

ANÁLISIS DE DESEMPEÑO Y EVALUACIÓN DEL PROTOCOLO TCP EN REDES HETEROGÉNEAS

Carlos A. Talay¹, Marycarmen Díaz Labrador¹, Franco A. Trinidad¹, Claudia N. González¹,
Diego R. Rodríguez Herlein¹, Luis A. Marrone²
(ctalay, cgonzalez, dherlein)@uarg.unpa.edu.ar, marydl920911@gmail.com, talejandro.franco@gmail.com
lmarrone@linti.unlp.edu.ar

1 Campus Universitario – oficina 18/ Dpto. Ciencias Exactas e Informática UARG / UNPA
2 L.I.N.T.I. – Universidad Nacional de La Plata, Calle 50 y 115 – 1er. Piso – Edificio Bosque Oeste

CONTEXTO

Las actividades realizadas están enmarcadas dentro de los proyectos de investigación 29/A451 “Análisis del comportamiento de protocolos de la capa de transporte en redes con enlaces inalámbricos”, continuación de los proyectos 29/A396 “Evaluación de desempeño del protocolo TCP en topologías mixtas cableadas-inalámbricas” y 29/A358-1 “Análisis de performance del protocolo TCP utilizado en redes móviles”, todos ellos radicados en la Unidad Académica Río Gallegos. El proyecto está compuesto mayoritariamente de docentes y alumnos de la UNPA-UARG, dirigido por el Sr. Carlos A. Talay y cuenta como Co-director al Sr. Luis A. Marrone perteneciente a la UNLP. Por último podemos decir que estos proyectos fueron financiados íntegramente con fondos destinados a proyectos de investigación de la UNPA-UARG.

RESUMEN

En el presente artículo se realiza una caracterización y breve revisión de los más importantes resultados obtenidos en los últimos 5 años, correspondientes a proyectos de investigación desarrollados por un grupo de docentes-investigadores y alumnos de la UNPA, y la UNLP, sobre el análisis y evaluación del desempeño del protocolo TCP en redes heterogéneas. Para ello se exponen los conceptos básicos de las hipótesis que generaron el desarrollo de los proyectos y también se realiza un recuento de la principal documentación generada a lo largo de la investigación.

Palabras clave: TCP, Desempeño, Evaluación, Redes heterogéneas.

1. INTRODUCCION

Los proyectos que se abarcan en este artículo responden al interés por realizar un análisis del desempeño y la evaluación de los protocolos de la capa de transporte, en particular las variantes del Protocolo de Control de Transmisión (TCP), cuando éste se desempeña en redes con topologías heterogéneas, con distintos requerimientos de tráfico.

La capa de transporte tiene como función principal establecer una comunicación entre dos aplicaciones y controlar la transmisión de datos entre ellas. Esto implica generar una transferencia de datos de extremo a extremo para múltiples aplicaciones, realizar una eventual segmentación de los datos en el transmisor y

reensamblado en el receptor, asegurando que los datos sean recibidos en el mismo orden y sin errores.

Por otra parte, la transmisión de las nuevas tecnologías está enfocada en la eficacia del flujo de datos, lo que permite tener una tasa baja de errores ya que están basadas fundamentalmente en la detección de paquetes perdidos. Bajo estas condiciones los protocolos estiman cuando hay congestión en la red y activan sus algoritmos de control de congestión, sin embargo la pérdida de paquetes no solo es ocasionada por la congestión y por tanto no correspondería activar los mecanismos de control de congestión. Este es un serio problema que reduce la tasa de envío de datos, fundamentalmente en redes heterogéneas.

Es así que planteando ensayos con distintos escenarios y condiciones de transmisión de datos, se puede observar y evaluar como optimizar en control de flujo. Para ello se han evaluado las principales variantes del protocolo TCP, entre ellos Reno, Vegas, New Reno, Cubic, Westwood, High Speed, etc., sobre diferentes topologías. En estos ensayos se somete a las distintas variantes del protocolo TCP al funcionamiento en condiciones extremas, como por ejemplo corte de servicio, errores de ráfaga, o competencia por la coexistencia sobre un mismo canal de datos, entre otras, y analizar cómo estas condiciones de funcionamiento afectan el throughput, Delay, Round Trip Time y el tamaño de la Ventana de Congestión. De esta manera y a través del análisis de estos parámetros, podemos evaluar el desempeño y eventualmente ajustar los mecanismos de control de congestión para que la respuesta de esa variante de TCP sea óptima.

2. LINEAS DE INVESTIGACION y DESARROLLO

La línea fundamental de estudio fue el comportamiento de distintas variantes del protocolo TCP en escenarios heterogéneos (topologías cableadas e inalámbricas), sin embargo también se investigó una de las herramientas de software que resultó ser un soporte fundamental para obtener los ensayos de simulación, esta es el simulador de red Network Simulator (ns) [1]. Se trata de un simulador de redes basado en eventos discretos, diseñado principalmente para usos educativos e investigación. Es un software libre y cuenta con dos versiones ns-2 y ns-3, incompatibles entre ellas. Implementa una amplia gama de protocolos tanto de redes cableadas como de redes inalámbricas. La versión ns-2 fue lanzada a mediados de los 90 y dejó de tener soporte a partir del año 2010 como resultado de un conjunto de limitaciones [2], dando paso

a su sucesor ns-3. Una de las razones para rediseñar el simulador fue la escalabilidad limitada en el uso de la memoria y el tiempo de ejecución. Otro factor fue la adaptación de ns-2 a las redes inalámbricas, dado que en sus inicios no fue pensado para este tipo de redes y añadido a posteriori, su configuración y resultados mostraban limitaciones y falta de realismo. Sin embargo, uno de los mayores problemas está dado por el sistema de seguimiento, siendo este difícil de usar, además de requerir analizar los archivos de rastreo para extraer los resultados. Mientras que la versión actual ns-3, está diseñada para soportar todo el flujo de trabajo de la simulación desde la configuración hasta la recolección y análisis de tramas.

Nuestro grupo de investigación comenzó realizando simulaciones en ns-2 [3], pero dado los aspectos antes mencionados, se decidió migrar a ns-3, el cual constituye una nueva plataforma de simulación de red abierta y extensible que ha solucionado las limitaciones existentes en su antecesor, además proporcionar nuevas funciones.

El simulador ns-3

Según el sitio oficial de ns-3, una simulación consiste en una descripción de una red y cómo interactúan sus componentes, en las funciones de control básicas para administrar la simulación y algún tipo de funcionalidad de registro para capturar datos [4]. Ns-3 está construido como un sistema de bibliotecas de software. Los programas de usuario están escritos en los lenguajes de programación C++ o Python y se pueden escribir nuevos programas de usuario que se vinculen con (o importen desde) estas bibliotecas [5]. Este simulador admite acoplamiento, interoperabilidad, buena gestión de memoria, depuración de objetos de lenguaje dividido, codificación en C++ y conceptos orientados a objetos, así como modelos compatibles con ns-2 y se considera más adecuado para la simulación de redes inalámbricas.

Durante el despliegue de ns-3 fue necesario conocer algunos conceptos básicos y abstracciones para la construcción de las simulaciones, estos se describen a continuación:

Node: Proporciona métodos para gestionar las representaciones de dispositivos informáticos en simulaciones. Se debe pensar en una Node como una computadora a la que agregará funcionalidad, donde se agregan aplicaciones, pilas de protocolos y tarjetas periféricas con sus controladores.

Application: Es un generador y consumidor de paquetes que puede ejecutarse en un nodo y comunicarse con un conjunto de pilas de red. Un programa de usuario que genera alguna actividad a simular es una aplicación. Así como las aplicaciones de software se ejecutan en computadoras para realizar tareas en el mundo real, las aplicaciones ns-3 se ejecutan en nodos para impulsar simulaciones en el mundo simulado.

NetDevice: Es la abstracción del dispositivo de red, cubre tanto el controlador de software como el hardware simulado. Se instala un dispositivo de red en un Node para permitir la comunicación entre nodos en la simulación a través de Channels. Al igual que en una

computadora real, un nodo puede conectarse a más de un canal a través de múltiples NetDevices (tarjetas de red).

Channel: Proporciona métodos para administrar objetos de subred de comunicación y conectar nodos a ellos. En el mundo real, se puede conectar una computadora a una red, un canal puede modelar algo tan simple como un cable. Sin embargo los canales especializados pueden modelar cosas tan complicadas como un gran conmutador Ethernet, o un espacio tridimensional en el caso de las redes inalámbricas.

Packet: Cada paquete de red contiene un búfer de bytes, una lista de etiquetas y metadatos.

- Búfer: Representación bit a bit de encabezados.

- Etiquetas: Conjunto de estructuras de datos arbitrarias proporcionadas por el usuario (por ejemplo, mensajes de capa cruzada por paquete o identificadores de flujo)

- Metadatos: Describe los tipos de encabezados y avances que se han serializado.

Topology Helpers: Proporciona objetos auxiliares de topología que combinan operaciones distintas en un modelo fácil de usar.

Para la visualización y análisis de los resultados generados por una simulación se utilizan herramientas auxiliares como:

Gnuplot es una herramienta gráfica de línea de comandos portátil para Linux, OS/2, MS Windows, OSX, VMS, entre otras plataformas. El código fuente está protegido por derechos de autor, pero se distribuye libremente. Se creó originalmente para permitir visualizaciones de funciones matemáticas y datos de forma interactiva, pero ha crecido para admitir muchos usos no interactivos, como los scripts web [6]. También se utiliza como motor de trazado por aplicaciones de terceros como ns-3. Esta última cuenta con 2 métodos para generar gráficos usando ns-3 y gnuplot:

1. Crear un archivo de control de gnuplot usando la clase Gnuplot de ns-3.

2. Crear un archivo de datos de gnuplot usando valores generados por ns-3.

En el proyecto se utiliza el método 2, haciendo uso de sistema de rastreo propio de ns-3, y se generan los archivos de datos para representar gráficos sobre las distintas métricas escogidas.

NetAnim es un animador fuera de línea basado en el kit de herramientas Qt, que realiza una animación utilizando un archivo de rastreo XML recopilado durante la simulación [7]. La clase ns-3 AnimationInterface es responsable de la creación de los archivos de rastreo XML. Esta registra la posición de los nodos en cada intervalo periódico, permitiendo animar paquetes a través de enlaces por cable y enlaces inalámbricos, calcular estadísticas de posición del nodo con trazado de la trayectoria del nodo, mostrar información de IP y MAC, imprimir la tabla de enrutamiento en los nodos, etc.

3. RESULTADOS OBTENIDOS/ ESPERADOS

Como ya se mencionó, comenzamos con distintos tipos de ensayos a través de simulaciones con la herramienta de software ns-2 y posteriormente ns-3 [8]. El proyecto de

investigación ha abordado diferentes líneas de trabajo desde el año 2015 hasta la actualidad, y su evolución puede seguirse a lo largo de las publicaciones realizadas. Iniciamos estudiando los problemas de rendimiento del protocolo TCP en redes cableadas e inalámbricas, lo que dio lugar a ensayos en los que se analizó el comportamiento ante aspectos relevantes como el desempeño ante errores en ráfaga y desconexiones de duración variable. Luego se hizo énfasis en las mejoras propuestas para solucionar dicho problema y en los aspectos metodológicos de su estudio. Con una concepción más amplia de lo que conllevaría a una mejora en el rendimiento de TCP para estos casos, se trabajó con variantes de este protocolo, fundamentalmente: Vegas, Reno, Cubic, High Speed, Hybla y Westwood, en escenarios con distintos tipos de errores y en contienda. Los ensayos donde existía competencia por recursos entre protocolos condujeron al análisis de esta condición bajo el paradigma del concepto de equidad. Posteriormente se inició un estudio sobre tecnologías emergentes que realizan un enfoque conceptual no tradicional en la administración de redes, como son las redes definidas por software (SDN).

Un objeto de estudio constante a lo largo de la temática, es el rendimiento en distintos tipos de redes. Este foco surge de abordar el problema de TCP en redes inalámbricas [9]. Esto se debe a que TCP fue diseñado en una época en la que la mayoría de las redes utilizaban enlaces cableados, por lo que la causa más frecuente de pérdida de datos era la congestión. Con la adopción de tecnologías inalámbricas aparecieron factores propios de dicho medio e introdujeron una variedad de nuevos tipos de errores. Los mecanismos de control de congestión existentes reaccionaron ante estas pérdidas como si fuesen causadas por congestión, aunque en realidad no lo son [10]. Esto se tradujo en un deterioro en el rendimiento de las redes.

La naturaleza del medio inalámbrico introduce algunos fenómenos que deben ser contemplados a la hora de estudiar el comportamiento de TCP en redes, como por ejemplo: movilidad, salida o cambio del área de cobertura (pérdida de señal y efecto de hand-off, respectivamente), desconexiones, interferencia, canales compartidos, etc.. Según la cantidad de variables involucradas, estos fenómenos pueden ser estudiados de forma directa y otros se analizan a través de los efectos en término de errores. Por ejemplo, se pueden utilizar errores en ráfaga para simular el efecto que tienen las salidas del rango de cobertura o las interferencias; un estudio directo de estos casos involucraría una variable adicional de movilidad o requeriría un estudio separado del medio físico que genera la interferencia. Un estudio genérico de distintos tipos de errores (cortes de enlace, pérdidas periódicas o errores en ráfaga) permite entender el efecto que éstos tienen en el rendimiento a partir del tiempo de recuperación del protocolo, luego de detectar las pérdidas.

A partir de las mejoras propuestas por investigadores a lo largo de los años [11], surgieron distintas variantes del

protocolo TCP. Estas pueden clasificarse según el enfoque que adoptan, es decir proactivas o reactivas; o según su estrategia de control de congestión: basadas en pérdidas, basadas en retardos y basadas en pérdida con estimación de ancho de banda. Como consecuencia de la exploración de aspectos particulares de alguna variante (como la variación de los parámetros Alfa y Beta en TCP Vegas ante errores de ráfaga [12] [13]) y del análisis de las diferencias entre ellas (como el comportamiento que tienen TCP Vegas, Reno, Cubic y Westwood en una red con enlaces cableados e inalámbricos y errores en ráfaga [14]), el equipo de investigación fue consolidando sus conocimientos sobre el protocolo y los problemas que puede llegar a tener en distintas condiciones de funcionamiento.

La metodología de trabajo más difundida y utilizada en el estudio de rendimiento de TCP, gira en torno a la simulación de redes, que entre otras cosas permite comparar como es la reacción de los distintos mecanismos de control de congestión ante determinadas condiciones de funcionamiento de un protocolo dado, sobre una topología específica [15]. El equipo de trabajo adoptó esta metodología y automatizó el proceso para facilitar el análisis de rendimiento del protocolo TCP en redes inalámbricas. Para el diseño, implementación y ejecución se utilizó ns-2 y posteriormente ns-3, debido a limitaciones existentes, ya comentadas. Como complemento, se recurrió a Network Animator, gnuplot, tracegraph, para graficar de los parámetros. Se consultó rutinas awk y se desarrollaron modelos en lenguaje con otcl, C++ y python, integrándose todo en rutinas bash que ayudaron a automatizar los procesos de simulación [16].

En el proceso de análisis de las simulaciones, se tuvo en cuenta una serie de métricas de rendimiento para representar la información importante a partir de los resultados obtenidos, como por ejemplo: throughput, goodput, retardo de extremo a extremo (end-to-end delay), RTT (Round Trip Time), RTO (Retransmission Timeout), relación de paquetes perdidos y entregados (Packet Loss Ratio y Packet Delivery Ratio), ventana de congestión (CWND). Así mismo, para comparar rendimientos, se evaluó el tiempo de transmisión de una cantidad determinada de datos.

De los estudios realizados se obtuvieron muchos resultados útiles para determinar qué aspectos contribuyen al deterioro en el rendimiento de cada variante de TCP y cual puede ofrecer un funcionamiento más adecuado acorde a la situación evaluada. Ahora bien, con el análisis de los resultados obtenidos, podemos confirmar un hecho fundamental: no hay una única mejora que pueda solucionar el problema de rendimiento TCP en redes inalámbricas; en su lugar, hay múltiples soluciones implementadas en las variantes del protocolo TCP, adecuadas a distintos escenarios y el conocimiento de cada variante permite aprovechar las ventajas de cada una según la situación lo requiera.

Otra de las conclusiones que vale la pena mencionar es la que puso de relieve la importancia de comparar protocolos en escenarios de contienda [17]. En este

aspecto, aunque en principio las variantes que adoptan enfoques proactivos parecen más sensibles que las reactivas (debido a que ofrecen una transmisión más estable y son menos propensas a errores), al competir por recursos, el carácter agresivo de las variantes reactivas domina casi por completo a las primeras en lo que se refiere al uso del ancho de banda disponible. En otras palabras, las variantes de TCP que adoptan estrategias más conservadoras para prevenir pérdidas no ofrecen un buen rendimiento al competir con aquellas que intentan maximizar el uso de los recursos aunque incrementen el riesgo de pérdidas. Sumado al resultado expresado en el párrafo anterior, esto contribuye a la noción de que la mejor solución para optimizar el rendimiento de TCP en cualquier tipo de red, depende del contexto y requiere de un conocimiento adecuado de las opciones para balancear las estrategias en forma adecuada.

Al hacer énfasis en la competencia por recursos en redes inalámbricas [18], se hace cada vez más notable la necesidad de contemplar la equidad. TCP es un protocolo de extremo a extremo y hoy en día la mayoría de las comunicaciones entre dispositivos viajan a través de redes que incluyen distintos tipos de enlaces. Es decir, el escenario predominante en la mayoría de los casos es una red heterogénea (con conexiones cableadas e inalámbricas). Independientemente de la variante que uno elija, se deberá negociar en alguno de estos tramos con otras variantes de protocolo TCP. Internet cuenta con una gran cantidad de flujos de distintas variantes de TCP, en competencia por recursos, y dado lo que se sabe de las interacciones entre ellas, es muy probable que el rendimiento se vea afectado por la ruta que se establezca para el envío de paquetes. Sumado a ello, la introducción de errores propios de los enlaces inalámbricos determina distintos tiempos de recuperación ante las pérdidas [19]. Para abordar el tema de equidad se agregaron dos nuevas métricas: tiempo de convergencia e índice de equidad. Al aplicarlas a escenarios que se habían estudiado previamente con énfasis en el rendimiento se pudo confirmar el comportamiento no equitativo, pero además se le confirió un carácter cuantitativo a los estudios. Al estudiar la equidad es posible indicar con mayor precisión en qué medida difiere el consumo de recursos cuando hay variantes de TCP en contienda sobre distintos escenarios [20].

Luego del estudio de equidad, el equipo de investigación comenzó a enfocarse más en cuestiones generales sobre el diseño de redes y no tanto en problemas particulares de protocolos específicos. Sin dejar de lado el estudio del rendimiento de protocolos, se optó por ampliar el rango de las investigaciones dada la evolución que han tenido las redes hacia nuevos modelos que hacen hincapié en su funcionalidad y escalabilidad. La infraestructura que ha facilitado los nuevos modos de trabajar e interactuar entre las personas, característicos del siglo XXI, se encuentra en plena transición hacia un nuevo paradigma tecnológico, esto es, las SDN [21].

Como se mencionó anteriormente, a través de Internet se llevan a cabo miles de millones de comunicaciones. Los

enfoques tradicionales en tecnología de red no sólo son propensos a errores sino que están moldeados por una abundancia de soluciones propias que oscurecen algunos aspectos de su manejo. Es así que las SDN se presentan como una de las soluciones más prometedoras para el futuro de Internet. En particular se destacan dos características que confieren mayor eficiencia, rendimiento y flexibilidad: por un lado separación entre las capas de control y de datos, y por otro lado la programabilidad para el desarrollo de aplicaciones de red.

4. FORMACION DE RECURSOS HUMANOS

En lo que se refiere a la formación de recursos humanos, estos proyectos posibilitaron consolidar un grupo de investigación que adquirió experiencia en el comportamiento de las distintas variantes del protocolo TCP sobre escenarios complejos, principalmente topologías heterogéneas. Uno de los docentes investigadores concluyó satisfactoriamente sus estudios de posgrado, versando su tesis en redes heterogéneas y defendido con éxito. Así mismo podemos acotar que no solo se integró y formó docentes del área de informática, sino que también fueron invitados a participar alumnos de la carrera de Licenciatura en Sistemas, que colaboraron de forma entusiasta en la generación y el análisis de información, complementando de esta manera su formación académica en el área de redes de datos. Varios de ellos participaron en forma constante y también pudieron acceder a becas de investigación.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] ns-2 and ns-3 | ns-3.
<https://www.nsnam.org/support/faq/ns2-ns3/>
(accessed Sep. 10, 2020).
- [2] R. Chaudhary, S. Sethi, R. Keshari, and S. Goel. *A study of comparison of Network Simulator-3 and Network Simulator-2*, Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol., vol. 3, no. 1, pp. 3085–3092, 2012.
- [3] Rodríguez Herlein, Diego R., Talay, Carlos A., González, Claudia N., Trinidad, Franco A., Marrone, Luis A. *Un caso práctico de utilización del simulador ns-2 en el análisis del comportamiento de variantes del protocolo TCP con fines de investigación y enseñanza*. TE&ET, La Matanza 2017. ISBN: 978-987-4417-04-6. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/63370>
- [4] S. Rampf, *Network Simulation and its Limitations*, Netw. Archit. Serv., August, pp. 83–89, 2013, doi: 10.2313/NET-2013-08-1.
- [5] Tutorial.
<https://www.nsnam.org/docs/release/3.29/tutorial/singletutorial/index.html> (accessed Sep. 10, 2020).
- [6] gnuplot homepage, <http://www.gnuplot.info/> (accessed Sep. 10, 2020).
- [7] NetAnim – Nsnam.
<https://www.nsnam.org/wiki/NetAnim> (accessed Sep. 10, 2020).

- [8] Trinidad, F. A. & Talay, C. A. (2019). *Consideraciones metodológicas para la investigación con simuladores de red*. Informes Científicos Técnicos - UNPA, 11(3), 211-235. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v11.n3.803>
- [9] Diego R. Rodríguez Herlein, Carlos A. Talay, Claudia N. González y Franco A. Trinidad. *Estudio del protocolo TCP en la utilización de redes con conexión wireless*. IV Encuentro de Investigadores de la Patagonia Austral en la Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Argentina. (2016). ISBN 978-987-3714-37-5.
- [10] Carlos A. Talay, Claudia N. González, Diego R. Rodríguez Herlein, Franco A. Trinidad, M. Luz Almada, Luis A. Marrone. *Congestión: Falso positivo. El caso del protocolo TCP en redes inalámbricas*. Investigaciones científicas en el extremo Austral. 2017. ISBN | 978-987-3714-73-3
- [11] Diego R. Rodríguez Herlein, Carlos A. Talay y Luis A. Marrone. *Explorando posibles mejoras de protocolo TCP en redes móviles*. WICC 2016. Entre Ríos, Argentina. 2016. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/52766>
- [12] D. R. Rodríguez Herlein, C. A. Talay, C. N. González, F. A. Trinidad and L. A. Marrone. *Performance of TCP Vegas According to Alfa and Beta Parameters in Hybrid Scenarios with Bursts Errors*. 2017 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS), Quito, 2017, pp. 217-223, doi: 10.1109/INCISCOS.2017.16. Publicado en IEEE Xplore.
- [13] Carlos A. Talay, Franco A. Trinidad, Diego R. Rodríguez Herlein, M. Luz Almada, Claudia N. González, Luis A. Marrone. *Analysis of the performance of TCP Vegas and its relationship with alpha and beta parameters in a wireless links network and burst errors*. Congreso Argentino de Ciencias de la Informática y Desarrollos de Investigación (CACIDI), Buenos Aires (Argentina), 2018. IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8584350>
- [14] Diego R. Rodríguez Herlein, Carlos A. Talay, Claudia N. González, Franco A. Trinidad y Marrone, Luis Armando. *Consideraciones sobre el comportamiento del protocolo TCP en sus variantes Vegas, Reno, Cubic y Westwood ante errores en ráfaga en una topología híbrida*. Presentado en el XXIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC). La Plata, Argentina. 2017. Artículo: <http://hdl.handle.net/10915/3846>
- [15] Rodríguez Herlein, Diego R.; Talay, Carlos A.; González, Claudia N.; Trinidad, Franco A.; Almada, Luz; Marrone, Luis Armando. *Un análisis de comportamiento entre distintos mecanismos de control de congestión ensayados sobre una topología mixta*. CACIC 2018. Tandil, Argentina. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/73349>
- [16] F. A. Trinidad, C. González, C. A. Talay, D. Rodríguez Herlein. *Automatización del proceso de simulación para el análisis de rendimiento del protocolo TCP en redes inalámbricas*, ict-unpa, vol. 10, n.º 3, pp. 10-34, dic. 2018.
- [17] Rodríguez Herlein, Diego R., Talay, Carlos A., González, Claudia N., Trinidad, Franco y Luis A. Marrone. *Contienda entre las variantes del protocolo TCP Vegas y Reno por los recursos de la red en un modelo híbrido simple*. WICC 2018. Corrientes, Argentina. 2018. Artículo: <http://hdl.handle.net/10915/67209>
- [18] Rodríguez Herlein D. R., Talay C. A., González C. N., Trinidad F. A., Almada M. L., Marrone L. A. *Contention Analysis of Congestion Control Mechanisms in a Wireless Access Scenario*. In: Pesado P., Aciti C. (eds) Computer Science – CACIC 2018. CACIC 2018. Communications in Computer and Information Science, vol. 995. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20787-8_18.
- [19] Diego R. Rodríguez Herlein, Carlos A. Talay, Claudia N. González, Franco A. Trinidad, Luz Almada and Luis A. Marrone. *Burst error analysis introduced in multiple traffic of protocols TCP Reno, Cubic, Westwood and Vegas on a model of hybrid topology*. Journal of Computer Science & Technology; vol. 19, no. 1. 2019. <https://doi.org/10.24215/16666038.19.e04>
- [20] Claudia N. González, Diego R. Rodríguez Herlein, Carlos A. Talay, Franco A. Trinidad, María L. Almada y Luis A. Marrone. *Análisis de Rendimiento y Equidad en TCP*. WICC 2019. San Juan, Argentina. 2019. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/76952>.
- [21] Diego R. Rodríguez Herlein, Carlos A. Talay, Claudia N. González y Luis A. Marrone. *Explorando las redes definidas por software (SDN)*. WICC 2020. El Calafate, Santa Cruz. 2020. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/103546> 2020