

Teoría de las Comunicaciones

Primer cuatrimestre 2014

Departamento de Computación
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires

Trabajo Práctico 2: Rutas en Internet

Grupo

Integrante	LU	Correo electrónico
Gastón Requeni	400/11	grequeni@hotmail.com
Sebastian Vita	149/11	sebastian.vita@yahoo.com.ar

Índice

1. Introducción	3
2. Desarrollo	4
2.1. Determinación de rutas entre dos hosts	4
2.2. Cálculo del RTT aproximado de cada salto	5
2.3. Identificación de Enlaces Submarinos	6
2.4. Geolocalización de Rutas	7
2.5. Casos de Estudio	8
3. Resultados	9
3.1. Comparación de técnicas para promediar datos	9
3.2. Caso de Estudio: Universidad de Cambridge	11
3.2.1. Determinación de Rutas y RTTs de cada salto	11
3.2.2. RTTs acumulados y ZRTTs	11
3.2.3. Geolocalización	12
3.3. Caso de Estudio: Universidad de Ucrania	13
3.3.1. Determinación de Rutas y RTTs de cada salto	13
3.3.2. RTTs acumulados y ZRTTs	14
3.3.3. Geolocalización	15
3.4. Caso de Estudio: Universidad de China	16
3.4.1. Determinación de Rutas y RTTs de cada salto	16
3.4.2. RTTs acumulados y ZRTTs	16
3.4.3. Geolocalización	17
4. Discusión	18
4.1. Comparación de técnicas para promediar datos	18
4.1.1. Universidad de Cambridge	18
4.1.2. Universidad de Ucrania	18
4.1.3. Unviersidad de China	19
4.1.4. Conclusión General de los Promedios	19
4.2. Caso de Estudio: Universidad de Cambridge	20
4.3. Caso de Estudio: Universidad de Ucrania	20
4.4. Caso de Estudio: Universidad de China	21
5. Conclusiones	22
6. Bibliografía	23

1. Introducción

El nivel de red del modelo OSI introduce el *router* con el objetivo de interconectar redes de nivel 2. Para minimizar el delay y evitar ciclos, se utilizan distintos algoritmos, conocidos como algoritmos de ruteo (RIP, OSPF, BGP, etc.). Estos algoritmos generan una red lógica, que establece rutas en la red física para alcanzar una IP pública en alguna parte del mundo desde cada router. Las rutas no son fijas y podrían variar todas las veces que fuera necesario (por ejemplo si un nodo o enlace deja de funcionar). Uno de los objetivos de este trabajo es *mostrar que la probabilidad de que una ruta se modifique es muy baja*. También nos interesará analizar cuáles son las *rutas geográficas* atravesadas para llegar a distintos puntos del mundo.

El Round Trip Time de un enlace punto a punto es fácil de calcular conociendo las propiedades del medio que conecta los dos hosts. Agregar switches y otros hosts a la conexión complica este cálculo porque los RTTs dependen de las distintas propiedades de los medios interconectados por los switches. Si además agregamos routers que separan distintas redes switcheadas, el RTT desde un emisor a un receptor es altamente variable y muy difícil de calcular de manera teórica. Además no sólo dependerán de las propiedades de los medios de transmisión en cada red sino además del tiempo en que cada paquete permanezca encolado en cada router, que podría variar de router a router. Esto motiva otro de los objetivos del trabajo: *estimar empíricamente el RTT de cada salto* (i.e. entre un host y un router o entre dos routers).

Finalmente, Internet tal como existe hoy en día está compuesta de varios backbones que llevan la mayor parte del tráfico mundial, que luego es distribuido por sistemas autónomos de distintos tamaños. Algunas de las conexiones más destacadas son las de fibra óptica submarinas. Para poder llegar desde un continente a otro en algún momento hay que atravesar el océano mediante estos cables. Por la longitud que tienen, es esperable que el RTT de esos enlaces sea elevado. Entonces otro objetivo del trabajo será *identificar los enlaces submarinos* basándonos en el RTT medido y en las rutas geográficas calculadas.

2. Desarrollo

Para alcanzar los objetivos planteados en la introducción, vamos a proponer distintos análisis, organizados según el orden cronológico de la investigación. Un detalle importante a destacar es que basaremos todo el análisis en la versión 4 del protocolo de internet, con lo cual cada vez que se mencionen direcciones IPs o características del protocolo IP, siempre nos referiremos la versión 4[3].

2.1. Determinación de rutas entre dos hosts

Antes de poder realizar ningún tipo de estimación, debemos encontrar la/s ruta/s entre dos hosts: fuente (H_{src}) y destino (H_{dst}). Para esto utilizaremos una de las técnicas de traceroute.

El encabezado de un paquete IP[3] tiene un campo de 8 bits llamado TTL (Time To Live) que indica la máxima cantidad de segundos que el paquete IP puede permanecer en la internetwork. Dado que cuando un paquete pasa por un router generalmente tarda menos de un segundo, el TTL es decrementado de todas maneras (porque si no nunca sería decrementado y no serviría de nada), con lo cual en la realidad el *TTL indica la cantidad máxima de saltos* que el paquete puede realizar antes de ser descartado.

Cuando un paquete IP llega a un nodo con $TTL=t$, a menos que fuera el host destino, lo decrementa y forwarda el paquete con $TTL=t-1$. Si al decrementarlo sucede que $t-1=0$, el paquete es descartado y *no se forwarda*. Además el nodo tiene la opción de enviar al host fuente un paquete IP-ICMP de tipo time-exceeded (TIME-EXC) que indica que el TTL llegó a cero y que el paquete no fue entregado al destino. La IP fuente de ese paquete es la IP del nodo en la interfaz que recibió el paquete original.

Entonces, para determinar una ruta, enviaremos varios paquetes IP aumentando el TTL desde 1, para ir recibiendo los TIME-EXC de cada nodo en el camino. La IP asociada a cada TTL corresponderá a la interfaz por la que ingresó nuestro paquete a ese nodo.

Para saber que llegamos a destino, vamos a agregar a nuestro paquete IP un paquete ICMP de tipo ECHO-REQUEST: Si llegamos a destino, es probable que recibamos una respuesta ICMP de tipo ECHO-REPLY (podría pasar que no la recibieramos, pero para el resto del análisis vamos a elegir destinos que efectivamente respondan).

Entonces el análisis de una ruta finaliza cuando recibimos un paquete ECHO-REPLY (en vez de TIME-EXC).¹

Este análisis lo vamos a repetir muchas veces: Realizaremos N iteraciones de todo este proceso, guardando por cada TTL la IP que respondió, el tipo de ICMP recibido y el tiempo que transcurrió desde que el paquete fue enviado hasta que se recibió la respuesta. Ese tiempo mide el RTT desde el host fuente hasta cada uno de los nodos intermedios, con lo cual lo llamaremos RTT_i^{accum} (acumulado para el salto i).

Uno de los objetivos de realizar las iteraciones es *encontrar rutas alternativas*. Esto tiene un problema. Supongamos que para tll_1 encontramos ip_1 e ip_2 , y para tll_2 encontramos ip_3 e ip_4 , y supongamos que $tll_1 + 1 = tll_2$. Con esa información, podemos determinar que estos son los posibles saltos:

- $ip_1 \longrightarrow ip_3$
- $ip_1 \longrightarrow ip_4$
- $ip_2 \longrightarrow ip_3$
- $ip_2 \longrightarrow ip_4$

No necesariamente son todos válidos. Entonces vamos a contar cuantas veces respondió cada una de esas IPs y vamos a estimar la probabilidad de pasar por cada nodo en un salto dado (TTL fijo): $P(ip|tll)$. Usando esas estimaciones, vamos a ordenar a las IPs según la probabilidad de aparecer en cada salto, y armar los caminos según esas probabilidades. En el ejemplo, supongamos que $P(ip_1|tll_1) > P(ip_2|tll_1)$ y $P(ip_3|tll_2) > P(ip_4|tll_2)$. Luego los saltos que creemos que serán correctos son:

¹En realidad seguiremos aumentando el TTL hasta que haya una cierta cantidad de respuestas ECHO-REPLY, y así asegurarnos que no estemos perdiendo una ruta alternativa de distinta longitud.

- $ip_1 \longrightarrow ip_3$
- $ip_2 \longrightarrow ip_4$

Este análisis a priori podría fallar pero insistimos en que es tan sólo una estimación dado que es imposible conocer los enlaces físicos reales (a menos que controlemos la red).

De todos los caminos que encontremos, elegiremos el más “pesado”, es decir el camino formado por las IPs con la mayor probabilidad de cada salto. Para este camino realizaremos los estudios de tiempos y geolocalización.

Otra de las razones por la cual realizamos N iteraciones es para poder estimar RTT_i^{accum} de cada salto. Como dijimos en la introducción, los RTTs a nivel de red son muy variables y difíciles de estimar (dado que dependen de cada red y de los tiempos de encolamiento de los routers), con lo cual necesitamos tomar muchas mediciones para poder promediarlas (de alguna manera).

Para este trabajo se eligió $N = 1000$, dado que nos pareció una cantidad suficiente para detectar posibles alteraciones en las rutas (por downtime de un nodo, por congestión, etc). Tener en cuenta que 1000 iteraciones en Internet corresponden a varias horas de medición.

2.2. Cálculo del RTT aproximado de cada salto

Como mencionamos en la sección previa, sólo calcularemos el RTT de cada salto en el camino más “pesado”, de entre todos los caminos posibles. Hasta ahora tenemos muchos RTT_{ij}^{accum} , donde i corresponde al valor de TTL y j a la iteración. Primero tenemos que quedarnos con un único RTT acumulado para cada salto i . Entonces vamos a promediar de la siguiente manera.

Sean $\{RTT_{i1}^{accum}, \dots, RTT_{im}^{accum}\}$ los RTTs acumulados para cada paquete recibido de la IP elegida en el salto i . Supongamos que están ordenados de manera tal que:

$$RTT_{i1}^{accum} \leq \dots \leq RTT_{im}^{accum}$$

Dado un valor $0 \leq \alpha < 50$, eliminaremos el $\alpha\%$ de los valores más chicos y el $\alpha\%$ de los valores más grandes. Supongamos que nos queda:

$$\{RTT_{ia}^{accum}, \dots, RTT_{ib}^{accum}\}$$

Luego calcularemos la media de esos valores:

$$RTT_i^{accum} = \frac{1}{b-a+1} \sum_{j=a}^b RTT_{ij}^{accum}$$

Esta métrica (conocida como *media α -podada*) permite eliminar valores outliers tanto por encima como por debajo de la media, y luego promediar sólo los valores más significativos.

Para este trabajo se hicieron pruebas utilizando la media, la mediana y la media α -podada, llegando a la conclusión de que la media 30-podada es la más significativa en este contexto. Los resultados se encuentran en la Sección 3.1 y el análisis en la Sección 4.1.

Una vez obtenido el RTT acumulado de cada salto, pasamos a obtener el RTT_i correspondiente al RTT del salto i . Para esto se evaluaron dos alternativas:

1.

$$\begin{aligned} RTT_0 &= 0 \\ RTT_1 &= RTT_1^{accum} \\ RTT_i &= \begin{cases} RTT_i^{accum} - \sum_{j=1}^{i-1} RTT_j & \text{Si } RTT_i^{accum} > \sum_{j=1}^{i-1} RTT_j \\ 0 & \text{Caso Contrario.} \end{cases} \end{aligned}$$

2.

$$\begin{aligned}
 RTT_0 &= 0 \\
 RTT_1 &= RTT_1^{acum} \\
 RTT_i &= \begin{cases} RTT_i^{acum} - RTT_{i-1}^{acum} & \text{Si } RTT_i^{acum} > RTT_{i-1}^{acum} \\ 0 & \text{Caso Contrario.} \end{cases}
 \end{aligned}$$

La idea de fondo en la primer opción es que el acumulado obtenido en el salto final sea la suma de los RTT_i . En cambio en la segunda opción, se refleja la diferencia de tiempo de un salto a otro, independientemente del total. Estas alternativas fueron comparadas para cada caso de estudio y resultó que la segunda opción siempre obtuvo valores más significativos. Es por esto que en los análisis subsiguientes *utilizaremos la opción 2 para calcular RTT_i* .

En ambas opciones podría parecer extraño tener en cuenta el caso en que $RTT_i^{acum} < RTT_{i-1}^{acum}$. Consideremos el siguiente escenario:



Supongamos que R1 se alcanza con $TTL=(i-1)$ y R2 con $TTL=i$. Además supongamos el siguiente comportamiento:

R1 Tiene más prioridad en la cola de forwarding de paquetes (incluso podría tener distintas colas de prioridad según el campo ToS del header IP) y una prioridad mucho menor en la cola de paquetes de tipo TIME-EXC.

R2 Cumple alguna de las siguientes propiedades:

- No distingue prioridades.
- Distingue prioridades y tiene mayor prioridad sobre TIME-EXC.
- Se comporta como R1, pero las colas de mayor prioridad tienen poca carga.

Entonces si medimos RTT_{i-1}^{acum} vamos a tener por un lado el tiempo necesario para llegar a R1 y volver de R1 (que por simplicidad suponemos que es el mismo tiempo $t_{[0..i-1]}$) y por otro tendremos el tiempo de encolamiento en R1 $q_{(i-1)}$.

$$RTT_{i-1}^{acum} = 2t_{[0..i-1]} + q_{(i-1)}$$

En cambio si medimos RTT_i^{acum} , vamos a tener por un lado el tiempo $t_{[0..i-1]}$ de ida y vuelta, el tiempo del enlace entre R1 y R2 ($t_{[i-1..i]}$) y el tiempo de encolamiento en R2 q_i .

$$RTT_i^{acum} = 2t_{[0..i-1]} + 2t_{[i-1..i]} + q_i$$

Por las características de R1 y R2, sucederá que $q_i \ll q_{(i-1)}$ y si el delay en el enlace entre R1 y R2 es despreciable, tenemos que:

$$RTT_i^{acum} < RTT_{i-1}^{acum}$$

Este comportamiento es muy común en la práctica (ver Secciones 3.2, 3.3, 3.4). En particular el comportamiento de R1 es muy común en Internet [4].

2.3. Identificación de Enlaces Submarinos

Hasta ahora analizamos cómo buscar las posibles rutas, luego identificamos una de ellas como la ruta más probable (o más “pesada”) y en base a esa calculamos el RTT_i de cada salto. Ahora quisiéramos comparar entre sí esos valores para identificar el o los enlaces submarinos que atravesamos en la ruta.

Para lograrlo utilizaremos el valor estándar de cada salto:

$$ZRTT_i = \frac{RTT_i - \overline{RTT}}{SRTT}$$

donde \overline{RTT} es el promedio y $SRTT$ el desvío estándar (con la corrección de Bessel):

$$\overline{RTT} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M RTT_i$$

$$SRTT = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (RTT_i - \overline{RTT})^2}$$

M es la cantidad de saltos necesarios para llegar al host destino en la ruta más “pesada”.

Estos valores normalizan la distribución de las variables RTT_i , de tal manera que:

- Si $ZRTT_i > 0$, entonces está por encima de \overline{RTT} , es decir por encima de la media. Valores muy superiores al RTT promedio pueden ser indicadores de saltos submarinos (o al menos un salto significativo).
- Al dividir por el desvío estándar se eliminan las distancias y se normalizan los valores, para que un mismo valor de $ZRTT_i$ en cualquier muestra tenga aproximadamente el mismo significado. Es decir que el valor estándar no dependerá de cada caso particular sino que tendrá un valor más general. Esto permitirá luego establecer un umbral genérico para identificar saltos submarinos.

La idea entonces será calcular estos valores y compararlos con los RTT_i acumulados por cada salto (acumulado k -ésimo = $\sum_{i=1}^k RTT_i$) y con los RTT_i^{accum} (promedios de las mediciones originales). Usamos ambos RTTs acumulados porque por la manera en que calculamos RTT_i perdimos información de algunos saltos donde el RTT era negativo. Si $ZRTT_i$ es grande y la acumulación de RTT_i s aumenta considerablemente, es esperable que allí encontremos un enlace submarino.

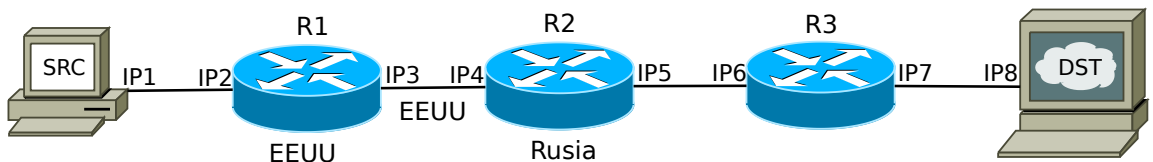
Una vez realizada la comparación, buscaremos un intervalo I_u para cada uno de los casos de estudio, tal que dentro de ese intervalo podamos asegurar que encontramos un enlace submarino (utilizando también la geolocalización de los nodos, ver Sección 2.4). Luego, calcularemos la intersección de esos intervalos y trataremos de establecer un umbral genérico que suponemos tendrá sentido en casos de estudio futuros.

2.4. Geolocalización de Rutas

Aparte del análisis numérico que realizamos en las secciones previas, vamos a intentar ubicar en un mapa a cada uno de los saltos intermedios.

El análisis consistirá de la geolocalización de la ruta de mayor probabilidad que mencionamos en secciones anteriores. Para esto utilizaremos servicios de geolocalización [1] que por cada IP nos indicarán donde fue registrada la red a la que pertenece. De esta manera podremos conocer la ubicación del router. Debemos dejar en claro que podría suceder que una red estuviera registrada en un país pero que algunos nodos conectados a esa red estén en otros países. En un caso así, claramente tendríamos una respuesta errónea por parte de esos servicios. Tomaremos algunas medidas para evitarlo.

Como ya fue mencionado en la Sección 2.1, el nodo que responde lo hace usando la IP correspondiente a la interfaz por la cual recibió nuestro paquete. Veamos un ejemplo:



R2 está ubicado en Estados Unidos y R3 en Rusia. El enlace R2-R3 es una red cuya dirección fue registrada en Estados Unidos, con lo cual en los registros internacionales, tanto IP3 como IP4 se encuentran en Estados Unidos.

Si R2 nos envía un paquete time-exceeded, la IP fuente del paquete será IP4. Cuando geolocalicemos IP4, encontraremos que su ubicación es Estados Unidos. Pero R2 pertenecía a Rusia, ¿cómo podríamos saberlo?.

Para solucionar este problema, utilizaremos los RTTs calculados en secciones previas:

- Si el RTT del salto es pequeño, se considera que R2 pertenece a Estados Unidos.
- Si el RTT del salto es grande, en cambio, lo que haremos es mirar el siguiente salto. Cuando R3 responda time-exceeded, lo hará usando IP6. Es muy probable que R3 también se encuentre cerca de R2 (en Rusia tal vez), pero de todas formas nosotros *asumiremos* que R2 se encuentra en el país donde fue registrada la red R2-R3.

En el ejemplo, el RTT del salto debería ser grande y entonces usaríamos el segundo caso.

Esta heurística es una aproximación de la realidad, claramente no es ciento por ciento eficaz. En casos donde haya ambigüedades o que esta heurística no funcione, utilizaremos otra manera de determinar la ubicación real: El *DNS (Domain Name System)*. La idea es usar reverse DNS para obtener el nombre de cada IP. Dado que los nombres están destinados a la lectura de seres humanos, esperamos encontrar allí pistas que nos permitan deducir dónde estamos, o al menos si hubo o no hubo algún salto importante. Para esto utilizaremos el módulo `socket` de Python.

Nuevamente debemos aclarar que el nombre del dominio podría estar desactualizado o bien podríamos equivocarnos al realizar deducciones sobre el mismo, con lo cual tampoco es una heurística del todo eficaz.

En conclusión, por cada IP del camino más “pesado”, determinaremos la ubicación geográfica en base a:

- RTT_i y $ZRTT_i$ del salto.
- Geolocalización del servicio web (país, ciudad, coordenadas).
- DNS.

La idea es que luego de haber geolocalizado a todas las IPs (o conjuntos de IPs si hay muchas en una misma región), vamos a medir la distancia recorrida en cada salto, utilizando la herramienta de Google Maps[2]. Esta distancia será comparada con los RTTs acumulados de algunos saltos (en los que sea posible realizar la comparación) y luego buscaremos una relación entre todos los casos de estudio. Utilizaremos RTTs acumulados (RTT_i^{accum}) porque es la medición de RTT menos sesgada que tenemos (dado que al calcular RTT_i algunos valores quedan en cero).

Por otro lado, la geolocalización en un mapa nos permitirá encontrar de una manera visual los enlaces submarinos.

2.5. Casos de Estudio

Se analizarán las siguientes rutas:

Cambridge: La ruta tendrá como destino la Universidad de Cambridge (www.cam.ac.uk, IP: 131.111.150.25).

Se encuentra en Cambridge, Inglaterra. El origen será un host ubicado en Lanús (Provincia de Buenos Aires), utilizando el proveedor de servicios de internet “Telecentro”.

Ucrania: La universidad que elegimos como destino es National Taras Shevchenko University of Kyiv (www.univ.kiev.ua, IP: 91.202.128.77). Esta se encuentra en Kiev, Ucrania. El host origen se ubica en Lanús (Provincia de Buenos Aires), utilizando el proveedor de servicios de internet “Telecentro”.

China: La universidad que elegimos como destino es The Chinese University of Hong Kong (www.cuhk.edu.hk, IP: 137.189.11.73). Esta se encuentra en Hong Kong, China. El host origen se ubica en Lanús (Provincia de Buenos Aires), utilizando el proveedor de servicios de internet “Telecentro”.

3. Resultados

3.1. Comparación de técnicas para promediar datos

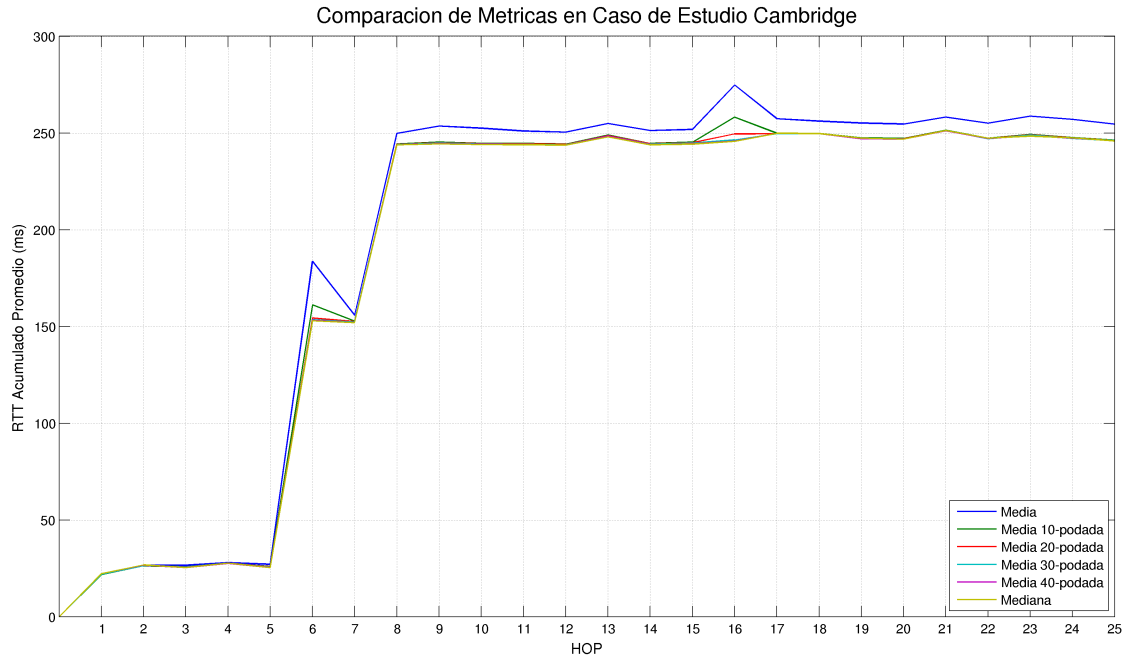


Figura 1: Comparación de las distintas técnicas para promediar el RTT acumulado, en el caso de estudio de la universidad de Cambridge.

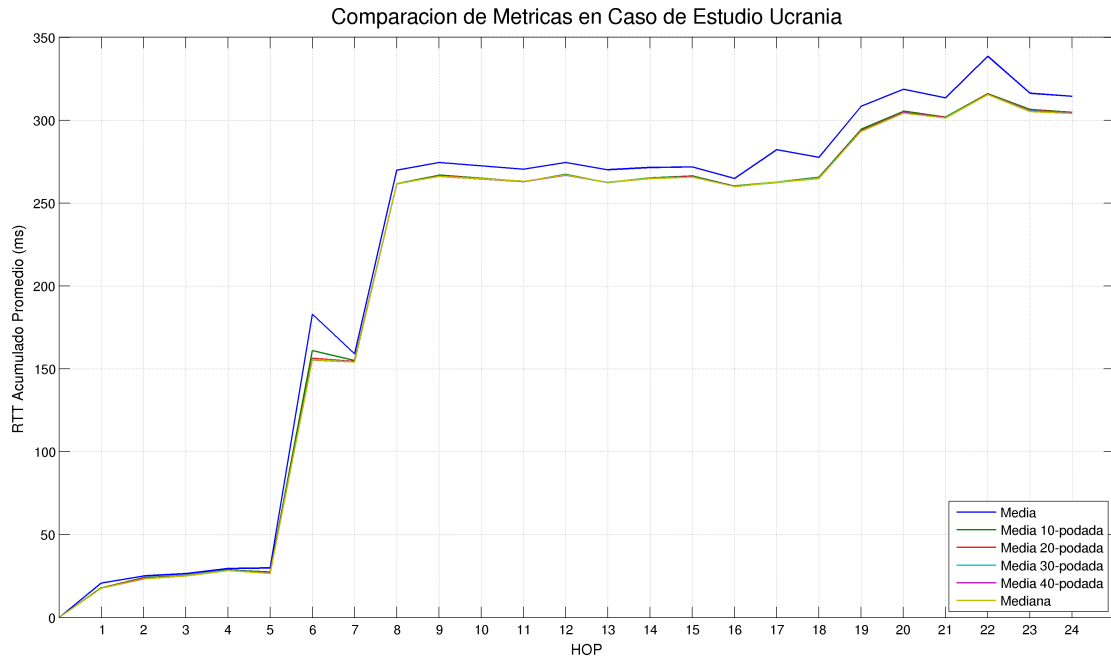


Figura 2: Comparación de las distintas técnicas para promediar el RTT acumulado, en el caso de estudio de la universidad de Ucrania.

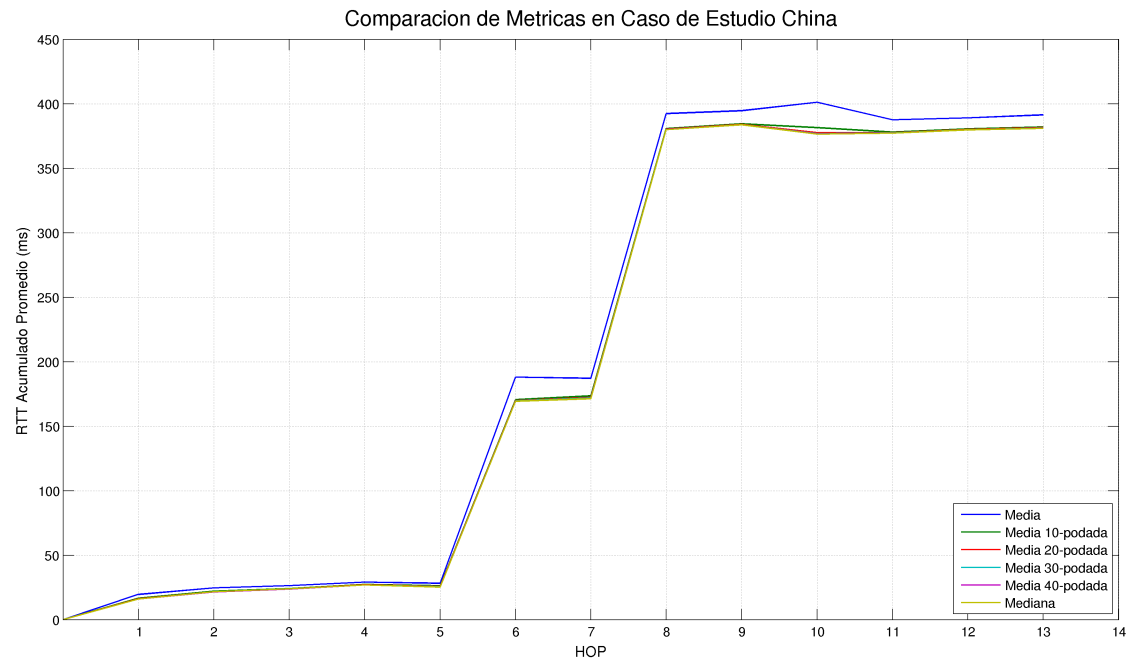


Figura 3: Comparación de las distintas técnicas para promediar el RTT acumulado, en el caso de estudio de la universidad de China.

3.2. Caso de Estudio: Universidad de Cambridge

3.2.1. Determinación de Rutas y RTTs de cada salto

Ruta Más Probable: Cambridge						
TTL	IP	ICMP	$P(IP TTL)$	RTT_i^{accum} (ms)	1. RTT_i (ms)	2. RTT_i (ms)
1	192.168.0.1	TIME_EXC	1.0000	21.9105	21.9105	21.9105
2	10.24.128.1	TIME_EXC	1.0000	26.3938	4.4832	4.4832
3	181.47.254.85	TIME_EXC	1.0000	25.6656	0	0
4	208.178.195.214	TIME_EXC	1.0000	27.5636	1.1699	1.8980
5	208.178.195.213	TIME_EXC	1.0000	25.6604	0	0
6	67.16.148.102	TIME_EXC	1.0000	153.5485	125.9849	127.8881
7	4.68.111.121	TIME_EXC	1.0000	152.2542	0	0
8	4.69.138.123	TIME_EXC	1.0000	243.9674	90.4189	91.7132
9	4.69.140.142	TIME_EXC	1.0000	244.8411	0.8737	0.8737
10	4.69.132.33	TIME_EXC	1.0000	244.2968	0	0
11	4.69.148.106	TIME_EXC	1.0000	244.1967	0	0
12	4.69.143.214	TIME_EXC	1.0000	243.8799	0	0
13	4.69.201.65	TIME_EXC	1.0000	248.5311	3.6900	4.6512
14	4.69.137.69	TIME_EXC	1.0000	244.2912	0	0
15	4.69.143.93	TIME_EXC	1.0000	244.8002	0	0.5090
16	4.69.133.101	TIME_EXC	1.0000	246.3710	0	1.5708
17	195.50.119.98	TIME_EXC	1.0000	249.5981	1.0670	3.2271
18	146.97.33.41	TIME_EXC	1.0000	249.6705	0.0724	0.0724
19	146.97.33.26	TIME_EXC	1.0000	246.9630	0	0
20	146.97.37.186	TIME_EXC	1.0000	246.8843	0	0
21	146.97.130.2	TIME_EXC	1.0000	251.2769	1.6064	4.3925
22	192.84.5.93	TIME_EXC	1.0000	247.0292	0	0
23	192.84.5.98	TIME_EXC	1.0000	248.8610	0	1.8318
24	193.60.89.241	TIME_EXC	1.0000	247.2230	0	0
25	131.111.150.25	ECHO_REPLY	1.0000	246.0468	0	0

Cuadro 1: El camino más utilizado para llegar a Cambridge. Los encabezados utilizan la notación presentada en las secciones 2.1 y 2.2.

3.2.2. RTTs acumulados y ZRTTs

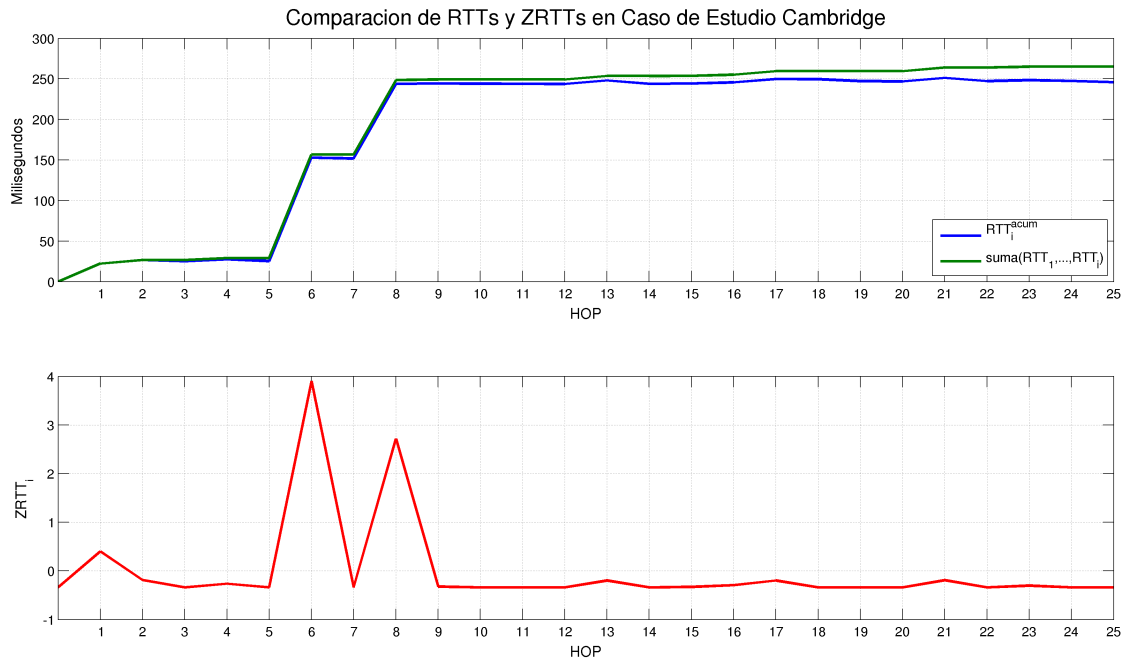


Figura 4: Comparación de RTT_i^{accum} con $\sum_{k=1}^i RTT_k$ y con $ZRTT_i$.

3.2.3. Geolocalización

Geolocalización: Cambridge				
TTL	IP	DNS	Ubicación	Lat,Lon
1	192.168.0.1	No encontrada	Reserved	0.0000,0.0000
2	10.24.128.1	No encontrada	Reserved	0.0000,0.0000
3	181.47.254.85	cpe-181-47-254-85.telecentro-reversos.com.ar	Argentina,Entre Ríos	-30.9546,-58.7833
4	208.178.195.214	global-crossing-argentina-s-a.xe-0-3-1.ar3.eze1.gblx.net	United States,Virginia	38.8048,-77.0469
5	208.178.195.213	xe-0-3-1.ar3.eze1.gblx.net	United States,Virginia	38.8048,-77.0469
6	67.16.148.102	po5.ar1.MIA2.gblx.net	United States	38.0000,-97.0000
7	4.68.111.121	ae5.edge2.miami2.level3.net	United States	38.0000,-97.0000
8	4.69.138.123	ae-32-52.ebr2.Miami1.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
9	4.69.140.142	ae-2-2.ebr2.Atlanta2.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
10	4.69.132.33	ae-1-100.ebr1.Atlanta2.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
11	4.69.148.106	ae-6-6.ebr1.Washington12.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
12	4.69.143.214	ae-1-100.ebr2.Washington12.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
13	4.69.201.65	ae-57-57.ebr1.NewYork1.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
14	4.69.137.69	ae-42-42.ebr2.London1.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
15	4.69.143.93	vlan103.ebr1.London1.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
16	4.69.133.101	ae-4-4.car1.Manchesteruk1.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
17	195.50.119.98	No encontrada	United Kingdom	51.5000,-0.1300
18	146.97.33.41	ae29.erdiss-sbr1.ja.net	United Kingdom,London, City of	51.5142,-0.0931
19	146.97.33.26	ae30.lowdss-sbr1.ja.net	United Kingdom,London, City of	51.5142,-0.0931
20	146.97.37.186	ae0.camb-rbr2.ja.net	United Kingdom,London, City of	51.5142,-0.0931
21	146.97.130.2	University-of-Cambridge.Camb-rbr1.eastern.ja.net	United Kingdom,London, City of	51.5142,-0.0931
22	192.84.5.93	route-enet.route-mill.net.cam.ac.uk	United Kingdom,Cambridgeshire	52.2000,0.1167
23	192.84.5.98	route-mill.route-west.net.cam.ac.uk	United Kingdom,Cambridgeshire	52.2000,0.1167
24	193.60.89.241	mint.admin.cam.ac.uk	United Kingdom,Cambridgeshire	52.2000,0.1167
25	131.111.150.25	primary.admin.cam.ac.uk	United Kingdom,Cambridgeshire	52.2000,0.1167

Cuadro 2: Tabla de información de geolocalización del camino más probable para el caso de estudio Cambridge. Observar las celdas resaltadas de arriba hacia abajo: (1) indica que comenzamos en Argentina. (2) dice “crossing-argentina” lo cual indica que seguimos en Argentina o cerca. (3) dice “ar1.MIA2” mientras que las dos anteriores decían “ar3.eze1” indicando que algo cambió, la red también cambió (ver la IP) y además este salto corresponde al de mayor RTT. (4) El salto para TTL=8 corresponde al segundo salto de mayor RTT, sin embargo de los datos de geolocalización no podemos inferir que sea un enlace submarino. (5) Recien en el salto 14 aparece en la DNS la palabra “London” haciendo referencia a Inglaterra (el salto anterior aún decía Estados Unidos en la DNS). (6) Recien en el salto 17 aparece la geolocalización en United Kingdom.

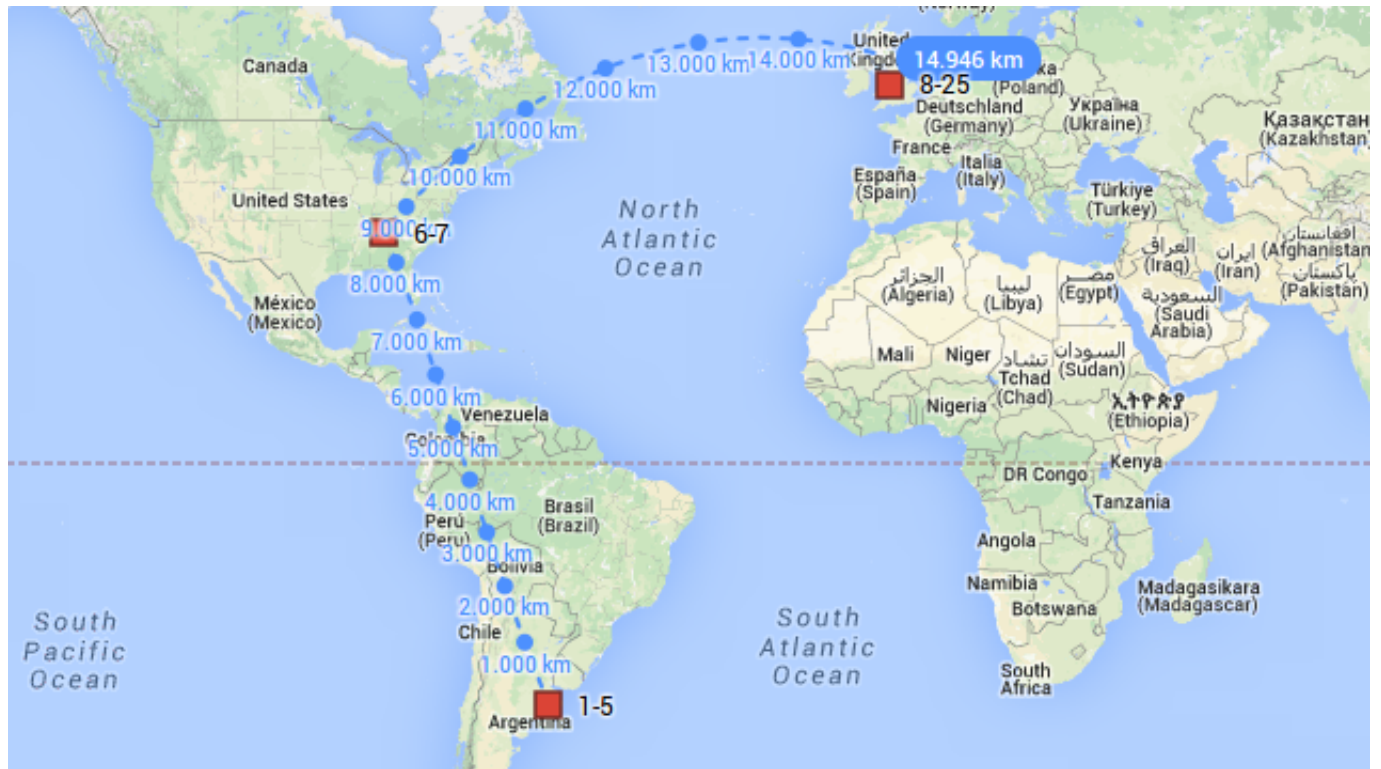


Figura 5: Mapa generado utilizando los datos de la tabla anterior y los valores de RTT_i empíricos.

3.3. Caso de Estudio: Universidad de Ucrania

3.3.1. Determinación de Rutas y RTTs de cada salto

Rutas Encontradas: Ucrania						
TTL	IP1	ICMP1	P1	IP2	ICMP2	P2
0	SRC	TE	1.000	*	*	*
1	192.168.0.1	TE	1.000	*	*	*
2	10.24.128.1	TE	1.000	*	*	*
3	181.47.254.85	TE	1.000	*	*	*
4	208.178.195.214	TE	1.000	*	*	*
5	208.178.195.213	TE	1.000	*	*	*
6	67.16.147.134	TE	0.692	67.16.134.218	TE	0.308
7	4.68.111.121	TE	1.000	*	*	*
8	4.69.138.123	TE	1.000	*	*	*
9	4.69.140.142	TE	1.000	*	*	*
11	4.69.132.86	TE	1.000	*	*	*
12	4.69.134.134	TE	1.000	*	*	*
13	4.69.134.149	TE	1.000	*	*	*
14	4.69.137.53	TE	1.000	*	*	*
15	4.69.143.141	TE	1.000	*	*	*
16	4.69.140.14	TE	1.000	*	*	*
17	4.69.154.200	TE	1.000	*	*	*
18	212.162.9.22	TE	1.000	*	*	*
19	80.77.167.204	TE	1.000	*	*	*
20	80.77.167.251	TE	1.000	*	*	*
21	193.41.88.101	TE	1.000	*	*	*
22	91.202.129.21	TE	1.000	*	*	*
23	91.202.129.26	TE	1.000	*	*	*
24	91.202.128.77	ER	1.000	*	*	*

Cuadro 3: Las rutas encontradas para llegar a Ucrania. La numeración en los encabezados indica el número de ruta, ordenadas por probabilidad.

Ruta Más Probable: Ucrania						
TTL	IP	ICMP	$P(IP TTL)$	RTT_i^{accum} (ms)	1. RTT_i (ms)	2. RTT_i (ms)
0	SRC	TIME_EXC	1.0000	0.0000	0	0
1	192.168.0.1	TIME_EXC	1.0000	17.6653	17.6653	17.6653
2	10.24.128.1	TIME_EXC	1.0000	23.3707	5.7055	5.7055
3	181.47.254.85	TIME_EXC	1.0000	25.2278	1.8571	1.8571
4	208.178.195.214	TIME_EXC	1.0000	28.4143	3.1865	3.1865
5	208.178.195.213	TIME_EXC	1.0000	26.8487	0	0
6	67.16.147.134	TIME_EXC	0.6920	155.7311	127.3168	128.8824
7	4.68.111.121	TIME_EXC	1.0000	154.2278	0	0
8	4.69.138.123	TIME_EXC	1.0000	261.6706	105.9395	107.4428
9	4.69.140.142	TIME_EXC	1.0000	266.2276	4.5570	4.5570
10	Sin Respuesta					
11	4.69.132.86	TIME_EXC	1.0000	262.9137	0	0
12	4.69.134.134	TIME_EXC	1.0000	266.8750	0.6474	3.9613
13	4.69.134.149	TIME_EXC	1.0000	262.4385	0	0
14	4.69.137.53	TIME_EXC	1.0000	264.9673	0	2.5289
15	4.69.143.141	TIME_EXC	1.0000	265.8087	0	0.8414
16	4.69.140.14	TIME_EXC	1.0000	260.0250	0	0
17	4.69.154.200	TIME_EXC	1.0000	262.4417	0	2.4167
18	212.162.9.22	TIME_EXC	1.0000	265.1389	0	2.6972
19	80.77.167.204	TIME_EXC	1.0000	293.5191	26.6441	28.3801
20	80.77.167.251	TIME_EXC	1.0000	304.7100	11.1909	11.1909
21	193.41.88.101	TIME_EXC	1.0000	301.4806	0	0
22	91.202.129.21	TIME_EXC	1.0000	315.4132	10.7032	13.9326
23	91.202.129.26	TIME_EXC	1.0000	305.7366	0	0
24	91.202.128.77	ECHO_REPLY	1.0000	304.3509	0	0

Cuadro 4: El camino más utilizado para llegar a Ucrania. Los encabezados utilizan la notación presentada en las secciones 2.1 y 2.2.

3.3.2. RTTs acumulados y ZRTTs

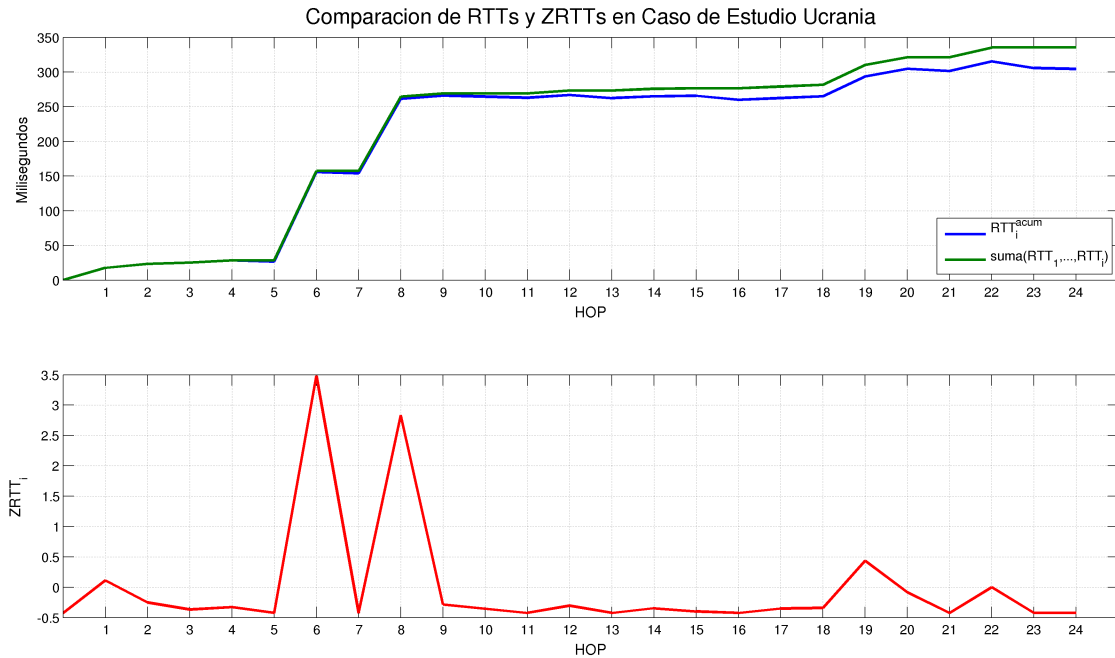


Figura 6: Comparación de RTT_i^{accum} con $\sum_{k=1}^i RTT_k$ y con $ZRTT_i$.

3.3.3. Geolocalización

Geolocalización: Ucrania				
TTL	IP	DNS	Ubicación	Lat,Lon
1	192.168.0.1	No encontrada	Reserved	0.0000,0.0000
2	10.24.128.1	No encontrada	Reserved	0.0000,0.0000
3	181.47.254.85	cpe-181-47-254-85.telecentro-reversos.com.ar	Argentina,Entre Ríos	-30.9546,-58.7833
4	208.178.195.214	global-crossing-argentina-s-a.xe-0-3-1.ar3.eze1.gblx.net	United States,Virginia	38.8048,-77.0469
5	208.178.195.213	xe-0-3-1.ar3.eze1.gblx.net	United States,Virginia	38.8048,-77.0469
6	67.16.147.134	te8-4-10G.ar1.MIA2.gblx.net	United States	38.0000,-97.0000
7	4.68.111.121	ae5.edge2.miami2.level3.net	United States	38.0000,-97.0000
8	4.69.138.123	ae-32-52.ebr2.Miami1.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
9	4.69.140.142	ae-2-2.ebr2.Atlanta2.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
11	4.69.132.86	ae-2-2.ebr1.Washington1.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
12	4.69.134.134	ae-71-71.csw2.Washington1.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
13	4.69.134.149	ae-72-72.ebr2.Washington1.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
14	4.69.137.53	ae-42-42.ebr2.Paris1.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
15	4.69.143.141	ae-47-47.ebr1.Frankfurt1.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
16	4.69.140.14	ae-91-91.csw4.Frankfurt1.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
17	4.69.154.200	ae-4-90.edge4.Frankfurt1.Level3.net	United States	38.0000,-97.0000
18	212.162.9.22	No encontrada	United Kingdom	51.5000,-0.1300
19	80.77.167.204	kiev-nt-b1-ae5-vlan2044.fiord.net.ua	Russian Federation	60.0000,100.0000
20	80.77.167.251	terabit-gw.fiord.net.ua	Russian Federation	60.0000,100.0000
21	193.41.88.101	tom.univ.kiev.ua	Ukraine,Donets'ka Oblast'	48.6553,37.9925
22	91.202.129.21	slon.univ.kiev.ua	Ukraine,Donets'ka Oblast'	48.6553,37.9925
23	91.202.129.26	rabbit.univ.kiev.ua	Ukraine,Donets'ka Oblast'	48.6553,37.9925
24	91.202.128.77	knu.ua	Ukraine,Donets'ka Oblast'	48.6553,37.9925

Cuadro 5: Tabla de información de geolocalización del camino más probable para el caso de estudio Ucrania. Observar las celdas resaltadas de arriba hacia abajo: (1) indica que comenzamos en Argentina. (2) dice “**crossing-argentina**” lo cual indica que seguimos en Argentina o cerca. (3) dice “**ar1.MIA2**” mientras que las dos anteriores decían “**ar3.eze1**” indicando que algo cambió, la red también cambió (ver la IP) y además este salto corresponde al de mayor RTT. (4) El salto para TTL=8 corresponde al segundo salto de mayor RTT, sin embargo de los datos de geolocalización no podemos inferir que sea un enlace submarino. (5) Recien en el salto 14 aparece en la DNS la palabra “**Paris**” haciendo referencia a Francia (el salto anterior aún decía Estados Unidos en la DNS). (6) En el salto 15 aparece en la DNS la palabra “**Frankfurt**” haciendo referencia a Alemania (observar que aún la geolocalización indica Estados Unidos). (7) Por primera vez la geolocalización cambió de continente. (8) El salto 19 sobresale en cuanto al valor de RTT y además se corresponde con un salto intercontinental (no necesariamente submarino) de Europa a Asia, además observar que la DNS dice “**kiev**” con lo cual podría ser que ya hemos llegado a Ucrania y la geolocalización es errónea. (9) La geolocalización indica Ucrania.

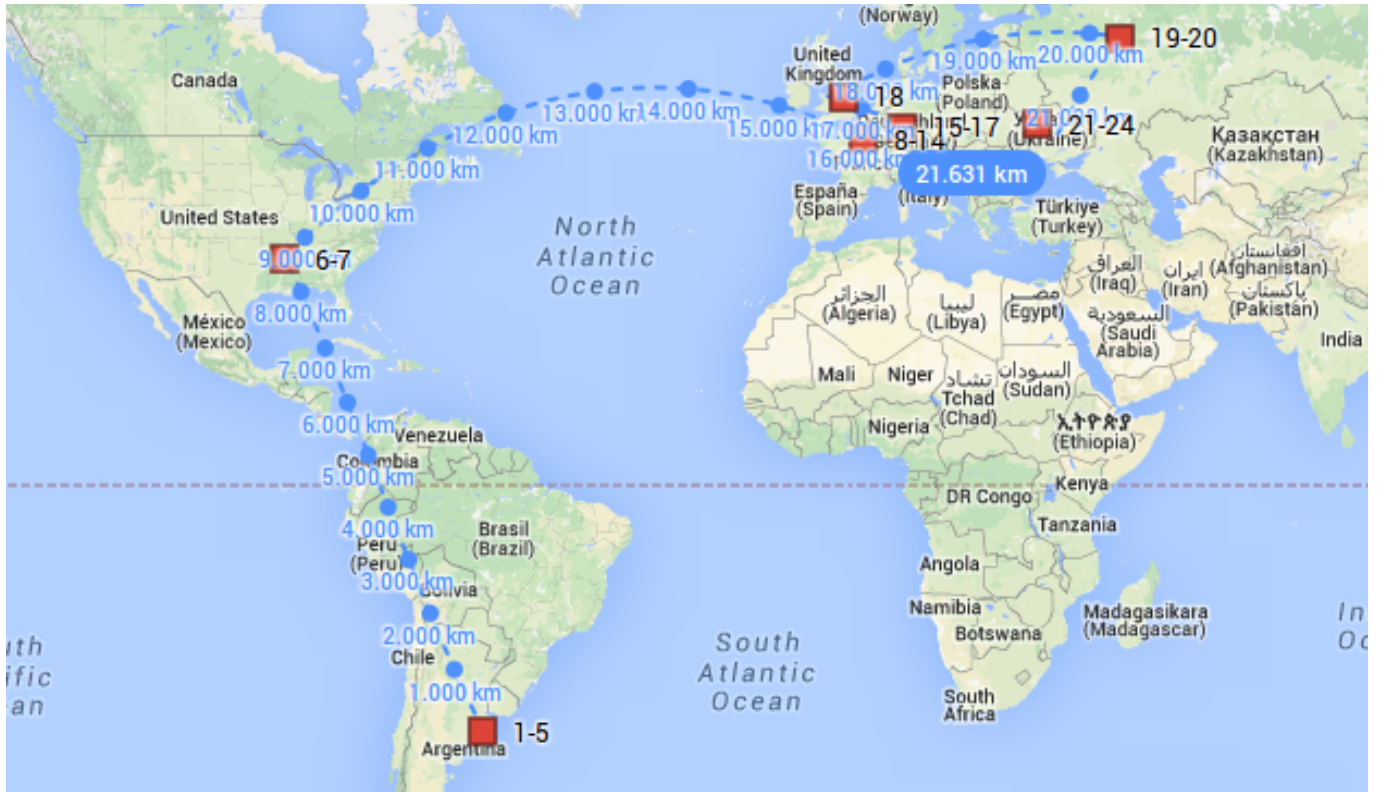


Figura 7: Mapa generado utilizando los datos de la tabla anterior y los valores de RTT_i empíricos.

3.4. Caso de Estudio: Universidad de China

3.4.1. Determinación de Rutas y RTTs de cada salto

Ruta Más Probable: China						
TTL	IP	ICMP	$P(IP TTL)$	RTT_i^{acum} (ms)	1. RTT_i (ms)	2. RTT_i (ms)
0	SRC	TIME_EXC	1.0000	0.0000	0	0
1	192.168.0.1	TIME_EXC	1.0000	16.0652	16.0652	16.0652
2	10.24.128.1	TIME_EXC	1.0000	21.6297	5.5646	5.5646
3	181.47.254.85	TIME_EXC	1.0000	23.8110	2.1813	2.1813
4	208.178.195.214	TIME_EXC	1.0000	26.9648	3.1538	3.1538
5	208.178.195.213	TIME_EXC	1.0000	25.5723	0	0
6	67.16.129.202	TIME_EXC	1.0000	169.5943	142.6295	144.0221
7	64.211.83.226	TIME_EXC	1.0000	171.8539	2.2595	2.2595
8	63.218.56.110	TIME_EXC	1.0000	380.1916	208.3377	208.3377
9	203.188.118.121	TIME_EXC	1.0000	383.8046	3.6130	3.6130
10	203.188.117.34	TIME_EXC	1.0000	376.9112	0	0
11	137.189.192.250	TIME_EXC	1.0000	377.2906	0	0.3793
12	137.189.9.57	TIME_EXC	1.0000	379.8278	0	2.5373
13	137.189.11.73	ECHO_REPLY	1.0000	381.1784	0	1.3506

Cuadro 6: El camino más utilizado para llegar a China. Los encabezados utilizan la notación presentada en las secciones 2.1 y 2.2.

3.4.2. RTTs acumulados y ZRTTs

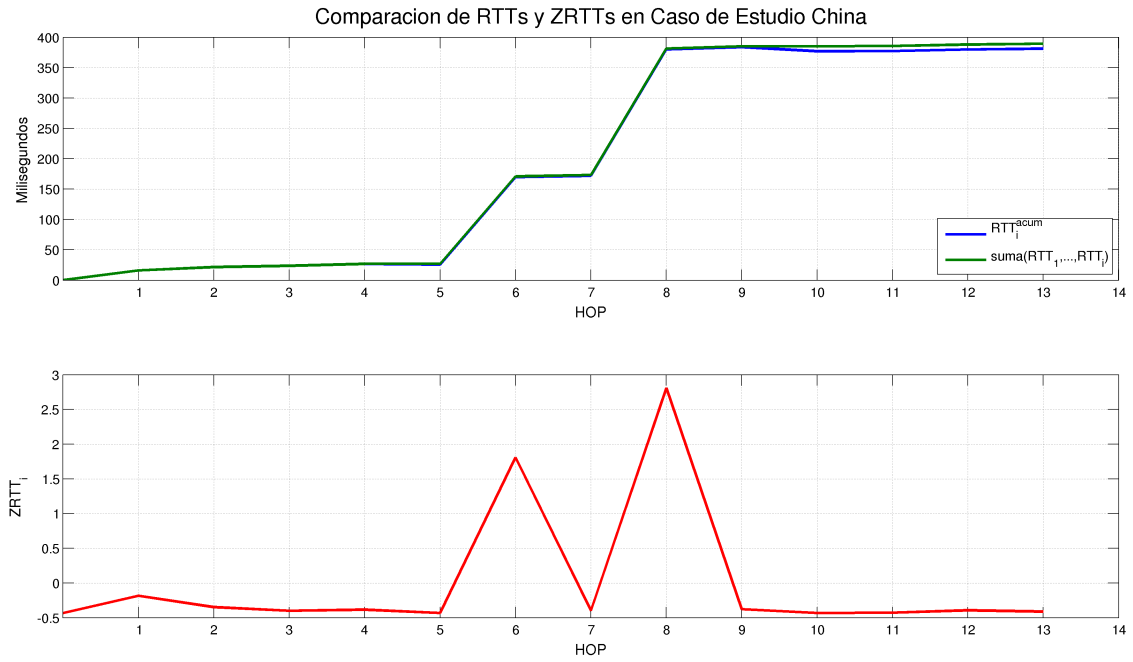


Figura 8: Comparación de RTT_i^{accum} con $\sum_{k=1}^i RTT_k$ y con $ZRTT_i$.

3.4.3. Geolocalización

Geolocalización: China				
TTL	IP	DNS	Ubicación	Lat,Lon
1	192.168.0.1	No encontrada	Reserved	0.0000,0.0000
2	10.24.128.1	No encontrada	Reserved	0.0000,0.0000
3	181.47.254.85	cpe-181-47-254-85.telecentro-reversos.com.ar	Argentina,Entre Ríos	-30.9546,-58.7833
4	208.178.195.214	global-crossing-argentina-s-a.xe-0-3-1.ar3.eze1.gblx.net	United States,Virginia	38.8048,-77.0469
5	208.178.195.213	xe-0-3-1.ar3.eze1.gblx.net	United States,Virginia	38.8048,-77.0469
6	67.16.129.202	po6-50G.ar4.LAX1.gblx.net	United States	38.0000,-97.0000
7	64.211.83.226	PCCW-GLOBAL-INC.TenGigabitEthernet8-1.1200.ar4.LAX1.gblx.net	United States	38.0000,-97.0000
8	63.218.56.110	JUCC.ten0-1-1-2.br04.hkg05.pccwbtn.net	United States,Florida	25.7743,-80.1937
9	203.188.118.121	No encontrada	Hong Kong	22.2500,114.1667
10	203.188.117.34	No encontrada	Hong Kong	22.2500,114.1667
11	137.189.192.250	No encontrada	Hong Kong	22.2500,114.1667
12	137.189.9.57	No encontrada	Hong Kong	22.2500,114.1667
13	137.189.11.73	www.cuhk.edu.hk	Hong Kong	22.2500,114.1667

Cuadro 7: Tabla de información de geolocalización del camino más probable para el caso de estudio China. Observar las celdas resaltadas de arriba hacia abajo: (1) indica que comenzamos en Argentina. (2) dice “crossing-argentina” lo cual indica que seguimos en Argentina o cerca. (3) dice “ar4.LAX1” mientras que las dos anteriores decían “ar3.eze1” indicando que algo cambió, la red también cambió (ver la IP) y además este salto corresponde al de mayor RTT. (4) Este es el segundo salto de mayor RTT, observar que dice “hkg05”, lo cual se puede interpretar como una sigla para “Hong Kong”, además es razonable creer esto porque todos los saltos restantes tienen ubicación en esa ciudad.

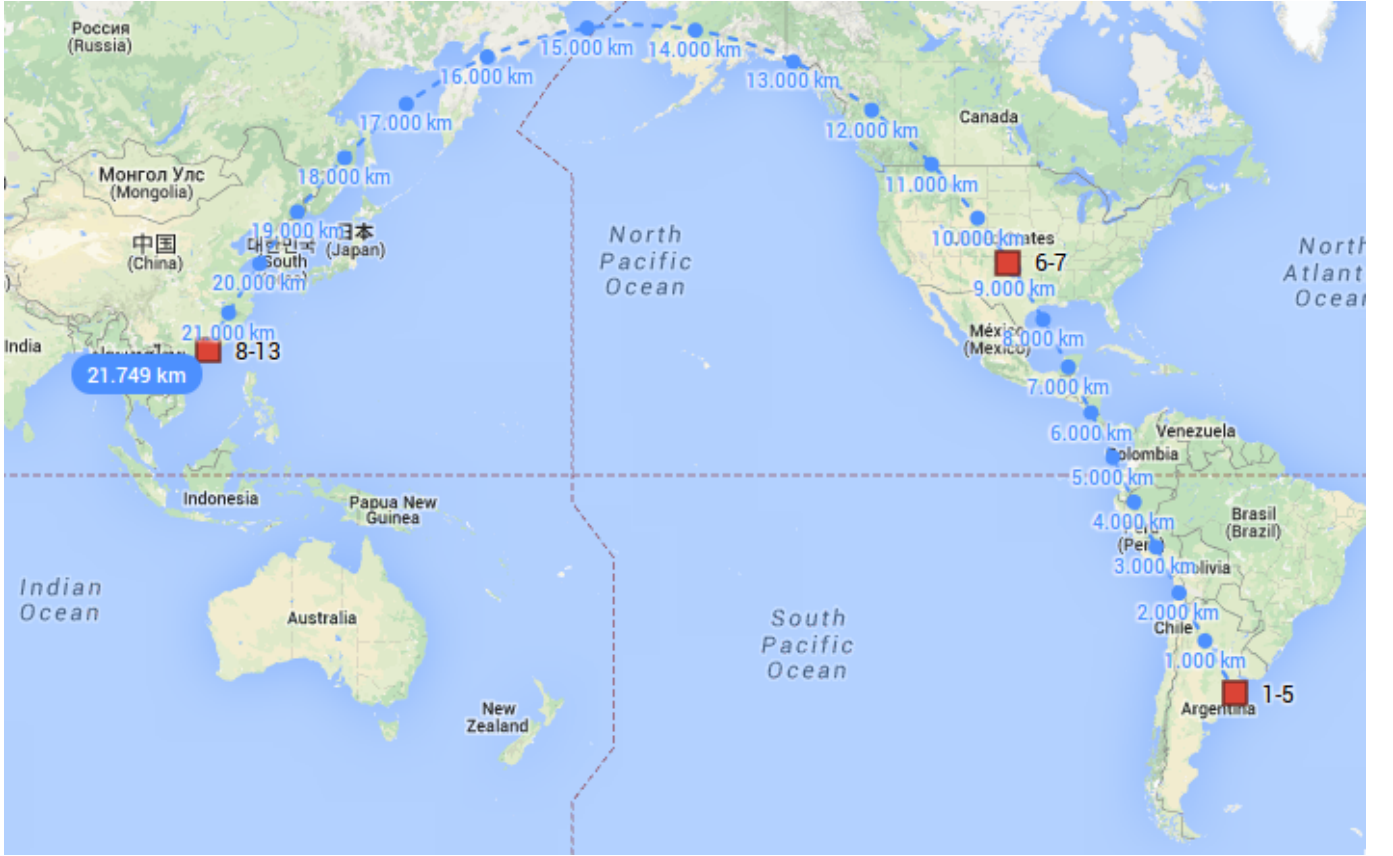


Figura 9: Mapa generado utilizando los datos de la tabla anterior y los valores de RRT_i empíricos.

4. Discusión

4.1. Comparación de técnicas para promediar datos

4.1.1. Universidad de Cambridge

Comparamos las distintas métricas de promedio sobre el camino más probable. Observamos que la media y la media 10-podada tienen picos más pronunciados en los HOPs 6 y 16. Este es un comportamiento no deseado dado que es un valor de RTT acumulado, que debería comportarse como una función creciente. En términos simbólicos:

Esperado: $RTT_{i-1}^{acum} \leq RTT_i^{acum} \leq RTT_{i+1}^{acum}$

Obtenido(picos): $RTT_{i-1}^{acum} \approx RTT_{i+1}^{acum} \ll RTT_i^{acum}$

Es por esto que decidimos descartar estas dos primeras métricas. Por otro lado, decidimos no utilizar la mediana ya que se calcula a partir de 2 de los 1000 valores medidos. Dada la varianza que presentan los valores de RTT, la mediana nos permite eliminar outliers pero también elimina valores importantes necesarios para obtener una mejor aproximación.

Luego entre las tres métricas restantes, elegimos la 30-podada, dado que cualquiera de las tres nos da una buena aproximación de una función creciente.

4.1.2. Universidad de Ucrania

Es idéntico al caso de Cambridge. La media y la mediana las descartamos por las mismas razones y la media 10-podada tiene únicamente un salto muy pronunciado que nos lleva a descartarla (HOP 6). Nuevamente elegimos la media 30-podada de entre las tres restantes.

4.1.3. Unviersidad de China

Nuevamente descartamos la media y la mediana por las mismas razones que Cambridge y en este caso cualquiera de las demás métricas es útil. Elegimos la media 30-podada para ser consistentes con los otros casos de estudio.

4.1.4. Conclusión General de los Promedios

En general se obtienen muchos outliers y por eso la media no es una buena métrica. La mediana como ya vimos ignora la mayoría de los datos. La media 30-podada elimina outliers, pero se queda con varios valores aproximados para luego promediar.

4.2. Caso de Estudio: Universidad de Cambridge

Como se observa en la tabla, todos los saltos poseen probabilidad 1. Con lo cual el camino más “pesado” es probabilísticamente único, es decir que en las 1000 mediciones realizadas los nodos de esta ruta estuvieron activos y estables, pero esto no quita la posibilidad de que existan rutas alternativas.

En cuanto a las dos maneras de calcular los RTT_i , elegimos la segunda porque la cantidad de valores nulos es menor, con lo cual nos provee más información. Además si observamos la Figura 4, al graficar los valores acumulados de estos RTT_i , obtenemos una buena aproximación de los RTT_i^{accum} (calculados directamente de la muestra).

Si observamos el gráfico de $ZRTT_i$, hay claramente dos saltos destacados: 6 y 8. Esto también se deduce del gráfico de los RTT acumulados, donde se produce un incremento pronunciado en los mismos saltos. En cambio si observamos la tabla de geolocalizaciones los enlaces submarinos aparecen en los saltos 6 y 14 (obervar que la DNS del salto 14 es la primera que pasa de Estados Unidos a Inglaterra). Pero los saltos del 7 al 14 según el $ZRTT$ no son destacados, de hecho la variación del RTT es prácticamente nula, con lo cual concluimos que es un error de la geolocalización (los nombre de los dominios 7 a 13 no son del todo precisos). Con lo cual los enlaces submarinos están en 6 y 8, y podemos concluir que un umbral de aceptación de saltos destacados sería de $1 < u < 4$ (destaca a ambos y a ningún otro).

En cuanto al mapa, comparamos las distancias aproximadas en cada enlace submarino con los RTTs:

Enlace	Distancia	Delay= $RTT/2$
5-6	9000 Km	63,94 ms
7-8	6000 Km	45,86 ms

En este caso es clara la proporción con respecto a la distancia (evidentemente los tiempos de encolamiento no afectaron en esa parte del trayecto).

4.3. Caso de Estudio: Universidad de Ucrania

Si analizamos las posibles rutas que pueden tomar los paquetes (3.3.1) podemos observar que todos los saltos poseen probabilidad 1 excepto el número 6. En dicho salto, se puede observar dos posibles caminos que luego se vuelven a juntar en el salto 7. Esto significa que en algún momento de la medición, uno de los nodos estuvo inactivo o sobrecargado con lo cual los paquetes debieron ser transmitidos al otro. Por otro lado, el nodo del salto 7 posee probabilidad 1, por lo tanto podemos afirmar que ambos nodos del salto 6 están conectados con el del 7.

Una vez analizado esto, generamos el camino mas utilizado para llegar a Ucrania y comparamos las dos formas de medir los RTT_i (3.3.1) Si observamos la tabla, podemos concluir que la segunda manera de calcular los RTT_i nos provee mayor información ya que posee menos valores nulos.

Al comparar el gráfico de $ZRTT_i$ (Figura: 6) con la tabla y los gráficos de geolocalización (3.3.3), podemos notar que nuestro camino debe realizar 4 saltos que demandan mucho más tiempo que los demás. Dichos saltos son el 6, 8, 19 y 22.

TTL	Distancia	Delay= $RTT/2$
6	9000 Km	64,44 ms
8	6000 Km	53.72 ms
19	2000 Km	14.19 ms
22	0 Km	6.96 ms

El salto 6 es el de mayor $ZRTT$ y esto se debe a que es un enlace submarino que recorre aproximadamente 9.000 km. En el caso del 8, también es un enlace submarino que en este caso conecta dos continentes (América con Europa). Dicho enlace tiene menor $ZRTT$, lo cual puede deberse tanto a la distancia del enlace como al tiempo de encolamiento de los paquetes. Si tomamos como parametro el enlace 6, entonces podriamos decir que pese a que el 8 recorre una gran distancia, tambien demora mucho en responder los $TIME - EXCEEDED$. Al observar la geolocalización del salto 19, podemos notar que realiza mas de 2.000 km lo cual explicaría porque su $ZRTT$ se destaca de los demás. Por ultimo, el 22 es un salto que posee un

$ZRTT$ destacado pero a la vez no recorre demasiada distancia. Esto nos lleva a pensar que el enlace posee mucha demora de encolamiento para los paquetes $TIME - EXCEEDED$

Por lo tanto, los enlaces submarinos son el 6 y el 8 y podemos destacarlos usando un umbral $2 < u < 4$

4.4. Caso de Estudio: Universidad de China

Observando el Cuadro 6, la cantidad de valores nulos para RTT_i calculados usando la opción 2 es mucho menor que los de la opción 1, con lo cual para el resto del análisis utilizamos esos valores por aportar más información.

Este caso es similar a Cambridge ya que encontramos una única ruta con probabilidad 1. Observemos además que el camino a China tiene menos saltos que el camino a Cambridge, sin embargo el último RTT acumulado es más de 100 ms superior al de Cambridge: Esto es porque la distancia recorrida es mayor, es decir que tenemos menos routers pero enlaces más largos.

Observando el gráfico de $ZRTT_i$, rápidamente encontramos que los saltos 6 y 8 se destacan mucho comparados con los demás. Esto es consistente con los valores acumulados de los RTT_i . De los tres casos de estudio este es el mejor condicionado (a simple vista las operaciones realizadas sobre los datos no arrastraron outliers).

La geolocalización corrobora todos los valores empíricos calculados previamente: no fue necesario utilizar los valores de RTT_i o $ZRTT_i$ para construir el mapa, tan sólo con los datos de la tabla (DNS y geolocalización del servicio web) pudimos construirlo y ser consistentes con el resto del análisis. Por lo tanto, los enlaces submarinos son 6 y 8 y podemos destacarlos usando un umbral $0 < u < 3$ (no destaca otros). Si comparamos las distancias, tenemos que:

Enlace	Distancia	Delay= $RTT_i/2$
5-6	9000 Km	72 ms
7-8	12800 Km	104,17 ms

Nuevamente se verifica que la distancia es proporcional al delay del enlace.

5. Conclusiones

Si comparamos las rutas que obtuvimos para llegar tanto a Cambridge como a la universidad de Ucrania, podemos observar que el camino hasta Estados Unidos es el mismo en ambos casos. Por otro lado, la primera IP que se encuentra localizada en dicho país no es siempre la misma ya que esta varió en tres ocasiones. Una vez que llegamos a Estados Unidos, el camino hasta Europa también es el mismo en ambos casos. Al analizar las DNS de ambas rutas, podemos notar que la mayoría de estas pertenecen a la empresa Level3². Dicha empresa posee una red troncal de Internet de Tier 1

Como se observa en los tres casos de estudio, la distancia es proporcional al delay. Esto nos lleva a pensar que si la distancia que recorre un enlace es muy grande, el tiempo de encolamiento en el router es despreciable.

En cuanto al umbral de $ZRTT$ para detectar enlaces submarinos, obtuvimos:

- Cambridge: $1 < u < 4$
- Ucrania:
- China: $0 < u < 3$

Con lo cual suponemos que podemos tomar un umbral $u \in (1, 3) \subseteq \mathbb{R}$ para detectar enlaces submarinos usando Z -scores. Esto lo determinamos tomando la cota inferior más grande (en ninguno de los tres casos destaca un enlace que no es submarino) y la cota superior más chica (en todos los casos detectará al menos los saltos submarinos).

TENDRIAMOS QUE DECIR QUE ESTO PASA PORQ SALIMOS DE TELECENTRO Y ESTA LEVEL 3 EN EL MEDIO

²<http://www.level3.com/es/>

6. Bibliografía

- [1] <http://plotip.com/>, <http://www.geoiptool.com/es/>, <http://freegeoip.net/>.
- [2] <https://maps.google.com.ar>
- [3] RFC 791: Internet Protocol (version 4).
- [4] Peterson, Davie. *Computer Networks: A Systems Approach*. 3ra Edición. Sección 6.5.3 (Congestión - Calidad de Servicio - Servicios Diferenciados).