

Universidad de las Ciencias Informáticas

Facultad 5



Título: Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación.

Trabajo de Diploma para optar por el título de
Ingeniero en Ciencias Informáticas

Autor: Carlos Manuel Hierrezuelo Pérez

Tutores: Dra. C. Marely Del Rosario Cruz Felipe
Ing. Reinier Martínez Gómez

La Habana, Julio 2012

"Año 54 de la Revolución"

“El Santo Grial de las redes de computadores es diseñar una red que tenga la flexibilidad y el bajo costo de Internet, pero que ofrezca las garantías de calidad de servicio extremo a extremo”

S. Keshav: 'An Engineering Approach to Computer Networking', 1997

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaro ser el único autor del presente trabajo de diploma y reconozco a la Universidad de las Ciencias Informáticas los derechos patrimoniales de la misma, con carácter exclusivo.

Para que así conste firmo la presente a los ____ días del mes de _____ del año _____.

Carlos Manuel Hierrezuelo Pérez

Firma del Autor

Marely del Rosario Cruz Felipe

Firma del Tutor

Reinier Martínez González

Firma del Tutor

DATOS DE CONTACTO

Dra. C. Marely del Rosario Cruz Felipe

- ❖ Ingeniera en equipos y componentes electrónicos. Universidad de Pinar del Río. 1994
- ❖ Master en Telemática. ISPJAE. 2005
- ❖ Doctora en Ciencias Técnicas. ITM “José Martí”. 2009
- ❖ Profesor Auxiliar. ITM “José Martí”. 2007
- ❖ Profesora y jefe de colectivo de la asignatura de Teleinformática II.
- ❖ Participación como miembro de tribunal de cambio de categoría y de examen de la especialidad como mínimo de doctorado y talleres de tesis y miembro del comité de tesis de la Facultad 5 en la UCI.
- ❖ Presenta en su haber 37 cursos vencidos, participación en 18 eventos, y 9 publicaciones, además contiene 9 investigaciones realizadas.

Reconocimientos:

- ❖ Condecoración de producción y defensa. ENTE “Baraguá”. 2001.
- ❖ Condecoración de producción y defensa. ENTE “Baraguá”. 2003.
- ❖ Vanguardia Nacional. ENTE “Baraguá”. 2005 Ing.

Dirección Electrónica: marely@uci.cu

Teléfono Apto UCI: 8781

Ing. Reinier Martínez González

- ❖ Profesor Instructor.
- ❖ Jefe de colectivo de asignatura de Teleinformática I y II.
- ❖ Participó en el rediseño de la asignatura a nivel de la universidad.
- ❖ Posee un artículo publicado: “Consideraciones para la configuración de la QoS en equipamiento Cisco y Huawei, además ha participado en tres eventos.
- ❖ Participó en la elaboración del curso de postgrado a distancia: “Configuración de Equipamiento de interconexión Cisco”.
- ❖ Miembro de la comisión Disciplinaria.
- ❖ Miembro del Grupo de soporte de la facultad.

Dirección electrónica: reiniermg@uci.cu

Teléfono Apto UCI: 3195

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a:

Primeramente quiero hacer alusión a la persona que más amo en este mundo, mi madre María Mercedes, por darme la vida, esfuerzo, apoyo, amor y dedicación, por los valores y principios que me inculcó con su ejemplo. A mi papa Carlos Manuel por su apoyo incondicional, por siempre estar a mi lado y sé que siempre confió en mí.

Mi hermana que siempre me apoyó y me aconsejó, confió en mí y sé que está orgullosa.

Mis abuelas Ana Celia y Neyda que aunque no puedan estar hoy conmigo, sé que estarían orgullosas de mí. Las quise, las quiero y siempre las querré por el resto de mi vida.

Mis tías Yaida, Elia, Arelis, Xiomara, Norma, Martica, Deysi, a mis tíos Yoel, Delio, Manuel (Papi), Guillermo, a mis primos Kiko, Humbertico y a mis primas Yaidita, Ana Rosa, Arelita y Claudia por todo su apoyo.

Mis tutores que pusieron todo su empeño días tras días y noches tras noches, considero meritorio el apoyo de los dos, creo que sin su inmensa dedicación no hubiese sido posible la realización del este trabajo.

Mis compañeros que han vivido 5 años a mi lado, que pasamos momentos buenos y malos. Más que compañeros, los considero parte de mi familia. Osmay, Daniel, Rubén, Mora, Marcell, Julín, Alberto viejo, Vlado, Yasmany, Henry, Wilder, Kike, Reynaldo, en fin a todos los que de una forma u otra han compartido a lo largo de mi carrera.

A pocho y familia por darme su apoyo en todo momento, contar conmigo y siempre confiar en mí.

A Liset por apoyarme y estar a mi lado en estos últimos meses, por su ayuda incondicional y por su verdadera amistad.

Mis compañeras Yaimi, Patricia, Ana Celia, Olivia, Yusemí, Adilén, Leyanis (Machupichu), Yanay, Yainury, Yanet Reyes, Yanet Medina Patricio, Elisa Fonseca, Irina Marrero, las cuales me han ayudado a lo largo de toda mi carrera con dedicación.

En fin agradezco a todas las personas que contribuyeron en mi realización como profesional.

A todos muchas gracias... Carlos

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a la razón de mí existir, mis padres.

A mis abuelas, a mi hermana, a mis tías Yaida y Elia, a mi primo Kiko.

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

RESUMEN

La incorporación de nuevos servicios a las redes es un proceso evidente en la actualidad en las redes de transmisión de información. Este elemento unido al uso de la red para transmitir en muchas ocasiones servicios que demandan exigencias en cuanto a parámetros de calidad de servicio (*Quality of Service QoS*, por sus siglas en inglés), sin que se encuentren estas preparadas para enfrentar dichos retos es lo que justifica la necesidad de implementar **QoS** en las redes de área local (*Local Area Network LAN*, por sus siglas en inglés).

La Universidad de la Ciencias Informáticas (UCI), cuenta con un *backbone* lo suficientemente amplio para enfrentar estos retos. Sin embargo la necesidad de emplear algunos servicios exigentes en cuanto a los parámetros, caudal y latencia, hace necesario tener que monitorear el comportamiento de la red, sobre todo en sectores que no presentan las mismas prestaciones del *backbone*. Incorporando a esto además, que se pronostica adicionar otros servicios más exigentes para los cuales se necesita poder prever su desempeño.

Para medir el desempeño, tanto de servicios incorporados a la red, como de los nuevos que se van a adicionar, la técnica más recomendada es la simulación; de ahí que en este trabajo se realice un análisis de tráfico de la red de la UCI mediante la simulación. Una vez realizado el mismo, se pudo llegar a un conjunto de recomendaciones sobre la factibilidad del empleo de diferentes técnicas de **QoS** dejando plasmado cuál de ellas usar para obtener mejor desempeño de la red. Además se validan los resultados mediante el método de comparación contra mediciones reales en la red.

Palabras claves: Redes de área local, aplicaciones, calidad de servicio, parámetros de **QoS**, simulación, medición.

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	2
A todos muchas gracias... Carlos	2
DEDICATORIA	3
RESUMEN	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	6
INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	11
1.1 Introducción.....	11
1.2 Redes de Área Local (LAN) de la UCI.	11
1.2.1 Tecnología existente	11
1.2.2 Servicios existentes.....	12
1.2.3 Nuevos servicios a incorporar.	13
1.3 Calidad de Servicio (QoS) en redes de telecomunicaciones.....	17
A partir de estas definiciones, este trabajo se centra en el análisis de la QoS a partir del funcionamiento de la red.....	18
1.3.1 Parámetros de QoS.....	18
1.3.2 Necesidad de evaluar la QoS	20
1.4 Análisis de los simuladores de redes existentes.....	21
1.4.1 CNET (COMPUTER NETWORK).....	21
1.4.2 PACKET TRACER	22
1.4.3 NS (NETWORK SIMULATOR)	23
1.4.4 OMNET ++	24
1.4.5 OPNET (OPTIMUN NETWORK PERFORMANCE)	25
1.5 Selección del simulador.....	26
1.6 Conclusiones Parciales	27
CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN	28
2.1 Introducción.....	28
2.2 Definición de la red objeto para la simulación.....	28
2.3 Definición de los mecanismos a simular en la red objeto.....	28
2.3.1 Simulación de la red para diferentes algoritmos de colas.	29

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

2.3.2	Análisis de la simulación con los algoritmos de tratamiento de cola en la red del docente 5 de la UCI con los servicios actuales.....	31
2.4	Análisis de la QoS con RSVP.....	40
	Servicios Integrados ó IntServ	41
	Servicios Diferenciados (<i>DiffServ</i>).....	42
2.5	Análisis de QoS empleando algoritmos de evasión de la congestión.....	45
2.6	Análisis de la simulación con los algoritmos de evasión de congestión.	47
2.7	Análisis de parámetros para diferentes fabricantes de equipamiento de interconexión.	50
2.8	Conclusiones parciales.....	50
CAPÍTULO 3: COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CONTRA MEDICIONES REALES		52
3.1	Introducción.....	52
3.2	Método de validación de los resultados	52
3.3	Mediciones reales.....	52
3.3.1	Comparación de los resultados de la simulación contra las mediciones reales	57
3.4	Conclusiones parciales.....	59
CONCLUSIONES.....		60
RECOMENDACIONES		61
BIBLIOGRAFÍA.....		62
ANEXOS		65
GLOSARIO		70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Requerimiento de los servicios en cuanto a parámetros de QoS.	19
Tabla 2:	Resultados de las simulaciones teniendo en cuenta diferentes tecnologías.....	50
Tabla 3:	Resultados del parámetro caudal.....	57
Tabla 4:	Comparación de los resultados de la medición real y la simulación para el parámetro latencia y pérdida de paquetes.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Escenario representado la infraestructura del docente 5 con servicios actuales.	32
Fig. 2	Escenario del primer piso.	33

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

Fig. 3Latencia o Retardo del escenario mostrado en la figura 1.	34
Fig. 4Caudal total del escenario mostrado en la figura 1.	35
Fig. 5Pérdida de Paquetes del escenario mostrado en la figura 1.	36
Fig. 6 Escenario representando la infraestructura del docente 5 con servicios Videoconferencia y VoIP incluidos.....	37
Fig. 7Latencia o Retardo del escenario mostrado en la figura 6.	38
Fig. 8Caudal total del escenario mostrado en la figura 6.	39
Fig. 9Pérdida de Paquetes del escenario mostrado en la figura 6.	40
Fig. 10 Escenario que representa un ejemplo de un departamento docente.....	43
Fig. 11Latencia o Retardo del escenario mostrado en la figura 10.....	44
Fig. 12Representación de la latencia ampliada.....	¡Error! Marcador no definido.
Fig. 13Escenario que representa el ejemplo aplicando los algoritmos de evasión de congestión.	47
Fig. 14Representación de los algoritmos con respecto al tráfico reducido.	48
Fig. 15Representación de los algoritmos con respecto al caudal.....	49
Fig. 16Distribución de la red de la UCI.	53
Fig. 17: Medición del caudal entre el Nodo de Nivel 1 de Docencia (NN1 Docencia) y el Docente 5.	54
Fig. 18: Medición del caudal entre el Nodo de la LAN (S7800) y el Nodo de Nivel 1 del Core de la red (S9300 Core).....	55
Fig. 19:Resultado del comando ping del docente 5 al NN1 del core.	56

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) es de vital importancia para el desarrollo social. Gracias a su avance y uso eficiente, pueden facilitar las comunicaciones, eliminar las barreras de tiempo y espacio, favorecer la cooperación entre distintas entidades y aumentar la producción de bienes y servicios. En el mundo actual la infraestructura de telecomunicaciones es fundamental, lo mismo para el desarrollo económico que para el desarrollo humano y social.

Las redes **LAN** no están exentas de este proceso, donde juegan un papel importante, tanto en empresas como en centros de estudio e investigación. También son capaces de facilitar el intercambio de datos informáticos, voz, vídeo, telemetría y cualquier otra forma de comunicación electrónica. A estas posibilidades, se unen servicios como correo electrónico, acceso a Internet, transmisión multimedia, entre otros, generando un gran tráfico en la red, lo cual trae consigo que los mismos no funcionen satisfactoriamente en todo momento. Es en este aspecto, que desempeña un papel importante la **QoS** en las redes informáticas. Esta se refiere a la capacidad de una red para proporcionar un mejor servicio al tráfico en la misma.

Actualmente en la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) se está emigrando a una nueva tecnología denominada **Huawei**, la cual posibilita implementar **QoS** en la mayoría de sus dispositivos. Se quiere incorporar nuevos servicios cada vez más exigentes en cuanto a algunos de los parámetros de **QoS** como son la **VoIP**, Video teléfono, Videoconferencia y Video en demanda.

La red de la UCI cuenta con un gran volumen de usuarios y una amplia gama de servicios. Con la puesta en funcionamiento de todos estos servicios, se generará un gran tráfico en la red, por lo que se hace necesario realizar un análisis del tráfico en la misma. Para esto se hace necesario obtener resultados reales de la red mediante los métodos de simulación y medición, para obtener dichos resultados y tomar decisiones relacionadas con la implementación de la **QoS**. Actualmente no se trabaja en este proceso sobre la red de la UCI, producto a que la tecnología adquirida está en fase de instalación.

En este sentido se realizan investigaciones en la universidad, donde se hace necesario tener resultados concretos de la simulación de la red bajo diferentes condiciones de modo, tal que permita tomar decisiones relacionadas con la configuración del equipamiento de interconexión de la red,

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

teniendo en cuenta los parámetros de **QoS**, y así obtener un mejor funcionamiento en la misma lo cual sería evidente con el mejoramiento de los servicios.

Teniendo en cuenta, las condiciones en que se encuentra la universidad respecto al nuevo equipamiento, a las posibilidades de implementación de la mencionada **QoS**

, y los beneficios que esta reporta, se hace necesario realizar un análisis del tráfico en la red, para determinar técnicas a emplear en cada uno de sus dispositivos y así obtener mejor desempeño de la red en general.

Teniendo en cuenta la situación problemática planteada, surge como **problema a resolver** la necesidad de realizar un análisis del tráfico en la red de la UCI para poder tomar decisiones en cuanto a la configuración de **QoS** en la misma. Como **objeto de estudio** de la investigación, se propone la simulación de redes de área local, definiéndose como **objetivo general** del trabajo, analizar el tráfico en la red de la UCI mediante la simulación, enmarcado en el **campo de acción** el análisis del tráfico en la red de la UCI.

Como **idea a defender** se toma como base realizar un análisis del tráfico en la red de la UCI empleando la simulación de forma tal que permita tomar decisiones en cuanto a la configuración de **QoS** en la universidad, obteniendo un mejor comportamiento de los servicios que existen en la red y la incorporación de nuevos servicios más exigentes sobre los parámetros de **QoS**.

Para lograr el objetivo trazado se definen las siguientes **tareas de investigación**:

1. Estudiar los simuladores de redes existentes para determinar cuáles de ellos permiten realizar un análisis de tráfico en redes de área local que tengan implícito los parámetros de **QoS** (latencia, caudal, pérdida de paquetes y disponibilidad).
2. Estudiar cómo funciona el simulador seleccionado de forma que se puedan determinar todas las estadísticas necesarias con el mismo.
3. Realizar la simulación de sectores de la red de la UCI en diferentes escenarios.
4. Realizar un conjunto de recomendaciones para la implementación de la **QoS** en la red de la UCI a partir del análisis de tráfico mediante la simulación.
5. Validar los resultados obtenidos en la simulación mediante la comparación con mediciones en la red real.

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

Durante el desarrollo de esta investigación y para dar cumplimiento a las tareas de investigación se han empleado los **métodos de investigación** que se describen a continuación.

Métodos Teóricos:

Entre estos se empleó:

- **Analítico Sintético**, con el objetivo de analizar y aumentar los conocimientos entorno al objeto de estudio a partir de consultar la bibliografía científica correspondiente.
- **Histórico-Lógico**, para conocer con mayor profundidad los antecedentes y las tendencias actuales relacionadas con el objeto de estudio.

Métodos Empíricos:

- **Observación**, permite adquirir la información necesaria, y puede utilizarse en cualquiera de las fases de la investigación, además ofrece gran acercamiento a la realidad y permite ver la posible solución del problema desde diferentes ángulos.

El contenido de la investigación queda estructurado de la siguiente manera:

CAPÍTULO 1. Fundamentación teórica: En este capítulo se abordan conceptos fundamentales relacionados con el problema antes planteado. Se realiza un estudio de la situación actual en la universidad de acuerdo a los servicios prestados y la tecnología existente. Se resume de forma general la situación actual de los simuladores existentes para una posterior selección.

CAPÍTULO 2. Simulación de la red: En éste capítulo se realiza un estudio sobre los parámetros afines con la **QoS**. Además se hace un análisis de tráfico evaluando el comportamiento de la red a través de la simulación a partir de las diferentes variantes de adoptar la **QoS**.

CAPÍTULO 3. Comparación de los resultados contra mediciones realizadas: En este capítulo se realizan comparaciones entre los resultados obtenidos en la simulación realizada en el capítulo 2 y las mediciones en la red.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 Introducción

El presente capítulo abordará con mayor amplitud los conceptos asociados a la **QoS**. Se describirá la tecnología existente en la universidad, los servicios que se prestan y los propuestos a incorporar a la red de la UCI. Además se hace un estudio de los simuladores existentes para luego realizar la selección de uno de ellos con el cual se realizará la simulación.

1.2 Redes de Área Local (LAN) de la UCI.

En el mundo las redes **LAN** juegan un papel muy importante, donde sus posibilidades son de gran demanda en la actualidad. Existe una definición de **LAN** del Comité IEEE 802 (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, en español Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos), quien la define de la siguiente manera: Una red de área local es un sistema de comunicaciones que permite que un número de dispositivos independientes se comuniquen entre sí. (1) Aprovechando sus importantes posibilidades, hoy en día grandes empresas hacen uso de este tipo de redes, donde su objetivo principal, además de Investigación y Desarrollo (I+D) es brindar servicios a los usuarios con la máxima calidad en su funcionamiento.

La UCI tiene como misión ser una universidad innovadora de excelencia científica, académica y productiva, siendo el soporte de la informatización del país y la competitividad internacional de la industria cubana del software. Actualmente ella posee la red de área local más grande del país. En aras de cumplir sus objetivos, la UCI posee una infraestructura de red de grandes dimensiones sobre la cual se desarrolla el concepto de una “ciudad digital”, en la que existe un elevado tráfico de información el cual corre sobre una tecnología avanzada.

1.2.1 Tecnología existente

La universidad está emigrando a una nueva tecnología denominada **Huawei Technologies**, desarrollada por una empresa privada fundada en 1988 por *Ren Zhengfei*, la cual se especializa en investigación y desarrollo (I+D), producción, **marketing** de equipamiento de comunicaciones y provee soluciones de redes personalizadas para operadores de la industria de telecomunicaciones. (2) (3)

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

La empresa **Huawei** comercia redes de telefonía fijas, móviles, comunicaciones de datos, redes ópticas, software y terminales telefónicas, incluyendo módems, conmutadores, redes de acceso integradas, transporte óptico, redes inteligentes, una serie completa de **routers**, conmutadores IP (*Internet Protocol*) y equipamiento a otros campos clave de la tecnología de telecomunicaciones.

Huawei Technologies brinda en su alta tecnología posibilidades de mejorar el tráfico de la red teniendo en cuenta las condiciones de los servicios prestados en la misma a través de la implementación de la **QoS**.

El equipamiento **Huawei** se ha adquirido con el fin de mejorar la infraestructura de la red y los servicios que esta brinda. La institución cuenta con conmutadores de tipo capa 2 de la serie *Quidway S2324*, *Quidway S32352* y *Quidway S9303* de tipo capa 3. Este último goza de plena capacidad **Backplane** de 1,2 Tbit/s, presenta 36 puertos con capacidad de 10 Gbit; los mismos pueden realizar mejores tareas en lo que respecta al control de tráfico y escalabilidad para el soporte de nuevas aplicaciones.

Los conmutadores *Quidway S9303*, soportan clasificación de tráfico basado en cabeceras de los paquetes de capa 2, protocolo de los paquetes de capa 3 y protocolos de los paquetes de capa 4. (4) Soportan configuración de las Listas de Control de Acceso (*ACL, Access Control List*), las cuales permiten controlar el flujo de tráfico en equipos de redes como *switch* capa 3 y *router* donde su principal objetivo es filtrar tráfico, permitiendo o denegando el tráfico de red de acuerdo a alguna condición.

Presentan además compatibilidad con los mecanismos para el trato de cola en espera como PQ (*Priority Queuing*), WRR (*Weighted Round Robin*), DRR (*Deficit Round Robin*), PQ + WRR y PQ + DRR, CQ (*Custom Queuing*), WFQ (*Weighted Fair Queueing*), los cuales han sido diseñados para el control de la congestión y apoyan el tráfico con la integración de métodos para evadir la congestión, tales como RED (*Random Early Detection*) y WRED (*Weighted Random Early Detection*).

1.2.2 Servicios existentes

La red de la UCI brinda gran cantidad de servicios telemáticos dentro de ellos se brindan actualmente los siguientes:

- Correo electrónico: Garantiza el intercambio de correo electrónico, tanto con todos los usuarios de la universidad como de estos con personas e instituciones fuera de la misma. Este servicio tiene la característica de enviar mensajes a una o varias personas, por lo que puede admitir un

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

considerable retardo en la recepción de la información. Sin embargo, no puede tener pérdida de ningún paquete que contenga información a recibir, ya que esto afectaría al destinatario.

- Navegación: Brinda a los usuarios la posibilidad de poder visitar sitios de interés. Se puede realizar de distintas maneras, una es la navegación nacional, la otra es la navegación básica y finalmente la navegación plena, según los niveles de autorización que tengan los usuarios.
- Mensajería instantánea: Los usuarios disponen de un servicio de comunicación en tiempo real que brinda un servidor de **Jabber**.
- Acceso remoto: Este servicio habilita a los profesores y algunos trabajadores para acceder remotamente a la red de la UCI, utilizando la vía telefónica.
- Multimedia: En la universidad hay un servidor de media: **Inter-nos**, que da la posibilidad de acceder a las teleclases y a opciones de entretenimiento como películas y series. Este servicio es un alto consumidor de recursos de red, por ello se ve afectado en situaciones donde ocurran pérdida de paquetes, lo cual se establece que en este caso ocurra por debajo de un 1%.
- Transferencia de ficheros: Brinda la posibilidad de que mediante un servidor FTP con gran volumen de documentación y programas de utilidad para los usuarios de la universidad, se descargue esta información. Esta información que se obtiene de dicho servidor, no requiere de un mínimo retardo, ya que el objetivo principal es que el usuario reciba los archivos descargados sin privación de los mismos, no ocurriendo así con la pérdida de algunos de estos paquetes pues el usuario se vería afectado privándolo de la información completa.

Además de esta variedad de servicios, en la universidad se pretende brindar otros servicios que requieren un mayor ancho de banda. Estos se describen en el epígrafe siguiente.

1.2.3 Nuevos servicios a incorporar.

Con la incorporación de nuevos servicios, cada vez más exigentes a las redes de datos, los cuales imponen mayor demanda de ancho de banda, velocidad y seguridad, entra a jugar un papel importante los aspectos relacionados con los parámetros de la red.

En la actualidad para brindar los servicios que se prestan en la red de la UCI no se tienen en cuenta requerimientos de parámetros de **QoS**. Actualmente esto no representa un problema crítico sobre todo en el tráfico que se genera a través del **backbone** de la red, pues se cuenta con un gran ancho de banda disponible; sin embargo uno de los factores que hacen necesario valorar si la red se seguiría comportando así, es la introducción de nuevos servicios como **VoIP**, Video-Teléfono, Video

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

en Demanda y Videoconferencia entre otros, a los cuales se hace necesario garantizarle la calidad requerida mediante el análisis de los parámetros de la red. Estos servicios se describen a continuación.

Voz sobre IP (VoIP, Voice over Internet Protocol): Permite el envío de voz a través de una red IP, por tanto, es una tecnología que permite encapsular la voz en paquetes para poder ser transportados sobre redes de datos sin necesidad de disponer de los circuitos conmutados convencionales utilizados para transmitir las señales de voz. (5) Esta aplicación por sus características de generar un elevado tráfico de paquetes de voz en la red en tiempo real, se caracteriza por generar eco, el cual siempre existirá en telefonía y es causado por reflexiones de la señal de voz. El eco siempre estará presente y se hará perceptible con un retardo mayor de 25 ms, que sobrepasando los 50 ms, llega a considerarse molesto para la mayoría de los usuarios.

El retardo o también conocido como latencia en **VoIP** es el tiempo que tarda la voz en salir de la boca del transmisor hasta llegar al oído del receptor. Existen muchos factores que contribuyen al retardo de punta a punta: retardo del algoritmo de codificación, tiempo de empaquetado, tiempo de propagación (despreciable salvo en distancias muy grandes), tiempo de transmisión, tiempos de espera en las colas de la red (dependiente del tráfico en la red) y el tiempo de descompresión.

El retardo total de punta a punta en una conversación telefónica debe mantenerse por debajo de un cierto nivel para minimizar la pérdida de interactividad entre los usuarios. La norma ITU-T G.114 especifica un retardo máximo de punta a punta de 150 ms y el **jitter** no debe exceder a 30 ms. Para valores mayores de retardo, la comunicación se vuelve molesta por la pérdida de interactividad: la persona que habla al percibir que su interlocutor tarda en contestar, repite sus palabras, a la vez que recibe la respuesta procedente del otro extremo, esto trae consigo interferencias auditivas.

Otros de los parámetros a tener en cuenta es la pérdida de paquetes. Existen aplicaciones que admiten la pérdida de un determinado número de paquetes, como una conversación de voz sobre IP, donde la pérdida de unos pocos paquetes pasará desapercibida para el usuario. La **VoIP** es sensible a este parámetro aceptando por norma pérdida de paquetes del 1% para evitar errores perceptibles aunque idealmente no debe producirse pérdida alguna. La deficiencia de las redes IP que afectan la voz son la pérdida de paquetes, la fluctuación de fase y retraso de manejo. Lo más común para resolver este problema es reproducir el paquete anterior, incrementando la atenuación en cada repetición.

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

Debido a la prioridad de flujo y a los picos de tráfico, los equipos de la red pueden perder paquetes de datos y producir retardos en la transmisión. Estos paquetes perdidos son retransmitidos y de este modo no se pierde información. Por ejemplo, las aplicaciones de **VoIP** concretamente se ven completamente afectadas a partir de un 5% de paquetes perdidos.

El **throughput** también conocido como caudal, tan solicitado por todas las aplicaciones, da la medida del volumen de información que es transmitido por la red.

En toda comunicación, incluso cuando algún interlocutor está físicamente frente a una o varias personas en la calle, el sonido tarda un tiempo en llegarle mientras viaja por el aire y al mismo tiempo un espacio por donde viajar. En aplicaciones como **VoIP**, para efectuar una llamada también se requiere de un espacio mínimo en la red denominado ancho de banda para que la comunicación se pueda establecer con la calidad requerida.

Para una mejor idea, se puede decir que para un solo canal de voz activo de una llamada, se necesita como mínimo unos 22 kbps. Esto quiere decir, que para una empresa que instale un servicio de telefonía VoIP, por ejemplo de 10 líneas de salida, podrá efectuar 10 llamadas simultáneas, y requeriría teóricamente un ancho de 220 kbps. La realidad no es así por completo, ya que nunca estarán en el ejemplo expuesto, las 20 personas hablando al mismo tiempo. Durante una conversación normal por teléfono, sólo en pequeños intervalos ambos locutores hablan simultáneamente, por lo que el caudal máximo de datos en este caso será muy inferior a los 220 kbps.

Videoconferencia: Es definida como la comunicación simultánea bidireccional de audio y video, permitiendo mantener reuniones con grupos de personas situadas en lugares alejados entre sí. Adicionalmente, pueden ofrecerse facilidades telemáticas o de otro tipo como el intercambio de informaciones gráficas, imágenes fijas, transmisión de ficheros desde una computadora personal y otras. La videoconferencia proporciona importantes beneficios como el trabajo colaborativo entre personas geográficamente distantes y una mayor integración entre grupos de trabajo. (6)

Al igual que otras aplicaciones, la videoconferencia también puede verse afectada por el retardo. Existen varios factores por los que se puede ver afectada la calidad de un video. Uno de ellos es el tipo de codificación implementada donde muchos de estos afectan la calidad percibida que están directamente relacionados con la fuente de video. Otro de los factores es la sincronización entre el audio y el video que influye también sobre la opinión de la calidad.

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

Teniendo en cuenta que cada aplicación presenta diferentes requerimientos en cuanto a los parámetros, hay que especificar que el video requiere, que entre los sitios o nodos que se conectarán entre sí, desde los puertos en donde vayan a estar los equipos, exista una latencia o retardo máximo de hasta 120 ms. Si la red experimenta un retardo mayor a los 120 ms puede que se pierda por completo la imagen observada.

El video también es sensible a la pérdida de paquetes, ya que si un paquete de video se pierde, puede producirse un ruido en el audio y algo de *pixelation* (una imagen que tiene errores en los colores de los bloques formados por píxeles) en el video, además demasiados paquetes perdidos empeoran la calidad del video. La pérdida de paquetes es una situación que depende de muchos factores: como la capacidad de la red, la carga real del tráfico en un momento dado, de cómo varía esta carga, y de otros factores que están más allá del control del usuario final.

Todos estos factores influyen de tal manera sobre la prestación de un servicio de video que poco a poco irá siendo cada vez peor la calidad observada, donde la misma será percibida por el usuario. Por ello las aplicaciones de videos también requieren de valores máximos para el buen funcionamiento de la red sobre el parámetro pérdida de paquetes. Preferiblemente se requiere que no existan pérdidas de paquetes. Una pérdida por encima del 2% hará que el servicio no funcione correctamente.

El ancho de banda, es crítico también en el video. Significa que haya suficiente espacio o capacidad de emisión y recepción de tal forma, que los paquetes lleguen a su destino sin problemas. Mientras que con el uso de enlaces dedicados o Red Digital de Servicios Integrados (ISDN,

Integrated Services Digital Network) el ancho de banda necesario puede oscilar entre 128 y 384 Kbps. La videoconferencia sobre IP puede usar eso, más al menos un 20% extra correspondiente a los datos de control de la sesión.

Las videoconferencias de alta calidad, comunes en las redes de alto desempeño como Internet 2, pueden consumir hasta 2 ó 3 Mbps, mientras que videoconferencias con usos especializados y calidad de televisión de alta definición requieren de 10 a 20 Mbps de ancho de banda por sitio. Sin embargo, una gran ventaja de la videoconferencia por IP es que usa de forma dinámica el ancho de banda, así al inicio de la sesión se necesitará la cantidad nominal de bits por segundo, monto que irá disminuyendo conforme transcurra ésta dependiendo del movimiento en el video y las muestras de audio que se digitalicen. Dicho de otra forma: si un sitio en la videoconferencia no habla y cancela

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

sus cámaras, el ancho de banda empleado puede ser tan bajo como sólo el 20% de bits por segundo del monto inicial que permite mantener la conexión.

Para realizar una videoconferencia con calidad de 15 cuadros por segundo, se requiere un ancho de banda real de 128 kbps + 25% de *overhead* en la red **LAN** y Red de Área Amplia (**WAN**, *Wide Area Network*).

Para realizar una videoconferencia con calidad de 30 cuadros por segundo, se requiere un ancho de banda real de 192 kbps + 25% de *overhead* en la red **LAN** y **WAN**.

Video teléfono: Un videoteléfono (también conocido como videófono): es un teléfono con una pantalla de video capaz de realizar comunicaciones entre dos o más personas en tiempo real. (7)

Video en demanda: Es un sistema de televisión que permite al usuario el acceso a contenidos multimedia de forma personalizada ofreciéndole, de este modo, la posibilidad de solicitar y visualizar una película o programa concreto en el momento exacto que el telespectador lo desee. Existe, por tanto, la posibilidad de visualización en tiempo real o bien descargándolo en un dispositivo. (8) Este servicio como bien define, da la posibilidad de solicitar y visualizar algún archivo de video, lo cual necesita de una alta disponibilidad y un ancho de banda suficiente para conseguir el correcto funcionamiento del sistema. Las distorsiones afectan al orden de llegada de los paquetes a través de la red. Si la distorsión es muy alta, el número de paquetes perdidos se incrementa y llegan al usuario desordenados, lo que hace que la calidad no sea buena.

Según datos mostrados de los requerimientos de los servicios a incorporar, sería muy útil valorar el comportamiento de la red antes de incorporar dichos servicios para lo cual es sumamente importante el empleo de la simulación de la misma.

1.3 Calidad de Servicio (QoS) en redes de telecomunicaciones.

En el mundo de las telecomunicaciones, la **QoS** suele venir dirigida a un conjunto de técnicas y procedimientos utilizados para dar un tratamiento preferente a unas clases de tráfico frente a otras. (9) Puede ser implementada en diferentes situaciones, para gestionar la congestión o para evitarla. Permite controlar algunas características significativas de la transmisión de paquetes. Estas características pueden especificarse en términos cuantitativos o estadísticos tales como: ancho de banda, latencia, *jitter*, pérdida de paquetes en la red; asegurando un grado de fiabilidad

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

preestablecido que cumpla los requisitos de tráfico, en función del perfil y ancho de banda para un determinado flujo de datos.

En el sentido más amplio, el término **QoS**, se define según la Unión Internacional de Telecomunicaciones en UIT-T [E 800] como: El efecto global de las prestaciones de un servicio que determinan el grado de satisfacción de un usuario al utilizar dicho servicio. (10)

Al contar con **QoS**, es posible asegurar una correcta entrega de la información necesaria o crítica, para ámbitos empresariales o institucionales, dando preferencia a aplicaciones de desempeño crítico, donde se comparten simultáneamente los recursos de red con otras aplicaciones no críticas. Implementando **QoS** en una red, hace al rendimiento de la red más predecible, y a la utilización de ancho de banda más eficiente. (11)

También puede verse desde dos puntos de vista: la calidad de funcionamiento de la red y la calidad percibida por el usuario, donde una gran parte de la satisfacción del usuario tendrá relación con el funcionamiento de la red. Es por ello que determinados trabajos de la **QoS**, se orientan a los aspectos técnicos de la red, como los originados por el Comité de Tareas de Ingeniería de Internet (*IETF, Internet Engineering Task Force*), los que definen la **QoS** como: Conjunto de requisitos del servicio que debe cumplir la red en el transporte de un flujo (12), por lo que la calidad del funcionamiento de la red se puede ver a partir de parámetros de **QoS** que están en consonancia con las exigencias de los usuarios. (13)

A partir de estas definiciones, este trabajo se centra en el análisis de la **QoS** a partir del funcionamiento de la red.

1.3.1 Parámetros de QoS

Ante las exigencias que debe cumplir una red para satisfacer los requerimientos de los usuarios, se impone la necesidad de analizar diferentes parámetros de la red, llamados también parámetros de **QoS**, dentro de ellos los más significativos en el contexto de una red de área local son: (14) (15) (16) (17)

Latencia (Latency) o Retardo (Delay): No es más que el tiempo de demora de un paquete en hacer el recorrido desde la estación origen hasta su destino final. Los retardos sufridos pueden ser propiciados durante el propio camino o en los dispositivos intermedios por los que constantemente pasa. Los principales factores que influyen en la latencia de una red son: retardo de propagación, velocidad de transmisión y procesamiento en los equipamientos (18). Por tanto es uno de los factores

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

más importantes a tener en cuenta a la hora de medir calidad de servicio, ya que es el tiempo que debe de esperar el destinatario de los datos desde que el emisor transmite dichos datos.

Caudal (Throughput): Es el volumen de información de usuario transferido en la unidad de tiempo. Se mide en paquetes por segundo. (19)

Pérdida de Paquetes (loss rate): Este es un parámetro que indica el número de paquetes que se pierden durante la transmisión. Se especifica en tanto por ciento (%).

Disponibilidad: La disponibilidad indica la utilización de los diferentes dispositivos o recursos, se especifica en tanto por ciento (%).

Muchos de los servicios se caracterizan por ser más sensible a algunos tipos de parámetros que otros, por ejemplo: las aplicaciones VoIP son más sensibles a la latencia, *jitter* y pérdida de paquetes. Las videoconferencias son sensibles al ancho de banda, latencia, *jitter* y la pérdida de paquetes puede ser moderada. El servicio video en demanda requiere de un bajo nivel de pérdida de paquetes, ya que estos paquetes perdidos tienen un alto impacto en la calidad del video recibido y generan errores visibles.

En sentido general las aplicaciones tienen diferentes requerimientos en cuanto a los parámetros de calidad de servicio, los más significativos se expresan en la tabla 1, la cual se muestra a continuación:

Tabla 1: Requerimiento de los servicios en cuanto a parámetros de QoS.

Aplicación	Pérdida de paquetes	Retardo	Jitter	Ancho de Banda
Correo Electrónico	Alta(*)	Alta	Alta	Baja
Transferencia de ficheros	Alta(*)	Alta	Alta	Media
Acceso a Web	Alta(*)	Media	Alta	Media
Vídeo bajo demanda	Media	Alta	Media	Alta
VoIP	Media	Baja	Baja	Baja

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

Videoconferencia	Media	Baja	Baja	Alta
------------------	-------	------	------	------

En la tabla 1, se puede observar que el video requiere más ancho de banda que la voz y los datos a la hora de asegurar un servicio de calidad.

Resumiendo, las redes IP son susceptibles de perder o distorsionar paquetes de datos cuando hay más interferencias. La mayoría de las veces estas pérdidas no significan un gran impacto en el servicio de datos, las cuales pueden arreglarse mediante el reenvío de paquetes desordenados.

Por lo antes planteado y teniendo en cuenta la incorporación de nuevos servicios, se ve la necesidad de que cada uno de estos contengan una variedad de parámetros de **QoS**, de modo que se puedan evaluar atendiendo a la diversidad de requerimientos de los nuevos servicios.

1.3.2 Necesidad de evaluar la QoS

Teniendo en cuenta la necesidad de ofrecer servicios que requieran de un óptimo funcionamiento en la red, se hace necesario hacerle un estudio a la red. Para esto una de las herramientas más ampliamente utilizadas es la simulación, teniendo en cuenta que esta nos permite simular una red existente, para predecir su comportamiento y además simular esta misma red en condiciones diferentes; por ejemplo, cuando se le incorporen nuevos servicios y poder valorar también su comportamiento.

Si se tiene en cuenta las características actuales de la red de la UCI, no es necesario implementar **QoS** en la mayor parte de esta, debido al ancho de banda disponible en el **backbone** de la red de 10 Gbps. Solo sería necesario en determinados sectores donde actualmente existen los cuellos de botella, como por ejemplo, en laboratorios de producción donde se transmiten imágenes médicas, laboratorios donde se procesan imágenes, otros donde se realizan las salvas y sobre todo en los enlaces a las Mini UCI que son a 2 Gbps.

Por tanto, para la implementación de la **QoS** en la UCI, se pretende simular solo algunos segmentos de la red, poniendo a pruebas la red sobre escenarios bajo diferentes condiciones. Para esta simulación es necesario primeramente analizar dentro de los simuladores existentes y seleccionar el más conveniente a emplear en este trabajo.

1.4 Análisis de los simuladores de redes existentes

Existen muchas herramientas software de simulación de redes en el mundo. Estas han evolucionado permitiendo facilitar la implementación y el análisis de sistemas de comunicación cada vez más complejos. Ellas permiten estudiar y evaluar el comportamiento dinámico de una red frente a la variación de distintos parámetros, como la carga de tráfico, usuarios, puntos problemáticos, cuellos de botella, entre otras funciones. Así mismo, se puede estudiar cómo afecta a una red la introducción de un nuevo servicio, modificaciones de uno existente, alteración de la estructura de la red con la incorporación o sustitución de elementos físicos, viendo cómo evolucionan las prestaciones de la red en el proceso.

Se realizará un estudio de los principales simuladores de redes donde se hará una comparación con el fin de evaluar sus prestaciones, ventajas y desventajas para una posterior selección de uno de ellos.

1.4.1 CNET (COMPUTER NETWORK)

Características: Fue específicamente desarrollado, y es aún empleado, en cursos sobre redes de computadoras para estudiantes universitarios desde 1991.

Ventajas: Es un simulador de uso gratuito, presentando una buena interfaz gráfica de usuario. Permite experimentar con diferentes protocolos y topologías consistentes en combinaciones de enlaces punto a punto y segmentos Ethernet IEEE 802.3. Así, si se quiere estudiar el direccionamiento, la detección de colisiones o el enrutamiento en función de un peso de transmisión asignado a cada enlace de redes **LAN**, compuestas por varios segmentos de datos con tecnología Ethernet 802.3, unidas a través de **routers**. CNET es una herramienta muy interesante desde un punto de vista didáctico. (20)

Desventajas: No es compatible sobre plataformas de programación en Windows y Macintosh, lo que dificulta el poder trabajar con el mismo. Tiene como desventaja que el trabajo, en el simulador, requiere de la implementación de funciones escritas en lenguaje de programación C, las que manejen los eventos que naturalmente ocurren en la red. La simulación de redes que cumplen con el estándar 802.3, en CNET, no puede ser integral si se desea simular redes multiservicios sensibles a parámetros como la latencia y las variaciones de la misma. No permite direccionamiento **multicast**,

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

lo que lo limita en cuanto a la evaluación de servicios con esas características como algunos casos de videoconferencias. (21)

1.4.2 PACKET TRACER

Características: Es un simulador gráfico de redes, desarrollado y utilizado por **Cisco System** como herramienta de entrenamiento para obtener la certificación CCNA (*Cisco Certified Network Associate*). *Packet Tracer* es un simulador de entorno de redes de comunicaciones de fidelidad media, que permite crear topologías de red mediante la selección de los dispositivos y su respectiva ubicación en un área de trabajo, utilizando una interfaz gráfica. Permite realizar el diseño de topologías, la configuración de dispositivos de red, así como la detección y corrección de errores en sistemas de comunicaciones. Ofrece como ventaja adicional el análisis de cada proceso que se ejecuta en el programa de acuerdo a la capa de Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, *Open System Interconnection*) que interviene en dicho proceso; razón por la cuál es una herramienta de gran ayuda en el estudio y aprendizaje del funcionamiento y configuración de redes de comunicaciones y aplicaciones telemáticas.

Ventajas: El programa posee una interfaz de usuario muy fácil de manejar, e incluye documentación y tutoriales sobre el manejo del mismo. Permite la simulación del protocolo de enrutamiento RIP V2 (*Routing Information Protocol Versión 2*) y la ejecución del protocolo STP (*Spanning Tree Protocol*) y el SNMP (*Simple Network Management Protocol*) para realizar diagnósticos básicos a las conexiones entre dispositivos del modelo de la red. Posee tecnologías Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet e inalámbrica, VLAN (*Virtual Local Area Network*), NAT (*Network Address Translation*), PAT y protocolos DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*). (22)

Desventajas: Es un software propietario, y por ende se debe pagar una licencia para instalarlo. Solo permite modelar redes en términos de filtrado y retransmisión de paquetes. No permite crear topologías de red que involucren la implementación de tecnologías diferentes a Ethernet; es decir, que con este programa no se pueden implementar simulaciones con tecnologías de red como **Frame Relay**, ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), XDSL (*x Digital Subscriber Line*), Satelitales y telefonía celular. Ya que su enfoque es pedagógico, el programa se considera de fidelidad media para implementarse con fines comerciales. (23)

1.4.3 NS (NETWORK SIMULATOR)

Características: La idea original de este proyecto surgió a finales de los años 80, a partir de **Real Network Simulator**, y a mediados de los 90, recibió el apoyo de la Agencia de Investigación de Proyectos Avanzados de Defensa (DARPA, *Defense Advanced Research Projects Agency*) a través del proyecto VINT (*Virtual Inter Network Testbed*) con SAMAN (*Simulation Augmented by Measurement and Analysis for Networks*), el proyecto NSF (*National Science Foundation*) con CONSER (*Collaborative Simulation for Education and Research*). Actualmente hay que añadir el apoyo puntual de numerosos investigadores, que implementan nuevas funcionalidades para el simulador.

El *Network Simulator*, más conocido como NS, es un software orientado a simular eventos discretos; se desarrolló con base a dos lenguajes de programación: uno de ellos es un simulador escrito en C++ y el otro es una extensión de TCL (*Tool Command Language*), orientada a objetos. Este programa ha sido diseñado especialmente para el área de la investigación de redes telemáticas. NS es una herramienta con un amplio rango de uso y continuamente sirve como base para el desarrollo de otros programas de simulación.

Ventajas: Es un simulador que corre en plataformas *Unix* (Free BSD, Linux, SunOS, Solaris) y también en plataformas *Windows* desde la versión 95. Es una herramienta fácil de usar, donde puede definirse una amplia gama de topologías fijando los respectivos parámetros de enlaces, colas e interfaces. Permite correr una simulación, ver en animación el movimiento de los paquetes, registrar los resultados para su análisis y su visualización posterior.

Contiene módulos que cubren un extenso grupo de aplicaciones, protocolos de ruteo, transporte, diferentes tipos de enlaces, estrategias y mecanismos de ruteo. Soporta una gran cantidad de protocolos de las capas de aplicación y transporte, además de otros utilizados para el enrutamiento de los datos, entre los cuales están: HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*), FTP (*File Transfer Protocol*), CBR (*Constant Bit Rate*), TCP (*Transmission Control Protocol*), UDP (*User Datagram Protocol*), RTP (*Real-time Transport Protocol*), SRM (*Storage Resource Manager*), los cuales pueden ser implementados tanto en redes cableadas, como inalámbricas locales o vía satélite; y que son aplicables a grandes redes con topologías complejas y con un gran número de generadores de tráfico. (24)

Desventajas: La configuración de las simulaciones a través de código, hace que sea mayor el tiempo de desarrollo. Para la creación de escenarios sencillos mediante NS-2 es necesario el conocimiento del lenguaje de script TCL, lo cual hace el incremento del tiempo necesario para el aprendizaje del software. Para visualizar los resultados se requiere una herramienta adicional llamada **NAM**. NS requiere varios componentes adicionales instalados para su correcto funcionamiento. (25)

1.4.4 OMNET ++

Es un programa orientado a simular objetos y a modular eventos discretos en redes de comunicaciones. Posee una gran cantidad de herramientas y una interfaz que puede ser manejada en plataformas Windows y en distribuciones tipo Unix; haciendo uso de varios compiladores de C++. OMNET ++ es una versión libre, para fines académicos, de la versión comercial es OMNEST desarrollado por Omnest Global, Inc. OMNET++, así como las interfaces y las herramientas, se pueden ejecutar perfectamente sobre sistemas operativos Windows y sobre algunas versiones de UNIX y Linux, usando varios compiladores de C++.

Es enfocada al área académica y desarrollada para modelar y simular eventos discretos en redes de comunicaciones. Básicamente, este simulador de redes recrea dichos eventos discretos por medio de módulos orientados a objetos; puede ser utilizado para modelar el tráfico de información sobre las redes.

Ventajas: Provee un amplio panorama para la realización de simulaciones. Es gratuito solamente para propósitos académicos, lo que facilita su utilización en universidades y grupos de investigación. Es multiplataforma. Gracias a la programación por módulos, es posible simular procesos paralelos y distribuidos, los cuales pueden utilizar varios mecanismos para comunicarse entre sí. (26)

Desventajas: Este simulador, utiliza el lenguaje de programación NED (*Network Description Language*), que se basa en el lenguaje C++; como herramienta para modelar topologías de red; es decir, un modelo en OMNET ++ se construye con módulos jerárquicos mediante el lenguaje NED. Dichos módulos pueden contener estructuras complejas de datos y tienen sus propios parámetros usados para personalizar el envío de paquetes a los destinos a través de rutas, compuertas y conexiones.

Para fines de investigación y desarrollo, es necesario saber programar en lenguaje NED, ya que el trabajo con el editor gráfico, es un poco más rígido. Por ser un software de aplicación en áreas

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

comerciales y para efectos de investigación y desarrollo, tiene un alto grado de complejidad en su manejo. Para realizar una simulación con este software, involucra todo un proceso. (27)

1.4.5 OPNET (OPTIMUM NETWORK PERFORMANCE)

Características: Este simulador fue desarrollado por el Instituto Tecnológico de *Massachusetts* (*MIT, Massachusetts Institute Technological*) en el año 1987 (primer simulador de red comercial). Se compone de diversas herramientas denominadas *Modeler, Radio Module, Terrain Modeling Module* y *Application Environment Module*. Para el estudio y diseño de las redes de computadoras se utiliza la herramienta *OPNET Modeler*. La versión de trabajo con *OPNET Modeler* no ofrece licencias gratuitas, existiendo sólo una versión académica, con licencia gratuita por un año, que es el *IT Guru Academic Edition*, el que no tiene todas las potencialidades del *OPNET*. La versión académica permite diseñar y estudiar redes, dispositivos, protocolos y aplicaciones, brindando escalabilidad y flexibilidad, cualidades que le permiten ofrecer a sus usuarios trabajar en procesos de investigación y desarrollo.

Ventajas: Es una versión gratuita del *OPNET Modeler*. Presenta una interfaz gráfica completa y amigable. Amplio uso y validación académica. Extensa biblioteca de modelos y protocolos disponible, incluyendo las librerías para acceder a un extenso grupo de aplicaciones y protocolos como: HTTP, TCP, IP, *Frame Relay, Ethernet, LAN 802.11 (Wireless)*, aplicaciones de voz, *IP Multicast, Circuit Switch, IP Móvil*; entre otras. Contiene algunos proyectos ilustrativos incluidos cuyas simulaciones pueden ser corridas. Es basado en la teoría de redes de cola. Permite mostrar el tráfico por la red a través de una animación, durante y después de la simulación. Los resultados se exhiben mediante gráficos estadísticos. Es un simulador que recoge los parámetros relacionados con la **QoS**. (28)

Desventajas: Esta versión no realiza un análisis detallado a nivel de paquetes. Es limitado en cuanto al tamaño de la red a simular y a la cantidad de eventos simulados. Es limitado en cuanto a capacidades de: importación, exportación, modelado, y análisis. Solo se pueden construir topologías de hasta 20 nodos (con 2 o más conexiones c/u). Presenta límites en cuanto a la cantidad de eventos a simular permitiéndose hasta 50×10^6 eventos. (29) (30)

Teniendo en cuenta las características de los simuladores analizados en este epígrafe se pudo definir que el simulador a emplear en esta investigación será el **OPNET it Guru** (versión académica

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

del OPNET) teniendo en cuenta todas las ventajas que este presenta y las cuales se detallan en el siguiente epígrafe.

1.5 Selección del simulador

Debido a la inmensa infraestructura de la red de la UCI y la futura incorporación de nuevos servicios, el software de simulación a escoger debe brindar la posibilidad de simular escenarios con un elevado número de equipos en la red, posibilitar la recogida de parámetros con respecto a **QoS** como latencia o retardo, caudal y pérdida de paquetes. Debe garantizar el trabajo con servicios de Voz, Video, entre otros, incluidos los tradicionales.

De acuerdo al estudio de los más convenientes simuladores, se opta por seguir las funcionalidades que brinda la versión académica del **OPNET** (*OPNET IT Guru Academic Edition*); el cual por un año garantiza el trabajo con la herramienta, con la obtención de una licencia gratuita. A pesar de ser una herramienta con fines académicos, se puede decir que es uno de los simuladores más avanzados en el campo de las redes de telecomunicaciones. Esta versión tiene una interfaz gráfica para el usuario que hace muy simple el trabajo en la creación de los modelos. Posee un editor de proyectos que ofrece grandes posibilidades de configuración, su operación es intuitiva y cómoda lo que la hace más atractiva de usar que el NS y el CNET, ya que no es necesaria la laboriosidad que impone construir los ficheros que definen los modelos de nodos de la red, sobre todo, cuando su número es elevado.

Una de la característica más relevante del **OPNET IT Guru Academic Edition** es que es un simulador orientado a objetos, lo que permite interactuar al usuario sin problemas y ofrece una gran facilidad de interpretación y creación de escenarios aparte de tener en cada objeto una serie de atributos configurables, donde a través de la configuración de estos, establecemos el flujo del tráfico de cada aplicación y estación de trabajo. Presentando así un enfoque académico, el **OPNET IT Guru Academic Edition** admite el trabajo con varias tecnologías como 3Com, Cisco, entre otros, demostrando el trabajo con una variada tecnología, las cuales están presentes en muchas empresas en la actualidad. Es una herramienta muy útil y versátil para la simulación de redes que dominen servicios en tiempo real.

1.6 Conclusiones Parciales

- Se realizó un análisis de los servicios existentes y los nuevos servicios a emplear en la red de la UCI, para lo cual se evidencia que sería necesario simular el comportamiento de los mismos antes de su implementación.
- Se determinó que los parámetros a evaluar en la red de la UCI, partiendo de ser los más significativos en una LAN son: latencia, caudal, disponibilidad y pérdida de paquetes.
- Se analizaron los diferentes simuladores de redes existentes en la actualidad y se determinó emplear en la simulación de la red de la UCI, el simulador *OPNET IT Guru Academic Edition*, por permitir evaluar los parámetros significativos en una **LAN** y tener una licencia gratuita.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN

2.1 Introducción

En el presente capítulo se realiza un análisis de tráfico, a través de la simulación de algunos segmentos de la red donde se va a implementar **QoS**. Se obtienen resultados para cada uno de los parámetros y posteriormente se hace un análisis de los mismos para establecer comparaciones entre los diferentes algoritmos y mecanismos de **QoS**.

Primeramente se simula un sector representativo de la red en las condiciones actuales y después se modifica dicha red concibiendo servicios a incorporar para poder simular su comportamiento. Se simulan estos escenarios para los distintos mecanismos de colas desde FIFO (Primero en entrar, primero en salir, *First In First Out por sus siglas en inglés*) que no ofrece **QoS** hasta otros que si lo permiten. También se simula la red con la incorporación del Protocolo de Reservación de Recursos (RSVP, *Resource Reservation Protocol*), y los algoritmos que se encargan de la evasión de congestión.

Finalmente a partir de todas estas simulaciones se puede llegar a un conjunto de recomendaciones sobre la factibilidad de emplear uno u otro mecanismo en la obtención de la **QoS** en la red objeto.

2.2 Definición de la red objeto para la simulación

Para la simulación de la red de la UCI, teniendo en cuenta la gran dimensión de la misma, se hace necesario simular partes significativas de esta que permitan simplificar el proceso y que a la vez sirvan de ejemplo para otros sectores de la red, permitiendo cumplir los objetivos de la investigación al poder definir un conjunto de recomendaciones aplicables a toda la red de la UCI para el empleo de la **QoS** teniendo en cuenta además que la tecnología empleada es homogénea en toda la red.

Partiendo de lo expuesto anteriormente, se seleccionó el docente 5 que sería representativo dentro de los docentes y el nodo de los servicios que sería imprescindible tener en cuenta si se quiere simular el comportamiento de cualquier sector de la red.

2.3 Definición de los mecanismos a simular en la red objeto

Partiendo de la definición de la red objeto a simular en el epígrafe anterior se realizó un análisis de los diferentes elementos que intervienen en dicha red como son: *switch* capa 2 *Quidway S2324*, *switch* capa 3 *Quidway S9303*, los cuales permiten aplicar técnicas de **QoS**.

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

Partiendo de las posibilidades de estos dispositivos y que están en concordancia con las técnicas y mecanismos empleados en diferentes tecnologías para la implementación de la **QoS**, se analizan en este trabajo los mecanismos de tratamiento de cola, dentro de ellos el FIFO, Colas Personalizadas (CQ, *Custom Queueing*), Colas de prioridad (PQ, *Priority Queueing*) y Colas de Ponderación Equitativa (WFQ, *Weighted Fair Queueing*); también se analiza el comportamiento del protocolo RSVP para la reserva de recursos en la red y por último se analizan los algoritmos de evasión de la congestión como son: Detección Aleatoria Anticipada (RED, *Random Early Detection*) y Ponderada Detección Aleatoria Anticipada (WRED, *Weighted Random Early Detection*).

2.3.1 Simulación de la red para diferentes algoritmos de colas.

Los enrutadores IP fueron diseñados para comprobar solamente la dirección IP del destino de una tabla de reenvío, encontrar el salto siguiente y remitir el datagrama IP. Si la cola para el salto siguiente es larga, el datagrama será retrasado. Si la cola está llena, el datagrama puede incluso ser descartado. Cuando ocurre la congestión, se necesita la manera de clasificar el tráfico hacia afuera. Los paquetes que han estado marcados se pueden identificar y colocar en colas.

Con vista al mejoramiento de la congestión el grupo *Internet Engineering Task Force* (IETF) ha propuesto modelos de servicios y mecanismos para cumplir con el requerimiento de **QoS**. Entre los modelos creó la arquitectura **Diferenciación de Servicios** (*DiffServ*) e **Integración de Servicios** (*IntServ*), con el objetivo de administrar flujos de datos en redes IP como una solución.

Sin embargo la **QoS** involucra diversos mecanismos: control de pérdidas de paquetes cuando ocurre congestión durante un período de ráfaga, el establecimiento de prioridades de tráfico, dedicación de ancho de banda sobre una base por aplicación, evasión de la congestión y administración de la congestión cuando ocurre, entre otros.

El “manejo de congestión”, es un término muy usado para referirse a los distintos tipos de estrategias de encolamiento que se utilizan para manejar situaciones, donde la demanda de ancho de banda solicitada por las aplicaciones excede el ancho de banda total de la red, controlando la inyección de tráfico de la red, para que ciertos flujos tengan prioridad sobre otros.

En esta investigación se analizan cuatro mecanismos de encolamiento dentro de ellos FIFO, que no ofrece **QoS** y otros que si lo ofrecen como PQ, CQ y WFQ.

Mecanismo *First in First out* (FIFO)

Es el tipo de encolamiento más simple. Se basa en el siguiente concepto, el primer paquete en entrar a la interfaz, es el primero en salir. Usa la técnica de almacenamiento y reenvío, por tanto es adecuado para interfaces de alta velocidad, demostrando que es el más rápido, ya que FIFO es capaz de manejar cantidades limitadas de ráfagas de datos aunque está limitado por su buffer. Se caracteriza por descartar aquellos paquetes que llegan mientras la cola está llena. No tiene mecanismos de diferenciación de paquetes, por tanto no es un mecanismo recomendable para **QoS**. (31)

Mecanismo Priority Queuing (PQ)

El encolamiento de prioridad consiste en un conjunto de colas, clasificadas en alta, media, normal y baja prioridad. Cada paquete es asignado a una de estas colas, las cuales son servidas en estricto orden de prioridad. Las colas de mayor prioridad son siempre atendidas primero, luego la siguiente de menor prioridad y así sucesivamente. Si una cola de menor prioridad está siendo atendida, y un paquete ingresa a una cola de mayor prioridad, ésta es atendida inmediatamente. Este mecanismo se ajusta a condiciones donde existe un tráfico importante, pero puede causar la total falta de atención de colas de menor prioridad.

Para establecer las prioridades a los paquetes, se basa en diversos medios como el protocolo de red, la interfaz del **router** por el que llegue el paquete, el tamaño del paquete y la dirección de origen y destino. Por sus características es un mecanismo estático, el cual no se adapta a los requerimientos de la red, y puede crear inanición, es decir, dejar fuera de servicio a tráfico menos prioritario. (32)

Mecanismo Custom Queuing (CQ)

Para evadir la rigidez del mecanismo PQ, se opta por utilizar encolamiento personalizado (CQ: *Custom Queuing*). Permite al administrador priorizar el tráfico sin los efectos laterales de inanición de las colas de baja prioridad, especificando el número de paquetes o bytes que deben ser atendidos para cada cola. Se pueden crear hasta 16 colas para categorizar el tráfico, donde cada cola es atendida al estilo *Round-Robin*. CQ fue diseñado para permitir que varias aplicaciones compartieran la red y que además tuvieran un ancho de banda mínimo garantizado, y unas garantías aceptables en cuanto a los retrasos. CQ ofrece un mecanismo más refinado de encolamiento, pero no asegura una prioridad absoluta como PQ. CQ se utiliza para proveer a tráficos particulares de un ancho de

banda garantizado en un punto de posible congestión, asegurando para este tráfico una porción fija del ancho de banda y permitiendo al resto del tráfico utilizar los recursos disponibles. (33)

Mecanismo Weighted Fair Queuing (WFQ)

Los mecanismos anteriormente expuestos, son estáticos, por lo tanto no se adaptan a los cambios producidos en la red. *Fair Queuing* (FQ), generalmente conocido como WFQ (*Weighted Fair Queuing*), es un método automatizado que provee una justa asignación de ancho de banda para todo el tráfico de la red, utilizado habitualmente para enlaces de velocidades menores a 2048 [Mbps]. Ordena el tráfico en flujos utilizando una combinación de parámetros. WFQ es apropiado en situaciones donde se desea proveer un tiempo de respuesta consistente ante usuarios que generen altas y bajas cargas en la red, o sea, que hagan tanto un uso elevado de la red, tanto como para los que hagan un uso más leve sin añadir ancho de banda adicional, ya que WFQ se adapta a las condiciones cambiantes del tráfico en ésta. (34) (35)

2.3.2 Análisis de la simulación con los algoritmos de tratamiento de cola en la red del docente 5 de la UCI con los servicios actuales.

El escenario empleado para la simulación es el mostrado en la figura 1 que se observa continuación.

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

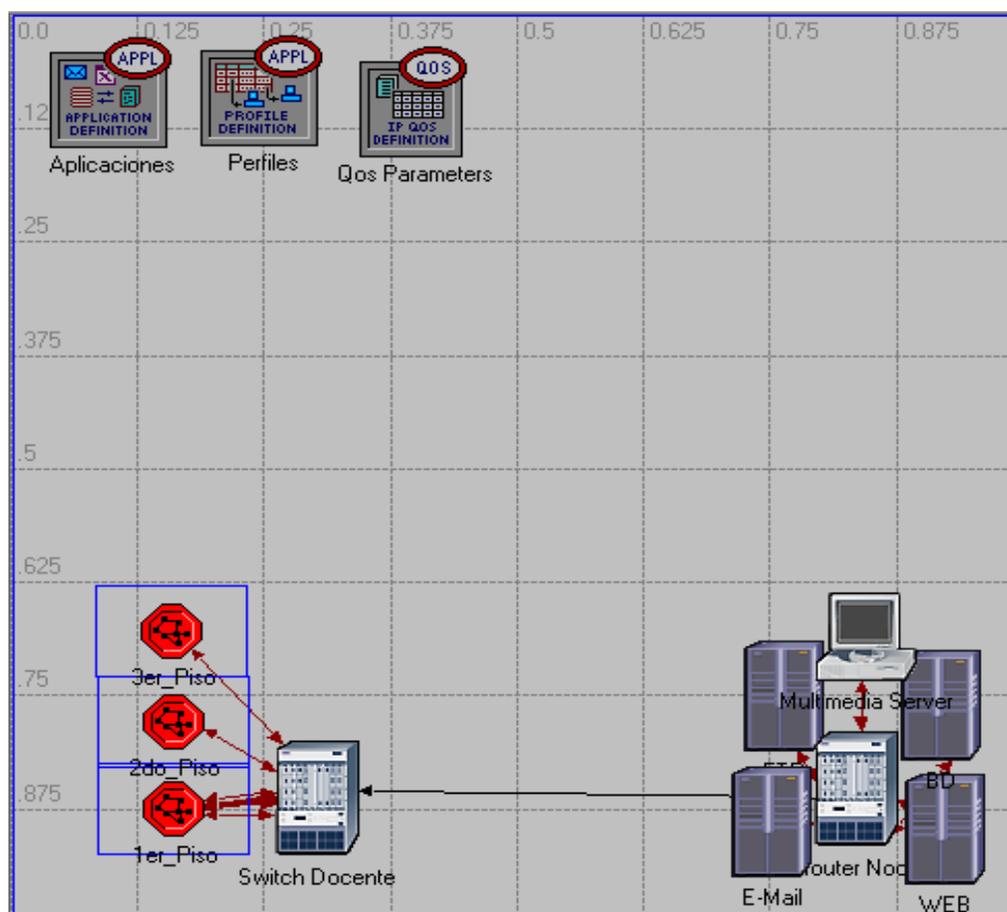


Fig. 1 Escenario representando la infraestructura del docente 5 con servicios actuales.

En la figura 1 se representa el esquema de distribución por pisos del docente 5, que enlaza el *switch* capa 3 que se encuentra en el primer piso con el nodo central de los servicios a través de un enlace punto a punto con una capacidad de 1 Gb. Las subredes mostradas para los 3 pisos fueron configuradas teniendo en cuenta las características de la red real.

En la figura 2 se muestra la red del primer piso.

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

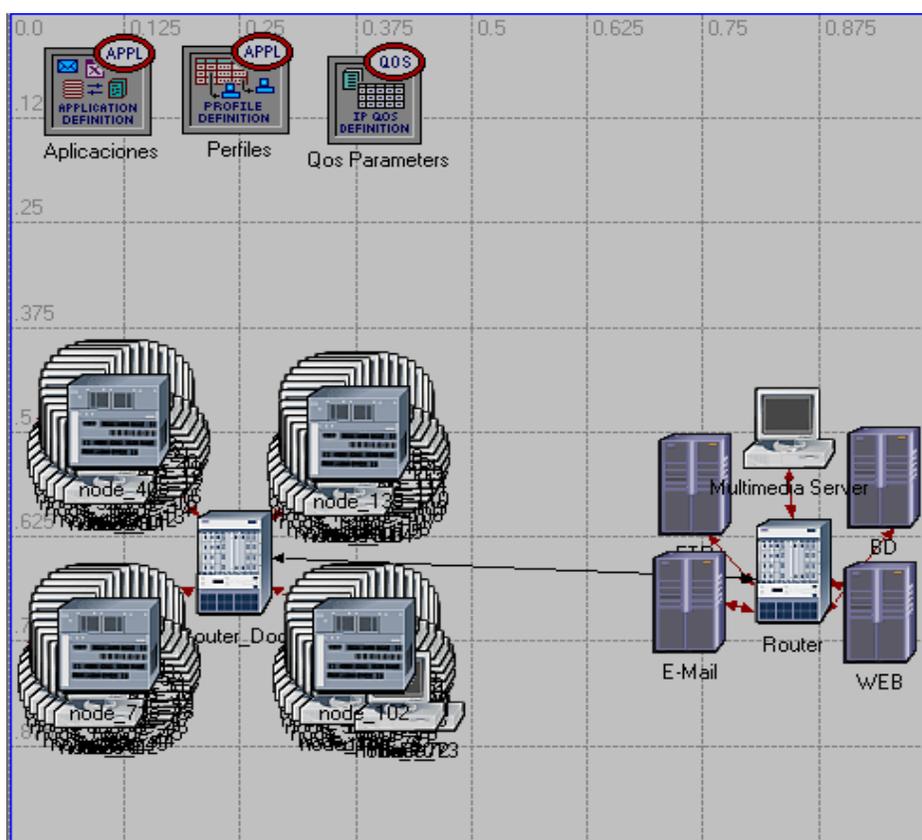


Fig. 2 Escenario del primer piso.

En la figura 2 se puede apreciar la incorporación de los diferentes dispositivos de interconexión como son *switch* capa 2 en los repartidores de piso y en los laboratorios, todos ellos interconectados al *switch* capa 3 de acceso al edificio.

De acuerdo a las posibilidades que brinda el simulador escogido en cuanto a aplicaciones, se integran al escenario de la figura 1 los servicios que actualmente se brindan a la comunidad universitaria con el objetivo de evaluar el comportamiento de cada mecanismo de cola atendiendo a los parámetros latencia, caudal y pérdida de paquetes.

A continuación se muestra en la figura 3 como se comporta la latencia de acuerdo a los distintos mecanismos de cola.

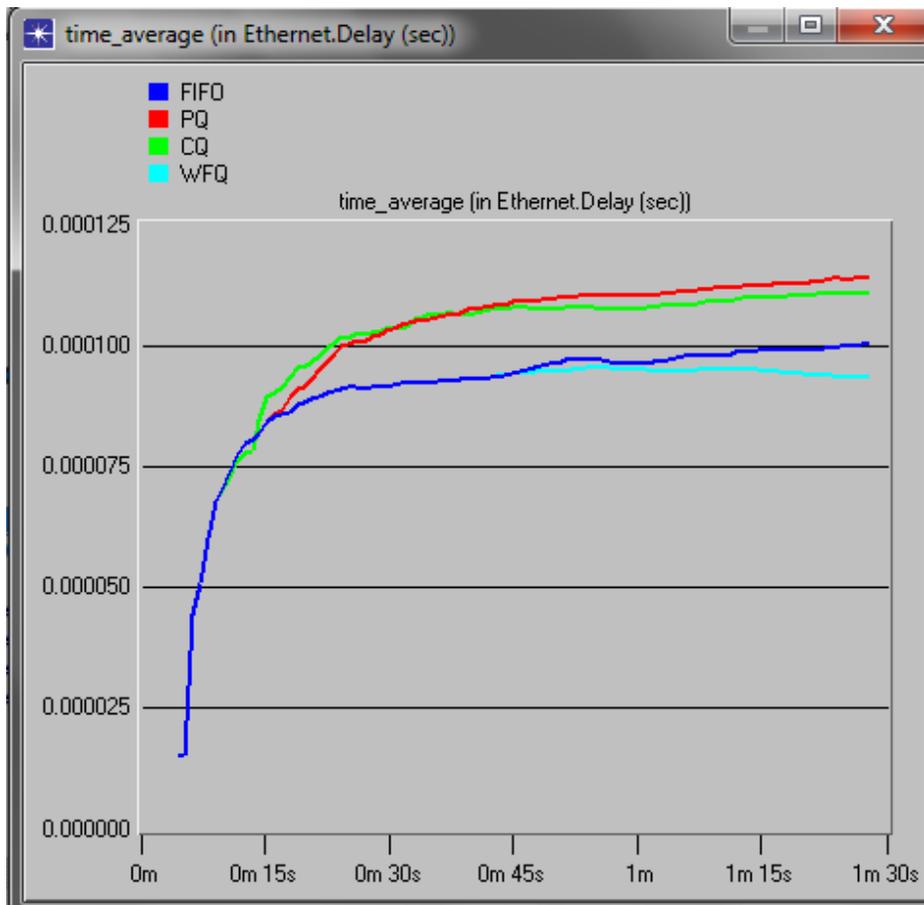


Fig. 3 Latencia o Retardo del escenario mostrado en la Fig. 1.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para este caso, se observa que el mecanismo WFQ da muestra de mejor comportamiento respecto a los demás atendiendo a su capacidad de ser adaptativo en el proceso de asignación de salida de la interfaz a los paquetes y de acuerdo al tráfico generado por los servicios que en dicho escenario se prestan.

El análisis realizado en cuanto al caudal se muestra en la figura 4. Ver a continuación:

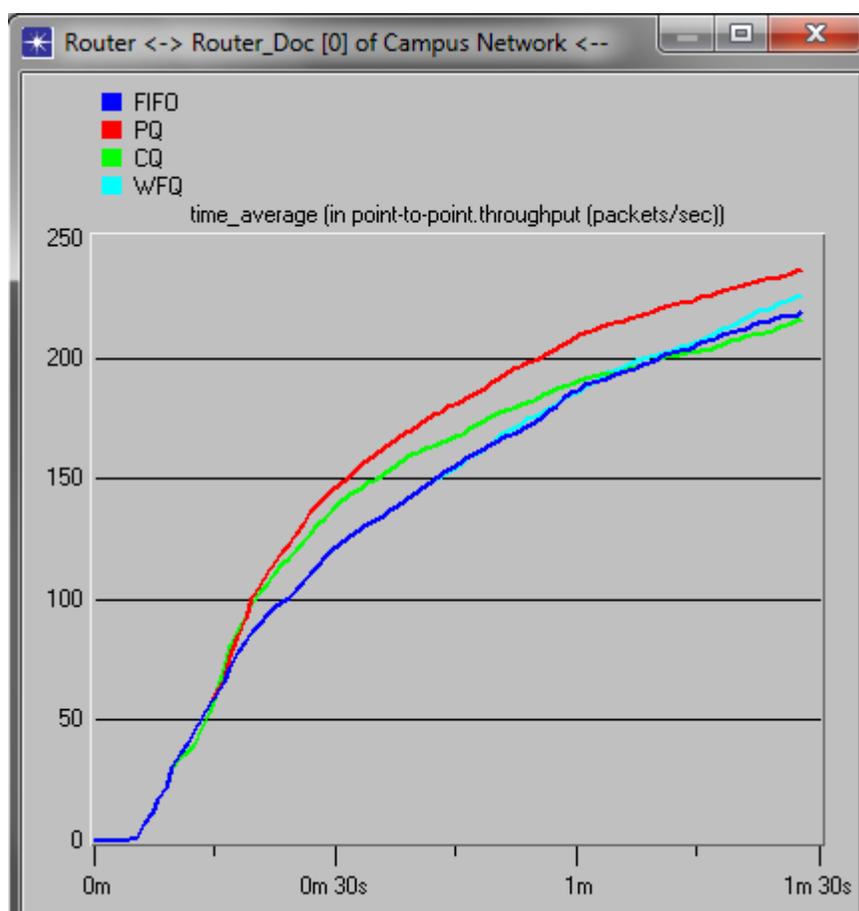


Fig. 4 Caudal total del escenario mostrado en la Fig. 1.

Se observa que el comportamiento de FIFO en esta red tiende a comportarse peor en cuanto al caudal que los restantes algoritmos. La característica de que no emplea ningún mecanismo para la diferenciación de paquetes lo hace más rápido a la hora de enviar bits, los cuales salen de la interfaz en el mismo orden que llega de acuerdo a que emplea la técnica de almacenamiento y reenvío. Lo cual hace que en el análisis de la latencia, no se observe tan significativamente este mecanismo como el peor caso. Pero si se tiene en cuenta el parámetro caudal su comportamiento empeora.

Para obtener resultados en cuanto a los paquetes que se pierden en la red, podemos observar cómo se comporta este parámetro en la figura 5.

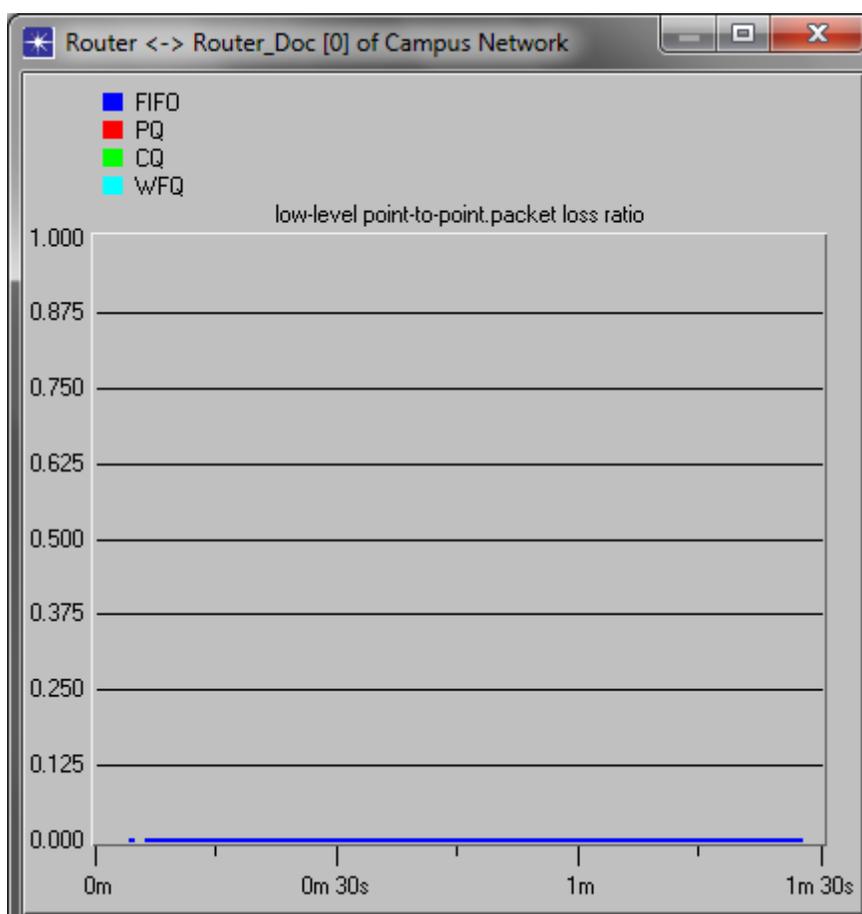


Fig. 5 Pérdida de Paquetes del escenario mostrado en la Fig. 1.

En los resultados mostrados en la figura 5 se observa que la pérdida de paquetes tiende a cero, comportamiento que es muy aceptado debido a que en la red simulada se emplea el protocolo Ethernet el cual manifiesta una pérdida de paquetes muy pequeña debido al propio funcionamiento del protocolo que sí lo concibe.

2.3.1.2 Análisis de la simulación con los algoritmos de tratamiento de cola en la red del docente 5 de la UCI con los servicios a incorporar.

Con el objetivo de evaluar la red, bajo condiciones en las que se empleen otros servicios que ofrezcan mayores requerimientos de **QoS** se incorporan servicios previstos a emplear en la UCI como son: Videoconferencia y **VoIP**. Además de los que hoy actualmente se prestan, se recogieron resultados en cuanto a los parámetros anteriormente mencionados.

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

El escenario que a continuación se muestra en la figura 6, representa el diseño de la infraestructura del docente 5 incluyendo los servicios Videoconferencia y **VoIP**, con el objetivo de establecer un análisis en cuanto a los mecanismos con tratamiento de cola.

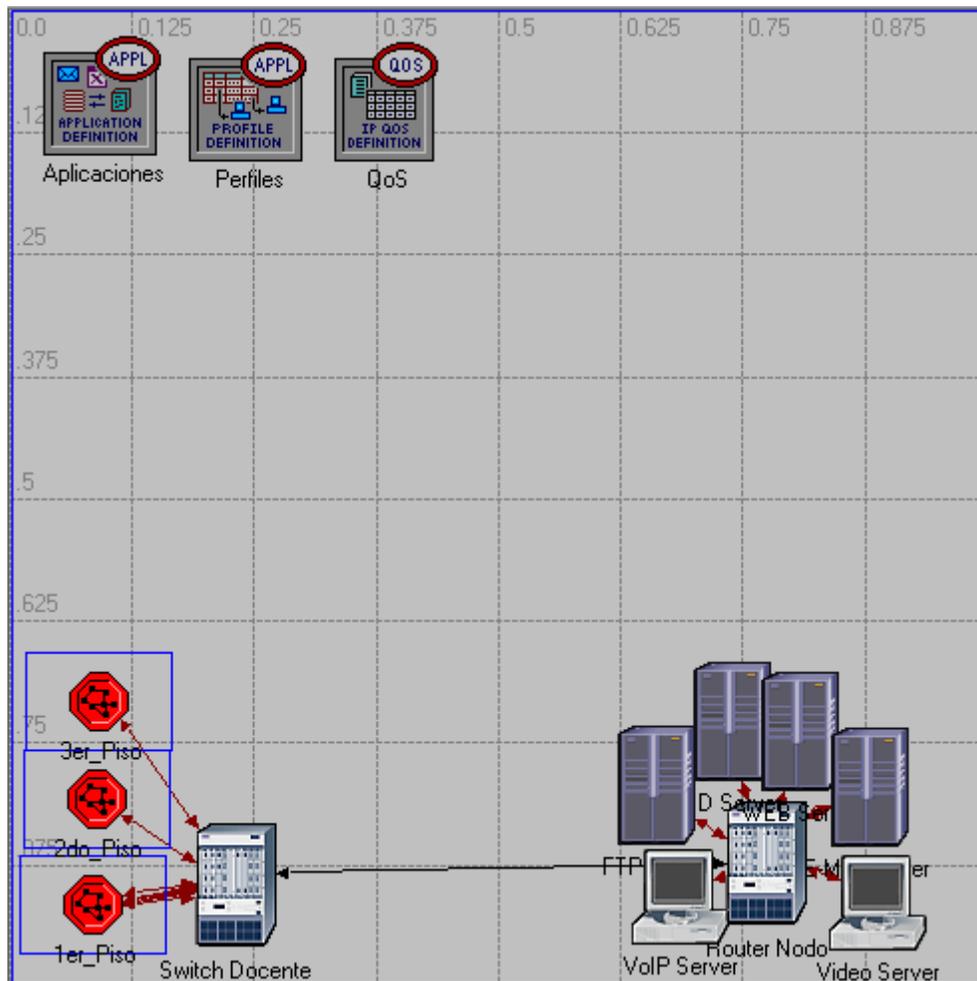


Fig. 6 Escenario representando la infraestructura del docente 5 con servicios Videoconferencia y VoIP incluidos.

En la figura 7, se puede observar cómo se comporta la latencia del escenario mostrado anteriormente en la figura 6.

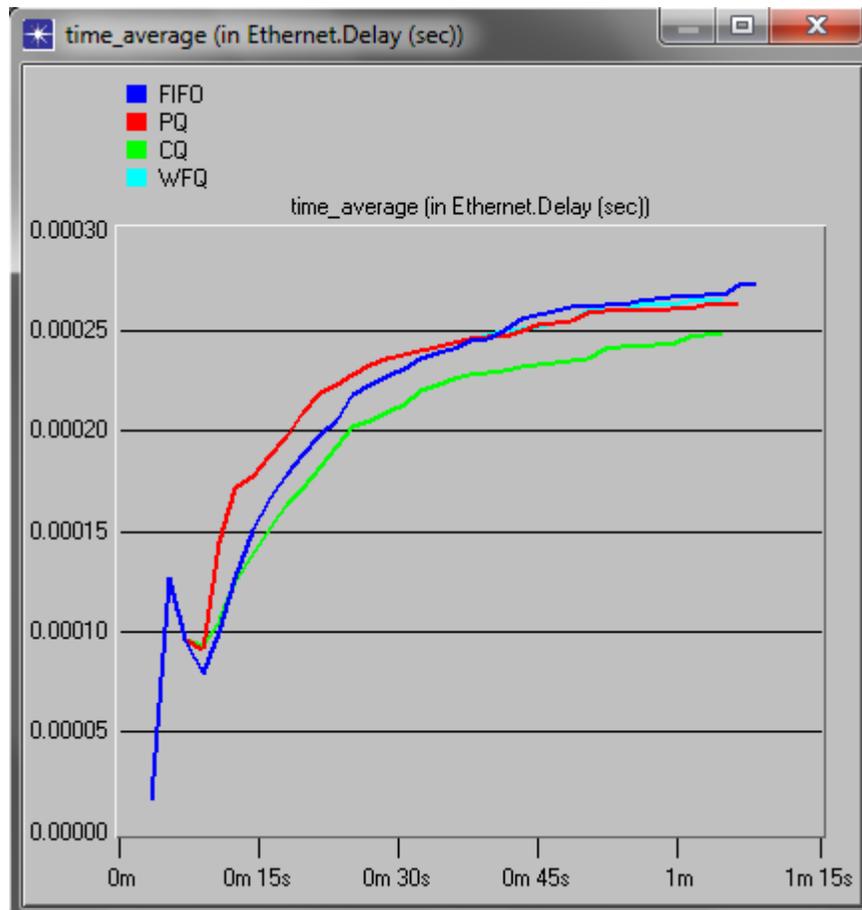


Fig. 7 Latencia o Retardo del escenario mostrado en la Fig. 6.

En la figura 7 se observa como en estas circunstancias donde se incorporaron servicios como la videoconferencia y **VoIP**, se ve marcada la diferencia entre el algoritmo FIFO y los algoritmos que ofrecen **QoS**. Aquí se demuestra que el primero tiene un peor comportamiento y en este caso el algoritmo CQ ofrece mejores prestaciones en cuanto a latencia. Esto es debido a que como se detalló anteriormente WFQ, es apropiado en situaciones donde se desea proveer un tiempo de respuesta consistente ante usuarios que generen altas y bajas cargas en la red; algo que era más fácil de lograr en el escenario de la figura 1 donde no era tan marcado las diferencias entre los servicios, ya que solo existía como servicio prioritario la videoconferencia.

Sin embargo en el escenario mostrado en la figura 6 donde se incorpora un nuevo servicio con mayor prioridad y por ende se ve marcada la diferencia entre servicios el mecanismo CQ, responde mejor

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

ya que éste no tiene la necesidad de adaptarse y actúa más rápido teniendo en cuenta solo la prioridad asignada a cada cola y la asignación de recursos a esta.

En la figura 7 se observa además que el algoritmo FIFO tiene un peor comportamiento que los demás algo que era de esperar debido a su forma de actuar y las marcadas diferencias entre servicios.

En la figura 8 se observa el comportamiento del parámetro caudal para el escenario descrito en la figura 6.

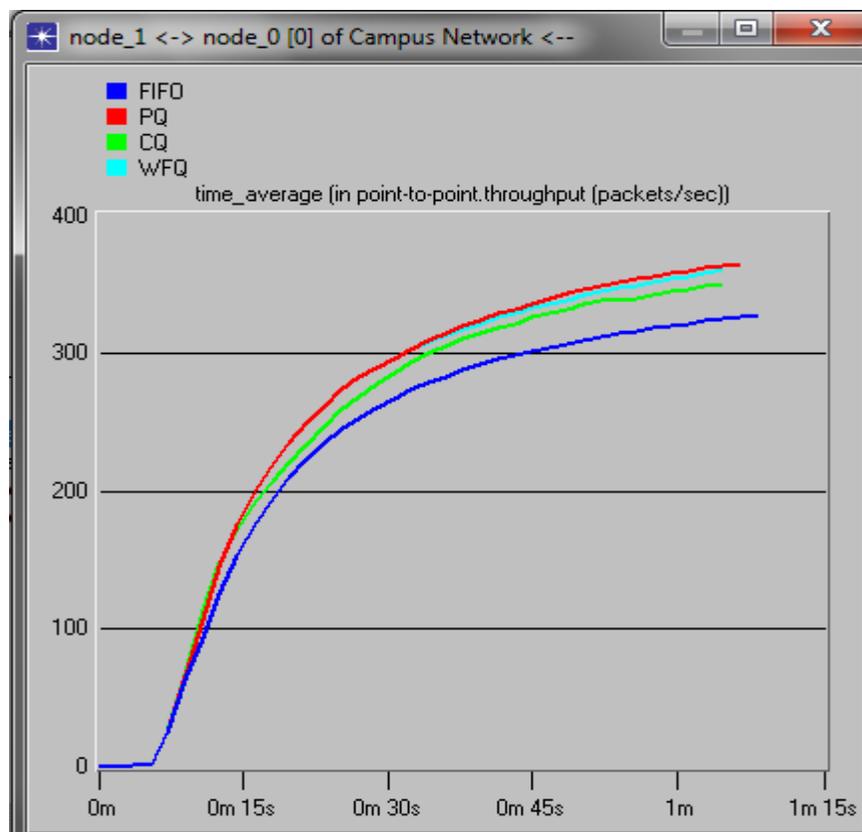


Fig. 8 Caudal total del escenario mostrado en la Fig. 6.

Como se muestra en la figura 8, el algoritmo FIFO tiene un peor comportamiento como es de esperar y PQ, WFQ y CQ tienen mejor comportamiento de acuerdo a este parámetro.

A continuación se muestran los resultados para el parámetro pérdida de paquetes en la figura 9:

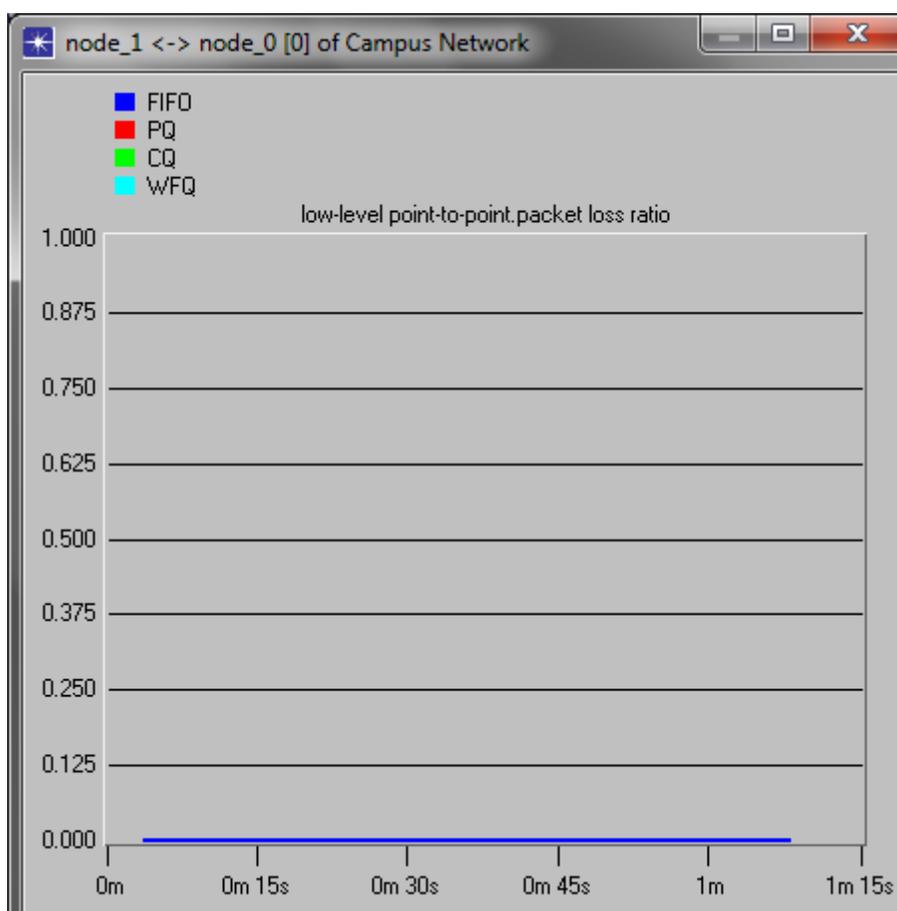


Fig. 9 Pérdida de Paquetes del escenario mostrado en la Fig. 6.

Como se observa en la figura 9 la pérdida de paquetes tiende a cero, comportamiento similar al del escenario mostrado en el epígrafe anterior, teniendo en cuenta las mismas razones mencionadas en el epígrafe anterior, sobre este análisis, con respecto a dicho parámetro.

2.4 Análisis de la QoS con RSVP

El protocolo IP se ha expandido vertiginosamente y sobre él ha emergido una gran diversidad de tráfico para el que inicialmente no fue concebido, como por ejemplo la multimedia con requisitos de tiempo real. Las aplicaciones en tiempo real sí requieren de altos niveles de calidad, ya que poseen necesidades específicas, son muy sensibles al retardo y *jitter* de transmisión, además requieren de un ancho de banda garantizado.

El problema principal de **QoS** en voz y video no estriba en la transmisión en sí misma, sino en las demandas de interactividad del servicio en tiempo real. Es decir, aun disponiendo de ancho de

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

banda, en caso de pérdidas, por lo general las aplicaciones multimedia (por cuestiones de interactividad) no tienen disponibilidad temporal para recuperar la información perdida mediante la solicitud de una retransmisión.

Ante la necesidad de establecer nuevas arquitecturas y protocolos que proporcionaran **QoS** en redes IP, como se mencionó en la sección 2.4 el grupo *IETF* ha desarrollado una serie de modelos entre los cuales están principalmente el así denominado modelo de *IntServ* y el modelo de *DiffServ*.

Servicios Integrados ó IntServ

Servicios integrados ó IntServ define un modelo que se basa en garantizar **QoS** a las aplicaciones a través de reservar recursos de extremo a extremo de la red para cada flujo antes de ser transmitido. Las aplicaciones solicitan el nivel de servicio necesario para poder trabajar apropiadamente y las reservas son mantenidas hasta que la aplicación termina o mientras cumpla con las demandas solicitadas. En este modelo se definen dos clases de servicios: servicios de carga controladas (36) y servicios garantizados. (37) (38) (39)

Servicios de carga controlada

Proporcionan al flujo de datos una calidad de servicio lo más cerca posible a la calidad que el mismo flujo recibiría en una red *best effort* sin cargas. En este sentido se denomina *better than best effort*. Para ello se utiliza un procedimiento de control de admisión en cada nodo para asegurarse que hay recursos para el flujo y supervisión a pesar de haber sobrecarga. Está especialmente indicado para implementaciones altamente simples que no tengan demandas precisas de **QoS**. El servicio de carga controlada no proporciona ninguna garantía cuantitativa respecto a retardo y ancho de banda. Este tipo de servicio es propicio para aplicaciones que pueden tolerar grandes rangos de variación en el retardo, pero sensibles a condiciones de sobrecarga en la red, por lo que no es indicado para aplicaciones con requisitos explícitos de tiempo real.

Servicios Garantizados

Este tipo de reserva proporciona un retardo extremo a extremo de la red y garantiza un ancho de banda para el tráfico conformado con las especificaciones prefijadas; para lo cual, se necesita conocer las especificaciones del tráfico *TSpec (Traffic specification)* como son los parámetros del cubo de *token* del emisor y las especificaciones de requerimiento de servicio *RSpec (Service*

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

Request specification) como el ancho de banda y el retardo solicitado. Este servicio está sujeto a un procedimiento de control de admisión en cada nodo. Los *routers* admitirán la solicitud del servicio de reserva dependiendo del TSpec (mensajes PATH de RSVP), del RSpec (en los mensajes RESV de RSVP) y de los recursos existentes. Es este el indicado para aplicaciones como audio y video que requieren una entrega en tiempo real.

La reserva de ancho de banda puede ser hecha dinámicamente utilizando el protocolo RSVP (40). Una vez hecha la reserva, la aplicación puede iniciar el envío de tráfico en la ruta sobre el cual se han solicitado los recursos. Cada fuente se ha comprometido con cierto patrón de generación el cual debe ser cumplido. Esta arquitectura si bien garantiza **QoS**, no es lo suficientemente escalable debido a que el tratamiento por flujos puede dificultar su despliegue en escenarios de grandes demandas. Es muy costoso mantener en cada nodo una tabla de estados y reservas por cada flujo para el control de admisión, esto conduce a un considerable tráfico de señalización (por el protocolo RSVP) a lo largo del camino y ocupación de recursos en cada *router*.

En definitiva, está típicamente limitada en tamaño y operación por lo que resulta difícil su despliegue en los *backbones* de Internet que requieren de un gran número de reservas.

Servicios Diferenciados (*DiffServ*)

Para solucionar el problema de escalabilidad de *IntServ* se desarrolla la arquitectura de servicios diferenciados o *DiffServ*. En contraste a la orientación por flujo del protocolo RSVP, este modelo se basa en considerar el tráfico en diferentes clases de servicios (*CoS, class of service*), controlar la cantidad de tráfico de cada clase que cada cliente envía a la red y asegurar los requerimientos de **QoS** de varios tipos de aplicaciones utilizando mecanismos de cola en cada nodo con políticas claramente definidas (y dependientes del contrato o compromiso adquirido por el usuario) de *sheduling* y *dropping* (41).

El modelo de servicios diferenciados no utiliza la comunicación extremo a extremo para la reserva de recursos como lo hace *IntServ*. Este modelo se aplica a una región y usa un sistema de clasificación agregado basado en reglas predefinidas para agrupar a los paquetes en clases. Las garantías de **QoS**, se establecen considerando que el envío de tráfico se lleve dentro de ciertos valores de media, pico y tamaño máximo de ráfagas para cada clase considerada. Para aplicar los parámetros de **QoS** a las clases, los paquetes con clasificados con algún criterio, marcándolos usando la clave de servicios diferenciados (*DSCP, Differentiated Services Code Point*), utilizando para ello el campo tipo

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

de servicio (ToS, *Type of Service*) en IPv4 o el campo clase de tráfico en IPv6, establecido en la cabecera del paquete IP. (42) (43)

2.4.1 Análisis de la simulación con RSVP

Para el análisis de la factibilidad de emplear el protocolo RSVP se seleccionó un entorno en el que intervienen varias máquinas, ejemplo de esto puede ser un departamento docente en el que se encuentran 7 máquinas lo cual es mostrado en la figura 10:

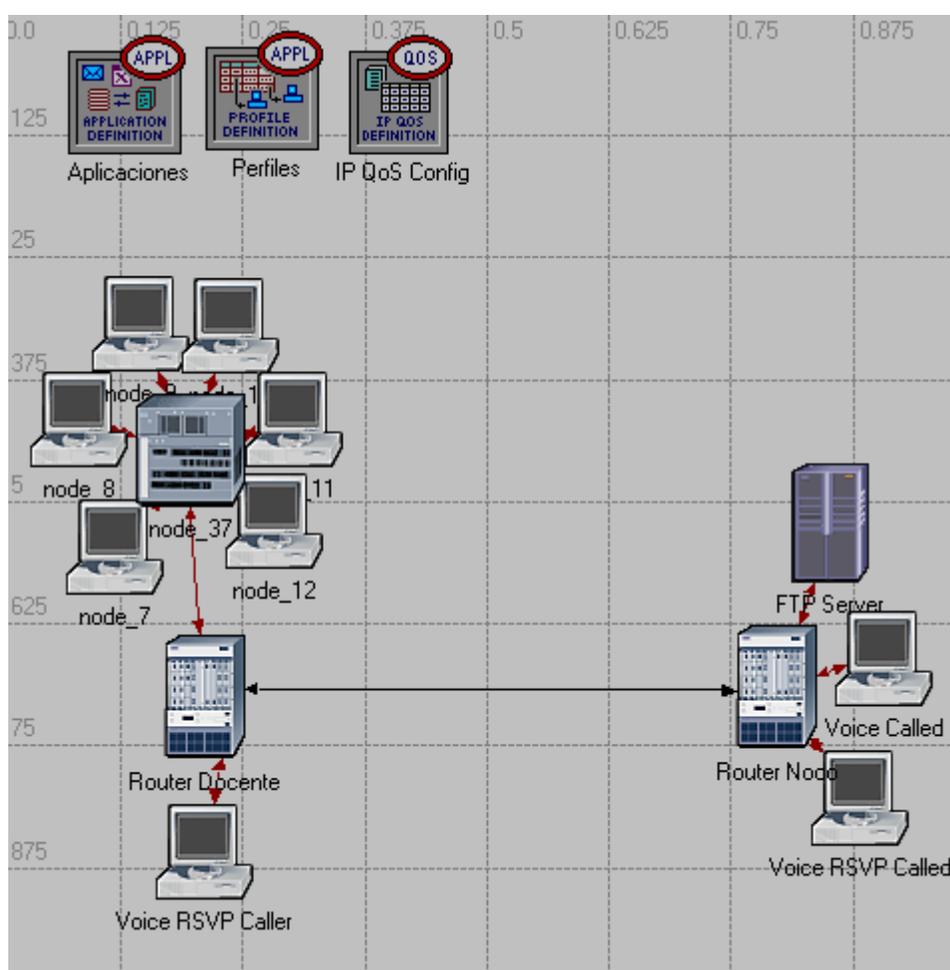


Fig. 10 Escenario que representa un ejemplo de un departamento docente.

En la figura 10 se observa además que una de estas máquinas tiene implementado el protocolo RSVP y las demás 6 máquinas no. Lo cual arroja los resultados de la simulación mostrados en la figura 11.

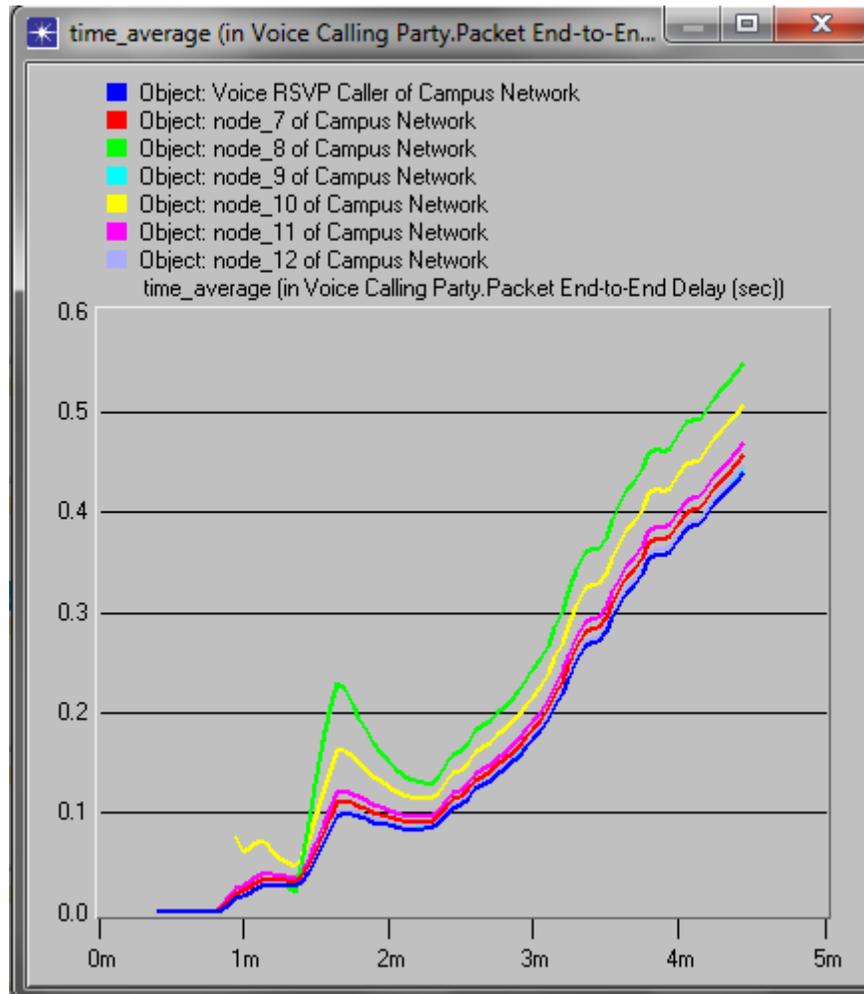


Fig. 11 Latencia o Retardo del escenario mostrado en la Fig. 10.

Una imagen más ampliada de esta figura se muestra a continuación en la figura 12 la cual ayudará a poder percibir mejor los resultados:

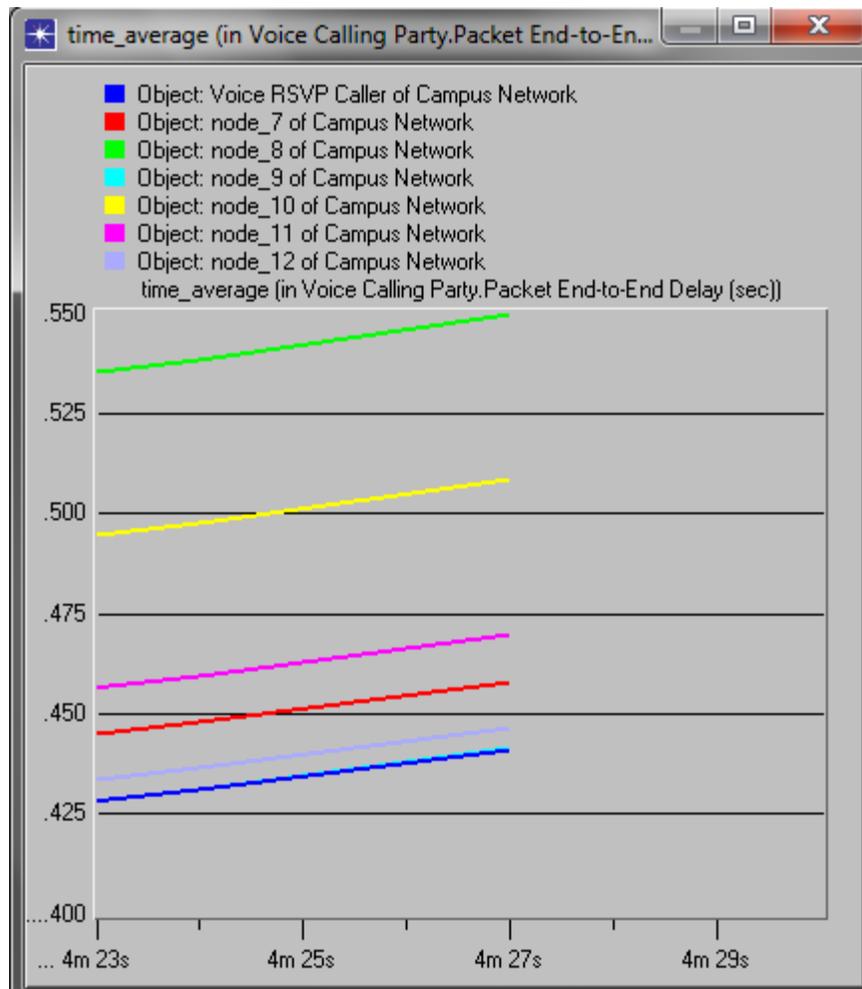


Fig. 12 Representación de la latencia ampliada.

Como se aprecia en la figura 12, la latencia tiene un mejor comportamiento para la estación que tiene la reservación de recursos, lo cual demuestra la efectividad de este mecanismo. Si observamos con detalles los resultados obtenidos, en particular la latencia de la máquina que tiene aplicado el protocolo de reserva de recursos, se puede apreciar que arroja un valor aproximado a los 440 ms, por debajo al arrojado por las diferentes máquinas las cuales no presentan el protocolo implementado.

2.5 Análisis de QoS empleando algoritmos de evasión de la congestión.

Cuando simultáneamente, muchas conexiones TCP son cortadas por congestión, directamente reducen su caudal abruptamente, con lo cual desaparece la congestión. A continuación todas las

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

conexiones aumentan su caudal de forma exponencial al comprobar que la congestión ha desaparecido, luego al poco rato, la situación de congestión vuelve a producirse, además de producir un fenómeno oscilante.

Solución: Descartar paquetes sólo de una conexión, que viole los caudales preestablecidos y dejar intacta las demás.

Existen mecanismos para el tratamiento de la congestión de la red que son beneficiosos. Entre estos se encuentran: RED (*Random Early Detection*) y WRED (*Weighted Random Early Detection*) y DWRED (*Distributed WRED*). Estos mecanismos evitan la congestión de la red y la probabilidad de pérdida. En caso de producirse una fuerte congestión pueden ser capaces de realizar el descarte de paquetes oportunos, es decir, no realizando un descarte de paquetes al azar, lo cual podría producir por ejemplo, la eliminación de un paquete clave que produjera la reacción del algoritmo **slow-start** de TCP.

RED (*Random Early Detection*)

Provee a los operadores de la red, la posibilidad de aplicar normas para el manejo del tráfico y maximizar el *throughput* bajo condiciones de congestión. Trabaja junto a protocolos a nivel de transporte como TCP, evitando la congestión aplicando una serie de algoritmos; distingue entre ráfagas de tráfico temporal que pueden ser absorbidas por la red, y cargas excesivas de tráfico que pueden saturar la red. Trabaja en cooperación con el extremo generador de tráfico, para evitar la oscilación producida por el protocolo TCP, que puede causar ondas de congestión en la red. RED trabaja con TCP para anticiparse y manejar la congestión en momentos de tráfico excesivo, para maximizar el *throughput* mediante el descarte de paquetes. (44) (45)

WRED (*Weighted Random Early Detection*)

Combina las capacidades de RED y de *IP Precedence*, para proveer diferentes clases de servicio en función de las características de la información. WRED también proporciona manejadores para tráfico prioritario en momentos de congestión. Además posee todas las capacidades anteriormente citadas para RED. WRED también puede colaborar con RSVP, proporcionando un controlador de carga, o indicando si es factible una reserva de espacio en alguna cola. (44) (46)

2.6 Análisis de la simulación con los algoritmos de evasión de congestión.

Para el análisis de los mecanismos de evasión de congestión se simuló la red como se muestra a continuación en la figura 13.

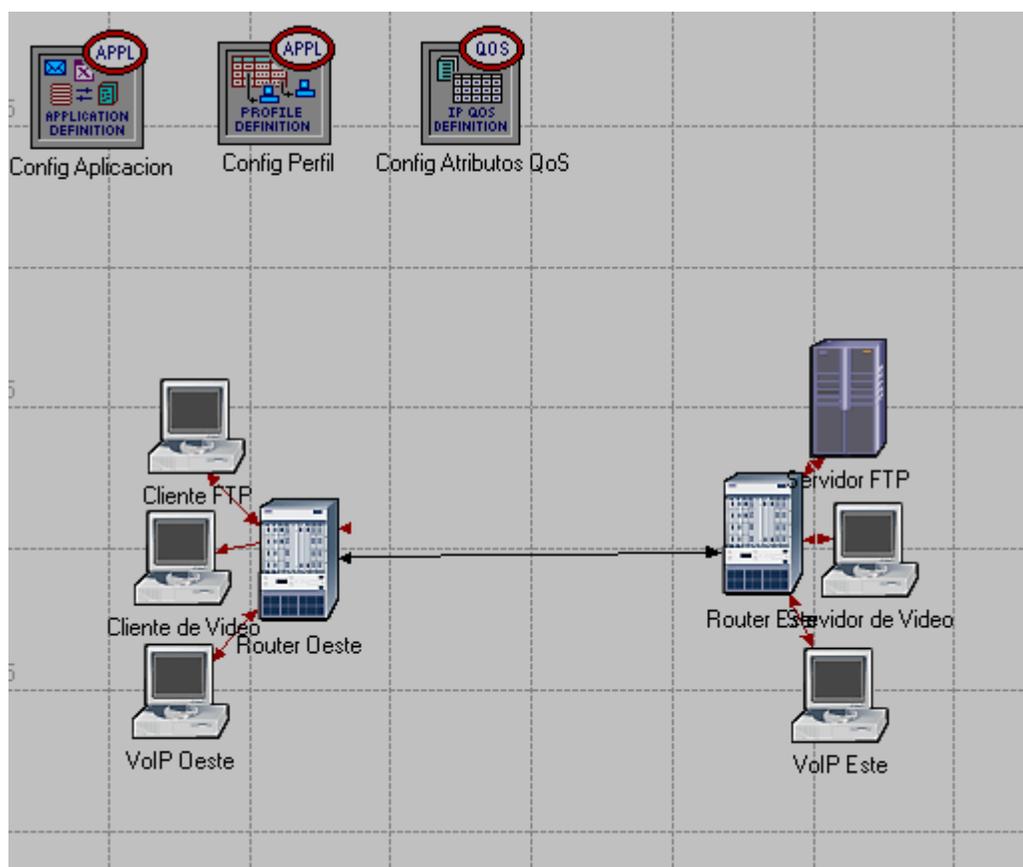


Fig. 13 Escenario que representa el ejemplo aplicando los algoritmos de evasión de congestión.

En el escenario mostrado en la figura 13 se escogieron tres servidores significativos para los servicios básicos: voz, video y datos, tres estaciones de trabajo las cuales realizarán los pedidos a dichos servidores. Además es importante señalar que se simularon los diferentes mecanismos de evasión de congestión para la peor situación, que es el caso en que se empleó un algoritmo que no ofrece **QoS** como es el caso de FIFO. Esto estuvo dado producto a que según el funcionamiento propio de los mecanismos de evasión de congestión ellos tratan de descartar paquetes en casos

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

extremos en que el tráfico en la red tiene un comportamiento fuera de lo normal, lo cual se observa gráficamente en los picos mostrados en la señal de la figura 14.

Es importante señalar además que para poder observar el correcto funcionamiento de un algoritmo frente a otro se hizo necesario graficar el tráfico reducido, lo cual es más significativo en estos mecanismos.

El análisis de este parámetro se muestra a continuación en la figura 14.

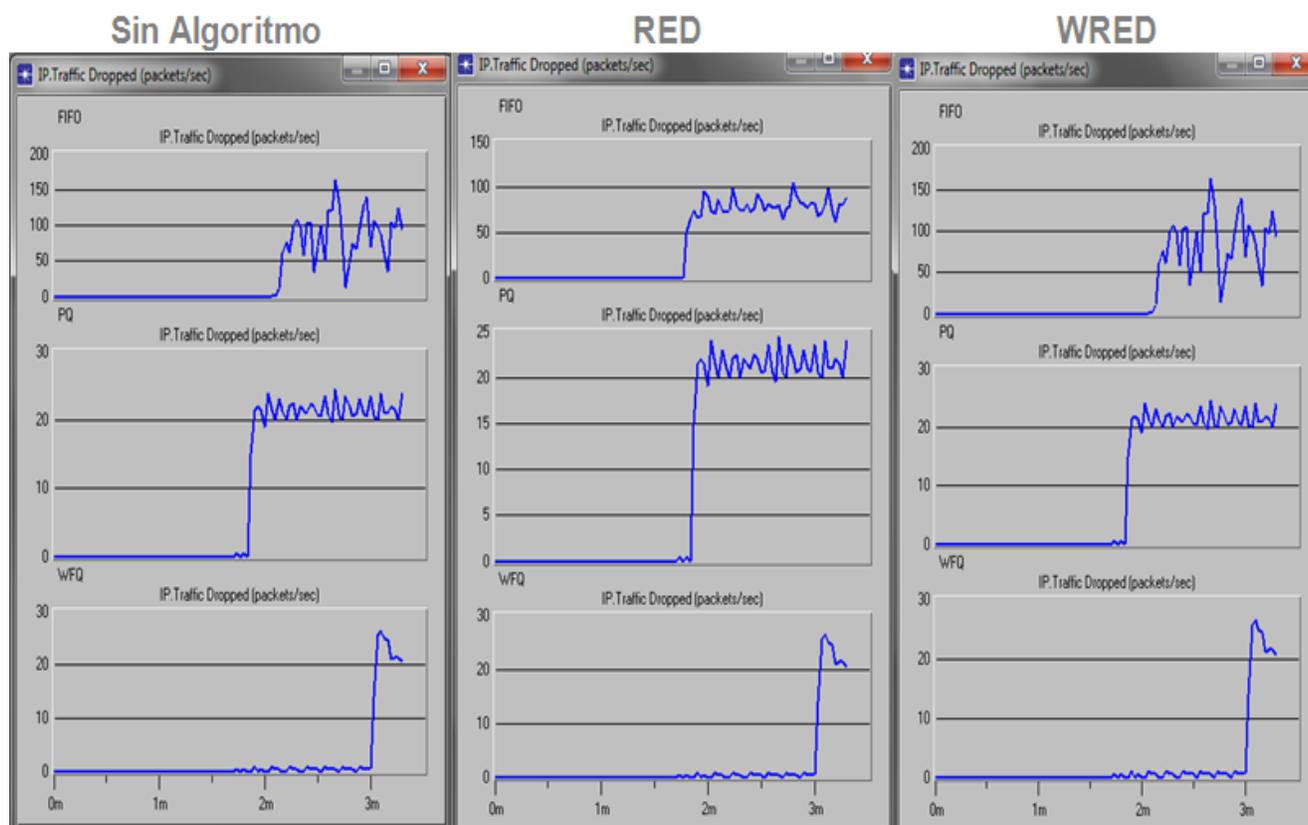


Fig. 14 Representación de los algoritmos con respecto a su tráfico reducido.

Dando paso al análisis de este resultado, en la figura 14 se aprecia el tráfico reducido, dando muestra al comportamiento del mecanismo FIFO en cada simulación correspondiente a cada algoritmo (Sin Algoritmo, RED, WRED).

Debido a lo planteado teóricamente sobre los algoritmos estudiados en el epígrafe 2.5 de evasión de congestión, en la figura correspondiente al parámetro en análisis se demuestra que los algoritmos RED y WRED proceden a realizar un proceso de descarte de paquetes debido a la congestión que se produce en el tráfico el cual mantendrá un comportamiento oscilante. El resultado se puede

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

observar en la generación de picos aleatoria que indican el tráfico en cuanto a paquetes que son reducidos por cada algoritmo en particular. El algoritmo RED muestra resultados con valores entre 62 paquetes/segundos y 105 paquetes/segundos; sin embargo WRED alcanza un intervalo más amplio entre 16 paquetes/segundos y 162 paquetes/segundos demostrando que realiza un mejor tratamiento al flujo de tráfico que transita por los canales, mejorando aún más el caudal.

Otro de los parámetros a tener en cuenta atendiendo a estos algoritmos es el caudal utilizado, ya que también es significativo. Para el análisis del mismo se proyectan los resultados en la figura 15 que a continuación se muestra:

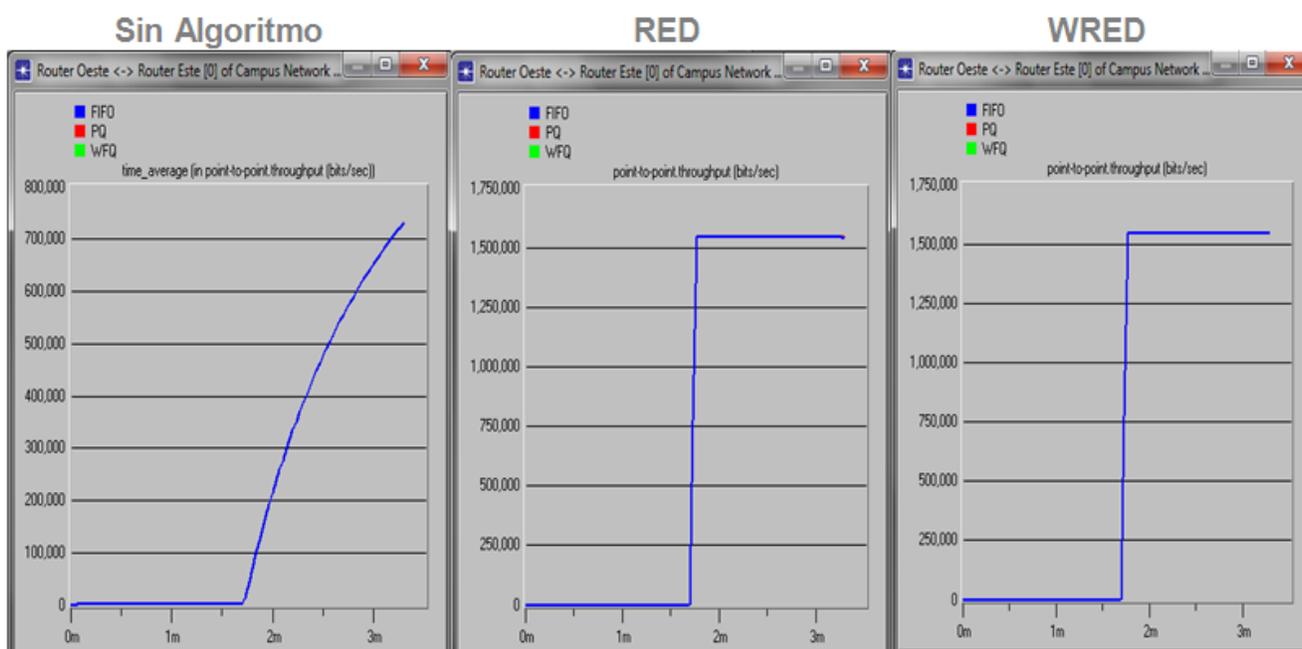


Fig. 15 Representación de los algoritmos con respecto a su caudal.

Se observa en la figura 15 anteriormente mostrada cómo el caudal varía en dependencia del algoritmo utilizado. Se simula un escenario donde no se emplea ningún algoritmo, otros dos donde se emplean RED y WRED, donde el caudal que proyecta el caso de la simulación donde no se emplea algoritmo alguno se aproxima a los 730 Kbps.

Si se observa el resultado mostrado por los algoritmos RED y WRED se puede apreciar que se comportan iguales con valores aproximados a 1,5 Mbps, mostrando la diferencia en el comportamiento de los algoritmos que emplean técnicas sobre cargas excesivas del tráfico que

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

pueden saturar la red, aumentando su caudal demostrando el mejoramiento con respecto a situaciones donde no se empleen algoritmos con trata de congestión.

2.7 Análisis de parámetros para diferentes fabricantes de equipamiento de interconexión.

Es importante señalar que los parámetros de **QoS** obtenidos en una red tienen valores similares si se miden en escenarios para fabricantes de equipamientos de interconexión diferentes, lo cual se demuestra comparando los parámetros latencia y caudal obtenidos en escenarios similares, el primero con los dispositivos que trae por defecto el simulador y el segundo con dispositivos del fabricante Cisco. Las gráficas obtenidas en la simulación para ambos ejemplos se muestran en el anexo 1. A continuación se señalan en la tabla 2 los valores obtenidos.

Tabla 2: Resultados de las simulaciones teniendo en cuenta diferentes tecnologías.

Parámetros	Dispositivos por defecto para Ethernet	Dispositivo del fabricante Cisco
Latencia	1.2 ms	0.83 ms
Caudal	1.5 Mbps	1.5 Mbps

Los valores obtenidos en la tabla anterior arrojan los mismos resultados en cuanto al caudal utilizado en ambos escenarios, además se debe señalar que la latencia en el escenario de los dispositivos por defecto para Ethernet es de 1.2 ms y para el escenario con dispositivos Cisco es de 0.83 ms, aunque esta última es menor con respecto a la anterior, la diferencia es de 0.37 ms, lo cual se considera un valor insignificante teniendo en cuenta los rangos en que la latencia puede oscilar para aplicaciones exigentes en estos términos como la **VoIP**.

A partir de los resultados obtenidos en este punto, se consideran útiles las simulaciones realizadas teniendo en cuenta que el equipamiento de interconexión de la UCI es del fabricante **Huawei**.

2.8 Conclusiones parciales

- Se simuló el sector de la red del docente 5 y el nodo de los servicios, por el hecho de que este sector es representativo simulando otros sectores de la red.

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

- Se simuló el docente 5 teniendo en cuenta los servicios que se prestan actualmente, empleándose los mecanismos de cola y arrojando como mejor mecanismo WFQ, lo cual demuestra que su capacidad de ser adaptativo lo hace mejor con respecto a los demás.
- Se realizó una simulación del sector representativo teniendo en cuenta los servicios que en un futuro se desean incorporar a la red de la UCI, como VoIP y Videoconferencia, configurándose los mecanismos de cola FIFO, PQ, CQ y WFQ, proyectando a CQ como el mecanismo de mejor comportamiento sobre los restantes.
- Se simuló un escenario tomando como ejemplo un departamento docente, en el cual se emplea el protocolo RSVP, demostrando la ventaja en cuanto al retardo de los paquetes, desde la máquina que presente reservas hacia el servidor con respecto a las demás.
- Se simuló un escenario donde se aplican algoritmos de RED y WRED como métodos para evadir la congestión trayendo como resultado que el mecanismo WRED es más eficiente en cuanto al descarte de paquetes para el escenario correspondiente.

CAPÍTULO 3: COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CONTRA MEDICIONES REALES

3.1 Introducción

En el presente capítulo se presenta una comparación de los resultados contra mediciones realizadas. Estas comparaciones son entre los resultados obtenidos en la simulación en el capítulo 2 y mediciones en la red real.

3.2 Método de validación de los resultados

Una vez realizadas todas las simulaciones necesarias en los diferentes sectores de la red de la UCI para la definición de técnicas de **QoS** a emplear, se hace necesario validar los resultados obtenidos en las mismas para demostrar que los resultados obtenidos tienen valores semejantes a los de una red real. Para esto, se realizó un conjunto de mediciones reales en la red y mediante el método de comparación se puede hacer un análisis de los resultados de ambos métodos: La simulación y las mediciones reales.

3.3 Mediciones reales

Las mediciones reales en la red se realizaron con el mismo criterio de la simulación, escogiendo los sectores de la red más significativos en este caso los sectores que fueran lo más real posible a la simulación realizada.

Las mediciones reales se utilizaron dos vías, para la medición del caudal se hizo a través de una herramienta analizadora de tráfico llamada CACTI y para el análisis del parámetro latencia, se utilizó el comando ping. Con la herramienta CACTI se obtuvo el valor del caudal en la entrada del nodo del docente 5, de esta forma y según el esquema de distribución de la red como se muestra en la figura 16.

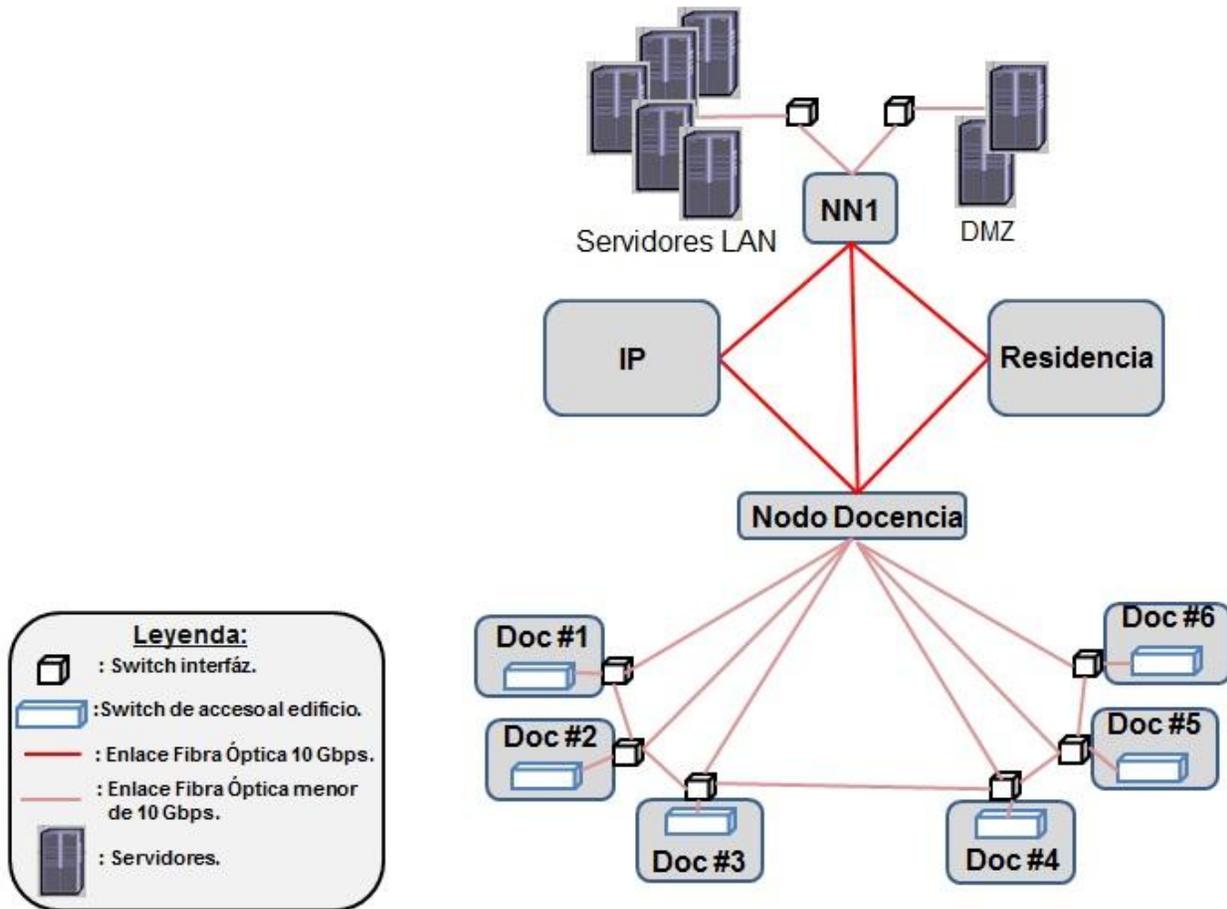


Fig. 16 Distribución de la red de la UCI.

Teniendo en cuenta la distribución de los diferentes elementos de la red de la UCI, se realizaron mediciones del caudal entre el Nodo Nivel 1 (NN1) de docencia y el docente 5, lo cual es mostrado en la figura 17.

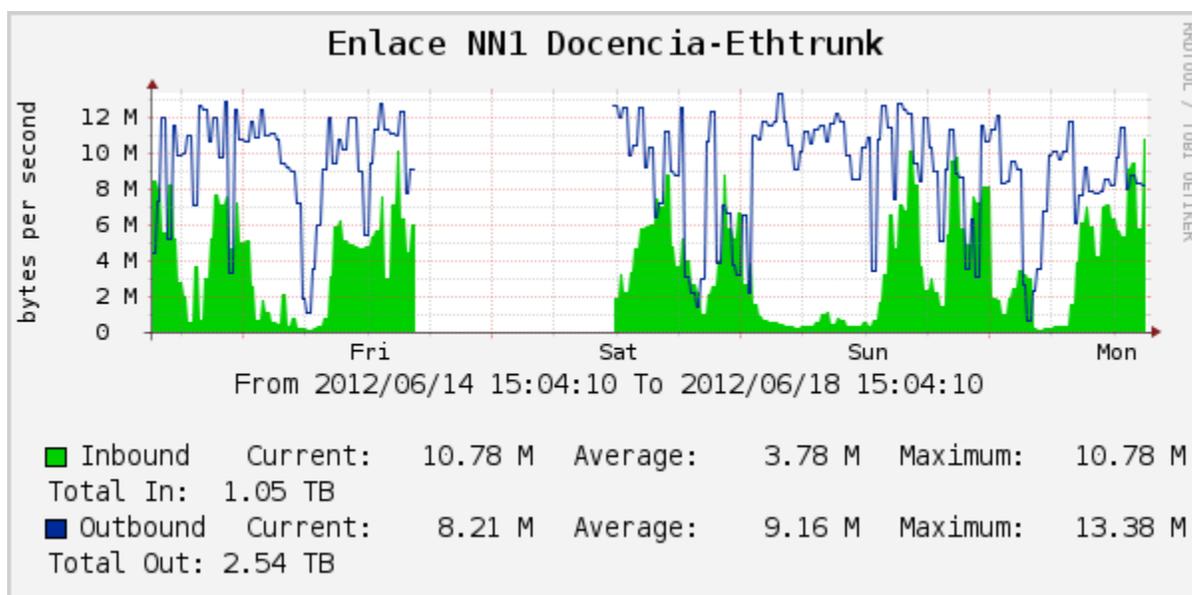


Fig. 17: Medición del caudal entre el Nodo de Nivel 1 de Docencia (NN1 Docencia) y el Docente 5.

En la figura 17 se observa que el valor promedio del caudal de entrada al docente es de 9.16 Mbps y el valor del caudal de salida del docente 5 es de 3.78 Mbps.

También son mostrados otros sectores de la red necesarios a analizar como es el valor del caudal a la entrada del nodo de la LAN lo cual es mostrado en la figura 18.

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

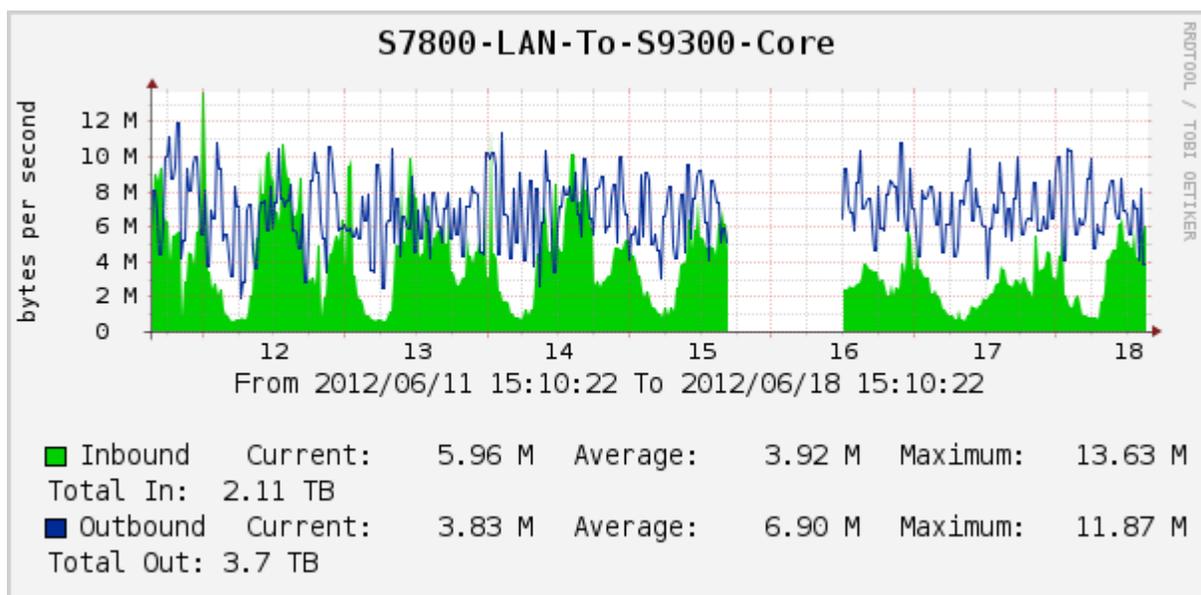


Fig. 18: Medición del caudal entre el Nodo de la LAN (S7800) y el Nodo de Nivel 1 del Core de la red (S9300 Core).

Como muestra la figura 18 se puede observar que el valor promedio del caudal a la entrada del nodo de la LAN es de 3 Mbps y a la salida es de 9 Mbps.

Otros resultados de mediciones hechas en la red de la UCI en diferentes sectores que nos pudieran ser útiles para sacar algunas conclusiones respecto al tráfico en la misma son presentados en el anexo 1. Pero en aras de lograr un mejor entendimiento y correspondencia de los datos por ambos métodos (simulación y mediciones reales) será necesario centrar el análisis en las mencionadas en este capítulo.

La medición del parámetro latencia se realizó a través del comando **ping** desde una máquina ubicada en el docente 5 hasta el nodo de nivel 1 del **core** de la red de la UCI, arrojando los resultados mostrados en la figura 19.

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

Como se puede observar en la figura 19 el valor de la latencia en este trayecto de la red es de 1 ms. En esta figura también podemos apreciar que el valor de la pérdida de paquetes, otro de los parámetros significativos en este entorno **LAN** es de 0 paquetes perdidos.

3.3.1 Comparación de los resultados de la simulación contra las mediciones reales

Una vez obtenidos los datos mostrados en el epígrafe anterior se analizan los resultados por ambos métodos. En la tabla 3 serán mostrados los resultados del parámetro caudal.

Tabla 3: Comparación del parámetro caudal a través de la simulación y las mediciones reales.

Sectores de la red	Valor del Caudal (Mediante medición real)	Valor del Caudal (Mediante simulación)
Nodo docente 5 a NN1 Docencia	3.78 Mbps	1.5 Mbps
Nodo LAN a NN1 Core	3.92 Mbps	1.5 Mbps

Analizando los datos mostrados en la tabla 3, se puede observar que los valores del caudal por los métodos de la simulación y la medición son cercanos si se tiene en cuenta además diferentes elementos introducidos en los escenarios donde se realiza la medición imposibles de evitar, los cuales serán descritos a continuación.

Los resultados de la medición del caudal Nodo del docente 5 y el NN1 de docencia reflejan el tráfico que debe circular al Nodo de la LAN, pero además en este valor 3,78 Mbps está incluido todo el otro tráfico que es enviado desde el docente 5 a los demás sectores de la red. Por lo que este valor real evidentemente es inferior al mostrado en la medición, lo cual tributaría a que difiera menos, al valor de la simulación.

Debe tenerse en cuenta además que dentro del tráfico que circula desde el docente 5 (3,78 Mbps) la mayor parte de este es el que va hacia el nodo de la LAN, ya que es ahí donde mayor cantidad de peticiones se realizaría teniendo en cuenta la analogía con una red real.

Teniendo en cuenta el ancho de banda del enlace entre el nodo del docente 5 y el NN1 de docencia que es de 2 Gbps, y analizando el caudal empleado en ambos casos, sería útil calcular el % de utilización de ese ancho de banda en correspondencia con el caudal, el mismo puede interpretarse como la cantidad de ocupación del ancho de banda (44) (45).

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

Calculando el % de utilización en ambos casos, podemos observar que el caso de la simulación es de 0.15% y en la medición real es de 0,38%. Por lo que se aprecia que ambos resultados son muy próximos.

Deben tenerse en cuenta además los errores propios de todo proceso de simulación.

Para el análisis de la latencia y la pérdida de paquetes se realiza una comparación entre mediciones reales y valor de la simulación la cual es reflejada en la tabla 4.

Tabla 4: Comparación de los resultados de la medición real y la simulación para el parámetro latencia y pérdida de paquetes.

Valor de la Latencia (Mediante medición real)	Valor de la Latencia (Mediante simulación)	Valor de la Pérdida de paquetes (Mediante medición real)	Valor de la Pérdida de paquetes (Mediante simulación)
1 ms	0,120 ms	0 %	0 %

De los datos reflejados en la tabla 4 se puede apreciar que el valor de la latencia mediante la simulación es inferior al valor de la medición real. A pesar de no ser valores tan cercanos, el resultado mostrado es correcto, teniendo en cuenta que en la medición en una red real existe un tráfico de paquetes mucho mayor que en la simulación producto al tráfico que existe a otros sectores de la red, lo cual evidentemente hace que esos paquetes sufran una mayor demora producto a las demoras ocasionadas en los dispositivos de interconexión y al tratamiento de cola presente en los mismos.

Otro factor que provoca estos resultados es, si se analiza el tratamiento de colas en la red de la UCI se observa que los dispositivos de interconexión utilizan el mecanismo FIFO sin ninguna garantía de **QoS**, lo cual ocasiona que los paquetes ping no tienen ninguna prioridad sobre el resto de los demás.

Por último, si se analiza el valor de la latencia necesaria para garantizar la **QoS** en aplicaciones como videoconferencia y **VoIP** que oscilan entre 120 ms y 400 ms, se puede inferir que estas diferencias entre las mediciones reales y la simulación no son significativas frente a los valores que pudieran tomar la latencia en una red real y sin garantías de **QoS**.

Para el análisis de la pérdida de paquetes, se puede demostrar que tanto en los valores de la simulación como en los valores de la medición, este parámetro tiene un valor de un 0 % de paquetes

perdidos, ya que se cuenta con un ancho de banda suficiente para el tráfico de los mismos a través de la red. Otro elemento significativo que influye en estos resultados es que el empleo del protocolo Ethernet en el nivel 2 garantiza por su propio funcionamiento una pérdida de paquetes despreciable.

3.4 Conclusiones parciales

- Se realizaron mediciones reales en la red mediante una herramienta analizadora de tráfico la cual permitió calcular el caudal y utilizar el método de comparación para validar los resultados de la simulación.
- Se realizó la medición de los parámetros latencia y pérdida de paquetes mediante el comando **ping** los cuales fueron usados para la comparación con los resultados arrojados por la simulación.
- Se pudo comparar los resultados de la medición de valores reales con la simulación observándose un margen de error aceptable teniendo en cuenta un conjunto de limitaciones, válidas a tener en cuenta en estos procesos para los parámetros de caudal, latencia y pérdida de paquetes.

CONCLUSIONES

Al finalizar este trabajo se pudo llegar a los siguientes resultados:

- Se realizó un análisis de tráfico en la red de la UCI arrojando diferentes resultados mediante la simulación, en cuanto a parámetros como caudal, latencia y pérdida de paquetes, los cuales permiten definir un conjunto de recomendaciones sobre el empleo de diferentes técnicas de **QoS**.
- A partir del análisis de tráfico realizado en la red de la UCI se logró demostrar que en esta red teniendo en cuenta el análisis de los algoritmos de cola el de mejor comportamiento es el CQ.
- Pudo demostrarse que en las condiciones de la red el empleo del protocolo RSVP garantiza un mejor desempeño de la red.
- El comportamiento de los algoritmos de evasión de congestión demostró que el algoritmo WRED presenta mejor comportamiento que los demás para la red de la UCI.
- La comparación realizada entre las mediciones de los parámetros latencia, caudal y pérdida de paquetes para una red real y por la simulación demostraron que el margen de error es aceptable, demostrando la validez de estos resultados obtenidos por la simulación en el análisis de tráfico de la red de la UCI.

RECOMENDACIONES

- Continuar la simulación en otros sectores de la red de la UCI.
- Realizar la simulación de la red de la UCI con otros simuladores y comparar resultados de forma tal que se puedan tener datos cada vez más precisos.
- Realizar mediciones de la red real con otras herramientas que permitan hacer comparaciones y de igual forma que en la simulación obtener datos más precisos.
- Proponer realizar una herramienta que permita realizar mediciones reales en la red y se ajuste a las necesidades de todos los parámetros abordados en el análisis de la **QoS**.

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

BIBLIOGRAFÍA

1. Redes LAN y WAN . marzo 2009. <http://redes-lan-wan-trabajo.blogspot.com/>
2. Huawei Company . 2012. <http://www.huawei.com/en/>
3. Movilist. 2012. <http://www.movilist.com/Huawei>
4. Slideshares . 2012. <http://www.slideshare.net/hubfer/huawei-partner-program-2010-v10-mexico-jun-2010>
5. Ohrtman, Junior, Franklyn D. 2004. SofsWitch: Architecture for VoIP.
6. ViDOFON. <http://www.videoconferencia.es/videoconferencia.html>
7. Ingeniatic . 2011. <http://ingeniatic.euitt.upm.es/index.php/tecnologias/item/654-vide%C3%B3fono-videotel%C3%A9fono>
8. Cehis. <http://cehis.net/site/video-streaming/video-por-demanda-vod.html>
9. Calidad de servicio (QoS). enero 2009. http://www2.ing.puc.cl/~iee3542/amplif_4.ppt
10. Términos y definiciones relativos a la QoS y a la calidad de funcionamiento de la red incluida la seguridad de funcionamiento. septiembre 2008. <http://www.itu.int/rec/t-rec-e.800-200809-p/es>
11. Álvarez Moraga, Sebastián Andrés. *Estudio y configuración de calidad de servicio para protocolos IPv4 e IPv6 en una red de fibra óptica WDM*. Universidad Técnica Federico Santa María, Avenida España 1680, Valparaíso.
12. Crawley, E. Nair, R. Rajagopalan, B. Sandick, H. A Framework for QoS- based Routing in the Internet. 1998. <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2386.html>
13. Berrillo, L. *Tesis doctoral. Contribución a las metodologías para la evaluación de la calidad de servicio en redes heterogéneas*. . Universidad Politécnica de Madrid : s.n., 2006.
14. Gutierrez Lluís, De Andrade Marilet, Sallent Sebastiá. Evaluación de las prestaciones de una red EPON. http://w3.iec.csic.es/URSI/articulos_gandia_2005/articulos/TE1/604.pdf
15. QoS en la empresa: ¿Calidad o cantidad?
<http://www.idg.es/hemeroteca/buscar.arp?cat=10&subcat=5&abspage=13>
16. Tutorial Tecnologías de redes LAN y WAN con calidad de servicios.
<http://www.ieee.org.ar/news/etterarchivo/archivo/20060928.asp>
17. *Algunos criterios para elaborar un modelo de evaluación de la QoS. Memorias de la oncena semana tecnológica de FORDES*. 2011. ISSN 2076 9792.
18. G. Almes, S. Kalidindi, M. Zekauskas. [RFC 2679]: A One-way Delay Metric for IPPM . 1999.

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

19. Parámetros de calidad .

<http://www.mitecnologico.com/Main/ParametrosParaLograrLaCalidadServicioDeTransporte>

20. Redes de Computadores

<http://blogs.ua.es/redesitis/recursos-didacticos/simuladores-open-free/>

21. IIE. <http://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2008/ADS08/ADS08.pdf>

22. IP Simulator. <http://ipsimulator.googlecode.com/svn/simuladores actuales.pdf>

23. Scribd . <http://es.scribd.com/doc/36476991/Manuel-de-Pcket-Tracer>

24. Turegano Molina, Javier.

http://linuxalbacete.org/web/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=149

25. Universidad Pontificia Comillas

<http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/4863bc20ead61.pdf>

26. <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/9917/PFC.pdf>

27. Scribd. <http://es.scribd.com/doc/49911247/herramientas-de-Simulacion>.

28. http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/perfredes/trabajos2004/CARvsShaping/CAR_Shaping.ppt

29. Scribd. <http://es.scribd.com/doc/63255793/Informe-OPNET>

30. http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/perfredes/trabajos2004/CARvsShaping/CAR_Shaping.ppt

31. <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/184/1/pfc908.pdf>

32. <http://informatica.uv.es/doctorado/SST/docto-2-qos.ppt>

33. <http://informatica.uv.es/doctorado/SST/docto-2-qos.ppt>

34. <http://dc182.4shared.com/doc/5hDTyHqv/preview.html>

35. http://rd.udb.edu.sv:8080/jspui/bitstream/123456789/212/1/29522_tesis.pdf

36. Wroclawski, J. [RFC 2211]: Specification of the Controlled-Load Network Element Service. 1997

<http://www.ietf.org/rfc/rfc2211.txt>

37. S. Shenker, C. Partridge and R. Guerin. [RFC 2212]: Specification of the Guaranteed Quality of Service . 1997 . <http://www.ietf.org/rfc/rfc2212.txt>

38. http://www.it.uc3m.es/azcorra/papers/atm_qos_telecom00.pdf

39. <http://mixteco.utm.mx/~resdi/historial/Tesis/Tesis-Thelma.pdf>

40. R. Braden, L.Zhang, S. Berson, S. Herzog, and S. Jamin. [RFC 2205]: Resource Reservation Protocol (RSVP) . 1997. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2205.txt>

41. http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/perfredes/trabajos/trabajos_2003/diffserv/Trabajo_Final.pdf.

Análisis de tráfico en la red UCI mediante la simulación

- 42. <http://www.isa.cie.uva.es/~tere/memoria.pdf>
- 43. <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/184/1/pfc908.pdf>
- 44. <http://informatica.uv.es/doctorado/SST/docto-2-qos.ppt>
- 45. <http://www.openredes.com/2011/01/21/calidad-de-servicio-qos-en-vyatta/>
- 46. Scribd. <http://es.scribd.com/doc/76489835/docto-2-qos>

ANEXOS

Anexo 1:

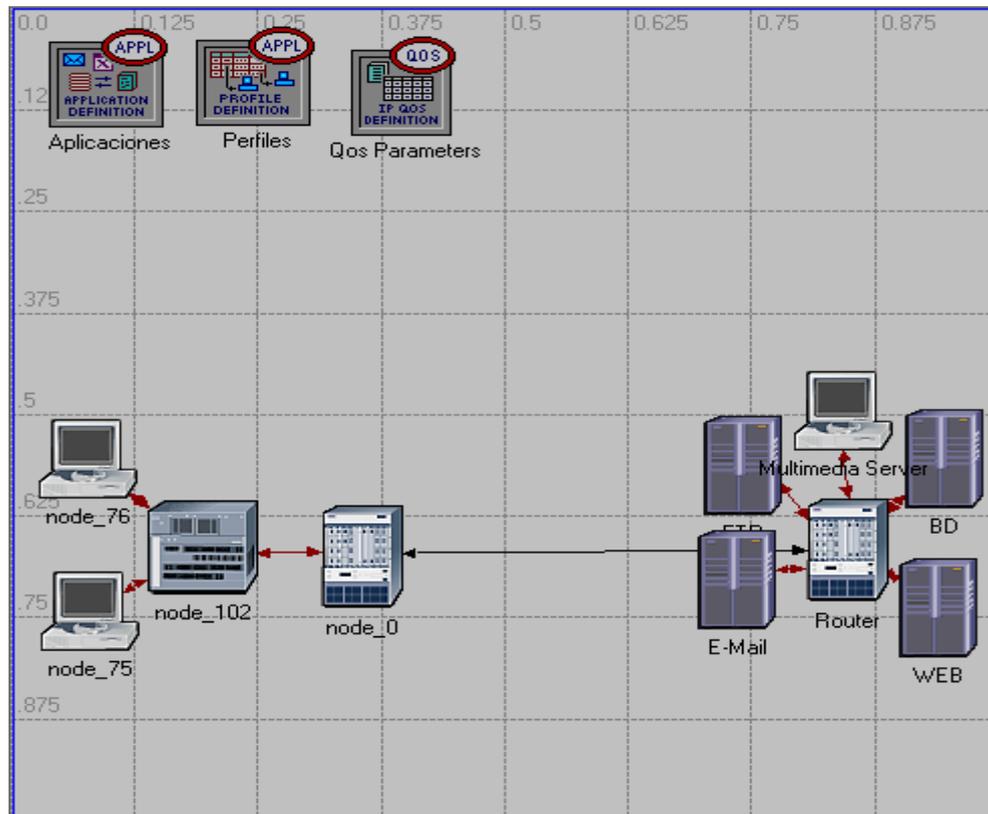


Figura 1: Escenario ejemplo con tecnología estándar del OPNET.

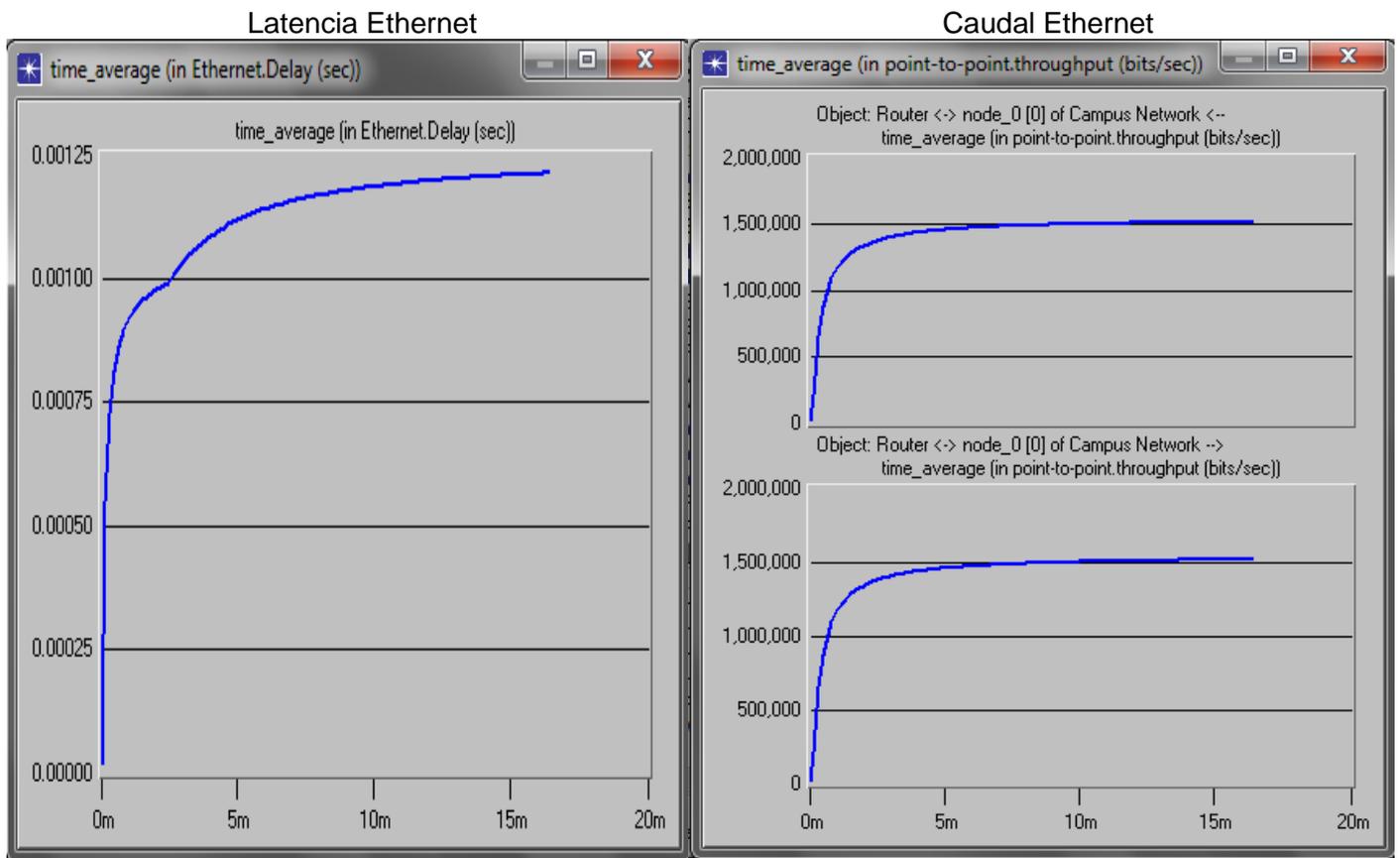


Figura 2: Resultados de simulación del escenario representado en la figura 1 del presente anexo.

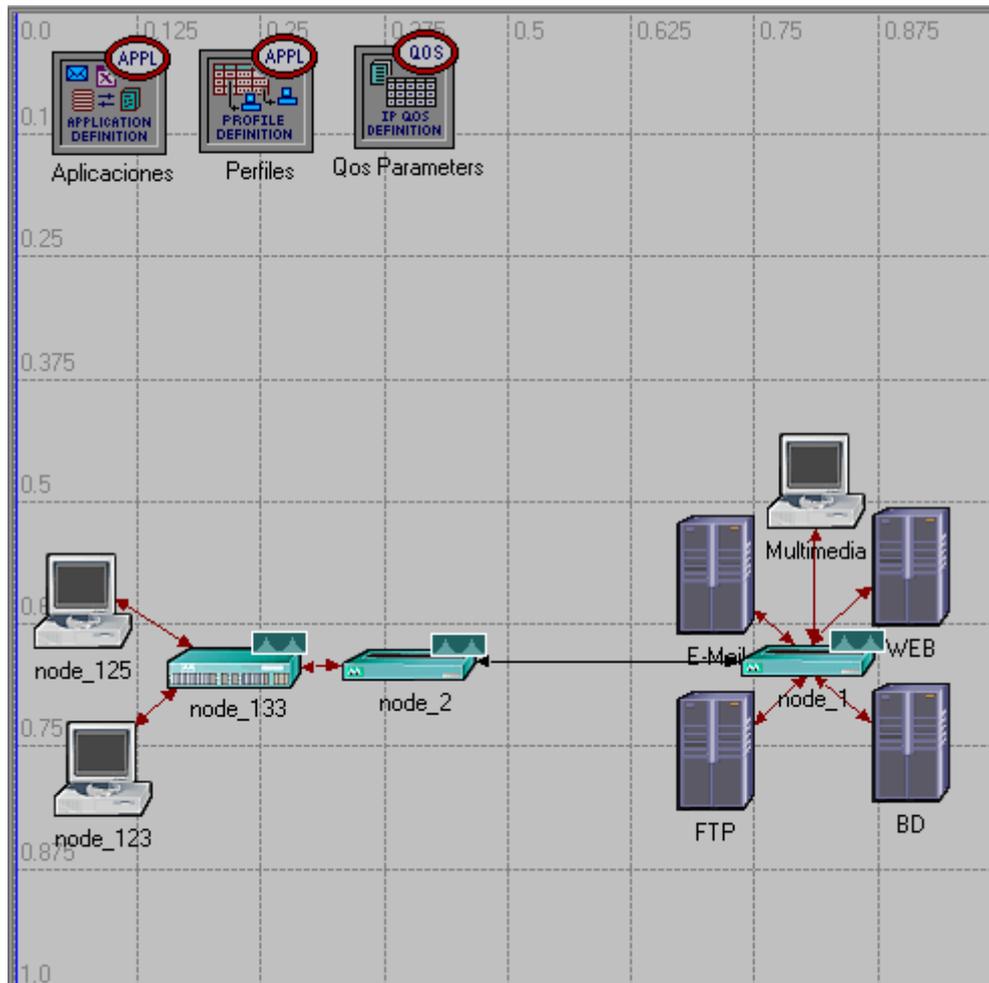


Figura 3: Escenario ejemplo con tecnología Cisco.

Latencia Cisco

Caudal Cisco

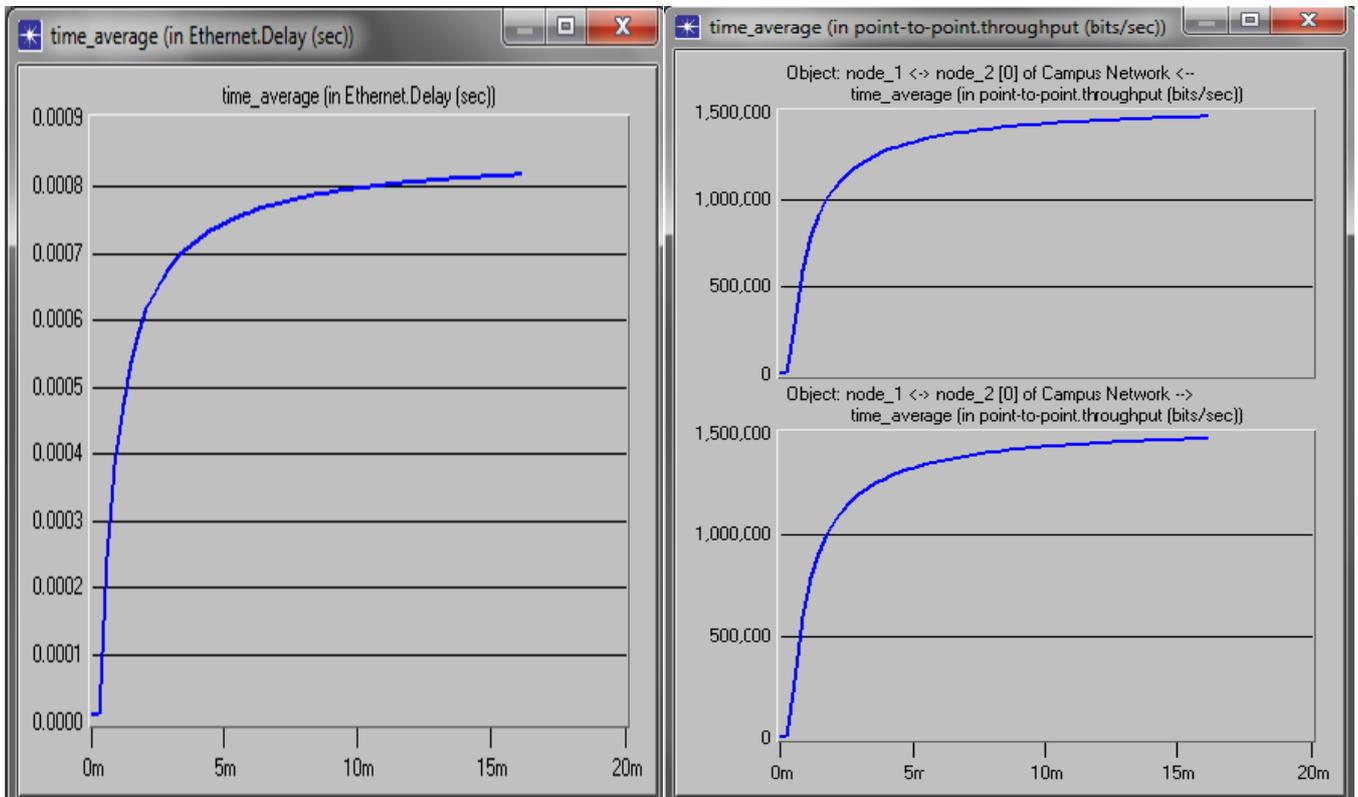


Figura 4: Resultados de simulación del escenario representado en la figura 3 del presente anexo.

Anexo 2:

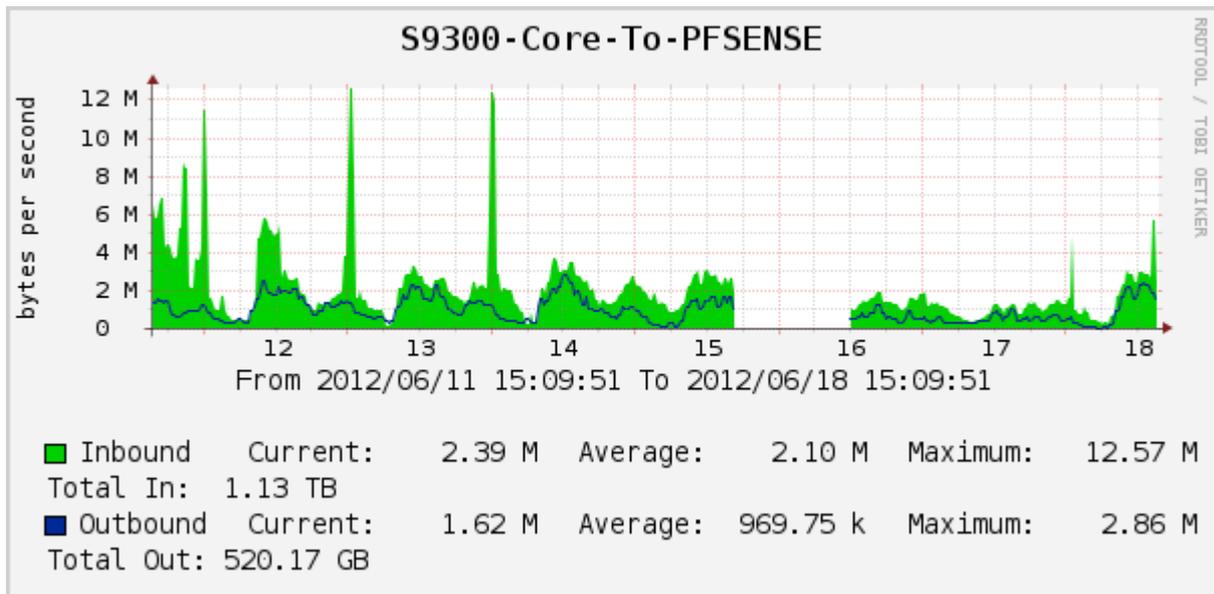


Figura 5: Medición realizada del Switch Core al Firewall.

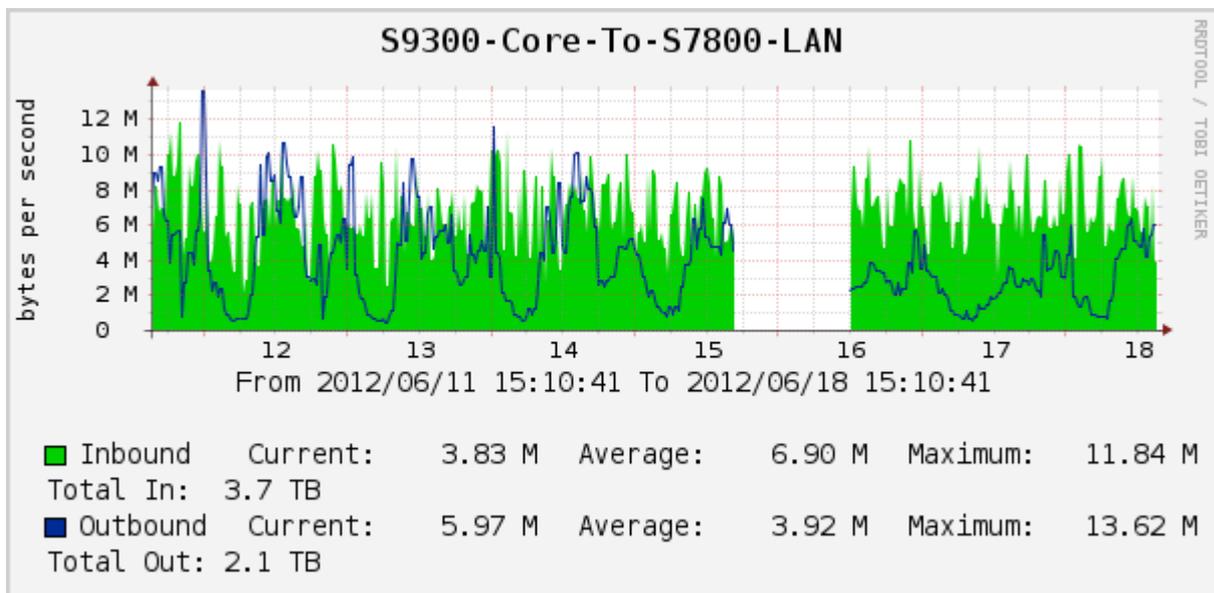


Figura 6: Medición realizada del Switch Core al Switch LAN.

GLOSARIO

Backbone: Es un enlace de gran caudal o una serie de nudos de conexión que forman un eje de conexión principal. Es la columna vertebral de una red.

Backplane: Placa de circuito que conecta varios conectores en paralelo uno con otro, de tal modo que cada pin de un conector esté conectado al mismo pin relativo del resto de conectores, formando un bus de ordenador. Se utiliza como columna vertebral para conectar varias placas de circuito impreso (tarjetas) que juntas forman una computadora.

Best effort: Básicamente no ofrecen ninguna garantía. Usualmente utiliza técnicas FIFO (First in First Out o Primero en Entrar Primero en Salir), que no tienen ninguna diferenciación entre los distintos flujos.

Cuellos de botella: Un cuello de botella o embudo en comunicación e informática es cuando se realizan muchas solicitudes pero no pueden ser atendidas al mismo tiempo quedando en una fila de espera hasta llegar un punto que quien está atendiendo las solicitudes no puede más, saturándose y terminando el proceso.

Ethernet: Es el nombre de una tecnología de redes de computadoras de área local (LAN's) basada en tramas de datos. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de trama del nivel de enlace de datos del modelo OSI. Ethernet se refiere a las redes de área local y dispositivos bajo el estándar IEEE 802.3.

Frame Relay: Protocolo conmutado estándar de la capa de datos que administra varios circuitos virtuales utilizando encapsulación HDLC entre los dispositivos conectados. Frame Relay es más eficiente que X.25, el protocolo del cual se considera, en general, un sustituto.

HTTP: Protocolo de transporte de hipertexto utilizado para el intercambio de información sobre Internet.

IETF (Internet Engineering Task Force): Grupo de trabajo de ingeniería de Internet. Brazo tecnológico de Internet, sirve de foro de discusión y trabajo sobre los diversos aspectos técnicos y de investigación.

Internet 2: Red de cómputo con capacidades avanzadas separada de la Internet comercial actual. Algunas de las aplicaciones en desarrollo dentro del proyecto de Internet 2 a nivel internacional son: telemedicina, bibliotecas digitales, laboratorios virtuales, manipulación a distancia y visualización de modelos 3D; aplicaciones todas ellas que no serían posibles de desarrollar con la tecnología del Internet de hoy.

Jitter: Es la variación en el retardo, que ocurre cuando los paquetes transmitidos en una red no llegan a su destino en su debido orden o en la base de tiempo preestablecida, es decir, varían en latencia. La principal causa del jitter es la congestión.

Multicast: Es un servicio de red en el cual un único flujo de datos puede ser enviado simultáneamente a varios receptores.

Overhead: Sobrecarga de información que añade un protocolo a los datos a transmitir.

Router: Dispositivo que distribuye tráfico entre redes. La decisión sobre a donde enviar los datos se realiza en base a información de nivel de red y tablas de direccionamiento. Es el nodo básico de una red IP.

Switch: Un *switch* es un dispositivo de red que selecciona el camino o el circuito (basándose en la dirección de destino de cada trama) para enviar una unidad de data a su próximo destino.

Scheduling: Es la asignación *estratégica* del procesador a los procesos.

Slow-start: Es un algoritmo de control de congestión del protocolo TCP. La solución que plantea este algoritmo, consiste en comenzar enviando un volumen de datos pequeño, que se irá aumentando hasta que la red se sature, en cuyo caso se reducirá la tasa de envío para reducir la saturación.

ToS (Type Of Service): El Tipo de servicio se utiliza para la selección de la calidad del servicio internet. El tipo de servicio se especifica a través de los parámetros abstractos de precedencia, demora, rendimiento y fiabilidad.

WAN: Red corporativa que cubre un área geográfica mayor que una ciudad.