



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

RESILIENCIA DE LA CALIDAD DE SERVICIO DE INTERNET FRENTE A
FALLOS DE LOS NODOS FÍSICOS

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN COMPUTACIÓN

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO EN COMPUTACIÓN

VICENTE DOMINGO CRISTÓBAL VIDELA DONOSO

PROFESORA GUÍA:
IVANA BACHMANN ESPINOZA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
NOMBRE UNO
NOMBRE DOS
NOMBRE TRES

SANTIAGO DE CHILE
2024

Resumen

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Ut enim aequale doleamus animo, cum corpore dolemus, fieri tamen permagna accessio potest, si aliquid aeternum et infinitum impendere malum nobis opinemur. Quod idem licet transferre in voluptatem, ut postea variari voluptas distinguere possit, augeri amplificarique non possit. At etiam Athenis, ut e patre audiebam facete et urbane Stoicos irridente, statua est in quo a nobis philosophia defensa et collaudata est, cum id, quod maxime placeat, facere possimus, omnis voluptas assumenda est, omnis dolor repellendus. Temporibus autem quibusdam et aut officiis debitis aut rerum necessitatibus saepe eveniet, ut et voluptates repudiandae sint et molestiae non recusandae. Itaque earum rerum defuturum, quas natura non depravata desiderat. Et quem ad me accedis, saluto: 'chaere,' inquam, 'Tite!' lictores, turma omnis chorusque: 'chaere, Tite!' hinc hostis mi Albucius, hinc inimicus. Sed iure Mucius. Ego autem mirari satis non queo unde hoc sit tam insolens domesticarum rerum fastidium. Non est omnino hic docendi locus; sed ita prorsus existimo, neque eum Torquatum, qui hoc primus cognomen invenerit, aut torquem illum hosti detraxisse, ut aliquam ex eo est consecutus? – Laudem et caritatem, quae sunt vitae sine metu degendae praesidia firmissima. – Filium morte multavit. – Si sine causa, nollem me ab eo delectari, quod ista Platonis, Aristoteli, Theophrasti orationis ornamenta neglexerit. Nam illud quidem physici, credere aliquid esse minimum, quod profecto numquam putavisset, si a Polyaeno, familiari suo, geometrica discere maluisset quam illum etiam ipsum dedocere. Sol Democrito magnus videtur, quippe homini erudito in geometriaque perfecto, huic pedalis fortasse; tantum enim esse omnino in nostris poetis aut inertissimae segnitiae est aut fastidii delicatissimi. Mihi quidem videtur, inermis ac nudus est. Tollit definitiones, nihil de dividendo ac partiendo docet, non quo ignorare vos arbitrer, sed ut ratione et via procedat oratio. Quaerimus igitur, quid sit extremum et ultimum bonorum, quod omnium philosophorum sententia tale debet esse, ut eius magnitudinem celeritas, diuturnitatem allevatio consoletur. Ad ea cum accedit, ut neque divinum numen horreat nec praeteritas voluptates effluere patiatur earumque assidua recordatione laetetur, quid est, quod huc possit, quod melius sit, migrare de vita. His rebus instructus semper est in voluptate esse aut in armatum hostem impetum fecisse aut in poetis evolvendis, ut ego et Triarius te hortatore facimus, consumeret, in quibus hoc primum est in quo admirer, cur in gravissimis rebus non delectet eos sermo patrius, cum.

dedicatoria.

Agradecimientos

puma

Índice

1. Introducción	1
1.1. Motivación	2
1.2. Hipótesis	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Metodología	4
1.5. Contribuciones	4
1.6. Estructura del trabajo	4
2. Estado del arte	5
2.1. Arquitecturas QoS	5
2.1.1. Mejor Esfuerzo	5
2.1.2. Servicios Integrados	5
2.1.3. Servicios Diferenciados	6
2.2. Métricas QoS	6
2.3. Análisis de robustez de Internet	7
2.4. Simuladores de redes	8
2.5. Estado actual	8
Bibliografía	11
Anexo A. título anexo 1	14

Índice de Tablas

Índice de Ilustraciones

Figura 2.1: El gatito más bello del mundo.	10
---	----

Capítulo 1

Introducción

(revisar al tener las demás cosas claras)

Internet se ha convertido en una necesidad esencial para las personas y organizaciones en todo el mundo, utilizándose a diario para todo tipo de labores. Por lo tanto, garantizar una buena calidad de servicio (QoS) en Internet es un tema crítico en la actualidad. En el contexto de las redes y comunicaciones, QoS se refiere a un conjunto de tecnologías y mecanismos que se utilizan para administrar y mejorar el rendimiento de la red y garantizar la calidad de los servicios y aplicaciones que se ejecutan en ella [1]. Asimismo, la calidad de servicio en Internet es un aspecto fundamental para garantizar una experiencia de usuario satisfactoria [2]. Los usuarios confían en que sus aplicaciones y servicios en línea funcionarán sin problemas y de manera confiable.

Asimismo, recién en los últimos años se ha tomado consciencia de la importancia de proveer calidad de servicio en Internet, debido a la masificación del mismo, en especial con la cantidad de nuevos servicios y productos que son más demandantes sobre las redes, tales como *streaming*, llamadas y conferencias de video, juegos en línea y voz sobre IP, entre otros [1], en conjunto a la creciente tendencia al trabajo remoto.

Actualmente, el protocolo más usado en la capa de red de Internet es IPv4 [3], el cual es descrito en RFC 791 [4]. Es un protocolo no orientado a conexión, que cumple con el principio fin a fin, lo cual significa que la inteligencia y manejo de conexiones va en las puntas de la red, sin un monitoreo central. Este diseño tiene como consecuencia que el Internet es una red que opera por defecto bajo el modelo de Mejor Esfuerzo, lo que se traduce en que no hay garantía de que los paquetes de datos lleguen a su destino a tiempo, o incluso de que siquiera sea entregado.

Junto a lo anterior, la infraestructura física de Internet no es infalible y ataques o fallos en la capa física de Internet producen un cambio en la topología de la red, generando asimismo repercusiones en la capa lógica. Esto anterior ya ha sido estudiado [5], pero no se han explorado los efectos en la degradación en la calidad de servicio de la red, la que se manifiesta de diversas maneras, como retrasos, pérdidas de paquetes y fluctuaciones en el rendimiento.

Es en este contexto que surge la necesidad de abordar y comprender en profundidad cómo medir y cuantificar la degradación en la calidad de servicio de Internet cuando ocurren desconexiones en la capa física. Durante la investigación se estudiará cómo las desconexiones en la capa física pueden impactar en la disponibilidad y el rendimiento de los servicios de Internet, y cómo una comprensión más profunda de este problema puede llevar a soluciones más efectivas. Se espera de esta forma expandir el trabajo de Bachmann [5] y llegar a un mejor entendimiento de las consecuencias de fallas físicas más allá de la misma capa física y lógica de Internet.

En última instancia, el presente trabajo tiene como objetivo motivar la investigación y el desarrollo continuo de métodos y herramientas que permitan evaluar la calidad de servicio de Internet de manera más precisa y eficiente en situaciones en las que los nodos de la capa física se desconectan, para más adelante explorar maneras de mejorar la prestación de servicios.

1.1 Motivación

(está copiado el problema, es similar pero revisar de cambiar la forma en cómo se plantea)

El problema a abordar mediante esta investigación radica en la necesidad crítica de comprender, medir y evaluar la degradación en la calidad de servicio de Internet en situaciones específicas donde los nodos de la red experimentan desconexiones. En la actualidad, Internet se ha convertido en un componente esencial para individuos y organizaciones en todo el mundo, desempeñando un papel fundamental en la vida cotidiana y en el funcionamiento de diversas aplicaciones y servicios críticos.

La resiliencia de Internet, entendida como su capacidad para mantener la calidad de servicio incluso en condiciones desafiantes, se ve comprometida cuando los nodos experimentan desconexiones. Esta situación se traduce en fenómenos perjudiciales como la pérdida de paquetes, retrasos en la transmisión de datos y fluctuaciones en el rendimiento, todos los cuales impactan directamente en la calidad de la experiencia del usuario. La investigación

busca explorar a fondo estas situaciones, clasificando distintos escenarios de desconexión y definiendo métricas específicas para evaluar cómo se manifiesta la degradación en la QoS en cada caso.

La investigación se propone analizar y clasificar diversas situaciones de desconexión, elegir métricas específicas para evaluar la QoS, realizar pruebas realistas en un simulador, y comparar enfoques existentes.

1.2 Hipótesis

Las transiciones de fase que experimenta la capa lógica de Internet están directamente vinculadas con la degradación de la calidad de servicio en la red y la experiencia del usuario. Por lo tanto, es posible predecir el impacto de las desconexiones de nodos en las métricas de calidad del servicio de Internet midiendo el umbral de percolación de la red.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

El objetivo fundamental de este trabajo es investigar y desarrollar técnicas para medir y evaluar la degradación en la calidad de servicio de Internet en situaciones en las que los nodos de la red experimentan desconexiones, buscando la relación entre la variación de las métricas QoS y el umbral de percolación de la red.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Analizar diferentes situaciones y escenarios en los que los nodos de la red pueden experimentar desconexiones, considerando factores como la naturaleza de la desconexión y su duración.
2. Definir las métricas y parámetros a utilizar para evaluar la calidad de servicio durante y después de las desconexiones, incluyendo aspectos como el ancho de banda, la pérdida de paquetes, la latencia y la variabilidad en la latencia.
3. Realizar comparaciones entre diferentes enfoques y técnicas existentes para medir y abordar la degradación de la calidad de servicio durante las desconexiones.
4. Explorar la conexión entre los cambios en las métricas seleccionadas y el umbral de percolación.

5. Contribuir a la mejora de la resiliencia de Internet y a la capacidad de ofrecer servicios consistentes y de alta calidad, incluso en condiciones adversas de desconexión de nodos, expandiendo así el trabajo realizado en la tesis de Bachmann [5].

1.4 Metodología

(buscar cosas bacanes de metodologías existentes y tonteras, y relacionarlo con los objetivos)

1.5 Contribuciones

(redactar como texto y ampliar un poco cada una a un párrafo)

- Proporcionar una visión más precisa y detallada de cómo las desconexiones de nodos impactan en la experiencia del usuario y en el rendimiento de aplicaciones críticas en Internet.
- Definir métricas y parámetros específicos para evaluar la calidad de servicio durante y después de las desconexiones, incluyendo aspectos como el ancho de banda, pérdida de paquetes, latencia y variabilidad en la latencia
- Resultados sobre pruebas y experimentos utilizando datos realistas para simular aplicaciones críticas.
- Entendimiento sobre cómo la degradación de la calidad de servicio varía en función del tamaño y la complejidad de la red, examinando escenarios con diversas topologías.
- Establecimiento de correlación entre el umbral de percolación y la degradación de la calidad de servicio de la red.

1.6 Estructura del trabajo

la tesis está organizada de la siguiente manera:

- capítulo 2 blabla
- capítulo 3 blablabla
- capítulo 4 no existe todavía

Capítulo 2

Estado del arte

(revisar si poner definiciones de conceptos)

Hace más de dos décadas que se discuten maneras de mejorar la calidad de servicio de Internet [6], y las arquitecturas más comunes hoy en día, los Servicios Integrados [7] y Servicios Diferenciados [8, 9], fueron definidos en 1994 y 1998 respectivamente. A pesar de lo anterior, en la actualidad Mejor Esfuerzo sigue siendo la política por defecto para todo el tráfico que va por la capa de transporte [10].

2.1 Arquitecturas QoS

2.1.1 Mejor Esfuerzo

Es el modelo predeterminado utilizado en Internet y no implementa ningún mecanismo de QoS en absoluto. Este no permite la reserva de recursos ni ningún otro mecanismo relacionado con solicitar algún tipo de tratamiento especial a la red. Por esta razón, el modelo Mejor Esfuerzo no funciona muy bien con aplicaciones que tienen demandas de tráfico en tiempo real. En estos casos, con aplicaciones compitiendo por recursos, la calidad de la experiencia del usuario final podría ser muy deficiente si no existe otro mecanismo para gestionar la falta de equidad [11].

2.1.2 Servicios Integrados

Servicios Integrados se basa en flujos, utilizando direcciones IP de origen y destino, así como puertos. Con este modelo, las aplicaciones solicitan una reserva explícita de recursos por flujo. Los dispositivos de red llevan un seguimiento de todos los flujos que atraviesan los nodos, verificando si los nuevos paquetes pertenecen a un flujo existente y si hay suficientes recursos de red disponibles para aceptar el paquete. La escalabilidad de este modelo está

limitada por el alto consumo de recursos en los nodos de red causado por el procesamiento por flujo y el estado asociado [11].

2.1.3 Servicios Diferenciados

Servicios Diferenciados se basa en clases de servicio y comportamientos por salto asociados a cada clase. En este caso, no es necesario que las aplicaciones soliciten explícitamente una reserva de recursos a la red. Se basa en preferencias estadísticas por clase de tráfico. En este modelo, el encabezado IPv4 contiene un byte conocido como «Tipo de Servicio». Los Servicios Diferenciados definen cómo se utiliza este byte y cómo se debe manejar el reenvío de paquetes [11].

2.2 Métricas QoS

En el contexto de este trabajo, las métricas se refieren al área de redes, específicamente a la QoS, donde una métrica se define como un valor cuantitativo sobre cualquier aspecto de la red que permite estudiar su comportamiento. Dependiendo de cómo y dónde se calcule una métrica, es posible estudiar diferentes aspectos de los mismos datos [12].

Para este trabajo se identificaron las métricas más comunmente utilizadas en la literatura, según diversas fuentes [6, 10, 11, 13, 14], las cuales permiten evaluar la calidad de servicio durante condiciones normales (i.e. sin desconexiones) y luego de generar fallas en los nodos. Las métricas seleccionadas fueron las siguientes:

- **Ancho de banda:** Tasa máxima de transferencia de datos que se puede mantener entre dos puntos finales. Cabe señalar que esto está limitado no solo por la infraestructura física de la ruta de tráfico dentro de las redes de tránsito, que establece un límite superior para el ancho de banda disponible, sino que también está limitado por la cantidad de otros flujos que comparten componentes comunes de esta ruta seleccionada de extremo a extremo [6].
- **Retardo:** Se define como el tiempo que tarda un paquete en viajar desde la fuente hasta el destino a través de la red [10].
- **Variabilidad (*jitter*):** Variación en el retardo de tránsito de extremo a extremo. Niveles altos de *jitter* causan que el protocolo TCP haga estimaciones muy conservadoras del tiempo de ida y vuelta (RTT), lo que provoca que el protocolo opere de manera ineficiente cuando recurre a los tiempos de espera para restablecer un flujo de datos [6].
- **Tasa de pérdida:** Presenta la cantidad de paquetes no entregados respecto al total enviados.

- **Capacidad de transmisión (*throughput*):** Es una medida del número de paquetes de datos enviados o recibidos a través de la red. Puede definirse como el ancho de banda real disponible para una red, medido en bits por segundo (bps). Con el aumento de la latencia de red, la capacidad de transmisión de la red disminuye [14].
- **Disponibilidad de la red:** Porcentaje de tiempo, en un intervalo de tiempo específico, durante el cual un servidor, servicio en la nube u otra máquina puede utilizarse para el propósito para el cual fue diseñado y construido originalmente [15].

2.3 Análisis de robustez de Internet

Un ataque o fallo corresponde al daño experimentado por una red. Este daño puede dirigirse a nodos o enlaces específicos, o ser aleatorio [16, 17]. Los elementos dañados generalmente se consideran eliminados de la red. Si un nodo es eliminado por un ataque, se asume que todos sus enlaces e interconexiones asociados también se eliminan.

Teniendo en cuenta lo anterior, se llevó a cabo una investigación que se fundamenta en modelos inspirados en la actual estructura de Internet, permitiendo analizar las implicaciones que distintos tipos de ataques o fallos en la red física pueden tener sobre el sistema. En paralelo, se diseñaron herramientas específicas que posibilitan representar de manera precisa el impacto que catástrofes naturales, como terremotos o tsunamis, ejercen sobre las redes. El objetivo principal de este trabajo fue comprender la interacción entre el efecto de percolación y los procesos de enrutamiento de Internet. Esta fase profundiza en los detalles del proceso de percolación experimentado por la red de Internet cuando se modela como una red interdependiente físico-lógica, comparándola con resultados previos obtenidos al analizar el comportamiento promedio del sistema [5].

En el contexto de las redes complejas (una red que presenta una topología no trivial [18]), la teoría de la percolación se utiliza como un marco teórico para estudiar la propagación de fallos o fallos en cascada [19]. En el contexto de estudios de percolación, $(1 - p)$ es la probabilidad de que un nodo se desconecte de su red (es decir, falle). El **umbral de percolación**, generalmente denotado por p_c , representa el valor crítico en el cual, si $p < p_c$, no es posible identificar un componente gigante conectado en el sistema. Aquí, cuanto menor sea el valor de p_c , se considera que el sistema es más robusto, ya que esto implica un valor más alto de $(1 - p_c)$. La interpretación de la robustez de esta métrica es que un p_c más bajo significa que es posible desconectar una mayor cantidad de nodos antes de llegar al punto de colapso del sistema. Al estudiar la percolación de un sistema interdependiente, pueden ocurrir transiciones de fase de primer y segundo orden. Las transiciones de fase de primer orden representan un colapso abrupto del sistema a medida que $(1 - p)$ aumenta.

Las transiciones de fase de segundo orden representan un decaimiento continuo del sistema donde no se puede detectar un colapso abrupto.

2.4 Simuladores de redes

Para llevar a cabo las simulaciones, se investigó sobre los programas utilizados en la literatura. En su mayoría, no se proporciona información detallada sobre cómo se ejecutaron las simulaciones ni sobre los datos utilizados. A continuación, se presenta la información recopilada por el autor, excluyendo aquellos que carecían de detalles al respecto:

- **Brite:** Este programa se utilizó para generar topologías, pero lamentablemente está obsoleto y sin soporte por parte de sus desarrolladores [20–22].
- **OPNET Modeler:** Aunque es un simulador bastante completo con diversas funcionalidades útiles, su acceso requiere pago, lo que lo excluye para su uso por parte del autor [23, 10].
- **ns-2:** Este simulador de eventos discretos, de código abierto, ha sido utilizado para estudiar redes. Aunque actualmente está obsoleto, existe una versión actualizada llamada ns-3, también de código abierto, que se puede considerar como alternativa [21, 24].
- **BGP++:** Es una implementación de BGP que se basa en ns-2 y resulta bastante útil para los objetivos de este trabajo, pero lamentablemente no se pudo encontrar información detallada al respecto [25].

Después de la investigación, se tomó la decisión de utilizar el simulador ns-3 [26], el cual se adapta de manera significativa a las necesidades que puedan surgir a lo largo de la investigación.

2.5 Estado actual

A lo largo de los años se han planteado diversas técnicas para medir, monitorear y mejorar la calidad de servicio en redes [11, 13, 21], sin embargo, estas soluciones tienden a enfocarse en situaciones de operación normal de la red. Asimismo, las simulaciones realizadas suelen ser bastante simplistas, sin considerar la complejidad de las redes reales, como son los casos de estudio de evaluación de rendimiento en redes de siguiente generación [10] y comparación de arquitecturas QoS para IPv4 e IPv6 [23].

No obstante, hasta donde sabe el autor de este documento, no se han efectuado trabajos hasta el momento acerca de la degradación de la calidad de servicio de Internet en relación con el efecto de percolación que experimenta la red. A pesar de los numerosos estudios y técnicas desarrolladas para mejorar la QoS en condiciones normales de operación de la red

[10, 23, 27], no se ha dedicado suficiente atención a comprender cómo las desconexiones y transiciones de fase que sufre la topología afectan la experiencia del usuario.

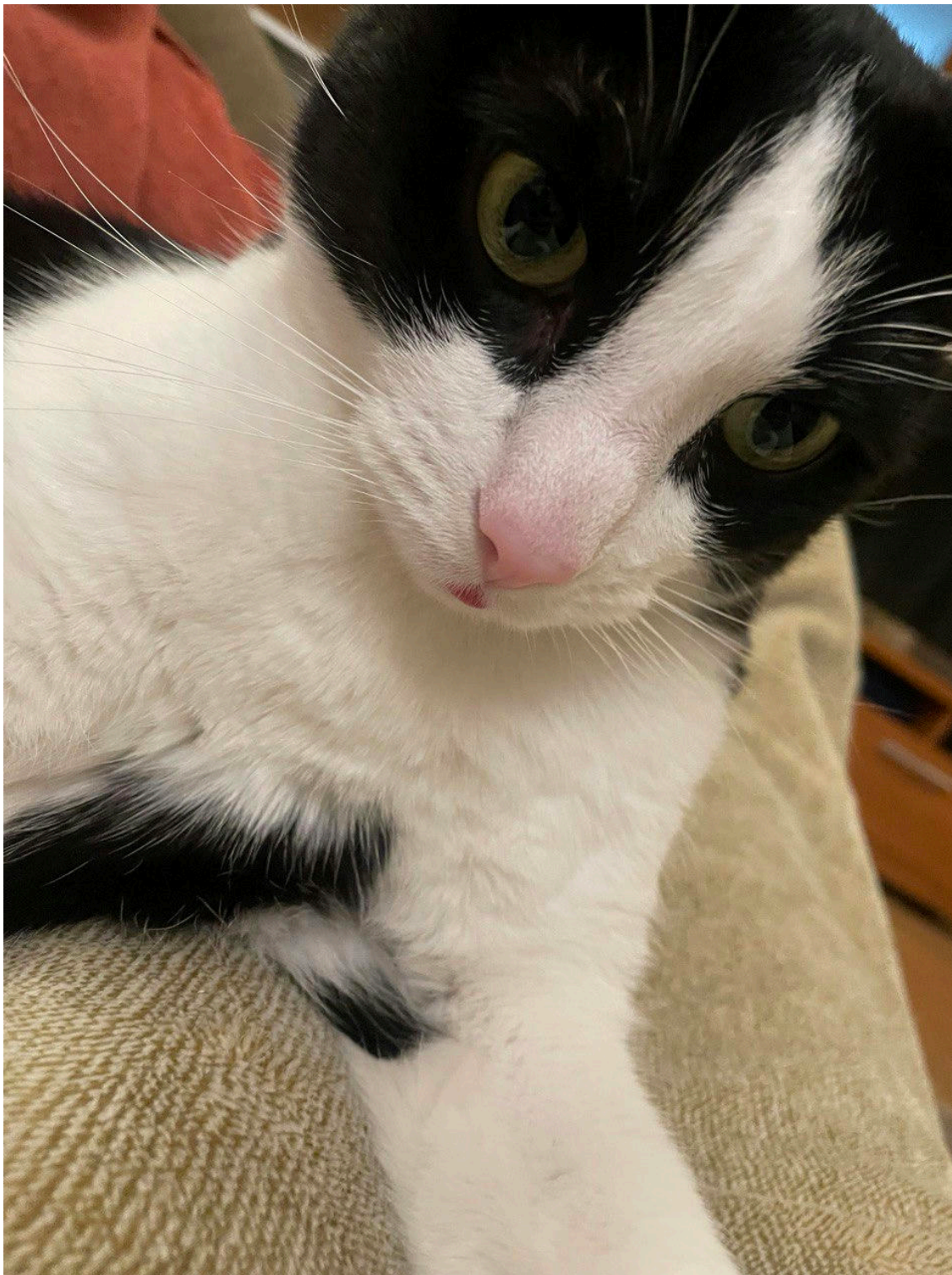


Figura 2.1: El gatito más bello del mundo.

Bibliografía

- [1] Fortinet, «What is Quality of Service (QoS) in Networking?». Accedido: 8 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/qos-quality-of-service>
- [2] I.-T. P. department, «Definitions of terms related to quality of service». Accedido: 8 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.800-200809-I/en>
- [3] «BGP Analysis Reports». Accedido: 8 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bgp.potaroo.net/index-bgp.html>
- [4] «Internet Protocol». [En línea]. Disponible en: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc791>
- [5] I. F. Bachmann Espinoza, «Methods based on interdependent networks to analyze the robustness of the internet», 2022, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/189099>
- [6] P. Ferguson y G. Huston, «Quality of service in the internet: Fact, fiction, or compromise?», *AUUGN 1998*, pp. 231-256, 1998.
- [7] R. T. Braden, D. D. D. Clark, y S. Shenker, «Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview». [En línea]. Disponible en: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc1633>
- [8] F. Baker, D. L. Black, K. Nichols, y S. L. Blake, «Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers». [En línea]. Disponible en: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc2474>
- [9] D. L. Black, Z. Wang, M. A. Carlson, W. Weiss, E. B. Davies, y S. L. Blake, «An Architecture for Differentiated Services». [En línea]. Disponible en: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc2475>
- [10] F. Bensalah, A. Bahnasse, y M. El Hamzaoui, «Quality of Service Performance Evaluation of Next-Generation Network», en *2019 2nd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS)*, 2019, pp. 1-5. doi: 10.1109/CAIS.2019.8769576.
- [11] X. Xiao y L. Ni, «Internet QoS: a big picture», *IEEE Network*, vol. 13, n.º 2, pp. 8-18, 1999, doi: 10.1109/65.768484.

- [12] T. Braun, M. Diaz, J. Gabeiras, y T. Staub, *End-to-End Quality of Service Over Heterogeneous Networks*. Springer Berlin Heidelberg, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.cl/books?id=ajnpzZOOVUGC>
- [13] P. Levis, M. Boucadair, P. Morand, y P. Trimintzios, «The Meta-QoS-Class concept: a step towards global QoS interdomain services», en *Proc. IEEE, SoftCOM*, 2004.
- [14] M. Singh y G. Baranwal, «Quality of Service (QoS) in Internet of Things», en *2018 3rd International Conference On Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU)*, 2018, pp. 1-6. doi: 10.1109/IoT-SIU.2018.8519862.
- [15] S. Gridelli, «How to calculate network availability?». Accedido: 8 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://netbeez.net/blog/how-to-calculate-network-availability/>
- [16] S. Watanabe y Y. Kabashima, «Cavity-based robustness analysis of interdependent networks: Influences of intranetwork and internetwork degree-degree correlations», *Phys. Rev. E*, vol. 89, n.º 1, p. 12808-12809, ene. 2014, doi: 10.1103/PhysRevE.89.012808.
- [17] W. K. Chai, V. Kyritsis, K. V. Katsaros, y G. Pavlou, «Resilience of interdependent communication and power distribution networks against cascading failures», en *2016 IFIP Networking Conference (IFIP Networking) and Workshops*, 2016, pp. 37-45. doi: 10.1109/IFIPNetworking.2016.7497224.
- [18] G. Caldarelli, «Complex Networks: Principles, Methods and Applications by Vito Latora, Vincenzo Nicosia and Giovanni Russo», *Journal of Complex Networks*, vol. 6, n.º 5, p. 830-831, 2018, doi: 10.1093/comnet/cnx062.
- [19] D. Stauffer y A. Aharony, *Introduction to percolation theory*. CRC press, 2018.
- [20] L. Xiao, K.-S. Lui, J. Wang, y K. Nahrstedt, «QoS extension to BGP», en *10th IEEE International Conference on Network Protocols, 2002. Proceedings.*, 2002, pp. 100-109. doi: 10.1109/ICNP.2002.1181390.
- [21] D. Griffin *et al.*, «Interdomain routing through QoS-class planes [Quality-of-Service-Based Routing Algorithms for Heterogeneous Networks]», *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, n.º 2, pp. 88-95, 2007, doi: 10.1109/MCOM.2007.313401.
- [22] T. Zhang, Y. Cui, Y. Zhao, L. Fu, y T. Korkmaz, «Scalable BGP QoS Extension with Multiple Metrics», en *International conference on Networking and Services (ICNS'06)*, 2006, p. 80-81. doi: 10.1109/ICNS.2006.96.
- [23] H. Al-Fayyadh y M. Koyuncu, «Comparison of QoS architectures for VoIP traffics in IPv4 and IPv6», en *2016 IEEE 10th International Conference on Application of*

- Information and Communication Technologies (AICT)*, 2016, pp. 1-5. doi: 10.1109/ICAICT.2016.7991734.
- [24] M. Yuksel, K. K. Ramakrishnan, S. Kalyanaraman, J. D. Houle, y R. Sadhvani, «Value of Supporting Class-of-Service in IP Backbones», en *2007 Fifteenth IEEE International Workshop on Quality of Service*, 2007, pp. 109-112. doi: 10.1109/IWQOS.2007.376555.
- [25] L. Benmohamed, B. Doshi, T. DeSimone, y R. Cole, «Inter-domain routing with multi-dimensional QoS requirements», en *MILCOM 2005 - 2005 IEEE Military Communications Conference*, 2005, pp. 265-271. doi: 10.1109/MILCOM.2005.1605696.
- [26] «ns-3 Network Simulator». Accedido: 8 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.nsnam.org/>
- [27] G. Bianchi, «Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, n.º 3, pp. 535-547, 2000, doi: 10.1109/49.840210.

Anexo A

titulo anexo 1

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Ut enim aeque doleamus animo, cum corpore dolemus, fieri tamen permagna accessio potest, si aliquod aeternum et infinitum impendere malum nobis opinemur. Quod idem licet transferre in voluptatem, ut postea variari voluptas distinguere possit, augeri amplificarique non possit. At etiam Athenis, ut e patre audiebam facete et urbane Stoicos irridente, statua est in quo a nobis philosophia defensa et collaudata est, cum id, quod maxime placeat, facere possimus, omnis voluptas assumenda est, omnis dolor repellendus. Temporibus autem quibusdam et aut officiis debitis aut rerum necessitatibus saepe eveniet, ut et voluptates repudiandae sint et molestiae non recusandae. Itaque earum rerum defuturum, quas natura non depravata desiderat. Et quem ad me accedis, saluto: 'chaere,' inquam, 'Tite!' lictores, turma omnis chorusque: 'chaere, Tite!' hinc hostis mi Albucius, hinc inimicus. Sed iure Mucius. Ego autem mirari satis non queo unde hoc sit tam insolens domesticarum rerum fastidium. Non est omnino hic docendi locus; sed ita prorsus existimo, neque eum Torquatum, qui hoc primus cognomen invenerit, aut torquem illum hosti detraxisse, ut aliquam ex eo est consecutus? – Laudem et caritatem, quae sunt vitae sine metu degendae praesidia firmissima. – Filium morte multavit. – Si sine causa, nollem me ab eo delectari, quod ista Platonis, Aristoteli, Theophrasti orationis ornamenta neglexerit. Nam illud quidem physici, credere aliquid esse minimum, quod profecto numquam putavisset, si a Polyaeno, familiari suo, geometrica discere maluisset quam illum etiam ipsum dedocere. Sol Democrito magnus videtur, quippe homini erudito in geometriaque perfecto, huic pedalis fortasse; tantum enim esse omnino in nostris poetis aut inertissimae segnitiae est aut fastidii delicatissimi. Mihi quidem videtur, inermis ac nudus est. Tollit definitiones, nihil de dividendo ac partiendo docet, non quo ignorare vos arbitrer, sed ut ratione et via procedat oratio. Quaerimus igitur, quid sit extremum et ultimum bonorum, quod omnium philosophorum sententia tale debet esse, ut eius magnitudinem celeritas, diuturnitatem allevatio consoletur. Ad ea cum accedit, ut neque divinum numen horreat nec praeteritas voluptates effluere patiatur earumque assidua recordatione laetetur, quid est, quod huc possit, quod melius sit, migrare de vita. His rebus instructus semper est in voluptate esse aut in armatum hostem impetum fecisse aut in poetis evolvendis, ut ego et Triarius te hortatore facimus, consumeret, in quibus hoc primum est in quo admirer, cur in gravissimis rebus non delectet eos sermo patrius, cum.