

Universidad de Buenos Aires Facultad De Ingeniería Departamento de electrónica Año 2014

Tesis de Grado de Ingeniería Electrónica

Tomografía de la red: Medición de parámetros De un Internet eXchange Point

Autor
Esteban Carisimo
Director de Tesis

DR. ING. J.I. ALVAREZ-HAMELIN

Índice general

1.	Intr	oducci	ón	3
2.	Los	Puntos	s de Intercambio de Tráfico (PIT) y la Tomografía de Internet	5
	2.1.	Puntos	s de Intercambio de Tráfico (PIT)	5
		2.1.1.	Introducción a la interconexión entre Sistemas Autónomos	5
		2.1.2.	Introducción a los PIT	6
		2.1.3.	PIT dentro de la arquitectura de Internet	8
	2.2.	Tomog	rafía de Internet	8
	2.3.	Releva	miento y medición de PIT	12
3.	Plat	aforma	a de Medición Distribuida	17
	3.1.	Justific	cación	17
	3.2.	Arquit		18
		3.2.1.	Traceroutes	18
		3.2.2.	Encuestas SNMP	21
		3.2.3.	MySQL	21
		3.2.4.	Python	22
		3.2.5.	Centralización de la información	22
	3.3.	Parám	etros a medir	22
4.	Med	licione	s y Análisis de los Datos	27
	4.1.	Metod	ología utilizada en Bolivia	27
		4.1.1.	Generación de rutas	27
		4.1.2.	Variabilidad de la topología	28
		4.1.3.	Medición de los servicios	28
		4.1.4.	Resolución de los parámetros	29
	4.2.	Sistem	a de almacenamiento de datos	29
		4.2.1.	Estructura de la información	29
		4.2.2.	Agrupamiento de la información	33
	4.3.	Análisi	is de los mediciones obtenidas	34
		4.3.1.	Información presente en las rutas	34
		4.3.2.	Técnicas estadísticas utilizadas	35
		4.3.3.	Hipótesis de resultados a priori	35
		4.3.4.	Resultados obtenidos	37
		4.3.5.	Difusión pública de los resultados	55
5 .	Con	clusior	nes	59

Índice de Figuras

2.1.	Comparación de vínculos entre AS	6
	a. Vínculo exclusivo entre AS	6
	b. Interconexión de AS a través de PIT	6
2.2.	Estructura de un PIT a nivel de infraestructura de red	7
2.3.	Distribución de los PIT alrededor del planeta. Imagen parcial extraída de IXP Toolkit de Internet Society el día 7 de noviembre de 2014. Link a la imagen: http://ixptoolkit.org/ixps	8
2.4.	Ubicación geográfica de los nodos de Ark	10
3.1.	Grafo de la topología en cuestión	19
3.2.	El balance de carga que pueden efectuar los <i>ruteadores</i> puede afectar el resultado de los traceroute . En las figuras se muestra como se puede inferir una topología inexistente si el traceroute no contempla este com-	
	portamiento	20
	a. Resultado obtenido por el traceroute	20
	b. Grafo de la topología alcanzada	20
3.3.	Este diagrama muestra como dos AS se encuentran interconectados a través de un PIT y de un <i>vínculo exclusivo entre socios</i> . Esto hace que para una <i>ruta</i> los paquetes en algunos momentos alcancen su destino por medio del PIT y en otros no	23
	dell'il y on onos no	
4.1.	Los elementos toman un color hasta el 12/10 y otro luego de esa fecha. Esto se debe a que a partir de ese día las series incorporaron valores del nodo presente en Santa Cruz de la Sierra. Antes y después de esa fecha podemos apreciar como los valores decrecen a lo largo del tiempo, y esto se lo atribuimos a las optimizaciones que se están realizado en el PIT. Además podemos ver como los valores crecen luego del 12/10 y se debe a que el nodo de Santa Cruz está conectado a través de 4G-LTE. Por último vemos como los valores de los cuartiles y la mediana se encuentran muy próximos, lo que quiere decir que la mayor cantidad de las <i>rutas</i> tiene una distancia de esa magnitud.	38
4.2.	El gráfico se encuentra divido en dos a través de los colores que marcan en una primera etapa un único nodo en La Paz y en la segunda un segundo nodo en Santa Cruz. Aquí como en PIT se ve una discontinuidad después de agregar el segundo nodo, pero si analizamos de forma independiente cada rango de colores vemos como tienden a bajar su valor. Comparando los resultados obtenidos con PIT vemos que los valores son menores, lo	
	cual nos parece lógico para vínculos exclusivos entre socios	39

4.3.	La distancia de categoría Anómalas también se podría separar en antes y después del 12/10, no obstante ya llegada esa fecha, el comportamiento anómalo ya había desaparecido. Lo que queremos expresar con este gráfico es el perjuicio generado a una red producto de una mala configuración. Vemos como los valores son muy elevados y con una variación aleatoria semana a semana	40
4.4.	Los valores obtenidos para esta categoría son más elevados que para PIT y P2P , lo que muestra que los otros medios de enlace son más eficientes. También aquí podemos notar mucha mayor dispersión, principalmente entre el tercer cuartil y el máximo. El coloreado de los elementos aquí también muestran el impacto que generó el ingreso de la nueva sonda al sistema de medición	41
4.5.	Comparación estadística de la distancia de cada una de las categorías desde que comenzó la medición el 15 de junio. Aquí podemos ver como la categoría P2P es la que tiene los valores más bajos. No obstante la categoría PIT tiene valores levemente superiores pero proporciona acceso a mayor cantidad de AS por un único enlace. La categoría Internacionales tiene valores mucho más elevados, lo que nos índica que cuando el tráfico local se mantiene local, se consiguen mejores índices	42
4.6.	Los valores medios no son de mayor interés para nosotros ya que se encuentran sesgados. Sin embargo, podemos ver como aquí también se ordenan de forma creciente P2P , PIT e Internacionales . El valor de Anómalas al igual que en el boxplot presenta gran inestabilidad semana a semana. Por último vemos como todas las curvas elevaron sus valores luego del ingreso del nodo de Santa Cruz de la Sierra el 12 de octubre	43
4.7.	Dado que la latencia tiene una distribución con cola larga, hemos graficado en escala logarítmica el eje de las ordenadas. Para los valores de esta categoría vemos como el valor de los cuartiles y la media se encuentran muy próximos y alrededor de los 40ms antes del $12/10$. Estos valores reflejan rápidamente la baja latencia que presenta la utilización del PIT. Luego a partir de $12/10$ se incorporó el nodo de Santa Cruz y latencia crece las primeras semanas hasta luego estabilizarse en valores similares a los anteriores a ésta incorporación	44
4.8.	En esta categoría donde se evalúan los vínculos exclusivos entre socios, la latencia dio baja tal como esperábamos. No obstante comparado con los resultados obtenidos en PIT hemos tenido mayor dispersión entre los cuartiles y la mediana. Aunque es muy similar el valor de la mediana es superior al de PIT , lo cual no esperábamos que fuera así. Esto se lo atribuimos a que a diferencia de la distancia, la latencia esta afectada por magnitudes físicas como es la longitud de los enlaces. Aquí también el gráfico se divide en según los nodos conectados, pero no apreciamos una discontinuidad marcada. Aclaración: el eje y se encuentra en escala logarítmica.	45

4.9.	El valor de la categoría esta categoría muestra un fuerte componente aleatorio, por lo cual no se puede analizar un patrón de comportamiento a lo largo de las semanas. No obstante imaginábamos valores elevados dado que son rutas que alcanzaron destinos internacionales. El gráfico marca como después del 14 de septiembre desaparece la serie, mostrando que el problema fue solucionado. Aclaración: el eje y se encuentra en escala logarítmica	46
4.10.	Vemos como aquí las medianas superan en tres o cuatro veces los valores de PIT o P2P . Esto se encuentra principalmente vinculado a los kilómetros que debe recorrer un paquete hasta alcanzar el destino en cada categoría. El gráfico tomo color marrón cuando las mediciones fueron hechas con el nodo de La Paz y azul cuando se realizaron con el nodo de La Paz y Santa Cruz. Vemos como el hecho de agregar un nodo generó una discontinuidad en la serie y un aumento de los valores	47
4.11.	Análisis estadístico por categorías sobre todo el conjunto de datos generado desde el 15 de junio. En este análisis podemos ver como la categoría PIT es la que presento menor tiempo de latencia. Lo que es importante remarcar es que a través de esta categoría están interconectados varios Sistemas Autónomos. Luego apreciar con valores ligeramente mayores a la categoría P2P . Sin embargo esta categoría presenta una dispersión entre cuartiles mucho mayor que la categoría anterior. Sin contar a Anómalas que representa un error en la política de <i>ruteo</i> , por último tenemos a Internacionales , que presenta una latencia mediana cuatro veces superior a PIT y P2P	48
4.12.	En el valor medio a pesar de ser un métrica sesgada, podemos ver como ser ordena PIT,P2P e Internacionales de forma creciente. Otra ventaja que nos dio calcular éste estimador, fue apreciar el pico que las tres series toman a mediados de agosto. Este pico se da a causa del "512k day", suceso por el cual se sobrescribieron aleatoriamente ciertas entradas de las tablas BGP. Este acontecimiento tuvo expansión global a través de BGP y vemos como también afecto a Internet en Bolivia	50
4.13.	En este gráfico podemos ver como se distribuyen en los enlaces los tracerout que resultaron exitosos, lo que para nosotros será una representación de la distribución del tráfico. En la evolución semanal podemos ver como a lo largo del tiempo el valor de PIT toma un valor entre el 60 % y 80 %, lo que muestra que la mayor parte del tráfico local aprovecha este tipo de enlaces. En segundo lugar podemos ver como P2P tiene un bajo porcentaje alrededor del 10 %. Esto exhibe el bajo porcentaje de <i>vínculos exclusivos</i> que existen, principalmente por sus altos costos	es
4.14.	En el gráfico con el resto de las categorías es imposible distinguir la categoría Anómalas por el bajo valor que alcanza. Aquí decidimos graficarla por separado para mostrar la baja incidencia que tenía el tráfico anómalo dentro del tráfico total	52

4.15. l	Este gráfico muestra como entre el 65% y 80% de las $rutas$ aprovechan	
(el PIT como forma de distribución del tráfico local. También podemos ver	
(que las $rutas$ que atraviesan enlaces $\mathbf{P2P}$ para alcanzar destino son del	
(orden del 10 %. Por último cabe destacar hasta el 12 de octubre PladMeD	
f	funcionó únicamente con un nodo en La Paz y luego de esa fecha se sumo	
ι	un nodo en Santa Cruz de la Sierra. Vemos como luego de esa incorporación	
(el valor de PIT llegó a su nivel más elevado	53
4.16.]	Hemos decidido graficar por separado la categoría de comportamiento anó-	
1	malo. Viendo los porcentajes, vemos como es muy pequeña la cantidad de	
7	rutas que se vio afectada por este error de configuración	54
4.17.]	Para este gráfico hemos elegido una escala logarítmica para el eje y para	
I	poder incluir todos los servicios en el mismo gráfico. Durante el mes de	
j	junio vemos fuertes variaciones en algunos servicios que se debieron a	
	causa de la puesta en funcionamiento de PladMeD. En cuanto a lo valores	
	obtenidos vemos como el servicio predominante es HTTP, seguido por FTP	
	y SSH, lo cual es similar a lo que sucede en la mayoría de las redes	55
4.18.	Captura de pantalla de la página que desarrollamos para publicar los datos	
(obtenidos semana a semana	56
4.19. 1	Este es un gráfico pertenece a la página. Esta confeccionado en Highcharts,	
3	y gracias a una de las funciones de Highcharts lo hemos descargado	57

Índice de Tablas

3.1.	Este es un ejemplo de los resultados que se pueden obtener a través de rutas locales. Aquí se marca como la sumatoria de las categorías puede dar mayor al 100 %. El resultado obtenido es consistente, ya que un paquete puede unir un origen y destino por medio de distintos enlaces a lo largo	
	del tiempo.	24
3.2.	Para nuestro análisis hemos pretendido obtener información de servicios orientados a distintos fines. Para eso en esta tabla hemos resumido que servicios pretendimos relevar, basándonos en los protocolos más populares de cada área.	
4.1.	Estructura de la información bajo lenguaje MySQL que se utilizó para re-	
1.1.	sumir las principales características de cada traceroute realizado	31
4.2.	En esta tabla se muestra como a través de la representación binaria de dos	
	bits se pueden clasificar las <i>rutas</i> en sus cuatro categorías: PIT , P2P ,	
	Anómalas e Internacionales	32
4.3.	Estructura utilizada bajo lenguaje MySQL para poder detallar el comportamiento salto a salto de una <i>ruta</i> . En esta estructura se vincula las	
	filas sucesivas que corresponden a un traceroute a través del campo	
	traceroute_id. A su vez por este campo también se vinculan con los	
	datos de la tabla de generalidades	32
4.4.	Este fue el formato de tabla MySQL para almacenar los resultados obtenidos	
	por el ZMap	32
4.5.	Luego de ejecutar el ZMap hemos tomado precauciones para no tomar servidores ocasionales como un crecimiento de los servicios. Para evitar esto	
	inconvenientes hemos desarrollado una técnica basada en el promedio mó-	
	vil. Los resultados producidos los hemos guardado en la tabla que aquí se	
	muestra donde cada puerto corresponde a un servicio analizado	33

Agradecimientos

Antes de comenzar con lo que respecta al trabajo quiero agradecer a quienes colaboraron conmigo, me ayudaron y guiaron a lo largo de este proyecto.

En primer lugar quiero agradecerle a Ignacio Alavrez-Hamelin por haber aceptado ser mi director de tesis y por haber confiado en mi desde el primer momento.

También al resto del equipo que conformó el proyecto de investigación acerca del PIT Bolivia. Ellos fueron Christian O'Flaherty, Carlos Sanabria y Hernán Galperin.

A Christian O'Flaherty de Internet Society porque confió en nosotros para realizar esta tarea y fue permanentemente el coordinador del proyecto.

A Carlos Sanabria, de la Unidad TIC de Autoridad de Telecomunicaciones y Transporte, quien fue nuestro vínculo en Bolivia y se encargó del despliegue de PladMeD.

A Hernán Galperín, socio nuestro en este proyecto que desde el campo de la sociología ha interpretado el impacto del PIT en la población de Bolivia.

Finalmente quiero agradecer al jurado quien acepto a leer el resultado de todo este año de trabajo presente en esta Tesis.

Capítulo 1

Introducción

El foco de del presente trabajo esta en analizar los efectos que introdujo la instalación de un Punto de Intercambio de Tráfico (PIT, del inglés Internet eXchange Point, IXP), en la red de Internet de Bolivia. Para poder describir estos cambios, el texto aquí presente constará con tres capítulos luego de esta introducción, para luego finalizar el texto con un capítulo de conclusiones. La mayor parte del desarrollo del trabajo estará explicada en los tres capítulos centrales del documento. El primero de esos tres introducirá el marco teórico del trabajo; luego pasaremos al capítulo donde se detalla la solución para el relevamiento en Bolivia; por último dedicaremos un capítulo a los resultados obtenidos interpretando los valores obtenidos.

En el primer capítulo posterior a la introducción, nos encargaremos de describir cuales son las tipos y características de las interconexiones entre las redes de Internet. Una vez finalizada esta descripción, introduciremos el conecpto de PIT, detallando sus funciones y características. Finalizada la explicación del rol de los PIT en la arquitectura global de Internet, pasaremos a mencionar proyectos de tomografía de la red y la importancia de éstos para la comunidad científica y los operadores. Por último, presentaremos algunos trabajos científicos realizados sobre de los PIT, donde analizaremos las metodologías utilizadas y los resultados obtenidos.

Luego dedicaremos un capítulo para describir la Plataforma Distribuida de Medición, llamada PladMeD. En éste explicaremos que función cumple esta plataforma y porque ha sido indispensable para la realización de nuestro trabajo. También describiremos cuáles son los parámetros mediante los que pretendemos analizar la evolución del PIT, y cuales son las capacidades de la plataforma para poder conseguirlos.

Habiendo descripto a PladMeD, pasaremos al capítulo en el cual nos avocaremos a las mediciones obtenidas y el análisis de éstas para determinar la evolución del PIT. Aquí presentaremos cómo hemos llevado a cabo las mediciones para tener información detallada acerca de la evolución. También explicaremos como hemos manipulado los datos obtenidos, argumentado su estructura y procesamiento. También dentro de este capítulo mencionaremos de manera detallada ciertos errores presentes producto de la metodología adoptada. Luego describiremos la clasificación utilizada para la información, la cual nos entrega una visión detallada del comportamiento de Internet en Bolivia. Luego de esto, pasaremos a exhibir las hipótesis que teníamos acerca de los valores de los parámetros y los resultados obtenidos producto de la plataforma distribuida de medición. Para finalizar el capítulo, presentaremos el sitio web que hemos desarrollado para difundir los parámetros que hemos obtenido.

Por último, culminaremos el presente trabajo con las conclusiones a las que hemos elaborado acerca del impacto del PIT sobre el Internet en Bolivia.

Capítulo 2

Los Puntos de Intercambio de Tráfico (PIT) y la Tomografía de Internet

En este capítulo introduciremos el marco teórico del trabajo. En primer lugar comenzaremos explicando los sistemas de interconexión existentes y más conocido entre Sistemas Autónomos. Luego, explicaremos que es un PIT y que lugar ocupa ente los sistemas de interconexión y la arquitectura global de Internet. Terminada la introducción de los PIT, pasaremos a describir qué se entiende por "tomografía de Internet", y las características de cada uno de los proyectos que existen bajo este título. Al final del capítulo dedicaremos una sección a los trabajos científicos acerca de los PIT, mostrando metodologías, su interrelación con los proyectos de "tomografía de Internet", y los resultados obtenidos.

2.1. Puntos de Intercambio de Tráfico (PIT)

El presente trabajo trata acerca del estudio de la evolución de un PIT instalado en Bolivia, por este motivo, comenzaremos con una presentación teórica acerca de los PIT.

2.1.1. Introducción a la interconexión entre Sistemas Autónomos

Antes de comenzar a explicar en qué consiste un Punto de Intercambio de Tráfico, debemos introducir ciertas nociones generales acerca de Internet y de su arquitectura.

Internet suele ser definida como la "red de redes". Esto se debe a que Internet es la interconexión de un enorme conjunto de redes administradas de manera independiente llamadas Sistemas Autónomos (del inglés Autonomous Systems, AS). A su vez, los AS se encuentran divididos en redes donde finalmente se conectan los usuarios. Estas interconexiones entre Sistemas Autónomos son las que logran que Internet consiga la accesibilidad de cualquier dirección desde cualquier punto de la red.

Dado que Internet es una gran interconexión entre Sistemas Autónomos, en una primera aproximación, podríamos clasificar las conexiones entre AS en *cliente-proveedor* o *vínculos entre socios*.

Las conexiones *cliente-proveedor* están dadas entre dos AS, donde uno de los dos presenta una ubicación de privilegio frente al otro. Producto de esta disparidad en cuanto a la ubicación, la interconexión le presentará al AS peor ubicado una mayor capacidad de comunicación, mientras que al mejor ubicado no le presentará mayores beneficios.

Además, desde el punto de vista del tráfico, las tasas de datos entrantes y salientes entre estos AS tendrán una naturaleza asimétrica. Dado que uno de los AS se encuentra en una mejor ubicación, hará que la interconexión genere más tráfico entrante que saliente. Presentada esta asimetría, las relaciones *cliente-proveedor* establecen vínculos comerciales con fines de lucro.

En oposición a la lógica cliente-proveedor, existen los vínculos entre socios. En esta relación ninguno de los AS presenta una ubicación de privilegio dentro de la red de redes, por lo que la interconexión llevará a una ventaja para ambos y a un tráfico entrantesaliente simétrico. Dada estas que la interconexión genera un beneficio mutuo, los vínculos entre socios se establecen sin fines de lucro.

Un vínculo entre socios conecta dos AS de forma tal que el tráfico entre ellos pase por aquí en vez de por otros enlaces. Si el tráfico entre estos dos AS es muy elevado, la implementación de un vínculo entre socios generará una reducción importante del tráfico enviado desde los AS hacia sus proveedores. Esto presenta una ventaja económica importante dado que ninguno de los dos AS que componen el vínculo entre socios le cobran cargos al otro por la utilización de este enlace. De esta manera creando vínculos entre socios, los AS pasan de usar enlaces tarifados como los cliente-proveedor a usar enlaces no tarifados. Por otra parte, el hecho de contar con un vínculo directo hará que el tráfico entre usuarios presente menor cantidad de saltos y latencia para alcanzar su destino.

2.1.2. Introducción a los PIT

La interconexión entre Sistemas Autónomos parece quedar completamente definida bajo las categorías introducidas anteriormente, no obstante podemos incluir una más, la cual será protagonista de nuestro trabajo.

Los Puntos de Intercambio de Tráfico (PIT) buscan hacer extensiva la idea vínculo entre socios pero ampliándola a un mayor número de AS. Para lograr este objetivo, los AS se conectarán en forma de estrella donde el punto central será el PIT. De esta forma se logra optimizar el número de enlaces, ya que antes un AS mediante un enlace sólo se podía comunicar con otro AS, en cambio ahora con un sólo enlace pero hacia el PIT se puede comunicar con todos los AS que forman esa estrella.

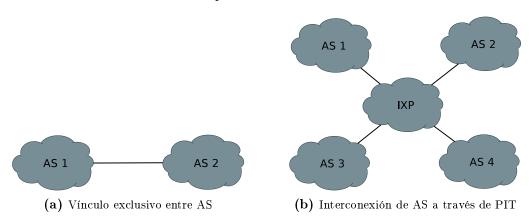


Figura 2.1: Comparación de vínculos entre AS

Aunque los vínculos exclusivos entre socios presentan grandes ventajas, únicamente son implementados cuando el porcentaje de tráfico entre dos AS es muy elevado. Generalmente esta clase de vínculos no suelen ser implementados a pesar de que sus costos de operación son muy bajos, o incluso nulos. La razón por la cual estos vínculos son poco

frecuentes es debido a su costo de instalación. Generar la infraestructura necesaria o el arrendamiento de la misma suele ser extremadamente costoso. Dada esta situación, en caso de que un AS quisiera establecer vinculos entre socios con n AS, debería asumir el costo de la instalación de n enlaces.

A contra partida de los enlaces exclusivos entre socios, los PIT presentan una gran ventaja, ya que proveen acceso a varios AS a través de un único enlace. Aunque el costo de la instalación del enlace entre el AS y el PIT seguirá siendo igual de elevado que en el caso de los vínculos entre socios, ahora será más fructífero porque entregará acceso a más AS.

Los PIT le brindan las ventajas de vínculos entre varios AS en lugar sólo de dos. Las ventajas que se observarán a nivel del protocolo IP serán una disminución abrupta en la cantidad de saltos y de la latencia cuando los paquetes sean enviados por el PIT con respecto a cuando son enviados por otros enlaces. A su vez, si el tráfico entre los AS del PIT es un porción muy importante de su tráfico total, la participación en el PIT hará que reduzca su tráfico hacia enlaces del tipo cliente-proveedor.

Dadas las ventajas económicas y tecnológicas que presentan la instalación de los PIT, su implementación se guía por el leitmotiv: "mantener local el tráfico local". La vinculación de los AS de una región podrá estar dada por un PIT y de esta manera poder evitar los vínculos entre socios entre todos ellos. A su vez, cada uno de estos AS tendrá enlaces de característica cliente-proveedor con otros AS de mayor rango nacional o internacional. De esta manera por medio de los PIT se evita el envío innecesario de los paquetes a través del backbone de Internet. Al participar de un PIT, los AS minimizarán el tráfico hacia los AS nacionales e internacionales lo que llevará directamente a la caída de la cantidad de saltos. Al mismo tiempo, los PIT por englobar los AS de una región, minimizan la latencia, ya que la distancia recorrida por los paquetes pasará a ser mucho menor.

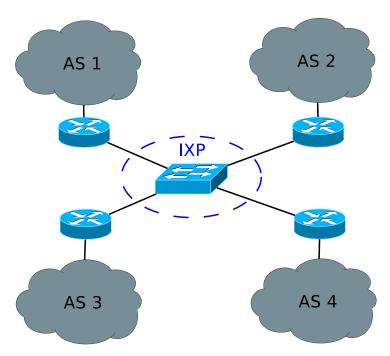


Figura 2.2: Estructura de un PIT a nivel de infraestructura de red

En cuanto al funcionamiento a nivel de infraestructura de telecomunicaciones, los PIT alcanzan su topología de estrella uniendo todos los AS conectados a través de un punto. Para el caso de las redes IP, este punto suele ser un dispositivo de nivel 2 en su

mayoría de las veces un *switch* de tecnología Ethernet [1].

En cuanto a los AS que participan en el PIT a nivel infraestructura, cada uno provee un *ruteador* en le borde entre su red y el PIT. Cada uno de estos *ruteadores* establecen conexiones BGP [2] con los otros *ruteadores* de borde de forma tal de poder alcanzar las otras redes participantes a través del PIT.

2.1.3. PIT dentro de la arquitectura de Internet

Hecha la presentación de los PIT podemos ver rápidamente que el desarrollo de éstos presentan ventajas económicas y tecnológicas significativas. Esta razón ha hecho que los PIT hayan proliferado en todas las partes del mundo a lo largo de los últimos 20 años. En la actualidad la mayoría de los países del mundo han desarrollado PIT con el fin de mejorar su "Internet local", por lo que hoy 114 países cuentan con PIT y 87 aún no han desarrollado ninguno.

En la mayoría de los países que han desarrollado PIT, se han implementado más de uno. Es importante recordar que los PIT tienen como objetivo mantener el tráfico local, por consiguiente cuando hacemos referencia a local podemos circunscribirnos a un país o simplemente a una ciudad. Este es el caso por ejemplo de Estados Unidos o Brasil, países de grandes extensiones territoriales con varias ciudades que superan el millón de habitantes. Para optimizar el uso de los enlaces nacionales o internacionales, estos países han creado PIT regionales en las principales ciudades.



Figura 2.3: Distribución de los PIT alrededor del planeta. Imagen parcial extraída de IXP Toolkit de Internet Society el día 7 de noviembre de 2014. Link a la imagen: http://ixptoolkit.org/ixps

2.2. Tomografía de Internet

Internet comenzó en 1969 y ha crecido de manera exponencial hasta la actualidad. En pocos años se alcanzará el agotamiento del espacio de direcciones de la actual versión del protocolo IP [3] [4], agotando las reservas de Clases A, B y C de los cinco RIR ¹.

La red de Internet, a diferencia de otras redes de telecomunicaciones, tiene una variación en su topología permanente que se debe principalmente a dos causas. La primera

¹RIR: Regional Internet Registry o en español, Registro Regional de Internet. Son organizaciones continentales que supervisan y asignan recursos tales como direcciones de red y números de AS.

es consecuencia que el protocolo IP es capaz de continuar distribuyendo los paquetes por más que un enlace no se encuentre disponible. Dada esta característica, permanentemente en la red comienzan y dejan de operar enlaces sin alterar el funcionamiento. La segunda causa se debe a que cada red es operada de forma autónoma, lo que lleva a que cada operador pueda introducir cambios en su propia red. Sumado a estas características, la velocidad del creciente de Internet ha hecho imposible determinar de manera fehaciente cuál es la topología de la red.

El hecho de poder conocer y modelar las características que componen la red resultan imprescindibles a la hora de analizar la evolución de Internet. Sin esta información resulta imposible desarrollar nuevos protocolos, aplicaciones y extensiones de red. Esto se debe a que no se podría conocer ni prever el comportamiento de estos desarrollos sobre Internet.

A fines de la década del 90, sabiendo la necesidad que existía por conocer en profundidad las características de la red, surgieron varios proyectos para poder relevar datos de ésta. En primer lugar podemos hablar de Cooperative Association for Internet Data Analysis (CAIDA) [5]. CAIDA es una institución que pretende generar y recolectar datos con el fin de poder interpretar Internet y continuar su evolución. Luego de su aparición en 1997, fueron publicados artículos detallando características de la red. Entre ellos podemos hablar de un artículo pionero, donde menciona proyectos como CAIDA y los agrupa bajo el nombre de "Tomografía de Internet". Esto aparece en la publicación Claffy et al. [6], donde los autores explican que el termino tomografía es útil ya que, al igual que en la práctica médica, se obtiene la información en cuestión de forma poco invasiva. Asimismo, los autores pusieron cuatro ejes los cuales les parecieron imprescindibles a la hora del relevamiento de las características de Internet. Estos fueron:

- I Determinar como se encontraban interconectadas las redes y de que forma
- II Determinar cuanto demora y cuantos saltos pasa un paquete entre origen y destino
- III Analizar la frecuencia y el patrón que siguen el cambio de las rutas
- IV Poder llegar a visualizar a través de un grafo que forma tomaba Internet

El artículo Claffy et al. llevó a cabo su investigación nutriéndose de datos del proyecto skitter [7] de CAIDA. Skitter desarrolló una herramienta homónima al proyecto, la cual era capaz de recolectar datos acerca de Internet. Esta herramienta basa su operación en el comando traceroute [8] [9] que como resultado de su ejecución devuelve parámetros de la red asociados a una ruta. Luego, a través de las rutas es muy sencillo obtener los parámetros por los cuales se suelen analizar el comportamiento de Internet. Sumado a esto, la utilización del comando traceroute es sumamente sencilla y no requiere de grandes desarrollos para su implementación.

El uso de traceroutes para el relevamiento de la topología de Internet pertenece campo de las técnicas activas. Esto se debe que para poder relevar las rutas se ejecuta el comando traceroute, y como consecuencia se genera tráfico dentro de la red. No obstante, la generación de tráfico con este fin suele ser despreciable frente a los flujos con los que opera la red. Pensando en estas proporciones podemos justificar porque los autores entendieron ésta metodología como poco invasiva y le otorgaron el nombre de tomografía.

El relevamiento de la red a través de traceroutes, tal como lo hace skitter, tiene sus limitaciones. Para entender la limitación, debemos entender una ruta como un par ordenado único compuesto por dirección IP origen y dirección IP destino. Para poder tener una visión global de la red es necesario contar con un gran número de rutas,

lo cual no es más que generar traceroutes a múltiples direcciones destino distintas. Sin embargo, aquí solo estaríamos variando la mitad del par ordenado y las mediciones se verían sesgadas en función del punto desde donde se originó el traceroute. Para quitar este sesgo y poder tener rutas que cubrieran la mayor parte de la red, todos los proyectos cuentan con más de un punto desde donde se ejecutan los traceroutes. Desde los primeros artículos ya se conocía esta limitación, es por este motivo que en Claffy et al. utilizó 6 puntos de medición y 29.000 direcciones destino para caracterizar la red de Estados Unidos.

Con los objetivos planteado por CAIDA, y habiendo desarrollado la herramienta skitter, esta institución emprendió un proyecto llamado Archipielago (Ark) [10]. Ark es un proyecto de relevamiento de la red a través de traceroutes, donde CAIDA se ha encargado de instalar varios puntos de medición alrededor del planeta. De esta manera CAIDA buscó generar una infraestructura capaz de generar datos de forma periódica y continua, con los cuáles se pudiera llevar adelante las investigaciones sobre la red.



Figura 2.4: Ubicación geográfica de los nodos de Ark

Aunque en proyectos como los llevados a cabo por CAIDA el relevamiento de las rutas es la necesidad principal, surgen otras necesidades a resolver para poder estudiar y representar la tomografía de la red. Si bien el estudio de las rutas brinda un análisis detallado de los caminos que llevan los paquetes dentro de Intenet, a través de ellas es imposible saber cuando dos rutas comparten el mismo ruteador. Esto se debe a que en la naturaleza del protocolo IP, no existe ningún tipo de limitación para que un ruteador se encuentre conectado a dos redes con direcciones completamente distintas. Sumado a esto, quienes pertenezcan a cada una de estas redes no tendrán ningún conocimiento de las redes aledañas que comparten el ruteador. Esta naturaleza genera una dificultad a la hora de querer caracterizar la red vía traceroutes y querer ubicar los ruteadores dentro de la red.

Este problema comúnmente se lo identifica como "Alias resolution" y existen un gran número de herramientas que trabajan sobre esto. Entre las más conocidas se encuentran Ally [11], RadarGun [12] y MIDAR [13]. Éstas tienen como objetivo poder inferir si dos rutas han pasado por el mismo ruteador analizando el campo ID de la cabecera IP.

CAIDA ha publicado Keys *et al.* [13] donde compara estas tres herramientas y detalla su comportamiento.

Además de CAIDA, existe otro proyecto similar llamado **DIMES** [14]. Tal como CAIDA, este proyecto surge con el objetivo de determinar ciertas métricas de Internet tales como la capacidad, distancias medidas en cantidad de saltos o latencias. Además este proyecto también busca relevar los datos vinculados con el comportamiento de la red a través de traceroutes.

Sin embargo la arquitectura de la plataforma de DIMES es completamente distinta a la desarrollada por CAIDA en Ark. Tal como lo describe Shavitt et al. [14], desarrollar una plataforma de medición dedicada a la exploración que cuente con cientos de nodos es extremadamente costosa. Por este motivo, Shavitt propone una arquitectura colectiva-cooperativa inspirada en el proyecto SETI@home [15]. En estos proyectos se busca incorporar voluntarios, los cuales ponen a disposición su computadora para generar una plataforma distribuida. En el caso de DIMES, por cada voluntario que preste su equipo se estará agregando un nuevo punto de medición con una ubicación distinta dentro de la red.

La incorporación del un nuevo punto de medición consiste en que un voluntario descargue el software que habilita el uso de esa PC dentro de DIMES. Este software esta diseñado de forma tal de servir al proyecto pero al mismo tiempo garantizarle al voluntario la seguridad de su equipo. Además DIMES se compromete a que la utilización de la capacidad del enlace será no mayor a 1KB/s, mostrando ser poco invasivo para el usuario y para la red. Dado estos bajos índices de utilización podemos decir DIMES también puede ser catalogado como un proyecto de tomografía de Internet.

La única forma de descubrir *vínculos exclusivos entre socios* es a través de usuarios conectados a ese AS. Por este motivo, para DIMES es imprescindible el hecho de contar con la mayor cantidad de puntos de medición posible y eso lo lleva a solicitar el aporte colectivo.

DIMES, a diferencia de CAIDA, cuenta con la mayoría de sus puntos de medición ubicados en conexiones residenciales. En cambio CAIDA suele tener participación de empresas, universidades y entes gubernamentales, lo que lleva a que los puntos de medición estén más próximos al *backbone* de la red. Por este motivo a través de DIMES se tienen más facilidades para el análisis del comportamiento de la latencia o la capacidad en usuarios residenciales.

Pasando al relevamiento de la red a través de **técnicas pasivas**, podemos citar el ejemplo del proyecto **Route Views** [16]. Route Views es un proyecto coordinado por la universidad de Oregon que en la actualidad publica diariamente las tablas de ruteo BGP [2] de cientos de *ruteadores* alrededor del mundo.

En cuanto a la investigación científica acerca de la topología de Internet, a través de las tablas de ruteo que aporta Route Views se puede deducir gran cantidad de información. Las tablas BGP cuentan con una columna path, que índica la secuencia de ASN ² para alcanzar la red destino. Por consiguiente, a través de las tablas de ruteo rápidamente se puede ver que forma la topología de los AS.

Sin embargo la confección de mapas de la topología de Internet a través de Route Views presenta ciertas limitaciones. Dentro de estas limitaciones podemos presentar como principal a la imposibilidad de inferir vínculos exclusivos entre socios. Esto se debe a varios motivos de diferentes índoles. El primero es que mediante el protocolo BGP los AS pueden elegir que desean publicar. Dada esta situación, los AS no hacen pública la

 $^{^2 \}mathrm{ASN}$: Cada Sistema Autónomo esta identificado mediante un número llamado $\mathbf A$ utonomous $\mathbf S$ ystem $\mathbf N$ umber.

información de las rutas que tienen carácter de vínculo exclusivo. Al no publicar esta información, los AS aseguran que estos vínculos sigan teniendo su carácter de exclusivo y sean únicamente un beneficio para los AS conectados. Otra limitación es que las tablas suelen estar tomadas en ruteadores ubicados en el centro de la red. El problema que conlleva esto es que el campo path toma una forma extremadamente jerárquica. De esta forma ese campo solo nos permite ver vínculos únicamente cliente-proveedor desde el punto de medición hasta el destino.

El análisis mediante tablas BGP entrega un beneficio ya que se tratan de técnicas pasivas, sin necesidad de generar tráfico o invertir tiempo para obtener la información. No obstante, esta técnica aporta menor información en comparación a las técnicas activas.

Además, los parámetros que se pueden calcular utilizando diferentes, no siempre serán los mismos. En el caso de las tablas BGP se podrá inferir en conexiones o cantidad de saltos ya que son métricas que acostumbran a tener estas tablas. No obstante el caso de la latencia o el grado de utilización de cada enlace es imposible de determinar a través de este método.

2.3. Relevamiento y medición de PIT

Tal como se mencionó antes, los PIT han proliferado en la estructura de Internet en los últimos años. Este hecho no quedó al margen de la comunidad científica que investiga acerca de Internet, y en los últimos años se han publicado varios trabajos y artículos.

En primer lugar debemos mencionar una problemática común para los PIT. Los vínculos entre AS por medio de un PIT no suelen ser detectados por los distintos proyectos de medición. Este fenómeno es tratado y explicado en la publicación Augustin et al. [17]. Aquí los autores comenta que ya sea por métodos a través de las tablas de ruteo o por traceroute, generalmente no son relevados los PIT. Los problemas surgen porque esta clase de vínculos no aparecen en las tablas BGP del backbone o los traceroutes no forman parte del tráfico local que administran los PIT, estos puntos de la red no suelen aparecer.

La publicación tiene como objetivo caracterizar PIT por medio de traceroutes, por lo que indefectiblemente necesita saber las direcciones de red del PIT para determinar si los paquetes pasaron por allí. Desafortunadamente esta técnica presenta limitaciones al momento de relevar un PIT. La primera limitación, el autor se la atribuye a que algunos PIT responden con un número de Sistema Autónomo privado. De esta manera será imposible determinar por medio de traceroute si el PIT esta incluido dentro de la ruta. En segundo lugar, los ruteadores ubicado en el borde entre el AS y el PIT pueden llegar a no responder los paquetes ICMP. Para poder valerse de las direcciones de red de los PIT, Augustin et al. utilizó PACKET CLEARING HOUSE (PCH) [18] y PEERINGDB [19]. Estos dos proyectos son bases de datos públicas creadas por voluntarios con el objetivo de crear un índice de PIT existentes. Sumado a esto, los autores indagaron en las páginas web de los PIT de donde pudieron encontrar más información.

Para poder llevar a cabo la medición se utilizó como plataforma los servicios de Looking Glass (LG) de distintas organizaciones. Aquí se utilizaron los recursos públicos disponibles de traceroute.org [20], PEERINGDB y los LG disponibles en motores de búsqueda. De esta manera los autores alcanzaron presencia en la mayoría de los países contando con 2.300 nodos.

Con la plataforma de medición lista, se llevo a cabo el siguiente procedimiento para obtener los datos: se seleccionaron LG en AS conectados al PIT, o vecinos que a través de estos AS pudieran acceder al PIT; desde estos puntos se ejecutaron traceroutes

hacia los AS vecinos que tuvieran direcciones IP que respondieran los paquetes ICMP. Para determinar qué direcciones de cada red respondían a estas consultas, los autores generaron una heurística basada en cómo se distribuyen las direcciones generalmente. En caso de no contar con ninguna que respondiera las consultas eligieron una dirección al azar dentro del conjunto.

Mediante este método los autores han podido detectar 214 PIT de los 278 que se conocen su prefijo. En el caso de tratar de identificar PIT mediante el conjunto de datos de DIMES sólo se pueden detectar 155 y con CAIDA 102. De esta manera con una plataforma formada por 2.300 nodos se logran mejores resultados que con DIMES que cuenta con cerca de 18.000 puntos de medición. Esta mejora en los resultados con menor cantidad de nodos se debe a que los nodos fueron cuidadosamente elegidos para poder inferir PIT.

Por último, en el artículo se encuentran un total de 44.000 vínculos entre AS a causa de los PIT. Este número es muy superior a los 17.000 logrados por DIMES o los 2.600 logrados por CAIDA. De esta manera el artículo termina ratificando que en los mapas de la topología de Internet están ausentes gran cantidad de vínculos.

Otro artículo que se enfoca en descubrir y caracterizar PIT es Xu et al. [21]. Tal como en Augustin et al., se muestra como los PIT no han sido estudiados en profundidad a pesar de su importancia dentro de la arquitectura de Internet. Por este motivo los autores toma como objetivo de la publicación caracterizar la mayor cantidad de PIT alrededor del mundo y como se distribuyen según su ubicación continental. También busca relevar la cantidad de AS conectado en cada PIT, y como son las relaciones comerciales entre estos AS.

Para llevar a cabo esta investigación, Xu et al. ha tomado información de distintas fuentes tales como tablas BGP de Route Views o RIPE NCC [22], conjuntos de traceroutes del proyecto skitter y scriptroute [23] y la base publica de PCH.

Entre estos conjuntos de datos, se buscó si existían direcciones IP que pertenecieran a las direcciones de red publicadas en PCH. De esta manera se comprobaba si la tabla BGP tenía un vínculo con el PIT o si una *ruta* lo atravesaba. Sumado a esto el autor ha agregado otra técnica basada en la resolución inversa DNS [24]. Con las direcciones de red del PIT, se ejecutaron resoluciones inversas con el fin de encontrar el registro perteneciente a cada IP de la red. Si la resolución era exitosa, muy probablemente se podía conocer el nombre del AS participante en dicho PIT.

En la publicación los autores agregan aspectos comerciales presentes en los PIT. Más allá de que el PIT brinde una estructura por la cual todos los AS puedan intercambiar datos entre sí, existen acuerdos comerciales que limitan este intercambio.

De los 148 PIT presentes en la base PCH al momento de está investigación, en Xu et al. solo se pudo comprobar la existencia de 82 de estos. La principal limitación se debe a no disponer de rutas que pasen a través de los PIT. Esto sucede ya que los proyectos como skitter no tienen presencia en ningún AS participante en los PIT que no fueron descubiertos.

Esta artículo fue publicado en el año 2004, por lo que la cantidad de PIT encontrados en cada continente debe ser muy distinta a la cantidad actual. No obstante es muy probable que en la actualidad Europa y Norteamérica sigan teniendo la mayor cantidad de PIT del planeta. Además el autor marca la importancia que tienen los PIT en el funcionamiento de Internet en Europa.

Finalmente el artículo termina creando una topología de Internet y analizando la ubicación y distribución de los PIT en función de la topología. Esta visión es muy interesante para entender el comportamiento e importancia de los PIT dentro de Internet, que

es uno de los objetivos de la publicación. No obstante, desde nuestro punto de vista nos parece inapropiada la forma en que el autor planteo la construcción de la topología de la red. Aquí se plantea de forma arbitraria cuáles son los AS que componen en el backbone, cuando hoy en día existen otras publicaciones, como es el caso de Dimitropoulos et al. [25] donde plantean metodologías más acertadas.

Tal como lo plantea Xu et al., los PIT conforman estructuras principales en la interconexión de AS en Europa. Dada esta situación, existen varias publicaciones enfocadas en PIT europeos como es el caso de Cardona Restrepo et al. [26]. Este artículo se enfoca en analizar el desarrollo de SIX (Slovak Internet eXchange) ³, un PIT situado en Eslovaquia, desde su implementación.

Es interesante el método al que han recurrido los autores para la obtención de datos. Generalmente, tal como se mostró en publicaciones anteriores, es difícil contar con relevamiento de Internet que incorporen información de los PIT. Tanto técnicas activas o pasivas, si no tienen un punto de medición en ese PIT, será imposible su relevamiento. Dada esta circunstancia el Cardona Restrepo et al. recurrió al análisis de la página web de SIX.

Es común que los PIT cuenten una página web en donde publiquen estadísticas tales como tráfico según interfaz o cantidad de AS conectados. Sabiendo que SIX ha contado con una página de este estilo desde sus inicios, Cardona recurrió al análisis de esa página a lo largo de los años. Para poder contar con información de años anteriores, se utilizó wayback machine [27], que es un proyecto el cual recopila y almacena todas las páginas web presentes en Internet. A través de este archivo, los autores puedieron confeccionar su propio dataset de la evolución de SIX.

Con los datos obtenidos, los autores han podido mostrar como SIX desde 1997 ha incrementado los AS participantes desde menos de 10 hasta 52. También presenta que no todos los AS conectados al PIT pueden intercambiar datos entre sí. Aquí nuevamente aparecen limitaciones por acuerdos comerciales, lo que lleva a un 70 % de accesibilidad, lo cual es un índice normal en los PIT europeos. Además los autores, a través de los datos obtenidos, remarcan que luego de establecerse un acuerdo de cooperación entre dos AS a través del PIT, rara vez se dan de baja. Este dato es ratificado de manera numérica ya que de los 1711 vínculos que existen entre AS en SIX, solo 20 se han roto desde 1997.

En cuanto a los niveles de tráfico detectados en la publicación, es muy interesante ver a las conclusiones que se llegaron. El promedio anual de crecimiento de tráfico residencial o entre dominios a nivel mundial es entre un $40\,\%$ y $50\,\%$. En el caso de SIX, se detectó desde su creación un crecimiento anual del $100\,\%$. Esto marca de forma muy clara la importancia que toman los PIT en la estructura mundial de Internet.

Otro artículo enfocado a un PIT situado en Europa es Ager et al. [28]. En esta publicación se estudió uno de los PIT más grandes de Europa y del mundo. Esta red por si sola tiene más vínculos que el total de vínculos exclusivos ente socios presentes en todo Internet. Esto se logra ya que este PIT tiene una estructura conformada por 400 miembros, los cuales llegan a intercambiar unos 10 petabytes diarios.

El análisis que se llevó a cabo en esta investigación se basó en datos sFlow [29]. Esta técnica consiste en tomar un paquete y analizar su comportamiento a través de la interpretación de las cabeceras de los protocolos. Esto se pudo llevar a cabo ya que los investigadores contaron con autorización y acceso a la red del PIT. Dentro de ésta, ellos capturaron las cabeceras de un paquete al azar de cada 16.000 paquetes.

Con los datos recopilados los autores descartaron en un primera instancia los paquetes IPv6 [30], ya que constituían en el momento del análisis (2012), menos del 1 %. También

³SIX: Slovak Internet eXchange.http://www.six.sk

eliminaron capturas de paquetes de multicast o broadcast tales como ARP [31].

Con este conjunto de datos, los autores pudieron identificar 350 AS participantes, y luego a través de whois [32] detectaron que se distribuían en 40 países de 3 continentes. Sumado a esto, pudieron detectar que el 90 % del tráfico generado es producto de menos del 30 % de los participantes. Por último otra conclusión que parece lógica a priori, es que el servicio predominante fue el HTTP [33]. Este protocolo significó más del 50 % del tráfico IP sobre el PIT.

Retomando la problemática desde una escala más global esta Chatzis et al. [34]. Este artículo comienza con una perspectiva histórica para explicar la proliferación de los PIT.

En 1995 cuando la NSFNET [35] fue privatizada, quienes tomaron la operación del backbone de la red, reemplazaron los cuatro antiguos NAPs ⁴ de Nueva York, Chicago, Washington DC y California por 80 PIT en la ciudades más importantes. Este fenómeno, fue tomado por los operadores europeos, los cuales decidieron instalar PIT locales para disminuir los elevadísimos costos del tráfico transatlántico. Esta operación llevo a un rápido crecimiento de Internet en Europa, donde los PIT llegaron a un volumen de tráfico similar al del TIER-1 ⁵.

No obstante aquí el autor introduce el concepto de PIT con fines de lucro o sin fines de lucro. En Estados Unidos, las organizaciones que crean los PIT son con fines de lucro. En el resto del mundo, los PIT le cobran a sus participantes pero con el mero hecho de poder solventar los costos operativos, para generar una ganancia a los desarrolladores. Esta diferencia de modelo de negocios, es por la que el autor entiende como los PIT en Europa han tenido tanta proliferación y tanta cantidad de AS conectados.

Es interesante como el autor de este trabajo hace una descripción minuciosa acerca de la estructura de red de los PIT. En primer lugar clasifica a los PIT entre los que están en una sola ubicación, tal como CAIX ⁶, o los que pueden estar en más de un edificio. Para este último caso podemos fijar el ejemplo de DE-CIX ⁷ o ECIX ⁸. A su vez muestra que los PIT pueden tener una categoría jerárquica donde un PIT englobe PIT menores. Aquí se muestra como ejemplo Netnod ⁹ o AMS-IX ¹⁰, el cual tiene un vínculo con una ubicación en Honk Kong.

En este artículo los autores destacan que los PIT son sitios de la red interesantes para albergar Content Delivery Networks (CDN). Para los grandes distribuidores de contenidos dentro de Internet, será interesante tener una conexión a un PIT, en la medida que éste tenga un gran volumen de tráfico o de AS participantes. A su vez, para los AS será interesante participar en un PIT donde se encuentre alojado una CDN. De esta manera las CDNs y los usuarios de los AS verán una mejora significativa en la calidad del servicio a la hora del consumo de esos servicios.

⁴NAP: Network Access Point. A mediados de la década del 90 los Internet eXchange Point (o en español PIT) eran llamados así.

⁵TIER-1: Nivel de más alta jerarquía dentro de Internet, para el cuál no existe ninguna definición estricta de quienes lo integran. Es común el uso de esta palabra actuando de sinónimo de backbone.

⁶CAIX: Cairo Internet eXchange.www.caix.net.eg/

⁷DE-CIX:Deutscher Commercial Internet Exchange.https://www.de-cix.net/

⁸ECIX: European Commercial Internet eXchange.https://www.ecix.net/

⁹Netnod Internet Exchange i Sverige.http://www.netnod.se

¹⁰AMS-IX: Amsterdam Internet eXchange.https://ams-ix.net/

Capítulo 3

Plataforma de Medición Distribuida

En este capítulo nos dedicaremos a describir la Plataforma Distribuida de Medición. En primer lugar, mostraremos cual fue la necesidad de su instalación para llevar adelante el proyecto. Luego describiremos como está compuesta su arquitectura, detallando el rol cada uno de los softwares instalados para poder relevar la evolución del PIT. Por último explicaremos cuales son los parámetros que mediremos en el PIT de Bolivia y cual es el significado de cada uno.

3.1. Justificación

Tal como se explicó en el capítulo anterior, existen varios proyectos para el relevamiento de la topología de Internet, sin embargo éstos presentan ciertas limitaciones. Los conjuntos de datos generados dentro de estos proyectos suelen carecer de información acerca de vínculos entre algunos Sistemas Autónomos [36]. En el caso de las tablas BGP [2] disponibles en proyectos como Route Views [16], será imposible identificar vínculos entre socios. Esto sucede ya que en estas tablas la estructura de la ruta entre Sistemas Autónomos lleva una estructura jerárquica. Aunque la causa es diferente, los vínculos exclusivos entre AS serán muy difíciles de encontrar por técnicas activas, por ejemplo vía traceroutes [8] [9]. Los proyectos que usen estas técnicas, podrán hallar información sólo de los vínculos entre socios de los Sistemas Autónomos a los que se encuentran los puntos de medición. Esto se debe a que únicamente los AS que se encuentran conectados a través de ese vínculo exclusivo serán quienes los puedan utilizar. De esta manera, la existencia de vínculos exclusivos entre socios sólo resulta de interés para los AS que lo puedan utilizar.

Al igual que los vínculos entre socios, los PIT¹ no suelen ser detectados por los proyecto de relevamiento de la topología de Internet. Esto se ve claramente explicado en el leitmotiv de los PIT: "mantener local el tráfico local". De esta manera la única forma de poder inferir la presencia de un PIT es que uno de los puntos de medición se encuentre conectado a un AS participante en un PIT. Otra alternativa será contar con las tablas BGP de los ruteadores de borde entre el AS y el PIT. No obstante esta alternativa suele ser mucho más compleja ya que requiere que sean entregadas por los ISP².

Presentado este panorama, vemos que para poder llevar adelante nuestra tomografía del PIT situado en Bolivia será necesario contar con puntos de medición instalados en AS participantes en el PIT. Volviendo a evocar el *leitmotiv* veremos que los paquetes

¹PIT: Punto de Intercambio de Tráfico, del inglés Internet eXchange Point, IXP

²ISP: Internet Service Provider

únicamente atravesarán el PIT si las direcciones IP de origen y destino pertenecen a AS participantes en éste.

3.2. Arquitectura

Tal como se ha explicado era imprescindible tener presencia en los AS conectados al PIT para poder llevar a cabo su relevamiento. Al carecer de cualquier tipo de recurso instalado en estos AS, fue necesario llevar adelante el desarrollo de una Plataforma Distribuida de Medición, llamada PladMeD [37].

En primer lugar vale la pena mencionar porque es necesario más de un punto de medición, lo que nos da la características de plataforma distribuida. Supongamos el caso de contar con un único punto de medición en un Sistema Autónomo conectado al PIT. Cuando generemos traceroutes desde este punto hacia otros AS del PIT obtendremos rutas, las cuales muy probablemente contengan direcciones IP pertenecientes al PIT. No obstante esta información no será suficiente para poder caracterizar el PIT, sino que esta sólo representará una visión desde uno de los ISP ³ participantes. Al incorporar más puntos de medición en ese mismo AS y en los AS restantes tendremos distintas rutas y distintos valores asociados. Esta suma de información nos dará una imagen más global de las características del PIT.

Sabiendo que necesitábamos más de un punto de medición apuntamos a utilizar un dispositivo sobre el cual el Sistema Operativo fuera sencillo de clonar. Al mismo tiempo también buscamos un dispositivo económico, que consumiera poca energía y de tamaño reducido, de forma tal de poder ser instalado en cualquier lugar sin mayores inconvenientes. Para poder satisfacer todas estas necesidades encontramos la solución en la **Raspberry Pi modelo B** [38]. La Raspberry es una pequeña computadora desarrollada con fines educativos, de bajo costo y tiene el tamaño de una tarjeta. Además esta construida con un CPU **ARM** [39] de gama A11 lo que le da un gran poder de cálculo. Para satisfacer nuestras necesidades nosotros hemos elegido el "modelo B" ya que este cuenta con conexión RJ-45, necesario para nuestros propósitos.

La Raspberry opera con Linux [40] y puede correr una distribución de la familia Debian [41], llamada Raspbian [42]. El hecho de poder contar con este Sistema Operativo nos da la ventaja de operar sobre un sistema libre y gratuito. A su vez hemos elegido dentro de Linux una distribución de la familia Debian, ya que bajo esta familia contamos con el software y la experiencia para poder llevar a cabo las necesidades de la plataforma.

Los objetivos que nos habíamos propuesto para la plataforma de medición nos generaban la necesidad de instalar en los nodos programas capaces de generar traceroutes [8] [9], encuestas SNMP [43], capacidad de manejo del lenguaje Python [44] [45] y almacenamiento y gestión de bases de datos a través de MySQL [46].

3.2.1. Traceroutes

La técnica de medir las *rutas* entre usuarios finales por medio de **traceroutes** es muy utilizada dentro de las mediciones de Internet. Como este es un procedimiento y no un software en particular, existen gran cantidad de programas que son capaces de realizarlo. La elección de este programa es un tema muy delicado, ya que existen softwares que por errores metodológicos acaban infiriendo rutas erróneas.

Debido a la gran importancia que significa para nuestro proyecto la veracidad de la *rutas*, nos detendremos a explicar cuáles son los errores que pueden suceder y cómo

³ISP: Internet Service Provider, o en español Proveedor de Servicios de Internet.

tratamos de evitarlos. El relevamiento de las rutas a través de traceroutes, hace uso de los campos del protocolo IP [4] [3] sumado al protocolo ICMP [47]. El encabezado del protocolo IP cuenta con un campo denominado Time To Live, comúnmente abreviado TTL. Este campo indica cuantos ruteadores puede pasar el paquete IP antes de ser descartado, evitando que un paquete incorrectamente enviado permanezca de manera infinita dentro de la red. Para poder cumplir esta misión, luego de pasar por un ruteador el paquete decrementa en una unidad este campo y al alcanzar cero es descartado. Dado que el protocolo IP tiene una característica de mejor esfuerzo, lo que no garantiza la entrega de los paquetes, hará que cuando un paquete se descarta, quien lo envío no obtiene información acerca de este suceso. No obstante el protocolo ICMP, incorpora ciertos mensajes complementarios al protocolo IP, como por ejemplo para estos casos el mensaje "Time Exceeded". Vale la pena mencionar es que el protocolo ICMP es un protocolo complementario pero optativo a la hora del funcionamiento de las redes IP.

Teniendo en cuenta este panorama, el **traceroute** utiliza toda esta base para recopilar una ruta de la siguiente manera. Fijada la dirección destino de la cual se quiere relevar la ruta, el usuario de comenzará a enviar paquetes incrementando en una unidad el TTL hasta alcanzar el destino. De esta manera, cada vez que se descarte uno de los paquetes, los dispositivos intermediarios mandarán un mensaje de "Time Exceeded" al origen y de esa manera se podrá conocer la IP de ese ruteador.

Antes de continuar con la operación del traceroute, debemos introducir ciertas características propias de como operan los ruteadores, para luego poder analizar problemas en función de éstas. Suponiendo el caso de que un ruteadores tenga dos enlaces de igual costo a través de los cuales pueda enviar el paquete hacia su destino, ¿cuál de los dos usaría?. Esta pregunta es imposible de ser respondida de forma estricta, pero lo que es altamente probable es que en distintas condiciones los paquetes usen distintos enlaces. Esto se debe a que los ruteadores disponen de una técnica conocida como balance de carga, la cual se encarga de distribuir de la forma más equilibrada posible el uso de los enlaces. Este balance de carga se puede implementar de dos maneras: por paquetes o por flujo. En el primer caso, por cada paquete que arribe al ruteador se alternará de enlace utilizado para dirigirse al destino. En la segunda modalidad se hará según el flujo, donde el flujo es una cuaterna única formada por las direcciones IP y puerto de la capa de transporte tanto de origen como de destino.

Ahora conociendo el balance de carga, vemos como tiene una influencia directa sobre el ruteo y por consiguiente sobre las rutas que iremos a recopilar. No obstante, el principal inconveniente para el traceroute es que mediante el balance de carga se pueda inferir una ruta apócrifa. Para analizar este problema tomemos la siguiente topología como ejemplo.

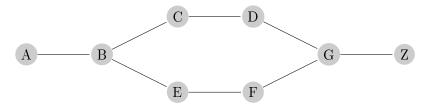
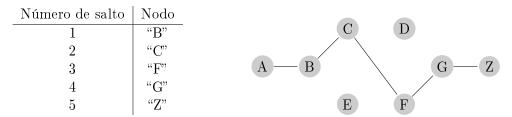


Figura 3.1: Grafo de la topología en cuestión

El nodo "A" comienza la operación del traceroute enviado un paquete IP con el campo TTL=1. Cuando este paquete alcance el nodo "B", decrementará el campo TTL, este tendrá un valor igual a cero y por ende el ruteador lo descartará. Sumado a esto el nodo "B" enviará un mensaje ICMP con el contenido "Time Exceeded" a la dirección

IP de origen. Ahora se repite el procedimiento pero con TTL=2. Dado que es necesario para continuar nuestro análisis, supongamos de aquí en adelante que el nodo "B" realiza balance de carga. Durante el ruteo de este segundo paquete enviado por "A", al llegar a "B" será enviado en un primer momento por el enlace BC, alcanzando ahora el nodo "C" y siendo descartado. Repitiendo el análisis ahora con TTL=3, el paquete al alcanzar el nodo "B" será balanceado y ahora tomará el enlace BD, alcanzando el nodo "F" y siendo descartado. Por último si con TTL=4, el paquete sin importar que enlace tome, alcanzará el nodo "G" y será descartado. Por consiguiente, nuestra topología alcanzada por el traceroute será la siguiente:



- (a) Resultado obtenido por el traceroute
- (b) Grafo de la topología alcanzada

Figura 3.2: El balance de carga que pueden efectuar los *ruteadores* puede afectar el resultado de los traceroute. En las figuras se muestra como se puede inferir una topología inexistente si el traceroute no contempla este comportamiento

Viendo como operó el balance de carga podemos ver rápidamente como estamos infiriendo un enlace CF que no existe en la topología real. Para evitar estos inconvenientes existe un software muy popular llamado **Paris traceroute** [48], el cual agrega algunas técnicas para evitar inferir falsos enlaces. En primer lugar, envía sobre el datagrama IP un paquete de capa de transporte repitiendo en cada secuencia los puertos de origen y destino. Con esta simple modificación, el paquete no sufrirá alteración en la traza de la ruta en el caso de atravesar un balance de carga por flujo. Esta mejora introducida por **Paris traceroute** tiene un impacto muy grande ya existen **Request for Comments** (**RFCs**) [49], tales como la **RFC 2991** [50], que recomiendan el balance de carga por flujo como la técnica más adecuada.

Los autores de **Paris traceroute** también han descubierto que algunos *ruteadores* toman mayor cantidad de campos para generar el *balance de carga*. Este es el caso de los parámetros Type of Service del protocolo IP y checksum del protocolo UDP [51], sobre los cuales **Paris traceroute** ha trabajado para incorporar mejoras a la herramienta. Augustin *et al.* [48] muestra como manteniendo constante el checksum UDP a lo largo del traceroute se evitan inferir vínculos inapropiados en *balances de carga* por *flujo* y en muchas oportunidades también cuando el *balance* es por *paquetes*.

Dentro de los proyecto de medición de Internet es importante e interesante poder realizar múltiples traceroute en simultáneo. Esto se debe en primer lugar por el tiempo que demanda obtener una ruta vía traceroute. Sumado a esto si tenemos gran cantidad de rutas que recolectar, el proceso puede demorar mucho tiempo. Desafortunadamente, hemos descubierto que Paris traceroute entrega errores cuando es ejecutado de manera paralela. Sin embargo esta dificultad fue sencilla de resolver mediante un software denominado scamper [52]. Esta herramienta esta diseñada específicamente para el relevamiento de la topología de la red mediante traceroutes, y pensando en diferentes tipos de pruebas incorpora flexibilidad a través varios parámetros configurables. Entre estos parámetros se encuentra la capacidad de ejecutar Paris traceroute y de alcanzar múltiples destinos en simultáneo.

3.2.2. Encuestas SNMP

El protocolo Simple Network Management Protocol (SNMP), es un protocolo definido para poder administrar y monitorear el estado de los diferentes elementos que componen la red de forma remota. Este protocolo encuesta a los dispositivos acerca sus variables tales como la hora, la temperatura, la cantidad de paquetes enviados y/o recibidos y la cantidad de bytes enviados y/o recibidos. Definido para este protocolo, cada una de estas variables del sistema llevan el nombre de variables MIB [53], con una notación dada por **Abstract Syntax Notation One** (ASN.1) [54].

Dadas estas características del protocolo SNMP nosotros hemos decidido utilizarlo para el monitoreo de tráfico del PIT. A través de las variables MIB llamadas ifInOctets e ifOutOctets podremos saber cuantos Bytes han transmitido los dispositivos hasta ese momento. Si este proceso lo repetimos periódicamente, podremos extraer la tasa de byte media durante ese lapso. Este procedimiento para la medición de las tasas de transferencia de datos es muy conocido dentro del campo de las mediciones de Internet. El software más conocido que implementa esta técnica se llama mrtg [55], pero nosotros hemos decidido no utilizarlo para poder tener mayor flexibilidad a la hora de las mediciones.

Para poder llevar a cabo esta medición del tráfico del PIT necesitaremos encuestar a los ruteadores de borde de cada AS que lo compone. Otra alternativa será encuestar al switch que del PIT que vincula todos estos AS, y discriminar el tráfico de cada interfaz. No obstante, no es suficiente que el dispositivo cuente con el protocolo SNMP sino que también las encuestas deberán ser autenticadas. A cada dispositivo que opera con este protocolo es necesario asignarle una comunidad. Luego cuando este dispositivo recibe una consulta, solo entregará la respuesta si el campo comunidad de dicha consulta coincide con la comunidad del equipo. Esta característica de autenticación, sirve para mantener la confidencialidad de los datos y también presenta una dificultad para nuestro propósito en caso de desconocer este nombre.

A diferencia de los traceroutes, las encuestas SNMP pueden ser hechas desde cualquier origen dentro de Internet y su valor será el mismo. Sin embargo nosotros hemos decido que este procedimiento este contemplado dentro de la PladMeD para minimizar el riesgo de perdidas de datos por problemas de conexión.

Habiendo decidido contar con esta capacidad en nuestros nodos, debimos instalarles el software necesario para esta tarea. Esto constó de los paquetes necesario en Raspbian para manejar el protocolo SNMP, interpretes del sistema para poder llamar a las variables MIB por su nombre en inglés y no por la notación ASN.1.

3.2.3. MySQL

Antes de comenzar el proyecto eramos conscientes que la realización de cada medición generaría gran cantidad de datos. A lo largo de este proyecto hemos tenido un promedio de 87000 traceroutes diarios por nodo, lo que nos llevo a plantearnos cual era la manera más apropiada de almacenar y manipular los datos.

Más allá del formato elegido para el almacenamiento de datos ya fuera en los traceroutes o en las encuestas SNMP, necesitábamos contar con un lenguaje capaz de encontrar y manipular información de forma eficiente y por eso tomamos la decisión de implementar una base de datos en lenguaje Structured Query Language (SQL) [56].

Dentro de los software que utilizan este lenguaje nosotros hemos instalado en cada uno de nuestros nodos el servicio **MySQL Server**. La ventaja de este servicio frente a otros que manejan SQL, es que este se encuentra disponible para Linux, es libre y gratuito.

3.2.4. Python

Las necesidades de PladMeD nos han llevado a desarrollar software específico para poder satisfacerlas. Los mecanismos de medición son procesos complejos que constan de varias partes. Nosotros hemos estructurado el procedimiento en una forma de flujo de manera tal de poder ser llevada a un lenguaje de programación para su automatización.

Hemos seleccionado como lenguaje de programación a Python por varios motivos. El primero porque el grupo donde se ha desarrollado este trabajo cuenta con una vasta experiencia en programación con este lenguaje. Sumado a esto, necesitábamos un lenguaje capaz de operar con los otros softwares presentes al momento de la medición. Este propósito Python lo cumple ya que mediante sus bibliotecas puede operar con MySQL, con encuestas SNMP, archivos o la terminal de Linux. Además el hecho de haber trabajado con un lenguaje de programación de alto nivel nos simplificó el desarrollo, nos ahorro líneas de código y facilitó la depuración de los programas.

3.2.5. Centralización de la información

El desarrollo de nuestra Plataforma Distribuida de Medición esta dada como se explicó anteriormente por la alteraciones de las mediciones dependiendo de la ubicación dentro de Internet. No obstante una vez conseguido el conjunto de datos, no será un impedimento su procesamiento fuera de los nodos. A su vez este procesamiento fuera de los nodos será una necesidad ya que será necesario concatenar la información proveniente de cada sonda para poder tener una estimación global del PIT.

Esta tarea nosotros la realizaremos con un servidor ubicado de la red de la **Universidad de Buenos Aires**, donde un vez por día reportaremos la actividad de cada sonda para luego concatenarla y procesarla.

Aprovechando la disponibilidad de este servidor, pudimos analizar otros fenómenos presentes en el Internet boliviano que no requieren de una sonda en un AS de dicho país. Este es el caso del ZMap [57], un software capaz de detectar que direcciones IP dentro de un red brindan determinado servicio.

3.3. Parámetros a medir

El funcionamiento de PladMeD es la solución ideada para poder estimar una serie de parámetros, los cuales nos entregarán una noción acerca la estructura y funcionamiento del PIT. Para poder evaluar la evolución del PIT, hemos tomado parámetros presente en la mayoría de las mediciones de Internet tales como como la cantidad de saltos, la latencia y el tráfico a través del PIT. Además hemos establecido parámetros especialmente definidos para esta medición llamados tiempo accesible y rutas locales. Por último, para medir la evolución de Internet en la región a causa del PIT, hemos relevado la variación de los servicios presentes en las direcciones IP asignadas por LACNIC [58] a Bolivia.

Producto de nuestra fuente primaria de información, los traceroutes, podremos fácilmente deducir la cantidad de saltos y la latencia entre usuarios finales. Estos parámetros es ampliamente usado a la hora del relevamiento de la tomografía de Internet, ya que rápidamente mediante podemos sacar conclusiones a través de los ordenes de magnitud. Sumado a esto, la latencia esta íntimamente ligada con parámetros físicos, tales como la velocidad de propagación de ondas electromagnéticas. De esta forma podremos deducir distancias con las latencias y comprobar si estas distancias son acordes a las dimensiones de Bolivia, cumpliéndose así la intención de mantener el tráfico local.

Para poder obtener mayor detalle del impacto del PIT en la red de Internet boliviana creamos dos nuevos parámetros *tiempo accesible* y *rutas locales*, los cuales definimos a continuación:

- I **Tiempo accesible**: Con el total de los **traceroutes** que hemos seleccionado como satisfactorio, nuestra intención es dividir ese conjunto según la clase de vínculo que usó el paquete para alcanzar destino. Una vez separados los conjuntos podremos ver el porcentaje de las *rutas* que utilizan el PIT, los *vínculos exclusivos entre socios* o los enlaces *cliente-proveedor* con proveedores internacionales.
- II Rutas locales: A través de este parámetro queremos expresar como fue el comportamiento de la distribución de las rutas según los enlaces, y la variabilidad que pueden tener dentro del rango de observación. En primer lugar tenemos que definir que para nosotros una ruta es un par ordenado dado por (dirección IP origen, dirección IP destino). Luego categorizaremos nuevamente los traceroutes exitosos y los separaremos según el enlace que utilizaron para alcanzar destino. Ahora con cada categoría, diremos que la ruta utilizó el enlace, si al menos pasó una vez a través de éste. Por último generaremos porcentajes donde marcaremos la cantidad de rutas por tipo de enlace en función de la cantidad de rutas totales.

La primer diferencia entre tiempo accesible y rutas locales, es que si un traceroute para una determinada ruta aparece n veces en una categoría será contado n veces. En cambio en rutas locales será contado una sola vez. Esto se debe a que tiempo accesible está ligado a la distribución del tráfico y rutas locales a la variabilidad de los saltos intermedios que componen las rutas.

En segundo lugar podemos ver como los porcentajes de las categorías pueden sumar más de 100 %. Imaginemos el caso de una única *ruta* medida a través de dos **traceroutes**. Imaginemos que el primero es enviado a través de un PIT y el segundo a través de un *vínculo entre socios*. Entonces podemos ver que:

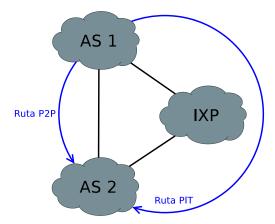


Figura 3.3: Este diagrama muestra como dos AS se encuentran interconectados a través de un PIT y de un *vínculo exclusivo entre socios*. Esto hace que para una *ruta* los paquetes en algunos momentos alcancen su destino por medio del PIT y en otros no.

Dentro de los nodos de PladMeD hemos incorporado la capacidad de manejar el protocolo SNMP, dado nuestro interés de medir el tráfico en el PIT. Mediante la utilización de distintas variables MIB y con la consulta de los equipos de forma periódica podremos obtener los valores medios de tráfico de cada AS conectado.

	Rutas relevadas	Cantidad de rutas	Porcentaje
		medidas	
A través del PIT	1	1 (AS1-AS2)	100 %
A través de vínculos en-	1	1 (AS1-AS2)	100~%
tre socios			
Suma de las categorías 200%			

Cuadro 3.1: Este es un ejemplo de los resultados que se pueden obtener a través de rutas locales. Aquí se marca como la sumatoria de las categorías puede dar mayor al 100 %. El resultado obtenido es consistente, ya que un paquete puede unir un origen y destino por medio de distintos enlaces a lo largo del tiempo.

Por último, hemos dotado a la plataforma de la capacidad de medir la cantidad de servicios disponibles bajo IPs en Bolivia. De esta manera, nosotros queremos evaluar si la implementación del PIT ha producido un incremento en la cantidad de los servicios prestados. Para tener una visión global de los servicios nos hemos enfocado en los principales protocolos de cada rama de la siguiente manera:

Servicio	Protocolo
\overline{Web}	HTTP y HTTPS
Transferencia de archivos	FTP
$Acceso\ remoto$	SSH
In frae structura	DNS
$Correo\ electr\'onico$	SMTP, SSMTP, POP2, POP3, IMAP,
	IMAP3, IMAPS e IMAP4
VoIP	H.323 y SIP

Cuadro 3.2: Para nuestro análisis hemos pretendido obtener información de servicios orientados a distintos fines. Para eso en esta tabla hemos resumido que servicios pretendimos relevar, basándonos en los protocolos más populares de cada área.

De esta forma hemos abarcado la mayor cantidad de áreas de servicios prestados sobre la red IP y hemos sumado los servicios más populares dentro de Internet.

Para poder detectar si los servicios se encontraban disponibles o no, hemos recurrido al ZMap. Este software detecta cuantas y cuales son las direcciones IP brindan un servicio dentro de una red bajo análisis. Esta facultad ya la brindaba nmap [59], antecesor del ZMap, pero la diferencia entre ambos es el tiempo que demoran en ejecutar la tarea. Según Durumeric et al. [57], publicación donde se presenta el ZMap, ésta herramienta es 1.300 veces más veloz que la configuración más rápida del nmap.

Este incremento de la velocidad de escaneo, el ZMap la logra a través de un cambio de paradigma. El nmap basa su funcionamiento evitando la saturación de origen y de la red bajo análisis. Ahora el ZMap supone que el origen cuenta con capacidades suficientes para no ser saturado. Para no sobrecargar la red destino, las direcciones IP encuestadas en simultáneo trata de que se encuentren esparcidas dentro de esa red.

Otro cambio que generó un incremento de la velocidad fue no establecer conexiones TCP [60]. A diferencia del nmap que comprobaba que se entregase el servicio luego de establecer la conexión, aquí se inicia y se pasa a escanear otra dirección. En paralelo se ejecuta otro proceso el cual esta pendiente de recibir las confirmaciones de las conexiones iniciadas.

Por último dado que la tarea de relevamiento llevaría que las cabeceras de capa 2, 3 y 4 fueran muy similares para cada prueba. ZMap eligió generar las tramas partiendo

desde capa 2 para agilizar las tareas y disminuir la carga sobre el núcleo del Sistema Operativo. Esto genera una desventaja frente a manejar un socket⁴, ya que se aumenta la complejidad del manejo de la conexión. Pero como **Zmap** trabaja sin conexión, esto no resultó ser un inconveniente.

⁴Un socket queda definido por una cuaterna única comprendida por IP origen, IP destino, puerto origen y puerto destino. En función de esta cuaterna existen APIs en todos los lenguajes de programación para llevar a cabo el intercambio de datos.

Capítulo 4

Mediciones y Análisis de los Datos

En este capítulo profundizaremos los detalles de como operamos para obtener la información, luego nos centraremos en el procesamiento de los datos, para finalmente concluir en los resultados obtenidos.

4.1. Metodología utilizada en Bolivia

Nuestro objetivo era poder caracterizar el PIT ¹ de Bolivia, para ello recopilamos información proveniente de **traceroutes** [8] [9] ejecutados desde PladMeD [37]. A continuación, describiremos como hemos ejecutado las mediciones y cuáles fueron las características principales de las mismas.

También hemos buscado analizar como si se ha incrementado la cantidad de servicios ofrecidos desde IPs situadas en Bolivia. Para poder realizar ese análisis, en esta sección presentaremos como hemos procesado los datos obtenidos a través del ZMap.

4.1.1. Generación de rutas

Es de alto valor determinar cuáles son las rutas de interés para poder relevar el comportamiento del PIT. Para esto tenemos que volver a los primeros conceptos y recordar cual fue el motivo de la implementación del PIT. Recordando esto, podemos evocar el leitmotiv: "mantener local el tráfico local". Pensando esto en primer lugar sabremos que nuestro origen de la ruta tendrá origen local. Esto se debe a que los traceroutes serán ejecutados desde PladMeD, directamente conectada a AS participantes en el PIT. En segundo lugar ahora tendremos que pensar cual deberá ser el destino de dichas rutas para que el tráfico pueda ser considerado como "local". Dado que el objetivo del PIT de Bolivia es minimizar la tarifa a los abonados e impulsar el desarrollo de Internet en el país, nosotros hemos tomado un conjunto de direcciones pertenecientes a Bolivia.

El paso siguiente fue elegir las *rutas* a relevar. A pesar que la cantidad de direcciones IP pertenecientes al territorio boliviano no es muy elevada (1.136.128 al 25/10/2014), insumiría mucho tiempo relevar todas las rutas. A su vez, el hecho de tomar información de absolutamente todos los destinos carecería de sentido ya que gran cantidad de los datos serían redundantes. Para acotar el la cantidad de *rutas* a relevar hemos tomado una metodología utilizada por **CAIDA** [5] en su proyecto **Ark** [10].

La metodología para disminuir el conjunto de muestreo se denomina "IPv4 Routed /24 Topology". En este método consiste en segmentar todas las redes en subredes de

¹PIT: Punto de Intercambio de Tráfico, del inglés Internet eXchange Point, IXP

tamaño Clase "C" (256 direcciones IP), y luego tomar una sola dirección IP de cada una de esas subredes.

Dado que nuestro objetivo es poder relevar las *rutas bolivianas*, debimos aplicar el método utilizado por **Ark** sobre los bloques pertenecientes a Bolivia. Esto fue logrado ya que LACNIC hace pública una base de datos de los bloques de direcciones IP pertenecientes a la región y discriminados por país. Esta información es actualizada diariamente y se encuentra disponible en ftp://ftp.lacnic.net/pub/stats/lacnic/delegated-lacnic-latest.

Sumado a ésto podremos aprovechar la información proveniente del análisis de los puertos, que luego explicaremos en detalle. Sin tener que ahondar en ese tema, podemos decir que aprovecharemos los resultados para elegir las direcciones objetivo. Una vez que tengamos subdivididos los bloques en clases "C", elegiremos una dirección de los resultados del ZMap [57] que corresponda a dicha red. En caso de no contar con ningún servicio de los monitoreados, tomaremos una dirección IP al azar utilizando una distribución uniforme.

4.1.2. Variabilidad de la topología

El sistema de medición que hemos descripto hasta el momento satisface las necesidades pero sólo de forma parcial. Es necesario comprender algunos factores más que hemos tenido en cuenta para incrementar la certeza de nuestras medición.

En primer lugar debemos comprender de la variabilidad de la topología de Internet. La arquitectura de Internet se altera permanentemente por distintos motivos. Reconfiguración de redes, caída de enlaces y introducción de nuevos AS, hará que agreguen y descarten rutas continuamente. En caso de relevar la topología de Internet en un determinado momento no será más que una mera imagen de ese instante. Para poder tener una visión global del PIT nosotros hemos adaptado nuestras mediciones a este dinamismo. Dado este motivo, hemos relevado el total de las rutas una vez por hora durante 20 horas al día. De esta manera cualquier variabilidad en la topología quedará plasmado en las sucesivas mediciones. Por otra parte, hemos actualizado las redes objetivo una vez por semana, corroborando con la base de LACNIC [58] las actualizaciones de los AS bolivianos.

4.1.3. Medición de los servicios

Utilizando una metodología similar a la empleada para obtener las direcciones destino de las *rutas*, hemos diseñado el análisis de puertos. Producto de contar con la base de datos pública de asignaciones de LACNIC, hemos seleccionado sólo las direcciones pertenecientes Bolivia. Luego hemos ejecutado el ZMap para cada puerto y cada red dentro de este conjunto previamente seleccionado. Dada la implementación del ZMap, no tendrá ningún sentido la segmentación en clases "C" para el análisis.

Para evitar relevar como un servicio activo a un puerto disponible de forma ocasional o fortuita, ideamos un sistema capaz de descartar dichos puertos de nuestra medición. Cada ejecución del ZMap nos entrega un la lista de direcciones IP con ese servicio disponible para las redes bajo análisis. El sistema propuesto concatena las últimas cinco mediciones y si la dirección IP aparece al menos tres veces la tomará como que tiene el servicio disponible. Luego de una etapa experimental con el conjunto de direcciones de Bolivia, concluimos que el número que más se ajustaba era tres. Si bien el número tres es arbitrario, nos pareció una cota suficiente para no ser extremadamente exigente ante servidores sin niveles de disponibilidad propios de una empresa de telecomunicaciones ni incorporar IPs ocasionales.

El hecho de relevar periódicamente nos entrega la capacidad de hacer este sistema que evite falsos positivos. A su vez, dado que Internet se encuentra cambiando permanentemente, podremos ver la incorporación de nuevos servidores dentro del conjunto de direcciones IP de Bolivia.

4.1.4. Resolución de los parámetros

Como parte de el análisis hemos divido en períodos de observación a los parámetros. Más allá de que nos encontramos recopilando rutas de forma casi permanente, hemos tomado una semana como resolución para la cantidad de saltos, latencia, rutas locales y tiempo accesible. Dado que nuestro período de observación abarco meses, la resolución diaria hubiera sido demasiado detallada. También el hecho de contar con tanta resolución, nos hubiera dado muestras de la fluctuación diaria, lo cual no era el objetivo del análisis de la evolución. En cambio con una resolución semanal, hemos podido lograr ver la evolución y fluctuación de forma más acorde a nuestro objetivo.

Tomando esta resolución, nuestro procesamiento queda dividido en dos etapas. La primera, de forma diaria donde se centraliza la información y luego se la procesa. La segunda semanalmente (cada domingo), donde se toman los procedimientos parciales diarios y se hace un procesamiento con resolución semanal.

La ejecución del ZMap vinculada al análisis de la evolución de los servicios, se hará día por medio. A la hora que nosotros efectuamos esta medición, generamos un sistema similar a un "promedio móvil", con el objetivo de no computar falsos positivos. De esta manera aquí también eliminamos las fluctuaciones, y con una ventana de rango de una semana.

4.2. Sistema de almacenamiento de datos

Hasta aquí hemos presentado como PladMeD es la solución elegida para recolectar datos con información del PIT. No obstante la cantidad de pruebas diarias por nodo, sumada a la multiplicidad de sondas y los resultados obtenidos por el ZMap hará que contemos con un gran volumen de datos diarios. Para poder hacer un manejo eficiente de la información, a lo largo de esta sección describiremos como transformamos los datos crudos en una estructura que se adecúe a nuestras necesidades.

4.2.1. Estructura de la información

La operación del **scamper** o el **ZMap** nos entregan la información en archivos con formatos que hacen complicado el procesamiento. Teniendo esto en mente, nosotros hemos generado una instancia previa al procesamiento, donde tomamos las salidas de estos software y transformamos la estructura de la información.

Para readecuar la estructura nosotros hemos optado por el uso del lenguaje MySQL, porque además de satisfacer la necesidad nos proporcionó gran eficiencia a la hora de la búsqueda entre grandes volúmenes de datos.

4.2.1.1. Estructura de las rutas

Nuestro objetivo principal es poder por medio de las *rutas* recolectar el valor de la *distancia en saltos* y *latencia*; los parámetros definidos por nosotros llamados *rutas locales* y *tiempo accesible*. Para que estos parámetros sean de mayor interés y muestren

la incidencia del PIT sobre el tráfico "local", hemos subdivido éstos cuatro parámetros en cuatro categorías:

- 1. **PIT**: serán las rutas que pasen por el PIT y a su vez tengan la totalidad del recorrido de la *ruta* sean direcciones IP asignadas por LACNIC a Bolivia.
- 2. **P2P**: serán aquellas *rutas* que no pasen por el PIT pero todas sus direcciones IP pertenezcan a Bolivia.
- 3. **Anómalas**: serán aquellas que pasen por el PIT pero no tengan la totalidad del recorrido en territorio boliviano. Las hemos descripto como anómalas ya que opuestamente a la filosofía del PIT, no permanecen de forma local.
- 4. **Internacionales**: serán aquellas que son distribuidas a través de AS fuera del país. De esta forma, estas *rutas* no pasarán por el PIT y tampoco tendrán el total del recorrido dentro Bolivia.

Para poder hacer esta clasificación contamos con la base de IPs asignada por Bolivia a LACNIC [58], y las direcciones IP de los *ruteadores* de borde de los AS con el PIT.

Las rutas que todos sus saltos corresponden a direcciones IP asignadas por LACNIC a Bolivia, nosotros suponemos que los paquetes nunca abandonaron el país. Aunque todos los saltos correspondan en la base de LACNIC a un mismo país no significa que esto sea realmente cierto. Cuando LACNIC u otro RIR le otorga una dirección de red, anota en su base de datos a que Sistema Autónomo fue, y en que país se ubica dicho AS. Esto puede traer algunos errores si para la clasificación de las direcciones IP por país se utiliza esa base de datos o el sistema whois.

Para explicar estos errores tomaremos el siguiente ejemplo. Imaginemos un AS que opera en Argentina y Bolivia, pero asentado en Argentina. Cuando LACNIC le otorgue una dirección de red a este AS, anotará en su base de datos que esa red, y por ende todas sus direcciones, será utilizada en la Argentina. Sin embargo el AS no tendrá ninguna limitación de asignar direcciones de esta red a sus usuarios en Bolivia. De esta manera cuando uno sigue las tablas de asignación de LACNIC no esta del todo seguro que la dirección IP se encuentre en el país de asignación.

Más allá de esta ambigüedad que puede surgir, nosotros suponemos que son muy pocos los AS asentados en Bolivia que tienen presencia en otros países. De esta manera, creemos que no hay direcciones IP bolivianas presentes en otros países, y de haberlas nuestro error será sumamente bajo.

La segunda cuestión que debemos remarcar es que la metodología para clasificar las rutas **P2P** nos llevará a ciertas imprecisiones. Nosotros hemos concluido que si todas las direcciones IP de la ruta pertenecen a las redes asignadas por LACNIC a Bolivia y entre esas direcciones no se encuentra la red del PIT, será una ruta **P2P**. Sin embargo si tomamos el ejemplo de dos direcciones dentro de un mismo Sistema Autónomo, la ruta no pasará por ningún vínculo exclusivo entre socios pero nosotros la categorizaremos **P2P** por no haber pasado por el PIT. El problema que nosotros tenemos es que nuestra metodología no puede distinguir a qué AS pertenece cada dirección IP dentro de un traceroute. De esta manera nuestra categoría **P2P** tendrá valores más elevados a los reales de la topología.

La magnitud del error de **P2P** se verá determinado por el grado de segmentación. Esto se debe a que la sonda se encontrará en una red que probablemente haya sido subdividida en redes de tamaño Clase "C" para el análisis. Como consecuencia, los traceroutes enviados desde esta sonda a las subdivisiones de su misma red nunca pasarán por el PIT,

pero tampoco por vínculos exclusivos entre socios. De esta forma, esos traceroutes serán clasificados como **P2P** pero realmente no lo son. Si las redes hubieran sido divididas en un mayor número de segmentos, tendríamos mayor cantidad de esos traceroutes, por ende un valor mayor de **P2P**, aunque también aumentarían las otras categorías donde no hemos cometido errores.

El error cometido en **P2P** estará determinado al grado de segmentación elegido para las redes. En nuestro caso hemos elegido tomar cada red y subdividirlas en redes de tamaño clase "C". Entonces tomemos el ejemplo de una sonda que se encuentra instalada en una red de 1024 direcciones. Luego de la segmentación, esta red estará dividida en cuatro y por ende tendremos cuatro **traceroutes** mal clasificados como **P2P**.

Luego de ejecutar los **traceroutes** en las sondas de medición nosotros obtendremos la información *cruda*. Para poder extraer los parámetros y dividirlos en subconjuntos, debimos estructurar la información. A continuación mencionaremos como manipulamos la información *cruda* para llevarla a una estructura y que formato hemos elegido para almacenarla.

Para poder almacenar la información de manera estructurada hemos implementado dos pasos. El primer paso utiliza el formato de salida warts entregado por el scamper [52]. Este formato lo hemos utilizado como pre-procesamiento ya que desglosa cada ruta, agregándole información extra además del número de salto y latencia de cada uno. Luego con el resultado obtenido del warts, hemos almacenado la información en una base MySQL. De esta manera, a través de este lenguaje optimizaremos la búsqueda de información a la hora del procesamiento.

En cuanto al formato elegido para almacenar los traceroutes, hemos dividido a cada uno en características generales y características de los saltos. En las características generales usamos el siguiente formato bajo el lenguaje SQL:

```
fecha
                             timestamp
                             varchar(15)
IP_origen
IP_destino
                             varchar(15)
llego_a_destino
                             bool
RTT
                             float
aRTT
                             float
cantidad_hops
                             int
paso_por_el_pit
                             bool
solo_bolivia
                             bool
traceroute id
                             bigint primary key auto_increment
```

Cuadro 4.1: Estructura de la información bajo lenguaje MySQL que se utilizó para resumir las principales características de cada traceroute realizado.

En las generalidades podemos ver que guardamos los campos de las IP origen y destino, lo cual componen el par ordenado que identifica a una *ruta*. Sumado a esto guardamos las variables binarias solo_bolivia y paso_por_el_pit por las cuales podemos generar la división el los conjuntos PIT, P2P, Anómalas e Internacionales.

Para disminuir el tiempo de procesamiento para la obtención de los parámetros como la latencia y la cantidad de saltos hemos agregado los valores RTT y cantidad_hops. Por último como no siempre los destinos de la ruta contestan los mensajes ICMP [47], hemos introducido otra variable binaria para identificar si el traceroute pudo alcanzar el destino. El campo traceroute_id nos servirá para identificar cada una de las mediciones, ya que una ruta es medida más de una vez por día. Además, usaremos este campo para vincular la tabla de generalidades con la tabla de las características de saltos.

	solo_bolivia	paso_por_el_pit
PIT	1	1
P2P	1	0
${f A}$ nómalas	0	1
Internacionales	0	0

Cuadro 4.2: En esta tabla se muestra como a través de la representación binaria de dos bits se pueden clasificar las *rutas* en sus cuatro categorías: PIT, P2P, Anómalas e Internacionales.

Por último queda por definir el parámetro aRTT, el cual necesitará de una explicación con mayor detalle. Anteriormente hemos hablando acerca de que Bolivia cuenta con un escaso número de direcciones IP asignadas por LACNIC. No obstante, no podremos terminar de determinar fehacientemente cuantos usuarios se hayan conectados a Internet en el país a causa del NAT [61]. La tecnología NAT es muy popular en las redes IP domésticas, sin embargo los ISP² que operan en Bolivia prestan servicio entregándoles direcciones privadas a sus abonados, lo que no esta visto como una buena práctica. Entre los problemas que puede llevar esto, nosotros hemos encontrado producto de nuestras experiencias que la latencia crece de manera muy importante entre el último y el ante-último salto, para las redes de Bolivia. Por esta razón y que nuestros valores tuvieran consistencia, nosotros hemos también almacenado la latencia del anteúltimo salto bajo el nombre aRTT.

En cuanto a la tabla de características de los saltos utilizamos la siguiente estructura:

traceroute_id	bigint
numero_de_hop	tinyint
IP_hop	varchar(15)
tiempo hop	float

Cuadro 4.3: Estructura utilizada bajo lenguaje MySQL para poder detallar el comportamiento salto a salto de una ruta. En esta estructura se vincula las filas sucesivas que corresponden a un traceroute a través del campo traceroute_id. A su vez por este campo también se vinculan con los datos de la tabla de generalidades.

Con los campos numero_de_hop, IP_hop y tiempo_hop podremos representar en sucesivas filas la información básica de los traceroutes. Con el campo traceroute_id vincularemos los grupos de filas que forman parte del mismo traceroute.

4.2.1.2. Estructura de los puertos

Los servicios los hemos relevado día por medio a través del ZMap. La información provista luego de cada medición será para éste caso nuestros datos en "crudo". Aquí nuevamente tal como lo hicimos con los traceroutes, hemos almacenado la información en bases de datos MySQL para optimizar el almacenamiento y búsqueda en su posterior procesamiento. De esta manera, hemos creado una tabla por cada día donde hemos llevado a cabo mediciones y la misma ha tomado la siguiente estructura:

puerto	int
ip	varchar(30)

Cuadro 4.4: Este fue el formato de tabla MySQL para almacenar los resultados obtenidos por el ZMap

²ISP: Internet Service Provider

Donde en puerto hemos guardado el identificador de capa de transporte de cada servicio. En el campo, ip hemos guardado la dirección IP donde se provee este servicio en la forma de **Dot-Decimal Notation (DDN)** [54].

Con esta información en *crudo*, luego la hemos procesado de forma similar a un promedio móvil que hemos explicado en detalle anteriormente. Los resultados obtenidos de este procesamiento lo hemos almacenado nuevamente en una base MySQL, con el siguiente formato:

fecha	date
puerto_20	int
puerto_21	int
puerto_22	int
puerto_25	int
puerto_53	int
puerto_80	int
puerto_109	int
puerto_110	int
puerto_143	int
puerto_220	int
puerto_443	int
puerto_465	int
puerto_993	int
puerto_1719	int
puerto_1720	int
puerto_5060	int
puerto_5061	int

Cuadro 4.5: Luego de ejecutar el ZMap hemos tomado precauciones para no tomar servidores ocasionales como un crecimiento de los servicios. Para evitar esto inconvenientes hemos desarrollado una técnica basada en el promedio móvil. Los resultados producidos los hemos guardado en la tabla que aquí se muestra donde cada puerto corresponde a un servicio analizado.

Aquí el campo fecha entregará el día en que fue hecha la medición y el resto de las columnas será la cantidad de computadoras que prestan cada servicios computados bajo nuestro mecanismo.

4.2.2. Agrupamiento de la información

El hecho de contar con PladMeD es indispensable a la hora de relevar las rutas. No obstante, el hecho de contar con más de una fuente de información resulta una pequeña dificultad a la hora del procesamiento. Dado que nuestro objetivo es poder tener una visión general del PIT, nosotros debimos tomar la información de cada una de las sondas y hacer un procedimiento general de toda esa información.

Como consecuencia de esta necesidad, tal como fue mencionado en el capítulo "Arquitectura", nuestra plataforma dispone de un punto central fue de los AS conectados a Bolivia. Este punto exterior a la red recibirá diariamente toda la información adquirida por la sondas, y luego la concatenará para generar un procesamiento diario de dicha información.

4.3. Análisis de los mediciones obtenidas

En esta última sección llegaremos a presentar los valores de los parámetros que nosotros elegimos para caracterizar la evolución del PIT. A lo largo de esta sección presentaremos como hemos utilizado los conjuntos de datos para obtener los parámetros y que valores estadísticos tomamos de cada uno. También presentaremos que valores esperábamos obtener en cada parámetros y categoría y los contrastaremos con los valores obtenidos producto de los datos recolectados.

4.3.1. Información presente en las rutas

Hasta aquí sabemos que parámetros mediremos y con que información contamos, pero no hemos ahondado en la manera de obtener los parámetros a través de las *rutas*. A continuación describiremos como hemos procesado los **traceroutes** para llegar a nuestro objetivo.

Ante de enfocarnos en los parámetros habrá algunas consideraciones que hemos tenido a la hora de usar los traceroutes como fuente de información. En primer lugar no todas las direcciones IP destino responden los mensajes ICMP. En segundo lugar todos los software que llevan a cabo los traceroutes, detienen el relevamiento de la ruta luego de varios saltos consecutivos sin respuesta. Este mecanismos se suele dar luego de pasar por 3 saltos sin respuesta. De esta manera, podremos tener rutas truncadas ya que no llegaron a destino, o rutas incompletas, sin información de saltos intermedios. Nuestro mayor problema al momento del análisis es cuando una ruta no alcanza su destino. Al estar truncado el análisis ya que no podemos determinar la distancia (en saltos y en latencia) entre la última dirección que envío una respuesta y la dirección destino. Dada esta situación nosotros hemos introducido en nuestra estructura de la información el campo llego_a_destino. Por medio de este campo nosotros sólo utilizaremos para el procedimiento las rutas que hayan alcanzado la dirección de destino.

Comenzando por cantidad de saltos y latencia, su obtención es directa de los resultados de los traceroute. En el caso de la cantidad de salto no será más que la cantidad de equipos intermediarios hasta alcanzar el destino. Este parámetro no sólo es fácil de procesar, sino que ya lo hemos hecho a través de warts y guardado entre las generalidades. En cuanto a la latencia, será un parámetro que nos otorga automáticamente el traceroute asociado a cada salto. De esta manera la latencia no será más que el tiempo que demora en recibir la respuesta del último salto. No obstante nosotros hemos guardado no sólo la latencia del último salto y sino que también del anteúltimo. Por los problemas vinculados con NAT expresados en la sección 4.2.1.1, todos nuestros resultados de latencia se refieren al tiempo que tarda en alcanzar el salto anterior al último.

Ahora de manera indirecta hemos generado tiempo accesible y rutas locales. Aunque a la cantidad de saltos y latencia también los hemos clasificado por PIT, P2P, Anómalas e Internacionales, tiempo accesible y rutas locales carecen de todo sentido sin esta división. Con tiempo accesible buscamos saber como fue la distribución del total de los traceroutes que alcanzaron su destino en función de los enlaces. De esta manera no será más que contar todas las rutas que cumplen esta condición y separarlas en cada categoría. En cuanto a rutas locales lleva un poco más de trabajo, ya que aquí nos interesa si la ruta paso por la categoría y no el número de veces que paso. Dado que una ruta se identifica con el par ordenado único formado por (IP origen, IP destino), al detectar que una ruta llego a destino y paso por un enlace la cargamos a un set correspondiente a esa categoría. Para esta implementación fue indispensable el uso de set ya que es una estructura de Python, donde no permite duplicaciones de los pares ordenados.

4.3.2. Técnicas estadísticas utilizadas

Habiendo introducido los parámetros deseábamos obtener, de que manera íbamos a extraerlos de las *rutas* y como íbamos a subdividir cada parámetro, definimos que análisis estadístico íbamos a hacer de éstos.

De la cantidad de saltos y la latencia hemos pretendido el mismo análisis estadístico. En primer lugar deseamos obtener los valores medios, máximos y mínimos de cada semana. Sin embargo, dado que los valores medios son una estimación sesgada para nuestras mediciones hemos sumado el cálculo de la mediana. Dada la el mecanismo que utilizamos para calcular la mediana, aprovechamos y también calculamos el primer cuartil, el tercer cuartil, la cola al 5 % y al 95 %.

Nosotros ya hemos mencionado que hacemos un procesamiento parcial diario y luego, con uno de ellos calculamos los valores semanales. No obstante dada la fórmula que indica el cálculo de la mediana, no es posible utilizar el valor de la mediana día a día para obtener el valor semanal. Para solucionar este problema nosotros pasamos al cálculo de la mediana a través de histograma. Esto nos brindo la posibilidad de hacer un histograma diario, y una vez por semana sumar todos los histogramas diarios para generar un histograma semanal. De esta manera a través del histograma semanal nosotros pudimos obtener el valor de la mediana. En el caso de la *latencia* que toma valores sobre un conjunto continuo, hemos relevado un histograma con resolución de **1ms**. Además, del mismo histograma también hemos podido obtener el valor de los cuartiles y de los extremos del 5 % y 95 %.

También es relevante explicar porque hemos elegido el relevamiento estadístico del 5 % y al 95 % del histograma. La raíz de obtener este valor surgió luego de largas pruebas sobre el PIT, ya que *a priori* no imaginamos su necesidad. Luego de tener una larga secuencia de datos, hemos encontrado que los valores máximos se encontraban extremadamente lejos del tercer cuartil, especialmente en la *latencia*. Ya antes del proyecto contábamos con la información de que la distribución del histograma lleva una cola superior muy larga, pero nunca imaginamos esta magnitud. A causa de este motivo nosotros hemos tomado como mínimo al 5 % máximo al 95 %. La influencia de esta decisión nos brindo la posibilidad de reducir la diferencia entre el tercer cuartil y el máximo, aún manteniendo una distribución de cola larga.

En cuanto a tiempo accesible no será más que un mero cociente entre las cantidad total de traceroutes que alcanzaron el destino y los traceroutes de cada categoría.

Por último el análisis de las rutas locales será igual que tiempo accesible pero en vez de usar el total de traceroutes usaremos el total de rutas que alcanzaron su destino. Aquí vale remarcar que estamos tomando un período de análisis de una semana y tal como dijimos anteriormente, a lo largo de ese tiempo la topología de Internet puede haber cambiado. Este fenómeno puede hacer que a lo largo de una semana una ruta haya pasado por más de un tipo de enlace. La consecuencia directa de este fenómeno será que la suma de cada categoría de rutas locales puede dar como resultado un número mayor a 100 %.

4.3.3. Hipótesis de resultados a priori

Teniendo en cuenta los parámetros a relevar y las estadísticas a realizar con éstos, establecimos cual sería el orden de magnitud de la estadística de cada parámetro. El hecho de contrastar los resultados experimentales con los valores a priori, podría ayudarnos a detectar si el proyecto de medición estaba funcionado de la forma esperada.

En cuanto a la cantidad de saltos, sabíamos que se vería fuertemente afectada en

función de la cantidad de AS que atravesará la *ruta*. De esta manera para las categorías **PIT** y **P2P**, suponíamos valores bajos alrededor de los 4 saltos. En cambio para la categoría **Internacionales** suponíamos un orden de 10 a 12 saltos dada la cantidad de AS intermedios que podía llegar a haber entre origen y destino.

Pensado los valores que podía alcanzar la *latencia*, ahora si veríamos una gran influencia en la distancia recorrida a través de los medios de transmisión. Por este motivo suponíamos que **PIT** y **P2P** tendrían valores fuertemente correlacionados con la velocidad de propagación electromagnética y la distancia recorrida dentro del territorio boliviano. También suponíamos que **P2P** tendría un valor inferior al de **PIT** ya que muy probablemente la distancia para este tipo de enlaces fuera menor. En oposición a esto **Internacionales** tendría un valor mucho mayor vinculado con la demora que tienen los paquetes en alcanzar el *backbone* de la red, usualmente situado en Estados Unidos.

Los valores alcanzados por tiempo accesible los veíamos vinculados al objetivo por el cuál fue implementado el PIT. De esta manera suponíamos que el valor de PIT sería muy superior al resto de los valores. Aquí a diferencia de la cantidad de saltos o la latencia, tendríamos un muy bajo valor de **P2P**. Tal como explicamos en secciones anteriores, es poco común ver esta clase de enlaces, principalmente por el costo económico que acarrea su implementación. También imaginábamos un bajo valor de participación de rutas **Internacionales**, dado que el PIT plantea mantener local el tráfico local.

Por último en los valores que extraeríamos de los traceroutes, las magnitudes de rutas locales, las veríamos similares a los de tiempo accesible. Más allá de que ahora cuantifiquemos las rutas y no el tráfico, suponíamos una muy leve variabilidad del recorrido de las rutas a lo largo del intervalo de muestreo.

Hasta aquí hemos reflejado nuestras expectativas en cuanto a los parámetros en las categorías **PIT**, **P2P** e Internacionales y no hemos hecho mención de Anómalas. Esto se debe a que esta última categorías no estaba en nuestras expectativas a priori y la hemos agregado luego de hacer las primeras pruebas con la plataforma. Sumado a esto, dado que esta categoría se debe a un funcionamiento erróneo en las políticas de ruteo de algún AS, no podemos imaginar de que orden de magnitud estamos hablando para cada parámetro dentro de esta categoría.

Ahora pasando al resultado obtenido de los puertos, nos centraremos en el análisis del servicio HTTP [62] [33], lo que podrá explicar algunos servicios más. En primer lugar debemos pensar en la independencia que existe entre los dominios .bo [63] provistos por el sistema DNS [24] y la ubicación de la dirección IP que resuelve dicho dominio. El protocolo DNS se estructura en una forma jerárquica subdividiéndose en país, sin embargo no limita que los dominios de cada país deban ser asignados a direcciones en ese mismo territorio. Este fenómeno es muy común de ver en los dominios previos a la implementación del PIT asignados en Bolivia. Por ejemplo, las páginas web con dominio .bo, aún están alojadas en servidores ubicados en el extranjero como puede ser Estados Unidos.

La explicación de este fenómeno radica en como era la distribución del tráfico entre usuarios bolivianos previa a la implementación del PIT. Dado que no existía una forma de vínculo local entre los AS de la región, el tráfico entre estos pasaba a través del backbone. De esta manera para obtener una respuesta de un usuario de Bolivia, el paquete iba de Bolivia al backbone, del backbone al destino y luego el camino inverso con la respuesta. Dado que la mayoría del tráfico pasaba a través del backbone, los prestadores de servicio veían más conveniente ubicar sus servidores en este lugar en vez de ubicarlos en AS de Bolivia. De esta manera alcanzar servidores ubicados en el backbone demoraba en 50 % menos tiempo que acceder a servidores ubicados en Bolivia

Dada esta explicación nosotros previmos un bajo desarrollo del servicio HTTP en direcciones IP asignadas por LACNIC a Bolivia. Por otra parte preveíamos un bajo desarrollo del resto de los servicios a causa del bajo grado de desarrollo de Internet en este país.

Más allá de los valores esperados de cada uno de los parámetros con nuestra intención de ver su evolución temporal, esperaremos que los valores cambien semana a semana. Con esto queremos decir que quienes están implementando el PIT, imaginamos que estuvieron pendientes de optimizar parámetros como la latencia y la cantidad de saltos. También el impacto positivo que pudo llegar a tener el PIT se reflejará en mayor cantidad de tráfico circulado por este lo que alterará las proporciones de tiempo accesible y rutas locales. Por último, la reducción de los tiempos de acceso, la baja en los costos de los abonados y el aumento de participantes dentro de Internet de éste país llevará a la proliferación de servicios en IPs instaladas en Bolivia.

4.3.4. Resultados obtenidos

En las siguientes secciones nos centraremos en analizar los resultados obtenidos producto de nuestra exploración con la plataforma de medición. En todos los casos mostraremos la variación de los parámetros en función del tiempo, ya que nuestro interés principal es mostrar el impacto que produjo la instalación del PIT. También mostraremos si los resultados obtenidos concuerdan con nuestras hipótesis a priori, y si no lo hacen trataremos de fundamentar las causas de éstas diferencias.

Antes de ahondar en el análisis de los datos vale la pena mencionar que durante el período de nuestras mediciones PladMeD fue incorporando nodos. Esto bajo ningún concepto es negativo ya que una de nuestras pretensiones en cuanto a PladMeD era contar con el mayor número de nodos posibles. Más allá de que este suceso fuera positivo para nuestra plataforma será especialmente tenido en cuenta al momento del análisis de los parámetros ya que esta inclusión pudo haber llegado a modificar la evolución de la serie.

En cuanto a la presentación de los datos, para los parámetros cantidad de saltos y latencia, hemos elegido representarlos gráficamente a través de boxplot. Esta clase de gráficos presenta en el eje y el valor mínimo, máximo, de la mediana y de ambos cuartiles para una coordenada en el eje x. Vale recordar que cuando nosotros nos referimos a valores mínimos y máximos estamos hablando del 5 % y 95 % de la distribución respectivamente.

4.3.4.1. Cantidad de saltos

Para analizar la *cantidad de saltos* o también mencionada como "Distancia", arrancaremos mostrando la evolución de los boxplot de cada una de las categorías elegida, y por último terminaremos analizando el valor medio.

En el caso de la *cantidad de saltos* bajo la categoría **PIT**, hemos graficado la evolución de los mínimos, máximos, cuartiles y mediana, y dicha evolución se muestra en la **figura** 4.1.

En primer lugar, vale la pena mencionar porque la serie se encuentra coloreada con dos tonos distintos. Este punto es especialmente relevante a la hora del análisis de este parámetro, como el de todos los siguientes. La serie tiene un color marr'on desde el principio hasta la semana del 12/10, y esto se debe que hasta ese momento únicamente contábamos con un punto de medición en la ciudad de La Paz. A partir del 12 de octubre, la serie tomo un color azul, ya que a partir de ese punto PladMeD incorporó un nuevo punto de medición situado en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra.

Evolución de la distancia PIT

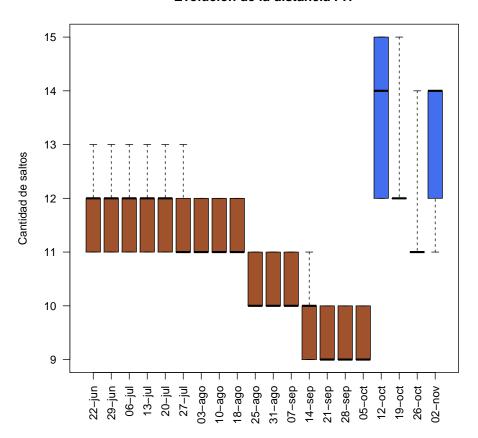


Figura 4.1: Los elementos toman un color hasta el 12/10 y otro luego de esa fecha. Esto se debe a que a partir de ese día las series incorporaron valores del nodo presente en Santa Cruz de la Sierra. Antes y después de esa fecha podemos apreciar como los valores decrecen a lo largo del tiempo, y esto se lo atribuimos a las optimizaciones que se están realizado en el PIT. Además podemos ver como los valores crecen luego del 12/10 y se debe a que el nodo de Santa Cruz está conectado a través de 4G-LTE. Por último vemos como los valores de los cuartiles y la mediana se encuentran muy próximos, lo que quiere decir que la mayor cantidad de las rutas tiene una distancia de esa magnitud.

Ahora interpretando la información presente en este último gráfico, vemos como la cantidad de saltos, presento una muy baja dispersión mientras la plataforma solo contó con el punto de medición en La Paz. Luego al agregar el nodo de Santa Cruz ha crecido el valor y también la dispersión entre las marcas del boxplot. Ahora si partimos la serie entre anterior y posterior al 12 de octubre, podremos ver como en ambos períodos la cantidad de saltos decrece semana a semana.

En cuanto a la magnitud de los valores obtenidos a nuestro modo de ver es bajo y esta en el orden que esperábamos a priori.

Pasando a los valores de distancia para la categoría **P2P**, nos basaremos en el gráfico de la **figura 4.2**.

Esta categoría se trata de la cantidad de saltos presentes entre usuarios finales en Bolivia cuando el tráfico pasa a través de vínculos exclusivos entre socios. Esta categoría presenta una característica muy similar a la de PIT, ya que en ambas el tráfico generado permanece de forma local. Dado ese motivo, a priori nosotros supusimos valores similares para ambas categorías.

Evolución de la distancia P2P

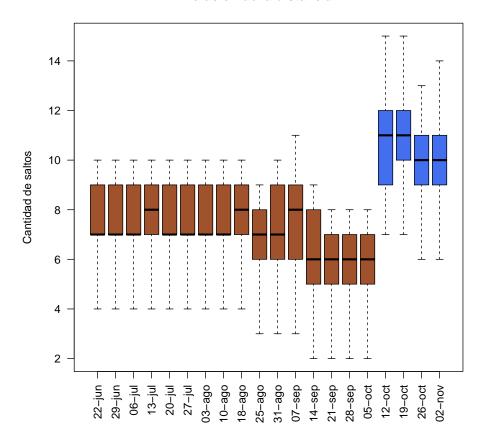


Figura 4.2: El gráfico se encuentra divido en dos a través de los colores que marcan en una primera etapa un único nodo en La Paz y en la segunda un segundo nodo en Santa Cruz. Aquí como en PIT se ve una discontinuidad después de agregar el segundo nodo, pero si analizamos de forma independiente cada rango de colores vemos como tienden a bajar su valor. Comparando los resultados obtenidos con PIT vemos que los valores son menores, lo cual nos parece lógico para vínculos exclusivos entre socios.

Ahora basándonos en el gráfico, vemos un valores muy similares en **PIT** como en **P2P**, de hecho vemos valores menores en esta última categoría. El hecho de contar con valores menores en **P2P** se debe a que este tipo de enlaces presenta una alta optimización para los AS que conecta. Sin embargo esta pequeña diferencia en saltos respecto de **PIT** no presentará ganancias significativas en los usuarios conectados.

Analizando los valores y su evolución, vemos como aquí existe una mayor dispersión entre el máximo y el mínimo a lo largo del tiempo. Al igual que el resto de los parámetros y sus categorías la incorporación del nuevo nodo a generado una variación en los niveles. No obstante luego de esta variación los valores de **P2P** siguieron estando por debajo de **P1T**.

Continuando el análsis por categorías ahora nos enfocaremos en la categoría **Anómala**, la cuál la hemos representado en la **figura 4.3**.

Lo que primero debemos decir es que aquí no se vio afectado por la incorporación del nuevo nodo, ya que a partir del 14 de septiembre vemos como desaparece esta categoría.

En cuanto al análisis debemos decir que esta categoría correspone a funcionamiento incorrecto en el ruteo y va en contra de las intenciones de la implementación de cualquier

Evolución de la distancia Anómala

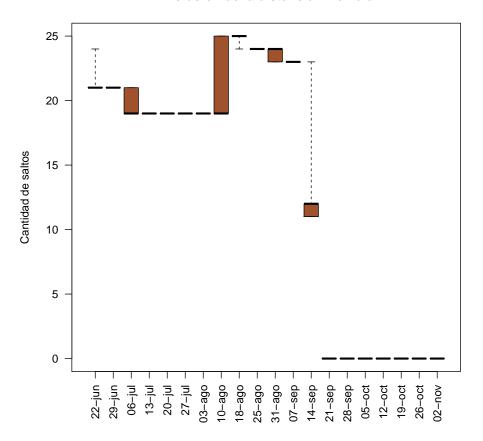


Figura 4.3: La distancia de categoría Anómalas también se podría separar en antes y después del 12/10, no obstante ya llegada esa fecha, el comportamiento anómalo ya había desaparecido. Lo que queremos expresar con este gráfico es el perjuicio generado a una red producto de una mala configuración. Vemos como los valores son muy elevados y con una variación aleatoria semana a semana.

PIT. El hecho de que hayamos incluido esta categoría es para mostrar como PladMeD es capaz de detectar anomalías en las *rutas* y como se ven afectados los usuarios de las mismas. Esto se ve claramente en el gráfico de esta categoría donde vemos un elevado número de *cantidad de saltos* teniendo en cuenta que la *ruta* pasó por el PIT. Sumado a esto vemos como la evolución temporal muestra una variación aleatoria, lo que es lógico dado que es una *ruta* con comportamiento incorrecto.

El hecho de la aparición de esta *ruta* nos da la impresión que es a causa de una configuración defectuosa en alguna tabla de *ruteo* de algún *ruteador*. El hecho que haya desaparecido, le da mayor respaldo a esta hipótesis ya que luego de encontrar este fenómeno se lo reportamos a los operadores de Bolivia. Es probable que con la información que nosotros le suministramos los operadores hayan reparado sus configuraciones.

Por último nos centraremos en la categoría **Internacionales**, la cual la principal forma de enlace por los AS de Bolivia antes de que se instalará el PIT.

Centrándonos en la **figura 4.4**, podemos ver que en esta categoría la dispersión entre máximo y mínimo es mucho mayor que en las categorías anteriores (ignorando Anómalas). A su vez la *cantidad de saltos* cuando hablamos de este clase de enlaces presenta una mediana mucho mayor a **PIT o P2P**, cuando la comparamos con valores

Evolución de la distancia Internacionales

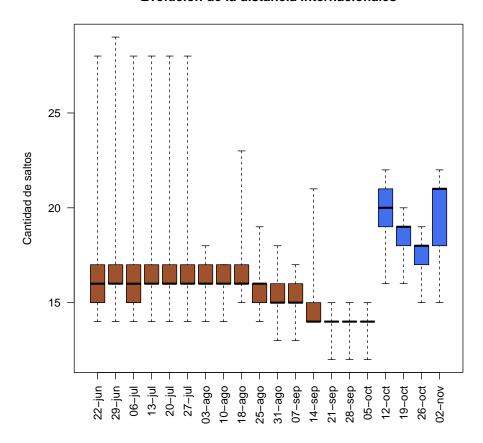


Figura 4.4: Los valores obtenidos para esta categoría son más elevados que para PIT y P2P, lo que muestra que los otros medios de enlace son más eficientes. También aquí podemos notar mucha mayor dispersión, principalmente entre el tercer cuartil y el máximo. El coloreado de los elementos aquí también muestran el impacto que generó el ingreso de la nueva sonda al sistema de medición.

de la misma semana. Esto para nosotros es completamente lógico dado la cantidad de AS y la distancia que tienen que recorrer los paquetes. Al mismo tiempo, dada esta característica vemos como ahora si el PIT a introducido una mejora sustancia en cuanto a este parámetro. Por último esta condición de que la distancia sea mucho mayor para esta categoría respecto de las demás es lo que nosotros esperábamos ver, y en parte ratifica el correcto funcionamiento de nuestra plataforma de medición.

Por último vemos como la división de la serie entre antes y después del 12 de octubre muestra una discontinuidad también para esta categoría.

Dejando de lado el análisis de evolución temporal, también hemos generado un análisis estadístico sobre todo el conjunto de datos disponible. Con estos parámetros nuestra idea fue poder comparar magnitudes de cada una de las categorías desde que empezamos a medir este proyecto. Con los resultados obtenidos de esta comparación, hemos generado un boxplot que aparece en la figura 4.5.

Comenzando el análisis de los resultados de la figura 4.5, la categoría **P2P** es la que muestra los valores más bajos a lo largo de todo nuestro período de observación. No obstante en esta categoría debemos marcar que no estamos seguros de que todas las mediciones que hemos colocado aquí hayan pasado por vínculos exclusivos entre socios.

Distancia por categoría

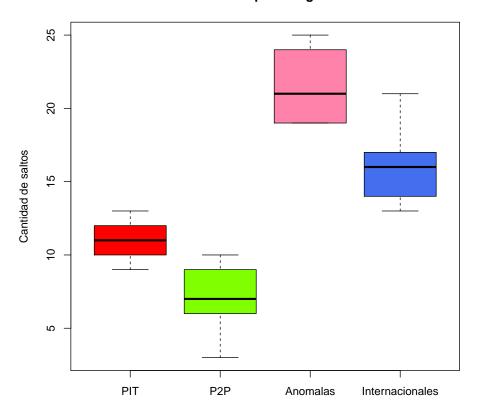


Figura 4.5: Comparación estadística de la distancia de cada una de las categorías desde que comenzó la medición el 15 de junio. Aquí podemos ver como la categoría P2P es la que tiene los valores más bajos. No obstante la categoría PIT tiene valores levemente superiores pero proporciona acceso a mayor cantidad de AS por un único enlace. La categoría Internacionales tiene valores mucho más elevados, lo que nos índica que cuando el tráfico local se mantiene local, se consiguen mejores índices.

Este error puede haber llevado a una alteración en las magnitudes obtenidas, sin embargo para nosotros es coherente que esta categoría tenga los valores más bajos.

También podemos apreciar como la categoría **PIT** tiene valores muy próximos a los de **P2P**. Esto quiere decir que a través del PIT podemos alcanzar índices tan buenos como los de los *vínculos exclusivos entre socios* pero pudiendo alcanzar mayor cantidad de AS.

La última categoría de interés es **Internacionales**, que cuenta con un valor mínimo igual al valor máximo de **PIT**. Esto pone en evidencia que se tiene una ventaja significativa cuando el tráfico local es enviado por enlaces locales como los PIT o los *vínculos exclusivos entre socios*.

Por último podemos ver como en categoría Anómalas la mediana tiene un valor más de tres veces superior al de la mediana de ${\bf P2P}$. Aquí queda reflejado como un error en el ruteo puede generar una disminución en la calidad del servicio para los usuarios del ΔS

Consideraciones generales

Habiendo presentado los boxplot de las cuatro categorías podemos mencionar algunas

Evolución de la Distancia media

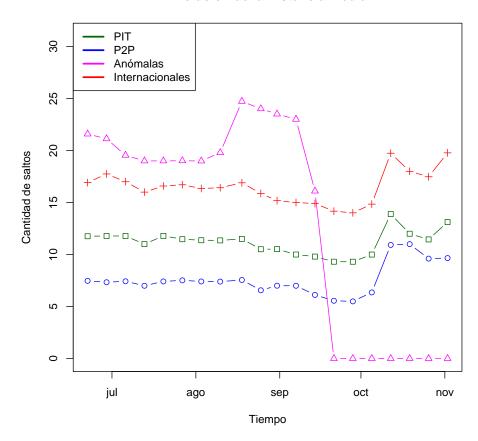


Figura 4.6: Los valores medios no son de mayor interés para nosotros ya que se encuentran sesgados. Sin embargo, podemos ver como aquí también se ordenan de forma creciente P2P, PIT e Internacionales. El valor de Anómalas al igual que en el boxplot presenta gran inestabilidad semana a semana. Por último vemos como todas las curvas elevaron sus valores luego del ingreso del nodo de Santa Cruz de la Sierra el 12 de octubre.

cosas en común que probablemente se expliquen a partir de la misma causa.

En todos los boxplot vemos como luego de la incorporación del nodo ubicado en Santa Cruz, la cantidad de saltos ha crecido notablemente. Dado que se presenta en todos los casos lo que podemos concluir es que este nuevo nodo se encuentra más alejado en la red del prestador de Internet. Este fenómeno puede ser explicado ya que esta sonda se encuentra conectada a Internet a través de una red 4G-LTE [64]. En base a esta información, nosotros suponemos que la red de distribución de este servicio cuenta con mayor cantidad de ruteadores hasta alcanzar el usuario.

Otra característica presente en todos los gráficos es que si los segmentamos en anterior y posterior al 12/10, siempre evolucionan de forma decreciente. Aquí podemos ver como el PIT a producido una cambio en la red de Bolivia en, la cual se esta trabajando permanentemente para optimizarla.

Valores medios

Aunque hemos hablando que preferíamos tomar estadísticas como los cuartiles y la mediana frente a los valores medios, para finalizar mostraremos como ha cambiado el valor promedio a lo largo del tiempo.

En el gráfico de la figura 4.6 podemos ver ciertas característica presentes en los

boxplot, como la variación producto de la inclusión del nodo de Santa Cruz. También en este gráfico esta presente la característica decreciente de los valores a lo largo del tiempo. Por último aquí también queda evidenciado que el orden creciente de cantidad de saltos según la categoría será **P2P**, **PIT**, **Internacionales y Anómala**.

4.3.4.2. Latencia

Para entender la *latencia* y poder analizar la consistencia de los resultados vamos a introducir algunos conceptos acerca de este parámetro. En primer lugar la *latencia* podría ser una suma de tiempo que componen este retardo los que podríamos caracterizar así:

$$latencia = t_{propagacion} + t_{insercion} + t_{procesamiento} + t_{colas}$$
 (4.1)

Evolución de la Latencia PIT

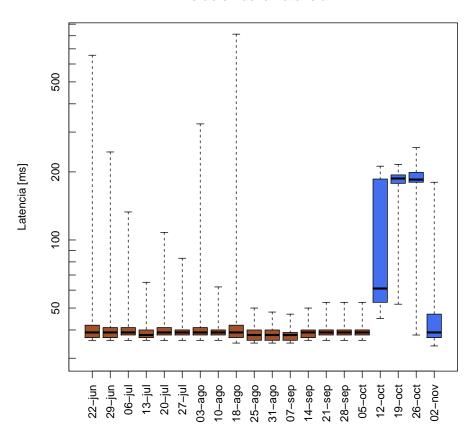


Figura 4.7: Dado que la latencia tiene una distribución con cola larga, hemos graficado en escala logarítmica el eje de las ordenadas. Para los valores de esta categoría vemos como el valor de los cuartiles y la media se encuentran muy próximos y alrededor de los 40ms antes del 12/10. Estos valores reflejan rápidamente la baja latencia que presenta la utilización del PIT. Luego a partir de 12/10 se incorporó el nodo de Santa Cruz y latencia crece las primeras semanas hasta luego estabilizarse en valores similares a los anteriores a ésta incorporación.

Este modelo es una buena aproximación a lo que queremos explicar en la mayoría de los casos el termino dominante será $t_{propagacion}$ el cual es dependiente exclusivamente de parámetros físicos. Suponiendo que los paquetes viajan por fibra óptica donde la velocidad de propagación es $2 \cdot 10^8$ y el tiempo de propagación es la demora que tiene el

paquete entre llegar a destino y regresar con la respuesta, podremos concluir:

$$t_{propagacion} \cong 100 km/ms$$
 (4.2)

Hecha esta hipótesis ahora podremos estimar si nuestros paquetes cumplen con valores de latencia consistentes. No obstante, la distribución de los tiempo de latencia será de "colas largas" lo que implicará que los valores máximos tendrán fuerte dependencia con el termino t_{colas} y no con $t_{propagacion}$.

Pasando ahora a analizar nuestra primera categoría, a continuación se muestra analizará el resultado para la *latencia* dentro de la categoría **PIT**.

Evolución de la Latencia P2P

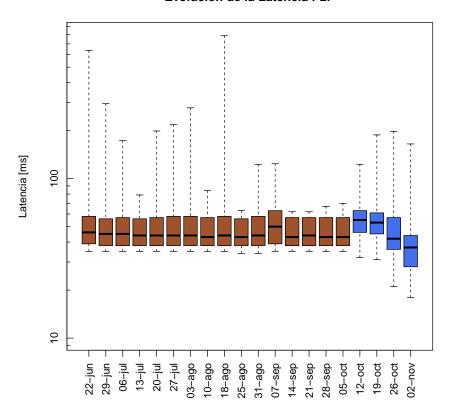


Figura 4.8: En esta categoría donde se evalúan los vínculos exclusivos entre socios, la latencia dio baja tal como esperábamos. No obstante comparado con los resultados obtenidos en PIT hemos tenido mayor dispersión entre los cuartiles y la mediana. Aunque es muy similar el valor de la mediana es superior al de PIT, lo cual no esperábamos que fuera así. Esto se lo atribuimos a que a diferencia de la distancia, la latencia esta afectada por magnitudes físicas como es la longitud de los enlaces. Aquí también el gráfico se divide en según los nodos conectados, pero no apreciamos una discontinuidad marcada. Aclaración: el eje y se encuentra en escala logarítmica.

En primer lugar el gráfico de la **figura 4.7** muestra una gran variación entre el tercer cuartil y el máximo. Es prudente recordar una vez más, que para nuestro análisis el máximo será el valore que corresponda al 95 % de la distribución. Tal como hemos introducido previo a los gráficos la latencia se trata de una distribución de cola larga, no obstante ciertos días este valor se incrementa muy por encima de los máximos promedio.

Otro aspecto presente en el gráfico es la proximidad que presenta el primer cuartil, la mediana y el tercer cuartil. Esto es un dato muy relevante y positivo, lo que indica que

al menos el 50 % del tráfico tiene una *latencia* cuasi constante y de bajo valor (cercano a los 40 ms).

También como en la mayoría de los parámetros podemos ver un desdoblamiento entre antes y después del la inclusión del nodo de Santa Cruz donde se han elevando los valores muy por encima de los de La Paz las primeras semanas y luego a vuelto a el mismo nivel.

Pasando a la *latencia* obtenida en los enlaces **P2P**, analizaremos el gráfico de la **figura 4.8**.

Evolución de la Latencia Anómala

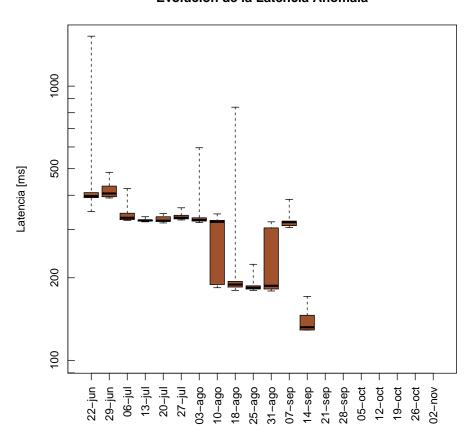


Figura 4.9: El valor de la categoría esta categoría muestra un fuerte componente aleatorio, por lo cual no se puede analizar un patrón de comportamiento a lo largo de las semanas. No obstante imaginábamos valores elevados dado que son rutas que alcanzaron destinos internacionales. El gráfico marca como después del 14 de septiembre desaparece la serie, mostrando que el problema fue solucionado. Aclaración: el eje y se encuentra en escala logarítmica.

En este caso compararemos con la categoría **PIT** tal como lo hicimos en el caso de la cantidad de saltos. Aquí esperábamos tener un valor de la mediana menor que para **PIT**, tal como sucedió en la distancia, no obstante tuvimos un valor mayor. Puede haber impactado en este valor las magnitudes físicas que afectan al tiempo de propagación. En el caso de que los paquetes hayan tenido que recorrer mayores distancias en metros, se verá plasmado en este parámetro y no necesariamente en el parámetro cantidad de saltos.

Otra diferencia considerable y de interés es que la dispersión entre el primer y tercer cuartil es mucho mayor para **P2P** que lo presentado en **PIT**.

Lo que nos ha resultado llamativo ese que para esta categoría no habido diferencias en cuanto a la *latencia* una vez que se introdujo el nodo de Santa Cruz. En este caso

se han mantenido los ordenes de magnitud e incluso la última semana, hemos llegado al mínimo de todas las estadísticas (cuartiles, mediana, máximos y mínimos).

Pasando a la *latencia* de la categoría **Anómala**, no tendrá mayor relevancia en nuestro análisis y de hecho luego de un tiempo fue anulada. Sin embargo, a través de su representación en la **figura 4.9** queremos mostrar como una mala configuración en las tablas de *ruteo*, pueden introducir una demora muy elevada en los usuarios.

Para finalizar el análisis de la *latencia*, debemos ver como se comporto la categoría **Internacionales**, que valores tomó y compararlos con los de las otras categorías. Para ésto generamos un *boxplot* presente en la **figura 4.10**.

Evolución de la Latencia Internacionales

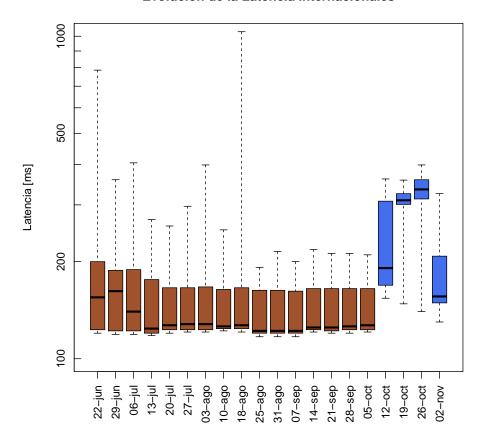


Figura 4.10: Vemos como aquí las medianas superan en tres o cuatro veces los valores de PIT o P2P. Esto se encuentra principalmente vinculado a los kilómetros que debe recorrer un paquete hasta alcanzar el destino en cada categoría. El gráfico tomo color marrón cuando las mediciones fueron hechas con el nodo de La Paz y azul cuando se realizaron con el nodo de La Paz y Santa Cruz. Vemos como el hecho de agregar un nodo generó una discontinuidad en la serie y un aumento de los valores.

A primer orden vemos una característica general del boxplot muy similar al de las categorías PIT y P2P, mostrando una fuerte concentración de valores alrededor de la mediana y una cola larga hacia el máximo. También en esta categoría vemos como se han elevado los valores luego de que PladMeD incorporará la sonda en Santa Cruz el 12/10.

Analizando las características particulares de esta categoría, vemos como el valor de la mediana es entre tres y cuatro veces mayor en que las otras categorías. Aquí se muestra claramente el beneficio que presenta a los usuarios la permanencia del tráfico dentro de las redes locales. Lo mismo sucede con ambos cuartiles los cuales llevan valores muy superiores a los de las otras categorías de interés.

Aunque la mediana y los cuartiles tomen valores elevando nosotros lo encontramos totalmente coherente, ya que estos paquetes tienen que alcanzar el *backbone* de Internet antes de llegar a destino. Suponiendo que el *backbone* se encuentre en los Estados Unidos, aplicando nuestra fórmula para el tiempo de propagación obtendremos valores similares a los que presenta la mediana en este caso.

Tomando todo el conjunto de datos generados por PladMeD desde el 15 de junio, hemos procesado la información de forma tal de obtener las estadísticas de cada categoría. A continuación analizaremos los resultados obtenidos presentes en la **figura 4.11**.

Latencia por categoría

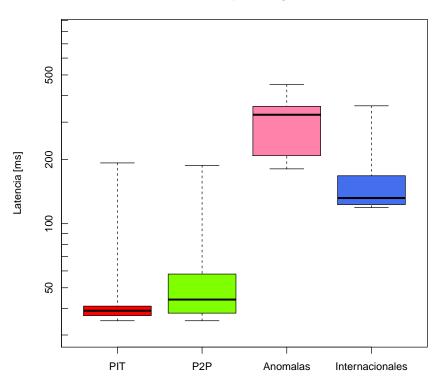


Figura 4.11: Análisis estadístico por categorías sobre todo el conjunto de datos generado desde el 15 de junio. En este análisis podemos ver como la categoría PIT es la que presento menor tiempo de latencia. Lo que es importante remarcar es que a través de esta categoría están interconectados varios Sistemas Autónomos. Luego apreciar con valores ligeramente mayores a la categoría P2P. Sin embargo esta categoría presenta una dispersión entre cuartiles mucho mayor que la categoría anterior. Sin contar a Anómalas que representa un error en la política de ruteo, por último tenemos a Internacionales, que presenta una latencia mediana cuatro veces superior a PIT y P2P.

En primer lugar dada las cuatro categorías, **PIT** es la que presenta menor valor de mediana. Al mismo tiempo la dispersión que existe entre el primer y tercer cuartil es muy baja, de esta manera podemos decir que la mayor cantidad del tráfico de esta categoría tiene demoras comprendidas entre éstas magnitudes.

En cuanto a la categoría **P2P** presenta mayor dispersión entre cuartiles y una mediana mayor al de **PIT**. Esto dato es muy relevante ya que en Bolivia se esta obteniendo un

tiempo de demora menor a través del PIT que en *vínculos exclusivos entre socios*. Además de tener menores tiempos, a través del PIT se pueden acceder a múltiples destino cuando a través de **P2P** solo se vinculan dos AS.

En cuanto a la categoría **Internacionales**, muestra como la mediana tiene un valor cuatro veces superior al de las categorías **PIT** y **P2P**. Esto pone de manifiesto que mantener el tráfico local presenta una ventaja significativa en términos de latencia.

La categoría **Anómalas**, presenta valores mayores a todo el resto de las categorías, no obstante su valor es complemente imprevisible ya que surge de un error en las políticas de *ruteo* de uno de los ISP.

Por último lo que merece ser resaltado de la **figura 4.11** es que los máximos son menores que los máximos del análisis semana a semana. Vale recordar que para nuestro análisis el mínimo y el máximo son el 5 % y el 95 % de la distribución respectivamente. De esta manera al englobar la totalidad de los datos, los máximos han quedado con valores menores a los semanales.

Consideraciones generales

En primer lugar nos ha llamado poderosamente la atención de la enorme diferencia que separa el máximo del tercer cuartil. Aquí suponemos algunas limitaciones de los equipos, principalmente en momentos donde la red se encuentra congestionada.

En segundo lugar vemos como algo muy positivo que los valores del **PIT y P2P** tomen valores varias veces inferiores a los de **Internacionales**. Eso indica un correcto funcionamiento del PIT y un acierto en cuanto a la decisión de su implementación.

Lo que también nos ha llamado la atención de forma positiva es que los valores de la mediana para **PIT** hayan sido inferiores a los de **P2P**. Por más que ambos manejen el mismo orden de magnitud, a priori no esperábamos que **PIT** fuera menor.

Valores medios

Más allá de que nuestro gráfico del valor medio presente una medición sesgada, para el caso de la *latencia*, podremos explicar un fenómeno particular. Por este motivo hemos generado un gráfico de la evolución de la *latencia* media en la **figura 4.12**

Si nos detenemos a mirar a mitad de agosto en el gráfico de la **figura 4.12**, veremos como todas las curvas (excepto Anómalas) presentan un pico. Esta semana PladMeD funcionó con normalidad y no hubo ningún cambio significativo en las redes de Bolivia, sin embargo ese pico corresponde a un fenómeno externo de alcance global. El día 12 de agosto de 2014 ocurrió un suceso llamado "**512k day**" ³.

Este fenómeno se explica desde las características del de gran cantidad de ruteadores presentes en la arquitectura de Internet. Gran cantidad de estos ruteadores almacenan las rutas en memorias de rápido acceso, llamadas TCAM ⁴, las cuales en el caso de los ruteadores sólo cuentan con 524288 (512kb) direcciones. Producto del crecimiento de la cantidad de usuarios conectados a Internet a través del protocolo IPv4 [3] [4] y una política de desagregación por parte del proveedor estadounidense Verizon ⁵, el 12 de agosto de 2014 se superaron las 524288 rutas. Dado este fenómeno, los ruteadores con memorias TCAM sobrescribieron algunos registros dejando inaccesible algunas redes y generando inestabilidad en la red.

Más allá de la fenomenología del suceso, nos podríamos llegar a preguntar porque este episodio afecto la *latencia* en Bolivia. La causa se debe a que las *rutas* son publicadas e

 $^{^3512\}mathrm{k}$ Day: 12 de agosto de 2014. Hace referencia a una falla mundial en el sistema de ruteoa causa del sobrepaso de las 512k rutas

⁴TCAM: Ternary Content-Addressable Memory, es una memoria capaz de almacenar palabras formados por la terna 0,1, X("Don't Care"). Estas memorias suelen ser muy usadas en los *ruteadores* por su bajo tiempo de respuesta

⁵Verizon es un proveedor de servicios de telecomunicaciones estadounidense.

Evolución de la Latencia media

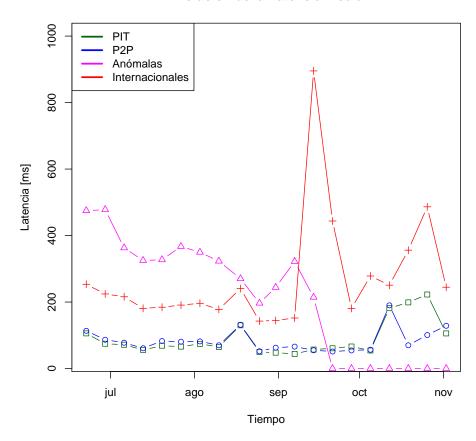


Figura 4.12: En el valor medio a pesar de ser un métrica sesgada, podemos ver como ser ordena PIT,P2P e Internacionales de forma creciente. Otra ventaja que nos dio calcular éste estimador, fue apreciar el pico que las tres series toman a mediados de agosto. Este pico se da a causa del "512k day", suceso por el cual se sobrescribieron aleatoriamente ciertas entradas de las tablas BGP. Este acontecimiento tuvo expansión global a través de BGP y vemos como también afecto a Internet en Bolivia.

intercambiadas por los ruteadores de borde de cada AS a través del protocolo BGP [2]. Gracias a esta función del protocolo BGP se logra alcance mundial desde cual red, no obstante los errores también toman escala mundial. Otra característica es que no se han borrado siempre las mismas rutas sino que varían según el AS, ya que la sobre-escritura de las memorias TCAM se dio de forma aleatoria.

4.3.4.3. Tiempo accesible

A través de la creación de éste parámetro, nosotros quisimos averiguar la distribución del tráfico de PladMeD, como reflejo de la distribución del tráfico entre usuarios bolivianos.

Tal como lo muestra la figura 4.13 que hemos creado para representar la evolución de la distribución del tráfico, vemos que el tráfico entre usuarios bolivianos mayoritariamente pasa por el PIT (categoría PIT). Aquí podemos sacar conclusiones similares a las que han sacado otros autores en investigaciones previas. En primer lugar que los PIT son atractivos para los AS de una región, y esto se ve en Bolivia sino el volumen a través de éste no sería tal elevado. En segundo lugar, podemos concluir que el leitmotiv del PIT

Evolución del parámetro "Tiempo Accesible"

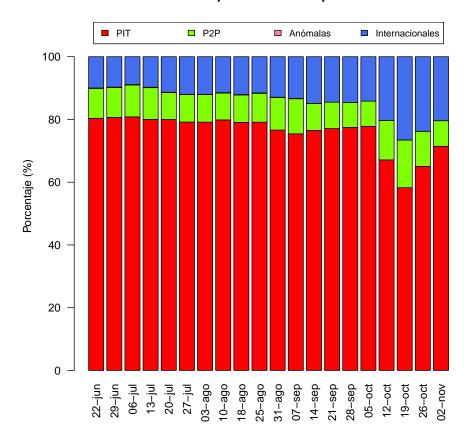


Figura 4.13: En este gráfico podemos ver como se distribuyen en los enlaces los traceroutes que resultaron exitosos, lo que para nosotros será una representación de la distribución del tráfico. En la evolución semanal podemos ver como a lo largo del tiempo el valor de PIT toma un valor entre el 60 % y 80 %, lo que muestra que la mayor parte del tráfico local aprovecha este tipo de enlaces. En segundo lugar podemos ver como P2P tiene un bajo porcentaje alrededor del 10 %. Esto exhibe el bajo porcentaje de vínculos exclusivos que existen, principalmente por sus altos costos.

se cumple, ya que el tráfico local permanece local por medio del PIT.

También vemos que el porcentaje de tráfico en la categoría **P2P** es mucho menor que el de la categoría **P1T**. El tráfico **P2P** tiene un valor máximo del 20 % y **P1T** oscila entre el 60 % y 80 %. Aquí también podremos hacer conclusiones similares a las de otras publicaciones. Los *vínculos exclusivos entre socios* no suelen ser desarrollados a menos que dos AS intercambien porcentajes muy elevando de tráfico entre ellos. Esto es lo que vemos en Bolivia, previo al P1T muy poco tráfico era **P2P**, debido al elevado costo que presenta. A contra partida de esto, con un único vínculo, el P1T presenta una ventaja mucho mayor ya que alcanza a más AS. Esto se ve claramente expresado a que todos los AS de Bolivia se encuentran conectados e intercambian mucho tráfico a través del P1T.

Dada la resolución que tiene nuestro gráfico no podemos llegar a distinguir la magnitud que toma la categoría **Anómalas**. Esto en parte lo marca como positivo, ya que la magnitud del tráfico con ese patrón es mucho menor que el de las otras categorías. Para poder cuantificar **Anómalas** hemos generado un gráfico aparte presente en la **figura 4.14**.

Tiempo Accesible: Detalle Anómalas

Figura 4.14: En el gráfico con el resto de las categorías es imposible distinguir la categoría Anómalas por el bajo valor que alcanza. Aquí decidimos graficarla por separado para mostrar la baja incidencia que tenía el tráfico anómalo dentro del tráfico total.

06-jul 13-jul 20-jul 27-jul

03-ago 10-ago 18-ago 25-ago 07-sep 14-sep 21-sep 28-sep 05-oct 12-oct 19-oct

El volumen de tráfico con este comportamiento anómalo, el cual pasa por el PIT y luego por enlaces internacionales es muy bajo, ya que en ningún momento supera el 0.15%.

4.3.4.4. Rutas locales

Este parámetro ese similar a $tiempo\ accesible$, pero en este caso nosotros buscamos ver el comportamiento de las rutas y no del tráfico.

En el gráfico de la **figura 4.15** vemos como la cantidad de rutas que pertenecen a la categoría **PIT** es muy alta, e incluso ha crecido superando el 80 % luego de agregar el 12/10 el nodo de Santa Cruz. Por otra parte vemos como el número de rutas clasificadas como **P2P** es muy bajo, no obstante este valor se ve condicionado a los vinculos exclusivos que tengan los AS a donde se encuentran conectadas nuestras sondas. En caso de contar con presencia de PladMeD en todos AS, quizás este número sería mayor.

Por último vemos que el número de rutas clasificadas como **Internacionales**, permanece alrededor del 20 % con un pico del 35 %. Imaginamos que este valor se redujo de manera muy importante luego de la implementación del PIT hasta alcanzar este valor.

También para este parámetro tendremos problemas en cuanto a la resolución de la categoría **Anómalas**. Al igual que con *tiempo accesible* hemos optado por graficarla

Evolución del parámetro "Rutas Locales"

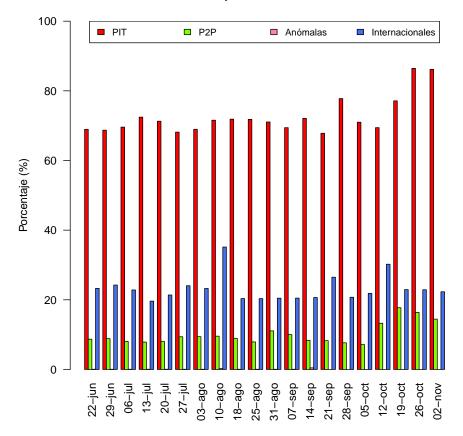


Figura 4.15: Este gráfico muestra como entre el 65 % y 80 % de las rutas aprovechan el PIT como forma de distribución del tráfico local. También podemos ver que las rutas que atraviesan enlaces P2P para alcanzar destino son del orden del 10 %. Por último cabe destacar hasta el 12 de octubre PladMeD funcionó únicamente con un nodo en La Paz y luego de esa fecha se sumo un nodo en Santa Cruz de la Sierra. Vemos como luego de esa incorporación el valor de PIT llegó a su nivel más elevado.

nuevamente de forma individual en la figura 4.16 para poder cuantificarla.

Tal como en el parámetro *tiempo accesible*, vemos que es muy baja la cantidad de *rutas* con este comportamiento y que su incidencia es casi nula en el total de *rutas* elegidas como parte de nuestra medición.

4.3.4.5. Servicios en IPs asignadas a Bolivia

Nuestro objetivo para esta medición era poder analizar la evolución de los servicios más populares dentro de Internet. Dado que nosotros sabíamos de antemano cuales eran los más populares y en función de eso los seleccionamos, también suponíamos por este mismo motivo que orden podían llegar a tomar.

En primer lugar tenemos que mencionar que hemos tomado una escala logarítmica para la representación del eje de las ordenadas. El motivo fue que las cantidades cambian abruptamente entre un servicio y otro, entonces para poder graficar todos los servicios en un mismo cuadro hemos elegido una escala logarítmica. La desventaja de esta elección fue que las variaciones fueron menos perceptibles.

En el gráfico de la figura 4.17 podemos ver como las los valores anteriores al mes de

0.6 Anómalas 0.5 0.4 Porcentaje (%) 0.3 0.2 0.1 8-ago 31-ago J7-sep 14-sep 21-sep 3-ago 0-ago 25-ago 27-jul

Rutas Locales: Detalle Anómalas

Figura 4.16: Hemos decidido graficar por separado la categoría de comportamiento anómalo. Viendo los porcentajes, vemos como es muy pequeña la cantidad de *rutas* que se vio afectada por este error de configuración.

julio tiene gran irregularidad y se encuentran lejos de los valores medios que alcanzaron los meses siguientes. La causa principal de este fenómeno es la metodología que nosotros hemos elegido para evitar falsos positivos. Recordando su operación nosotros exigimos ver disponible al servidor al menos tres de las últimas cinco mediciones. Lo que sucedió en los primeros días es que ni siquiera contábamos con tres mediciones lo que hacía que la medición diera cero. Sumado a esto, durante el primer mes tuvimos una inestabilidad en el servidor lo que nos imposibilitó medir algunos servicios. Esta ausencia de datos hizo que en algunos días no llegáramos a tener tres apariciones en las últimas cinco.

Tal como lo esperábamos, el servicio más presentado con IPs de Bolivia fue HTTP, tal como lo es en la mayoría de las redes alrededor del mundo. El valor de este servicio, ha llegado a un valor estable que ronda los 35.000 servidores lo cual es poco en función de las 1.136.128 direcciones IP que dispone Bolivia. Sin embargo que el valor sea bajo no nos ha llamado la atención, ya que en la etapa previa a la implementación del PIT tenía mejores prestaciones instalar un dominio .bo fuera de Bolivia. Luego de la implementación del PIT, la gran mayoría de éstos sitios todavía están alojados en el extranjero, aunque hoy en día esto se presente como una desventaja.

Por último existe una característica presente en el protocolo HTTP v1.1, la cual permite alojar más de un sitio web por dirección IP. Esta prestación denominada en inglés multihomed, permite que con un pequeño número de direcciones IP se preste servicio a

Evolución de los servicios

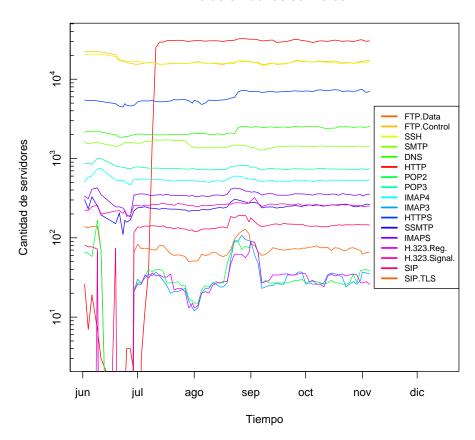


Figura 4.17: Para este gráfico hemos elegido una escala logarítmica para el eje y para poder incluir todos los servicios en el mismo gráfico. Durante el mes de junio vemos fuertes variaciones en algunos servicios que se debieron a causa de la puesta en funcionamiento de PladMeD. En cuanto a lo valores obtenidos vemos como el servicio predominante es HTTP, seguido por FTP y SSH, lo cual es similar a lo que sucede en la mayoría de las redes.

muchas páginas. Quizás esto pudiera explicar el bajo número de servidores HTTP en Bolivia, sin embargo existe otra propiedad que iría en sentido opuesto a la política de *multihomed*. El servicio DNS da la posibilidad de generar balance de carga y de esta forma resolver un dominio, por ejemplo una página web, en varias direcciones IP. El balance de carga de páginas web a través de DNS es muy frecuente y compensaría los efecto que produce HTTP v1.1 sobre nuestro conteo.

Luego las magnitudes de cada uno de los servicios nos parecieron en la misma sintonía que HTTP y el orden fue similar al que hubiéramos estipulado a priori.

En cuanto a las variaciones más allá de que se pierda proporción en la escala logarítmica, vemos a H.323, SIP y POP2 con un pico a mitad de agosto, pero luego en septiembre volvieron a su valor previo. De todas manera el cambio fue de decenas de servidores lo cual no es muy significativo.

4.3.5. Difusión pública de los resultados

Los resultados de la evolución del PIT pueden resultar de interés para un gran número de gente, la cual puede estar vinculada al proyecto o no. De hecho la mayoría de los

PIT alrededor del mundo tales como AMS-IX ⁶, EURO-IX ⁷ y HK-IX ⁸ publican en estadísticas en sus propios sitios. Por estos motivos hemos decidido llevar a cabo un sitio web (http://cnet.fi.uba.ar/PIT) donde entregamos gran parte de las estadísticas presentes en esta Tesis.



Figura 4.18: Captura de pantalla de la página que desarrollamos para publicar los datos obtenidos semana a semana.

Luego de haber llegado a un sistema de generación de datos y procesamiento totalmente automático y estable, no fue de mayor complejidad generar un sitio web donde pudiéramos presentar esta información. Sin embargo, la forma de presentar los resultados obtenidos fue sumamente importante, ya que pretendimos hacerlo de una forma clara y sintética. En función de ésto, hemos presentado a través de gráficos a todos nuestros parámetros.

Para poder lograr esta página hemos tomado utilizado ciertos recursos disponibles para uso gratuito tales como Bootstrap 9 y Highcharts 10 .

Bootstrap es un proyecto el cual nos brinda varias plantillas (en inglés conocido como themes) a partir de la cual nosotros podemos desarrollar nuestra web. Para lograr este objetivo, Bootstrap nos provee del código HTML [65] y CSS [66], para generar nuestro sitio y poder editarlo a nuestra conveniencia y necesidad. Además, a través del CSS y de aplicaciones desarrolladas sobre JavaScript ¹¹, Bootstrap agrega ciertos aspectos a los gráficos del sitio.

En cuanto a Highcharts, es una aplicaciones desarrollada en JavaScript diseñada para crear gráficos. Nosotros hemos utilizado esta herramienta en primer lugar por la calidad del diseño de la imagen y el nivel de detalle de los gráficos. Además al estar programado en JavaScript, el software agrega la capacidad de interactuar con el gráfico, por ejemplo agregar o quitar series a un cuadro. Sumado a esto, nuestros gráficos en Highcharts

⁶AMS-IX: Amsterdam Intenet eXchange. https://ams-ix.net/

⁷EURO-IX: European Internet Exchange Association.https://www.euro-ix.net/

⁸HK-IX: Hong Kong Internet Exchange.www.hkix.net/

⁹Bootstrap: Es un proyecto open-source financiado por Twitter Inc.

¹⁰Highcharts: Es un proyecto desarrollado por AS Highsoft Solutions desde 2009.

¹¹ JavaScript: Lenguaje de programación ampliamente usado en el desarrollo de páginas web. Este lenguaje fue creado por Brendan Eich en 1995.

incluyen la opción para poder ser descargados incluso en distintos formatos, lo que hace que los visitantes puedan contar con una copia de los mismos.

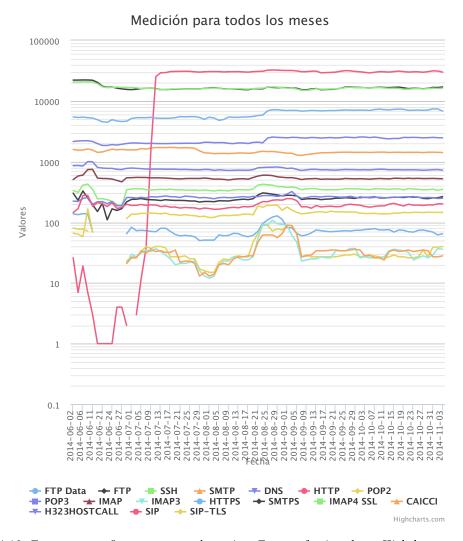


Figura 4.19: Este es un gráfico pertenece a la página. Esta confeccionado en Highcharts, y gracias a una de las funciones de Highcharts lo hemos descargado.

Es probable que los que ingresen al sitio no estén familiarizados con la terminología utilizada, incluso quienes pertenezcan a esta rama de la ingeniería. Esto es en parte a que hemos definido ciertas términos específicos para nuestro trabajo tal como lo es el parámetro "tiempo accesible". Por este motivo nosotros hemos agregado en nuestro sitio web un segmento llamado **Glosario**, en el cual detallamos gran cantidad de los términos técnicos que aparecen en la página.

Capítulo 5

Conclusiones

Como resultado del trabajo hemos construido una plataforma de medición, presente en distintos AS conectados al PIT de Bolivia, por medio de la cuál hemos podido relevar la evolución de Internet en éste país los últimos meses. Sumado a esto, hemos generado un punto fuera de la red donde hemos centralizado y procesado la información proveniente de las sondas instaladas en Bolivia. Además a este nodo externo le hemos dado la capacidad de analizar parámetros para los que no se necesita presencia en la red boliviana.

El hecho de contar con esta plataforma nos ha permitido realizar el trabajo y también nos brinda la posibilidad de extender los trabajos a futuro, mejorando las técnicas utilizadas o agregando nuevos parámetros. Además producto de haber construido este sistema de medición, hemos generado una página web que de forma autónoma presenta periódicamente como han evolucionado los parámetros medidos.

Producto de nuestras exploraciones y el procesamiento de éstas, hemos podido llegar a valores numéricos de los parámetros deseados. Previa a la instalación del PIT los paquetes entre AS bolivianos eran enviados a través de enlaces internacionales. Por este motivo, comprar cada parámetros entre la categoría **PIT** e **Internacionales**, mostró las ventajas obtenidas desde las instalación del PIT. La cantidad de saltos en nuestro relevamiento tuvo una mediana en la categoría **Internacionales** de 16 y en categoría **PIT** de 12. Esta reducción del 25 % se debe a que ahora hay menor cantidad de ruteadores entre origen y destino. También dado que ahora los paquetes recorren menor cantidad de kilómetros, latencia se ha reducido cuatro veces pasando de 160 ms a 40 ms.

El tiempo accesible y las rutas locales, parámetros que definimos especialmente para este trabajo, nos han mostrado que casi el 80 % del tráfico local ha tomado el PIT como su medio de distribución y el el 70 % de las rutas pasan a través de él. Esto representa un ahorro para los prestadores y una mejora en la calidad del servicio de los usuarios.

También hemos recopilado información acerca de los servicios disponibles y su evolución. Aquí pudimos ver como HTTP es el servicio más prestado al igual que ocurre en el resto de las redes del mundo. No obstante hemos podido ver como el número de servidores aún es muy bajo, sólo 39.000 servidores entre las más de un millón de direcciones que tiene asignadas Bolivia. Esto se lo atribuimos a que los principales portales web boliviano todavía se encuentran prestados por servidores instalados en el extranjero.

Más allá de que los ordenes de magnitudes responden a lo esperado hemos tenido inconvenientes para poder tener un valor preciso en la categoría **P2P**. Para este caso hemos confundido algunas *rutas* con origen y destino dentro de un mismo AS con *rutas* que han pasado por *vínculos exclusivos entre socios*. Esto nos lleva a la conclusión de el valor obtenido de *tiempo accesible* de **P2P** de alrededor de 10 % debe haber sido menor. Nosotros sostenemos que la metodología es acertada y que estamos próximos al valor real.

No obstante deberíamos incluir una verificación más exigente para eliminar las muestras erróneamente incorporandas a esta categoría. Lo mismo suponemos para cantidad de saltos donde suponemos que el valor para esta categoría debe ser mayor a tres saltos que es el número que obtuvimos.

En nuestro proyecto también teníamos como objetivo analizar la evolución del tráfico a través del PIT, por este motivo nosotros le hemos dado a PladMeD la capacidad de operar con el protocolo SNMP. Nuestra intención era encuestar el *switch* que forma el PIT para poder analizar el tráfico de cada puerto. Sin embargo esta tarea no la hemos podido llevar adelante ya que no hemos obtenido los permisos necesarios en el *switch* para leer esta información.

Bibliografía

- [1] IEEE. Ethernet Protocol: IEEE 802.3, 1983.
- [2] Y. Rekhter, T. Li, and S. Hares. A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4). RFC 4271 (Draft Standard), January 2006. Updated by RFCs 6286, 6608, 6793.
- [3] Vincent Cerf and Robert Kahn. Internet Protocol, October 1969.
- [4] J. Postel. Internet Protocol. RFC 791 (INTERNET STANDARD), September 1981. Updated by RFCs 1349, 2474, 6864.
- [5] CAIDA. Center for applied internet data analysis. http://www.caida.org/, 1997.
- [6] k. claffy, T. Monk, and D. McRobb. Internet Tomography. Nature, Jan 1999.
- [7] CAIDA. Skitter. http://www.caida.org/tools/measurement/skitter/, 1998.
- [8] V Jacobson. Traceroute. Lawrence Berkeley Laboratory (LBL), February 1989.
- [9] G. Malkin. Traceroute Using an IP Option. RFC 1393 (Historic), January 1993. Obsoleted by RFC 6814.
- [10] CAIDA. Ark: Archipielago project. http://www.caida.org/projects/ark/, 2011.
- [11] University of Washington. Ally: Alias resolution. http://www.cs.washington.edu/research/projects/networking/www/rocketfuel/, 2008.
- [12] Adam Bender, Rob Sherwood, and Neil Spring. Fixing ally's growing pains with velocity modeling. In *Proceedings of the 8th ACM SIGCOMM conference on Internet* measurement, pages 337–342. ACM, 2008.
- [13] Ken Keys, Young Hyun, Matthew Luckie, and Kim Claffy. Internet-scale ipv4 alias resolution with midar. IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 21(2):383–399, 2013.
- [14] Yuval Shavitt and Eran Shir. Dimes: Let the internet measure itself. ACM SIG-COMM Computer Communication Review, 35(5):71–74, 2005.
- [15] Space Sciences Laboratory. Seti@home: Search for extraterrestrial intelligence. http://setiathome.ssl.berkeley.edu, 1999.
- [16] Route Views. University of oregon route views project. http://www.routeviews.org/, 2000.
- [17] Brice Augustin, Balachander Krishnamurthy, and Walter Willinger. Ixps: mapped? In Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement conference, pages 336-349. ACM, 2009.

- [18] Chris Alan and Mark Kent. PCH: Packet Clearing House. https://www.pch.net/, 1994.
- [19] Peeringdb. https://www.peeringdb.com/, 2004.
- [20] traceroute.org. http://www.traceroute.org/, 1998.
- [21] Kuai Xu, Zhenhai Duan, Zhi-Li Zhang, and Jaideep Chandrashekar. On properties of internet exchange points and their impact on as topology and relationship. In NET-WORKING 2004. Networking Technologies, Services, and Protocols; Performance of Computer and Communication Networks; Mobile and Wireless Communications, pages 284–295. Springer, 2004.
- [22] NCC RIPE. Routing information service, 2006.
- [23] Neil T Spring, David Wetherall, and Thomas E Anderson. Scriptroute: A public internet measurement facility. In *USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems*, 2003.
- [24] 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.
- [25] X. Dimitropoulos, D. Krioukov, M. Fomenkov, B. Huffaker, Y. Hyun, k. claffy, and G. Riley. AS Relationships: Inference and Validation. ACM SIGCOMM Computer Communication Review (CCR), 37(1):29-40, Jan 2007.
- [26] Juan Camilo Cardona Restrepo and Rade Stanojevic. A history of an internet exchange point. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 42(2):58–64, 2012.
- [27] Wayback Machine. Internet archive wayback machine. http://www.archive.org, 1996.
- [28] Bernhard Ager, Nikolaos Chatzis, Anja Feldmann, Nadi Sarrar, Steve Uhlig, and Walter Willinger. Anatomy of a large european ixp. In *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2012 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communication*, pages 163–174. ACM, 2012.
- [29] Peter Phaal and Marc Lavine. sflow version 5. URL: http://www.sflow.org/sflow version 5. txt, J uli, 2004.
- [30] 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.
- [31] D. Plummer. Ethernet Address Resolution Protocol: Or Converting Network Protocol Addresses to 48.bit Ethernet Address for Transmission on Ethernet Hardware. RFC 826 (INTERNET STANDARD), November 1982. Updated by RFCs 5227, 5494.
- [32] L. Daigle. WHOIS Protocol Specification. RFC 3912 (Draft Standard), September 2004.

- [33] R. Fielding, J. Gettys, J. Mogul, H. Frystyk, L. Masinter, P. Leach, and T. Berners-Lee. Hypertext Transfer Protocol HTTP/1.1. RFC 2616 (Draft Standard), June 1999. Obsoleted by RFCs 7230, 7231, 7232, 7233, 7234, 7235, updated by RFCs 2817, 5785, 6266, 6585.
- [34] Nikolaos Chatzis, Georgios Smaragdakis, and Anja Feldmann. On the importance of internet exchange points for today's internet ecosystem. CoRR, abs/1307.5264, 2013.
- [35] NSFNET. National Science Foundation Network, 1985.
- [36] J. Hawkinson and T. Bates. Guidelines for creation, selection, and registration of an Autonomous System (AS). RFC 1930 (Best Current Practice), March 1996. Updated by RFCs 6996, 7300.
- [37] Grupo de Redes Complejas y Comunicación de Datos. Plataforma de medición distribuida. http://cnet.fi.uba.ar/PladMeD/, 2014.
- [38] University of Cambridge. Raspberry pi. http://www.raspberrypi.org/, February 2012.
- [39] ARM. Advanced risc machine. http://www.arm.com/, 1983.
- [40] Linus Torvards. Linux kernel. http://www.linuxfoundation.org/, 1991.
- [41] Debian GNU/Linux. Debian OS, June 1996.
- [42] Debian GNU/Linux. Raspbian OS, June 2012.
- [43] J. Case, K. McCloghrie, M. Rose, and S. Waldbusser. Protocol Operations for Version 2 of the Simple Network Management Protocol (SNMPv2). RFC 1905 (Draft Standard), January 1996. Obsoleted by RFC 3416.
- [44] Guido van Rossum and Jelke de Boer. Linking a stub generator (ail) to a prototyping language (python). In *Proceedings of the Spring 1991 EurOpen Conference*, Troms, Norway, pages 229–247, 1991.
- [45] Guido van Rossum and Fred L Drake. Extending and embedding the Python interpreter. Centrum voor Wiskunde en Informatica, 1995.
- [46] AB MySQL. Mysql. http://www.mysql.com, May 1995.
- [47] J. Postel. Internet Control Message Protocol. RFC 792 (INTERNET STANDARD), September 1981. Updated by RFCs 950, 4884, 6633, 6918.
- [48] Brice Augustin, Xavier Cuvellier, Benjamin Orgogozo, Fabien Viger, Timur Friedman, Matthieu Latapy, Clémence Magnien, and Renata Teixeira. Avoiding traceroute anomalies with paris traceroute. In *Proceedings of the 6th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, pages 153–158. ACM, 2006.
- [49] S. Crocker. Host Software. RFC 1, April 1969.
- [50] D. Thaler and C. Hopps. Multipath Issues in Unicast and Multicast Next-Hop Selection. RFC 2991 (Informational), November 2000.

- [51] J. Postel. User Datagram Protocol. RFC 768 (INTERNET STANDARD), August 1980.
- [52] Matthew Luckie. Scamper: a scalable and extensible packet prober for active measurement of the internet. In *Proceedings of the 10th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, pages 239–245. ACM, 2010.
- [53] K. McCloghrie and M. Rose. Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based internets:MIB-II. RFC 1213 (INTERNET STANDARD), March 1991. Updated by RFCs 2011, 2012, 2013.
- [54] ISO & ITU-T. Abstract syntax notation one: Asn.1, 1984.
- [55] Tobias Oetiker and Dave Rand. Mrtg: The multi router traffic grapher. In *LISA*, volume 98, pages 141–148, 1998.
- [56] Donald D Chamberlin, Raymond F Boyce, CQL Agena, and Windows PowerShell LINQ. Sql database.
- [57] Zakir Durumeric, Eric Wustrow, and J Alex Halderman. Zmap: Fast internet-wide scanning and its security applications. In *USENIX Security*, pages 605–620. Citeseer, 2013.
- [58] LACNIC. Latin American and Caribean Network Information Center. http://www.lacnic.net, 2001.
- [59] Gordon Fyodor Lyon. nmap. https://www.nmap.org/, 1997.
- [60] J. Postel. Transmission Control Protocol. RFC 793 (INTERNET STANDARD), September 1981. Updated by RFCs 1122, 3168, 6093, 6528.
- [61] K. Egevang and P. Francis. The IP Network Address Translator (NAT). RFC 1631 (Informational), May 1994. Obsoleted by RFC 3022.
- [62] Roy Fielding, Jim Gettys, Jeffrey Mogul, Henrik Frystyk, Larry Masinter, Paul Leach, and Tim Berners-Lee. Hypertext transfer protocol-http/1.1, 1999.
- [63] J. Postel. Domain Name System Structure and Delegation. RFC 1591 (Informational), March 1994.
- [64] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, and J Sköld. 4g lte. *LTE-advanced for Mobile Broadband*, 2011.
- [65] Ian Hickson and David Hyatt. Html5: A vocabulary and associated apis for html and xhtml. W3C Working Draft edition, 2011.
- [66] Cascading Style Sheets. level 2 (css2) specification. W3C Recommendation, 12, 1998.