

OPTIMIZACIÓN DE REDES DE TELECOMUNICACIONES A TRAVES DE
OPNET (OPTIMIZED NETWORK ENGINEERING TOOLS): PRÁCTICAS Y
SIMULACIONES

YECID IGNACIO REYES BAENA
MARCELA RAMOS VARELA

DIRECTOR
GÓNZALO LÓPEZ VERGARA

MINOR EN TELECOMUNICACIONES
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRICA Y ELECTRONICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.
2005.

OPTIMIZACIÓN DE REDES DE TELECOMUNICACIONES A TRAVES DE
OPNET (OPTIMIZED NETWORK ENGINEERING TOOLS): PRÁCTICAS Y
SIMULACIONES

YECID IGNACIO REYES BAENA
MARCELA RAMOS VARELA

**Trabajo de monografía presentado como requisito para obtener el certificado
del Minor en Telecomunicaciones.**

DIRECTOR
GÓNZALO LÓPEZ VERGARA
Ingeniero Electrónico

MINOR EN TELECOMUNICACIONES
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRICA Y ELECTRONICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.
2005.

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Cartagena D. T. Y C., Noviembre de 2005

Señores

COMITÉ CURRICULAR

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

La ciudad

Respetados señores:

Con toda atención nos dirigimos a ustedes con el fin de presentarles a su consideración, estudio y aprobación la monografía titulada OPTIMIZACIÓN DE REDES DE TELECOMUNICACIONES A TRAVES DE OPNET (OPTIMIZED NETWORK ENGINEERING TOOLS): PRÁCTICAS Y SIMULACIONES como requisito parcial para optar al título de ingeniero electrónico.

Atentamente

YECID IGNACIO REYES BAENA.

Cartagena D. T. Y C., Noviembre de 2005

Señores

COMITÉ CURRICULAR

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

La ciudad

Respetados señores:

Con toda atención nos dirigimos a ustedes con el fin de presentarles a su consideración, estudio y aprobación la monografía titulada OPTIMIZACIÓN DE REDES DE TELECOMUNICACIONES A TRAVES DE OPNET (OPTIMIZED NETWORK ENGINEERING TOOLS): PRÁCTICAS Y SIMULACIONES como requisito parcial para optar al título de ingeniero electrónico.

Atentamente

MARCELA RAMOS VARELA

Cartagena D. T. Y C., Noviembre de 2005

Señores

COMITÉ CURRICULAR

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

La ciudad

Cordial saludo:

A través de la presente me permito entregar la monografía titulada OPTIMIZACIÓN DE REDES DE TELECOMUNICACIONES A TRAVÉS DE OPNET (OPTIMIZED NETWORK ENGINEERING TOOLS): PRÁCTICAS Y SIMULACIONES para su estudio y evaluación la cual fue realizada por los estudiantes YECID IGNACIO REYES BAENA y MARCELA RAMOS VARELA, bajo mi dirección.

Atentamente,

GÓNZALO LÓPEZ VERGARA

Ingeniero Electrónico

AUTORIZACIÓN

Yo, YECID IGNACIO REYES BAENA, identificado con la cédula de ciudadanía número 73.205.258 de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar, para hacer uso de mi trabajo de monografía y publicarlo en el catálogo online de la biblioteca.

YECID IGNACIO REYES BAENA

AUTORIZACIÓN

Yo, MARCELA RAMOS VARELA, identificada con la cédula de ciudadanía número 45.554.930 de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar, para hacer uso de mi trabajo de monografía y publicarlo en el catálogo online de la biblioteca.

MARCELA RAMOS VARELA

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
FUNDAMENTOS DE OPNET IT	3
2. FUNDAMENTOS DE OPNET IT	4
HOME NETWORKING	10
3. HOME NETWORKING	11
3.1 Descripción.....	11
3.2 Desarrollo de la práctica.	13
3.2.1 Edición del proyecto.....	14
3.2.2 Configuración del enlace WAN.....	17
3.2.3 Configuración de la simulación	18
3.2.4 Visualización de resultados, primer escenario.....	19
3.2.5 Visualización de resultados, segundo escenario	23
3.2.6 Visualización de resultados, tercer escenario	25
3.2.7 Visualización de resultados, cuarto escenario.....	27
REDES LOCALES CONMUTADAS.....	31
4. REDES LOCALES CONMUTADAS.....	32
4.1 Descripción.....	32
4.2 Desarrollo de la práctica.	34
4.2.1 Edición del proyecto.....	34
4.2.2 Creación de la red	35
4.3.3 Ejecución de la simulación.....	41
4.3.4 Visualización de resultados.....	43
TCP: Control de Congestión.....	49
5. TCP: Control de Congestión.....	50
5.1. Descripción	50
5.1.1. Parámetros TCP de OPNET	52
5.2. Desarrollo de la práctica	57
5.2.1. Edición del proyecto.....	57
5.2.2. Configuración de aplicaciones.....	59
5.2.3. Configuración de Perfiles	60
5.2.4. Configuración de la subred oeste (West Subnet).....	62
5.2.5. Configuración de la subred este (East Subnet).....	64
5.2.6. Conexión de las subredes a la nube IP.....	67
5.2.7. Seleccionar las estadísticas	67
5.2.8. Configuración de la Simulación.....	69
5.2.9. Duplicar el escenario	70
5.2.10. Ejecutar la simulación.....	72
5.2.11. Visualización de Resultados.....	73

<i>PROTOCOLOS DE ENLACE</i>	79
6. PROTOCOLOS DE ENLACE	80
6.1. Descripción	80
6.2. Desarrollo de la Práctica	82
6.2.1. Impacto del tamaño de la ventana del enlace.....	83
7. CONCLUSIONES	90
8. GLOSARIO	92
9. BIBLIOGRAFIA	98

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2. 1 FLUJO DE TRABAJO DE OPNET.....	4
FIGURA 2. 2 VENTANA DEL EDITOR DE PROYECTOS	5
FIGURA 2. 3 VENTANA PARA SELECCIONAR LOS ATRIBUTOS DEL OBJETO Y SUS ESTADÍSTICAS	7
FIGURA 2. 4 ACCESO A LA CONFIGURACIÓN DE LA SIMULACIÓN	7
FIGURA 2. 5 SECUENCIA DE UNA SIMULACIÓN EN OPNET	8
FIGURA 3. 1 ABRIENDO EL PROYECTO HOME_LAN.....	15
FIGURA 3. 2 ELEMENTOS DE LA RED.....	16
FIGURA 3. 3 PROPIEDADES DEL ENLACE WAN.....	18
FIGURA 3. 4 BOTÓN CONFIGURE / RUN SIMULATION	19
FIGURA 3. 5 VENTANA DE “VIEW RESULTS”	20
FIGURA 3. 6 UTILIZACIÓN DEL ENLACE – ESCENARIO 20K.....	21
FIGURA 3. 7 PRESTACIONES DEL PC-2 – ESCENARIO 20K.....	22
FIGURA 3. 8 UTILIZACIÓN DEL ENLACE – ESCENARIO 40K	24
FIGURA 3. 9 PRESTACIONES DEL PC-2 – ESCENARIO 40K.....	24
FIGURA 3. 10 UTILIZACIÓN DEL ENLACE – ESCENARIO 512K.....	25
FIGURA 3. 11 PRESTACIONES DEL PC-2 – ESCENARIO 512K.....	26
FIGURA 3. 12 VENTANA DE “COMPARE RESULTS”	28
FIGURA 3. 13 NUEVAS ESTADÍSTICAS.....	29
FIGURA 3. 14 COMPARACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL ENLACE – CUATRO ESCENARIOS ..	30
FIGURA 3. 15 COMPARACIÓN DE LAS PRESTACIONES DEL PC-2 – CUATRO ESCENARIOS	30
FIGURA 4. 1 CONFIGURACIÓN DE LA RED.....	36
FIGURA 4. 2 RED CREADA.....	36
FIGURA 4. 3 CONFIGURACIÓN DE LAS ESTACIONES.....	38
FIGURA 4. 4 CONFIGURACIÓN DE ESTADÍSTICAS.....	39
FIGURA 4. 5 BOTÓN “PALETA DE OBJETOS”	40
FIGURA 4. 6 PALETA DE OBJETOS.....	40
FIGURA 4. 7 RED CREADA CON DOS HUBS Y UN SWITCH.....	42
FIGURA 4. 8 CONFIGURACIÓN DE LA OPCIÓN “MANAGE SCENARIOS”	42
FIGURA 4. 9 VENTANA DE SIMULACIÓN.....	43
FIGURA 4. 10 PARÁMETRO “TRAFFIC SENT (PACKETS/SEC)”.....	44
FIGURA 4. 11 PARÁMETRO “TRAFFIC RECEIVED (PACKETS/SEC)”	45
FIGURA 4. 12 PARÁMETRO “DELAY (SECONDS)”	46
FIGURA 4. 13 COLISIONES PARA EL HUB1.....	46
FIGURA 4. 14 AÑADIR COLISIONES DEL HUB2.....	47
FIGURA 4. 15 COLISIONES DE LOS HUBS 1 Y 2.....	48
FIGURA 5. 1 ESCENARIO CREADO PARA SIMULAR LA PRACTICA.....	59
FIGURA 5. 2 ATRIBUTOS DE APLICACIÓN DEL ESCENARIO.....	60
FIGURA 5. 3 ASIGNACIÓN DE VALORES AL ATRIBUTOS FTP.....	61
FIGURA 5. 4 PARÁMETROS A CONFIGURAR PARA LOS PERFILES DEL ESCENARIO	61
FIGURA 5. 5 ELEMENTOS DE LA SUBRED OESTE.....	62
FIGURA 5. 6 ATRIBUTOS A CONFIGURAR EN EL SERVIDOR DE LA SUBRED OESTE.....	63
FIGURA 5. 7 ATRIBUTOS CONFIGURABLES EN EL PARÁMETRO DE SERVICIOS SOPORTADOS PARA EL SERVIDOR.....	64
FIGURA 5. 8 ELEMENTOS DE LA SUBRED EAST.....	65

FIGURA 5. 9 ATRIBUTOS A CONFIGURAR PARA LA ESTACIÓN DE TRABAJO DE LA SUBRED ESTE.....	66
FIGURA 5. 10 CONFIGURACIÓN PARA EL PARÁMETRO “APPLICATION: DESTINATION PREFERENCES”.....	66
FIGURA 5. 11 CONFIGURACIÓN FINAL DE LA RED.....	67
FIGURA 5. 12 ESTADÍSTICAS A SELECCIONAR PARA LA SIMULACIÓN.....	68
FIGURA 5. 13 CONFIGURACIÓN DE LA ESTADÍSTICA “CONGESTION WINDOW SIZE”.....	69
FIGURA 5. 14 EDICIÓN DE ATRIBUTOS PARA LA NUBE IP DE INTERNET.....	71
FIGURA 5. 15 ATRIBUTOS A CONFIGURAR PARA “SERVER_WEST” EN EL NUEVO ESCENARIO.....	72
FIGURA 5. 16 SECUENCIA DE SIMULACIÓN DE TRES ESCENARIOS CON TCP IMPLEMENTADA CON OPNET.....	73
FIGURA 5. 17 VENTANA PARA VISUALIZAR LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.....	74
FIGURA 5. 18 COMPORTAMIENTO DEL PARÁMETRO “CONGESTION WINDOW SIZE” Y “SENT SEGMENT SEQUENCE” PARA TCP EN EL ESCENARIO DROP_NOFAST.....	74
FIGURA 5. 19 COMPORTAMIENTO DEL PARÁMETRO “CONGESTION WINDOW SIZE” PARA LOS TRES ESCENARIOS.....	75
FIGURA 5. 20 COMPARACION DEL PARÁMETRO “SENT SEGMENT SEQUENCE NUMBER”.....	76
FIGURA 5. 21 AMPLIACIÓN PARA LOS RESULTADOS COMPARATIVOS DEL PARÁMETRO “SEGMENT SEQUENCE NUMBER”.....	77
FIGURA 6. 1 ESCENARIO A SIMULAR PARA LOS PROTOCOLOS DE ENLACE.....	82
FIGURA 6. 2 PARÁMETROS A CONFIGURAR EN EL SERVIDOR.....	84
FIGURA 6. 3 VENTANA PARA SELECCIONAR LOS PARÁMETROS A SIMULAR.....	85
FIGURA 6. 4 VENTANA PARA CONFIGURAR LA SIMULACIÓN.....	86
FIGURA 6. 5 VENTANA PARA AÑADIR ATRIBUTOS A SIMULAR EN LA CONFIGURACIÓN.....	86
FIGURA 6. 6 VENTANA DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.....	87
FIGURA 6. 7 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON EL PROTOCOLO PARA VENTANAS DESLIZANTES.....	88

1. INTRODUCCIÓN

Las empresas hoy en día se han confiado más en su infraestructura de IT (Information Technology) para la exitosa ejecución de sus estrategias de negocio. La presión del crecimiento, combinada con la complejidad de las tecnologías actuales, ha forzado a las empresas a enfrentar retos significativos en la administración rentable de sus redes y de las aplicaciones.

OPNET IT Guru es una herramienta que permite a los encargados de operaciones, planeación y desarrollo de aplicaciones, ser mucho más efectivos en el direccionamiento de los cambios. IT Guru es único gracias a su habilidad para el modelamiento de una red incluyendo routers, switches, protocolos, servidores, y las aplicaciones individuales que soportan.

IT Guru se vuelve esencial porque ayuda a las organizaciones a reducir costos, ya que el uso eficiente del presupuesto exige una comprensión del impacto que se va a alcanzar con cada inversión, y este puede ser estudiado a través de IT Guru. También ayuda a la mejora de la eficacia operacional, ya que ofrece diagnósticos estructurados y repetibles que aceleran la resolución de problemas: al incremento de la productividad del negocio, asociada al tiempo de respuesta de aplicaciones

que utilizan los trabajadores de la empresa para desarrollar sus actividades, por medio de la detección de cuellos de botella, etc.: a la reducción de riesgos, para lo cual los administradores de IT Guru pueden realizar intervenciones periódicas de integridad y de seguridad de la red, simulando fallas y condiciones de sobrecarga.

La monografía presentada es una introducción al uso de OPNET IT Guru, incluyendo la realización de prácticas con el programa, en las cuales se explica la creación de escenarios, la medida de estadísticas representativas del comportamiento de la red creada, y finalmente el análisis de las imágenes que se despliegan como resultado de la simulación de la red. IT Guru provee entonces un ambiente de red virtual que modela el comportamiento de la red del usuario, y se enfoca a los encargados del IT, los planeadores de redes y sistemas, los operadores, y en general cualquier interesado en la evaluación y diseño de redes, para la realización de diagnósticos mas efectivos, la evaluación de modificaciones antes de su implementación, y para hacer estudios de futuros proyectos, en base al crecimiento, y a las posibles fallas.

FUNDAMENTOS DE OPNET IT



En esta sección se muestra una breve introducción al programa OPNET IT Guru, tomando algunas de sus características, necesarias para el desarrollo de las prácticas y el entendimiento de las herramientas y objetos para el modelamiento de las redes.

2. FUNDAMENTOS DE OPNET IT

En esta sección se explican en forma breve algunas de las características del programa que son necesarias para el desarrollo de las prácticas¹ y el entendimiento de las herramientas y objetos para el modelamiento de las redes.

El programa a utilizar para el modelamiento se denomina *OPNET IT Guru Academic Edition 9.1*. Este programa² simula entornos de trabajo útiles para el diseño de redes, mantenimiento y diagnóstico de problemas en forma eficaz para la evaluación de alternativas antes de la implementación física con diferentes escenarios.

El siguiente diagrama de flujo muestra los pasos para la construcción y simulación de modelos utilizando el Editor de Proyectos de OPNET.

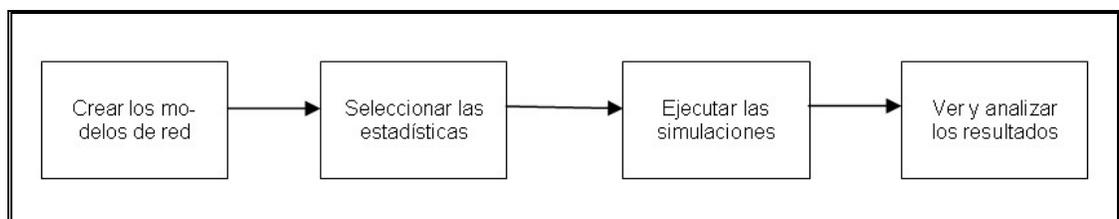


Figura 2. 1 Flujo de Trabajo de OPNET

¹ Las prácticas a desarrollar pertenecen a la asignatura Redes de Computadores de 4º curso de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica de Valencia, España. <http://www.redes.upv.es/redesfi/>

² OPNET: Optimized Network Engineering Tools. Para más información consultar la página <http://www.opnet.com/products/itguru/>

El manejo del programa implica familiarizarse con la ventana del Editor de Proyectos. En la figura 2.2. se muestran las partes más importantes de éste. La barra de menú agrupa todas aquellas funciones que posee el programa agrupadas por categorías. Los botones de herramientas agrupan las funciones mas utilizadas del programa. El programa visualiza la función de cada uno ellos cuando se coloca el cursor sobre el botón. Se destacan los botones para abrir la paleta de objetos (ventana donde se muestran los diferentes elementos para armar la red), comprobar la consistencia del enlace y el botón para ver los resultados de la simulación. De igual manera, al hace clic con el botón derecho del mouse, se accede a funciones que permiten configurar atributos del objeto en cuestión y editar sus características de trabajo.

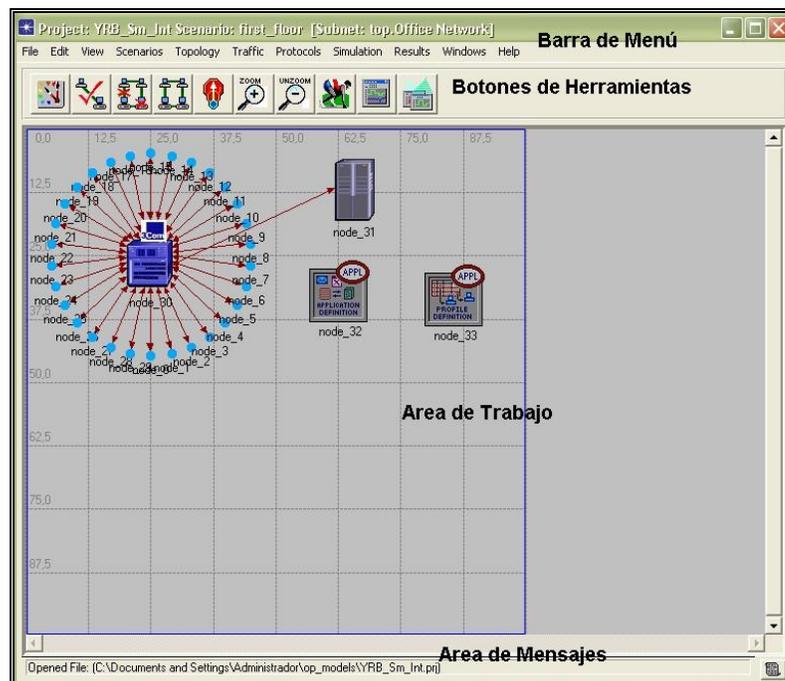


Figura 2. 2 Ventana del Editor de Proyectos

El editor de proyectos permite crear escenarios para simular diferentes aspectos de la red. Un proyecto puede contener diversos escenarios. El escenario se define como un conjunto de objetos que conforman una topología. El programa ofrece una ayuda para la creación de los escenarios llamado "Startup Wizard". Este permite crear un escenario de acuerdo a la escala de la red (mundial, local, regional) y elegir los elementos con los cuales se crea la red. Cada vez que iniciamos un nuevo proyecto aparece el asistente para la creación de proyectos. El modelo de una red puede ser creado a partir de lo siguiente:

1. Importando la topología de otro proyecto.
2. Establecer la topología en forma manual, ubicando los objetos y los enlaces.
3. Utilizando la herramienta llamada Rapid Configuration.

En cuanto a los resultados, se pueden configurar las estadísticas que se deseen recoger en forma individual o en forma global. Se debe seleccionar el objeto en cuestión, hacer clic derecho y escoger la opción "Choose Individual Statistics". En la figura 2.3 se observan algunos atributos de los cuales se puede recopilar información para una aplicación típica.

Para seleccionar estadísticas de toda la red se debe seleccionar el área de trabajo y acceder al menú desplegable haciendo clic derecho en la opción correspondiente.

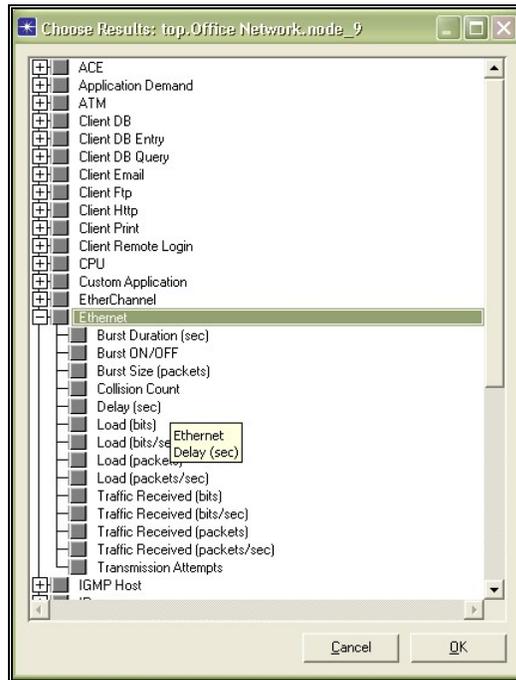


Figura 2. 3 Ventana para seleccionar los atributos del objeto y sus estadísticas

Para empezar la simulación de la red se selecciona el botón de herramientas denominado Configurar Simulación mostrado en la figura 2.4.



Figura 2. 4 Acceso a la configuración de la simulación

Aquí se configura la duración de la simulación, que no necesariamente debe ser en tiempo real. Se configuran los valores por estadística, atributos de objetos y otros valores avanzados. En la figura 2.5. se muestra una simulación en desarrollo y los valores que toma la graficas para la velocidad de la simulación ante dife-

rentes eventos. Durante esta simulación hay que tener en cuenta que OPNET consume recursos del sistema y puede ralentizarse. Por esto se recomienda cerrar cualquier otra aplicación del sistema para liberar memoria RAM.

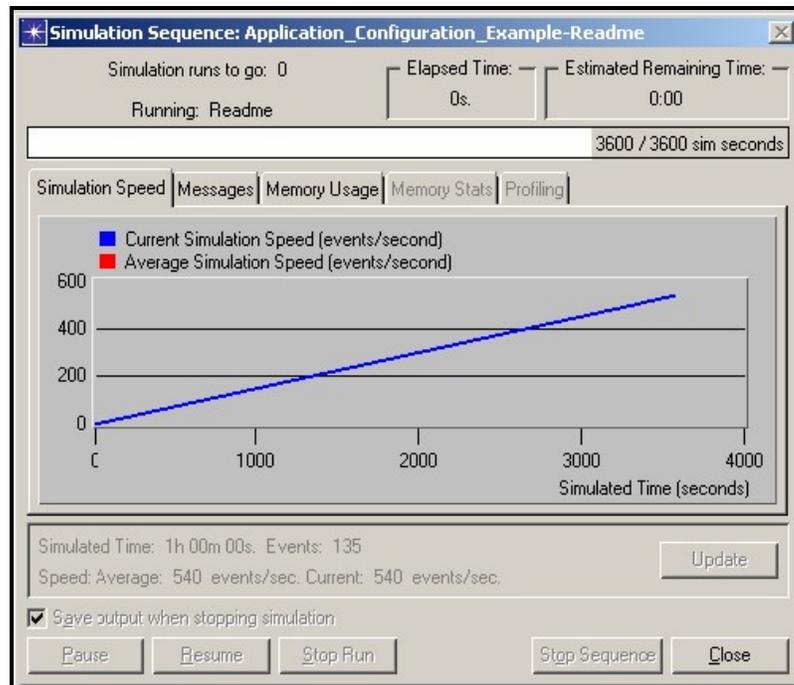


Figura 2. 5 Secuencia de una simulación en OPNET

Dentro de los asistentes que posee OPNET para el desarrollo de las prácticas se incluyen documentos relacionados con algunos de los protocolos disponibles. Para acceder a ellos, se debe hacer clic en el menú "Protocols", escoger el respectivo protocolo y seleccionar "Model Usage Guide"³. Los documentos disponibles son:

³ Estos documentos están en formato PDF y se puede acceder a ellos en forma rápida siguiendo la ruta: \\Program Files\OPNET EDU\9.1.A\models\std\usage_guides

-  Modelo TokenRing.
-  Modelo TCP.
-  Modelo RSVP.
-  Modelo RIP.
-  Modelo OSPF.
-  Modelo Ethernet.
-  Construcción de Topologías de Red.
-  Aplicaciones Estándar de Redes.
-  Configuración de Aplicaciones.
-  Capacidad del enlace y eficiencia de las aplicaciones.

A continuación se desarrollarán cuatro prácticas, cuyos títulos se listan a continuación. El principal objetivo de estas es mostrar como se utiliza OPNET IT Guru en el diseño y evaluación de redes, bajo diferentes esquemas de funcionamiento. Además, se anexan en medio magnético aquellos documentos que se relacionan con las prácticas desarrolladas en esta monografía.

-  Home Networking.
-  Redes Locales Conmutadas.
-  TCP: Control de Congestión.
-  Protocolos de Enlace.

PRÁCTICA

HOME NETWORKING



El objetivo de esta práctica es estudiar y analizar las prestaciones de un enlace con Internet, a fin de determinar el efecto de cambiar la velocidad contratada con un ISP sobre las prestaciones de las aplicaciones que corren en las estaciones de una red doméstica.

3. HOME NETWORKING

3.1 Descripción

OPNET IT Guru ofrece un entorno virtual de red capaz de modelar el comportamiento de todo tipo de redes⁴, incluyendo desde los elementos que forman parte de una red como los encaminadores, conmutadores, concentradores, protocolos, etc., hasta las aplicaciones que corren en las estaciones de trabajo conectadas. Este entorno de trabajo es de gran utilidad para los responsables de los departamentos de Informática e I+D (Investigación y Desarrollo), diseñadores de redes, operadores y personal de mantenimiento de redes, ya que permite diagnosticar problemas de una forma más eficiente, validar ampliaciones o cambios de infraestructura antes de llevarlos a cabo y prever el comportamiento de la red ante futuros escenarios como crecimiento del tráfico, fallos de red, etc.

⁴ Tomado del documento titulado “Redes de Computadores. Practica 1- Home Networking: Evaluación de una conexión a Internet para una red domestica”. http://www.redes.upv.es/redesfi/pract/Home_LAN.pdf

Como usuario se puede analizar hipotéticos escenarios de red⁵ simplemente observando como varían determinadas métricas de prestaciones (retardos, productividad, etc.) ante distintas configuraciones del escenario de red (número de estaciones, tipos de conmutadores / routers, topología de interconexión, tráfico generado, etc.) de la red.

Para crear una simulación de red o proyecto⁶ es necesario especificar los **nodos** que forman la red bajo estudio (computadoras, conmutadores, encaminadores, etc.), los **enlaces** que conectan los nodos (topología) y las **aplicaciones** que se ejecutarán en los nodos durante la simulación.

En esta sesión específica se propone estudiar y analizar las prestaciones del **enlace con Internet**, con el fin de determinar el efecto de cambiar la velocidad contratada con un ISP (Internet Service Provider) sobre las prestaciones de las aplicaciones Internet que corren en las estaciones de la red doméstica. El proyecto posee todos los elementos definidos con el propósito de modelar una red de PC's doméstica compuesta por tres computadores conectados a Internet fundamentalmente para ejecutar aplicaciones de juegos Internet, navegación por Internet (web browsing), correo electrónico, streaming de audio y transferencia de ficheros (FTP).

⁵ Denominados en OPNET: "Scenarios".

⁶ Denominada en OPNET: "Project"

Durante la sesión se propone evaluar una serie de simulaciones (o escenarios) para analizar como varían las prestaciones si la red doméstica se conecta a Internet a través de:

- ◆ Un módem telefónico de baja velocidad (20 Kbps).
- ◆ Un módem telefónico de 40Kbps.
- ◆ Un cable módem o línea ADSL con 512 Kbps de bajada, o
- ◆ Una conexión de alta velocidad de tipo T1 (1,5 Mbps)⁷.

Para cada escenario, se establecerá la velocidad de bajada en el modelo de simulación, se lanzará la simulación y se extraerán los resultados o estadísticas para el grado de utilización del enlace a Internet y los tiempos de respuesta de la aplicación que se ejecuta. Finalmente, se formulará la pregunta que todos se hacen cuando se contrata un acceso a Internet: ¿Merece la pena pagar conexiones más rápidas para el tráfico demandado por nuestra red doméstica?

3.2 Desarrollo de la práctica.

En esta práctica de laboratorio se mostrarán las capacidades de la herramienta *OPNET IT Guru*, en lo que se refiere al modelamiento, la gestión y la realización

⁷ Aunque los módems, cable módems y conexiones xDSL suelen anunciarse con velocidades superiores, los números aquí presentados son velocidades medias que en la práctica se suelen obtener.

de pruebas de prestaciones a cualquier tipo de instalación de red, por medio de una potente y amigable interfaz gráfica.

3.2.1 Edición del proyecto.

A continuación se procederá a realizar la práctica. El primer paso consiste en abrir el proyecto en el cual se va a trabajar. OPNET IT Guru viene con una serie de proyectos y escenarios. Cada escenario de un proyecto suele representar distintas versiones del mismo modelo de red. Por tanto un proyecto esta formado por uno o varios escenarios. En esta práctica de laboratorio, se crearán cuatro escenarios diferentes para comparar las prestaciones de las aplicaciones ante distintas velocidades de conexión a Internet.

Lo primero que se debe hacer es iniciar el simulador *OPNET IT Guru*. Para esto, se selecciona del menú “File” la opción “Open”. Se debe verificar que se tiene seleccionado “Project” del menú desplegable, tal como se muestra en la figura 3.1. A continuación, se selecciona el proyecto “Home_LAN”, y se pulsa “OK” para completar la operación. Si no aparece el nombre del proyecto indicado, debe asegurarse de haber descargado el archivo comprimido asociado a este proyecto⁸. Se debe descomprimir este archivo en un directorio del disco local.

⁸ Este archivo comprimido se obtiene en la dirección
<http://www.redes.upv.es/redesfi/pract/01%20Home%20LAN.zip>

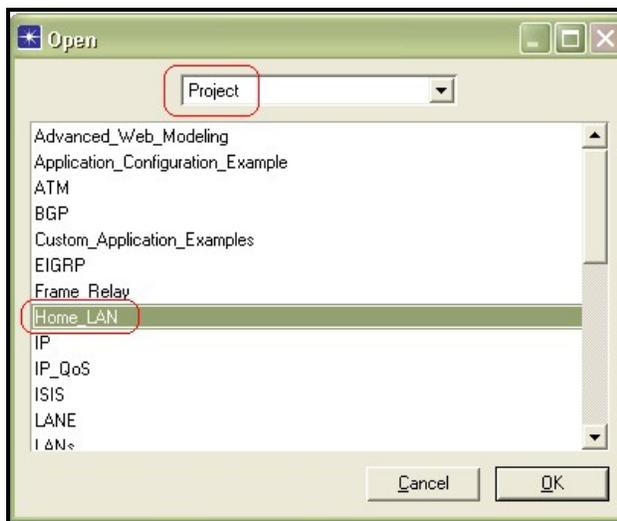


Figura 3. 1 Abriendo el proyecto Home_LAN.

Después de haber hecho esto, se selecciona el menú “File”, y se toma la opción “Model File”, y a continuación “Add Model Directory”. De esta forma se añade este directorio para que *OPNET IT Guru* pueda encontrar este proyecto. Tras esta operación, el proyecto “Home_LAN” deberá aparecer en la lista de proyectos disponibles.

La figura 3.2 muestra los elementos de la red que se va a simular. Por un lado, se tiene la red doméstica con tres PC’s realizando diferentes tareas en la red. Cada uno de ellos se conecta a un conmutador Fast Ethernet a través de enlaces UTP. El conmutador a su vez se conecta con el encaminador, el cual se encarga de dirigir el tráfico desde o hacia Internet (ISP)⁹. El enlace de salida del encaminador,

⁹ El conmutador y el encaminador podrían haberse representado como un único dispositivo, sin embargo se ha representado así para poder diferenciar de una forma más sencilla la función de cada dispositivo.

etiquetado como “WAN Link”, conecta con ISP (Internet). Finalmente se han representado tres servidores en Internet que suministran diferentes servicios a los clientes de la red doméstica a estudiar.

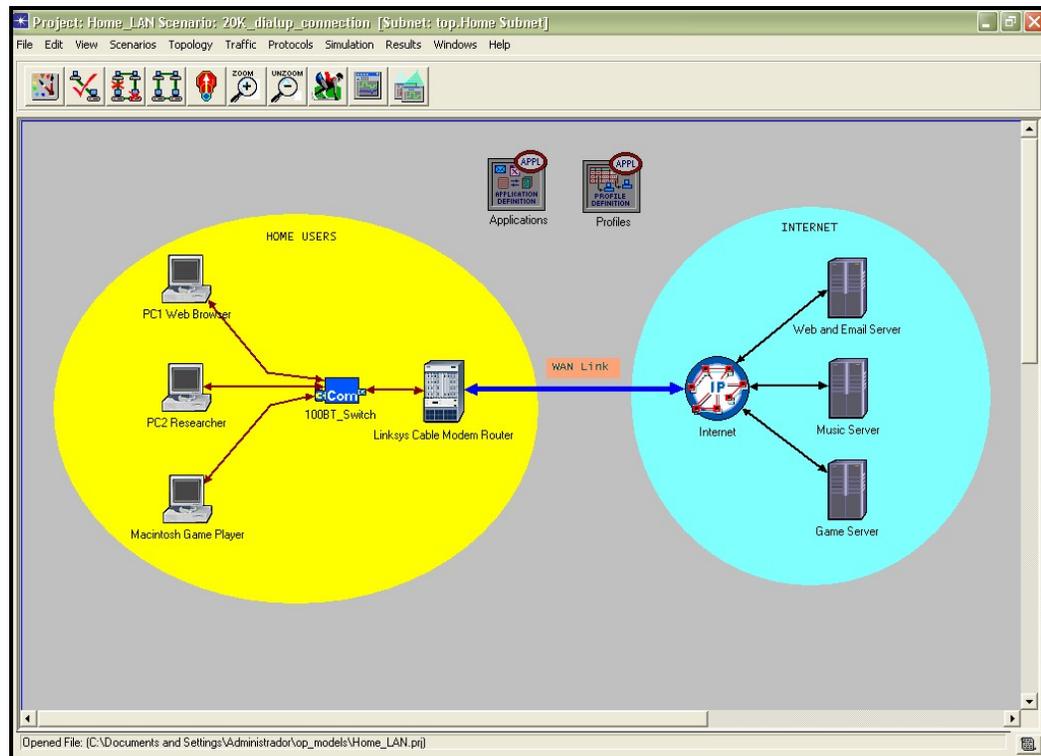


Figura 3. 2 Elementos de la red.

En la parte superior de la figura, aparecen dos objetos que no representan nodos físicos de la red: “Application” y “Profile”. El objeto “Application” contiene información acerca de las aplicaciones que se van a ejecutar en este escenario, como por ejemplo Web, correo electrónico, etc. Para cada aplicación se puede definir el patrón de tráfico que ésta va a inyectar en la red, pudiendo existir diferentes tipos de tráfico para una misma aplicación: tráfico ligero de web, tráfico pesado de web,

etc. El tráfico relacionado con los servicios de impresión y de transferencia interna de ficheros no se incluyen porque el principal cuello de botella en esta red es el enlace Internet, y no la Intranet de la red doméstica.

Por otro lado, a través del objeto “Profiles” se pueden asociar aplicaciones a cada uno de los computadores. Las propiedades de todos los objetos de la red están predefinidas con la excepción de la velocidad del enlace WAN entre el enca- minador y la nube Internet.

3.2.2 Configuración del enlace WAN.

Luego de haber abierto el proyecto, el siguiente paso a realizar es el de la confi- guración del enlace WAN a 20 Kbps, correspondiente al primer escenario del pro- yecto. Para esto, con el botón derecho del ratón se debe hacer clic en el enlace WAN, y a continuación se selecciona la opción “Edit Attributes” del menú emer- gente que aparece.

En la figura 3.3 se pueden ver las diferentes propiedades de este enlace. En este caso, se necesita cambiar solamente la propiedad “data rate”. Para esto, se hace clic en el campo “Value” de la propiedad “data rate” y se selecciona “Edit”. A conti- nuación, se escribe el valor “20000”, se pulsa Enter y finalmente se hace clic en “OK” para activar el cambio. La ventana final es la que se muestra en la figura 3.3.

3.2.3 Configuración de la simulación

A continuación realizaremos la configuración de la simulación de la red. Para simular el comportamiento de esta red, se usará el simulador de eventos discretos que incorpora esta herramienta.

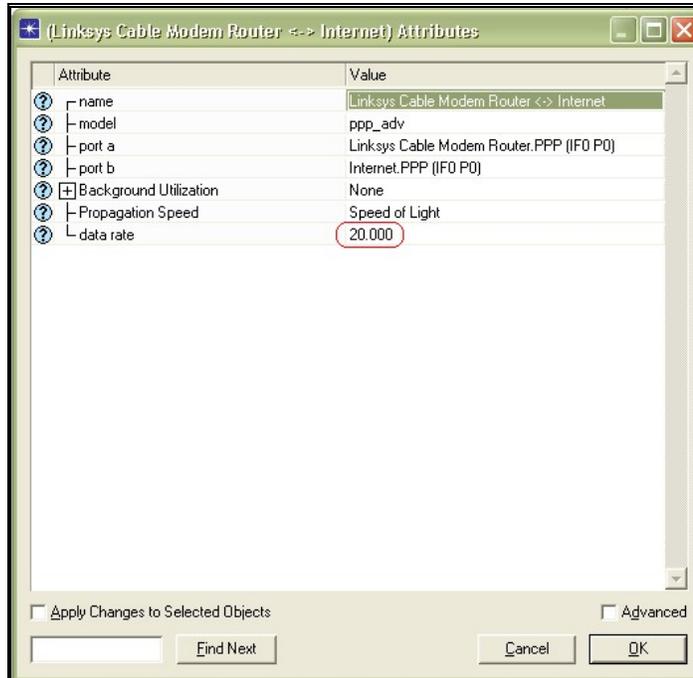


Figura 3. 3 Propiedades del enlace WAN.

El modelo de la red simula la generación y entrega de paquetes que intercambian las aplicaciones cliente / servidor definidas en el escenario. La generación de paquetes, así como el tratamiento de los mismos en los distintos nodos de la red tratan de representar fielmente lo que ocurriría en una red real.

Para la configuración se debe hacer clic en el botón de la barra de herramientas Configure / run simulation, que se muestra en la figura 3.4.



Figura 3. 4 Botón Configure / run simulation

Dentro de esta opción, se debe asegurar de que el tiempo de simulación es de 8 horas, representando una jornada laboral. A continuación se hace clic en el botón “Run”. Para ver el progreso de la simulación se dispone, entre otras cosas, de una barra de progreso con los tiempos reales y simulados. Cuando la simulación finalice, haga clic en el botón “Close”.

3.2.4 Visualización de resultados, primer escenario.

Finalmente, se procede a observar los resultados estadísticos de la simulación realizada. Particularmente, se hace énfasis en el tiempo de respuesta (Response Time) de la aplicación Web que ha experimentado la estación con el perfil “Researcher” (PC-2), y la utilización del enlace WAN (Link Utilization).

Para ver las estadísticas en lo que se refiere a las prestaciones del enlace WAN, se hace clic con el botón derecho del ratón en el enlace WAN y se selecciona la opción “View Results” para obtener la utilización de este enlace. La ventana que se despliega se muestra en la figura 3.5.

A continuación, se abre el menú “point-to-point”, y se selecciona la estadística “Utilization” en ambas direcciones. Se selecciona “Overlaid Statistics” en el menú desplegable situado en la parte inferior derecha de esta ventana. La ventana final se muestra en la figura 3.6. Finalmente se hace clic en el botón “Show” y después se cierra la ventana de resultados haciendo clic en el botón “Close”.

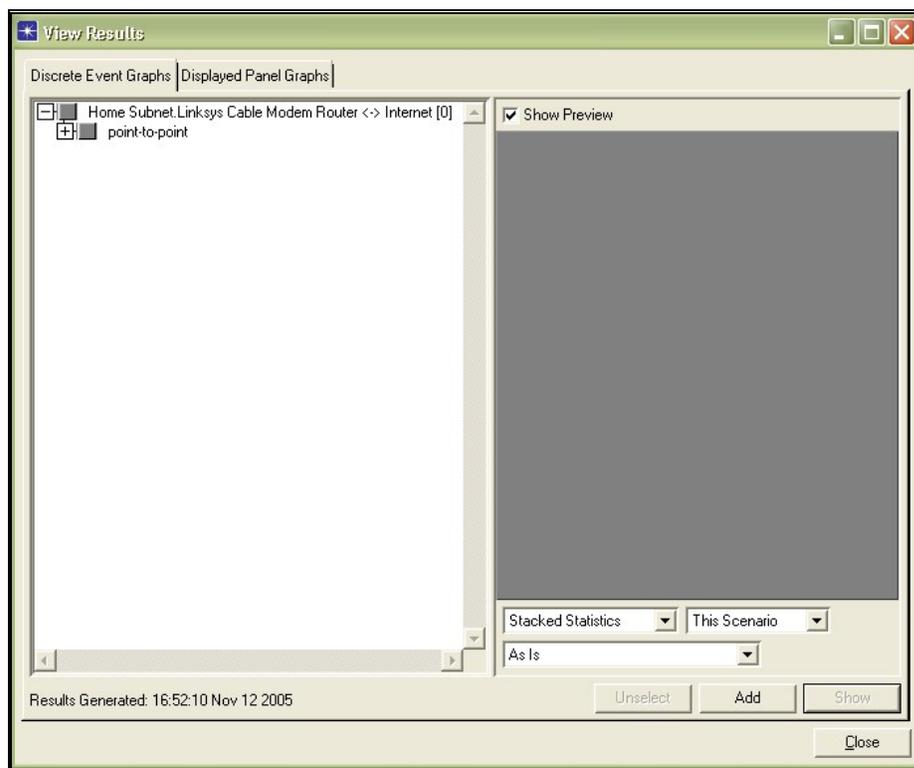


Figura 3. 5 Ventana de “View Results”

Para determinar las prestaciones del PC-2 (ordenador con el perfil de tráfico “Researcher”), se hace clic con el botón derecho del ratón en el nodo PC2 Researcher y se selecciona la opción “View Results” para obtener las estadísticas de tiempo de respuesta (Response Time) y tráfico recibido (Traffic Received).

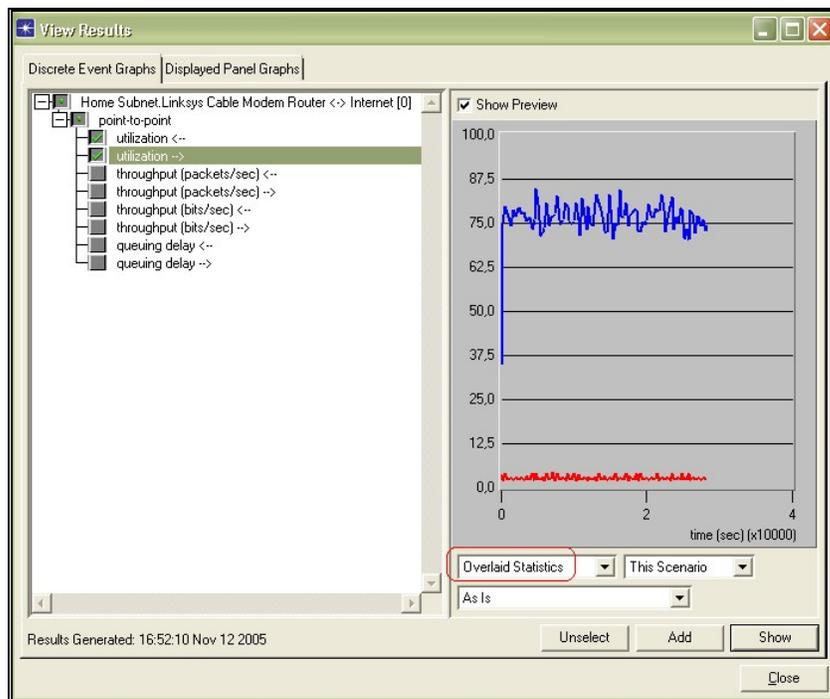


Figura 3. 6 Utilización del enlace – Escenario 20k.

Después de esto, se despliega la opción “Client http” y se selecciona “Page Response Time (Seconds)”, y la opción “As is” en el menú desplegable situado en la parte inferior derecha de la ventana. Esta ventana de muestra en la figura 3.7. Finalmente, se hace clic en el botón “Show”, y luego “Close” en la ventana de resultados.

Como se puede observar de los resultados obtenidos, la utilización del enlace de bajada (download link utilization, color azul en la figura 3.6) está sobre el 80%, mientras que la del enlace de subida (upload link utilization, color rojo en la figura 3.6) ronda el 2%. Con un 80% de utilización del canal no queda demasiado ancho de banda libre para nuevas aplicaciones y/o usuarios.

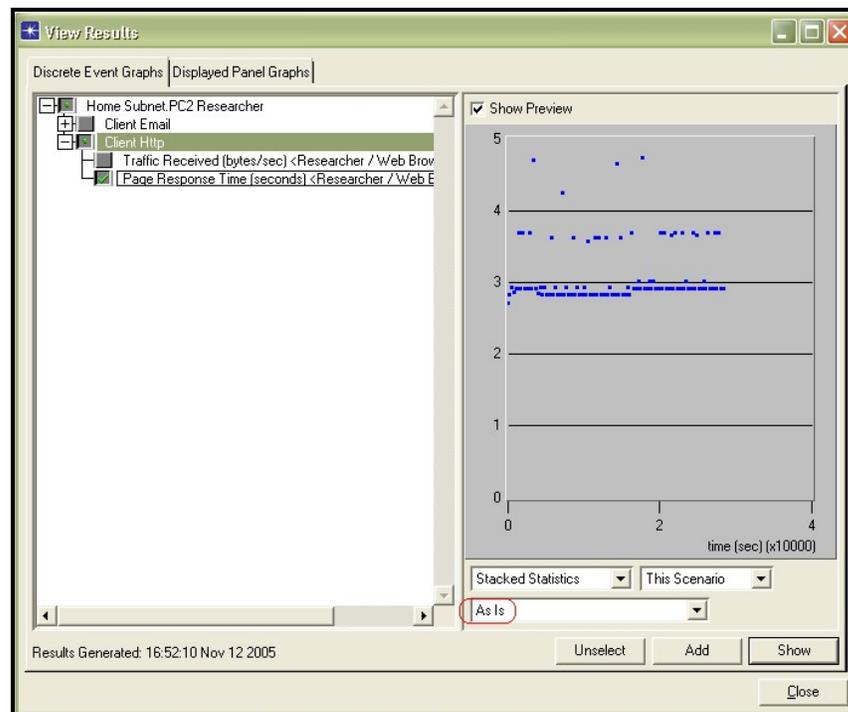


Figura 3. 7 Prestaciones del PC-2 – Escenario 20k.

De la figura 3.7 se observa que el tiempo de respuesta que el usuario experimenta está entre 3 y 5 segundos, siendo poco aceptable para una navegación por Internet cómoda. Por tanto, este enlace es demasiado lento, estando totalmente sobrecargado. Desde otro punto de vista, se puede asociar el porcentaje de uso de canal como óptimo para una red pequeña como la que se simula, con tres equipos, para las prestaciones que se requieren reflejándose en una reducción de costos en comparación con enlaces de mayor capacidad que será subutilizada.

3.2.5 Visualización de resultados, segundo escenario

A continuación se estudiará el segundo escenario. En este caso, se va a suponer que se tiene un módem telefónico de mayor velocidad, el cual es capaz de obtener velocidades de 40 Kbps¹⁰. Inicialmente se selecciona del menú principal “Escenarios” la opción “Duplicate escenario”, llamando al nuevo escenario “40K_dialup_connection”. Se hace clic en el botón “OK”, con lo cual se ha creado una copia del escenario original.

El siguiente paso consiste en la configuración del enlace con una velocidad de 40 Kbps, para lo cual se hace clic con el botón derecho del ratón en el enlace WAN y se cambia la propiedad “data rate” a 40000. Los pasos a desarrollar a continuación son similares a los ejecutados en el primer escenario: primero, se inicia el simulador con el botón mostrado en la figura 4, haciendo clic en la opción “Run”. Seguidamente, al finalizar la simulación, se procede a obtener la utilización del enlace y el tiempo de respuesta en el nodo PC2 Researcher. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 3.8 y 3.9, respectivamente. De los resultados que se obtuvieron se puede observar que la utilización del enlace se ha reducido a la mitad, como era de esperar con la duplicación de la velocidad del enlace, y que el tiempo de respuesta de la aplicación Web se ha reducido de 3 segundos en el escenario anterior a unos 1.25 segundos en este, coherentemente con el aumento del ancho de banda.

¹⁰ Esta es una velocidad realista para un módem de alta velocidad (56 Kbps).

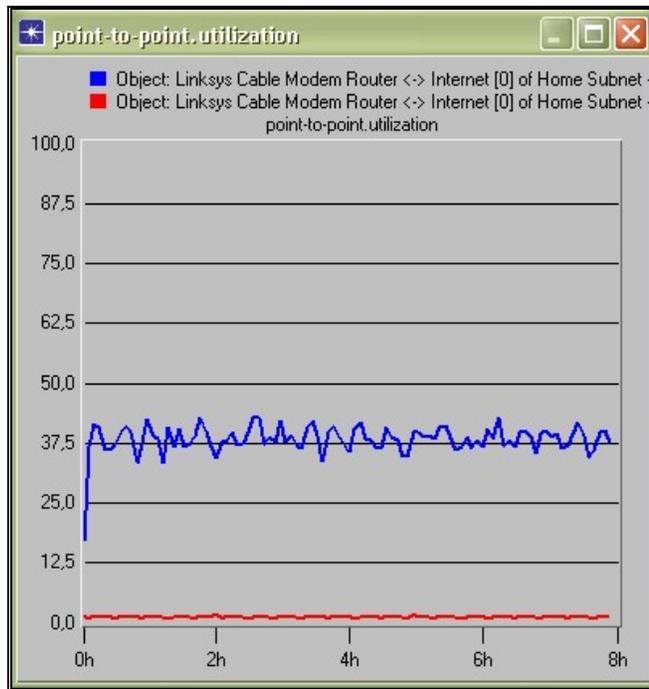


Figura 3. 8 Utilización del enlace – Escenario 40k

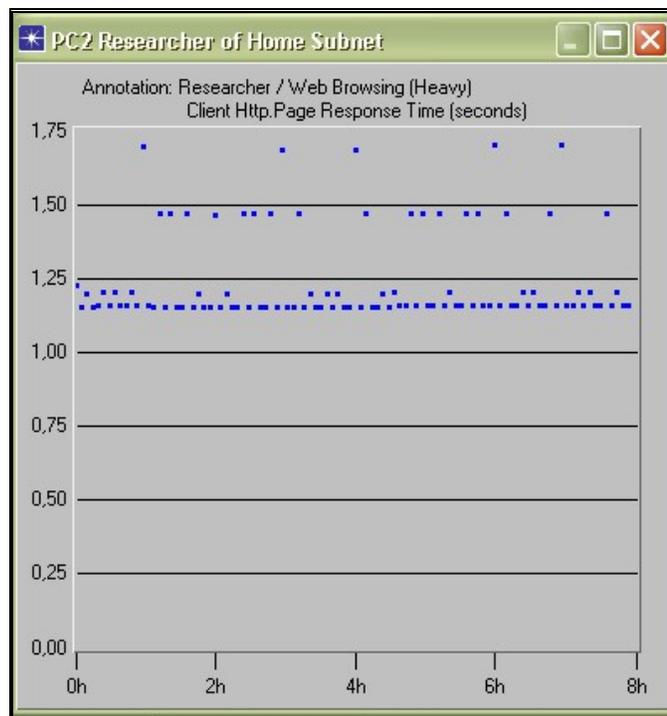


Figura 3. 9 Prestaciones del PC-2 – Escenario 40k.

3.2.6 Visualización de resultados, tercer escenario

Para el tercer escenario se trabaja con una velocidad del enlace de 512 Kbps, el cual representa una conexión de cable módem o DSL. En forma similar al caso anterior, se duplica el escenario actual, y se nombra al nuevo "512K_Cable_Modem_Connection". Se establece la velocidad del enlace a 512 Kbps, y se inicia la simulación. Finalmente, se extraen los datos correspondientes a la utilización del enlace y el tiempo de respuesta en el PC2 Researcher. Los resultados se muestran en la figura 3.10 y 3.11 respectivamente.

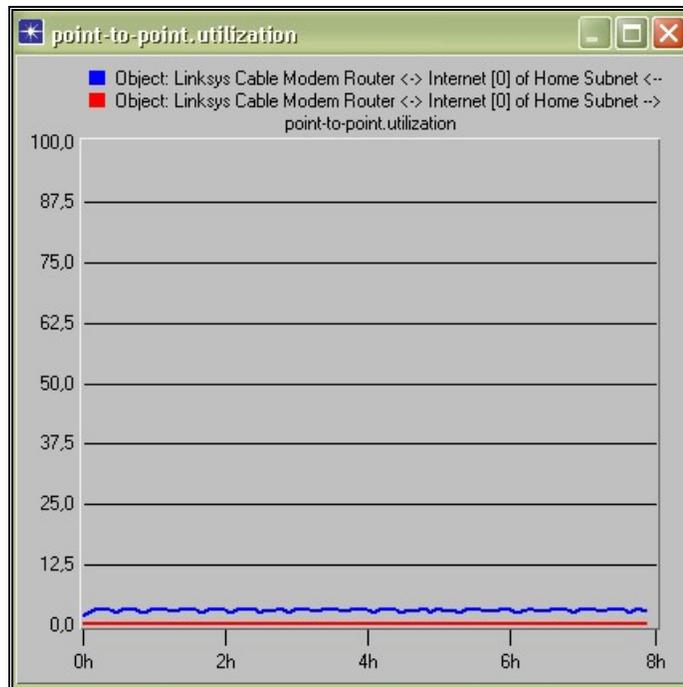


Figura 3. 10 Utilización del enlace – Escenario 512k

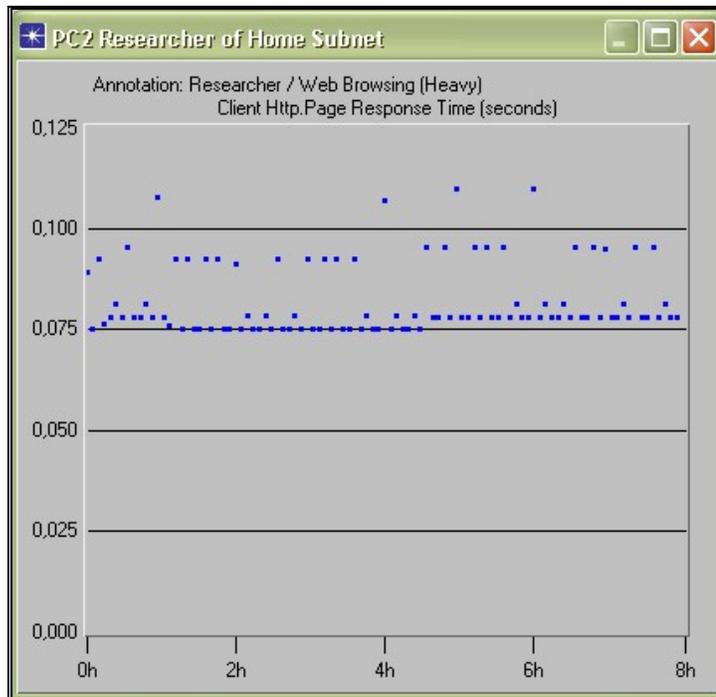


Figura 3. 11 Prestaciones del PC-2 – Escenario 512k.

De las gráficas anteriores se puede concluir que la utilización del enlace ha disminuido a casi un 4%, y el tiempo de respuesta de la Web ha bajado a 0.075 segundos. Como se puede apreciar, la conexión cable módem mejora significativamente, sobre todo en los tiempos de respuesta que son más que aceptables. A pesar de todo, la capacidad del enlace está siendo subutilizada ante las exigencias de esta red. Básicamente lo que refleja este resultado es la importancia de conocer cuales son las aplicaciones que se tendrán sobre determinada red para poder escoger en forma apropiada cual es el enlace mas competente para determinada aplicación y que justifique la inversión en dinero.

3.2.7 Visualización de resultados, cuarto escenario

Finalmente, el último escenario es el que corresponde al del enlace a velocidad T1, los cuales ofrecen un ancho de banda de 1.544 Mbps en ambas direcciones (enlace simétrico). El gran problema es el costo que mensualmente representa. De esta forma se considerarán los beneficios que aporta el usar un enlace WAN de tipo T1 con Internet.

De forma similar que los casos anteriores, se debe duplicar el escenario anterior y nombrar el nuevo escenario como "T1_connection". Se debe cambiar la velocidad del enlace WAN (data rate) al valor T1 del menú desplegable, y se procede a correr la simulación.

Ahora, en lugar de ver los resultados obtenidos sólo con el enlace T1, se van a comparar los resultados de utilización y tiempo de respuesta de todos y cada uno de los escenarios que se han evaluado. Esto permitirá observar el efecto de cambiar la velocidad del enlace. Para esto, se selecciona del menú principal "Results" la opción "Compare Results". Para comparar las estadísticas de utilización del enlace, se deben escoger las estadísticas que se muestran en la figura 3.12. Se debe asegurar que esta escogida la opción "All escenarios", que se encuentra en la parte inferior derecha de la ventana. Finalmente, se hace clic en el botón "Show" y luego en el botón "Close".

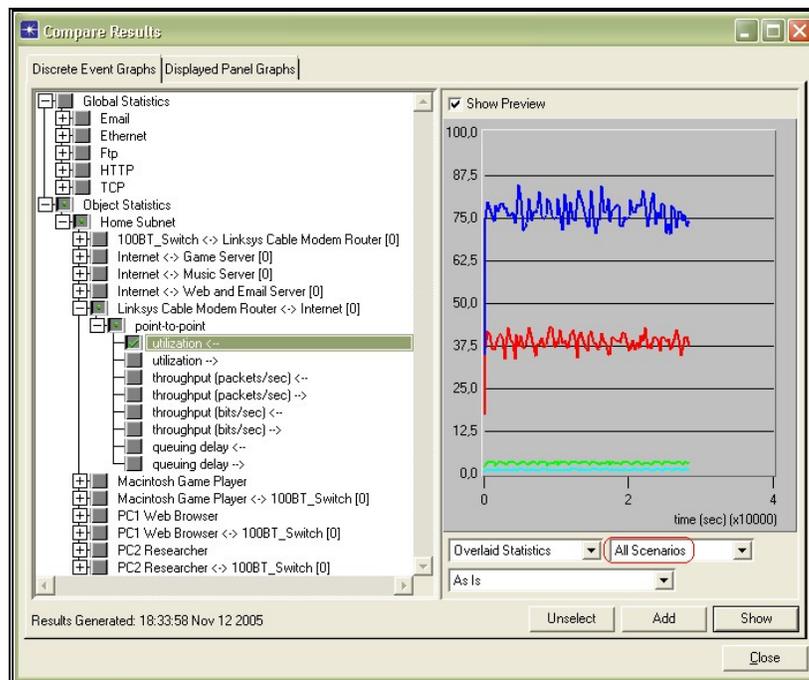


Figura 3. 12 Ventana de “Compare Results”

Para comparar el tiempo de respuesta, se ha de deshabilitar las estadísticas previamente seleccionadas, y las nuevas a seleccionar se muestran en la figura 3.13. Finalmente, se hace clic en el botón “Show” y a continuación se cierra la ventana de resultados con el botón “Close”.

Las figuras 3.14 y 3.15 muestran los resultados finales. De la figura 3.14, que muestra la comparación entre la utilización del enlace WAN para Internet entre los cuatro escenarios, se permite llegar a la conclusión de que según se incrementa el ancho de banda de dicho enlace, el porcentaje de uso de la capacidad se va haciendo cada vez menor. Además, en forma paralela, la figura 3.15 muestra

como el tiempo de respuesta mejora sensiblemente al aumentar la velocidad del enlace en los escenarios planteados.

Sin embargo, el tiempo de respuesta y la utilización apenas varían entre los enlaces de 512 Kbps y T1. Teniendo en cuenta el número actual de usuarios y las demandas de tráfico que requieren sus aplicaciones, el enlace T1 no ofrece ningún beneficio en comparación con el enlace de 512 Kbps. Esto demuestra que actualizando el enlace de 512 Kbps a un enlace T1 no será económicamente interesante por las imperceptibles mejoras que esto supone.

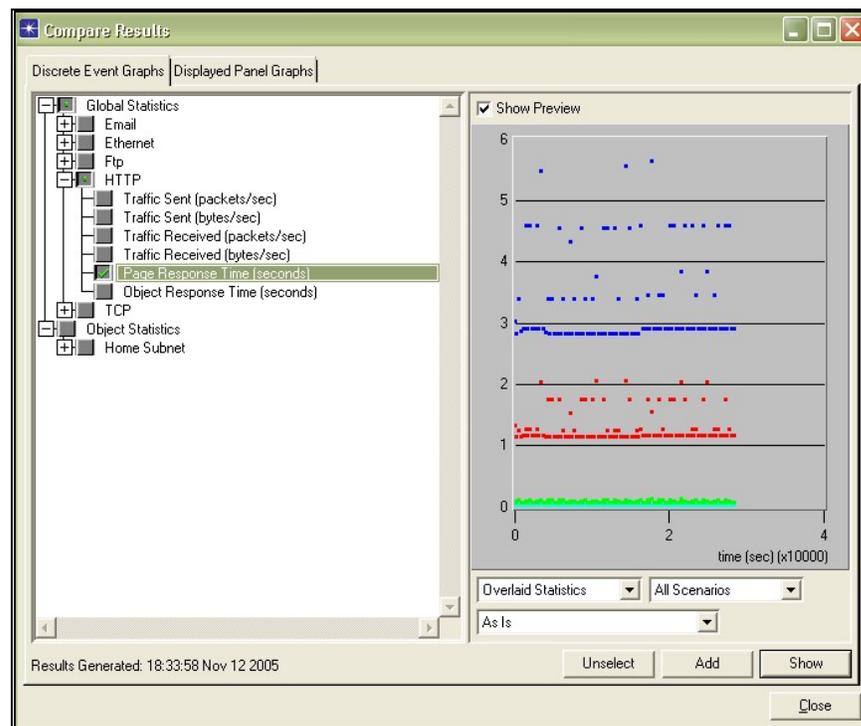


Figura 3. 13 Nuevas estadísticas.

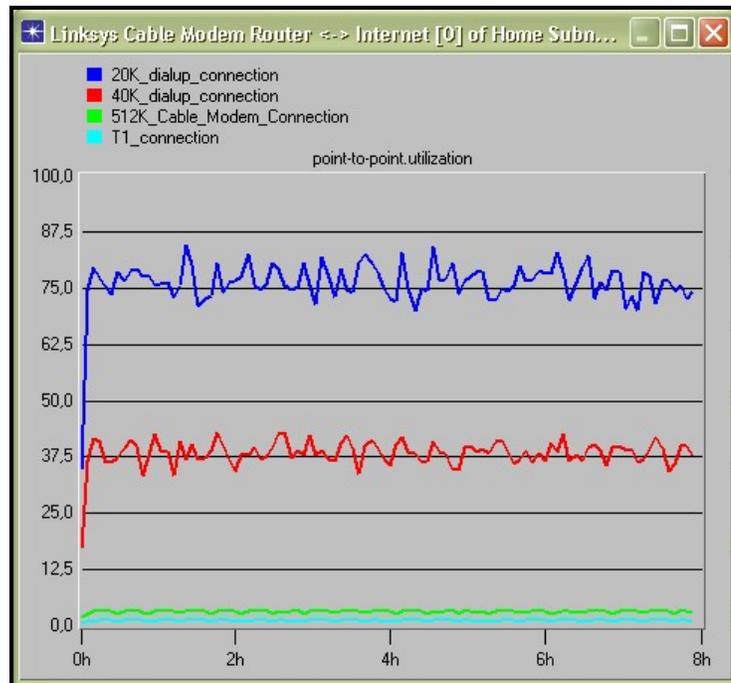


Figura 3. 14 Comparación de la utilización del enlace – Cuatro escenarios.

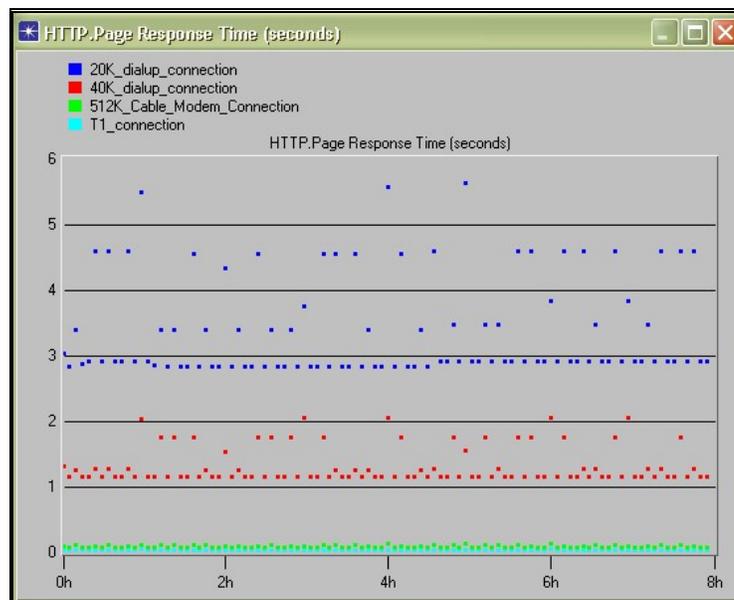


Figura 3. 15 Comparación de las prestaciones del PC-2 – Cuatro escenarios.

PRÁCTICA

REDES LOCALES CONMUTADAS



En esta práctica se realizan configuraciones de redes de área local basadas en el uso de dos dispositivos de interconexión: hubs y switches.

El objetivo de esta práctica es reconocer las principales diferencias de desempeño y funcionamiento de la red, para cada caso.

4. REDES LOCALES CONMUTADAS

4.1 Descripción

Existe una limitación al número de hosts que pueden ser conectados a una única red y al tamaño de la zona geográfica a la que una red puede dar servicio¹¹. Las redes de computadoras utilizan switches para llevar a cabo la comunicación entre dos hosts, incluso cuando no existe una conexión directa entre ellos. Un conmutador o switch es un dispositivo utilizado para interconectar varios hosts a través de sus puertos de entrada y de salida. La principal tarea del switch es la de encaminar por el puerto de salida correcto cada uno de los paquetes que llegan a cada uno de sus puertos de entrada. De esta manera, los paquetes podrán alcanzar su destino.

Uno de los principales problemas de los switches es el hecho de que el ancho de banda de los puertos de salida es limitado. Si un conjunto de paquetes que ha de ser encaminado por el mismo puerto de salida llega a un switch y la tasa de llega-

¹¹ Tomado del documento titulado “Redes de Computadores – Practica 4: Redes Locales Conmutadas”.
<http://www.redes.upv.es/redesfi/pract/SwitchedLANs.pdf>

da de dichos paquetes supera la capacidad del puerto de salida, entonces aparece un problema de contención. En este caso, el switch debe almacenar en una cola o un buffer algunos de los paquetes, hasta que la contención desaparezca. En caso de que la contención perdure durante demasiado tiempo, es posible que dichas colas desborden y el switch tenga que desechar algunos paquetes. En el caso en el que el switch descarta paquetes con demasiada frecuencia se dice que está congestionado.

En esta práctica se realizarán varias configuraciones de redes de área local basadas en el uso de dos dispositivos de interconexión: hubs y switches. La diferencia entre ellos es que un hub envía cada paquete que recibe por todos los puertos de salida sin tener en cuenta el destino de cada paquete. Por otro lado, el switch envía cada paquete sólo por el puerto o los puertos de salida que conducen al paquete con éxito hacia su destino (o destinos). En esta práctica se estudiará el efecto que produce la configuración de la red y el tipo de dispositivos de interconexión utilizados en la productividad y en las colisiones de paquetes, a partir de la medición del retardo en el envío de paquetes. La cantidad de paquetes recibidos y enviados, y la cantidad de colisiones que se presenten en la red.

4.2 Desarrollo de la práctica.

La presente práctica ha sido diseñada para aprender a desarrollar redes de área local conmutadas. Las simulaciones en esta práctica ayudarán a comprobar las prestaciones de distintas configuraciones de redes de área local interconectadas mediante hubs y switches.

4.2.1 Edición del proyecto.

La práctica inicia con la creación de un proyecto nuevo. Para esto se debe ejecutar *OPNET IT Guru*, y seleccionar “New” del menú “File”. A continuación se selecciona “Project”, y se hace clic “OK”. El nombre del proyecto será <Sus_iniciales>_LANsConmutadas, y el escenario SoloHub. Finalmente pulse “OK”.

En el cuadro de diálogo “*Startup Wizard: Inicial Topology*” se debe seleccionar la opción “Create Empty Scenario”. A continuación se hace clic en “Next”, seleccionando “Office” en la lista “*Network Scale*”, y se pulsa “Next” tres veces más, y por último “OK”. Finalmente, se cierra el cuadro de diálogo “*Object Palette*” pulsando “Close”.

4.2.2 Creación de la red

El siguiente paso en la práctica es la creación de la red. Para esto se selecciona del menú “Topology” la opción “Rapid Configuration”, y seguidamente la opción “Star” en la lista desplegable, y se pulsa “OK”. Ahora, se debe pulsar el botón “Select Models” del cuadro de diálogo, y seleccionar “ethernet” en la lista desplegable “*Model List*”. En el cuadro de diálogo “*Rapid Configuration: Star*” se colocan los parámetros que se listan a continuación. Estos se muestran además en la figura 4.1. Se finaliza dando clic en la opción “OK”.

- ❖ Center Node Model = ethernet16_hub -- Ethernet16_ indica que este dispositivo dispone de 16 puertos ethernet.
- ❖ Periphery Node Model = ethernet_station
- ❖ Link Model = 10BaseT --10BaseT representa una conexión de Ethernet de 10Mbps.
- ❖ Number = 16
- ❖ X=50, Y=50 y Radios=42

A continuación, se despliegan los ordenadores en una topología estrella. El siguiente paso es pulsar con el botón derecho del ratón sobre el hub (node_16). Se selecciona la opción “Edit Attributes” para cambiar el atributo “name” a Hub1, y se pulsa “OK”. De esta forma se ha creado la red, que debe ser similar a la mostrada en la figura 4.2. Paso seguido se debe guardar el proyecto.

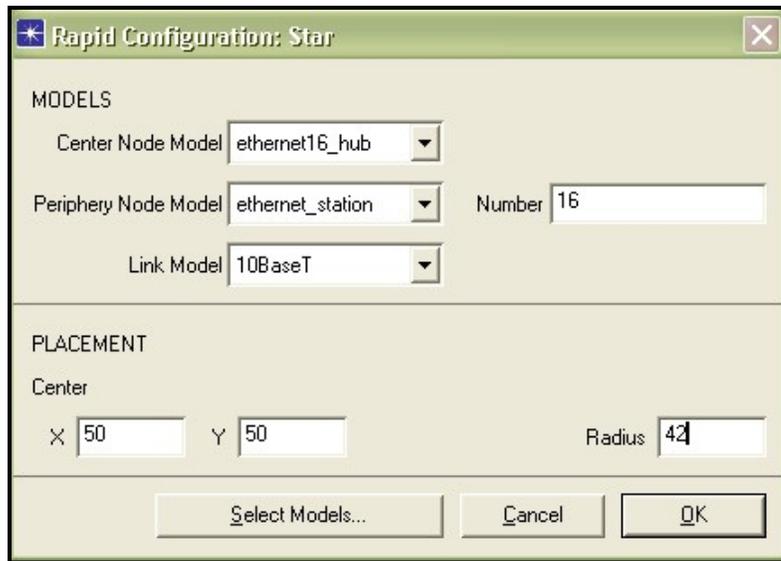


Figura 4. 1 Configuración de la red.

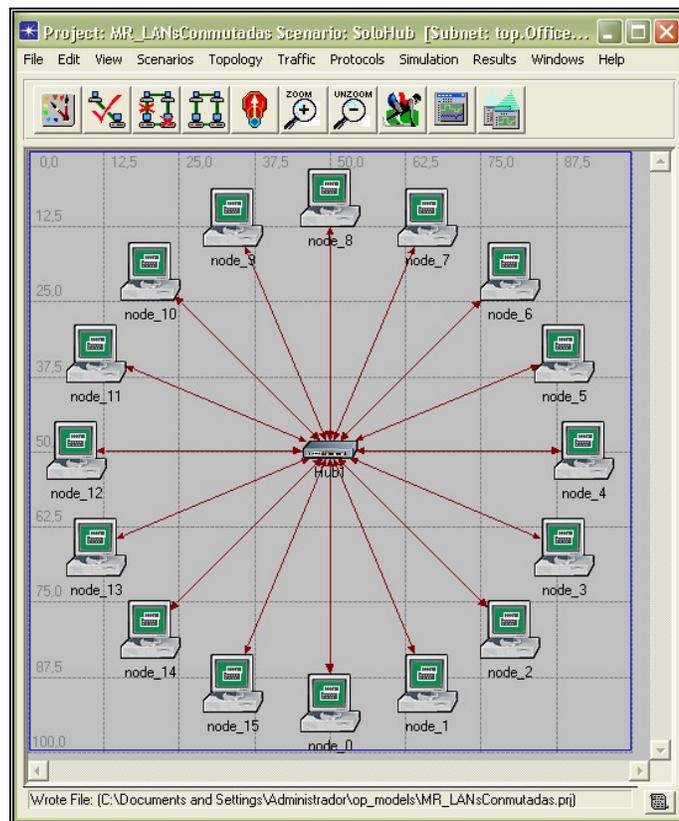


Figura 4. 2 Red creada.

Ahora se realiza la configuración de la red, es decir, se configurará el tráfico generado por las estaciones. Inicialmente se debe hacer clic con el botón derecho del ratón en cualquiera de las 16 estaciones, y seguidamente escoger la opción “Select Similar Nodes”, para así seleccionar todas las estaciones de la red. Nuevamente se hace clic con el botón derecho del ratón en cualquiera de las estaciones, y se escoge la opción “Edit Attributes”, y se activa la opción “Apply Changes to Selected Objects” para evitar tener que configurar las estaciones individualmente. Ahora se deben expandir los atributos “Traffic Generation Parameters” y “Packet Generation Arguments”, para colocar los siguientes cuatro valores, que se muestran en la figura 4.3. Después de hecho esto, se pulsa “OK” para cerrar la ventana de edición de atributos, y se guarda el proyecto.

- ◆ **ON State Time (seconds)** = exponential (100.0)
- ◆ **OFF State Time (seconds)** = exponential (00.0)
- ◆ **Interarrival Time (seconds)** = exponential (2E-2)
- ◆ **Packet Size (bytes)** = constant (1500)

Ahora se seleccionarán las estadísticas que serán calculadas durante la simulación. Para esto se debe inicialmente hacer clic con el botón derecho del ratón en cualquier sitio del espacio de trabajo que no sea un nodo o un enlace, y se selecciona la opción “Choose Individual Statistics”. Ahora se van a activar las siguientes estadísticas en el cuadro de diálogo “*Choose Results*”. Estas se muestran además en la figura 4.4. Finalmente debe pulsar “OK” para ejecutar los cambios.

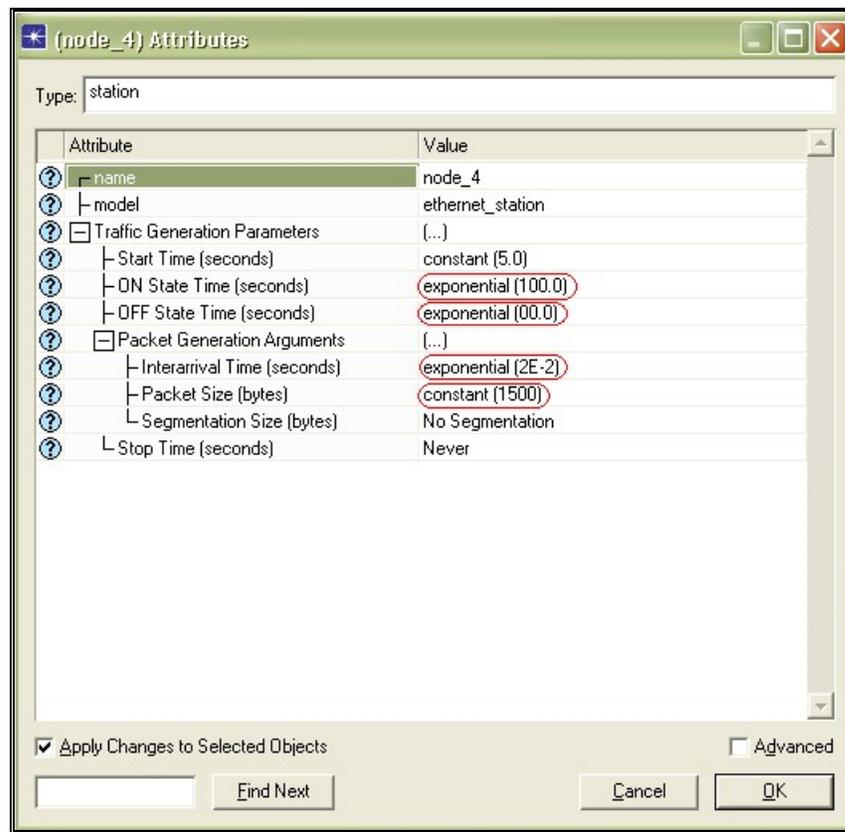


Figura 4. 3 Configuración de las estaciones.

- **Ethernet Delay**, es el retardo de origen a destino de todos los paquetes.
- **Traffic Received**, es el número de paquetes por segundo recibidos por todas las estaciones destino.
- **Traffic Sent**, es el número de paquetes por segundo enviados por todas las estaciones origen.
- **Collision Count**, es el número total de colisiones ocurridas en el hub durante la transmisión de los paquetes.

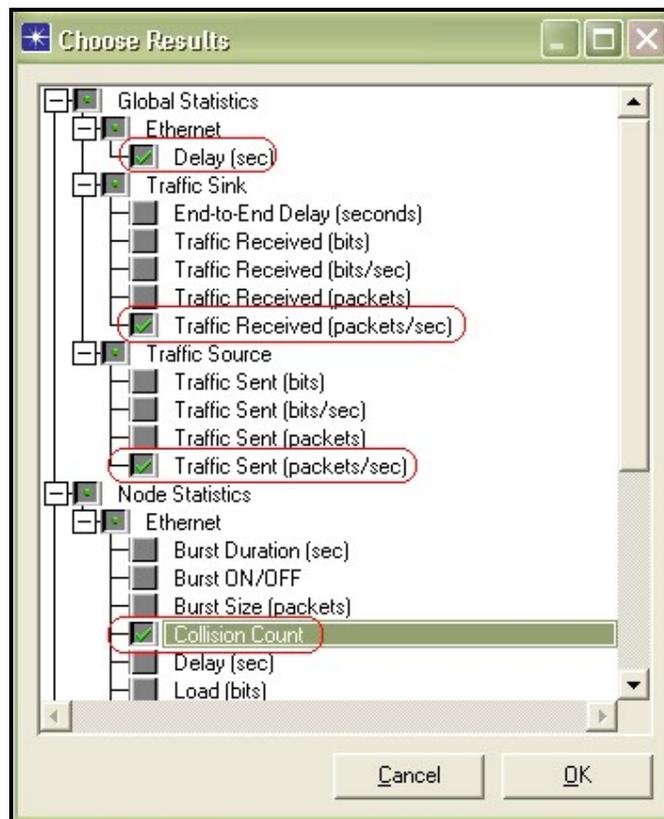


Figura 4. 4 Configuración de estadísticas.

Ahora para configurar la duración de la simulación, se debe hacer clic en el botón “Configure/ Run Simulation”, y se fija la duración a 2 minutos. Se hace clic en “OK”.

La red que se ha creado utiliza sólo un hub para conectar las 16 estaciones. Se necesita crear otra red que utilice un switch, para comprobar en qué manera afecta a las prestaciones de la red. Para ello se va a crear un duplicado de la red actual. Inicialmente se selecciona la opción “Duplicate Scenario” del menú “Scenarios”, y se nombra “HubYSwitch”, pulsando finalmente “OK”.

A continuación se debe abrir la paleta de objetos pulsando el icono que se muestra en la figura 4.5. Debe asegurarse de que está seleccionado “Ethernet” en la lista desplegable. El siguiente paso es colocar un nuevo hub y un switch en el escenario, tal como se muestra en la figura 4.6.



Figura 4. 5 Botón “Paleta de objetos”

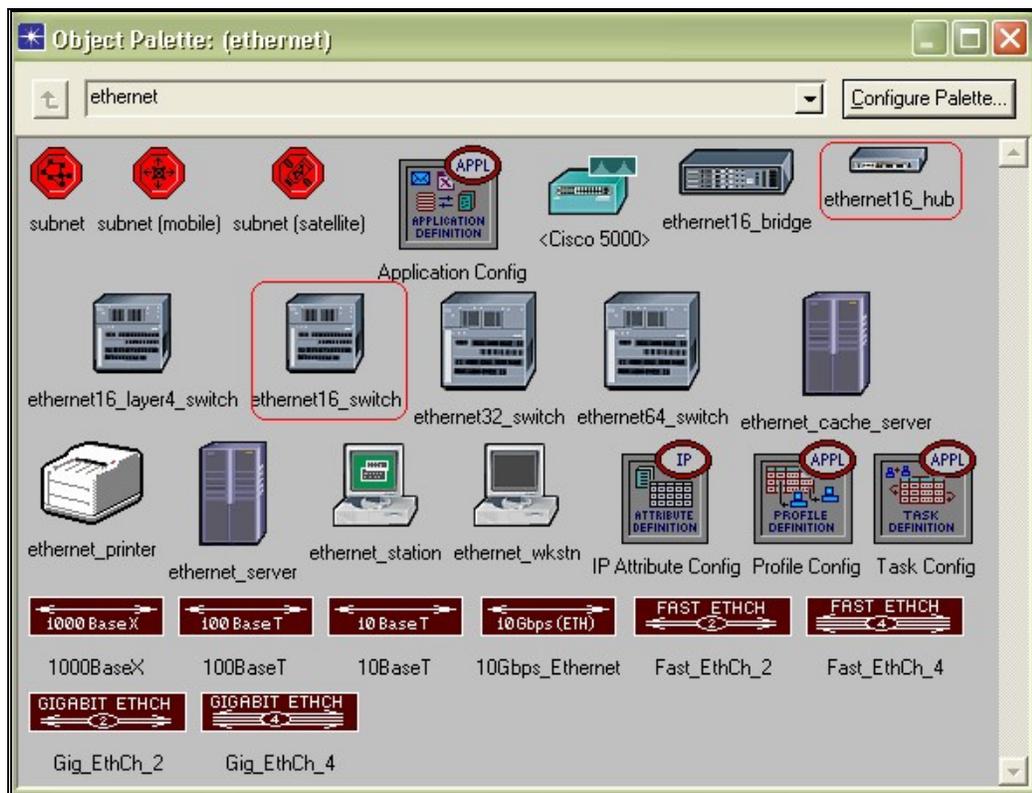


Figura 4. 6 Paleta de objetos.

Para añadir el hub, se hace clic sobre el icono en la paleta de objetos, y luego se mueve el cursor a la posición donde se quiere colocar dicho objeto. A continuación se hace de nuevo clic con el ratón para colocarlo, y se pulsa el botón derecho para indicar que ya no se van a poner más hubs. Para añadir un switch el proceso es el mismo. Finalmente, cierre la paleta de objetos y cambie el nombre del nuevo hub a Hub2 colocando el botón derecho del ratón sobre el hub, la opción “Edit Attributes” y “name”. El switch será nombrado como “switch”.

Ahora hay que cambiar las conexiones y la posición de los distintos componentes para que tenga un aspecto similar al mostrado en la figura 4.7. Para borrar un enlace, este debe ser seleccionado, y se pulsa la tecla suprimir o la opción “Cut” del menú “Edit”. Para añadir un nuevo enlace se utiliza el objeto “10BaseT” de la paleta de objetos. Finalmente se debe guardar el proyecto.

4.3.3 Ejecución de la simulación.

Para ejecutar las simulaciones de los dos escenarios creados se debe seleccionar la opción “Manage Scenarios” del menú “Scenario”. A continuación, se cambian los valores que hay en la columna “Results” a “<collect>” (o “<recollect>”) en los dos escenarios, tal como se muestra en la figura 4.8.

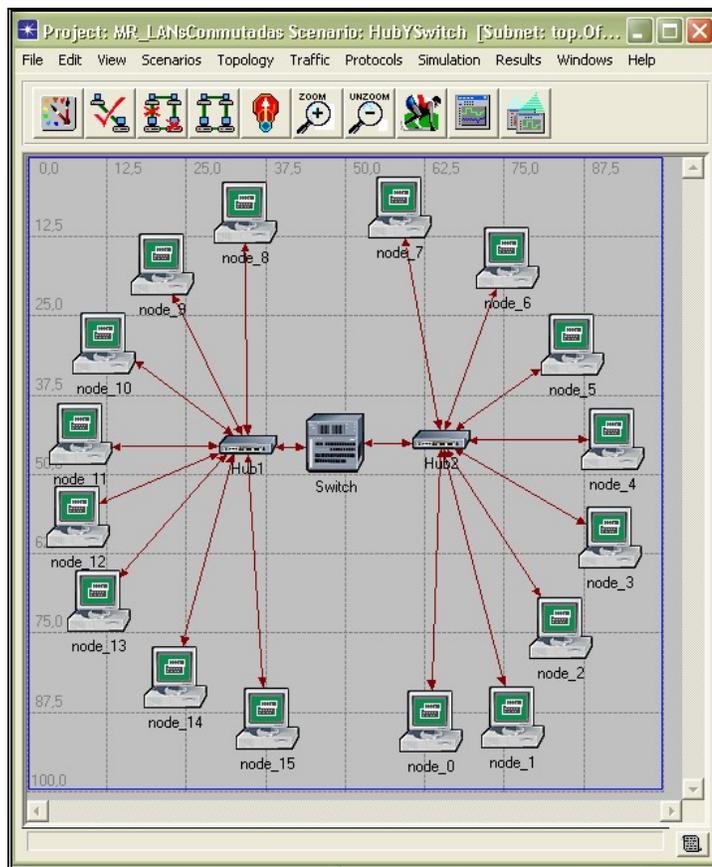


Figura 4. 7 Red creada con dos hubs y un switch.

The screenshot shows the "Manage Scenarios" dialog box. It has a title bar with a star icon and the text "Manage Scenarios". Below the title bar, there is a "Project Name:" label followed by a text box containing "MR_LANsConmutac". Below this is a table with the following data:

#	Scenario Name	Saved	Results	Sim Duration	Time Units
1	SoloHub	unsaved	<collect>	2,0	minute(s)
2	HubYSwitch	unsaved	<collect>	2,0	minute(s)

At the bottom of the dialog box, there are five buttons: "Delete", "Discard Results", "Collect Results", "Cancel", and "OK".

Figura 4. 8 Configuración de la opción "Manage Scenarios"

Finalmente se hace clic en “OK” para realizar las dos simulaciones. La duración del proceso dependerá del procesador y puede necesitar de varios minutos para terminar. La ventana luego de haber finalizado la simulación es la que se muestra en la figura 4.9. Después de que las dos simulaciones hayan terminado pulse “Close”, y se debe guardar el proyecto.

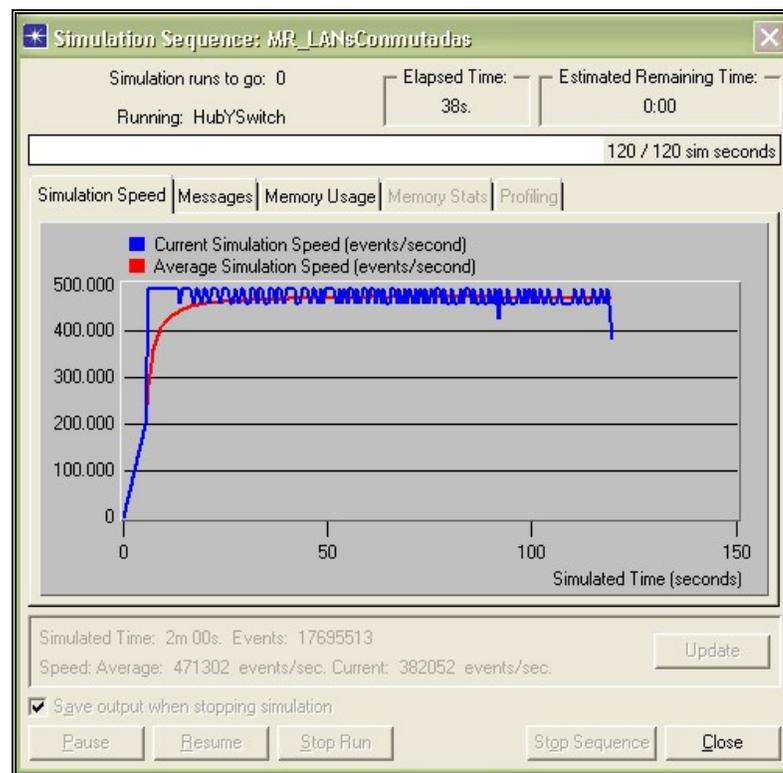


Figura 4. 9 Ventana de simulación.

4.3.4 Visualización de resultados.

A continuación se van a ver y analizar los resultados obtenidos. Para esto se selecciona la opción “Compare Results” del menú “Results. Primero, seleccione

“Traffic Sent (packets/sec)” y pulse “Show”. Como se puede observar, el tráfico inyectado en los dos escenarios es prácticamente idéntico. Esto se muestra en la figura 4.10.

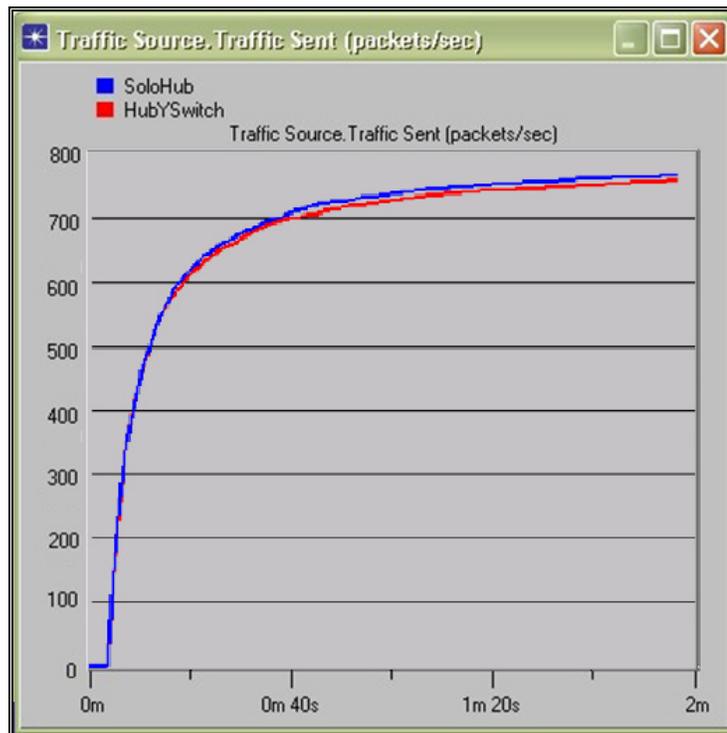


Figura 4. 10 Parámetro “Traffic Sent (packets/sec)”

A continuación, seleccione “Traffic Received (packets/sec)” y pulse “Show”. Como se puede observar en la figura 4.11, el tráfico recibido en el segundo escenario es mayor que en el primero. La existencia de un mayor número de elementos de red es causa de dicho aumento, así como también la presencia de dos hubs, que al no tener dominio de broadcast (transmiten los paquetes a todos los puertos conectados, no los direccionan) hacen el tráfico mas pesado.

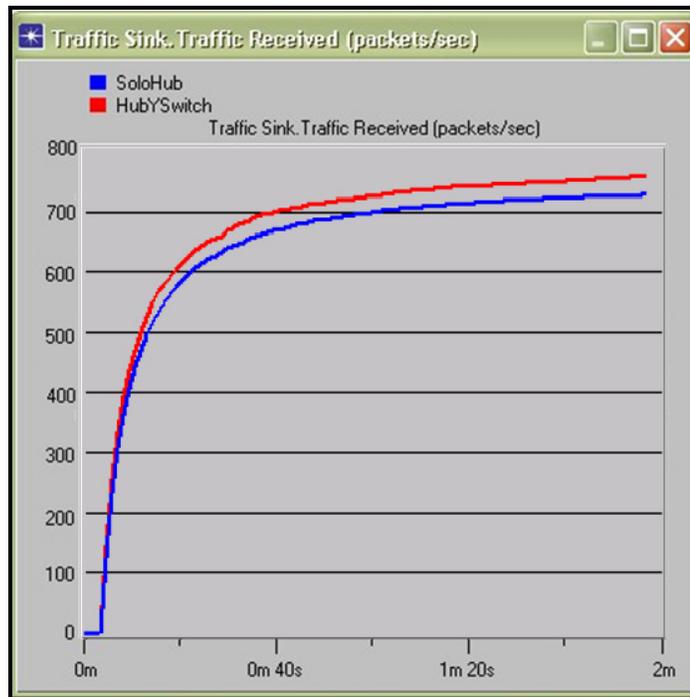


Figura 4. 11 Parámetro “Traffic Received (packets/sec)”

Ahora, seleccione “Delay (sec)” y pulse “Show”. El resultado obtenido se muestra en la figura 4.12. Se observa que para el primer escenario los paquetes enviados sufren un mayor retardo para llegar a su destino, como consecuencia de que el concentrador (hub) no es capaz de direccionar a un puerto en específico, sino que al enviar todos los paquetes a todos los puertos aumenta el tráfico y el número de colisiones, factores que pueden generar mayores delays. El segundo escenario, al contar con un switch, tiene la capacidad de manipular con mayor rapidez los paquetes hacia su destino, razón por la cual el tiempo de retardo es significativamente menor. Cabe aclarar que los resultados obtenidos pueden variar ligeramente debido a las distancias entre los distintos nodos.



Figura 4. 12 Parámetro “Delay (seconds)”

Finalmente, seleccione “Collision Count” del Hub1 y pulse “Show”. En esta gráfica, correspondiente a la figura 4.13, lo que se observa es el número de colisiones del hub1 en ambos escenarios.

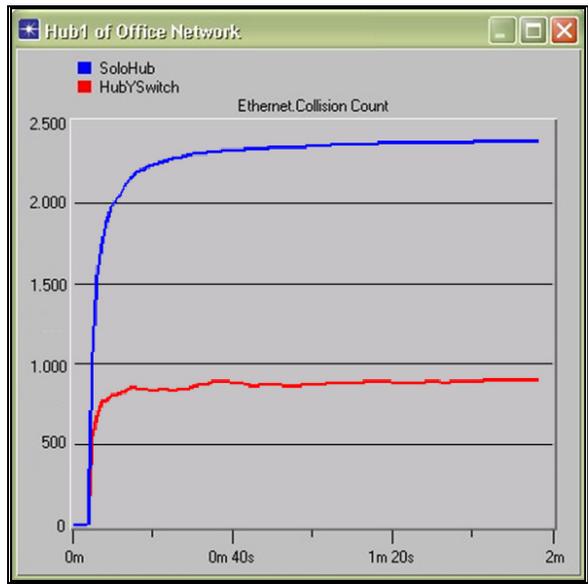


Figura 4. 13 Colisiones para el Hub1.

Para añadir las colisiones del Hub2 del escenario “HubYSwitch”, pulse con el botón derecho del ratón sobre el área del gráfico anterior y seleccione la opción “Add Statistic” del menú emergente. A continuación expanda las opciones, según se muestra en la figura 4.14, hasta seleccionar la opción “Collision Hub” del Hub2. Finalmente, pulse “Add”, y “Close”.

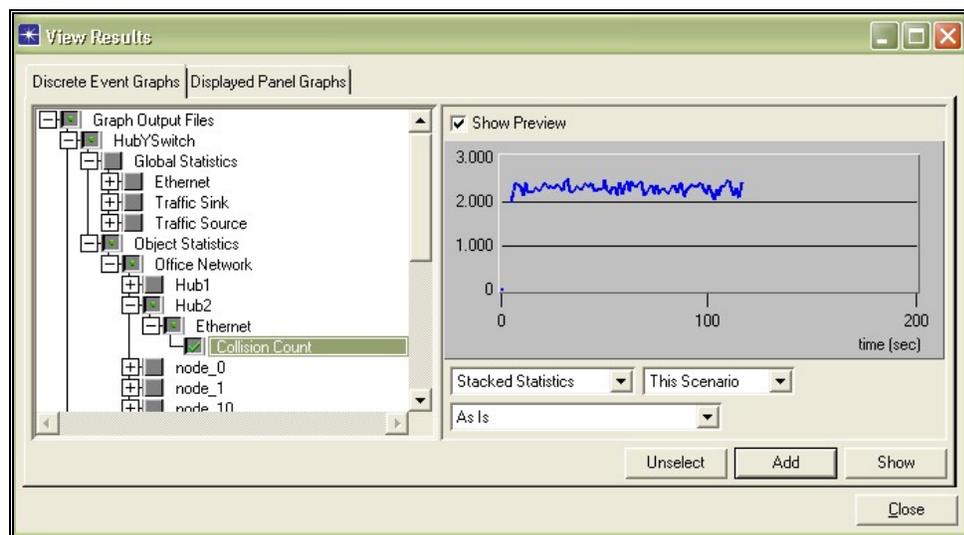


Figura 4. 14 Añadir colisiones del Hub2.

A continuación debe guardar el proyecto. La figura 4.15 muestra entonces los valores de las colisiones para el hub1 en ambos escenarios, y para el hub2. Se puede observar que para el primer escenario, el hub tiene conectados todos los ordenadores, y por lo tanto manipula todo el tráfico de la red. Esto hace que el número de colisiones sea alto, en comparación de la situación planteada en el escenario 2, donde se reparten las cargas de ordenadores entre dos hubs que además se conectan entre si a través del switch.

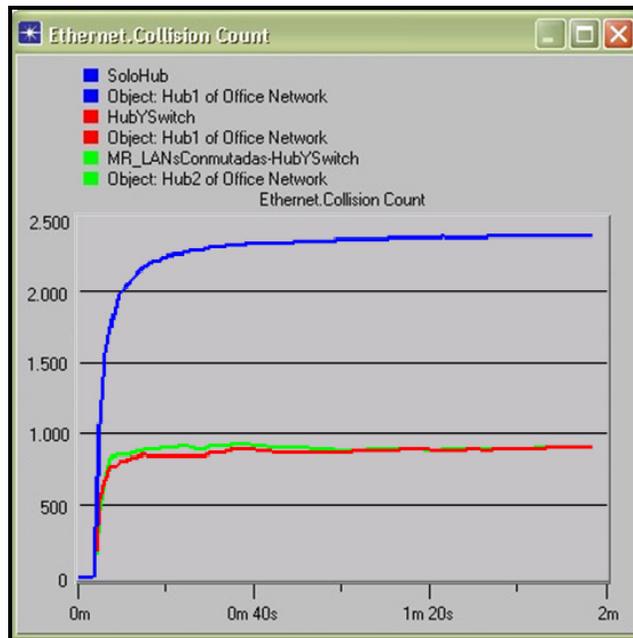


Figura 4. 15 Colisiones de los Hubs 1 y 2.

De esta forma, cada hub, con un número igual de ordenadores conectados, va a presentar un número similar de colisiones, que además disminuyen enormemente porque el tráfico manipulado es menor, y en ultimas es el switch el que realiza todo el proceso de direccionamiento de paquetes, agilizando la comunicación entre los ordenadores de una forma mas eficaz.

PRÁCTICA

TCP: Control de Congestión.



El objetivo de esta práctica es mostrar los algoritmos de control de congestión implementados en TCP, a partir de distintos escenarios utilizados para simular dichos algoritmos, y comparando sus prestaciones del análisis de los resultados obtenidos.

5. TCP: Control de Congestión.

5.1. Descripción

Esta práctica¹² se ha diseñado para mostrar los algoritmos de control de congestión implementados en TCP. En la práctica se elaboran distintos escenarios para simular estos algoritmos. Se pueden comparar las prestaciones de los algoritmos a través del análisis de los resultados de las simulaciones.

El protocolo TCP para Internet garantiza la entrega fiable y en orden de un flujo de bytes (*byte stream*). Incorpora un mecanismo de control de flujo del *stream* de bytes que permite al receptor limitar la cantidad de datos que el emisor puede transmitir en un instante determinado. Además, TCP implementa un mecanismo de control de la congestión altamente sintonizable¹³.

¹²Tomado del documento titulado “Redes de Computadores – Practica 9. TCP: Control de Congestion”. <http://www.redes.upv.es/redesfi/pract/TCP.pdf>

¹³ La idea de este segundo mecanismo es regular la velocidad de envío de datos por parte de TCP, con el fin de evitar que el emisor sobrecargue la red.

En el control de la congestión realizado por TCP, cada fuente determina cual es la capacidad disponible en la red, con el fin de conocer cuantos paquetes puede tener en tránsito de una manera segura. Para esto, TCP mantiene una variable de estado distinta por cada conexión, que se denomina *ventana de congestión*. El host fuente utilizará esta variable para limitar la cantidad de datos que puede tener en tránsito en un instante determinado. TCP utiliza un mecanismo, llamado “incremento aditivo / decremento multiplicativo” (*additive increase / multiplicative decrease*), que reduce la ventana de congestión cuando el nivel de congestión aumenta, y que incrementa la ventana de congestión cuando el nivel de congestión disminuye. TCP interpreta los *timeouts* como signo de congestión. Cada vez que ocurre un *timeout*, el host origen pone su ventana de congestión a la mitad del valor que tenía previamente. Esta división se corresponde con la parte de “decremento multiplicativo” de este mecanismo. La ventana de congestión no puede caer debajo del tamaño de un único segmento TCP, dado por el parámetro de TCP “tamaño máximo de segmento”¹⁴. Cada vez que un host origen envía con éxito todos los paquetes que caben en la ventana de congestión, se incrementa la ventana de congestión en el tamaño equivalente a un paquete. Esta sería la parte de “incremento aditivo” del mecanismo (también llamado algoritmo de Van Jacobson).

TCP usa un mecanismo llamado “arranque lento” (*slow start*) para incrementar la ventana de congestión con mayor rapidez cuando se efectúa un arranque frío en

¹⁴ Más conocido por su nombre en inglés *Maximum Segment Size* o *MSS*

las conexiones TCP. De esta forma, la ventana de congestión se incrementa exponencialmente en lugar de linealmente. Por último, TCP usa un mecanismo denominado “retransmisión rápida” (*fast retransmit*) y “recuperación rápida” (*fast recovery*). La reconstrucción rápida es un método heurístico que en ocasiones dispara la retransmisión de un paquete antes de que lo haga el mecanismo típico de *timeout* (es decir, antes de que venza el *timeout*).

5.1.1. Parámetros TCP de OPNET

Para la configuración de los parámetros TCP en OPNET, a continuación se muestran las funciones de los parámetros típicos configurables en los elementos de la red¹⁵.

- **Maximum Segment Size (bytes):** Tamaño máximo de segmento TCP que la red puede manejar sin ningún tipo de fragmentación. Se utiliza para determinar el tamaño de los segmentos enviados por TCP: Si se configura como “Auto-Assigned”, TCP calculara este parámetro basado en el tamaño MTU de la primera interfaz IP circundante del nodo.

¹⁵ Tomado del documento titulado “Modulo 2. Protocolos de capa de transporte con OPNET” del curso a distancia organizado por la UIT denominado “Optimización de redes de telecomunicaciones a través de ejercicios de simulación”. Universidad Blas Pascal. 6 de junio al 1 de julio de 2005. Ing. Gonzalo López. En los anexos también se brinda amplia información sobre los parámetros TCP para OPNET.

- Receive Buffer (bytes): Tamaño del buffer de contención de los datos recibidos antes de que sean enviados a capas superiores¹⁶.

- Receive Buffer Adjustment: Este parámetro especifica como será ajustado el buffer de recepción dependiendo del MSS negociado. Si se establece como “None”, la conexión utilizara el valor especificado en el atributo “Receive Buffer” sin realizarle ningún tipo de ajuste. Si se lo configura como “Windows Based”, la ventana de recepción será recalculada para hacerla un múltiplo par del MSS. Si se configura como “Solares Based”, la ventana de recepción será recalculada para múltiplo del MSS negociado.

- Receive Buffer Usage Threshold: Umbral utilizado para determinar el límite de utilización del buffer de recepción antes de que los segmentos sean transmitidos fuera del buffer del socket. Asignarle el valor de 0.0 es equivalente a modelar una implementación de TCP en la cual el receptor siempre publica un tamaño constante de buffer de recepción.

- Delay ACK Mechanism: Especifica el esquema utilizado para generar los ACK dataless. Este se puede configurar como: “Clock Based”, donde TCP envía ACK dataless si no hubo datos enviados para el intervalo de tiempo especificado en “Maximum ACK Delay”. O se puede configurar como

¹⁶ Es importante destacar que el tamaño de ventana publicada es el porcentaje de espacio disponible en el buffer de recepción.

“Segment/Clock Based”, donde TCP genera un ACK dataless en el receptor de cada uno de los segmentos TCP o si expira el timer del maximum delay, lo que suceda primero.

- Maximum ACK Delay: Especifica el tiempo máximo que TCP espera luego de recibir un segmento, para enviar el ACK.

- Show-Start Initial Count: Especifica el número de segmentos TCP del tamaño especificado en MSS que serán enviados en show-start. Esto representa el valor inicial de la ventana de congestión (cwnd)

- Fast Retransmit: Indica si el host utiliza el algoritmo “Fast Retransmit” (RFC 2001).

- Duplicate ACK Threshold: Especifica el número de ACK consecutivos duplicados luego de los que Fast Retransmit disparara una retransmisión, si Fast Retransmit esta habilitado.

- Fast Recovery: Indica si el host utiliza el algoritmo “Fast Recovery” (RFC 2001). Si se deshabilita, entonces se ejecutarán los algoritmos de “Slow Start”, “Congestion Control” y “Fast Retransmit”.

- Windows Scaling: Indica si el host envía la opción de “Windows Scaling” habilitada en el mensaje SYN.

- Selective ACK (SACK): Indica si el host envía la opción “Selective Acknowledgement Permitted” en el mensaje SYN.

- ECN Capability: Especifica si la implementación TCP soporta la notificación explícita de congestión (ECN) descrita en la RFC 3168. Ambos lados (cliente y servidor) deben intercambiar si soportan esta capacidad antes de comenzar a hacer uso de sus características.

- Segment Send Threshold: Determina el tamaño del segmento y la granularidad para el cálculo de la variable del “Slow-start threshold”. Si se especifica como “Byte Boundary”, durante la retransmisión rápida (Fast Retransmission), el umbral de slow start será cambiado a la mitad de la actual ventana de congestión. Si se especifica como “MSS Boundary” la granularidad del umbral del slow start es igual a un MSS.

- Active Connection Threshold: Número máximo de conexiones simultáneas TCP que soportará el servidor.

- Nagle Algorithm: Habilita o deshabilita el Algoritmo de Nagle (RFC 1122).

- Karn's Algorithm: Habilita o deshabilita el Algoritmo de Karn's.

- TimeStamp: Especifica si la opción TCP TimeStamp es soportada. Esta opción provee una mejor estimación del calculo del TCP round-trip time.

- Inicial Sequence Number: Especifica el número inicial de secuencia del segmento utilizado para todas las conexiones de este nodo. Si se especifica como "Auto Compute", este número será calculado como un número aleatorio.

- Retransmisión Thresholds: Especifica el criterio utilizado para limitar el tiempo para el cual la retransmisión de un segmento está lista. Tanto el número máximo de intentos como el intervalo de tiempo luego del cual será abortado puede ser especificado.

- Inicial RTO: Especifica el valor de "Initial Retransmisión timeout (RTO)" utilizado antes de que el algoritmo de RTO entre en efecto.

- Minimum RTO: Especifica el limite inferior para el RTO.

- Maximum RTO: Especifica el limite superior para el RTO.

- Connection Information: Habilita o deshabilita la visualización de información de diagnóstico sobre las conexiones TCP del nodo.

5.2. Desarrollo de la práctica

En esta práctica, se plantea una red que utiliza TCP como protocolo de transmisión punto a punto, y se analiza el tamaño de la ventana de congestión con diferentes mecanismos.

5.2.1. Edición del proyecto

Para iniciar, se define un proyecto nuevo, denominado “Iniciales_TCP” y al escenario “No_Drop”. Con el “Startup Wizard”, para la definición de la topología inicial se define un escenario vacío con “Create Empty Scenario”, a continuación se selecciona un mapa de la lista, en este caso se escoge USA, se hace clic en OK dos veces.

A continuación se definen los objetos a utilizar en la práctica. Estos se seleccionan de la herramienta “Paleta de Objetos”. Hay que asegurarse de seleccionar “internet_toolbox” en el menú desplegable de la paleta de objetos. Los objetos a utilizar son:

- ☀ Application Config.
- ☀ Profile Config.
- ☀ ip32_Cloud
- ☀ Dos subredes (Subnet).

El objeto ip32_cloud representa una nube IP que soporta hasta 32 interfaces seriales a tasas de transmisión seleccionables. Los paquetes IP que arriban a la nube por cualquier interfaz son ruteados a la interfaz correcta de salida en función de su dirección IP de destino. Para esto, la nube utiliza protocolos de ruteo como RIP u OSPF para crear automática y dinámicamente las tablas de ruteo y seleccionar la ruta correcta. Esta nube tiene dos parámetros que interesan en esta práctica:

- 🌐 Packet Discard Ratio: Este parámetro especifica cuántos paquetes van a ser descartados cuando pasan a través de la WAN y necesitaran retransmisión.

- 🌐 Packet Latency: Este parámetro especifica el tiempo que necesitara la nube IP para rutear el paquete.

Luego procedemos a renombrar los objetos en el Editor de Proyectos para obtener un escenario similar al mostrado en la figura 5.1. Se procede finalmente a guardar los cambios.

5.2.2. Configuración de aplicaciones

Ahora se debe configurar el nodo “Applications”. En la ventana de parámetros (“Edit Attributes”) de este objeto se expande el atributo “Application Definitions” y se pone “rows” a 1. Esta fila se nombra como “FTP_Application”. A continuación se expande el árbol de “Description”, y se edita la fila FTP como se muestra en la figura 5.3. Se debe seleccionar “Not Used” en “Spacial Value”. En las figuras 5.2 y 5.3 se detallan los valores a configurar.

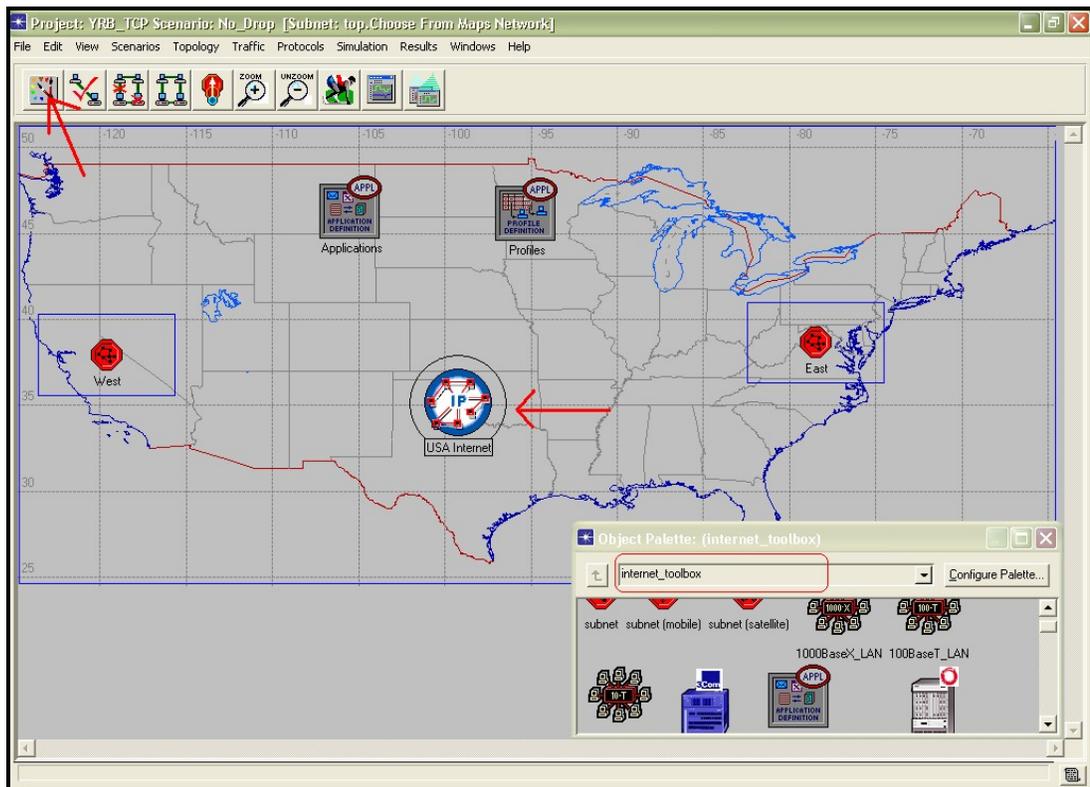


Figura 5. 1 Escenario creado para simular la practica. Aquí se observa la “paleta de objetos” con los elementos de internet para ubicarlos en el Editor de Proyectos.

5.2.3. Configuración de Perfiles

Para la configuración de los atributos del nodo “Perfiles”, en la ventana correspondiente se expande el atributo llamado “Profile Configuration” y se pone “rows” a 1. En la figura 5.4 se muestran los diferentes valores que toman los parámetros para la simulación de la práctica.

La intención es configurar perfiles en los que se utiliza la aplicación FTP para realizar una única descarga de un fichero de tamaño constante.

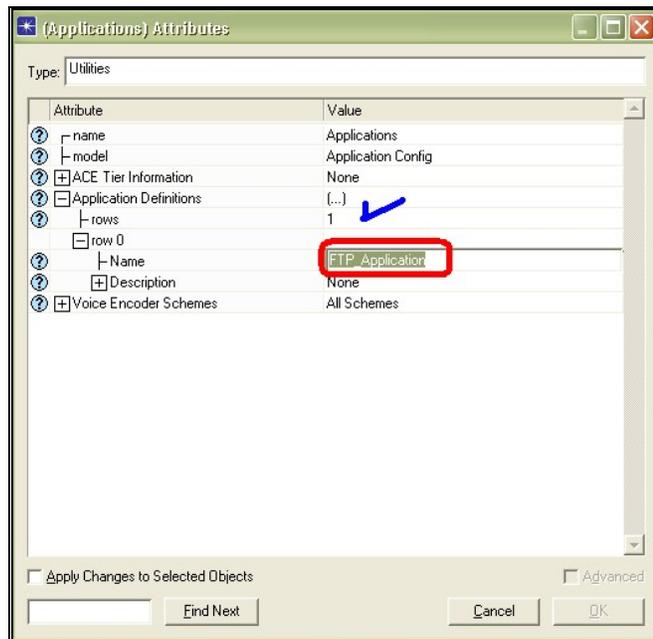


Figura 5. 2 Atributos de aplicación del escenario.

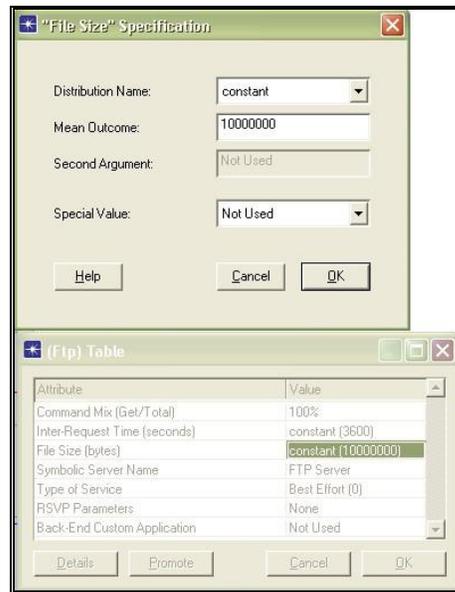


Figura 5. 3 Asignación de valores y atributos para FTP. Obsérvese los valores para “InterRequest Time (seconds)” y “File Size (bytes)”

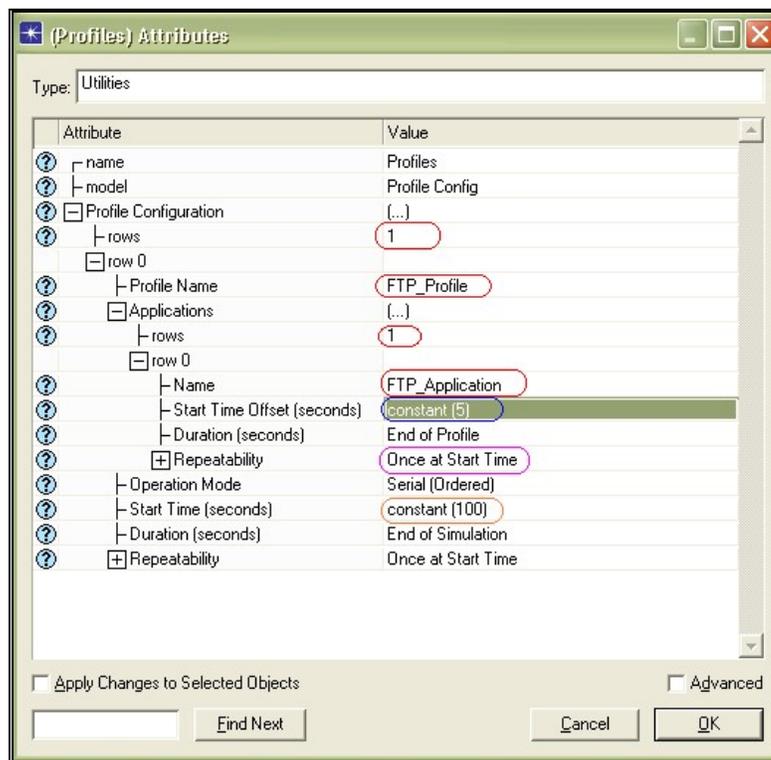


Figura 5. 4 Parámetros a configurar para los perfiles del escenario

5.2.4. Configuración de la subred oeste (West Subnet)

En esta red se configura un servidor FTP para la gestión de archivos. Inicialmente se hace doble clic en el nodo de subred oeste. En este momento no existen objetos en esta subred. Con la paleta de objetos se añade un servidor denominado ethernet_server y un router llamado ethernet4_slip8_gtwy¹⁷. Estos objetos se comunican con un enlace bidireccional 100_baseT. En la figura 5.5 se muestra la conexión realizada con los nodos y sus nombres.

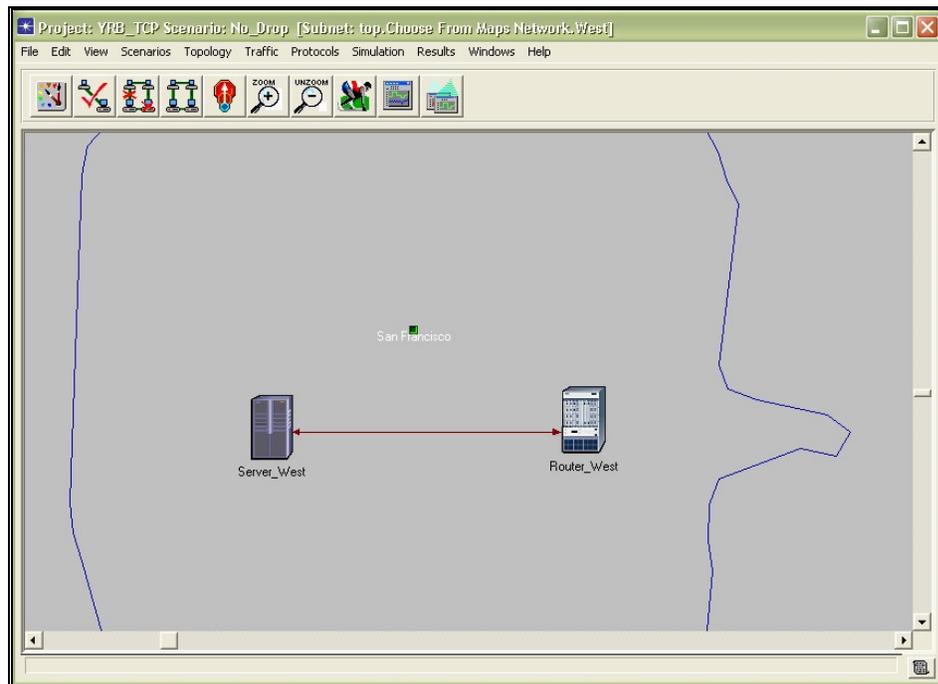


Figura 5. 5 Elementos de la subred oeste. Se observa un servidor conectado a un router con enlace de 100 Mbps.

¹⁷ Este nodo modela una pasarela basada en IP que soporta cuatro hubs Ethernet y ocho líneas serie

Luego, se editan los atributos de Server_West. Se edita “Application: Supported Services”, y se pone “rows” a 1. En la columna Name se selecciona la opción “FTP_Application”. Para cerrar, pulsar en OK. Se debe editar el atributo “Server Address” y escribir “Server_West”. Después se expande el árbol “TCP Parameters” para deshabilitar tanto “Fast Retransmit” como “Fast Recovery”. Para cerrar, pulsar en OK y guardar los cambios. En las siguientes figuras se detallan los parámetros a configurar. Para regresar al proyecto anterior se hace clic en el botón “Go to next Higher Level” de la barra de botones.

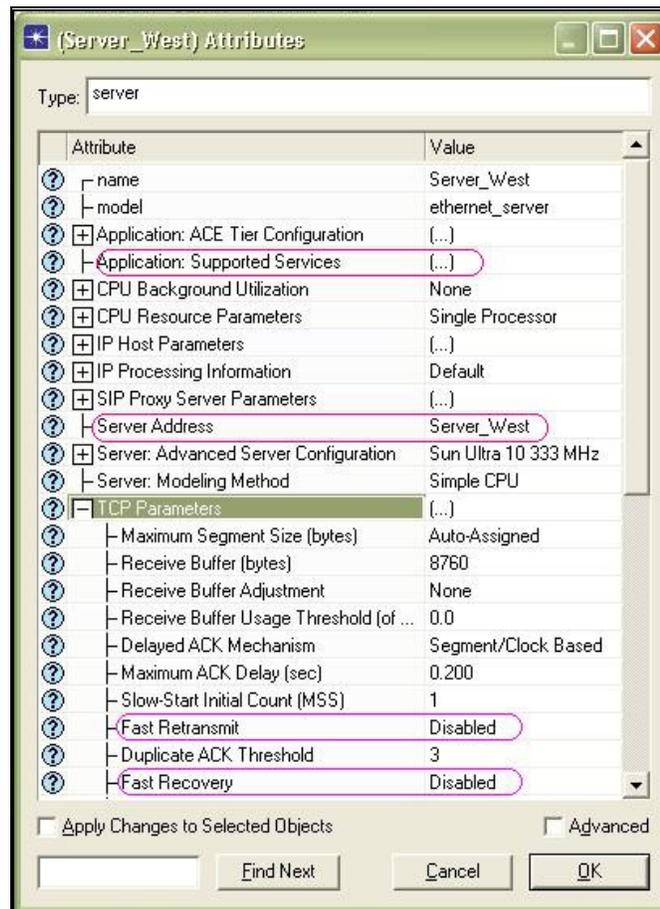


Figura 5. 6 Atributos a configurar en el servidor de la subred oeste.



Figura 5. 7 Atributos configurables en el parámetro de servicios soportados para el servidor. Para poder configurar este parámetro hay que asignarle el valor de 1 a la casilla “Rows”.

5.2.5. Configuración de la subred este (East Subnet)

El objetivo de esta red es simular un cliente FTP desde una estación de trabajo ethernet. De igual forma que sucede con la subred oeste, hay que editar los objetos de esta red. De la paleta de objetos se añade una estación de trabajo Ethernet (ethernet_wkstn) y un router de las mismas características que el utilizado en la red del oeste. Los dos objetos se conecta con un enlace bidireccional 100_baseT. Se cierra la paleta y se renombran los objetos como se muestra en la figura 5.8.

El objeto a editar es la estación de trabajo. En la edición de atributos se expande el árbol “Application: Supported Profiles”, y se pone “rows” a 1. También se expande el árbol “rows 0” y se coloca “Profile Name” a “FTP_ Profile”.

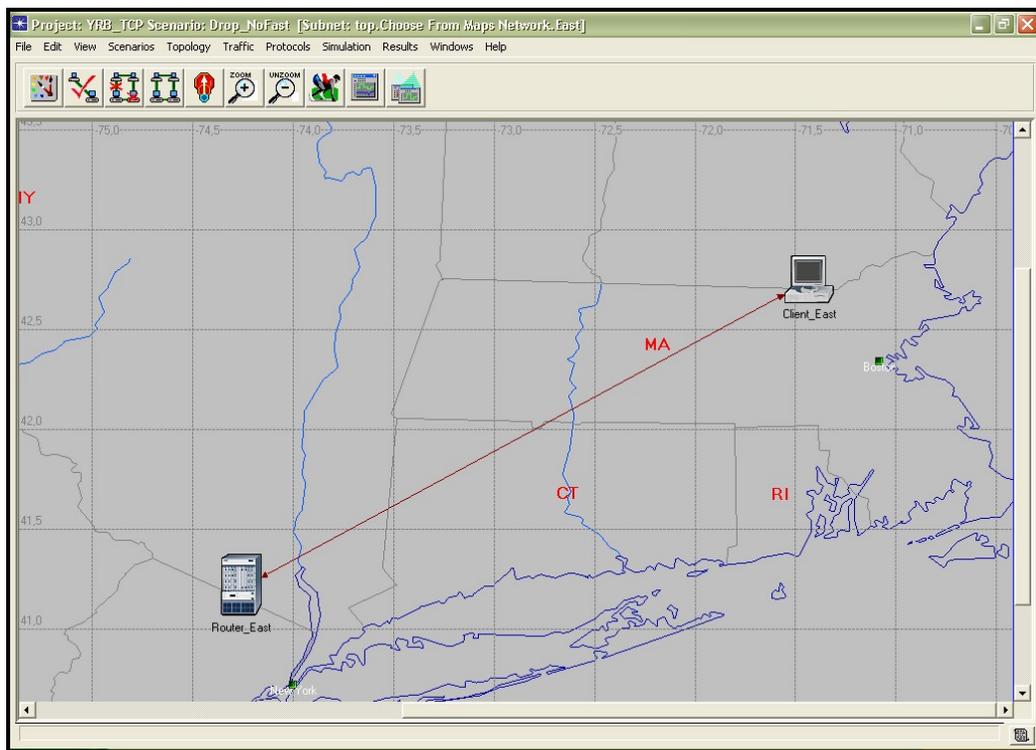


Figura 5. 8 Elementos de la subred East. Se observan los elementos con sus nombres.

Igualmente, se asigna "Client_East" al atributo "Client Address". Luego se edita el atributo "Application: Destination Preferences" tal como se muestra en la figura 5.10. Se hace clic tres veces y se guarda el proyecto. Para regresar al proyecto anterior se hace clic en el botón "Go to next Higher Level" de la barra de botones.

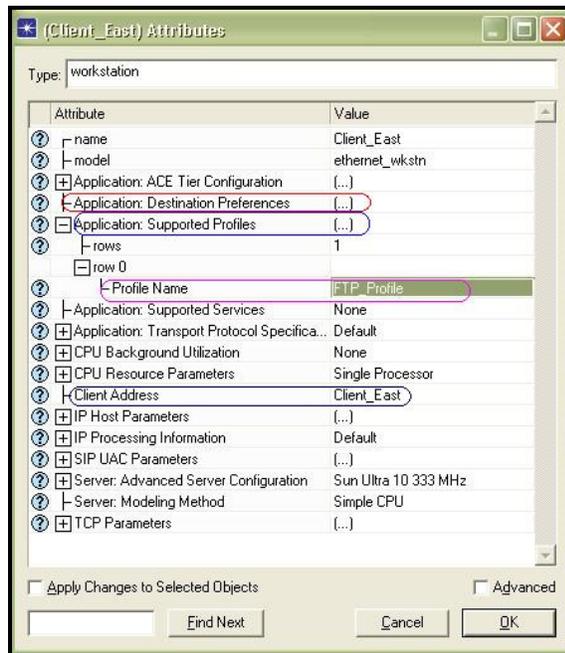


Figura 5. 9 Atributos a configurar para la estación de trabajo de la subred Este.

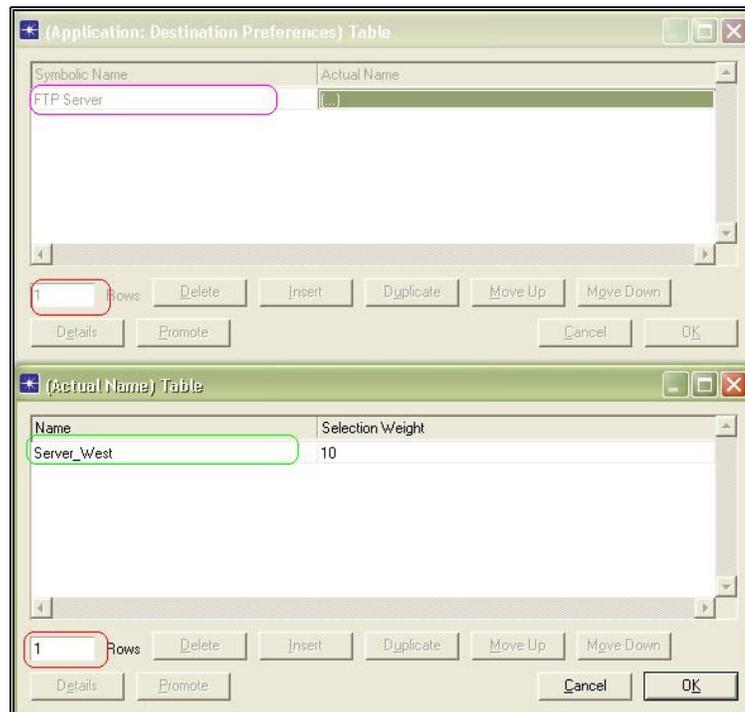


Figura 5. 10 Configuración para el parámetro “Application: Destination Preferences”. Se debe colocar el valor de 1 a la casilla “Rows”.

5.2.6. Conexión de las subredes a la nube IP.

Se abre la paleta de objetos y se seleccionan dos enlaces bidireccionales PPP_DS3 (44.736 Mbps). Se conecta la subred East con la IP Cloud y la subred West con la IP Cloud. En este momento aparece una ventana de dialogo donde OPNET pregunta cuales son los objetos a enlazar. Hay que asegurarse de seleccionar los routers. La figura 5.11 muestra la red final.

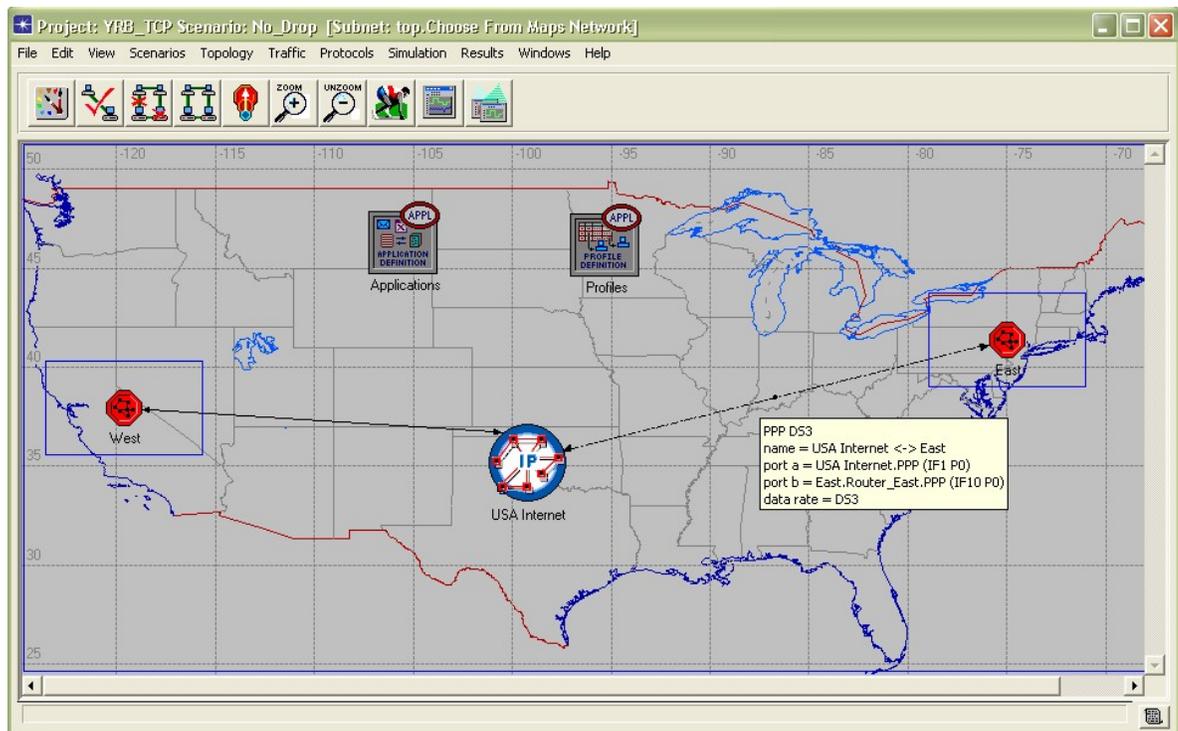


Figura 5. 11 Configuración final de la red. La intención es comunicar dos subredes ubicadas en los extremos de los Estados Unidos por la nube IP de Internet.

5.2.7. Seleccionar las estadísticas

Las estadísticas de interés son aquellas que se dan en el servidor de la subred West. Haciendo clic para acceder a esa subred, se habilita el menú desplegable

con el botón derecho en el área de trabajo y se selecciona la opción “Choose Individual Statistics”. La figura 5.12 indica las estadísticas de interés seleccionadas. Para acceder a ellas se expande la estadística “Node Statistics”. La estadística “Congestion Window Size” permite observar la variación del tamaño de la ventana ante la congestión por el “Slow-Start”, en bytes por conexión. La otra permite ver el número de la secuencia de un segmento enviado para una conexión sencilla.

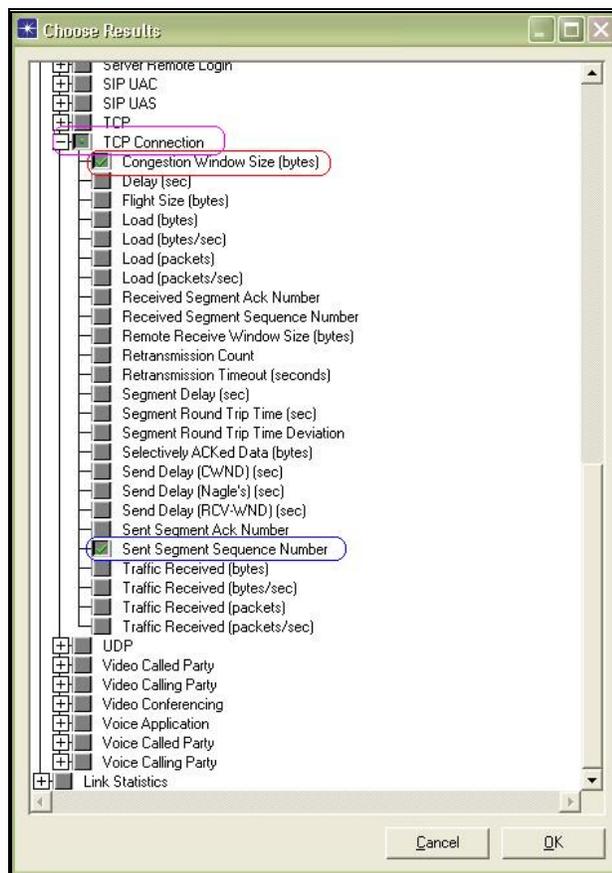


Figura 5. 12 Estadísticas a seleccionar para la simulación.

Luego, haciendo clic con el botón derecho en “Congestion Window Size (bytes)”, se selecciona “Change Collection Mode”. En la nueva ventana se selecciona la

opción “Advanced”, y del menú desplegable se asigna “all values” a “Capture Mode¹⁸” como se detalla en la figura 5.13. Para cerrar se hace clic en OK. Se hace lo mismo para el parámetro “Sent Segment Sequence Number”. Se hace clic para cerrar en cada una de las ventanas y se guarda el proyecto. Para regresar al proyecto anterior se hace clic en el botón “Go to next Higher Level” de la barra de botones.



Figura 5. 13 Configuración de la estadística “Congestion Window Size”.

5.2.8. Configuración de la Simulación

Para la simulación, se pulsa el botón correspondiente de las barra de botones y en la ventana “Configure Simulation” se coloca 10 minutos en la duración. Para cerrar

¹⁸ OPNET proporciona tres modos de captura:

1. All values: Recoge cada punto de datos de una estadística.
2. Simple: Recoge datos según un intervalo especificado por el usuario.
3. Buckets: Recoge todos los puntos en el intervalo de tiempo y los mete en un “cubo de datos”, generando un resultado distinto para cada cubo de datos (modo por defecto).

se hace clic en el botón OK y se guarda el proyecto. Para la simulación de esta red se asume que la red es perfecta y no descarta paquetes, También se han deshabilitado las técnicas de retransmisión rápida y recuperación rápida de TCP. La intención de esta simulación es observar el comportamiento de la transmisión de un único fichero por FTP a través de Internet, desde un servidor situado en la costa Oeste de los Estados Unidos, hacia un cliente localizado en la costa Este.

5.2.9. Duplicar el escenario

Para analizar los efectos que ocurren cuando se descartan paquetes y cómo funcionan las técnicas de control de congestión, se crean dos escenarios adicionales. Como se menciona en la introducción, con la retransmisión rápida (*fast retransmit*) TCP lleva a cabo retransmisiones de los segmentos que parece que se han perdido, sin esperar a que expire el temporizador de las retransmisiones. Después de reenviar este segmento, se aplican las técnicas para evitar la congestión (*congestion avoidance*) reduciendo la ventana de congestión a la mitad del tamaño de la ventana de transmisión. Tanto *fast retransmit* como *fast recovery* se implementan normalmente de manera conjunta, según el RFC 2001.

Luego de seleccionar “Duplicate Scenario” del menú “Escenarios”, se le coloca el nombre de “Drop_NoFast”. En el nuevo escenario, se hace clic con el botón derecho del mouse en IP Cloud para editar los atributos de este objeto. Se le asigna 0,05% al atributo “Packet Discard Ratio”. La figura 5.14 muestra como debe

configurarse ese parámetro. Para cerrar la ventana se hace clic en OK y se guarda el proyecto.

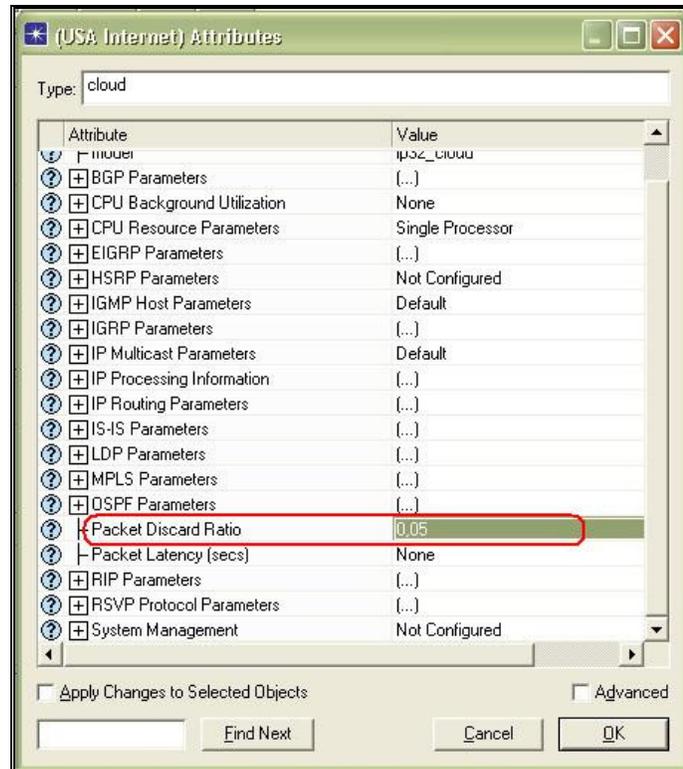


Figura 5. 14 Edición de atributos para la nube IP de Internet. Se asigna el valor de 0,05% para la relación de descarte de paquetes.

Para crear el otro escenario, se procede de la misma forma que el anterior, pero, se le coloca el nombre de “Drop_Fast”. En el nuevo escenario, en la subred West, se accede al menú desplegable del objeto “Server_West” para editar los atributos de éste. Se expande el árbol “TCP Parameters”. Luego se habilita la opción “Fast Retransmit” y se asigna “Reno” al atributo “Fast Recovery”. La figura 5.15 muestra los parámetros que se deben configurar en el objeto “Server_West”. Para cerrar la ventana se hace clic en OK y se guarda nuevamente el proyecto.

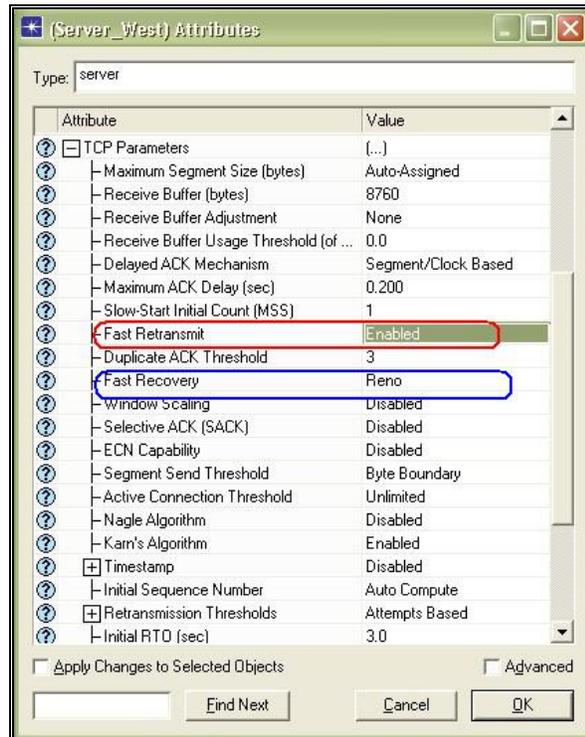


Figura 5. 15 Atributos a configurar para “Server_West” en el nuevo escenario.

5.2.10. Ejecutar la simulación.

La simulación consistirá en simular los tres escenarios de forma simultanea para comparar la forma como TCP trabaja con diferentes condiciones. En el menú “Scenarios” se selecciona la opción “Manage Scenarios” que permite configurar los escenarios y decidir que tipo de simulación realizar. Se cambian los valores que están debajo de la columna “Results” a “collect” para los tres escenarios. Para empezar la simulación se hace clic en OK. La figura 5.16 muestra la secuencia de simulación final para los tres escenarios implementada por OPNET.

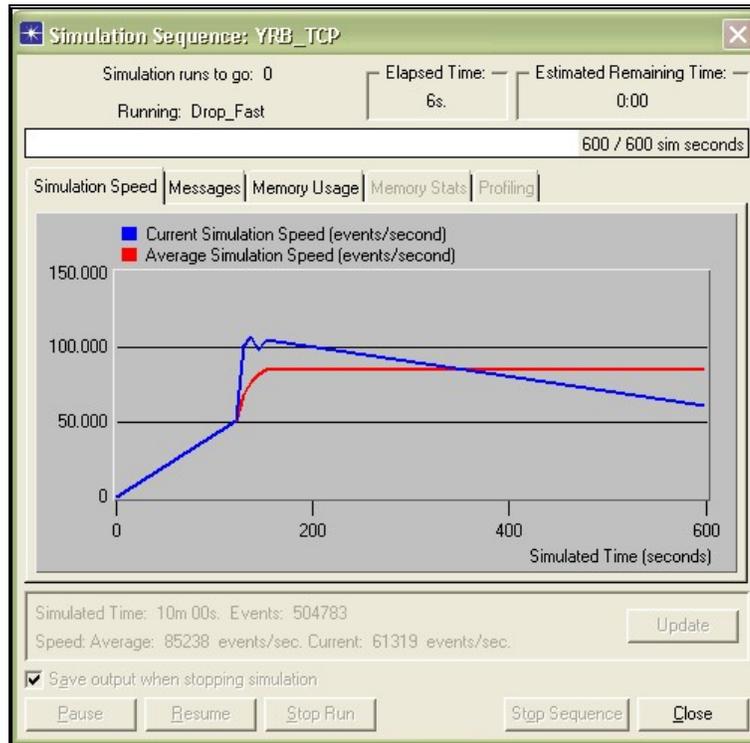


Figura 5. 16 Secuencia de simulación de tres escenarios con TCP implementada con OPNET

5.2.11. Visualización de Resultados

Cambiando al escenario “Drop_NoFast¹⁹” se selecciona del menú “Results” la opción “View Results”. La figura 5.17 muestra las estadísticas que se deben seleccionar para graficar los resultados. Los resultados obtenidos se ilustran en la figura 5.18 luego de presionar el botón “Show” y realizar un *zoom* sobre la imagen en cuestión.

¹⁹ Para cambiar entre escenarios se puede usar la combinación Ctrl.+ Número del escenario.

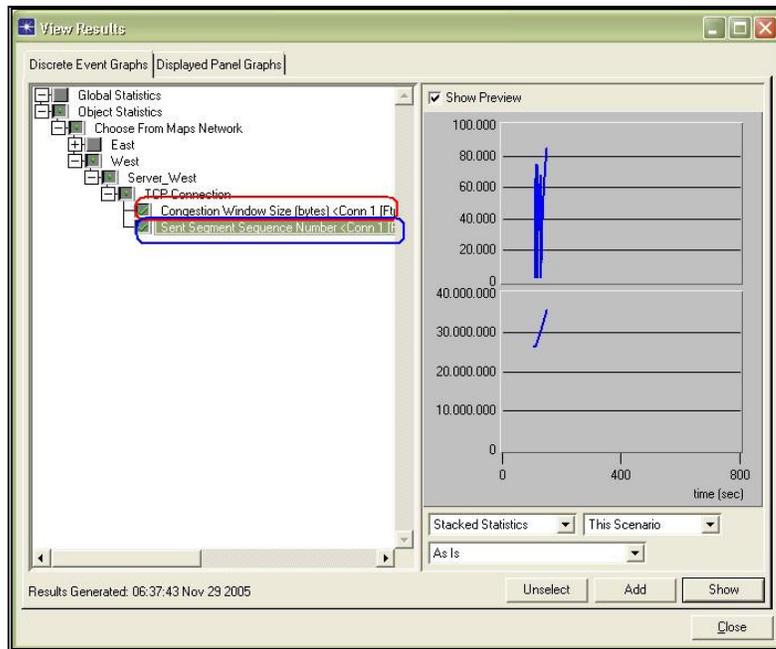


Figura 5. 17 Ventana para visualizar los resultados de la simulación. Se deben seleccionar las estadísticas “Congestion Window Size” y “Sent Segment Sequence Number”

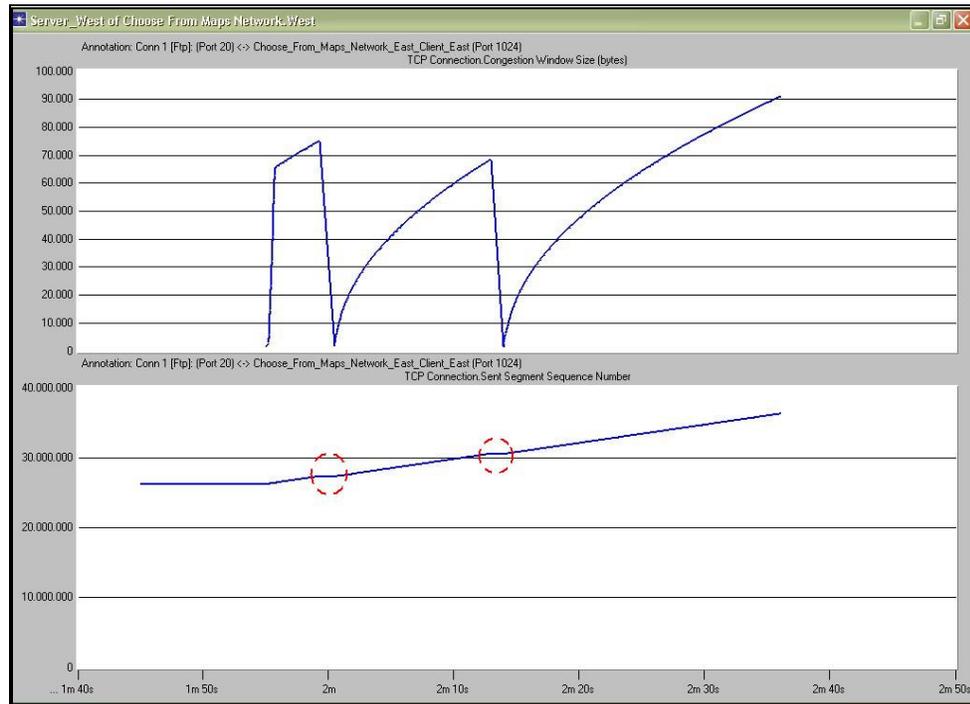


Figura 5. 18 Comportamiento del parámetro “Congestion Window Size” y “Sent Segment Sequence” para TCP en el escenario Drop_NoFast

Para poder observar el comportamiento de TCP en los tres escenarios hay que seleccionar la opción “Compare Results” del menú “Results”. La figura 5.19 muestra el parámetro “Congestion Window Size” para los tres escenarios en forma simultánea.

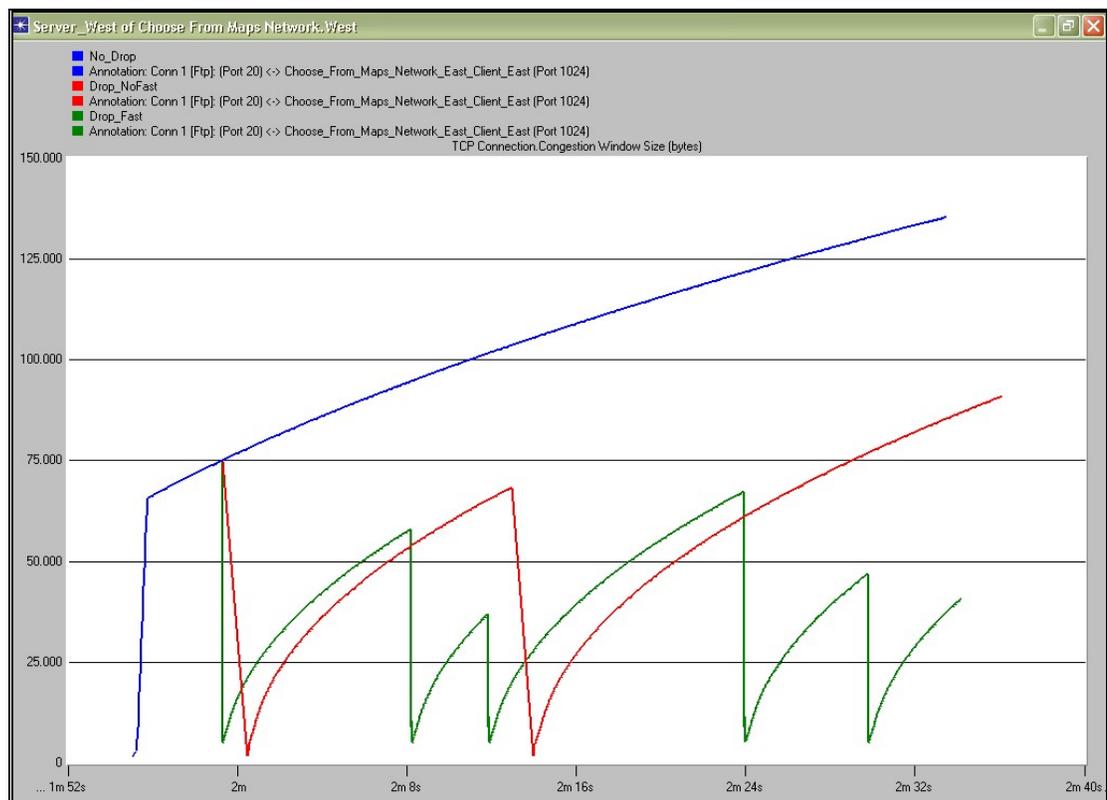


Figura 5. 19 Comportamiento del parámetro “Congestion Window Size” para los tres escenarios.

La figura 5.20 muestra una comparación para los tres escenarios del parámetro “Sent Segment Sequence Number”. Esta es una gráfica importante por que nos muestra detalles tales como la variación de la pendiente de la curva ante nuevas

condiciones como una relación de pérdida de paquetes con un valor de 0,05% y características como Fast Recovery y Fast Retransmit.



Figura 5. 20 Comparación del parámetro “Sent Segment Sequence Number”.

Se puede observar en la figura 5.20 que el parámetro “Segment Sequence Number” es casi plano cuando ocurre un descenso en la ventana de congestión para el segundo escenario. En este escenario (Drop_NoFast) no se aplica Fast Recovery. Las graficas que se detallan en las simulaciones muestran el comportamiento esperado para las diferentes prestaciones de TCP. Como es de esperarse, en un escenario donde no hay relación de pérdidas de paquetes el tamaño de la ventana de congestión se puede considerar constante, es decir, el terminal

emisor puede enviar paquetes sin necesidad de esperar confirmación cuando el tamaño de la ventana de congestión cae a cero por la pérdida de algún paquete ya que la recuperación del tamaño de ésta es casi instantánea. Para mayor precisión, en la figura 5.21 se muestra un acercamiento de la figura 5.20 en el momento que las ventanas de congestión toman el tamaño mínimo para cada uno de los escenarios.

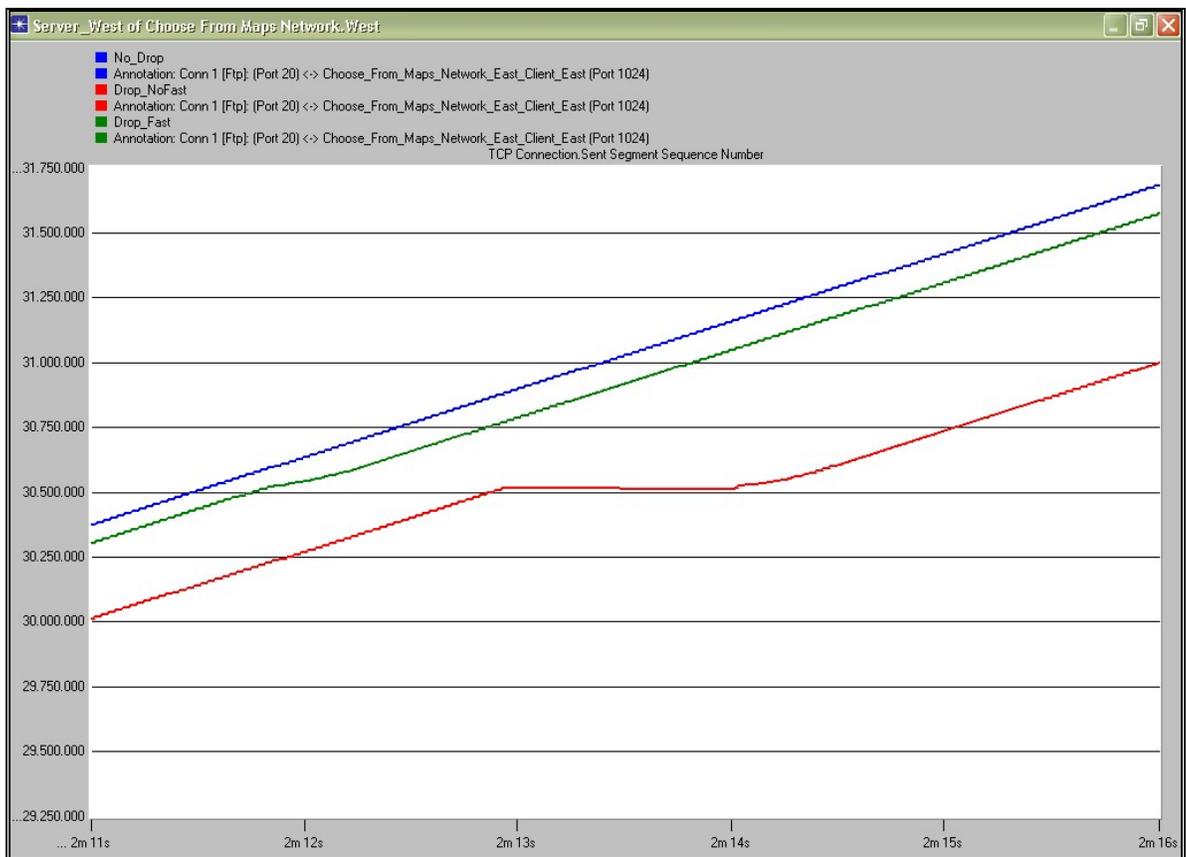


Figura 5. 21 Ampliación para los resultados comparativos del parámetro “Segment Sequence Number”

Aquí se observa con mayor detalle las prestaciones de “Fast Recovery” y “Fast Recovery” (curva verde). En comparación con la curva para el escenario ideal se

observa que poseen una pendiente aproximadamente igual, aunque con ligeras diferencias. Para la curva de color rojo, esa región casi plana, que luego crece exponencialmente, indica un pequeño retardo por el tiempo que le toma esperar la confirmación. Este retardo puede parecerse pequeño (aproximadamente 10ms), pero en el mundo de las telecomunicaciones y teniendo en cuenta la separación de las subredes de la práctica, este retardo es significativo.

Es importante ver que en la implementación que se está simulando (escenario "Drop_NoFast"), no se aplica *fast recovery*, y por tanto la ventana de congestión se reduce completamente cuando ocurre una pérdida de un segmento, quedándose con el tamaño de un segmento (un MSS de valor 1460 en el caso de redes Ethernet). Esto difiere de otras implementaciones. Por ejemplo, en algunas implementaciones TCP, como la que se ha visto en teoría, una pérdida de segmento implica reducir el tamaño de la ventana de congestión a la mitad. Otras implementaciones (por ejemplo, la simulada en el escenario "Drop_Fast") sí usan la estrategia *fast recovery*, en la que tras una supuesta pérdida de un paquete, el tamaño de la ventana de congestión se reduce a la mitad del tamaño de la ventana de recepción indicado por el otro extremo. Otra particularidad que se observa en la implementación de TCP que se está simulando es que, después de una retransmisión (por supuesta pérdida de un paquete), no se aplica *slow start* (que se reserva exclusivamente para el arranque de conexión), sino que directamente se usa *additive increase* (también conocido como Algoritmo de Van Jacobson).

PRÁCTICA

PROTOCOLOS DE ENLACE



El objetivo de esta práctica es estudiar y analizar las prestaciones de los protocolos de enlace sobre un canal punto a punto, comparando las características de los protocolos de tipo parada y espera, y modelando un enlace punto a punto entre dos estaciones de trabajo, para así evaluar las prestaciones de estas herramientas.

6. PROTOCOLOS DE ENLACE

6.1. Descripción

En esta práctica de laboratorio²⁰ se propone estudiar y analizar las prestaciones de los protocolos de enlace sobre un canal punto a punto. Se comparan las características de los protocolos de tipo parada y espera²¹ modelando un enlace punto a punto entre dos estaciones de trabajo con el objeto de evaluar las prestaciones estas herramientas. Para ello, se configura el protocolo de ventana deslizante que incluye el protocolo TCP, alterando sus parámetros de configuración para definir tamaños de ventana, tamaños de paquete, temporizadores, etc. con la finalidad de sintonizar el protocolo de enlace en cada escenario ante distintos modelos del enlace punto a punto.

²⁰ Tomado del documento titulado “Redes de Computadores –Practica 5. Protocolos de Enlace”.
<http://www.redes.upv.es/redesfi/pract/ProtocolosEnlace.pdf>

²¹ Stop and Wait.

Dentro de las características más importantes que presentan estos protocolos para enlaces punto a punto se mencionan las siguientes²²:

- Debido a que el emisor solo puede enviar paquetes hasta recibir un reconocimiento del último paquete enviado, se dice que este protocolo está regulado en el receptor (ACK_Clocked). La velocidad de transmisión es ajustada automáticamente de acuerdo a la velocidad de la red y al tiempo que le toma al receptor enviar los reconocimientos.
- Se conserva un equilibrio en el sistema expresado con lo siguiente: “Si un emisor envía paquetes a un receptor, se mantendrá el equilibrio si se envía un nuevo paquete, solo cuando el paquete anterior ha sido procesado por el receptor”.

Así, se puede asegurar que para mantener la eficiencia del enlace se debe mantener reducido el producto entre el ancho de banda y el retardo con un reducido número de bits entre el origen y el destino del enlace. El protocolo de parada y espera podría ser considerado como un caso particular de un protocolo de ventana deslizante, en el que la ventana de transmisión (define el número de paquetes que podemos enviar sin esperar a su reconocimiento) es de tamaño 1.

²² Op Cit.

6.2. Desarrollo de la Práctica

A continuación se procede a desarrollar la práctica en base a un escenario previamente elaborado sobre ventana deslizante²³ de la UPV²⁴. Los archivos de este fichero comprimido son cargados en el programa. En la figura 6.1 se aprecia el editor de proyectos con la red a simular. Tras abrir el proyecto aparecerá el escenario en donde se tienen dos estaciones de trabajo. Una de ellas actúa como cliente y la otra como servidor.

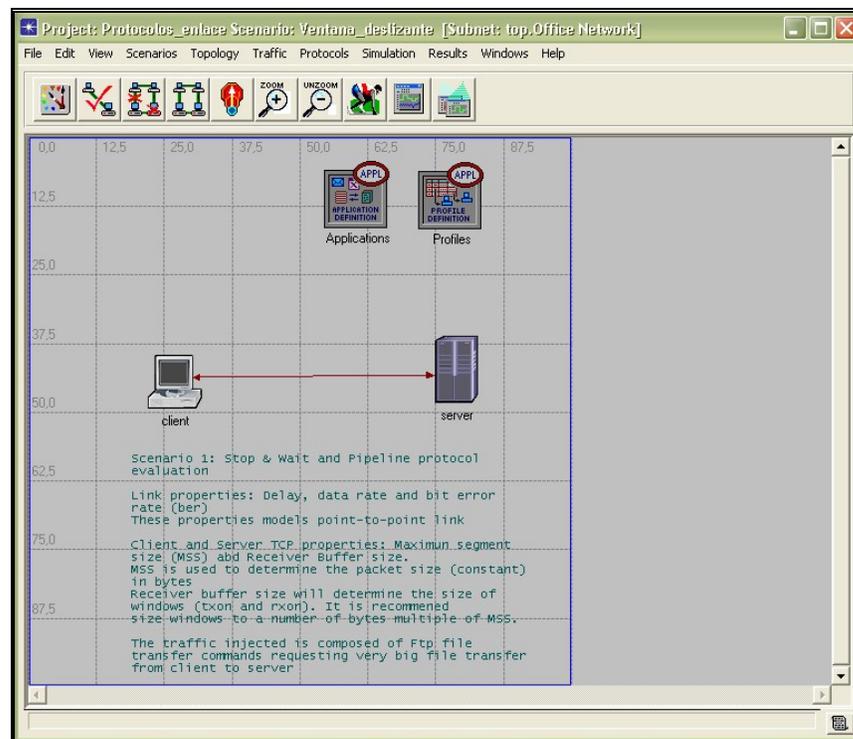


Figura 6. 1 Escenario a simular para los protocolos de enlace.

²³ Archivo obtenido de la dirección http://www.redes.upv.es/redesfi/pract/P5_Protocolos_Enlace.zip

²⁴ Universidad Politécnica de Valencia.

Ambas están conectadas por un enlace punto a punto (modelo point_to_point_adv) configurado a una velocidad de 10 Mbps y un retardo de 4 mseg. Con los objetos “Applications” y “Profile” se define una aplicación FTP, File Transfer (Heavy), como patrón de tráfico en el enlace.

En la simulación, el cliente inicia una sesión FTP con el servidor y posteriormente solicita la transferencia de un archivo desde el cliente al servidor. La transferencia continúa hasta el final de la simulación (transferencia de un fichero suficientemente grande).

6.2.1. Impacto del tamaño de la ventana del enlace

A continuación se procede a probar el enlace ante diferentes escenarios variando el tamaño de la ventana deslizante. Haciendo clic derecho en la estación de trabajo servidor se procede a editar sus atributos. La figura 6.2 muestra la ventana con los diferentes parámetros configurables de la estación.

Para cambiar el tamaño de la ventana de recepción (y por tanto el tamaño de la ventana de transmisión en el cliente) se modifica la propiedad “Receive Buffer (bytes)”. Se asigna el valor de 500 al atributo Maximun Segment Size (bytes). Así como el tamaño máximo de paquete (MSS) es 500 bytes, sólo se puede recibir un segmento por reconocimiento, en otras palabras, un protocolo Stop & Wait.

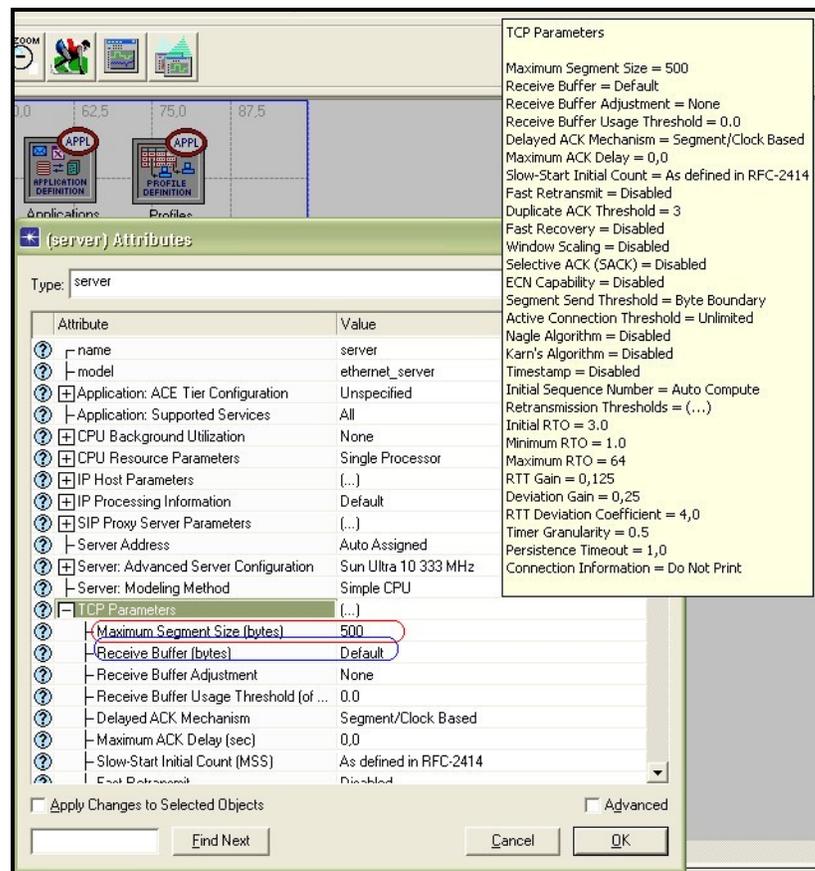


Figura 6. 2 Parámetros a configurar en el servidor

Si se incrementan las ventanas se tiene que modificar esta propiedad en múltiplos del MSS (1000 bytes correspondería a una ventana en donde caben dos paquetes). Con el boton derecho del mouse se selecciona el atributo “Receive Buffer (bytes)” y luego “Promote Attribute to Higher level” con el fin de poder asignar diferentes valores a esta propiedad en una serie de simulaciones. En el valor de la propiedad aparecerá como “promoted”. Se aceptan los cambios para cerrar la ventana.

Haciendo clic derecho en el área de trabajo, sin seleccionar ningún objeto, se accede al menú desplegable para seleccionar la característica a simular en “Choose individual statistics”. Se marca la ruta “Link statistics...point-to-point...Utilization...” que permite conocer el porcentaje de utilización del canal en el sentido del cliente al servidor. En la figura 6.3 se muestra la ventana donde se seleccionan los parámetros a medir. Se aceptan los cambios para cerrar la ventana.

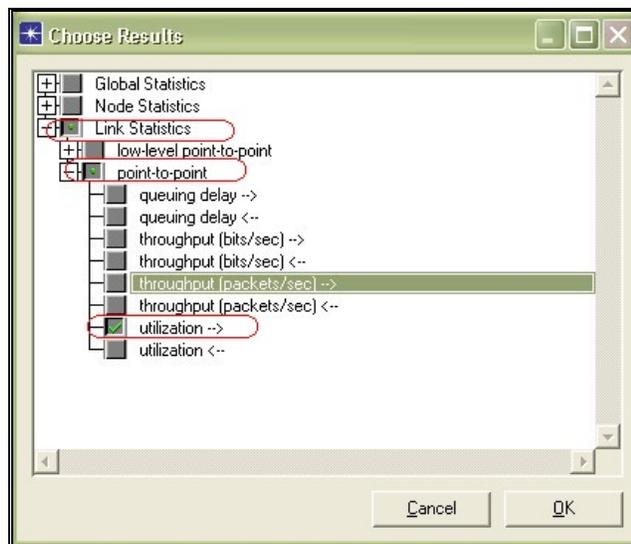


Figura 6. 3 Ventana para seleccionar los parámetros a simular

Se procede a realizar la simulación. Se selecciona el correspondiente botón de la barra “botones de herramientas” como se ve en la figura 2.4. Se colocan 30 segundos en la casilla “duration” y se selecciona la pestaña “Object Attributes” para realizar simulaciones basadas en la propiedad “Receive Buffer (bytes)”. Se selecciona el boton “Add...” para añadir esta propiedad en la casilla correspondiente de la columna “Add?”.

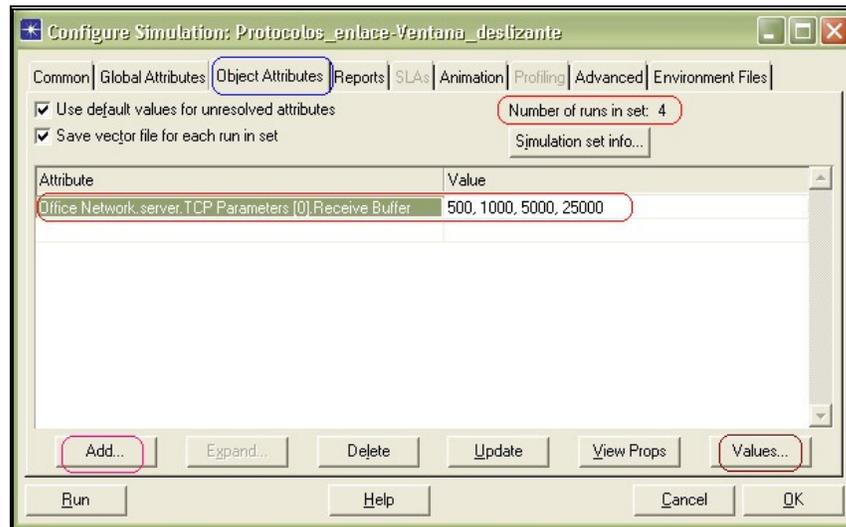


Figura 6. 4 Ventana para configurar la simulación.

En la figura 6.4. se muestra la ventana de “Configure Simultaion” donde se observan diferentes valores para los tamaños de los paquetes, en este caso, se realizan cuatro simulaciones diferentes, configurables con el botón “Value”. En la figura 6.5 se muestran los atributos añadidos. Se selecciona el botón “Run” para empezar la simulación.



Figura 6. 5 Ventana para añadir atributos a simular en la configuración.

Una vez ha finalizado la simulación, se selecciona la entrada de menú “Results...View Results (Advanced)” y en la ventana que aparece, se selecciona la entrada de menú “Panels...Create vector Panel...” para desplegar las gráficas a analizar.

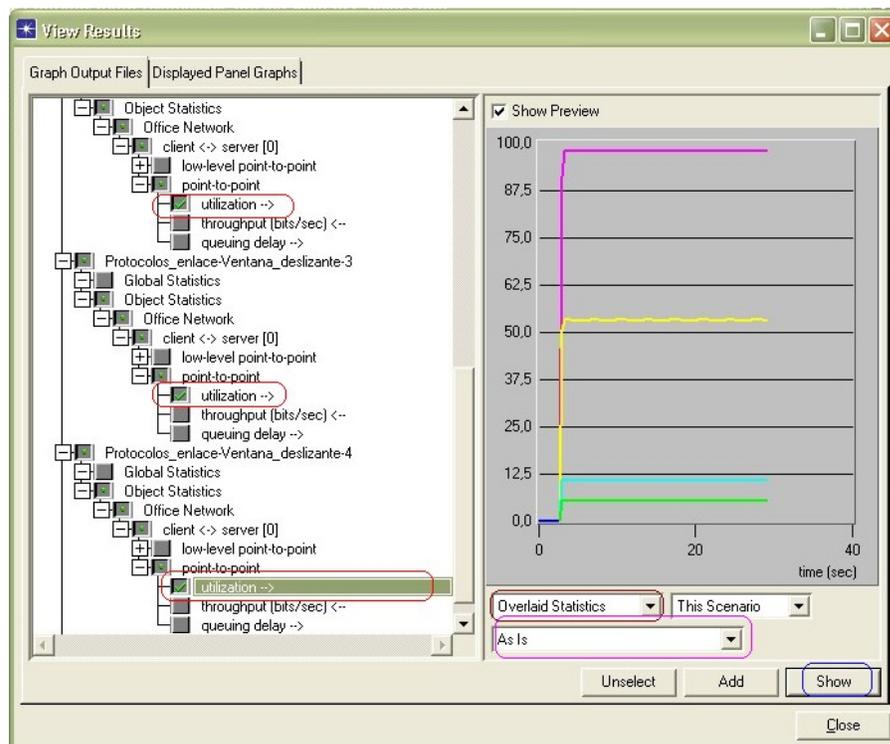


Figura 6. 6 Ventana de resultados de la simulación. Aquí se observan los resultados superpuestos para cada una de las simulaciones con diferentes tamaños de paquetes.

Es de interés ver la evolución de la utilización del enlace con el tamaño de ventana. Se seleccionan las casillas de “Utilization” de todas y cada una de las simulaciones realizadas tal y como se aprecia en la figura 6.6.

Para poder visualizar en una gráfica las estadísticas de todas las simulaciones se debe seleccionar “Overlaid statistics” en el menú desplegable de abajo a la derecha. Para representar los datos (filtro a emplear), OPNET permite desplegarlos por probabilidades y otros datos estadísticos. Se deja seleccionado el filtro por defecto “As Is” (no filtrado). Pulsando en el botón “Show” se genera la gráfica correspondiente en una ventana independiente asociada al proyecto²⁵. La figura 6.7 muestra los resultados en una grafica independiente.

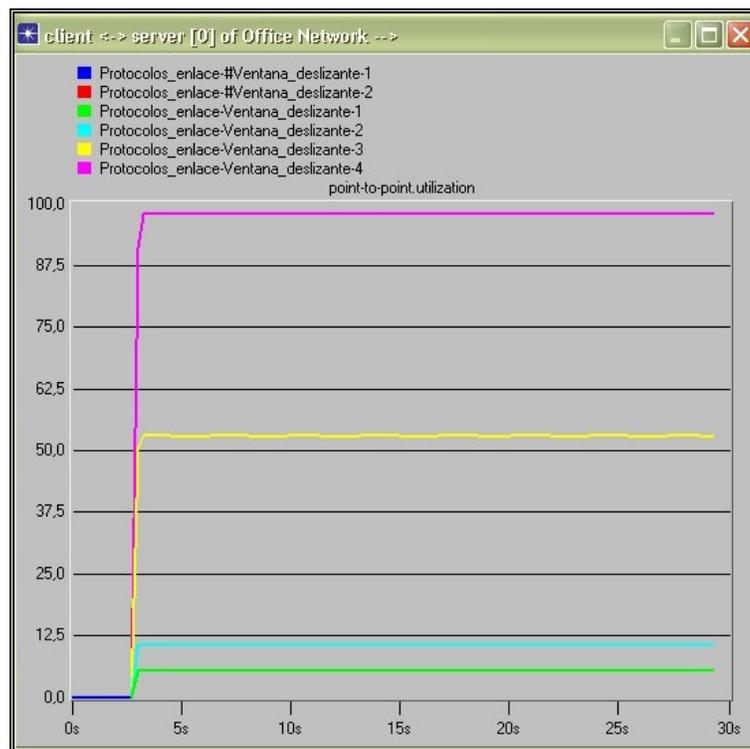


Figura 6. 7 Resultados de la simulación con el protocolo para ventanas deslizantes

²⁵ Haciendo clic derecho en distintas áreas de la gráfica se pueden cambiar las leyendas de las curvas, el título de la ventana, exportar los valores a una hoja de cálculo, el estilo de las curvas, etc

De la grafica anterior se puede concluir, como era de esperarse, la utilización del canal de incrementa cuando crece el tamaño de la ventana. Esta es una de las características de este tipo de protocolos debido al alto consumo de ancho de banda atribuido a los reconocimientos que debe enviar el receptor conforme recibe los paquetes. Al ser la ventana de mayor tamaño, el número de paquetes que se confirma es por grupo. Cuando la ventana esta llena es necesario enviar el reconocimiento y liberar el buffer. En este momento también existen en el enlace otros paquetes que han sido enviados por el emisor y la utilización del enlace es máxima. Cuando el tamaño de la ventana es pequeño se observa un uso mínimo del enlace. En pocas palabras, la capacidad del ancho de banda es subutilizada.

7. CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos de las simulaciones implementadas con OPNET, en general, podemos concluir que el programa y sus funcionalidades superaron nuestras expectativas.

El desarrollo de las practicas y las simulaciones para diferentes escenarios, donde se consideraban diversas situaciones para comprobar la performance de protocolos y herramientas de redes en forma interactiva, nos permite considerar este programa como una herramienta de juicio para el ingeniero de redes a la hora de implementar determinada configuración, con antelación a la implementación física y previendo futuras expansiones de la disposición original.

Como futuros ingenieros electrónicos, el conocimiento de herramientas para la optimización de redes, como OPNET, nos da estatus y valoriza nuestra profesión. En ese sentido, debemos concentrar nuestros esfuerzos en conocer estas herramientas, sus características y el desarrollo de aplicaciones en este tipo.

El análisis de los diferentes resultados obtenidos en forma grafica con la ayuda del programa, nos dio la oportunidad de confrontar lo aprendido durante el transcurso de nuestro pregrado en el área de las telecomunicaciones para verificar su validez con las tecnologías simuladas en este trabajo, tales como, configuración de redes domesticas, redes locales conmutadas, comportamiento del protocolo TCP en diferentes escenarios, protocolos de enlace con ventanas deslizantes.

De esta forma, ofrecemos una alternativa en cuanto a software de diseño de redes y, de esta manera brindar una referencia practica para el ingeniero que trabaje en el campo de las tecnologías de información (IT), desarrollo de protocolos y herramientas telemáticas.

8. GLOSARIO

- ▶ **ACK:** Acknowledgement (ACK), en español acuse de recibo, es una parte de un paquete de datos transmitido por TCP/IP, el cual permite determinar si el paquete de datos ha sido recepcionado completamente o no. En caso de que no llegue la respuesta ACK al emisor, los datos quedan en estado de *timeout* (fuera de plazo), y se retransmiten al destinatario. Además de acusar recibo, indica al emisor los datos que aún quedan por recibir sin que se produzca un efecto de sobrecarga del buffer de control interno de memoria.
- ▶ **Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL):** Línea de Abonado Digital Asimétrica, consiste en una línea digital de alta velocidad, apoyada en el par trenzado de cobre que lleva la línea telefónica convencional o línea de abonado. Se trata de una tecnología de acceso a Internet de banda ancha, lo que implica capacidad para transmitir más datos, lo que, a su vez, se traduce en mayor velocidad.
- ▶ **Buffer:** Es una ubicación de la memoria en una computadora o en un instrumento digital reservada para el almacenamiento temporal de información digital, mientras que está esperando ser procesada.
- ▶ **Cable módem:** Es un tipo especial de módem diseñado para modular la señal de datos sobre una infraestructura de televisión por cable. Los cabledmódems

se utilizan principalmente para distribuir el acceso a Internet de banda ancha, aprovechando el ancho de banda que no se utiliza en la red de TV por cable.

- ▶ **Ethernet:** Norma o estándar (IEEE 802.3) que determina la forma en que los puestos de la red envían y reciben datos sobre un medio físico compartido que se comporta como un bus lógico, independientemente de su configuración física. Utiliza el protocolo de acceso al medio CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detect - Acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones). Actualmente Ethernet es el estándar más utilizado en redes locales/LANs.
- ▶ **Fast ethernet:** o Ethernet de alta velocidad, es el nombre de una serie de estándares de IEEE de redes Ethernet de 100 Mbps. En su momento el prefijo *fast* se le agregó para diferenciarlas de la Ethernet regular de 10 Mbps. Fast Ethernet no es hoy por hoy la más rápida de las versiones de Ethernet, siendo actualmente Gigabit Ethernet y 10 Gigabit Ethernet las más veloces.
- ▶ **FTP:** Es uno de los diversos protocolos de la red Internet, concretamente significa *File Transfer Protocol* (Protocolo de Transferencia de Archivos) y es el ideal para transferir grandes bloques de datos por la red.
- ▶ **Host:** Hace referencia a cualquier máquina conectada a una red de ordenadores, un nodo con nombre de dominio, o un servidor de Internet.
- ▶ **http:** Hypertext Transfer Protocol, protocolo de transferencia de hipertexto, es el protocolo de la Web (WWW), usado en cada transacción. El hipertexto es el contenido de las páginas web, y el protocolo de transferencia es el sistema

mediante el cual se envían las peticiones de acceder a una página web, y la respuesta de esa web, remitiendo la información que se verá en pantalla.

- ▶ **HUB:** En informática un hub o concentrador es un ordenador, o un dispositivo físico, que hace las funciones de servidor de los demás ordenadores que se encuentran conectados en forma radial al ordenador central.
- ▶ **Internet:** Es una red de redes a escala mundial de millones de computadoras interconectadas con el conjunto de protocolos TCP/IP. También se usa este nombre como sustantivo común y por tanto en minúsculas para designar a cualquier red de redes que use las mismas tecnologías que Internet, independientemente de su extensión o de que sea pública o privada.
- ▶ **IP:** Protocolo de Internet (IP, de sus siglas en inglés *Internet Protocol*) es un protocolo no orientado a conexión usado tanto por el origen como por el destino para la comunicación de datos a través de una red de paquetes conmutados.
- ▶ **ISP:** Es el acrónimo en inglés de Internet Service Provider (Proveedor de Servicios de Internet), empresa dedicada a conectar a Internet la línea telefónica de los usuarios, redes distintas e independientes, ambas.
- ▶ **Local Area Network:** Red de Área Local, más comúnmente referida por su acrónimo LAN, se refiere a las redes locales de ordenadores. Actualmente hay dos tecnologías comunes de cableado para LAN, Ethernet y Token Ring.
- ▶ **Módem:** Acrónimo de las palabras modulador/demodulador. El módem actúa como equipo terminal del circuito de datos permitiendo la transmisión de un flujo de datos digitales a través de una señal analógica.

- ▶ **MTU:** La unidad máxima de transferencia (*Maximum Transfer Unit* - MTU) es un término informático que expresa el tamaño en bytes del datagrama más grande que puede pasar por una capa de un protocolo de comunicaciones.
- ▶ Open Shortest Path First, **OSPF:** es un protocolo de encaminamiento jerárquico de pasarela interior o IGP (Interior Gateway Protocol), que usa el algoritmo Dijkstra enlace-estado (LSA - *Link State Algorithm*) para calcular la ruta más corta posible. Usa *cost* como su medida de métrica. Además, construye una base de datos enlace-estado idéntica en todos los encaminadores de la zona.
- ▶ **RFC:** Acrónimo inglés de *Request For Comments*. Conjunto de notas técnicas y organizativas donde se describen los estándares o recomendaciones de Internet.
- ▶ **RIP:** Son las siglas de Routing Information Protocol (Protocolo de información de encaminamiento). Es un protocolo de pasarela interior o IGP (Internet Gateway Protocol) utilizado por los routers (enrutadores), aunque también pueden actuar en equipos, para intercambiar información acerca de redes IP.
- ▶ **Router:** El router, enrutador o encaminador, es un dispositivo hardware o software de interconexión de redes de ordenadores/computadoras que opera en la capa 3 (nivel de red) del modelo OSI. Este dispositivo interconecta segmentos de red o redes enteras. Hace pasar paquetes de datos entre redes tomando como base la información de la capa de red. El router toma decisiones lógicas con respecto a la mejor ruta para el envío de datos a través de una red interconectada y luego dirige los paquetes hacia el segmento y el puerto de salida adecuados.

- ▶ **Resource reSerVation Protocol (RSVP):** es un protocolo de señalización de capas de red que permite a las aplicaciones reservar recursos de red para el flujo de datos unicast y multicast.
- ▶ **Socket:** Designa un concepto abstracto por el cual dos programas (posiblemente situados en computadoras distintas) pueden intercambiarse cualquier flujo de datos, generalmente de manera fiable y ordenada.
- ▶ **Switch:** En castellano "interruptor" o "conmutador", es un dispositivo de interconexión de redes de ordenadores/computadoras que opera en la capa 2 (nivel de enlace de datos) del modelo OSI (*Open Systems Interconnection*). Un switch interconecta dos o más segmentos de red, pasando datos de una red a otra, de acuerdo con la dirección MAC de destino de los datagramas en la red. Los switches se utilizan cuando se desea conectar múltiples redes.
- ▶ **SYN:** es un bit de control dentro del segmento TCP, que se utiliza para sincronizar los números de secuencia iniciales ISN de una conexión en el procedimiento de establecimiento de tres fases (*3 way handshake*).
- ▶ **T1:** El sistema del T-portador, introducido por Bell System en los Estados Unidos en los años 60, fue el primer sistema acertado que soportó la transmisión de voz digitalizada. La tasa de transmisión original (1,544 Mbps) en la línea T-1 es comúnmente usada hoy en día en conexiones de Proveedores de Servicios de Internet (ISP) hacia la Internet.
- ▶ **TCP:** El Protocolo de Control de Transmisión (TCP en sus siglas en inglés, Transmission Control Protocol) es uno de los protocolos fundamentales en Internet. Muchos programas dentro de una red de ordenadores pueden usar TCP

para crear *conexiones* entre ellos a través de las cuales enviarse datos. El protocolo garantiza que los datos serán entregados en su destino sin errores y en el mismo orden en que se transmitieron. También proporciona un mecanismo para distinguir distintas aplicaciones dentro de una misma máquina, a través del concepto de puerto.

- ▶ **TOKEN RING:** Arquitectura de red desarrollada por IBM con topología lógica en anillo y técnica de acceso de paso de testigo. Cumple el estándar IEEE 802.5. El acceso al medio es determinista por el paso de testigo o token, como en Token_Bus o FDDI, a diferencia de otras redes de acceso no determinístico (estocástico, como Ethernet). Estas redes alcanzan una velocidad máxima de transmisión que oscila entre los 4 y los 16 Mbps. En desuso por la popularización de Ethernet
- ▶ **UTP:** Es un tipo de cableado estructurado basado en cable de par trenzado no apantallado (UTP - Unshielded Twisted Pair). Es un cable de cobre, y por tanto conductor de electricidad, que se utiliza para telecomunicaciones y que consta de uno o más pares, ninguno de los cuales está apantallado.
- ▶ **WAN:** Es un acrónimo de Wide Area Network que en inglés significa red de área amplia. Opera en la capa física y de enlace del modelo de referencia OSI. A nivel de alcance, esta red abarca desde unos 100km (País) hasta llegar incluso a 1000km (Continente).

9. BIBLIOGRAFIA

- ▶ Información técnica del glosario obtenida de <http://www.wikipedia.com>.

- ▶ **OPNET IT Guru Academia Edition 9.1.** Programa obtenido de la página en Internet del fabricante. <http://www.opnet.com/products/itguru>

- ▶ Practicas de la asignatura Redes de Computadores, 4º curso de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica de Valencia, España.
<http://www.redes.upv.es/redesfi/>
 - ◆ “Redes de Computadores. Practica 1- Home Networking: Evaluación de una conexión a Internet para una red domestica”.
http://www.redes.upv.es/redesfi/pract/Home_LAN.pdf
 - ◆ “Redes de Computadores – Practica 4: Redes Locales Conmutadas”.
<http://www.redes.upv.es/redesfi/pract/SwitchedLANs.pdf>
 - ◆ “Redes de Computadores – Practica 9. TCP: Control de Congestión”.
<http://www.redes.upv.es/redesfi/pract/TCP.pdf>
 - ◆ “Redes de Computadores –Practica 5. Protocolos de Enlace”.
<http://www.redes.upv.es/redesfi/pract/ProtocolosEnlace.pdf>

- ▶ Asistentes de protocolos de OPNET disponibles luego de instalar el programa en la siguiente ruta:

\\Programa Files\OPNET EDU\9.1.A\models\std\usage_guides

- ▶ Documento titulado “Modulo 2. Protocolos de capa de transporte con OPNET” del curso a distancia organizado por la UIT denominado “Optimización de redes de telecomunicaciones a través de ejercicios de simulación”. Universidad Blas Pascal. 6 de junio al 1 de julio de 2005. Ing. Gonzalo López. 27 paginas.