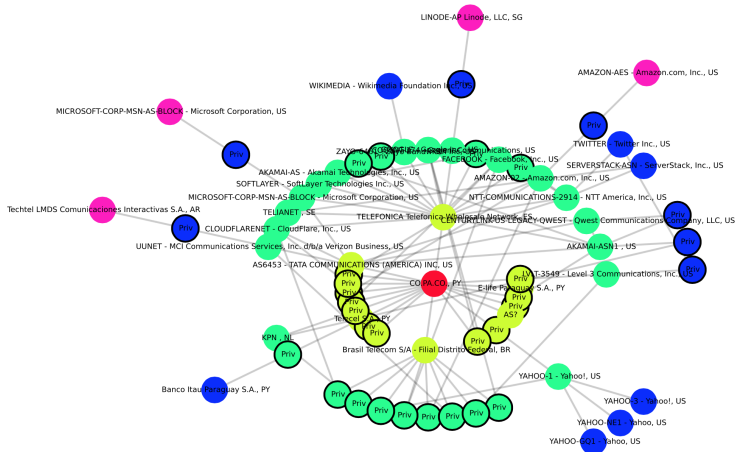
- 1 Internet: Conceptos teóricos, principios de funcionamiento y protocolos
- 2 Interconexión de la red, las CDNs y los IXPs
- 3 Estructura y desafíos de la red en latinoamérica
- 4 Conclusiones

¿Quiénes conforman el núcleo de Internet?



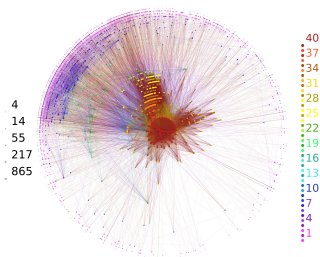
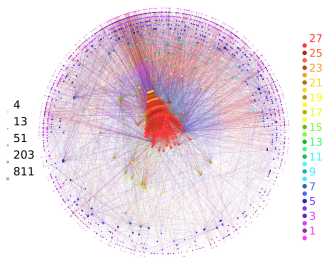
Grafo desde un AS hacia las CDNs

IXPy 2016



Información local en grafo de ASes

(Silva Berenguer *et al.* 2016 [20])

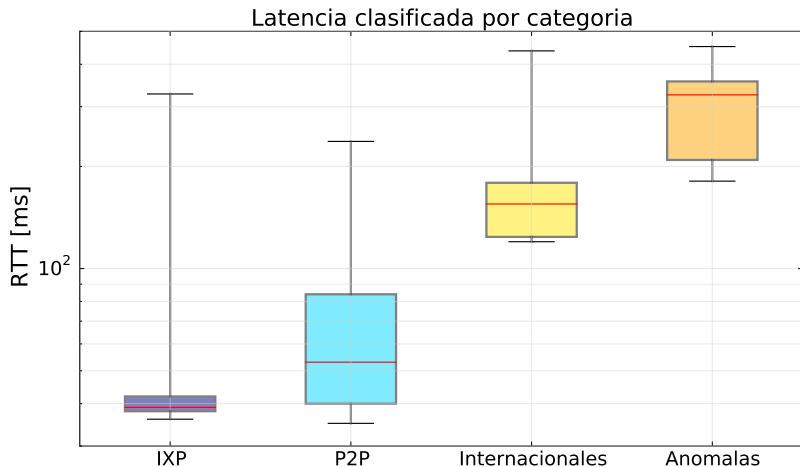


Grafo de ASes de latinoamérica sin y con información local respectivamente.

http://cnet.fi.uba.ar/ASes_topology_LatAm/

Latencia entre usuarios bolivianos

(Carisimo 2017)



- 1 Internet: Conceptos teóricos, principios de funcionamiento y protocolos
- 2 Interconexión de la red, las CDNs y los IXPs
- 3 Estructura y desafíos de la red en latinoamérica
- 4 Conclusiones

Internet es

- Red **descentralizada**, orientada a un desarrollo económicamente sustentable (*crecimiento, múltiples servicios*)

Internet es

- Red **descentralizada**, orientada a un desarrollo económicamente sustentable (*crecimiento, múltiples servicios*)
- Estructura **compleja**, resultado de la **suma** de múltiples **relaciones comerciales**

Internet es

- Red **descentralizada**, orientada a un desarrollo económicamente sustentable (*crecimiento, múltiples servicios*)
- Estructura **compleja**, resultado de la **suma** de múltiples **relaciones comerciales**
- **Necesidades económicas** y tecnológicas dieron lugar a **IXPs** y **CDNs**

Referencias I

- [1] J. Postel. Internet Protocol. RFC 791 (INTERNET STANDARD), September 1981. Updated by RFCs 1349, 2474, 6864.
- [2] Kleinrock, Leonard. Information flow in large communication nets. *RLE Quarterly Progress Report*, 1, 1961.
- [3] J. Postel. Internet Control Message Protocol. RFC 792 (INTERNET STANDARD), September 1981. Updated by RFCs 950, 4884, 6633, 6918.
- [4] ARIN IPv4 Free Pool Reaches Zero.
- [5] K. Egevang and P. Francis. The IP Network Address Translator (NAT). RFC 1631 (Informational), May 1994. Obsoleted by RFC 3022.
- [6] S. Deering and R. Hinden. Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification. RFC 2460 (Draft Standard), December 1998. Updated by RFCs 5095, 5722, 5871, 6437, 6564, 6935, 6946, 7045, 7112.
- [7] Van Jacobson. Congestion avoidance and control. In *ACM SIGCOMM computer communication review*, volume 18, pages 314–329. ACM, 1988.
- [8] P.V. Mockapetris. Domain names - concepts and facilities. RFC 1034 (INTERNET STANDARD), November 1987. Updated by RFCs 1101, 1183, 1348, 1876, 1982, 2065, 2181, 2308, 2535, 4033, 4034, 4035, 4343, 4035, 4592, 5936, 8020.
- [9] P.V. Mockapetris. Domain names - implementation and specification. RFC 1035 (INTERNET STANDARD), November 1987. Updated by RFCs 1101, 1183, 1348, 1876, 1982, 1995, 1996, 2065, 2136, 2181, 2137, 2308, 2535, 2673, 2845, 3425, 3658, 4033, 4034, 4035, 4343, 5936, 5966, 6604, 7766.
- [10] R. Braden. Requirements for Internet Hosts - Application and Support. RFC 1123 (INTERNET STANDARD), October 1989. Updated by RFCs 1349, 2181, 5321, 5966, 7766.
- [11] R. Elz and R. Bush. Clarifications to the DNS Specification. RFC 2181 (Proposed Standard), July 1997. Updated by RFCs 4035, 2535, 4343, 4033, 4034, 5452.
- [12] Amogh Dhamdhere, Himalatha Cherukuru, Constantine Dovrolis, and Kc Claffy. Measuring the evolution of internet peering agreements. *NETWORKING 2012*, pages 136–148, 2012.

- [13] Matthew Luckie, Bradley Huffaker, Amogh Dhamdhere, Vasileios Giotsas, et al. As relationships, customer cones, and validation. In *Proceedings of the 2013 conference on Internet measurement conference*, pages 243–256. ACM, 2013.
- [14] Chatzis, Nikolaos and Smaragdakis, Georgios and Feldmann, Anja and Willinger, Walter. There is more to IXPs than meets the eye. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 43(5):19–28, 2013.
- [15] Dhamdhere, Amogh and Dovrolis, Constantine. The Internet is flat: modeling the transition from a transit hierarchy to a peering mesh. In *Proceedings of the 6th International Conference*, page 21. ACM, 2010.
- [16] Labovitz, Craig and Iekel-Johnson, Scott and McPherson, Danny and Oberheide, Jon and Jahanian, Farnam. Internet inter-domain traffic. In *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*.
- [17] Phillipa Gill, Martin Arlitt, Zongpeng Li, and Anirban Mahanti. *The Flattening Internet Topology: Natural Evolution, Unsightly Barnacles or Contrived Collapse?*, pages 1–10. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [18] Tian, Ye and Dey, Ratan and Liu, Yong and Ross, Keith W. China’s internet: Topology mapping and geolocating. In *INFOCOM, 2012 Proceedings IEEE*, pages 2531–2535. IEEE, 2012.
- [19] Calder, Matt and Fan, Xun and Hu, Zi and Katz-Bassett, Ethan and Heidemann, John and Govindan, Ramesh. Mapping the expansion of Google’s serving infrastructure. In *Proceedings of the 2013 conference on Internet measurement conference*, pages 313–326. ACM, 2013.
- [20] Sofía Silva Berenguer, Esteban Carisimo, J Ignacio Alvarez-Hamelin, and Francisco Valera Pintor. Hidden internet topologies info: Truth or myth? In *Proceedings of the 2016 workshop on Fostering Latin-American Research in Data Communication Networks*, pages 4–6. ACM, 2016.