

Robustness Metrics for Network Analysis

Fernando Morales
Departamento de
Ciencias de la Computación
NIC Chile Research Labs
Universidad de Chile
fernando@niclabs.cl

Abstract

The Internet nowadays is vital for work and government, Chile is not an exception. Its slim and extended shape does not allow redundancy in its networks, hence subject to hazards like earthquakes or avalanches. To obtain a clear vision about these risks, the robustness of the network infrastructure must be properly measured. This work pretends to perform an exhaustive review of the scientific literature about robustness metrics in complex networks. Afterwards, a metric and improvements recommendations will be presented.

1. Introducción

Chile es un país altamente sísmico con una geografía diversa, cuya larga y estrecha forma no hace natural el tener infraestructura de telecomunicaciones redundante. La enorme mayoría de las fibras ópticas que interconectan el país pasan a metros de la Ruta 5 (Figura 1), y la probabilidad de cortes masivos son demasiado altas. En varias emergencias ya sean naturales o artificiales, el país ha presenciado como el servicio de Internet y telefónico se ve interrumpido sin aviso en grandes superficies del territorio, dejando aislados a miles de compatriotas.

Actualmente, la ciudadanía, el gobierno y las empresas se han ido volviendo cada vez más dependientes

Copyright © 2016 by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes. This volume is published and copyrighted by its editors.

This work was partially funded by CORFO 15BPE-47225: "Estudio y recomendaciones sobre la resiliencia de la infraestructura del internet chileno".

¹<http://www.mapas.mop.cl>



Figura 1: Mapa de rutas de Chile¹.

de la infraestructura Internet (En el 2015, la penetración de Internet en Chile alcanza los 64,2 accesos por cada 100 habitantes²), y la enorme penetración de las redes sociales la hace una infraestructura crítica para los casos de emergencia. Idealmente, la Internet debería estar disponible y operativa el 100% del tiempo, incluso durante un gran desastre, de modo que la gente logre comunicarse, tranquilizarse y organizarse sin espacio para el pánico que genera el no tener noticias de nuestros seres queridos.

Subtel ha hecho grandes esfuerzos financiando proyectos de telecomunicaciones en todo el país, sin embargo la necesidad de la población no solo es tener conectividad en tiempos normales, sino que esta sea robusta, que resista con cierto grado de certeza las in-

²<http://www.subtel.gob.cl/estudios-y-estadisticas/internet/>

clemencias propias de nuestra naturaleza. Dado este contexto, es importante estudiar la robustez de nuestra red. En el año 2015 la CORFO aprobó un proyecto que planea estudiar y evaluar la robustez de la infraestructura de la Internet chilena. Dentro de los alcances de este proyecto, se pretende desarrollar una métrica basada en teoría de grafos para medir matemáticamente qué tan robusta es la Internet chilena y, en base a esos resultados, proponer mejoras para que nuestro país entero este más preparado para emergencias.

En el ámbito científico, bajo el tópico de las *redes complejas*, se han desarrollado diversas métricas que miden de alguna forma en particular la robustez de una red [MKF⁺06, DC04, Fre77, DH07, EK10]. Pero todavía no existe una visión global completa y clara de éstos indicadores. Existen estudios que resumen parcialmente estas métricas, pero todavía ningún estudio realiza un mapeo a través de varios temas o aplicaciones grandes de redes complejas. A modo de ejemplo, en el siguiente cuadro se muestran algunas de estas métricas según dos enfoques [SSSK08]. El *clásico*, se basa en la topología y fundamentos matemáticos de teoría de grafos (clique, grado, camino más corto); y el *contemporáneo* se refiere a la habilidad de una red para mantener su flujo total (o degradarse suavemente) ante la eliminación de nodos y aristas, tomando en cuenta los posibles servicios de la red.

Enfoque	Nombre
Clásico	Average Nodal degree ($\langle k \rangle$)
	Node connectivity (κ)
	Link connectivity (ρ)
	Heterogeneity ($\sqrt{\sigma_k^2}/\langle k \rangle$)
	Symmetry ratio ($\epsilon/(D+1)$)
	Diameter (D)
	Average shortest-path length ($\langle l \rangle$)
	Assortativity coefficient (r)
	Average neighbour connectivity ($\frac{k_{nn}}{ v -1}$)
	Clustering coefficient ($\langle C \rangle$)
	Betweenness centrality ($\langle b \rangle$)
	Algebraic connectivity ($\mu_{ v -1}$)
	Average two-Terminal Reliability (A2TR)
Contemporáneo	Elasticity (E)
	Quantitative Robustness Metric (QNRM)
	Qualitative Robustness Metric (QLRM)
	R-value (R)
	Viral Conductance (VC)

Tabla 1: Metricas de robustez divididas según el enfoque clásico y contemporáneo.

Este trabajo de tesis busca, en primer lugar, realizar un *estudio de mapeo sistemático* [Kee07], el cual permita reconocer en la literatura científica: **Qué métricas existen para estudiar la robustez en redes complejas**. A partir de este estudio, se realizará un análisis de la red chilena dada sus características (pocos proveedores de Internet y redes concentradas) presentando una recomendación de las métricas aplicables.

Así el país estará mejor preparado para seguir conectado ante emergencias y desastres de toda índole, además de contar con infraestructura de alta capacidad en sectores que otorguen redundancia en ruteo de datos nacional.

2. Metodología

Con el fin de realizar una revisión imparcial, se desarrolla un protocolo de estudio de mapeo sistemático. Éste consiste en desarrollar una búsqueda objetiva y exhaustiva en la literatura científica acerca de alguna pregunta planteada. En todo protocolo se definen los siguientes pasos:

- Antecedentes.
- Preguntas de estudio.
- Estrategia.
- Criterio(s) de selección de estudio.
- Proceso de selección de estudios.
- Valoración de calidad de los estudios.
- Extracción de datos.
- Análisis de datos.
- Método(s) de publicación de los resultados.

3. Resultados

Como resultado se espera obtener un listado de métricas que permita agruparlas según su origen y aplicación. Cada métrica estará detallada con su nombre, definición, interpretación, aplicación y origen. Esto posibilita una clara visión global para el análisis de la red chilena. Otro resultado son las recomendaciones de las métricas propuesto por el análisis mencionado anteriormente.

Una posible extensión de estos resultados, es evaluar qué tan citada es esta métrica, para medir su popularidad y utilidad.

Nombre	Definición
Supply Availability	Porcentajes de nodos de demanda que tienen acceso al servicio por al menos un nodo de servicio.
Network Connectivity	La cantidad de nodos de la sub-red funcional más grande (es decir, un red la cual todos sus nodos poseen de demanda acceso al servicio).
Best Delivery Efficiency	El recíproco del promedio del largo de cada camino más corto para cada nodo de demanda hacia un nodo de servicio.
Average Delivery Efficiency	El promedio de los inversos del largo de cada camino más corto para cada nodo de demanda hacia todos los nodos de servicio, ajustado por un factor de peso por cada camino.

Tabla 2: Tabla resumen de las métricas basadas en red de servicios.

3.1. Trabajo actual

Se obtuvieron alrededor de 130 resultados positivos en revisión sistemática. Se han estudiado un 33 % de los artículos seleccionados.

A priori, dada la situación chilena, la métrica recomendada priorizará los servicios de la red de manera que el flujo se mantenga con la eliminación de nodos o aristas.

Se destacan unas métricas para el caso chileno basadas en un enfoque de red de servicios. Estas métricas mezclan las nociones de robustez con cobertura de la red. Es decir, que proporción de nodos son abastecidos con el servicio (En nuestro caso, acceso a Internet) y qué tan fácil es bloquear este servicio (mediante eliminación de nodos). Zhao *et al.* [ZKY11] definen 4 métricas bajo este concepto, resumidas en el cuadro 2.

Referencias

- [DC04] Anthony H Dekker and Bernard D Colbert. Network robustness and graph topology. In *Proceedings of the 27th Australasian conference on Computer science-Volume 26*, pages 359–368. Australian Computer Society, Inc., 2004.
- [DH07] Jun Dong and Steve Horvath. Understanding network concepts in modules. *BMC systems biology*, 1(1):24, 2007.
- [EK10] David Easley and Jon Kleinberg. *Networks, crowds, and markets: Reasoning about a highly connected world*. Cambridge University Press, 2010.
- [Fre77] Linton C Freeman. A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, pages 35–41, 1977.
- [Kee07] Staffs Keele. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. In *Technical report, Ver. 2.3 EBSE Technical Report. EBSE*. 2007.
- [MKF⁺06] Priya Mahadevan, Dmitri Krioukov, Marina Fomenkov, Xenofontas Dimitropoulos, Amin Vahdat, et al. The internet as-level topology: three data sources and one definitive metric. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 36(1):17–26, 2006.
- [SSSK08] Ali Sydney, Caterina Scoglio, Phillip Schumm, and Robert E Kooij. Elasticity: topological characterization of robustness in complex networks. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Bio-Inspired Models of Network, Information and Computing Systems*, page 19. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2008.
- [ZKY11] Kang Zhao, Akhil Kumar, and John Yen. Achieving high robustness in supply distribution networks by rewiring. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 58(2):347–362, 2011.