

Evaluación del Rendimiento de Redes IP utilizando Plataformas de Virtualización y Métodos de Simulación

W. Fuertes^{1,2}, L. Jácome¹, M. Grijalva¹, J. E. López de Vergara², R. Fonseca¹.

¹*Departamento de Ciencias de la Computación, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador*

²*Departamento de Ingeniería Informática, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España*
{wfuertesd, jacomemdl, grijalvasmf, rfonseca}@espe.edu.ec; j.lopez_vergara@uam.es

RESUMEN: Las plataformas de virtualización y los métodos de simulación constituyen dos tecnologías prominentes en el ámbito de la investigación, que son utilizadas para medir el rendimiento de las redes IP. En esta investigación se ha diseñado, implementado y puesto en funcionamiento escenarios de red simulados (mediante NS-2) y virtualizados (mediante Xen) con el fin de validar el rendimiento de redes IP. Consecuentemente, se ha realizado varios experimentos utilizando estas dos tecnologías con el propósito de verificar como se va degradando el rendimiento de la red a medida que se incrementan equipos en la misma. Los resultados experimentales iniciales ilustraron que existen diferencias al evaluar el rendimiento de la red a pesar de someter las dos tecnologías con los mismos escenarios y a las mismas pruebas. Esto se debe en el caso de la Simulación a que los parámetros deben ser rigurosamente programados para mejorarlos. En cambio, en el caso de la Virtualización, se deben a la falta de adaptación de otras condiciones operacionales como temporización y mejoramiento de la plataforma de hardware. En este contexto, se realizaron pruebas adicionales incluyendo diversos algoritmos de generación de tráfico, evaluación del ancho de banda (BW) y estimación de paquetes perdidos. Esto permitió finalmente determinar la degradación del rendimiento de la red al evaluar los resultados obtenidos mediante Simulación con NS-2 y Virtualización con Xen.

SUMMARY: Virtualization platforms and simulation methods are two prominent technologies which are used to measure the performance of IP networks. In this research were designed, implemented and operated simulated network environments (using NS-2) and virtualized (using Xen) to validate the performance of IP networks. We conducted several experiments using these two technologies in order to verify how they will degrade the network performance while we will increase computers on the network. The initial experimental results showed differences when assessing the performance of the network even though the two technologies are subject to the same environments and tests. In the case of simulation, this is because the parameters must be carefully planned to achieve improvements. In contrast, for virtualization, it is due to the unsuitability of other operational conditions such as timing and improved hardware platform. In this context, additional tests were carried out including several traffic generation algorithms, evaluation of the bandwidth and packet loss estimation. This led us to determine the degradation of network performance when evaluate the results obtained through simulation with NS-2 and Virtualization with Xen.

1. INTRODUCCIÓN

Las plataformas de Virtualización y los Métodos de Simulación constituyen dos tecnologías prominentes en el ámbito de la investigación, que son utilizadas para medir el rendimiento de las redes IP. Por una parte, las Plataformas de Virtualización permiten crear escenarios de redes virtuales que emulen equipos interconectados entre sí, que son usados para pruebas de software, emulación de prestación de servicios en redes y una variedad de aplicaciones [1]. Sin embargo su principal limitación es la penalización generada por la capa de Virtualización que modifica la precisión de los resultados experimentales [2]. Por otra parte están los métodos de simulación que proveen un ambiente repetible y controlable para imitar el funcionamiento de una red experimental durante un intervalo de tiempo. Los métodos de simulación permiten modelar un conjunto de supuestos que se expresan a través relaciones lógicas y matemáticas que evolucionan en el tiempo. Sin embargo los métodos de simulación no son capaces de reproducir el funcionamiento total del hardware.

Esta investigación tiene dos propósitos: Primero, diseñar, implementar y poner en funcionamiento escenarios simulados (mediante NS-2 [3]) y virtualizados (mediante Xen [4]) a fin de validar el rendimiento de redes IP. Segundo, realizar varios experimentos utilizando estas dos tecnologías a fin de verificar como se va degenerando el rendimiento a medida que se incrementan equipos en la red. Dentro de este contexto, no se han identificado suficientes evidencias relacionadas, sin embargo Muñoz en [5], utilizó OPNET y VNUML [6] para analizar la QoS en los servidores Web, cuyos resultados muestran una importante aproximación. Cabe mencionar que existen varios trabajos de simulación [7] y virtualización [8] pero de manera aislada que no contemplan la realización en conjunto del dimensionado de redes [9].

Para llevar a cabo esta investigación, se diseñó e implementó diferentes escenarios de prueba utilizando NS2 y Xen en la misma plataforma de hardware y software base. Luego se configuraron aquellos parámetros que se relacionan con el rendimiento de red como BW, latencia y pérdida de paquetes. A continuación se aplicaron métodos de inyección de tráfico UDP/TCP (para el caso de la Virtualización), así como diversos algoritmos de generación de tráfico (para el caso de la Simulación). Posteriormente, se tomaron varias medidas del rendimiento en los dos escenarios. Para contrastar estos resultados se realizaron algunas pruebas de validación ajustando parámetros. Finalmente se modificaron dichos escenarios con mayor número de equipos en la red para comprobar su comportamiento.

Por tanto las principales contribuciones de esta investigación son: *i*) proveer de un estudio de las divergencias existentes entre los resultados al medir el rendimiento en las dos tecnologías citadas; y *ii*) la verificación de cómo se degenera el rendimiento de la red en ambos entornos al ser sometida a otras condiciones de forma que a partir de los resultados se pueda extrapolar cuánto error ha de haber en un experimento que se haga posteriormente. Los primeros resultados experimentales ilustraron que existen diferencias al evaluar el rendimiento de la red a pesar de someter las dos tecnologías con los mismos escenarios y a las mismas pruebas. En este sentido, se ha detectado que en el caso de la Simulación, los parámetros deben ser rigurosamente programados para mejorarlos. En el caso de la Virtualización, se deben adaptar otras condiciones operacionales como servidores dedicados, temporización [10] y el mejoramiento del hardware base.

El resto del artículo ha sido organizado como sigue: La Sección 2 describe el marco conceptual de la herramienta de virtualización y técnica de simulación utilizada. La sección 3 especifica el entorno en el que se desarrollaron los experimentos, y la configuración de las topologías de prueba. La sección 4 expone los resultados experimentales a detalle que se reportaron tanto en virtualización como en simulación. La sección 5 resume los trabajos relacionados en dimensionado de redes utilizando virtualización y simulación. Y por último la sección 6 presenta las conclusiones obtenidas de este trabajo, y las líneas de investigación de trabajo futuro.

2. BACKGROUND

2.1 Plataforma de Virtualización Xen

Xen [4], es un entorno de virtualización de código abierto desarrollado por la Universidad de Cambridge en el año 2003. Se distribuye bajo licencia GPL de GNU. Permite ejecutar múltiples instancias de sistemas operativos con todas sus características, pero carece de entorno gráfico. El núcleo de Xen, que administra las VMs, se conoce como hypervisor, que en Xen es el dominio principal (Dom0). Se puede ejecutar varias instancias de sistemas operativos con todas sus características en VMs designando a las mismas como dominios de nombre genérico DomU, las cuales se ejecutan con diversas cargas de trabajo de forma completamente funcional, proporcionando independencia del sistema anfitrión, administración propia de los recursos, QoS, además tiene la característica de poder migrar máquinas virtuales en caliente. En la presente investigación, Xen fue escogida por el resultado de nuestras evaluaciones publicadas en [11] y confirmados en [4][12].

2.2 Método de Simulación NS-2

Network Simulator es un simulador de código abierto diseñado específicamente para la investigación de redes de computadoras [13], desarrollada por el grupo de trabajo Virtual InterNetwork Testbed (VINT) fundado por la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). Esta herramienta permite la simulación de protocolos de enrutamiento, multicast e IP, tales como UDP, TCP y RTP sobre redes normales e inalámbricas (locales y satélite) [3]. NS-2 permite simular el comportamiento del tráfico de varios servicios de redes como FTP, Telnet, Web, CBR y VBR. NS-2, es un simulador de redes orientado a eventos discretos. Un evento discreto es el conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran un modelo computacional que evoluciona en el tiempo mediante cambios instantáneos en las variables de estado. NS-2 trabaja a nivel de paquetes y ha sido ampliamente utilizado en el ambiente académico y de investigación. NS-2 se encuentra implementada en C++ con el objetivo de reducir los tiempos de procesamiento y utiliza un intérprete OTcl con soporte de programación orientada a objetos.

NS-2 separa la lógica de la trayectoria de datos de las estructuras de control y ejecución de la simulación. Ofrece la posibilidad de trabajar sobre distintas configuraciones de red, y hacer cuantos cambios se requieran, logrando de esta manera ser una herramienta ideal para probar diferentes escenarios de red, hacer pruebas y comparar sus resultados, reduciendo tiempos y gastos innecesarios, como si se hiciera en redes reales, constituyendo un beneficio para los administradores de red. Por las razones expuestas, en la presente investigación ha sido la herramienta de simulación escogida.

2.3 Iperf

Iperf [14], es una herramienta de código abierto, diseñada para medir el BW de una red. Soporta TCP, UDP entre dos equipos, Servidor y cliente, permitiendo la configuración de varios parámetros de medición tales como: retardo, paquetes perdidos, paquetes generados, etc. Iperf funciona para IPV4 o IPV6, tanto en distribuciones de Linux, cuanto en Microsoft Windows y Mac. Soporta además multicast y conexiones múltiples simultáneas. Iperf reporta medida del BW, throughput, retardo, variación del retardo y pérdida de paquetes o datagramas. Se utiliza a través de la línea de comandos, es del estilo similar a Mgen. Iperf dispone de opciones importantes, que combinadamente pueden caracterizar el rendimiento de la red.

2.4 Constant Bit Rate (CBR)

Tasa de bits constante, es un algoritmo útil en las mediciones de la calidad de servicio (QoS). En esta investigación ha sido utilizada como mecanismo de inyección de tráfico, el cual envía datos con una tasa de transferencia constante. Por defecto en la herramienta Iperf, CBR trabaja con el protocolo UDP, por lo que no hace falta especificarlo ni ajustarlo. En cambio en la

programación del escenario de red con NS-2, se requiere implementarlo, y añadirlo a un agente UDP. Para ello se precisó enviar los parámetros necesarios para su configuración como: tasa (rate), tamaño del paquete (packetsize), ruido (random, permite randómicamente introducir ruido en la señal). Se escogió dicha fuente de tráfico pues de acuerdo con [13], el desempeño de CBR como inyector de tráfico de NS-2 genera resultados consistentes haciéndolo el adecuado para esta investigación.

3. CONFIGURACIÓN DEL EXPERIMENTO

3.1 Diseño y configuración del escenario

Con el objetivo de poder comparar el rendimiento de la red tanto en un entorno Simulado como en uno Virtualizado se diseñó una topología de prueba (ver Fig. 1) tratando de configurar parámetros similares durante la medición tales como: enlaces bi-direccionales (half-duplex); BW variable; retardo constante; tamaño de los paquetes constante en un principio y variable posteriormente; CBR como algoritmo de generación de tráfico y, Drop Tail como tipo de gestor de colas. Este último para descartar data gramas entrantes nuevos en el caso de superar la máxima capacidad de la cola. La Fig. 1 ilustra el escenario LAN propuesto en una topología física en estrella y la Tabla 1 resume los parámetros de configuración descritos:

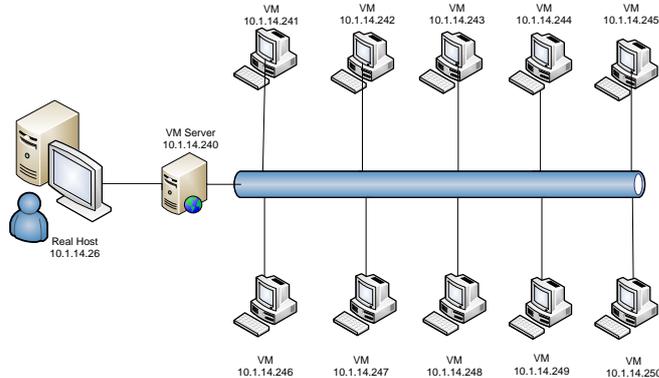


Figura 1. Diseño de la topología de prueba

TABLA 3. PARÁMETROS DE LA CONFIGURACIÓN EN XEN Y NS-2

Parámetros	Virtualización	Herramienta	XEN	Simulación	Herramienta	NS-2
Retardo		Netem	delay 0.3 ms		Script TCL	delay 0.3 ms
Protocolo		Iperf	- u		Script TCL	Agent UDP
Agente de Tráfico		Iperf	UDP/CBR		Script TCL	CBR
Rate		Iperf	-b 10 Mb		Script TCL	10 Mb
Intervalo		Iperf	-i 0.5		Script TCL	0.5
Time		Iperf	-t 60		Script TCL	60

3.2 Implementación

El diseño de la topología de prueba fue traducido a un entorno implementado tanto en Xen (Ver Fig. 2-a.), como en NS-2 (ver figura 2-b). En el primer caso se puso en funcionamiento la red que interactuaba desde cada máquina virtual (estaciones) hacia el servidor virtual. En el segundo caso desde cada nodo cliente hacia su servidor en la simulación. En ambos entornos se midió y analizó el comportamiento de dicho escenario, dado un retardo y el BW, mientras se realizaba la transferencia de paquetes hacia el servidor.

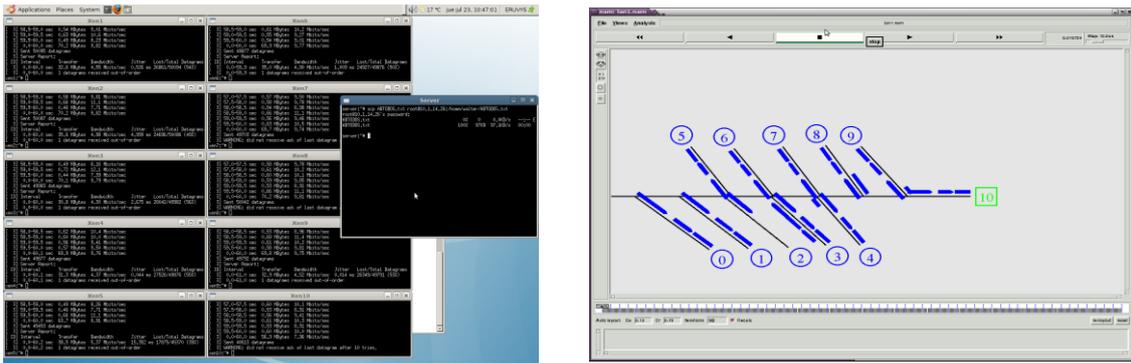


Figura 2. Escenario de prueba implementado: 2-a) virtualizado con Xen; 2-b) simulado con NS-2

Todas las pruebas se realizaron sobre Ubuntu Server 8.10. Kernel 2.6.27.5. En el caso de la Virtualización con la plataforma Xen, inicialmente se crearon y configuraron las VMs, cada una con su respectiva dirección IP. Para agilizar el proceso se creó un shell script que permitió levantar la topología de una forma automática. Con ello se procedió a establecer los respectivos parámetros para cada una: el retardo se añadió utilizando *Netem* [15], que en un inicio fue variable hasta encontrar el valor adecuado para incluirlo en la simulación. Para delimitar el BW se usó *Iperf*, en donde se estableció el protocolo UDP, en combinación con el agente generador de tráfico CBR, en razón de ser ideal para soportar aplicaciones en tiempo real con pequeñas variaciones de retardo y útil para los flujos de datos en canales de capacidad limitada.

En el caso de la simulación con NS-2 se configuró el escenario de red como sigue: primero se creó un nodo LAN que sería el concentrador de cada nodo cliente en la transferencia de los paquetes hacia el nodo servidor. Luego se incluyó el agente *LossMonitor* que permitió implementar un *sink* de tráfico, uno por cada cliente permitiendo obtener estadísticas sobre el número de bytes recibidos, número de paquetes perdidos, número de paquetes recibidos. Así mismo, se estructuraron dos procedimientos, uno que permitió añadir una fuente de tráfico CBR sobre un agente UDP para cada nodo cliente, y el otro que grababa periódicamente el BW calculado por los receptores de tráfico y escribía los resultados sobre archivos de texto plano.

Se realizaron 10 experimentos de cada escenario en virtualización mediante Xen, incluyeron la creación de 3, 5, 10 y hasta 15 máquinas y un servidor, de la misma forma se implementaron la cantidad en nodos para la simulación mediante NS-2. Tanto en la virtualización como para la simulación se ejecutaron experimentos en un período de tiempo de 60 segundos.

4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Validación de resultados en base al hardware base disponible

Para verificar la influencia del hardware base en el rendimiento de la red, los primeros experimentos fueron realizados en un PC con menores características al PC definitivo. Las características de los equipos mencionados se detallan en la Tabla 2:

TABLA 4. COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO ANFITRIÓN

Item	Descripción	Equipo Antiguo (M1)	Equipo Nuevo (M2)
1	Procesador	Intel Pentium 4 3.2Ghz	Intel Core™ 2 Quad CPU 2.4 Ghz.
2	Cache size	2048 KB	8192 KB
3	RAM Total	1 GB	4GB
4	Partición HD	108 GB	130 GB
5	Virtualización por Hardware	NO	SI

Debido a los recursos disponibles en el equipo inicial (M1), se desplegaron dos escenarios menores con 3 y 5 estaciones (VMs y nodos), de la misma forma en el equipo definitivo (M2). Las Figuras 3-a y 3-b, muestran cómo la disponibilidad de los recursos de hardware de los 2 equipos afecta el rendimiento en los experimentos realizados. En el caso de la virtualización, el rendimiento de la red se degenera en M1 (incrementa el overhead) y por lo tanto disminuye el rendimiento. En el caso de M2 los resultados muestran el rendimiento según el BW establecido. En cuanto a la simulación se demuestra que no existe influencia del hardware base, pues presenta el mismo comportamiento en ambos equipos, es decir sin cambios en el rendimiento de la red. Eso sí, el tiempo de ejecución aumenta o disminuye conforme los recursos de hardware disponibles.

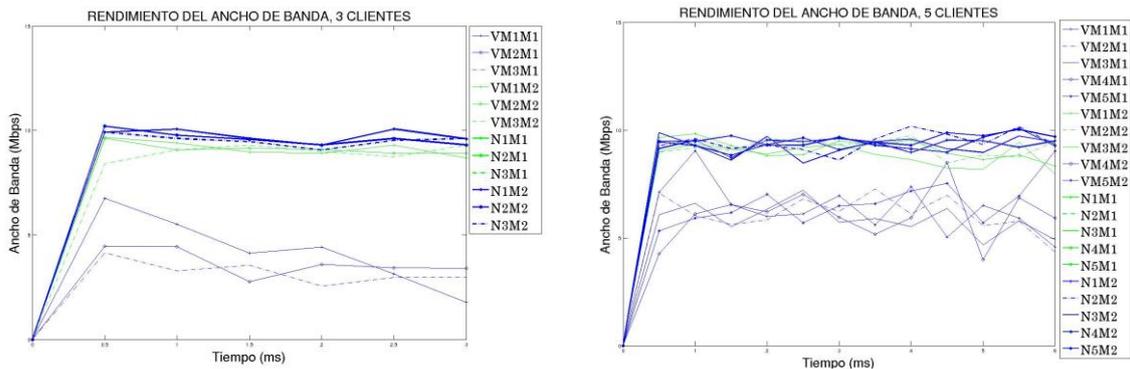


Figura 3. Comparación de resultados en base al hardware disponible: Fig. 3-a con 3 estaciones; Fig. 3-b con 5 estaciones

4.2 Validación de agentes generadores de tráfico

Con el fin de determinar el mejor agente generador de tráfico en NS-2, se realizaron varias pruebas ajustando el tamaño del paquete IP. La Fig. 4, muestra los resultados porcentuales en pérdida de paquetes de los diferentes agentes generadores de tráfico. Como se puede apreciar, EXPONENTIAL es el agente que mejores resultados alcanza, entregando el 99.82% de los paquetes generados en la prueba.

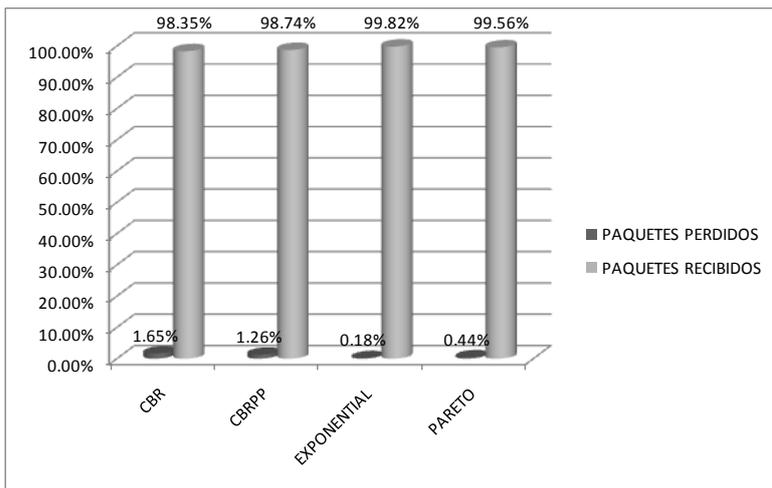


Figura 4. Pérdida de paquetes IP por agente generador de tráfico en simulación

A pesar de que EXPONENTIAL según los resultados, es el agente generador de tráfico que mejor rendimiento tiene en el entorno simulado, se decidió usar CBR para homologar el mismo tipo de agente en el entorno virtualizado, considerando que de acuerdo con [13] Iperf es una herramienta de inyección de tráfico CBR.

4.3 Comparación del rendimiento en base al BW.

La Figura 5, ilustra la media del rendimiento del BW obtenido en un escenario de 3 estaciones y un servidor durante 10 mediciones. Como se puede apreciar, la este indicador no fue la forma más legible de presentar los resultados, puesto que, para que los mismos sean analizados visualmente fue necesario calcular la media aritmética que es una medida de tendencia central que puede producir sesgos en las mediciones.

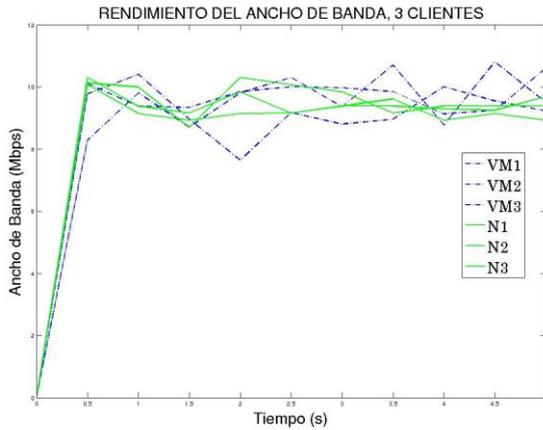


Figura 5. Rendimiento del BW con 3 estaciones, entorno Virtualizado vs Simulado.

4.4 Comparación entre escenarios de red en base a la pérdida de paquetes

Para asegurar la confiabilidad de los resultados en virtualización mediante Xen, se decidió procesar los datos del experimento que mejor rendimiento alcanzó basados en la pérdida de paquetes IP. Mientras que, en simulación mediante NS-2 como se explicó en el apartado 4.1 los resultados se mantienen constantes. La Figura 6-a, muestra los resultados obtenidos al comparar la pérdida de paquetes entre Xen y NS-2. Como se puede observar las curvas de función de probabilidad acumulada difieren considerablemente cuando están presentes 3 o 5 estaciones. La diferencia de los resultados en gran medida se debe al overhead generado por la capa de virtualización.

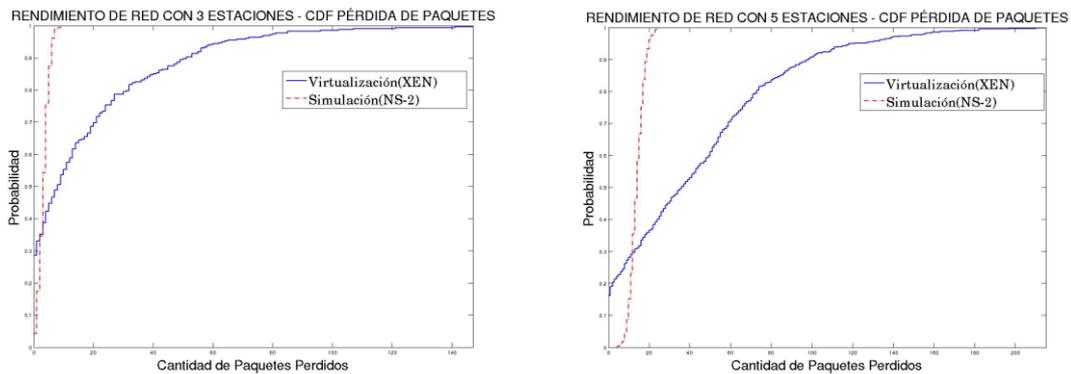


Figura 6. Función de distribución de probabilidad acumulada de paquetes perdidos: Fig. 6-a con 3 estaciones; Fig. 6-b con 5 estaciones.

Las Figuras 7-a y 7-b, muestran la comparación cuando están presentes 10 y 15 estaciones respectivamente. Como se puede apreciar a medida que se sigue incrementando el número de equipos, el rendimiento de red tiende a degradarse utilizando ambos entornos, es decir sigue incrementando el número de paquetes perdidos. Así por ejemplo, mediante NS-2 se ha perdido la capacidad de que sean recibidos todos los paquetes en un instante determinado.

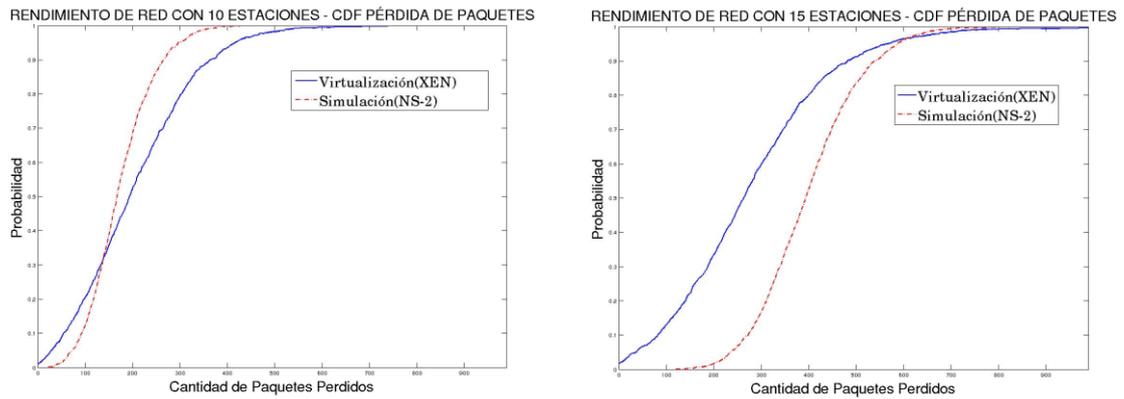


Figura 7. Función de distribución de probabilidad acumulada de paquetes perdidos: Fig. 7-a con 10 estaciones; Fig. 7-b con 15 estaciones

La Figura 8 muestra la mayor degradación de la red que se produce en el entorno virtualizado cuantificando el número de paquetes perdidos dado el incremento de equipos en la red y en consecuencia en base al incremento del overhead en el hardware base. Los resultados muestran que la diferencia entre Virtualización y Simulación va en el orden de 3.71%, 8.8% y 30.17% respectivamente a 3, 5 y 10 estaciones presentes en el escenario.

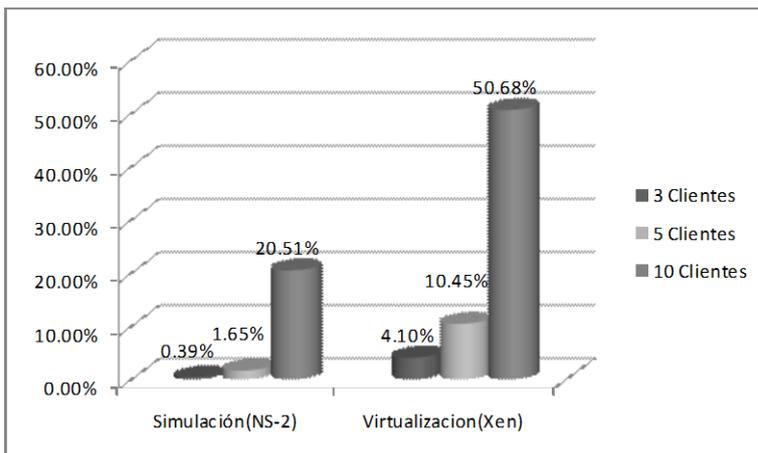


Figura 8. Porcentaje de paquetes perdidos sobre el total de paquetes generados.

5. TRABAJOS RELACIONADOS

Durante esta investigación se encontró un único trabajo muy relacionado al nuestro, es el propuesto por Muñoz en [5], quién realiza una comparación entre los resultados obtenidos entre VNUML como herramienta de Virtualización y el simulador OPNET, para analizar la QoS en los servidores Web, cuyos resultados muestran una importante aproximación al medir el rendimiento de un servidor utilizando las dos tecnologías.

Tradicionalmente la comunidad científica viene utilizando estas dos tecnologías pero por separado, sea en un entorno simulado o en un entorno virtualizado. En este contexto, en lo que concierne a la aplicación de NS-2 en dimensionado de redes, el trabajo propuesto por [16], describe un entorno real modelado y simulado con NS-2 para el análisis de QoS en la provisión de recursos en redes de VoIP basado en retardo (on end-to-end delay) y características de pérdida de paquetes (packet loss) utilizando un planificador FIFO. En relación con otros métodos de simulación, el trabajo propuesto por [7] presenta un estudio comparativo de tres simuladores híbridos de red: OPNET, NS-2 y NCTUns, utilizando una topología experimental y modelada en los tres simuladores. La comparación consistió en desplegar tráfico de varios

escenarios combinando patrones de tráfico CBR y una sesión de FTP, con el fin de comparar la precisión de los simuladores y además comprobar la respuesta de la red a nivel de concentrador y enrutador respectivamente a patrones de tráfico conocidos. En [17] son analizadas algunas características de NS-2 en el funcionamiento de los métodos existentes para la estimación de BW disponible. Así mismo en este trabajo se analiza el comportamiento y manejo de parámetros del agente generador de tráfico CBR como una mejor alternativa para la estimación del mismo. Todos estos esfuerzos son una pequeña muestra de la utilidad del NS-2 en el dimensionado de redes, que además han servido como fundamento en el desarrollo de nuestra investigación.

En lo referente al uso de tecnologías de virtualización para medir el rendimiento de las redes, el trabajo propuesto en [12] muestra el desempeño sistemático del rendimiento de la red virtualizada mediante la comparación de varias tecnologías de virtualización Xen, VMWare, OpenVz frente a evaluaciones tipo benchmark para determinar la herramienta que proporciona el mejor rendimiento general. En un enfoque muy parecido, en el trabajo de fin de master propuesto por [18], se evalúa la conveniencia del dimensionado de networking utilizando máquinas virtuales. Aquí se realizó una evaluación de Xen2, Xen3, Vmware, UML y Qemu, utilizando para dichos escenarios la integración de la herramienta NetShaper. Previo a ello, se definen varios criterios de comparación basados en el tráfico y el throughput. Comparado con el nuestro, ellos utilizaron la virtualización pero no validaron sus resultados mediante métodos de simulación.

Finalmente, en un contexto mas cercano al de nuestra investigación en [10] se utilizó Xen como plataforma de virtualización para probar la funcionalidad del VoD (Video Bajo demanda), intentando emular el servicio de VoD de ADSL en un entorno virtual con el fin de comparar la precisión de los resultados obtenidos entre lo real y lo virtual. Para tales fines se capturó tráfico de video en una solución ADSL real. Luego, con el análisis del tráfico capturado, se consiguió emular VoD tipo ADSL, utilizando el entorno de virtualización. Posteriormente, el BW, el retardo y el tiempo entre llegada de paquetes fue medido tanto en el entorno real como en el virtualizado. Estos parámetros fueron ajustados para obtener un comportamiento similar entre clientes y servidores en ambos casos. Comparado con el nuestro, nosotros comparamos los resultados obtenidos en un entorno virtualizado vs el simulado puesto que las dos tecnologías son soluciones mucho mas económicas y adecuadas para la realización de estos experimentos.

6. CONCLUSIONES

En esta investigación se diseñó, implementó y puso en funcionamiento escenarios simulados mediante NS-2 y virtualizados mediante Xen a fin de validar el rendimiento de redes IP. Los primeros resultados experimentales ilustraron que existen diferencias al evaluar el rendimiento de la red a pesar de someter las dos tecnologías con los mismos escenarios y a las mismas pruebas. Luego se ajustaron aquellos parámetros que se relacionan con el rendimiento de red como BW, latencia, pérdida de paquetes, etc. A continuación se aplicaron métodos de inyección de tráfico UDP/TCP (para el caso de la Virtualización), así como diversos algoritmos de generación de tráfico (para el caso de la Simulación). Posteriormente, se tomaron varias medidas del rendimiento en los dos escenarios. Para contrastar estos resultados se realizaron algunas pruebas de validación ajustando parámetros. Finalmente se modificaron dichos escenarios con mayor número de equipos en la red para comprobar como se produce la degeneración de la red a medida que incrementan los equipos. Como principales contribuciones de esta investigación se ha provisto de un estudio de las divergencias existentes entre los resultados al medir el rendimiento en las dos tecnologías citadas; y se ha verificado cómo se degenera el rendimiento de la red en ambos entornos al ser sometida a otras condiciones. Finalmente, se ha demostrado que en el caso de la Simulación, los parámetros deben ser rigurosamente programados para mejorarlos. En el caso de la Virtualización, se deben adaptar otras condiciones operacionales como servidores dedicados, temporización, otras métricas de rendimiento y el mejoramiento del hardware base.

REFERENCIAS

- [1] W. Fuertes, J. E. López de Vergara, F. Meneses, "Educational Platform using Virtualization Technologies: Teaching-Learning Applications and Research Uses Cases". Accepted for its publication in II ACE Seminar: Knowledge Construction in Online Collaborative Communities, Albuquerque, NM – USA, October 2009.
- [2] W. M. Fuertes and J. E. López de Vergara, "A quantitative comparison of virtual network environments based on performance measurements", in Proceedings of the 14th HP Software University Association Workshop, Garching, Munich, Germany, 8-11 July 2007.
- [3] The Network Simulator - ns-2 Web. 2008 [Online] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [4] P. Barham, B. Dragovic, K. Fraser, S. Hand, T. Harris, A. Ho, R. Neugebauer, I. Pratt, and A. Warfield. "Xen and the art of virtualization". In Proc. of the 19th Symp. on Operating Systems Principles, pps: 164–177, Oct. 2003.
- [5] A. Muñoz, "Performance analysis in accessing web services", [Online] <http://det.bi.ehu.es/NQAS/opnet/>
- [6] F. Galán, D. Fernández, W. Fuertes, M. Gómez and J. E. López de Vergara, "Scenario-based virtual network infrastructure management in research and educational testbeds with VNUML", Annals of Telecommunications, vol. 64(5), pp. 305-323, May 2009.
- [7] G. Flores, M. Paredes, E. Jammeh, M. Fleury, M. Reed, M. Ghanbari, "Packet by Packet Analysis in Contemporary Network Simulators". IEEE Latin America Transactions, vol. 4, no. 4, pps: 299-307, June 2006.
- [8] J. N. Matthews, W. Hu, M. Hapuarachchi, T. Deshane, D. Dimatos, G. Hamilton, M. McCabe, J. Owens, "Quantifying the Performance Isolation Properties of Virtualization Systems". In Proc. of ExpCS'07, 13–14 June, 2007, San Diego, CA.
- [9] A. Falcon, P. Faraboschi, D. Ortega, "Combining Simulation and Virtualization through Dynamic Sampling", In Proc of IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems & Software, 2007. ISPASS 2007. pps: 72-83, San Jose, CA, April 2007.
- [10] W. Fuertes and J. E. López de Vergara, "An emulation of VoD services using virtual network environments". In Proc. GI/ITG Workshop on Overlay and Network Virtualization NVWS'09, Kassel-Germany, March 2009.
- [11] W. Fuertes, J. E. López de Vergara, Evaluación de Plataformas de virtualización para experimentación de servicios multimedia en redes IP. Publicado en la Revista de Ciencia y Tecnología de la Escuela Politécnica del Ejército, Volumen 1, pps: 35-46, ISSN 1390-4612, Sangolquí, Ecuador, el 11-Septiembre-2008.
- [12] J. Walters, V. Chaudhary, M. Cha, S. Guercio Jr, S. Gallo, "A Comparison of Virtualization Technologies for HPC". In Proc. of 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA), Okinawa, pps: 861-868, March 2008.
- [13] Teerawat Issariyakul and Ekram Hossain. "Introduction to Network Simulator NS-2". ISBN 987-0-387-71759-3, Springer 2009.
- [14] Iperf [Online] <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>
- [15] S. Hemminger, Network Emulation with NetEm. Open Source Development Lab. April 2005. [Online] <http://linux-net.osdl.org/index.php/Netem>.
- [16] V. Rakocevic, R. Stewart, R. Flynn, "VoIP Network Dimensioning using Delay and Loss Bounds for for Voice and Data Applications". Technical Report.
- [17] K. Lakshminarayanan, V. Padmanabhan, J. Padhye, "Bandwidth Estimation in Broadband Access Networks", Microsoft Research-Technical Report, MSR-TR-2004-44, IMC'04, Taormina, Sicily, Italy. Copyright 2004 ACM, October 25–27, 2004.
- [18] A. Grau, H. Weinschrott, C. Schwarzer: "Evaluating the Scalability of Virtual Machines for Use in Computer Network Emulation". Stuttgart University, Oct/06.