

EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE SIMULADOR PARA REDES DE DATOS

Diego R. Rodríguez Herlein¹, Carlos A. Talay¹, Claudia N. González¹, Marycarmen Díaz Labrador¹,
Luis A. Marrone²

(dherlein, ctalay, cgonzalez)@uarg.unpa.edu.ar, marydl920911@gmail.com, lmarrone@linti.unlp.edu.ar

¹Campus Universitario – oficina 18/ Dpto. Ciencias Exactas e Informática UARG / UNPA

²L.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/A490 “Análisis de desempeño de protocolos sobre redes híbridas (cableadas e inalámbricas)”, 29/A451 “Análisis del comportamiento de protocolos de la capa de transporte en redes con enlaces inalámbricos”, 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

El amplio uso y la variedad de requerimientos que han tenido las redes de datos han llevado a la necesidad de realizar extensas evaluaciones de su desempeño. Por su complejidad y costo, la evaluación sobre distintas configuraciones físicas es compleja y costosa de realizar y por ello se recurre a los simuladores. Este hecho ha dado como resultado una amplia oferta de este tipo de herramientas de software. Las características de cada uno de estos programas dependerán del enfoque que se desee tomar, ya sea métricas de evaluación que se adoptan como datos de salida e incluso del formato de representación de los parámetros evaluados. Es por ello que resulta importante relevar estas herramientas y entender qué tipo de prestaciones brinda cada una de ellas para identificar cuál se adapta mejor para la realización de un análisis determinado.

Palabras clave: Redes de datos, Simuladores, Evaluación

1. INTRODUCCION

Para evaluar el rendimiento de un sistema o una red, se puede utilizar un modelo analítico, la medición directa del sistema o red, o bien, realizar una simulación. Cada una de estas tres técnicas tiene sus fortalezas y debilidades. El modelado analítico es una técnica teórica donde se analiza un sistema investigando modelos matemáticos. La ventaja de esta técnica es que puede realizarse en etapas tempranas del proceso de desarrollo, antes de implementar realmente el sistema, mientras que la principal desventaja es que se basa en gran medida en

simplificaciones y suposiciones, ya que el sistema real no está involucrado.

Otra de las formas de realizar la evaluación del sistema, es tomar medidas sobre el sistema real, lo que requiere que al menos partes del sistema estén implementadas. Las pruebas en el sistema real, por supuesto, darán resultados muy precisos, pero al costo de tener que implementarlo antes de poder evaluarlo. Por ello, encontrar fallas en el diseño en estas condiciones es costoso.

Las simulaciones son más cercanas a la realidad que los modelos analíticos, pero aun así poseen detalles abstractos y se pueden realizar a lo largo de todo el proceso de desarrollo. Al principio, pueden dar una buena indicación de qué tan bien funcionará el sistema, pero también se pueden usar en etapas posteriores del proceso para encontrar fallas en el diseño. Otro punto fuerte de la simulación es que es fácil realizar pruebas a gran escala que de otro modo serían difíciles de implementar en un banco de pruebas o en el propio sistema.

Las simulaciones utilizan modelos. Un modelo es un objeto que se esfuerza por imitar algo del mundo real. Este modelo no puede recrear completamente el objeto del mundo real, y por ello se tendrá que abstraer de algunos de sus detalles.

Un tipo muy común de simulador de red, un simulador de eventos discretos (DES, por sus siglas en inglés), es un buen ejemplo de simulador dinámico. Estos son simuladores donde los eventos se programan dinámicamente a medida que pasa el tiempo. Consisten en una serie de eventos que ocurren en momentos discretos de la ejecución de la simulación. Discreto significa que el simulador se define para un conjunto de valores finitos. A pesar de esto, pueden ocurrir eventos al mismo tiempo. La mayoría de los simuladores de redes son de este tipo.

La simulación de redes permite probar escenarios que son difíciles o costosos de simular en entornos reales. La realización de estas pruebas en redes con equipos reales tiene como límite la capacidad del laboratorio, acotado en general, en la cantidad y variedad de equipos, lo que reduce la posibilidad de modificar el diseño y fuerza a trabajar con una sola topología. Ahora, si bien un simulador no puede sustituir el trabajo directo con equipos, puede proveer en cambio: facilidad de acceso, manejo de diversas topologías, equipos y protocolos, rapidez en el armado, trabajo con diferentes tipos de escenarios, algunos de estos escenarios pueden ser configurados y modificados si tener que cambiar hardware. Aunque no son reales, imitan de cerca la

realidad. De esta manera, para cambiar de prueba solo se tiene que cambiar ciertos parámetros en el software del simulador, sin tener que rearmar una topología que, además del tiempo necesario, puede requerir equipos que no están disponibles. El objetivo principal de la simulación de red es observar las características y el comportamiento de una red donde se puede simular, emular y analizar los resultados finales de las simulaciones de red.

La gran influencia de los entornos de la simulación a día de hoy se pone de manifiesto, entre otras cosas, por la extensa cantidad de publicaciones científicas que en algún punto de su desarrollo han utilizado estas plataformas. Actualmente, existen gran cantidad de simuladores de red, cada uno de ellos con características y capacidades diferentes.

A continuación, se describen brevemente algunas de las herramientas más conocidas y utilizadas para la simulación de redes, que cuentan con módulos para simular el comportamiento de escenarios basados en redes de datos [1].

Network Simulator 2: Sus posibilidades de uso, disponibilidad al público y las características del software, permiten que gran cantidad de usuarios desplieguen implementaciones sobre esta plataforma, convirtiéndola en una de las herramientas preferidas por la comunidad científica. La disponibilidad del código fuente tanto para su inspección, modificación y la libertad para la aplicación de cualquier usuario, ha promovido generación de módulos entre la comunidad que lo utiliza, permitiendo la creación de nuevos protocolos y sistemas para ser simulados. Es una fuerte ventaja en el ámbito de la investigación que el código fuente de la herramienta se encuentra disponible. Sin embargo, el uso simultáneo de dos lenguajes de programación implica la necesidad de un gran conocimiento previo para el uso de la herramienta. De esta manera, es necesario el uso de la herramienta por largos periodos de tiempo para lograr su implementación eficaz. El simulador ns-2 fue diseñado para investigación en redes, y para proveer soporte para simulaciones TCP y protocolos de envío múltiple sobre redes cableadas e inalámbricas. Aunque el software no contiene una herramienta que retorne gráficas de una manera eficiente, existen diversas herramientas que permiten hacerlo, lo cual minimiza el problema y, permite aprovechar todos los datos que arroja el simulador. Sin duda alguna, se trata del simulador de código libre dominante (aunque dejó de tener actualizaciones en el 2009), habiendo contado con una gran cantidad de desarrollos y contribuciones externas. Como elementos negativos, se puede destacar una clara falta de modularidad y una lenta curva de aprendizaje [2].

Network Simulator 3: En 2005, varios investigadores comenzaron a desarrollar un nuevo simulador de red para reemplazar el simulador de red ns-2. Varios de sus desarrolladores más importantes deciden crear un nuevo

entorno de simulación especializado en el análisis de redes. En este caso se optó para el desarrollo C++. Una de las razones principales para utilizar este lenguaje es que la mayoría de las implementaciones de pila de protocolos se implementan en C, lo que facilita su incorporación en las simulaciones ns-3. Se trata de un proyecto muy activo que recientemente se ha visto ampliado con módulos de análisis de tecnologías de acceso inalámbricas. Esta herramienta también es un simulador de eventos discretos de red, cuyo objetivo principal es lograr un mayor énfasis en los niveles 2 y 4 del modelo OSI. En un principio la compatibilidad con ns-2 no es un objetivo del proyecto, por lo que ns-3 no es una actualización de ns-2 sino un proyecto diferente. Se enfoca en el sector educativo como herramienta de simulación para enseñanza e investigación. Además, como factor diferenciador, permite realizar un amplio conjunto de simulaciones en redes basadas en IP y no IP. También, cuenta con una gran comunidad de desarrolladores que constantemente liberan versiones estables, específicamente cada tres meses, lo cual implica la inclusión de nuevos modelos, documentados, validados y con soporte para realizar simulaciones en escenarios actualizados y con los últimos estándares de telecomunicaciones.

Es un software de distribución gratuita bajo la licencia GNU GPLv2, el núcleo de su operación está en lenguaje C++ y las instrucciones se generan en Python [3].

EstiNet: es un simulador y emulador de red, que se originó de NCTUns {National Chiao Tung University (NCTU) network simulator}, el cual fue usado ampliamente en investigaciones relacionadas con redes de comunicaciones desde el año 2002 hasta el 2011 [4]. NCTUns se volvió un software comercial en 2011, y se renombró como EstiNet. Esta nueva versión del software comercial incluye la capa física, de control de acceso, de red, de transporte y de aplicación. Cuenta con una interfaz gráfica amigable y con tres características que lo diferencian ampliamente de los demás simuladores:

- (i) Integra la pila de protocolos del núcleo de Linux, lo cual permite obtener un comportamiento real de los protocolos de las capas tres y cuatro simuladas
- (ii) Es compatible con aplicaciones de red reales del sistema operativo Linux, lo cual permite desarrollar y probar aplicaciones y funcionalidades en entornos simulados garantizando un igual comportamiento a cuando se despliegue la aplicación en un dispositivo de red real con sistema operativo Linux; y finalmente
- (iii) Interactúa con dispositivos de red reales, mediante la función de emulación un dispositivo o red simulada puede interactuar con una red o un dispositivo del mundo real.

Gracias al gran desarrollo que ha tenido la herramienta de simulación EstiNet, el software tiene la posibilidad de simular, características y elementos de redes cableadas e inalámbricas como routers, switches, y

dispositivos finales; protocolos de red como Spanning Tree, algoritmos de ruteo como OSPF y RIP; también permite simular puntos de acceso inalámbricos, bajo los protocolos 802.11a/g/n, modelos de canales, entre otros.

Opnet Modeler: Esta herramienta de modelado de redes cuenta con dos factores diferenciales importantes: un motor de simulación de eventos con alto desempeño, lo cual permite ejecutar rápidos análisis de impacto y comportamiento en modelos de redes, y cuenta con una amplia biblioteca de modelos de red compatibles y listos para ser usados, o modificados para generar modelos de aplicaciones y protocolos personalizados, lo cual podría resultar en una reducción de los tiempos de simulación. Además de esto, no se centra en un solo sector de aplicación, en este caso, este simulador puede ser usado en la industria, ya que permite simular comportamientos de extremo a extremo en diferentes diseños tecnológicos, también es usado en la academia para investigación y desarrollo de redes, así como la generación de tecnologías o protocolos de comunicación inalámbricos. Gracias a las numerosas ventajas y debido a la poderosa interfaz gráfica y estadística que maneja, el uso por parte de grupos académicos es alto, puesto que la manera de simular es muy intuitiva, pero necesita de gran cantidad de conocimientos previos en redes y programación para enfrentarse a la herramienta, por lo cual la curva de aprendizaje de OPNET es alta. De otro lado, aunque se debe aclarar que la licencia del simulador es comercial, existe una versión de este software que no genera cargos económicos para utilizarlo en actividades netamente académicas. Puesto que OPNET proporciona los mecanismos necesarios para el desarrollo fluido de una simulación, permitiendo arrastrar componentes para conformar topologías de red.

OMNet++: No es simulador de red en sí mismo, sino una herramienta basada en eventos discretos de propósito más general [5]. Es una arquitectura genérica que se puede utilizar en varios dominios de problemas, por ejemplo: modelado de redes, modelado de protocolos, modelado de multiprocesadores y validación de arquitecturas de hardware, entre otros. OMNet++ proporciona infraestructura y herramientas para escribir diferentes tipos de simulaciones. También proporciona una serie de utilidades para usar junto con la simulación. Mientras que la funcionalidad del módulo está escrita en C++, la estructura del módulo, y sus secciones, se describen en el lenguaje NED de OMNet++. Este es un lenguaje de script muy simple. Como punto negativo se destaca su escaso soporte, con una comunidad de usuarios menos activa. Esta herramienta se conforma por módulos escritos en C++ que se comunican entre sí por paso de mensajes, donde módulos simples, pueden conformar módulos compuestos y los niveles jerárquicos no tienen límites. Se debe tener en cuenta, que a pesar de que la herramienta de simulación presenta muchos beneficios, los módulos que la conforman no están del todo desarrollados, lo cual implica que los programadores deban modificar el

código existente o realizar implementaciones de módulos nuevos para cubrir componentes de red aún no especificados dentro del paquete. Esto hace que la curva de aprendizaje de la herramienta sea alta ya que modificar el código fuente de los componentes de red no es una tarea sencilla.

JSim: Conocido formalmente como JavaSim, se trata de un simulador composicional, centrado en el desarrollo a través una jerarquía de componentes autónomos, que utiliza Java como lenguaje principal de desarrollo [6]. JSIM fue desarrollado por un equipo del laboratorio de computación distribuida en tiempo real (DRCL), en un ambiente de simulación y animación basado en Java que soporta la animación basada en Web. Este proyecto fue patrocinado por la Fundación Nacional para la Ciencia NSF (National Science Foundation), el programa de modelado y simulación de redes DARPA, la Universidad del Estado de Ohio y la Universidad de Illinois en Urbana Champaign. Su código está disponible en Internet y es de libre uso. Este simulador ha sido usado para emular ambientes de red inalámbricas con múltiples especificaciones y gran capacidad para establecer detalles.

Inicialmente JSim contaba con su propia herramienta de lenguaje por comandos (Tool Command Language, TCL), en la cual mediante comandos se podían diseñar, simular y analizar los diferentes escenarios. Según la documentación oficial, JSim puede integrarse con gEditor, un editor gráfico para diseñar y simular escenarios de red, este editor usa XML como lenguaje para modelar los diferentes componentes de red. Lo anterior deja ver que su curva de aprendizaje es alta, ya que se requieren conocimientos avanzados en lenguaje TCL, Java, redes y programación para poder interactuar con la herramienta. Finalmente, como elemento diferenciador JSim resalta que es un simulador que no requiere alto poder computacional y dado que se ejecuta en la máquina virtual de Java puede ejecutar diferentes simulaciones con un menor uso de memoria y mayor capacidad para escalar. Además de esto, dado que es un software de código abierto y en constante reforma por su comunidad, no tiene un foco principal de aplicación y deja el camino para que los mismos usuarios puedan generar módulos de procesamiento y análisis.

Gns3: Es un software gráfico de simulación de red que permite la emulación de redes complejas, es de libre descarga, pero necesita de las imágenes de los dispositivos Cisco para emular el comportamiento de estos y dichas imágenes se deben adquirir directamente con el fabricante. La interfaz gráfica de la herramienta es considerada intuitiva para el usuario. Como principal característica y diferenciador de esta herramienta se resalta la capacidad de simular y emular dispositivos de red reales, lo cual permite configurar y desplegar redes de comunicaciones en un computador. Dado que esta herramienta ejecuta los sistemas operativos de los dispositivos reales, una de las limitantes a la hora de

usar GNS3 es la cantidad de recursos de hardware disponibles en el equipo de simulación [7].

Netsim Tetcos: Es un software para modelado y simulación de redes y protocolos, enfocado a la investigación y desarrollo en redes, también usado en aplicaciones de defensa [8]. Actualmente es comercial. La interfaz gráfica permite configurar los diferentes escenarios, ejecutar la simulación de eventos discretos, controlar y visualizar las simulaciones de forma animada, y analizar los resultados obtenidos en las simulaciones. Por otro lado, su consola de comandos de línea (CLI) permite establecer el escenario de simulación mediante archivos de configuración XML y ejecutar simulaciones de eventos discretos. Sus capacidades han permitido lograr simulaciones bastante precisas y con resultados importantes en el ámbito científico. Es importante resaltar el valor agregado y el uso o enfoque que se le da a este simulador.

Cuenta con una interfaz gráfica que permite diseñar y modelar entornos de red con gran nivel de detalle, este simulador ofrece tres tipos de licencia, las cuales ofrecen diferentes protocolos y aplicaciones para labores académicas o investigativas de simulación. Un elemento importante a resaltar es la gran cantidad de aplicaciones disponibles en su versión profesional, las cuales son redes celulares, de internet de las cosas, de sensores inalámbricos, de área personal, de radio cognitiva, de 5G, vehiculares y enlaces de radio de uso militar.

Elección del simulador

A partir del estudio de las distintas alternativas para la simulación [9], una condición necesaria debe ser que el software sea de código abierto (Open Source) y gratuito. Dentro de las muchas ventajas que tiene el software open source, resultan de peso para la selección en este trabajo la posibilidad de compartir, modificar, estudiar el código fuente y, por otro lado, promueve la colaboración entre usuarios. Esta característica supone el desarrollo rápido y variado de multitud de herramientas y no depender del propietario para las actualizaciones. Otro de los aspectos, que no es trivial, es que no tiene costo de licencia.

De esta manera se descartaron las alternativas comerciales o de código propietario. En base a lo evaluado se seleccionó a ns-2 como herramienta de simulación para el presente proyecto. Dentro de los principales motivos de esta elección, en primer lugar, es que se trata de una plataforma gratuita y de código abierto, lo que otorga la flexibilidad necesaria para utilizar y modificar libremente los módulos existentes a conveniencia, así como añadir nuevos elementos.

En segundo lugar, se destaca la gran popularidad de ns-2, pues es ampliamente utilizado en el campo académico e investigación siendo el entorno de simulación favorito por la comunidad científica, contando con un porcentaje de publicaciones muy superior al resto.

En tercer lugar, cumple con las necesidades de este trabajo pues soporta el protocolo TCP con distintas variantes de su control de congestión, tanto sobre redes cableadas como inalámbricas (802.11). En cuarto lugar, si bien el aprendizaje de la herramienta puede resultar complejo, existe gran cantidad de información disponible que puede contribuir a una mejor comprensión y aprendizaje de la herramienta. Existe una importante variedad de bibliografía, tutoriales y desarrollos de scripts realizados por terceros disponible en bibliotecas de uso público. Además, se tiene acceso para la consulta a otros grupos de investigación que ya venían trabajando con este simulador, lo que puede acelerar el proceso de aprendizaje.

En quinto lugar, a pesar de que una de las principales desventajas de ns-2, es que no posee la capacidad de representar gráficamente los resultados, estos datos pueden ser leídos, procesados y representados con herramientas tales como Perl, AWK [10], XGRAPH [11], NAM que se pueden integrar al entorno.

2. LINEAS DE INVESTIGACION y DESARROLLO

Si bien la línea principal de investigación es el análisis del comportamiento de las distintas variantes de los protocolos de la capa de transporte en topologías heterogéneas, un importante capítulo está compuesto en la forma que se analizan las redes a través de distintos modelos. Como se explicó previamente, existen básicamente dos formas de realizar esto. Una es mediante el desarrollo de la reproducción de la red física para realizar los ensayos y la otra es realizar simulaciones. Como la implementación de la red física requiere de mucho tiempo y es costoso, normalmente se requiere a procesos de simulación que son más versátiles a la hora de configurar y de bajo costo. Teniendo en cuenta esto, y el análisis de los tipos de simuladores presentados, es que se optó por elegir al ns-2 y posteriormente al ns-3 [12].

Ns-2 utiliza una variedad de herramientas para manipular objetos y flujos de datos. También proporciona herramientas que permiten interpretar y analizar los resultados obtenidos de la simulación de una manera gráfica (NAM, Network AniMator y XGraph) que crean una representación a partir de los ficheros de traza generados por ns-2. Además de estas herramientas para visualizar los resultados, también se pueden extraer métricas cuantitativas de los resultados de la simulación utilizando lenguajes como PERL o AWK para filtrar los ficheros que contienen las trazas mediante un post-procesado de los mismos, como se describió anteriormente.

En la siguiente figura (Figura 1) se observan las diferentes etapas de la simulación.

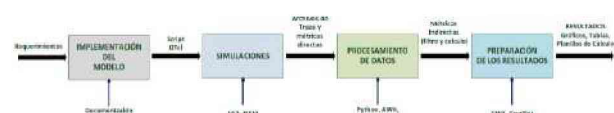


Figura 1: Proceso de la simulación

Es así que en el proceso de desarrollo del proyecto como primer paso, se realizó la evaluación respecto a qué tipo de simulador era el que podía brindar las mejores prestaciones, y la metodología utilizada para su implementación [13]. Posteriormente se analizó como se podía realizar el procesamiento gráfico de los datos de salida a fin de generar la representación de los resultados de la manera más adecuada [14]. Inclusive se generaron herramientas de software que ayudaran a sistematizar el proceso de simulación a fin de agilizar a las simulaciones con ns-2 [15]. Posteriormente, la versión ns-2, que fue lanzada a mediados de los 90, dejó de tener soporte a partir del año 2010 y se lanzó la versión ns-3. En ese momento tuvimos que analizar si continuar en el simulador ns-2 o migrar al ns-3 [16]. Teniendo la discontinuidad en el soporte técnico y las limitaciones para incorporar nuevas variantes de protocolos, determinamos la necesidad de migrar a la versión ns-3, ya que permitía una mayor variedad de configuraciones, en particular redes heterogéneas de forma nativa. Además incorporaba protocolos de transporte implementados en el espacio de usuario, que utilizan UDP y los relacionados con la adopción de soluciones de múltiples rutas (Multipath) en esta capa.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

Mediante el uso del simulador ns-2 y posteriormente el ns-3 se ha podido analizar una variedad de escenarios y condiciones de funcionamiento. Por la temática del proyecto, se ha centrado el análisis en topologías que poseen redes heterogéneas. Con los resultados obtenidos, se ha podido analizar una variada cantidad de casos en donde no estaba en claro que versión de TCP podía tener el mejor desempeño. También se han recreado casos en donde se producen alteraciones de los parámetros de una red, como altos retardos o pérdidas de paquetes y evaluar el desempeño de distintos protocolos bajo estas condiciones. Por último se han realizado estudios sobre una condición particular que se da cuando dos protocolos conviven en una misma sección de la red, fenómeno caracterizado bajo la definición de *equidad*.

4. FORMACION DE RECURSOS HUMANOS

En el desarrollo de los proyectos se ha podido fortalecer la formación el grupo de investigación conformado por docentes de la carrera de Licenciatura en Sistemas de la UNPA-UARG, como alumnos de la carrera que han podido acceder a becas de estudio (Franco A. Trinidad, María L. Almada, Vanesa Cadín y Nicolás Mainardi).

5. BIBLIOGRAFIA

[1] García Dávalos, A., Escobar Paz, L. M. et. al., «Método de evaluación y selección de herramientas de simulación de redes.» Universidad Icesi, Revista Sistemas y Telemática, vol. 9, nº 16, pp. 55-71, 2011.
[2] Issariyakul, T., Hossain, E., Introduction to Network Simulator NS2, Boston, MA: Springer US, 2012.
[3] «NS3 Documentation: A Discrete-Event Network Simulator.» [En línea]. Available:

<http://www.nsnam.org/documentation>. [Último acceso: Agosto 2022]

[4] «EstiNet.» [En línea]. Available: <https://www.estinet.com/ns/>. [Último acceso: Agosto 2022]

[5] «OMNET++ Documentation: Discrete Event Simulator.» [En línea]. Available: <http://www.omnetpp.org/documentation>. [Último acceso: Agosto 2022]

[6] «Start with J-Sim.» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/jsimofficial/start-with-j-sim>. [Último acceso: Agosto 2022]

[7] «Documentation - The official guide and reference for GNS3.» [En línea]. Available: <https://docs.gns3.com/>. [Último acceso: Agosto 2022]

[8] «NetSim Knowledge base.» [En línea]. Available: <https://support.tetcos.com/support/home>. [Último acceso: Agosto 2022]

[9] Calle, M.A., Tovar, J.D., Castaño Pino, Y.J., and Cuéllar, J.C., «Comparación de Parámetros para una Selección Apropia de Herramientas de Simulación de Redes.» Información Tecnológica, vol. 29, nº 6, 2018.

[10] «GAWK: Effective AWK Programming: A User's Guide for GNU AwK.» The Free Software Foundation (FSF). [En línea]. Available: gnu.org/software/gawk/manual/. [Último acceso: Agosto 2022]

[11] «XGRAPH - General Purpose 2-D Plotter.» [En línea]. Available: <http://www.xgraph.org/>. [Último acceso: Agosto 2022]

[12] 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

[13] Trinidad, F. y Talay, C. 2019. Consideraciones metodológicas para la investigación con simuladores de red. Informes Científicos Técnicos - UNPA. 11, 3 (nov. 2019), 211-235. DOI:<https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v11.n3.803>.

[14] Almada, M.L. y Talay, C.A. 2019. Procesamiento gráfico de datos obtenidos en la simulación de redes. Análisis comparativo de herramientas como complemento del simulador NS-2. Informes Científicos Técnicos - UNPA. 11, 3 (nov. 2019), 1-14. DOI:<https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v11.n3.794>

[15] Trinidad, F.A., Gonzalez, C., Talay, C. y Rodríguez Herlein, D. 2018. Automatización del proceso de simulación para el análisis de rendimiento del protocolo TCP en redes inalámbricas. Informes Científicos Técnicos - UNPA. 10, 3 (dic. 2018), 10-34. DOI:<https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v10i3.284>

[16] Almada, M.L. y Talay, C.A. 2020. Consideraciones al momento de evaluar la migración del simulador ns-2 al ns-3. Informes Científicos Técnicos - UNPA. 12, 2 (nov. 2020), 63-83. DOI:<https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v12.n2.732>