

**2011**

Irene Pedrosa Gómez  
UOC E.T.T-Telemàtica

---

# INTEGRACIÓ D'EINES DE SIMULACIÓ DE XARXES EN UN ENTORN VIRTUAL

---

## Resum

L'objecte d'estudi d'aquest projecte és la integració d'eines de simulació en entorns virtuals.

Per a dur a terme aquest estudi i al llarg del present treball, en primer lloc, es farà una breu introducció als fonaments teòrics generals de sistemes, models i simulació de sistemes.

Tot seguit, es realitzarà l'estat de l'art de diferents simuladors, valorant-ne les diferents alternatives proposades, tot indicant-ne els avantatges i inconvenients detectats. D'aquesta manera es definirà i contextualitzarà el marc de treball.

Finalment, s'aprofundirà en la simulació d'un conjunt d'escenaris proposats. Mitjançant Opnet IT Guru Academic Edition 9.1 es realitzarà l'estudi sobre l'efecte que poden tenir els diferents planificadors, cues FIFO, amb prioritat i equitatives (FQ, WFQ), en la transmissió de paquets per a diferents serveis, ens els escenaris anteriorment esmentats. De la mateixa manera s'abordarà l'estudi de l'efecte de l'ús del Protocol de Reserva de Recursos (RSVP) com a part de l'enfocament dels serveis integrats IntServ per a proporcionar qualitat de servei (QoS). Així, s'analitzarà la manera en com el protocol RSVP pot contribuir en el rendiment de les aplicacions que l'utilitzen.

# Índex

	Pàg.
Resum.....	i
Índex de continguts.....	ii
Llista de figures.....	iv
Llista de taules.....	vi
 1. Introducció a la simulació de xarxes.....	 2
2. Fonaments teòrics.....	3
2.1 La simulació.....	3
2.2 Simulació i teoria de sistemes.....	3
2.2.1 Sistemes discrets i continus.....	4
2.3 Models.....	4
2.3.1 Tipus de models.....	5
 3. Estat de l'art dels principals simuladors de xarxes.....	 6
3.1 The CNET Network Simulator v3.2.1.....	6
3.1.1 Característiques generals.....	6
3.1.2 Requeriments del sistema.....	7
3.1.3 Interfície gràfica d'usuari.....	7
3.1.4 Avantatges i desavantatges del sistema.....	7
3.2 Kiva Network Simulator v1.1 (KivaNS).....	8
3.2.1 Característiques generals.....	8
3.2.2 Requeriments del sistema.....	8
3.2.3 Interfície gràfica d'usuari.....	8
3.2.4 Avantatges i desavantatges del sistema.....	9
3.3 NCTuns 6.0 Network Simulator/Emulator.....	10
3.3.1 Característiques generals.....	10
3.3.2 Requeriments del sistema.....	10
3.3.3 Interfície gràfica d'usuari.....	11
3.3.4 Avantatges i desavantatges del sistema.....	11
3.4 Network Simulator 2 (ns-2).....	12
3.4.1 Característiques generals.....	12
3.4.2 Requeriments del sistema.....	13
3.4.3 Interfície gràfica d'usuari.....	14
3.4.4 Avantatges i desavantatges del sistema.....	14
3.5 OMNeT++ v3.2.....	15
3.5.1 Característiques generals.....	15
3.5.2 Requeriments del sistema.....	16
3.5.3 Interfície gràfica d'usuari.....	16
3.5.4 Avantatges i desavantatges del sistema.....	16
3.6 OPNET IT Guru Academic Edition.....	17
3.6.1 Característiques generals.....	17
3.6.2 Requeriments del sistema.....	18
3.6.3 Interfície gràfica d'usuari.....	18

3.6.4 Avantatges i desavantatges del sistema.....	19
3.7 SimuRed v2.1.....	19
3.7.1 Característiques generals.....	19
3.7.2 Requeriments del sistema.....	20
3.7.3 Interfície gràfica d'usuari.....	21
3.7.4 Avantatges i desavantatges del sistema.....	21
3.8 Comparativa entre els diferents simuladors.....	21
3.9 Conclusions.....	24
4. Elecció del simulador.....	25
4.1 OPNET IT Guru Academic Edition 9.1.....	25
4.1.1 Sobre OPNET IT Guru Academic Edition 9.1.....	26
4.1.2 Limitacions del simulador.....	26
4.1.3 Creació d'un model de xarxa.....	27
4.1.4 Llibreria de models d'esdeveniments discrets.....	31
4.1.5 Interfície gràfica.....	31
4.1.5.1 L'editor de projectes.....	32
4.1.6 Creació d'un nou projecte.....	34
4.1.7 Simulació: creació d'estadístiques.....	41
4.1.8 Execució de la simulació.....	42
4.1.9 Anàlisi de resultats.....	44
5. Estudi de simulació amb OPNET IT Guru Academic Edition 9.1: Descripció de l'objectiu d'estudi, arquitectura emprada i paràmetres d'interès a analitzar.....	47
5.1 Escenari 1: Oficines centrals.....	47
5.2 Escenari 2: Fàbrica.....	49
6. Resultats de les simulacions amb OPNET IT Guru Academic Edition 9.1....	53
6.1 Escenari 1: Oficines centrals.....	53
6.1.1 Simulació 0: VoIP amb RSVP vs sense RSVP.....	53
6.1.2 Simulació 1: VoIP amb RSVP augmentant l'ample de banda....	54
6.1.3 Simulació 2: VoIP amb RSVP disminuint l'ample de banda.....	56
6.1.4 Simulació 3: VoIP amb RSVP disminuint la mida del buffer.....	57
6.1.5 Simulació 4: VoIP amb RSVP augmentant l'ample de banda....	59
6.2 Escenari 2: Fàbrica.....	61
6.2.1 Taula de paràmetres de configuració.....	61
6.2.2 Paràmetres d'interès analitzats.....	62
7. Conclusions.....	69
Annex 1. Instal·lació del simulador OPNET IT Guru Academic Edition 9.1.....	73
Annex 2. Llibreries de models d'OPNET IT Guru Academic Edition 9.1.....	76
Referències bibliogràfiques.....	78

## Llista de figures

Pàg.

Fig. 1 Esquema d'ús de l'editor de projectes.....	27
Fig. 2 Passos per a la construcció i simulació d'un model.....	28
Fig. 3 Exemple de paleta d' objectes disponibles per la tecnologia ATM.....	29
Fig. 4 Exemple de paleta d' objectes disponibles per a la creació d' escenaris.....	29
Fig. 5 Exemple de model de xarxa.....	31
Fig. 6 Finestra d'inici d' OPNET IT Guru Academic Edition 9.1.....	32
Fig. 7 Botons de l'editor de projectes.....	32
Fig. 8 Finestra on cal posar el nom del projecte i del primer escenari a crear.....	34
Fig. 9 Initial Topology.....	35
Fig. 10 Choose Network Scale.....	35
Fig. 11 Select Technologies.....	36
Fig. 12 Editor de projectes i paleta d' objectes.....	36
Fig. 13 Exemple de model de xarxa.....	37
Fig. 14 Menú desplegable d' opcions per a l'estació de treball 2.....	37
Fig. 15 Configuració dels atributs de l'objecte de control d'aplicacions (Application_Config).....	38
Fig. 16 Configuració dels atributs de l'objecte de control de perfils (Profile_Config)....	39
Fig. 17 Configuració dels atributs de l'objecte de control de QoS (QoS Attribute Config).....	39
Fig. 18 Atribut Application Supported Profiles de les estacions de treball.....	40
Fig. 19 Atribut Application Supported Services dels servidors.....	41
Fig. 20 Valor de l'atribut Application Supported Services dels servidors.....	41
Fig. 21 Choose Results.....	42
Fig. 22 Opcions d'estadístiques globals (p.e. Protocol de reserva de recursos RSVP)....	42
Fig. 23 Opcions d'estadístiques individuals per a un node (p.e. Protocol de reserva de recursos RSVP).....	42
Fig. 24 Configuració de la simulació.....	43
Fig. 25 Progrés de la simulació.....	43
Fig. 26 Missatge d'execució de l'execució corresponent a la figura 25.....	44
Fig. 27 Visualització dels resultats de manera gràfica. View Results.....	44
Fig. 28 Simulation Log.....	45
Fig. 29 Total RESV Traffic Sent vs Total RESV Traffic received (packets-sec).....	45
Fig. 30 RESV Messages Sent vs RESV Messages Received (packets-sec).....	45
Fig. 31 RESV Conf Messages Sent vs RESV Conf Messages Received (packets-sec).....	46
Fig. 32 Path Messages Sent vs Path Messages received (packets-sec).....	46
Fig. 33 Number of successful Request vs Number of Rejected Request.....	46
Fig. 34 Number of Path States vs Number of Resv States.....	46
Fig. 35 Number of Block States.....	46
Fig. 36 Escenari 1: Oficines centrals.....	48
Fig. 37 Escenari 2: Fàbrica.....	51
Fig. 38 Sim 0.Voice Application. Packet end to end Delay (sec).....	53
Fig. 39 Sim 0.Voice Application. Packet Delay Variation (sec).....	54
Fig. 40 Sim 1.QoS Atributte Configuration.....	54
Fig. 41 Sim 1.Voice Application. Packet end to end Delay (sec).....	55
Fig. 42 Sim 1.Voice Application. Packet Delay Variation (sec).....	55
Fig. 43 Sim 2.QoS Atributte Configuration.....	56
Fig. 44 Sim 2.Voice Application. Packet end to end Delay (sec).....	56
Fig. 45 Sim 2.Voice Application. Packet Delay Variation (sec).....	57
Fig. 46 Sim 3. QoS Atributte Configuration.....	58

Fig. 47 Sim 3.Voice Application. Packet end to end Delay (sec).....	58
Fig. 48 Sim 3.Voice Application. Packet Delay Variation (sec).....	59
Fig. 49 Sim 4. QoS Attribute Configuration.....	59
Fig. 50 Sim 3.Voice Application. Packet end to end Delay (sec).....	60
Fig. 51 Sim 4.Voice Application. Packet Delay Variation (sec).....	60
Fig. 52 Email Download Response Time (sec).....	62
Fig. 53 Email Download Response Time (sec) zoom.....	62
Fig. 54 FTP Download Response Time (sec).....	63
Fig. 55 HTTP Page Response Time (seconds).....	64
Fig. 56 HTTP Object Response Time (seconds).....	64
Fig. 57 Traffic Dropped (packets/sec).....	65
Fig. 58 Traffic Received (Bytes/sec).....	66
Fig. 59 Voice. Packet End-to-End Delay (sec).....	67
Fig. 60 Voice. Packet Delay Variation.....	67
Fig. 61 Accés al formulari de registre.....	73
Fig. 62 Confirmació de correu electrònic.....	73
Fig. 63 Requeriments mínims per a la instal·lació.....	74
Fig. 64 Finestra d'inici d' OPNET IT Guru Academic Edition 9.1.....	75

## Llista de taules

	Pàg.
Taula 1. The CNET Network Simulator v3.2.1 – Requeriments del sistema.....	7
Taula 2. The CNET Network Simulator v3.2.1 – Avantatges i desavantatges.....	7
Taula 3. Kiva Network Simulator v1.1 (KivaNS) – Requeriments del sistema.....	8
Taula 4. Kiva Network Simulator v1.1 (KivaNS) – Avantatges i desavantatges.....	9
Taula 5. NCTuns 6.0 Network Simulator/Emulator – Requeriments del sistema.....	10
Taula 6. NCTuns 6.0 Network Simulator/Emulator – Avantatges i desavantatges.....	12
Taula 7. Network Simulator 2 (ns-2) – Requeriments del sistema.....	14
Taula 8. Network Simulator 2 (ns-2) – Avantatges i desavantatges.....	14
Taula 9. OMNeT++ v3.2 – Requeriments del sistema.....	16
Taula 10. OMNeT++ v3.2 – Avantatges i desavantatges.....	16
Taula 11. OPNET IT Guru Academic Edition 9.1 – Requeriments del sistema.....	18
Taula 12. OPNET IT Guru Academic Edition 9.1 – Avantatges i desavantatges.....	19
Taula 13. SimuRed v2.1 – Requeriments del sistema.....	20
Taula 14. SimuRed v2.1 – Avantatges i desavantatges.....	21
Taula 15. Comparativa entre els diferents simuladors.....	22
Taula 16. Paràmetres de configuració I.....	61
Taula 17. Paràmetres de configuració II.....	61
Taula 18. Protocols Technologies: Standard / Modules.....	76
Taula 19. Fabricants de dispositius: Standard / Modules.....	76
Taula 20. Wireless: Standard / Modules.....	77
Taula 21. Integració amb productes de tercers: Standard / Modules.....	77

## 1. Introducció a la simulació de xarxes

Abans de crear una xarxa física real, és convenient planificar-ne la seva estructura, protocols i altres paràmetres per tal d'assegurar-nos que el disseny sigui una solució adequada a la necessitat que es vulgui satisfer mitjançant la xarxa. Construir directament una xarxa física podria significar una gran pèrdua de temps i diners si un cop posada en marxa no compleix amb les condicions inicialment especificades. En aquest punt sorgeix la necessitat dels simuladors de xarxes.

En el cas de les xarxes de comunicacions, existeixen una gran varietat de programes que ens permetran simular la xarxa, controlant-ne moltes de les seves variables i obtenint un resultat que a posteriori haurà de ser interpretat i analitzat.

Un simulador de xarxes és una aplicació que permet a l'usuari dissenyar un sistema de xarxes de comunicació, majoritàriament a través d'una interfície gràfica, en la qual es permet escollir i configurar els diferents components que formaran part de la xarxa.

L'objectiu cercat per tot simulador és recrear un model que s'assimili el màxim possible a la realitat, si més no, pel que fa a les característiques a estudiar, ja que les dades obtingudes durant l'execució del programa de simulació seran usades per extrapolar els resultats obtinguts i calcular així les estimacions del funcionament del sistema original.

Els simuladors de xarxes han anat madurant amb el temps des de que sorgiren per primera vegada com eines de desenvolupament, administració i predicció. Avui en dia s'acostumen a utilitzar també per a realitzar estudis de qualitat de servei, a banda de ser de gran utilitat i aplicació en l'àmbit de les TIC. Gràcies a la simulació es pot observar l'evolució d'un sistema de comunicació específic, les seves característiques, propietats... utilitzant com a recurs únicament la memòria d'un ordinador.

Existeix un gran nombre considerable d'eines de simulació disponibles. Les característiques principals que generalment es descriuen i influeixen a l'hora d'escollir-ne una o altre són: precisió, rapidesa, fiabilitat d'us i cost.

A continuació es citen els simuladors avaluats en el present treball: Cnet v3.2.1, KivaNS v1.1, NCTuns v6.0, NS-2, Omnet++ v3.2, Opnet IT Guru Academic Edition 9.1, Simured v2.1.



## Fonaments teòrics

En aquest capítol es farà una breu introducció als sistemes, models i simulació de sistemes.

### 2.1 Simulació

La simulació és la imitació del funcionament d'un sistema real durant un interval de temps. Aquesta simulació pot ser realitzada de manera manual o per ordinador.

La simulació es basa en un model extrapolat de la realitat. Observant el comportament d'aquest, ens permet obtenir coneixements del sistema real.

El comportament de la simulació ve determinat pel model de simulació. Un model de simulació és un conjunt de supòsits concernents al funcionament del sistema real. Aquests supòsits s'expressen a través de relacions lògiques i matemàtiques entre les entitats.

Un cop el model ha estat desenvolupat i validat, està llest per a ser usat per a investigar una gran varietat de preguntes sobre el sistema real. Canvis en un sistema real poden ser simulats amb l'objectiu de preveure l'impacte sobre ell mateix. La simulació també pot ser usada com una estratègia en l'etapa de disseny, abans que el sistema sigui construït. O ambdós casos a la vegada, per a predir l'efecte d'un canvi i per a dissenyar variants d'un sistema actual.

En alguns casos, el model pot ser suficientment simple com per a ser resolt mitjançant el càlcul diferencial, la teoria de probabilitats, mètodes algebraics o altres tècniques matemàtiques. Aquestes solucions consisteixen generalment en un o més paràmetres numèrics del sistema. Tot i així, molts sistemes del món real són tant complexos, que és virtualment impossible resoldre el seu model mitjançant tècniques matemàtiques. Aquests són els casos en que la simulació és útil.

### 2.2 Simulació i teoria de sistemes

Un sistema es pot definir com un conjunt d'objectes o elements que interactuen entre sí, i depenen els uns dels altres, amb el propòsit d'aconseguir un objectiu.

Com a primer punt per a modelar un sistema, cal tenir presents els límits d'aquest, és a dir, conèixer quin és el sistema i quines són les seves fronteres. Cal mencionar que un sistema no està aïllat, per aquest motiu, els canvis externs podran influir en el seu comportament

A continuació s'explicaran els termes més comuns per a descriure un sistema:

- Entitat: és un objecte d'interès per al sistema. Un conjunt d'entitats que formen part d'un sistema, poden ser part d'un subconjunt d'entitats o d'un sistema més complex.
- Atribut: és una propietat d'una entitat. Una entitat pot tenir diferents atributs.
- Activitat: és el procés que provoca canvis en un sistema. Representa un període de temps especificat.

Les activitats es poden classificar segons on tinguin lloc. Endògenes o internes, tenen lloc dins el sistema i exògenes o externes, tenen lloc en el medi ambient i d'una manera o altre afecten al sistema. Un sistema és tancat si no té activitats exògenes i obert si les té.

També es poden classificar en funció de com es puguin descriure. Deterministes, quan és possible descriure completament el resultat de l'activitat en termes de la seva entrada i estocàstiques, quan no és possible descriure completament el resultat de l'activitat degut al seu caràcter aleatori.

L'estat del sistema es defineix com el conjunt de variables (atributs, entitats i activitats) necessàries per a descriure el sistema en un moment determinat de temps. Un esdeveniment és una ocurrència instantània que pot canviar l'estat del sistema.

El progrés d'un sistema s'estudia seguint els canvis en l'estat d'aquest.

#### 2.2.1 Sistemes discrets i continus

Segons el comportament d'un sistema en el domini temporal, es poden classificar en continus o discrets, tot i que a la pràctica, hi ha molts pocs sistemes que siguin completament discrets o continus. Si bé és cert, que un dels dos sempre predomina. Aleshores, pel predominant queden classificats.

- Continus: les variables de l'estat del sistema evolucionen de manera continua al llarg del temps.
- Discrets: les variables de l'estat del sistema evolucionen només en certs instants al llarg del temps.
- Orientats a esdeveniments discrets: les propietats del sistema canvien únicament en una seqüència d'instants de temps, que obeeix normalment a un patró aleatori, i romanen constants la resta del temps.
- Combinats: combinen subsistemes que segueixen filosofies continues o discretes, respectivament.

### 2.3 Models

La majoria de vegades, és inviable treballar amb un sistema real, per tant s'utilitza la simulació de models.

Un model és una representació del sistema real per tal de preveure, estudiar i analitzar el seu comportament.

Tot i que un model ha de considerar tots els aspectes del sistema que siguin rellevants per a l'estudi, no deixa de ser una simplificació del sistema, però ha de contenir el suficient detall per a que les conclusions obtingudes siguin vàlides en el sistema real. Si el propòsit de l'estudi

canvia, tot i que no hi hagin canvis en el sistema, el model també ha de canviar. Un model conté únicament components que són rellevants per a l'estudi.

La modelització és una etapa present en la major part dels treballs d'investigació. En moltes ocasions, la realitat és bastant complexa per a ser estudiada directament i és preferible la formulació d'un model que contingui les variables més rellevants i les relacions més importants entre elles, que es donen en el sistema a estudiar.

### 2.3.1 Tipus de models

Els models es poden classificar com a matemàtics o físics. El model matemàtic usa notacions simbòliques i equacions matemàtiques per a representar el sistema. Els models de simulació són un cas particular de model matemàtic.

Els models de simulació poden classificar-se en estàtics o dinàmics, deterministes o estocàstics, i discrets o continus.

Els models de simulació estàtics mostren el sistema en un moment determinat del temps, i els models de simulació dinàmics mostren el sistema a mesura que evoluciona el temps.

Un model de simulació és determinista, quan no conté variables aleatòries. Donat un conjunt conegut de dades d'entrada, donarà un únic conjunt de valors de sortida. En canvi, si el model presenta una o més variables aleatòries d'entrada, és estocàstic.

Els models discrets i continus es defineixen de manera similar als sistemes, però s'ha de tenir en compte que no sempre s'utilitza un model discret per a modelar un sistema discret ni un model continu per a modelar un sistema continu.

Existeixen molts tipus de models (físics, mentals, simbòlics, etc...), però per ser usats en entorns de simulació per ordinador, és necessari que formalitzin el coneixement del sistema de manera concisa i clara, sense ambigüitats, i que puguin ser processats per un ordinador.

Aquestes característiques determinen l'ús de models simbòlics com a eina per a representar les dinàmiques d'interès de qualsevol sistema en un entorn de simulació. Les entitats del sistema i els seus atributs es representen amb funcions matemàtiques que relacionen les variables.

## 3. Estat de l'art dels principals simuladors de xarxes

Per a la realització del present estat de l'art, s'ha recopilat informació d'algunes de les principals eines que s'utilitzen en l'actualitat per a la simulació de models i aplicacions de xarxes de comunicacions, amb l'objectiu d'avaluar les seves prestacions, avantatges i desavantatges en un entorn virtual.

Seguidament s'analitzen de manera genèrica diversos simuladors de xarxa basant-se en els següents aspectes: Comparació entre diferents tipus de multiplexació temporal (TDM, TDM síncron i TDM asíncron); comparació de commutació de circuits, missatges i paquets, tant en mode datagrama com circuit virtual; Encaminament adaptatiu i no adaptatiu; comparació de cues FIFO, amb prioritat i equitatives (FQ i WFQ); comparació dels mecanismes de control de flux de paquets "leaky-bucket" i "token-bucket"; funcionament del protocol RSVP i finalment simulació de teoria de cues.

### 3.1 The CNET Network Simulator v3.2.1

#### 3.1.1 Característiques generals

Cnet és un simulador de xarxes que possibilita l'experimentació amb diferents protocols del nivell d'enllaç, xarxa i transport i amb diferents topologies, consistents en una combinació d'enllaços punt a punt i segments Ethernet IEEE 802.3 [1].

Permet la simulació prestacional de nodes i punts d'accés de xarxes WLAN (IEEE 802.11) que utilitzen el protocol d'accés al medi CSMA/CA. Va ser dissenyat específicament per a un ús acadèmic i es distribueix sota la llicència GNU (GPL).

El simulador Cnet està desenvolupat entorn al model de referència OSI, permetent l'experimentació i el disseny de les capes intermèdies del model. Els nivells físic i d'aplicació són proporcionats pel propi simulador. Tot i així, l'eina possibilita que programadors experts puguin desenvolupar el seus propis nivells físics i d'aplicació, permetent l'aportació de noves funcionalitats i característiques. La mida de la simulació es pot estendre d'un parell de nodes fins a varis centenars.

Cnet permet l'estudi del direccionament, la detecció de col·lisions i l'encaminament en funció d'un pes de transmissió assignat a cada enllaç de les xarxes, compostes a la seva vegada per varis segments de dades i unides a través de routers.

Presenta una bona interfície gràfica d'usuari. Suporta tant el mode de visualització gràfic, entorn Tcl/Tk<sup>1</sup>, com el mode de visualització ASCII (text).

Cnet defineix una arquitectura de simulació mitjançant dos fitxers, fitxer de topologia i fitxer de protocol.

El fitxer de topologia és un fitxer de text on es descriuen els diferents atributs de cada node, enllaços, així com les diferents connexions entre els nodes de la xarxa. La descripció d'atributs es pot fer de manera particular per a cada node (o enllaç) o de manera general per a tots els elements.

---

<sup>1</sup> Tcl/Tk (Tool Command Language) és un llenguatge d'script creat per John Ousterhout, de fàcil aprenentatge i potent. S'usa principalment en programes ràpids, aplicacions script, entorns gràfics i probes. La combinació de Tcl amb TK (Tool Kit), coneguda com Tcl/Tk, s'utilitza específicament per a la creació d'interfícies gràfiques. Disponible a <http://es.wikipedia.org/wiki/TCL>.

El fitxer de protocol és un fitxer de text de codi ANSCI-C on es descriu el protocol a implementar, utilitzant procediments, funcions i constants proporcionades per Cnet, així com el codi d'usuari en llenguatge C per al desenvolupament de protocols particulars.

Una de les característiques més potents de Cnet radica en l'ús de la programació conduïda per esdeveniments. Cnet informa de que s'ha produït un esdeveniment, aleshores els protocols d'usuari estan organitzats per a reconèixer els esdeveniments esmentats i per a actuar segons les especificacions del protocol.

#### 3.1.2 Requeriments del sistema

<b>Sistemes operatius</b>	<b>Requisits mínims</b>	<b>Requisits Software</b>
Plataformes Linux (kernel 2.x) o Apple Mac-OSX 10.4, 10.5 o 10.6. No corre en MS Windows.	Processador Intel Pentium de 250 Mhz o equivalent, 32 MB de RAM i 100 MB d'espai lliure en el disc.	Tcl/Tk v8.4 o posterior.

Taula 1 – The CNET Network Simulator v3.2.1 – Requeriments del sistema

#### 3.1.3 Interfície gràfica d'usuari

Com s'ha comentat en les característiques generals, Cnet presenta una bona interfície gràfica d'usuari.

En el mode gràfic (Tcl/Tk), Cnet proporciona una representació global de la xarxa, en format gràfic, visualitzant els nodes (host/routers) i enllaços (links), a més de permetre una interacció amb la simulació a través de la interfície gràfica, oferint la possibilitat de modificar diferents atributs dels nodes i/o enllaços, en temps d'execució.

De la mateixa manera, els atributs per defecte de la xarxa poden ser modificats mitjançant la selecció o canvi d'atributs globals, i inclús provocar la reinicialització d'un node, d'una errada de hardware, etc.

#### 3.1.4 Avantatges i desavantatges del sistema

<b>Avantatges</b>	<b>Desavantatges</b>
Es distribueix sota llicència pública GNU (GPL).  possibilita l'experimentació amb diferents protocols del nivell d'enllac, xarxa i transport i amb diferents topologies, consistentes en una combinació d'enllaços punt a punt i segments Ethernet IEEE 802.3.  Presenta una bona interfície gràfica.	No corre en MS Windows  Requereix que els protocols de xarxa siguin implementats amb el llenguatge de programació ANSI-C.

Taula 2 – The CNET Network Simulator v3.2.1 – Avantatges i desavantatges

## 3.2 Kiva Network Simulator v1.1 (KivaNS)

### 3.2.1 Característiques generals

KivaNS és un simulador de xarxes creat pel grup d'automàtica, robòtica i visió artificial de la universitat d'Alacant [2].

Està basat en Java i permet tant l'especificació de diferents esquemes de xarxes de dades com la simulació de l'encaminament de paquets a través d'elles. A més, és possible realitzar l'estudi del funcionament dels protocols auxiliars ARP i ICMP, i emular el funcionament bàsic de tecnologies d'enllaç com Ethernet.

El principal objectiu de l'aplicatiu és servir de recurs en la docència de xarxes de comunicacions.

Està orientat principalment a simular el comportament del protocol IP, i especialment a l'estudi del tractament i encaminament dels datagrames dins l'arquitectura TCP/IP, sense necessitat d'una infraestructura real ni d'eines d'anàlisi de tràfic. Així mateix, és capaç de simular diferents tipus d'errors, com poden ser la pèrdua de paquets o errades en les taules d'encaminament.

Per a treballar amb aquests aspectes, KivaNS permet dissenyar diverses topologies de xarxa a través d'una interfície gràfica, configurar les adreces i les taules d'encaminament de tots els equips que en formen part, i simular l'enviament de paquets d'un equip a un altre.

El programa és multiplataforma, donat que tot el seu entorn ha estat desenvolupat amb el programa de simulació Java. Ofereix a més a més un API<sup>2</sup> que permet usar les funcions de simulació des d'altres aplicacions Java.

### 3.2.2 Requeriments del sistema

Per a instal·lar el simulador de xarxes KivaNS són necessaris els següents requisits mínims:

<b>Sistemes operatius</b>	<b>Requisits mínims</b>
Microsoft Windows i Linux	Processador Intel Pentium de 250 Mhz o equivalent, 32 MB de RAM i 20 MB d'espai lliure en el disc.

Taula 3 – Kiva Network Simulator v1.1 (KivaNS) – Requeriments del sistema

Per a la interfície gràfica es requereix la instal·lació dels següents arxius:

- Els arxius executables de la interfície gràfica versió 1.1 amb l'API de simulació actualitzat. Aquest arxiu ja inclou el paquet JAR amb l'últim API de simulació.
- Fonts de la interfície gràfica versió 1.1 amb l'API de simulació.
- Fonts de l'API de simulació versió 1.1 amb el paquet JAR compilat.

<sup>2</sup> API Application Programming Interface. Interfície de Programació d'Aplicacions.

A més a més, és necessari tenir instal·lada la biblioteca runtime de JAVA (J2SE JRE 1.4.2 o superior), que es pot descarregar de la web de Sun.

Per a executar l'aplicació, cal primer descomprimir els arxius en una carpeta i posteriorment executar l'arxiu ej.bat. El programa disposa d'una ajuda senzilla.

#### 3.2.3 Interfície gràfica d'usuari

La seva interfície gràfica el converteix en un software de fàcil ús i assequible per a la docència, donat que permet visualitzar gràficament les diferents topologies de les xarxes de dades que es poden construir, així com el desplaçament dels paquets IP d'un dispositiu a un altre.

Permet la configuració del direccionament dels equips de la xarxa, l'encaminament de la informació i l'accés a les característiques que ofereix l' API de simulació de manera senzilla i sense necessitat de programar.

#### 3.2.4 Avantatges i desavantatges del sistema

KivaNS és un dels programes més complets a nivell de simulació de xarxes de comunicacions, tot i així no té la mateixa orientació que la majoria de simuladors desenvolupats per a avaluar els paràmetres de càrrega i rendiment de les xarxes. KivaNS s'orienta a l'estudi del protocol IP i les arquitectures TCP/IP.

<b>Avantatges</b>	<b>Desavantatges</b>
<p>El programa es distribueix amb software lliure. És multiplataforma.</p> <p>Permet l'estudi de les xarxes IP, especialment el seguiment i anàlisi del funcionament, enviament, tractament i recepció dels datagrames a través d'arquitectures TCP/IP.</p> <p>La seva orientació acadèmica fa que serveixi de suport per al disseny i comprensió del funcionament de xarxes de dades.</p> <p>Serveix com a complement dels fonaments teòrics d'arquitectures per nivells, protocols d'enllaç i arquitectures TCP/IP</p>	<p>Per a la seva instal·lació és necessari descarregar varis arxius. Cal tenir especial cura en descarregar les versions especificades, donat que altres versions no permetran que es completi la instal·lació correctament.</p> <p>Per al disseny i comprovació de l'encaminament en xarxes de dades a nivell comercial o per a finalitats d'investigació i desenvolupament, és necessari programar en Java.</p>

Taula 4 – Kiva Network Simulator v1.1 (KivaNS) – Avantatges i desavantatges

### 3.3 NCTuns 6.0 Network Simulator/Emulator

#### 3.3.1 Característiques generals

NCTuns va ser dissenyat pel professor Shie-Youn Wang en el 1999 i està basat en el simulador de xarxes Harvard.

Aquesta eina és tant un emulador com un simulador. Per a realitzar les simulacions utilitza el protocol TCP/IP de Linux que es trobi en el mateix equip on s'està executant el programa, d'aquesta manera es generen resultats de simulació d'alta fiabilitat permetent que l'ús de la xarxa simulada, sigui exactament igual a les usades en les xarxes IP del món real [3].

NCTuns utilitza una sintaxi senzilla però molt efectiva per a descriure les diferents topologies, paràmetres i la configuració de la simulació. Aquesta descripció es genera a partir de la interfície gràfica de l'usuari. El programa permet la simulació d'arquitectures de xarxes senzilles, tot i així, el seu major potencial resideix en la simulació de xarxes tant complexes com poden ser xarxes GPRS, xarxes satèl·lits i xarxes òptiques.

El simulador usa una arquitectura distribuïda per a donar suport a les simulacions remotes i a les simulacions concurrents. També fa servir una arquitectura de sistema obert que permet fer modificacions fàcilment en els mòduls de protocol, fet que permet ajustar els paràmetres del protocol en la xarxa i a les capes de transport, amb la finalitat d'obtenir una major precisió en els resultats. Un mòdul de protocol pot realitzar una funció o un protocol específic. Per exemple, tant el protocol de resolució d'adreces (ARP) com una cua FIFO o WFQ seran implementats com un mòdul de protocol.

Entre els tipus de xarxes que es poden simular trobem, xarxes estructurades amb equips fixes, LAN's wireless, xarxes OBS, entre d'altres. La llibreria de dispositius de xarxa està composta per hubs ethernet, switches, routers, hosts, estacions i punts d'accés wireless IEEE 802.11 (b), estacions base GPRS, switchs òptics, etc... I entre els protocols podem trobar IEEE 802.3 CSMA/CD MAC, IEEE 802.11 (b) CSMA/CA MAC, IP, IP mòbil, Diffserv (QoS), Rip, OSPF, UDP, TCP, HTTP, FTP, telnet, etc.

#### 3.3.2 Requeriments del sistema

Per a instal·lar el programa i poder realitzar correctament les simulacions, és necessari que es compleixin uns requeriments mínims a nivell de software i hardware.

<b>Sistema operatiu</b>	<b>Requeriments mínims</b>	<b>Recomanacions</b>
Fedora 12	Processador Pentium d' 1Ghz. 256 MB de RAM i 200 MB d'espai lliure en el disc.	És recomanable utilitzar un processador amb velocitat superior a 1 Ghz i disposar de més de 200 MB d'espai en el disc

Taula 5 – NCTuns 6.0 Network Simulator/Emulator – Requeriments del sistema



A nivell software és important tenir instal·lat un compilador gcc, el sistema X Windows, Gnome o Kde. L'usuari ha de tenir els privilegis d'administrador o root.

#### 3.3.3 Interfície gràfica d'usuari

NCTUns proveeix una interfície gràfica d'usuari totalment integrada, en la qual l'usuari dissenya i edita la topologia de la xarxa, configura els mòduls de protocols que governaran cada node de la xarxa, assigna valors i defineix paràmetres específics de cada dispositiu.

La interfície gràfica d'usuari està composta principalment per quatre components:

- El primer component és l'editor de la topologia. Permet d'una manera còmoda i intuïtiva estructurar la topologia de xarxa, especificar els paràmetres dels dispositius de xarxa i els protocols. També especifica les aplicacions que seran executades durant la simulació per a generar el tràfic.
- El segon component és la pantalla d'execució (performance monitor). Mostra les gràfiques de manera senzilla, l' utilització d'un enllaç, les pèrdues que es produeixen, etc.
- El tercer component és el Packet animation player. Amb aquest component es pot observar el camí que prenen les dades a través de la xarxa. També permet simular el tràfic en xarxes wireless. És molt útil per a poder observar el comportament d'un determinat protocol.
- L' últim component és l' editor de nodes. En el simulador NTCuns un node representa un dispositiu de xarxa. L'editor de nodes proporciona un entorn propici per a una configuració flexible dels diferents mòduls de protocols que s'usen dins d'un node de xarxa.

L'editor de nodes proporciona a l'usuari la possibilitat de provar fàcilment la funcionalitat i l'execució d'un nou protocol que ha estat dissenyat amb una finalitat concreta.

#### 3.3.4 Avantatges i desavantatges del sistema

NCTUns posseeix una gran quantitat d'avantatges respecte altres simuladors de xarxa existents actualment. A continuació es detallen algunes d'aquestes característiques i també algunes dificultats que es presenten al treballar amb aquest software.

<b>Avantatges</b>	<b>Desavantatges</b>
<p>És un software lliure, amb distribució de codi obert.</p> <p>Utilitza directament el conjunt de protocols TCP/IP de Linux, generant així resultats de simulació d'alta fiabilitat i permetent que la configuració i l'ús de la xarxa simulada sigui exactament igual a les usades en les xarxes IP del món real.</p> <p>Pot ser utilitzat com emulador, permetent que un equip extern connectat a una xarxa del món real pugui intercanviar paquets amb nodes de la xarxa simulada en NCTuns.</p> <p>Pot utilitzar qualsevol aplicació de UNIX existent, així com les propies eines de configuració i monitoratge.</p> <p>Pot simular una gran varietat de dispositius de xarxa, com: hubs, switches, enrutadors, estacions mòbils, punts d'accés de WLAN's, telèfons GPRS, etc, així com obstacles per a senyals inalàmbrics. Ofereix alta velocitat de simulació.</p> <p>Simula varis protocols de xarxa, com: IEEE 802.3, IEEE 802.11, IP, IP Mobile, Diffserv, RIP, OSPF, UDP, TCP, RTP/RTCP, SDP, FTP, etc.</p>	<p>Existeix poca informació sobre el funcionament i configuració del software, fet que implica una major dificultat d'aprenentatge.</p> <p>El servei de suport proporcionat pels autors del projecte NCTuns no és gaire bo.</p>

Taula 6 – NCTuns 6.0 Network Simulator/Emulator – Avantatges i desavantatges

## 3.4 Network Simulator 2 (ns-2)

### 3.4.1 Característiques generals

NS és un simulador de xarxes i esdeveniments discrets usat principalment en ambients acadèmics, donat que permet simular senzilles xarxes que ajuden a comprendre el funcionament de distints protocols permetent l'observació de l'enviament de paquets entre nodes, i extensament per la comunitat de recerca en l'àmbit de xarxes telemàtiques [4].

NS va començar com una variant del REAL network simulator en el 1989 i ha evolucionat substancialment durant els últims anys. Es va desenvolupar en base a dos llenguatges de programació: un d'ells és un simulador escrit en C++ i l'altre és una extensió de Tcl orientada a objectes, per a la configuració i definició de l'escenari, executat entorn l'interpret de comandes.

La seva versió més actual s'anomena NS-3 v3.4. NS-3 és un simulador de xarxes molt complet però encara massa nou per a implementar funcions concretes. Caldrà esperar a futures actualitzacions per a poder realitzar simulacions més complexes de manera realista. Per aquest motius' aprofundeix en la seva anterior versió NS-2.

NS-2 disposa d'un suport substancial per a la simulació de transport i protocols de sessió, algoritmes d'encaminament unicast i multicast, i diversos protocols a nivell d'aplicació. Maneja topologies arbitràries, compostes per routers i enllaços.

Permet definir xarxes terrestres, inalàmbriques i satèl·lits amb varis algoritmes d'encaminament (DV, LS, PIM-DM, PIM-SM, AODV, DSR).

Possibilita la definició de diferents fonts de tràfic (Web, ftp, telnet, cbr ,etc...), així com l'especificació d'errades vàries, com poden ser pèrdues probabilístiques i deterministes, errades en la connexió, etc...

Permet precisar distintes disciplines de cues (drop-tail, RED, FQ, SFQ, DRR, etc...) i establir una determinada QoS (qualitat de servei, com per exemple IntServ y Diffserv).

Per a definir una simulació s'utilitza un llenguatge d'script anomenat Tcl orientat a objectes, que permetrà definir el diferents elements d'una xarxa i el seu comportament.

NS-2 disposa d'una interfície gràfica anomenada nam (network animator). Nam permet la visualització del comportament dels terminals de la xarxa, el flux de paquets, el seu encuament i possible descart, el comportament del protocol (inici lent de TCP, control de congestió, retransmissió ràpida i recuperació), el moviment de nodes en xarxes inalàmbriques, notes dels esdeveniments més importants, estats del protocol, etc. És possible extreure mètriques quantitatives com a resultat de les simulacions.

Nam disposa també d'un editor gràfic, que possibilitarà el fet de no haver d'utilitzar Tcl per a crear les animacions. És possible crear la topologia de xarxa i simular varis protocols i fonts de tràfic mitjançant l'ús del ratolí.

#### 3.4.2 Requeriments del sistema

NS-2 és un paquet compost per un conjunt de components requerits i uns altres d' opcionals. Aquest paquet conté un script d'instal·lació per a configurar, compilar i instal·lar aquests components. Per a instal·lar el software és necessari complir amb les següents especificacions:

<b>Sistema Operatiu</b>	<b>Requisits mínims Hardware</b>	<b>Requisits Software</b>
Plataformes Unix (Free BSD, Linux, SunOS, Solaris).	Processador Pentium II de 200 Mhz o equivalent, 32 MB de memòria RAM i un mínim de 320MB d'espai lliure en el disc.	Per a plataformes tipus UNIX Tcl release 8.4.14, Tk release 8.4.14, Otcl release 1.13, TclCL release 1.19, Ns release 2.34. Altres components opcionals: Nam release 1.14, Xgraph versió 12.1, tcl-debug versió 1.7, dmalloc versió 4.8.0, sgb2ns conversion program, tiers2n conversion program, cweb source code, sgb source code.
Plataformes Windows a partir de la versió 2000.		

Taula 7 – Network Simulator 2 (ns-2) – Requeriments del sistema

### 3.4.3 Interfície gràfica d'usuari

NS-2 té un editor de topologia per codi, amb el qual es dissenyen i es configuren les xarxes, els protocols i les aplicacions de xarxa que es desitgen simular. Compta també amb una eina anomenada simulador de xarxa automatitzat (Automated Network Simulator). Aquest assistent carrega automàticament les tasques executades amb més freqüència en els dispositius de la xarxa.

### 3.4.4 Avantatges i desavantatges del sistema

<b>Avantatges</b>	<b>Desavantatges</b>
NS-2 conté mòduls que cobreixen un extens grup d'aplicacions, protocols d'encaminament, transport, diferents tipus d'enllaços, estratègies i mecanismes d'encaminament, entre d'altres. Alguns d'aquests són: http, TcpApp, telnet, CBR (Constant Bit Rate), TCP, RTP, algoritmes d'encaminament, encaminament jeràrquic i encaminament manual.	L' esquema que duu a terme per a l' implementació de les seves simulacions (basat en scripts senzills), complica el fet d'afegir nous components, incrementa la corba d'aprenentatge i fa que el debug sigui prou complicat.
Degut a que és una de les eines més antigues de simulació, NS s'ha convertit en un estàndard en la seva àrea. Aquest fet ha comportat que sigui àmpliament utilitzat i que sigui possible trobar a un gran nombre d'ajudes i projectes realitzats a Internet.	NS-2 pot arribar a manejar uns quants milers d'elements en una xarxa simulada, tot i que no és pràctic treballar amb xarxes gaire grans; consumeix massa memòria i no és suficientment ràpid.

Taula 8 – Network Simulator 2 (ns-2) – Avantatges i desavantatges

## 3.5 OMNeT++ v3.2

### 3.5.1 Característiques generals

OMNeT++ és un simulador de xarxes genèric basat en esdeveniments discrets. Aquest simulador va ser creat per András Vargas en la Universitat de Tecnologia i Ciències Econòmiques de Budapest en el 2003 [5].

OMNeT++ és una eina eficient, enfocada a l'àrea acadèmica i desenvolupada per modelar esdeveniments discrets en xarxes de comunicacions, tot i que és possible simular processos d'altres tipus d'àrees.

Són moltes les aplicacions a les que s'ha destinat aquest simulador, entre les que destaquen, modelat del tràfic en xarxes de telecomunicacions, modelat de protocols, estudi de sistemes basats en cues, avaluació de sistemes multiprocesador i programació distribuïda, validació d'arquitectures hardware, avaluació del rendiment en sistemes software, etc.

El funcionament d' OMNeT++ es basa en els anomenats mòduls simples. Els mòduls simples són els components bàsics de que disposa OMNeT ++ per a modelar sistemes. Exemples d'aquests tipus de mòduls podrien ser els generadors de tràfic, els nodes d'una xarxa, els routers, els controladors d'accés a la xarxa, etc [6].

Habitualment els sistemes a simular no comprenen únicament mòduls simples, sinó que estan formats per mòduls compostos. Aquesta estructura modular fa d' OMNeT++ un simulador fàcilment ampliable i reconfigurable, ja que els mòduls implementats poden ser augmentats i reutilitzats en futurs dissenys.

Els mòduls utilitzats es comuniquen entre si mitjançant missatges. Aquestes estructures permeten el intercanvi d'informació entre mòduls a tots les nivells. D'aquesta manera, els esdeveniments, paquets, trames, cel·les, bits i en definitiva qualsevol senyalització que travessi la xarxa es modela mitjançant un missatge.

Els mòduls i missatges empleats per OMNeT++ estan escrits en C++.

OMNeT++ utilitza un llenguatge de definició de xarxa amb l'objectiu de facilitar-ne la descripció. Aquest llenguatge d'alt nivell, anomenat NED, estableix la topologia de xarxa, indicant els mòduls que componen la xarxa, com s' interconnecten entre ells, els missatges que s'utilitzen en les comunicacions, etc.

Els mòduls i fitxers NED proporcionen a OMNeT++ capacitats sobrades per a dur a terme simulacions complexes. Tot i així, no proporcionen mecanismes per a visualitzar els resultats obtinguts. Per a tal finalitat, OMNeT++ introdueix la selecció d' interfícies gràfiques. Aquestes interfícies tenen com objectiu mostrar la topologia de xarxa simulada, així com dotar a l' usuari del simulador d' entorn en el que avaluar en temps real els resultats proporcionats pel simulador. OMNeT++ permet l' ús de múltiples interfícies

OMNeT és un paquets software disponible per a la majoria de sistemes operatius (Windows, Unix i Linux). Aquest fet assegura la portabilitat dels models utilitzats, facilitant la distribució i reutilització dels mateixos en diferents sistemes. Aquest fet, juntament a la

gratuïtat<sup>3</sup> del seu ús, fa d'aquest simulador una eina molt útil per al modelat de sistemes de telecomunicacions.

#### 3.5.2 Requeriments del sistema

<b>Sistemes operatius</b>	<b>Requisits mínims</b>
Plataformes tipus Unix, i Microsoft Windows.	Processador Pentium de 300 Mhz o equivalent, 64 MB de RAM i 50 MB d'espai lliure en el disc.

Taula 9 – OMNeT++ v3.2 – Requeriments del sistema

#### 3.5.3 Interfície gràfica d'usuari

Les simulacions en OMNeT++ poden utilitzar varies interfícies d'usuari en funció del propòsit. La interfície més avançada permet visualitzar el model, controlar l'execució de la simulació i canviar variables/objectes del model. Aquest fet facilita la demostració del funcionament d'un model. Per a l' interfície d'usuari, es poden utilitzar dos tipus d'arxius executables

- Interfície gràfica d'usuari, útil per a comprendre els processos i configuracions que s'apliquen a les xarxes. A aquesta interfície gràfica s'hi accedeix amb l'editor GNED. Aquest editor és l'eina que simplifica el desenvolupament de les simulacions amb OMNeT++, ja que permet treballar-hi sense necessitat de programar.
- Interfície de consola. OMNeT++ conté unes classes programades en C++, dissenyades per a recollir i mostrar dades estadístiques dels resultats de la simulació.

#### 3.5.4 Avantatges i desavantatges del sistema

OMNeT++ proveeix un ampli panorama per a la realització de simulacions. A continuació queden resumides algunes d'elles principals avantatges i desavantatges que presenta aquest simulador.

<b>Avantatges</b>	<b>Desavantatges</b>
OMNeT++ és gratuït únicament per a propòsits acadèmics, fet que facilita la seva utilització en universitats i grups d'investigació.	Per a finalitats d'investigació i desenvolupament, és necessari saber programar en llenguatge NED, donat que la feina amb l'editor gràfic, és més rígida.
És multiplataforma.	A causa de ser un software d'aplicació en àrees comercials i per a efectes d'investigació i desenvolupament, el seu ús té un elevat grau de complexitat.
Gràcies a la seva programació per mòduls, es possible simular processos paral·lels i distribuïts, els quals poden utilitzar varis mecanismes per a comunicar-se entre si.	

Taula 10 – OMNeT++ v3.2 – Avantatges i desavantatges

<sup>3</sup> L'ús d' OMNeT++ és gratuït sempre que no es destini a finalitats comercials. Per a tal cas, existeix una llicència específica que en regula la seva utilització. Existeix un simulador derivat dd' OMNeT++, anomenat OMNEST, que gaudeix de suport i l'utilització del qual queda restringida a finslitats comercials.

## 3.6 OPNET IT Guru Academic Edition 9.1

### 3.6.1 Característiques generals

OPNET IT Guru proporciona un entorn virtual de xarxa que modela el comportament de tot tipus de xarxes, incloent-hi els elements que en formen part com són, passarel·les (routers), commutadors (switches), concentradors, protocols, servidors, etc... fins a les aplicacions que corren en les estacions de treball connectades [7].

Aquest entorn de treball és de gran utilitat per als responsables d' informàtica i I+D, dissenyadors de xarxes, administradors, operadors i personal de manteniment de xarxa, ja que permet:

Diagnosticar el funcionament i els problemes de configuració:

- Visualitzar la xarxa, fluxos de tràfic i transaccions d'aplicacions.
- Detectar errors de configuració d'ajust de xarxa.
- Detectar la causa i l'origen d'un funcionament pobre d'un servidor, client, xarxa, etc.

Validar canvis en la xarxa abans d'implementar-los i preveure el comportament de la xarxa davant de futurs escenaris, com ara creixement de transit, fallades de xarxa, etc.

- Milliores de capacitat.
- Milliores dels protocols.
- Validar polítiques de QoS.

Definir un pla per al creixement:

- Establir pressupostos justificats quantitativament.
- Milliores en el pla de creixement de tràfic o noves instal·lacions.
- Optimització en l'ús de noves tecnologies.

OPNET IT Guru Utilitza una estructura jeràrquica per a la construcció dels models. Cada nivell de jerarquia descriu diferents aspectes del model a simular. Els models utilitzats en una capa poden ser usats per un altre model en una capa mes alta.

La major part de les característiques i eines estan incloses en la llibreria de models estàndards de la distribució. Determinades característiques i mòduls s'han d'adquirir apart i tenen un cost econòmic.

Disposa d'un motor de simulació amb la possibilitat de modificar l'ús de la memòria durant la simulació. La simulació es pot dur a terme en un espai de temps relativament curt.

Disposa d'una detallada llibreria de models que dona suport als protocols i tecnologies existents.

Permet la generació automàtica de la simulació al compilar els models en codi executable.

Permet la depuració de l'execució de la simulació generant dades de sortida.

#### 3.6.2 Requeriments del sistema

<b>Sistemes operatius</b>	<b>Requisits mínims</b>
Plataforma : Windows NT 4.0 (Service Pack 3, 5 o 6a), Windows 2000 (Service Pack 1, 2 i 4) o Windows XP (Service Pack 1 o 2).	<p>Processador Intel Pentium III, 4 o compatible de 500 Mhz o més, 256 MB de RAM i 200 MB d'espai lliure en el disc per a la versió acadèmica.</p> <p>Per a la versió comercial depèn dels mòduls adquirits, però un mínim de 500 MB.</p> <p>Pantalla: 1024 x 768 o major resolució, 256 colors o més.</p>

Taula 11 – OPNET IT Guru Academic Edition 9.1 – Requeriments del sistema

#### 3.6.3 Interfície gràfica d'usuari

OPNET IT Guru disposa d'un entorn gràfic de qualitat que incorpora diferents eines accessibles des de l'editor de projectes.

D'es de l'editor gràfic es du a terme tot el cicle de modelització i simulació, a través de les fases de disseny, construcció i simulació.

L'editor de Projectes és el principal escenari per a crear una simulació de xarxa de comunicacions. A partir d'aquest editor es pot construir un model de xarxa (utilitzant models de la llibreria estàndard), seleccionar les estadístiques a recollir, executar la simulació i veure els resultats.

Aquestes eines permeten especificar els models amb molt de detall, identificar els elements, executar la simulació i analitzar les dades de sortida.



#### 3.6.4 Avantatges i desavantatges del sistema

<b>Avantatges</b>	<b>Desavantatges</b>
Per a la completa instal·lació i correcte funcionament, les eines necessàries estan integrades en la distribució. La distribució inclou topologies, dispositius i tecnologies predefinides.	És de llicència privada acadèmica facilitada únicament per OPNET prèvia sol·licitud.
No es necessiten coneixements de cap llenguatge de programació	La distribució acadèmica no està limitada en quant a característiques però sí en les llibreries de models i en els mòduls.
En quant a la configuració de la simulació, permet la recollida de diferents estadístiques individuals de cada node o globals.	Les característiques d'animació, de seguiment de paquets, de disseny de protocols i de generació de documentació formen part de mòduls integrables (amb un cost econòmic).
Per a executar les simulacions, es disposa de diferents opcions, incloent l'execució en segon pla, configurables i parametritzables.	L'edició comercial disposa d'una llibreria estàndard que integra la majoria de tècniques i protocols. Les llibreries dels models de mobilitat, cel·lulars i satèl·lit s'han d'adquirir apart (amb un cost econòmic).
En referència a la visualització de la simulació, permet parametritzar el temps de durada, diferents valors, intervals i habilitar o deshabilitar atributs.	L'edició acadèmica, que és bastant limitada, disposa de models d'algunes de les tècniques i protocols per a xarxes amb i sense fils.
L'anàlisi de resultats disposa de diferents diagrames (barres, histogrames, etc.). Permet la importació/exportació en diversos formats.	

Taula 12 – OPNET IT Guru Academic Edition 9.1 – Avantatges i desavantatges

### 3.7 SimuRed v2.1

#### 3.7.1 Característiques generals

SimuRed és un simulador senzill de xarxes de multicomputadors interactiu i visual. Fou desenvolupat en el 2005 per Fernando Pardo (Departament d' Informàtica, ETSE, Universitat de València) en C++. Posteriorment Oscar Bayo (Universitat de València) en va realitzar una versió paral·lela en Java, JSimuRed. Addicionalment existeix una versió no visual (per línia de comandes) [8].

L' objectiu de SimuRed és únicament la simulació de xarxes de multicomputadors en les capes de topologia, commutació i encaminament. No ofereix la possibilitat de simular capes superiors degut a que en complica l' ús i el que es pretén amb aquest simulador és tenir una eina fàcil d'utilitzar però potent al mateix temps.

El simulador és de lliure distribució. L' objectiu d'aquest és sobretot acadèmic, però permet introduir-se en la investigació de les xarxes multicomputadors.

SimuRed es pot executar tant en mode interactiu, com en segon pla (batch), de manera que permet veure el moviment dels paquets en la xarxa, així com simulacions més complexes. Existeixen versions per a Windows i Linux. Existeix a més a més una versió multiplataforma per a Java.

La topologia implementada en el simulador és sempre una xarxa estrictament ortogonal. Sobre aquesta xarxa base permet la implementació d'altres topologies, incloent-hi restriccions d'encaminament en la pròpia funció d'encaminament.

El mecanisme del control de flux és el Wormhole<sup>4</sup>, tot i que en properes versions es podrà disposar d'altres mecanismes de commutació segmentada. Mecanismes com la commutació de circuits no són fàcilment implementables en el simulador, tot i així, la resta sí.

Disposa de varies funcions d'encaminament, deterministes, adaptatives, amb bloquejos, etc. La implementació de noves funcions és relativament simple.

Permet modificar el nombre de canals virtuals de la xarxa. Es pot decidir si aquests canals són físics o virtuals. També es poden definir unidireccionals o bidireccionals.

Permet modificar la longitud de les cues FIFO i el no avançament. Així mateix permet especificar els retards en elles, els retards de commutació i els retards dels canals.

És possible modificar la longitud dels paquets i els de les seves capçaleres. És poden generar paquets de prova.

La simulació pot ser interactiva. En aquest mode es mostren les dues primeres dimensions de la xarxa amb les seves cues i canals, de manera que permet veure l'evolució dels paquets per la xarxa. És possible especificar un temps entre cicles per poder veure el moviment més o menys ràpid, així com parar la simulació i veure l'evolució pas a pas.

En la simulació no interactiva es realitza una simulació amb els paràmetres que s'hagin especificat.

La simulació també es pot realitzar de manera múltiple per a poder obtenir resultats en funció de la variació d'un o dos paràmetres. Els resultats es poden guardar en un fitxer en format de text (csv) que pot ser llegit directament per qualsevol fulla de càlcul.

El simulador possibilita la visualització gràfica dels resultats de la simulació a partir de la lectura del fitxer csv generat.

#### 3.7.2 Requeriments del sistema

<b>Sistemes operatius</b>	<b>Requisits mínims</b>
Plataformes tipus Unix, Microsoft Windows, Linux. Versió Java multiplataforma.	Processador Intel Pentium de 250 Mhz o equivalent, 32 MB de RAM i 50 MB d'espai lliure en el disc.

Taula 13 – SimuRed v2.1 – Requeriments del sistema

<sup>4</sup> El missatge es descompost en peces petites (flits), que avancen pel camí de manera segmentada. Quan el flit capçalera es bloqueja, la resta de paquets es bloquegen també al llarg del camí establert. En l'actualitat un dels més usats.

#### 3.7.3 Interfície gràfica d'usuari

SimuRed és un simulador de xarxes de computadors visual i interactiu. Les seves capacitats gràfiques i interactives el fan especialment indicat per a propòsits acadèmics.

Una de les característiques més interessants del simulador, especialment des del punt de vista acadèmic, és la possibilitat d'observar l'estat de la xarxa en qualsevol instant i fixar-se en el moviment dels paquets.

Adicionalment la interfície visual permet generar gràfiques a partir dels resultats de la simulació.

La interfície gràfica d'usuari funciona en Windows i Linux, tot i que la versió de Linux pot donar errades donat que no és la plataforma sota la qual s'ha desenvolupat l'eina.

#### 3.7.4 Avantatges i desavantatges del sistema

<b>Avantatges</b>	<b>Desavantatges</b>
És gratuït i disposa de fonts en Borland C++ i Java.	La versió de SimuRed visual per a Linux i la versió per a la línia de comandes, no són del tot estables, donat que no són les plataformes sota les quals s'ha desenvolupat el simulador.
És senzill d'utilitzar oferint una interfície visual i interactiva.	
L'objectiu del programa és únicament la simulació de xarxes multicomputadors en les capes de topologia, commutació i encaminament. Ofereix una eina específica, fàcil d'utilitzar i potent a la mateixa vegada.	Per a la versió visual per a Linux és necessari tenir instal·lat la llibreria Qt de Trolltech. Tot i així pot donar problemes de funcionament perquè és possible que Borland C++ utilitzi la seva pròpia adaptació de Qt.

Taula 14 – SimuRed v2.1 – Avantatges i desavantatges

### 3.8 Comparativa entre els diferents simuladors

La següent taula vol ser un resum comparatiu de les característiques principals de cadascun dels simuladors de xarxes de comunicacions tractats anteriorment.

En primer lloc és compara l'orientació del simulador i se'n mira el camp o sector d'ús. En segon lloc el tipus de llicència requerida per a la seva utilització. Posteriorment es confronten els requeriments del sistema, tant a nivell software com hardware necessaris per al seu correcte funcionament, els protocols i tecnologies suportats per cadascun d'ells, per a finalitzar amb un resum de les característiques generals de tots ells.

### 3. Estat de l'art dels principals simuladors de xarxes

	Orientació i sector d'ús	Tipus de llicència	Requeriments del sistema	Protocols i tecnologies	Característiques generals
Cnet v3.2.1	Software orientat a l'estudi, investigació i desenvolupament de xarxes WAN, LAN, WLAN.  Dissenyat específicament per a ús acadèmic	Distribució sota llicència GNU (GPL).	Plataformes Linux (kernel 2.x) o Apple Mac-OSX 10.4, 10.5 o 10.6. No corre en MS Windows.  Processador Intel Pentium de 250 Mhz o equivalent, 32 MB de RAM i 100 MB d'espai lliure en el disc.	Protocols de les capes d'enllaç, xarxa i transport i d'altres creats per l'usuari.	Simulador de xarxes que permet experimentar amb diferents protocols del nivell d'enllaç, xarxa i transport i amb diferents topologies, consistents en combinacions d'enllaços punt a punt i segments Ethernet IEEE 802.3.
KivaNS v1.1	Software orientat a l'estudi del protocol IP i xarxes amb arquitectura TCP/IP.  S'utilitza en el camp de l'ensenyament.	Software lliure.	Plataformes MS Windows i Linux.  Processador Intel Pentium de 250 Mhz o equivalent, 32 MB de RAM i 20 MB d'espai lliure en el disc.	IP, TCP/IP i altres especificats per l'usuari.	Simulador de xarxes basat en Java que permet especificar diferents esquemes de xarxes de dades i simular l'encaminament de paquets a través d'elles.
NCTuns 6.0	Software orientat a l'estudi, investigació i desenvolupament de xarxes.  S'utilitza en el camp de l'ensenyament.	Software lliure.	Fedora 12.  Processador Pentium d' 1Ghz. 256 MB de RAM i 200 MB d'espai lliure en el disc.	IEEE 802.3 CSMA/CD MAC, IEEE 802.11 (b) CSMA/CA MAC, IP, IP mòbil, Diffserv (QoS), Rip, OSPF, UDP, TCP, HTTP, FTP, telnet, etc.	Simulador i emulador de xarxes i sistemes de comunicacions avançat. Permet diagnosticar l'execució de protocols i aplicacions en diferents tipus de xarxes. Genera resultats de simulació d'alta fidelitat.
NS-2	Software orientat a simular esdeveniments discrets.  Dissenyat expressament per a l'àrea de la investigació de les xarxes telemàtiques i el camp de l'ensenyament.	Software lliure.	Plataformes Unix (Free BSD, Linux, SunOS, Solaris).  Plataformes MS Windows a partir de la versió 2000.  Processador Pentium II de 200 Mhz o equivalent, 32 MB de memòria RAM i un mínim de 320MB d'espai lliure en el disc.	Http, FTP, TcpApp, telnet, CBR (Constant Bit Rate), TCP, UDP, RTP, SRM, entre d'altres.	És una eina amb un ampli rang d'ús. Suporta gran quantitat de protocols de les capes d'aplicació i transport, a més d'altres utilitzats per a l'encaminament de les dades. Permet simular xarxes cablejades, no cablejades, via satèl·lit, i aplicacions a grans xarxes amb topologies complexes i varis generadors de tràfic.

### 3. Estat de l'art dels principals simuladors de xarxes

OMNeT++ v3.2	Software orientat a simular objectes i modular esdeveniments discrets en xarxes de comunicacions.  Enfocada a l'àrea acadèmica	Software lliure únicament per a propòsits acadèmics	Plataformes Unix i MS Windows  Processador Pentium de 300 Mhz o equivalent, 64 MB de RAM i 50 MB d'espai lliure en el disc.	Protocols creats per l'usuari.	És una eina eficient, que pot ser utilitzada per a modelar el tràfic en xarxes de telecomunicacions, els protocols de xarxa, l'estudi de sistemes basats en cues, avaluació de sistemes multiprocesador i programació distribuïda, validació d'arquitectures hardware i avaluació del rendiment en sistemes complexos.
Opnet IT Guru A E 9.1	Software orientat a simular objectes.  Pot ser utilitzat en diferents àrees com l'acadèmica, comercial i el camp d'investigació.	Llicència privada acadèmica facilitada únicament per OPNET prèvia sol·licitud.	Plataformes Windows NT 4.0 (Service Pack 3, 5 o 6a), Windows 2000 (Service Pack 1, 2 i 4) o Windows XP (Service Pack 1 o 2).  Processador Intel Pentium III, 4 o compatible de 500 Mhz o més, 256 MB de RAM i 200 MB d'espai lliure en el disc per a la versió acadèmica.	Http, FTP, TCP, IP, OSPF, BGP, RIP, RSVP, Frame Relay, FDDI, Ethernet, ATM, IP Multicast, entre d'altres.	Permet dissenyar i estudiar el comportament de tot tipus de xarxes, incloent-hi els elements que en formen part com són, passarel·les (routers), commutadors (switches), concentradors, protocols, servidors, etc... fins a les aplicacions que corren en les estacions de treball connectades.  Està basat en la teoria de xarxes de cues i incorpora les llibreries per a facilitar el modelat de les topologies de xarxes.
SimuRed v2.1	Software orientat únicament a la simulació de xarxes de multicomputadors en les capes de topologia, commutació i encaminament.  Objectiu acadèmic, tot i que permet introduir-se en la investigació de les xarxes multicomputadors	Software lliure.	Plataformes tipus Unix, Microsoft Windows i Linux. Versió Java multiplataforma.  Processador Intel Pentium de 250 Mhz o equivalent, 32 MB de RAM i 50 MB d'espai lliure en el disc.	IP, TCP, UDP, OSPF, BGP, Telnet...	Simula l'enviament de paquets a través d'una xarxa presentant estadístiques de temps consumits, bloquejos produïts, etc... Permet configurar la xarxa i el procés d'enviament dels paquets. El simulador és completament visual. Permet veure l'evolució dels paquets a través de la xarxa.  Existeix una versió en línia de comandes, que al no ser visual, tant sols mostra els resultats estadístics.

Taula 15 – Comparativa entre els diferents simuladors

## 3.9 Conclusions

En el present capítol, s'ha intentat donar una visió general dels principals simuladors de xarxes de comunicacions usats en l'actualitat, incloent en la mesura del possible simuladors que no requereixen cap llicència i de fàcil maneig, amb una doble finalitat:

En primera instància, a partir de l'anàlisi de diferents eines de simulació de xarxes, ser capaços de determinar els avantatges i inconvenients de l'ús d'aquest programari en un entorn virtual, així com determinar-ne l'efectivitat dels mateixos per a recrear de manera suficientment aproximada els processos que es realitzen en les xarxes reals, essent de gran importància poder comptar amb resultats fiables generats a partir de processos de simulació.

En segon lloc, disposar de recursos suficients per a poder seleccionar l'eina de simulació que més s'adeqüi als requeriments plantejats en cada entorn virtual.

## 4.- Elecció del simulador

Fent un breu anàlisi dels simuladors citats anteriorment i en base a les conclusions extretes de la comparativa realitzada entre els diferents softwares en l'estat de l'art de la present memòria, el software escollit és OPNET IT Guru Academic Edition 9.1.

OPNET IT Guru Academic Edition està basat en la versió comercial 9.1 d' IT Guru. L' última versió disponible és la 9.1.A PL1 (Build 1999), i està datada a 12 de maig 2010.

El motiu de l'elecció radica principalment en la possibilitat que ofereix OPNET IT Guru Academic Edition per a estudiar l'efecte de diferents planificadors, cues FIFO, amb prioritat i equitatives (FQ, WFQ), en la transmissió de paquets per a diferents serveis. Partint d' un escenari plantejat, és possible la implementació d'aquets planificadors o disciplines de servei que governin com s'emmagatzemen els paquets en cada router mentre esperen a ser transmesos. L' encuament d' un paquet en un determinat planificador pot afectar tant a la taxa de transmissió dels paquets com al retard que pot patir dintre d'una cua. D'aquesta manera, amb el simulador escollit, podrem analitzar com l'elecció de la disciplina de servei en els routers pot afectar al rendiment de les aplicacions, tot fent una comparativa entre les tres disciplines de cues.

A més a més, OPNET IT Guru Academic Edition permet estudiar l'efecte de l' ús del Protocol de Reserva de Recursos (RSVP) com a part de l'enfocament dels serveis integrats IntServ per a proporcionar qualitat de servei (QoS) a les sol·licituds individuals o als fluxos de dades. Així, amb el simulador escollit, podrem analitzar com el protocol RSVP contribueix al rendiment de les aplicacions que l' utilitzen.

Altres punts importants a considerar és que es tracta d' una eina àmpliament difosa en l'àmbit acadèmic a nivell mundial. No són necessaris coneixements de cap llenguatge de programació específic i és la pròpia distribució d' OPNET IT Guru Academic Edition que inclou topologies, dispositius i tecnologies predefinides.

Pel que respecta a la interfície gràfica per a la construcció dels models, disposa de taules de dispositius, tecnologies i protocols es poden afegir a l'escenari mitjançant "drag&drop". Així mateix permet copiar i arrossegar dispositius i grups sencers de dispositius a altres escenaris oberts. Permet una visió sencera de la xarxa. Tots els nodes i enllaços es poden clicar per veure'n les seves propietats i editar-les.

A nivell de configuració de la simulació, permet la recol·lecció de diferents estadístiques individuals de cada node o globals. Per a executar les simulacions, es disposa de diferents opcions, incloent l'execució en segon plà, configurables i parametritzables. Per a parametritzar la simulació, és possible determinar-ne el temps de la durada, valors, intervals i habilitar o deshabilitar atributs.

En referència a l'anàlisi de resultats destaca la possibilitat de poder expandir la xarxa i comparar-ne els resultats de la primera simulació amb la segona simulació expandida. D'aquesta manera es poden fer les comparacions necessàries pertinents tant per a determinar-ne la solució més òptima com per a identificar-hi problemes. Per a la visualització dels resultats disposa de diferents diagrames (barres, histogrames, etc.). Esmentar també que permet importació i exportació d'arxius en diversos formats.

Per acabar, mencionar tant les actualitzacions del software com la quantitat de recursos disponibles, manuals, faqs, related papers, notícies, projectes d'universitats, publicacions, comunitat d'usuaris etc... facilitats per la website d' OPNET IT Guru Academic Edition [7].

## 4.1 OPNET IT Guru Academic Edition 9.1

### 4.1.1 Sobre OPNET IT Guru Academic Edition 9.1

OPNET IT Guru Academic Edition proporciona un entorn virtual de xarxa que modela el comportament de tot tipus de xarxes, incloent-hi els elements que en formen part com són, passarel·les (routers), commutadors (switches), concentradors, protocols, servidors, etc... fins a les aplicacions que corren en les estacions de treball connectades.

La present versió acadèmica d' OPNET (Build 1999) està basada en la versió comercial d' IT Guru 9.1. Es pot descarregar de la website d' Opnet [7] i usar gratuïtament, tot i que amb unes determinades restriccions de llicència. Aquesta actualització també és necessària per a totes aquelles instal·lacions d' OPNET IT Guru Academic Edition anteriors al 3 de juny 2010. En aquests casos però, no caldrà una nova llicència de software per al seu correcte funcionament, donat que la nova versió del software és compatible amb la llicència ja existent.

La llicència de software per a aquesta versió d' OPNET està limitada a 6 mesos, però es pot renovar gratuïtament.

La major part de les característiques i eines estan incloses en la llibreria de models estàndards de la distribució, tot i que determinades característiques i mòduls s'han d'adquirir apart amb un cost econòmic.

L'actual versió d' OPNET, presenta el mòdul ACE (Application Characterization Environment), "Aplicació per a la caracterització de l'entorn ", així com mòduls Wireless integrats, tot i que presenten algunes limitacions d' ús.

### 4.1.2 Limitacions del simulador

Tot i que la major part de les característiques i eines estan incloses en la llibreria de models estàndards de la present versió acadèmica d' OPNET, bé és cert que el simulador presenta una sèrie de limitacions:

- Limitacions d'importació: No permet importar escenaris que hagin estat creats amb qualsevol altre versió comercial d' OPNET, únicament els creats amb la pròpia versió acadèmica.
- Limitacions d'exportació: No permet exportar escenaris hagin estat creats amb la versió acadèmica d' OPNET a altres versions comercials del software.
- Limitacions modulars: Aquesta versió no inclou determinats mòduls com poden ser, Flow Analysis, Net Doctor, Terrain Modeling, etc. De la mateixa manera, els models inclosos en la llibreria estàndard, no poden ser modificats. Tampoc és



possible importar un model creat en un altre versió comercial d' OPNET ni crear escenaris multicast.

- Limitacions de l' ACE: Únicament funciona amb captures d'aplicacions predeterminades, incloses en els tutorials.
- Els projectes que es poden crear amb el model acadèmic, estan limitats en quant al nombre de dispositius multi-port. Permet corre petites simulacions amb un nombre raonable d'elements d'encaminament (20), per a propòsits acadèmics, però no per a estudis comercials.

### 4.1.3 Creació d' un model de xarxa

OPNET IT Guru Academic Edition disposa d'un entorn gràfic de qualitat que incorpora diferents eines accessibles des de l'editor de projectes.

L'editor de Projectes és el principal escenari per a crear una simulació de xarxa. A partir d'aquest editor es pot construir un model de xarxa (utilitzant models de la llibreria estàndard), seleccionar les estadístiques a recollir, executar la simulació i veure els resultats [10].

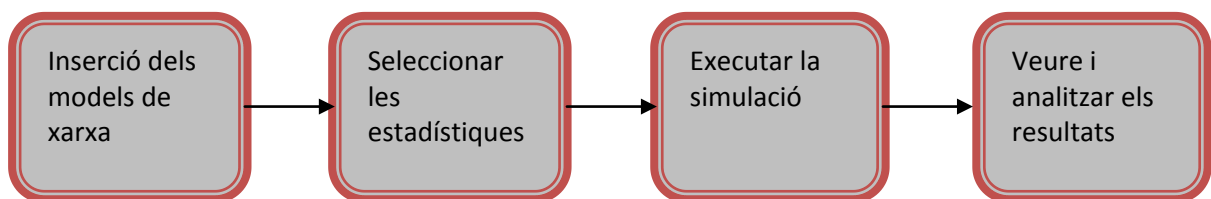


Figura 1 – Esquema d'ús de l'editor de projectes

OPNET IT Guru Academic Edition utilitza una estructura jeràrquica per a la construcció dels models:

- Xarxa: especifica la topologia física de la xarxa de comunicacions, tot definint la posició i la interconnexió entre cada entitat. Permet especificar un model de xarxa complex, compost per diferents subxarxes intercomunicades. Cada subxarxa es compon de nodes i enllaços.

Existeixen tres mètodes per a crear la topologia de xarxa que es poden utilitzar per separat o combinats:

- Importar la topologia.
  - Situar nodes de la paleta d'objectes en l'àrea de treball (Workspace).
  - Usar la configuració ràpida (Rapid Configuration). Aquest tipus de configuració crea una xarxa en un sol pas.
- Nodes: defineix els nodes i els fluxos de dades. La creació de dispositius i la comunicació d'aquests amb el nivell de xarxa, són expressats com a mòduls interconnectats. Aquests mòduls s'agrupen en dos grups: els que porten

predefinits característiques i paràmetres configurables (p.e generadors de paquets, receptors de radio, transmissors punt a punt, etc.) i els que són altament programables (p.e processos, cues, etc.).

Cada node és descrit per un diagrama de fluxos de blocs de dades. Cada bloc de dades té la seva funcionalitat definida per un model de procés. Els mòduls estan interconnectats.

- Procés: descriu el flux lògic, el comportament del procés i els mòduls de cues. La comunicació entre processos es suporta per interrupcions. Un procés pot crear nous processos per a realitzar subtasques.

Per a construir un model i simular-li-ho, es seguiran els següents passos [9]:

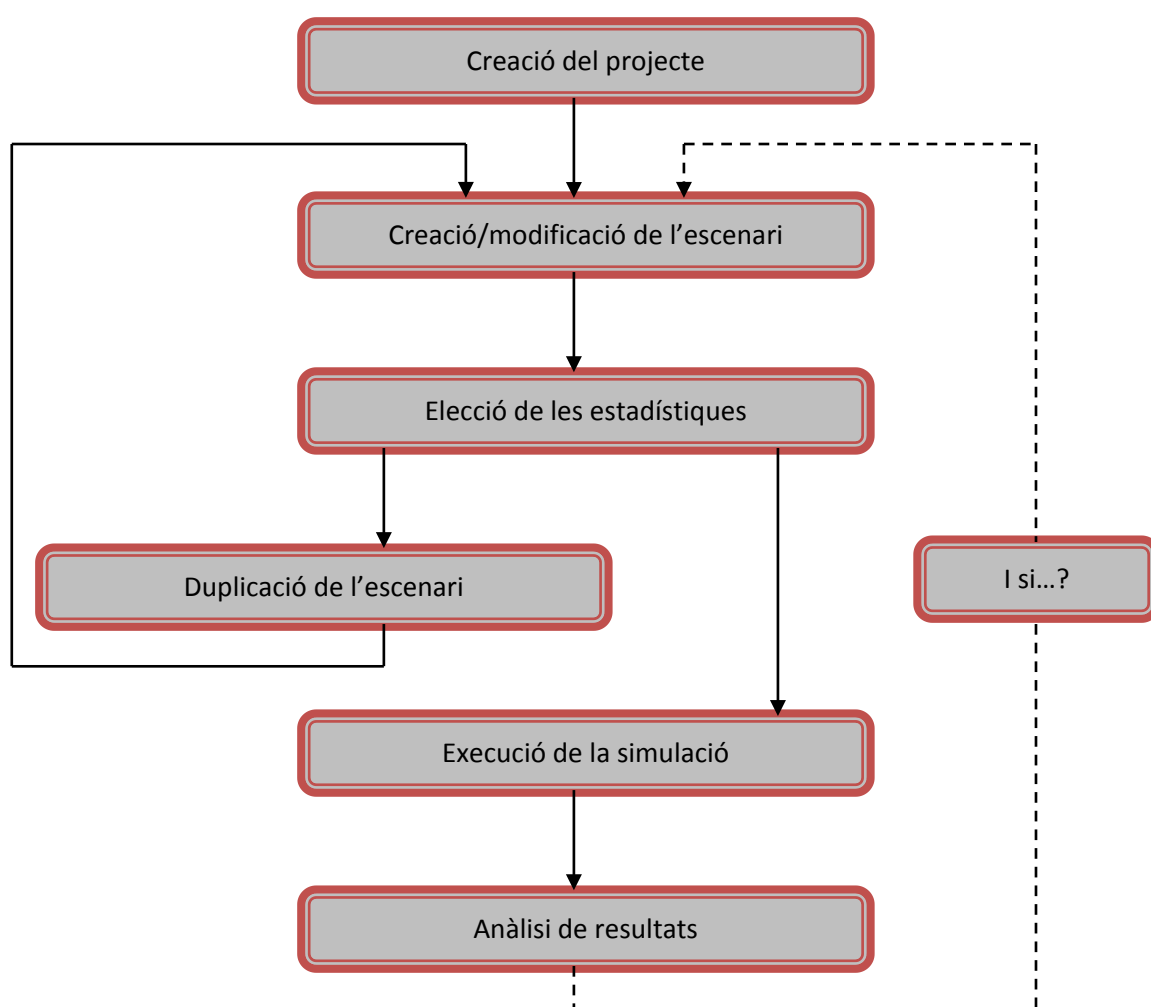


Figura 2 – Passos per a la construcció i simulació d'un model

- Primerament es crearà el projecte. Un projecte no és més que un conjunt d'escenaris amb un objectiu comú. Per a crear un nou model de xarxa, és necessari un projecte i com a mínim un escenari. Un projecte està compost per un conjunt d'escenaris, cada un dels quals explora un aspecte diferent de la xarxa.

- Definició del primer escenari (i/o únic). Un cop creat el projecte, s'utilitza el Startup Wizard per a establir les característiques del nou escenari, és a dir, de l'entorn de xarxa. El Startup Wizard permet:
  - Definir l'escenari, parametritzant el tipus de xarxa (mundial, empresa, campus, oficina, etc.). Per a crear una topologia de xarxa, OPNET incorpora topologies predefinides per a facilitar la creació del model (bus, anell, estrella, arbre i sense connexions) configurables en diversos paràmetres
  - Definir l'escala i la mida de la xarxa (m, km o milles).
  - Seleccionar la tecnologia a utilitzar (3Com, atm, ethernet, fddi, token ring, etc.)
  - Associar una paleta d'objectes amb l'escenari. Permet arrossegar els objectes a l'escenari (Drag and Drop).

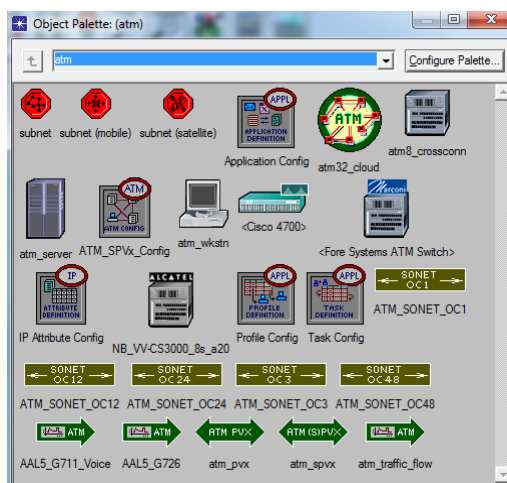


Figura 3 – Exemple de paleta d' objectes disponibles per la tecnologia ATM

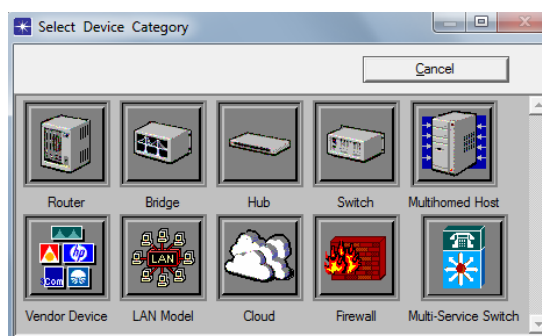


Figura 4 – Exemple de paleta d' objectes disponibles per a la creació d' escenaris

Per exemple, si creem un projecte per a estudiar el comportament del protocol RSVP, el primer escenari creat podria explicar les característiques específiques del protocol esmentat. En funció del projecte que es vulgui crear, podrem tenir un o

més escenaris. En cas que en tinguem més d'un, el primer d'ells s'usarà com a punt de partida per als següents.

- El següent pas serà l'elecció de les estadístiques i la configuració dels paràmetres a calcular. OPNET IT Guru Academic Edition permet recopilar estadístiques sobre:
  - Nodes individuals de xarxa (Object Statistics).
  - El conjunt de la xarxa (Global Statistics).
- En aquest punt, es possible continuar la simulació del projecte, ja sigui executant la simulació o be duplicant l'escenari. Duplicar l'escenari significa crear un nou escenari a partir d'un altre escenari ja existent. Per exemple, es podria crear un escenari per a estudiar el protocol de reserva de recursos RSVP a partir d'un altre escenari, amb la mateixa topologia física, que no l'utilitzes. D'aquesta manera, partint de dos escenaris independents, comparant-los entre ells, podríem analitzar la diferència entre l'ús i el no ús del protocol de reserva de recursos. El procés de duplicació d'escenaris es pot repetir tantes vegades com es vulgui.
- Tots els escenaris han de ser simulats al final. OPNET IT Guru Academic Edition realitzarà una predicció a partir de tota la informació de l'escenari.
- Un cop realitzada la simulació, es poden visualitzar els resultats de manera gràfica mitjançant el mateix editor de projectes seleccionant l'opció View Results del menú contextual de l'àrea de treball.
- OPNET IT Guru Academic Edition ha estat pensat per a dissenyar i analitzar xarxes de comunicacions. Si els resultats de les simulacions no són els esperats, podem modificar el projecte de tal manera que ens permeti obtenir els resultats esperats, en relació a les especificacions. També podem analitzar com s'hagués comportat l'escenari si algunes de les condicions especificades inicialment haguessin canviat. (I si...?)

OPNET IT Guru Academic Edition Disposa d'un motor de simulació amb la possibilitat de modificar l'ús de la memòria durant la simulació. La simulació es pot dur a terme en un espai de temps relativament curt.

Permet la generació automàtica de la simulació al compilar els models en codi executable.

Permet la depuració de l'execució de la simulació generant dades de sortida.

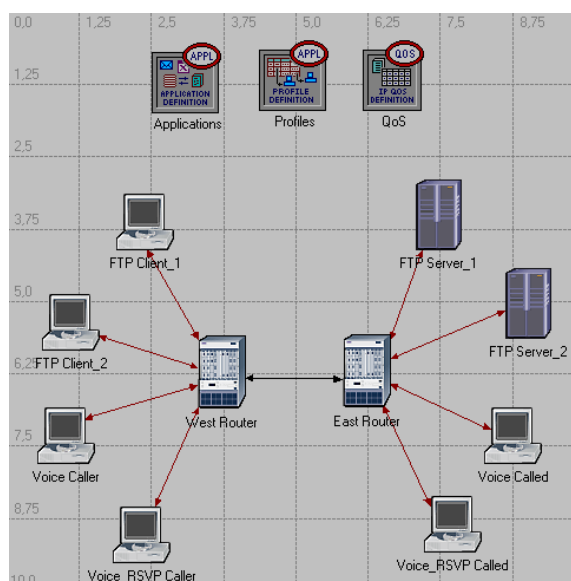


Figura 5 – Exemple de model de xarxa

#### 4.1.4 Llibreria de models d'esdeveniments discrets

Com ja s'ha comentat anteriorment, IT Guru utilitza una estructura jeràrquica per a la construcció dels models. Cada nivell de jerarquia descriu diferents aspectes del model a simular. Els models utilitzats en una capa poden ser usats per un altre model en una capa més alta.

Disposa d'una detallada llibreria de models que dona suport als protocols i tecnologies existents. Aquests models estan disponibles en realitzar una instal·lació estàndard del software.

Com ja s'ha comentat en la introducció, la major part de les característiques i eines estan incloses en la llibreria de models estàndards de la distribució. Els models es troben en els subdirectoris del directori en el qual s'instal·la OPNET IT Guru:

<redir>\models\std\<protocol\_name>

El directori <redir> habitualment es troba a C:\Archivos de Programa\OPNET EDU\9.1.A

En l'annex 2 es relacionen tots els models disponibles [10]

#### 4.1.5 Interfície gràfica

La finestra principal d'OPNET IT Guru Academic Edition és la finestra del sistema. D'aquesta finestra es creen els projectes nous i s'obren els ja existents, es canvien els directoris de treball, etc.



Figura 6 - Finestra d'inici d' OPNET IT Guru Academic Edition 9.1

#### 4.1.5.1 L'editor de projectes

L' editor de projectes (Project Editor) és la finestra principal sobre la qual es treballa. Té quatre àrees fonamentals per a la construcció i execució dels models. Aquestes àrees es mostren a continuació:

- Barra del Menú (Menu Bar).

Mostra les opcions per accedir a les diverses funcionalitats del software mitjançant una estructura típica de menús. Es troba en la part superior de la finestra d'edició.

El nombre de menús i les operacions que es troben disponibles, varien en funció dels mòduls que estan habilitats. Les operacions contextuais estan disponibles clicant amb el botó dret del ratolí sobre un objecte, o sobre la graella de l'espai de treball.

- Barra d'eines (Tool Buttons)

Dóna accés a algunes de les opcions usades més habitualment.



Figura 7 - Botons de l'editor de projectes



Object Palette: Permet obrir la paleta d'objectes.



Check Links: Permet verificar la consistència de tots els enllaços de la xarxa. És de gran utilitat just abans de córrer la simulació, ja que ens podria donar error si els enllaços no estan configurats adequadament.



Link Failure: Aquesta eina simula fallades en els enllaços seleccionats. Permet estudiar el comportament de l'escenari si un enllaç deixa de funcionar.



Link Recovery: Recupera els enllaços desactivats per el Link Failure.



Return to Parent Subnet: Permet tornar a la xarxa superior. Per exemple, en el cas que un escenari creixi, es poden agrupar els elements en subxarxes. Una subxarxa no és més que un conjunt de nodes i enllaços interconnectats, però gràficament agrupats en un únic icona. A partir de varies subxarxes interconnectades es poden crear xarxes més grans.



Zoom: Permet fer zoom en un rectangle de l'escenari.



Unzoom: Permet restablir el zoom realitzat anteriorment.



Configure/Run Simulation: Obre un diàleg que podem usar per a configurar un esdeveniment discret de la simulació sobre l'escenari en el qual s'està treballant.



View Results: Un cop feta la simulació, permet veure tots aquells gràfics corresponents a les estadístiques que hagin estat escollides.



Hide/Show All Graphs: Els resultats dels gràfics es mantenen oberts fins que no els tanquem. Aquesta eina permet amagar-los, sense tancar-los, i mostrar-los novament quan sigui necessari.

- Àrea de treball (Workspace)

És la regió central i desplaçable de la finestra de l'editor. En aquesta àrea es mostren els models de la xarxa. Sobre ells es va construint i modificant la xarxa, seleccionant i arrossegant objectes de xarxa i seleccionant opcions dels menús contextuais clicant amb el botó dret sobre el fons.

- Àrea de missatges

Aquesta zona es situa just a sota de la finestra d'edició, proporcionant informació sobre l'estat del simulador.

Es pot clicar sobre l' icona que hi ha just al costat de l'àrea de missatges (message buffer icon), per a obrir una finestra amb un buffer de missatges. Aquest buffer de missatges mostra una llista de tots els missatges que han aparegut en l'àrea de missatges.

#### 4.1.6 Creació d'un nou projecte

El primer pas per a la creació d'un nou projecte és iniciar OPNET IT Guru Academic Edition 9.1 de la següent manera: **Inici -> Programes -> OPNET IT Guru Academic Edition 9.1**. Abans de començar a fer servir el simulador, cal llegir la llicència del software i, en cas d'estar d'acord, acceptar-la.

Posteriorment veurem la finestra d'inici d' OPNET IT Guru Academic Edition 9.1. Ara ja podem crear el projecte fent: **File ->New**. S' obrirà un diàleg de selecció on senzillament escollirem **Project** i li direm **OK**. Per acabar, s'obrirà un segon diàleg on haurèm de posar-li un nom al projecte i un altre al primer escenari que crearem.

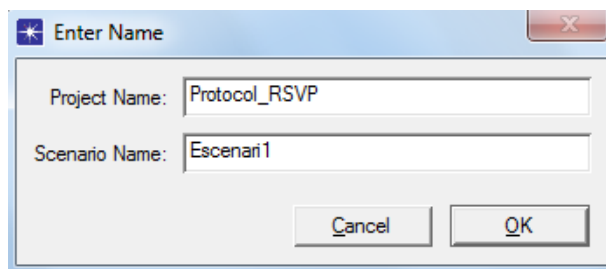


Figura 8 – Finestra on cal posar el nom del projecte i del primer escenari a crear

El següent pas és el Startup Wizard. S' obriran una sèrie de diàlegs en els quals anirem assignant els paràmetres pertanyents a la configuració de l'escenari inicial. Primerem **Next** per avançar de diàleg en diàleg.

El primer d'ells fa referència a la topologia inicial de la xarxa. L' opció més freqüent serà la creació d'un escenari buit, **Create Empty Scenario**, tot i que també és possible importar-lo des de l' ACE (Aplicació per a la Caracterització de l' Entorn), **Import From ACE**. Aquesta segona opció és usada sobretot per a la importació de captures de tràfic realitzades amb sniffers.



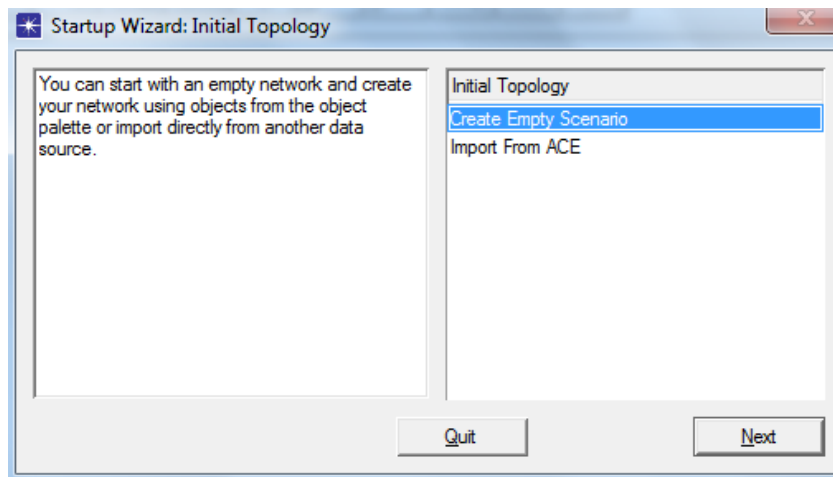


Figura 9 – Initial Topology

El següent diàleg en aparèixer permetrà escollir l'escala que tindrà la xarxa. Seleccionarem **Office** o **Campus** per a xarxes LAN's, i **World** o **Choose From Maps** per a WANS.

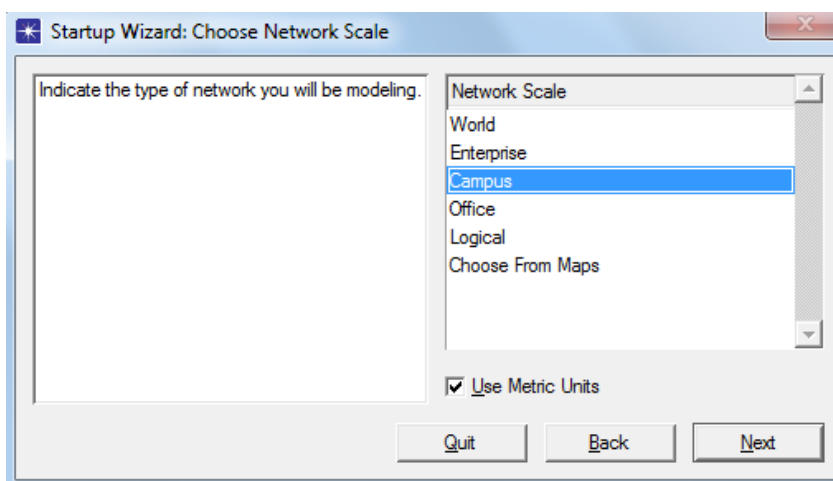


Figura 10 – Choose Network Scale

Arribats a aquest punt és el moment de seleccionar la tecnologia o les tecnologies amb les quals es vulgui treballar posant en el camp **Include: Yes**. A continuació apareixerà un diàleg confirmant les tecnologies seleccionades en el pas immediatament anterior. Prement **ok** acceptarem el canvis realitzats.

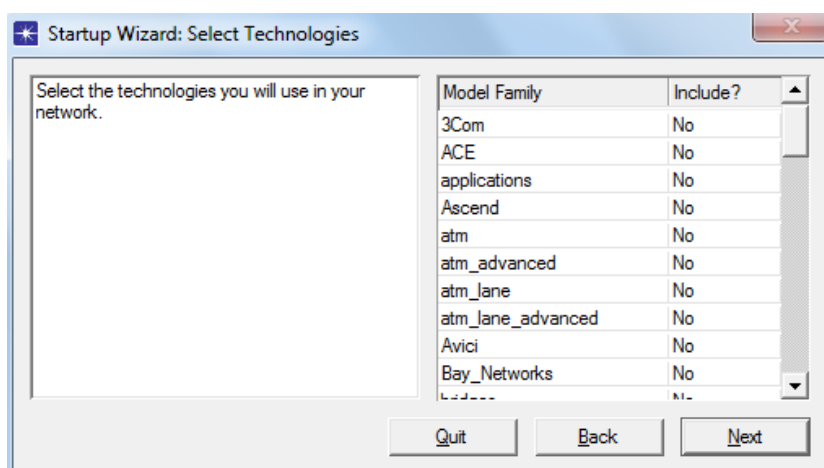


Figura 11 – Select Technologies

Amb aquest pas queda finalitzada la configuració del projecte. Acte seguit s' obriran l'editor de projectes i la paleta d' objectes, amb els dispositius corresponents a les tecnologies seleccionades prèviament, que permetran començar a construir l'escenari.

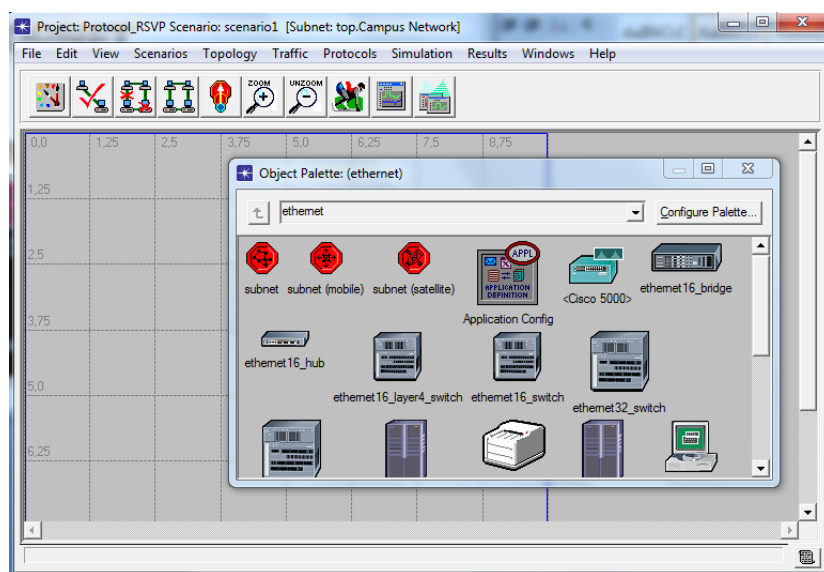


Figura 12 – Editor de projectes i paleta d' objectes

En cas que fos necessari usar un dispositiu que no es trobes en la paleta d' objectes apareguda, en tot moment es podrà canviar-la i buscar-lo en qualsevol de les altres paletes d' objectes existents per a cada una de les tecnologies suportades.

Agrupats en les esmentades paletes d' objectes, es poden trobar links, routers, workstations, switches, bridges, hubs, etc.

És possible arrossegar qualsevol dispositiu de la paleta d' objectes a l' escenari mitjançant **Drag and drop**.

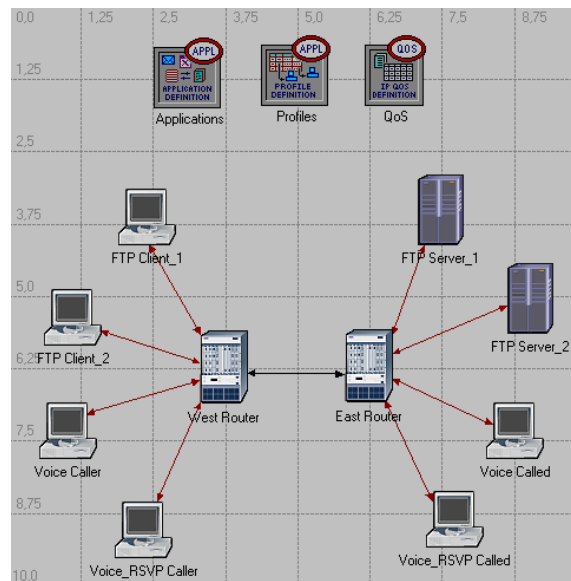


Figura 13 - Exemple de model de xarxa

Una vegada col·locats tots els nodes, enllaços i elements de control a l'escenari, clicant sobre ells amb el botó dret del ratolí, se'n podrà: canviar el nom (**Set name**), editar-ne els atributs (**Edit attributes**), entre d'altres opcions.

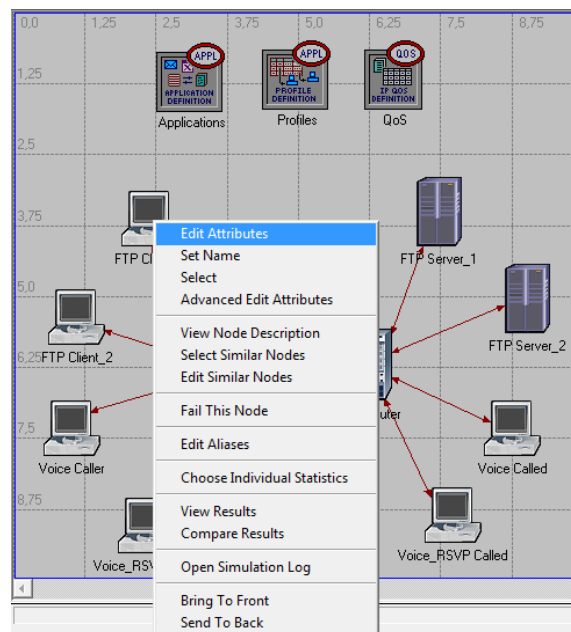


Figura 14- Menú desplegable d'opcions per a l'estació de treball 2

Els atributs estan organitzats per jerarquies, és a dir, trobem camps els quals directament podem canviar-ne el seu valor, però que a la mateixa vegada es divideixen en més subcamps, i aquests últims en d'altres. Alguns d'ells inclouen files (**row**), també configurables per l'usuari.

A la part esquerra de la finestra, hi ha un símbol d'interrogació que proporciona una petita ajuda sobre el camp que es vol editar.

També a la part esquerra, però al final de la finestra, es troba l'opció **Apply Changes to Selected Objects**. Aquesta opció permet que els canvis realitzats s'apliquin a tots els nodes seleccionats del projecte. És possible modificar els atributs de varis dispositius a la vegada, seleccionant-los prement **CTRL key**, i editant-ne les propietats en qualsevol d'ells.

El nombre de camps editables augmenta en funció de la quantitat de dispositius que estiguin interconnectats. Per a cada interfície individual, en caldrà configurar els paràmetres, motiu pel qual pot ser de gran ajuda conèixer el nom de cada interfície. OPNET assigna automàticament un nom a cada interfície en funció de l'ordre en que els nodes hagin estat creats. D'aquesta manera serà possible tenir escenaris idèntics, amb els mateixos components i resultats, però amb noms d'interfícies diferents.

En l'exemple de l'escenari de la figura 13, a banda dels dispositius que conformen pròpiament la xarxa, observem que s'han afegit tres objectes de configuració o elements controls. Tots ells es troben en la paleta d'objectes **Internet\_toolbox**. A continuació se'n explica breument la seva funció.

El primer d'ells (**Application\_Config**), s'usa per a definir les aplicacions que correran en cada estació, per exemple clients de correu, FTP, VoIP, VoIP amb RSVP etc. Totes elles han d'estar definides en el camp **Application Definitions**.

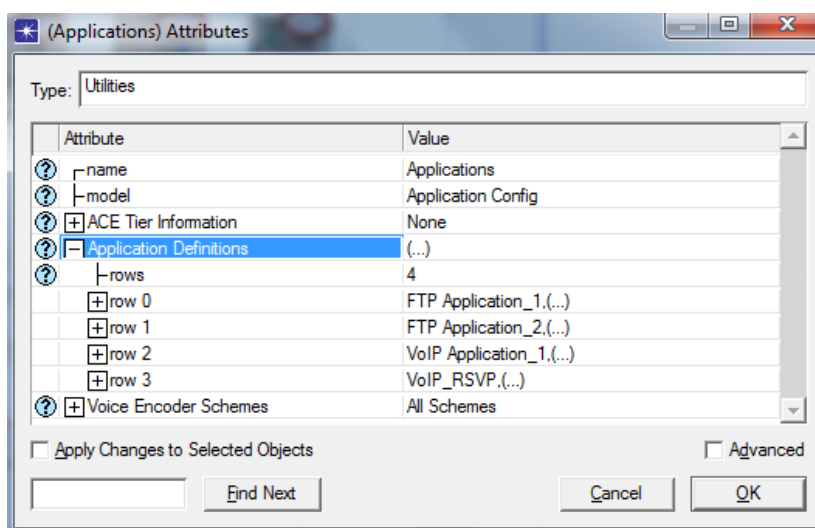


Figura 15 – Configuració dels atributs de l'objecte de control d'aplicacions (Application\_Config)

El segon d'ells (**Profile\_Config**), s'usa per a definir els perfils. Els perfils no són més que un grup d'aplicacions que seran utilitzades pels usuaris finals. Per exemple es podria definir un perfil que admetés FTP, VoIP i VoIP sobre RSVP. Aquestes aplicacions han estat prèviament definides en el camp **Application Definition** del control d'aplicacions, ja que sinó no les trobaríem disponibles en el control de perfils.

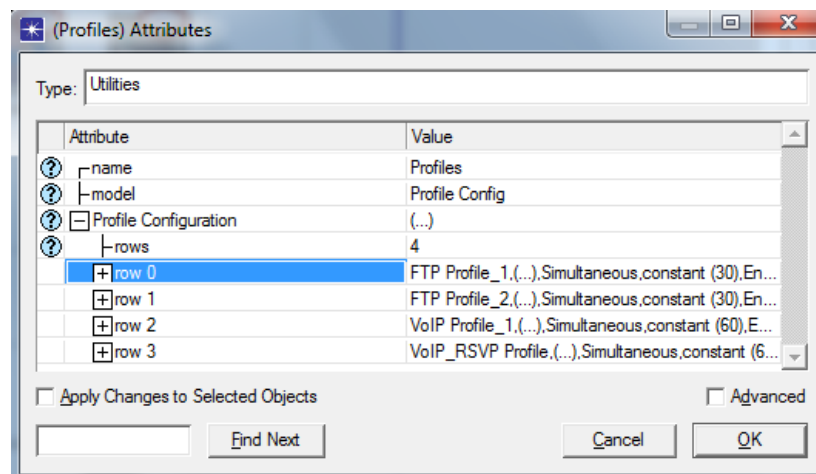


Figura 16 – Configuració dels atributs de l'objecte de control de perfils (Profile\_Config)

El tercer d'ells (QoS Attribute Config), s'usa per a definir detalls dels atributs de configuració per a protocols suportats a nivell de capa IP.

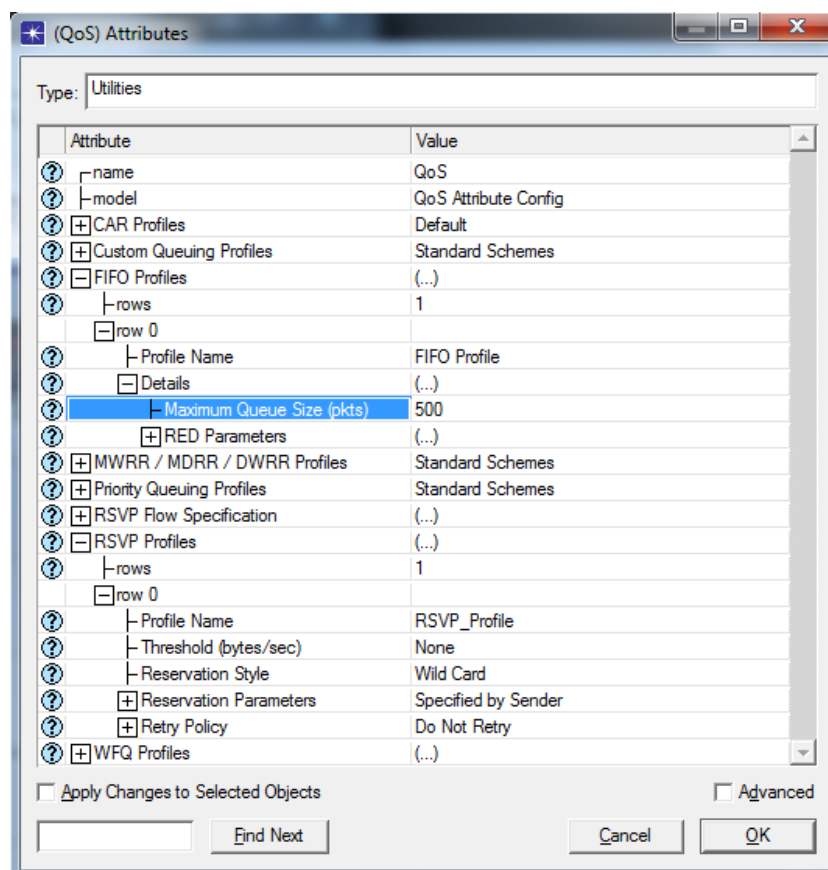


Figura 17 – Configuració dels atributs de l'objecte de control de QoS (QoS Attribute Config)

A tall d' exemple, permet definir el tipus de filtre utilitzat pel protocol RSVP o, els diferents perfils de cua per a qualsevol disciplina QoS (FIFO, WFQ, priority queuing, custom queuing) usada pels nodes IP.

L' avantatge de tenir aquests perfils definits en un objecte global és que només cal referenciar-lo en cadascun dels objectes IP individuals.

Seguint l'exemple del model de xarxa que es ve analitzant, podem observar en la figura 17 que l'atribut **RSVP Profiles** conté una sèrie de files configurables, entre les quals es troba el tipus de filtre utilitzat pel protocol de reserva de recursos RSVP. En aquest cas Wild Card.

Observem també que l'atribut **FIFO Profile** posseeix una sèrie de subatributs com són el **Profile Name** i el **Details**. Desplegant **Details** podem veure la mida màxima de la cua definida (**Maximum Queue Size**). En el cas del model de xarxa analitzat, la mida màxima de la cua FIFO és de 500 paquets.

Una vegada han estat definides les aplicacions i els perfils, és necessari importar-los a cadascuna de les estacions de treball que les requereixi. Cal especificar-ho en l' atribut **Application: Supported Profiles** de cada estació de treball (**Workstation**) .

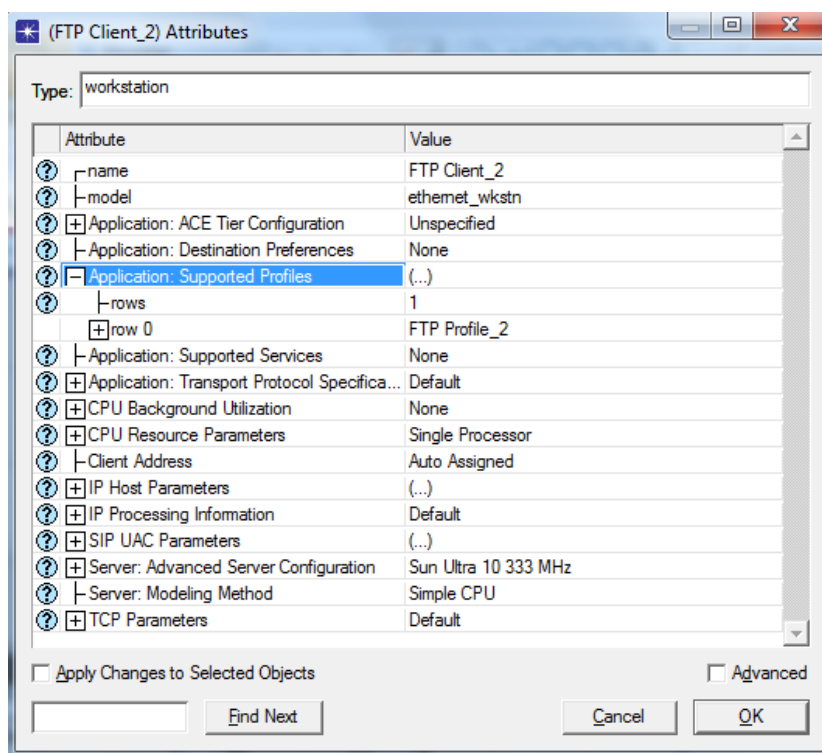


Figura 18 – Atribut Application Supported Profiles de les estacions de treball

Finalment, comentar que per a configurar els servidors que donaran servei específic a les aplicacions, cal editar l'atribut **Application: Supported Services** de cada servidor.

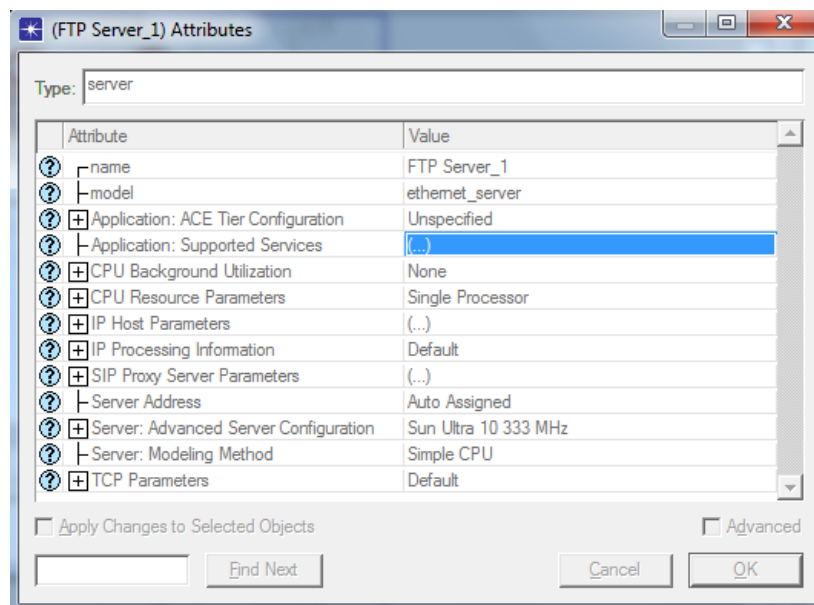


Figura 19 - Atribut Application Supported Services dels servidors

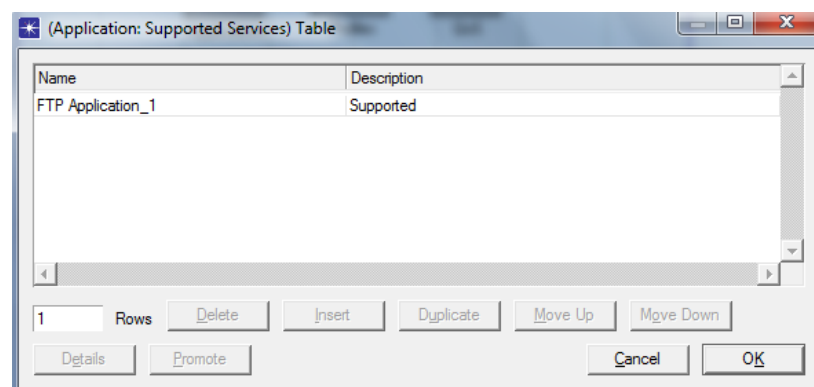


Figura 20 - Valor de l'atribut Application Supported Services dels servidors

#### 4.1.7 Simulació: creació d'estadístiques

Una vegada creada la xarxa, cal decidir quines estadístiques es desitja recopilar en funció de les qüestions que es plantegin.

OPNET permet la recol·lecció d'estadístiques sobre nodes individuals de la xarxa (amb el botó dret del ratolí sobre el node en qüestió -> **Choose Individual Statistics**) o sobre tota la xarxa (amb el botó dret del ratolí sobre la quadrícula de l'escenari -> **Choose Individual Statistics**) durant la simulació, pel que es poden seleccionar diferents anàlisis estadístics als diferents dispositius, aplicacions, enllaços i protocols i les diferents propietats dels mateixos.

En ambdós casos s'obrirà el diàleg **Choose Results** en el qual es podrà seleccionar l'estadística desitjada.

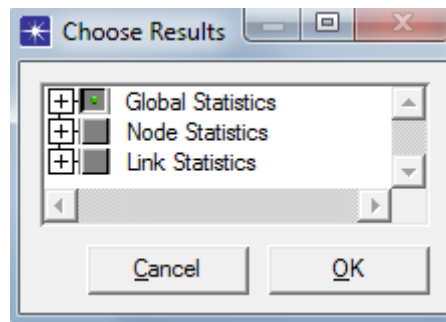


Figura 21 – Choose Results

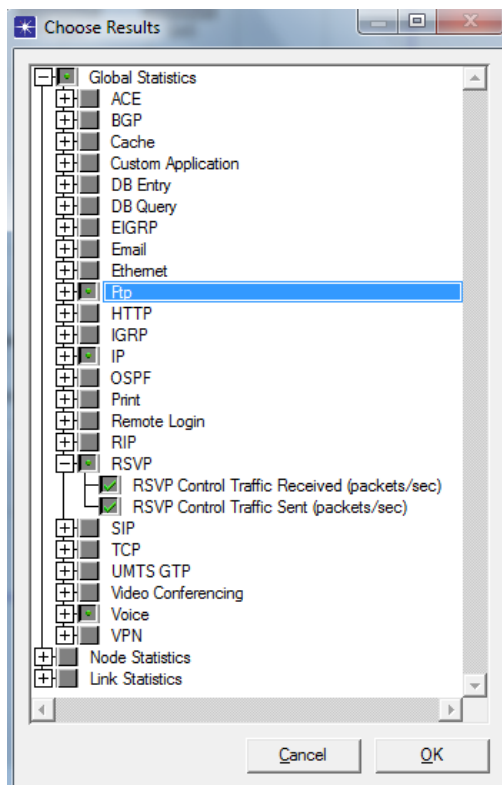


Figura 22 – Opcions d'estadístiques globals (p.e. Protocol de reserva de recursos RSVP)

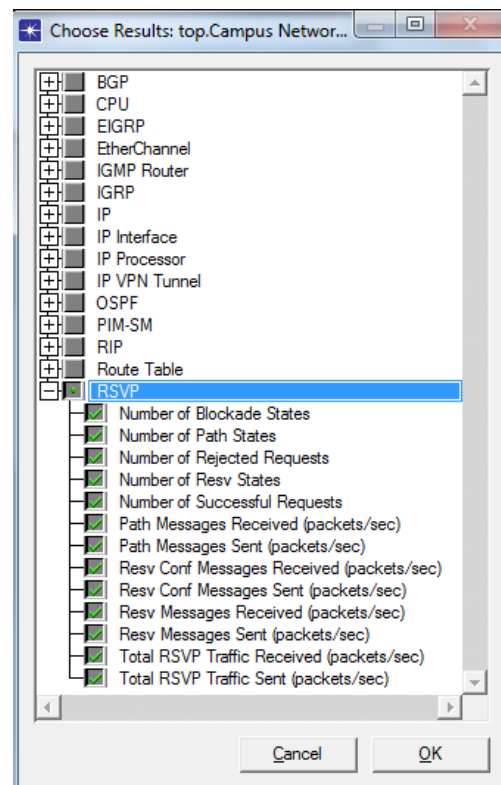


Figura 23 – Opcions d'estadístiques individuals per a un node (p.e. Protocol de reserva de recursos RSVP)

Per a executar les simulacions, es disposa de diferents opcions, incloent l'execució interna i externa, configurables i parametrizables.

#### 4.1.8 Execució de la simulació

La simulació s'obté a partir del simulador que incorpora OPNET en la seva versió i s'executa en el sistema de l'equip que l'allotja. En funció dels resultats observats al llarg de l'execució de la simulació, en cas de ser necessari, es poden realitzar canvis en l'especificació dels models i executar simulacions addicionals.



OPNET Permet parametritzar la simulació: temps de durada, valors, interval i habilitar o deshabilitar atributs.



Per a configurar la simulació cal clicar en la icona **configure/run simulation**. D'aquesta manera tindrem accés al diàleg de la figura 23, que ens permetrà definir els paràmetres bàsics de la simulació. Per iniciar la simulació, simplement cal clicar sobre **Run**.

Common | Global Attributes | Object Attributes | Reports | SLAs | Animation | Profiling | Advanced | Environment Files

Duration: 150 seconds(s)

Seed: 128

Values per statistic: 100

Update interval: 100000 Events

☒ Enable simulation log

Run Help Cancel OK

Figura 24 – Configuració de la simulació

Mentre s'executa la simulació apareix un quadre de diàleg que indica el progrés de la simulació.

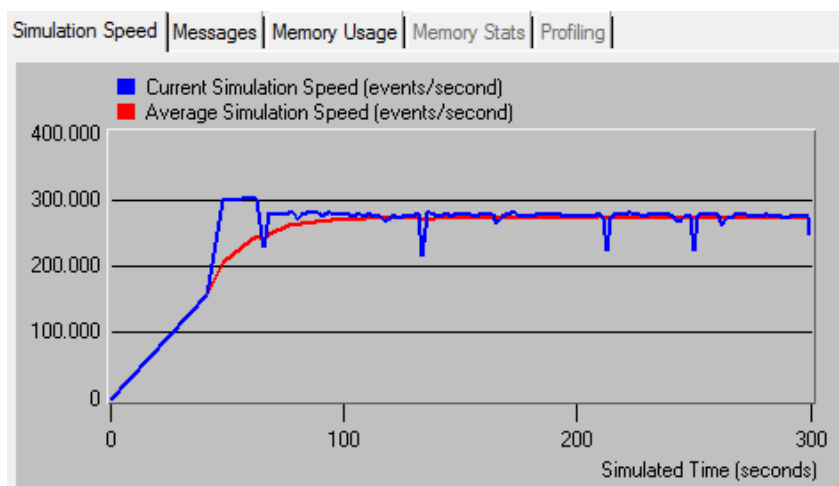


Figura 25 – Progrés de la simulació

Una vegada executada, en la mateixa finestra es mostra el resultat en **Messages**.

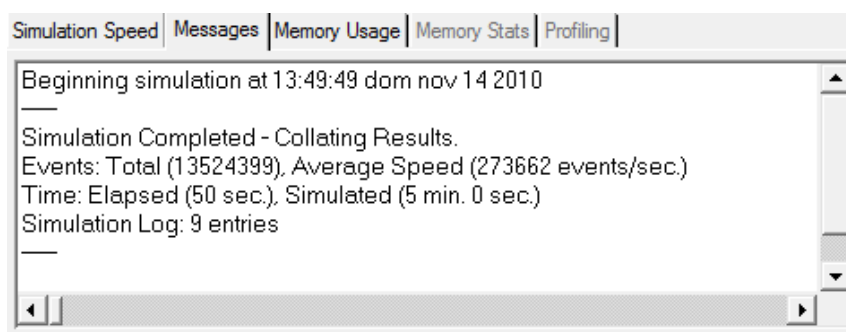


Figura 26 – Missatge d'execució de l'execució corresponent a la figura 25

OPNET permet exportar les dades recollides.

#### 4.1.9 Anàlisi de resultats

Un cop realitzada la simulació del model, podem visualitzar els resultats de manera gràfica, clicant sobre els elements de l'escenari amb el botó dret del ratolí i anant a **View Results**.

En la pantalla **View Results**, podem configurar el tipus de gràfic que es desitgi visualitzar, comparar gràfics entre ells, etc.

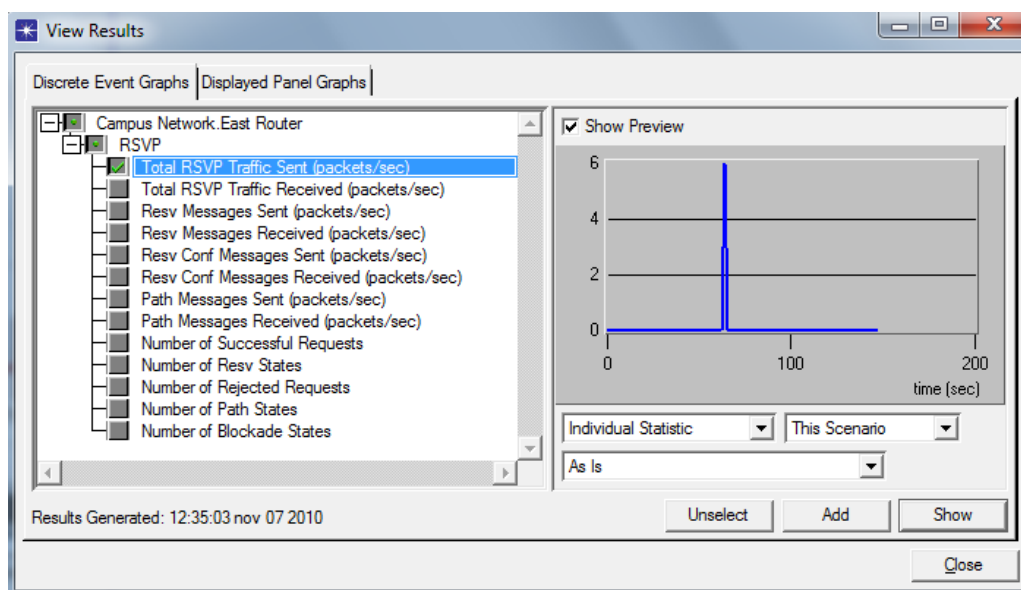


Figura 27 – Visualització dels resultats de manera gràfica. View Results

Sobre l'àrea de treball, clicant amb el botó dret del ratolí, podem visualitzar la consola **Simulation Log**. En aquesta consola es mostra un resum dels errors de simulació (no server found giving service to the requested application, a router is rejecting packets, etc). Aquests missatges però, no són sempre missatges d'error, a vegades també poden indicar que la simulació està funcionant correctament.

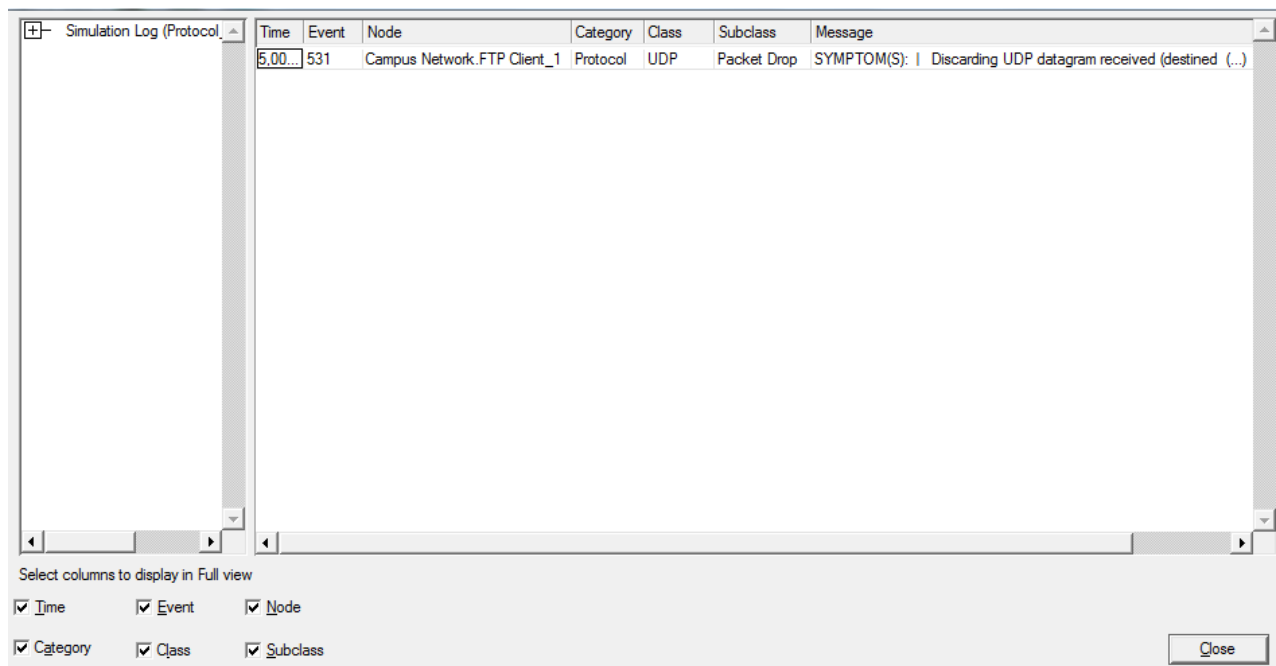


Figura 28 – Simulation Log

Una vegada creat l'escenari i obtingudes les estadístiques pertinents sobre aquest, destaca la possibilitat de poder expandir la xarxa i comparar-ne els resultats de la primera simulació amb els de la segona simulació. D'aquesta manera es permet fer tantes comparacions com sigui necessàries fins a arribar a determinar la millor estructura per al model i/o identificar i solucionar problemes apareguts. Per a comparar els resultats cal seleccionar **Compare Results** en el menú contextual dels elements de l'escenari i en la quadrícula de treball.

A continuació es mostren un seguit de simulacions realitzades sobre el Voice RSVP Called del model de xarxa utilitzat en tot moment per a exemplificar l'ús del simulador.

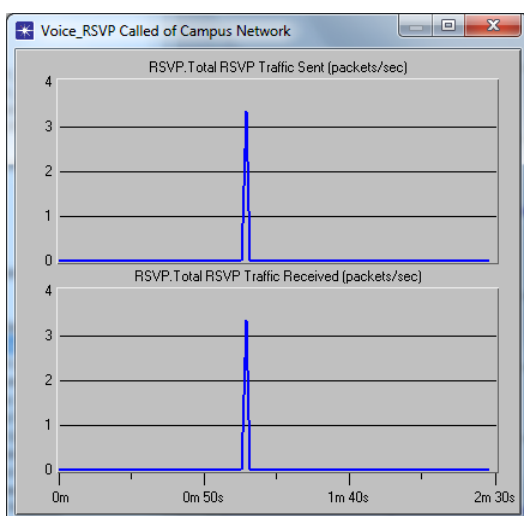


Figura 29 - Total RESV Traffic Sent vs Total RESV Traffic received (packets-sec)

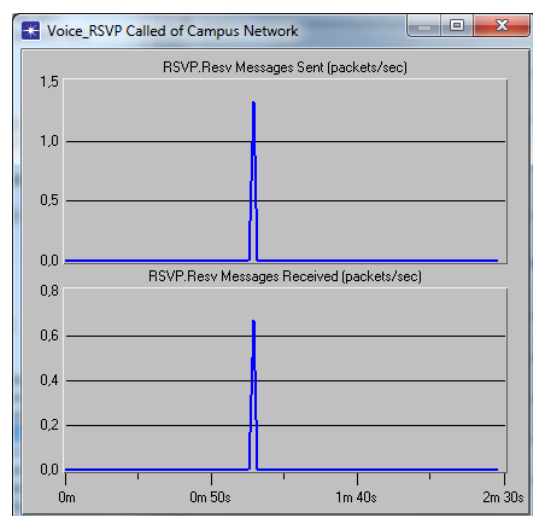


Figura 30 - RESV Messages Sent vs RESV Messages Received (packets-sec)

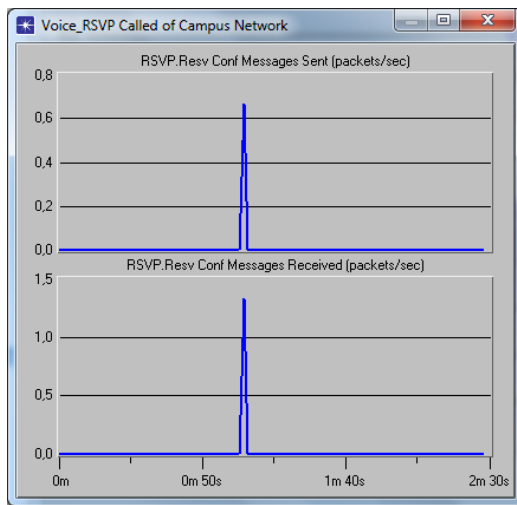


Figura 31 - RESV Conf Messages Sent vs RESV Conf Messages Received (packets-sec)

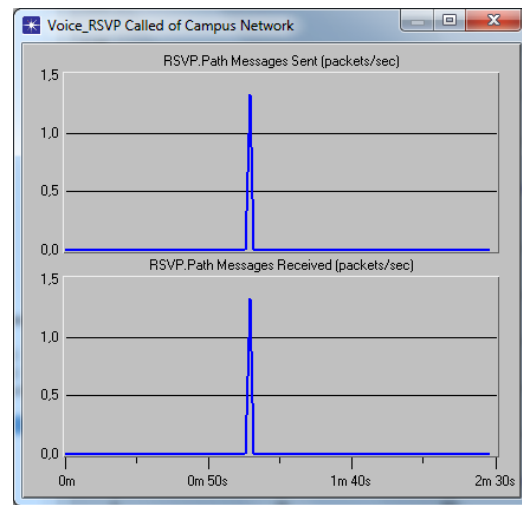


Figura 32 – Path Messages Sent vs Path Messages received (packets-sec)

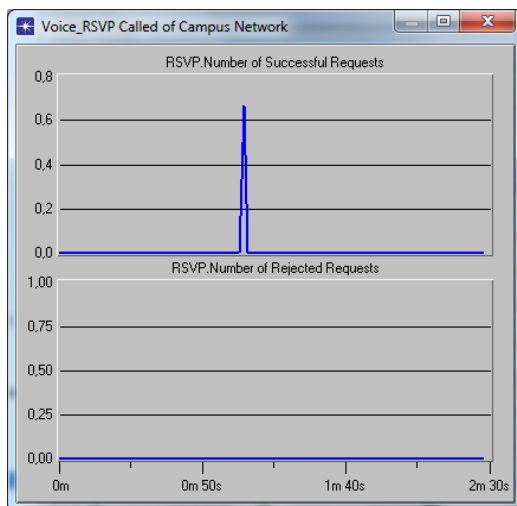


Figura 33 – Number of successful Request vs Number of Rejected Request

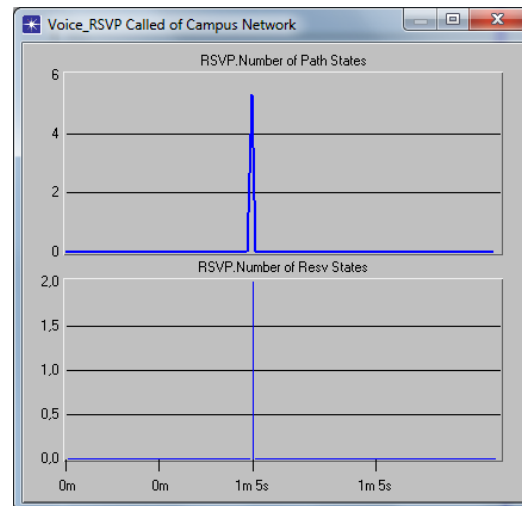


Figura 34 – Number of Path States vs Number of Resv States

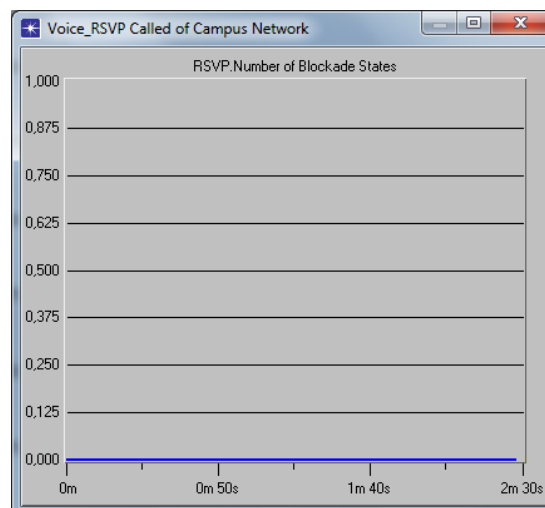


Figura 35 – Number of Block States

## 5.- Estudi de simulació amb OPNET IT Guru Academic Edition 9.1: modelat de diferents escenaris, simulació, i anàlisi de resultats.

En aquest apartat s'analitzaran dos escenaris diferents. El context en el que s'han emmarcat els escenaris és el d'una empresa nacional productora i distribuïdora formada per dues seus. Cada escenari correspondrà a una seu i cada seu estarà constituïda físicament per dues plantes. El primer escenari (seu 1) s'identificarà amb les oficines centrals de l'empresa, la funció de les quals serà la distribució dels productes acabats. S'hi analitzarà principalment la comunicació de VoIP (amb RSVP i sense reserva de recursos) entre ambdues plantes. El segon escenari (seu 2) es farà correspondre amb la fàbrica on l'empresa manufactura els seus productes. En aquest escenari s'analitzaran tres disciplines de servei diferents (FIFO, PQ i WFQ). Posteriorment s'explicarà més detalladament l'arquitectura emprada en cadascun d'ells.

### 5.1.- Escenari 1: Oficines centrals

L'objectiu del primer escenari és l'estudi del protocol de reserva de recursos (RSVP) sota l'arquitectura dels serveis integrats IntServ per a proporcionar qualitat de servei (QoS) a les sol·licituds individuals o als fluxos de dades.

Fent un breu resum dels principals atributs del protocol RSVP, esmentar que defineix la reserva de recursos tant sols per a fluxos de dades unidireccionals. En cas que es vulgui reservar recursos per a una comunicació bidireccional, com es veurà més endavant en l'escenari 1 proposat (figura 36), serà necessari establir dues sessions RSVP, una per cada sentit de la comunicació.

RSVP és un protocol orientat al receptor, és a dir, és el receptor del flux de dades qui inicia i posteriorment manté la reserva de recursos per a un determinat flux. La reserva inicial es realitza mitjançant missatges de senyalització RSVP. Aquests missatges són enviats als encaminadors que, sempre que sigui possible, s'encarreguen de fer les reserves oportunes en els propis dispositius.

És un protocol softstate, la reserva realitzada en cada node precisa d'actualitzacions periòdiques. Manté temporalment l'estat de les reserves de recursos dels equips i dels routers, motiu per el qual és un protocol que suporta canvis dinàmics en la xarxa.

Proporciona varis estils de reserva en funció del tipus de reserva i de la selecció de l'emissor del flux. A més a més, permet que s'afegeixin futurs estils al protocol amb l'objectiu de que es pugui adaptar a diverses aplicacions. Els estils de reserva existents són filtre comodí (Wildcard Filter), filtre fix (Fixed Filter) i explícit compartit (Shared explicit).

En l'escenari que ens ocuparà, s'analitzarà una comunicació de VoIP entre dos equips amb i sense reserva de recursos. L'estil de reserva que s'utilitza en aquest cas és el filtre comodí, ja que aplica a aquells casos on els fluxos dels emissors no succeeixen al mateix temps, com pot ser una trucada de VoIP en què només parla una persona alhora. En el cas que hi hagi varis

## 5. Estudi de simulació amb OPNET IT Guru Academic Edition 9.1: Descripció de l' objectiu d'estudi, arquitectura emprada i paràmetres d'interès a analitzar

emissors, es comparteix la capacitat de la reserva per a tots ells. La capacitat de la reserva es basa en la major petició de recursos.

Finalment esmentar que el protocol RSVP transporta i manté paràmetres del tràfic i de la política de control.

L'arquitectura emprada per a modelar la seu 1 consta de dos routers, un en cada planta, connectats entre si i a la mateixa vegada connectats a les seves respectives LAN's. En cada LAN es troben els serveis objecte d'estudi (FTP, VoIP amb RSVP i VoIP sense RSVP).

L'escenari està format per dos clients RSVP amb els seus corresponents receptors RSVP, que es comunicaran entre si mitjançant VoIP. Un tercer client, amb el seu corresponent receptor, que també es comunicaran mitjançant VoIP però sense realitzar reserva de recursos i finalment per un quart client FTP que es comunicarà amb el servidor d' FTP. La funció d'aquest quart client és senzillament la d'introduir més tràfic a la xarxa amb l'objectiu d'estudiar la resposta del protocol RSVP.

La pretensió no ha estat la de realitzar un escenari excessivament complex, sinó la de treballar sobre un escenari simplificat que permeti l'estudi del protocol RSVP de manera clara i concisa.

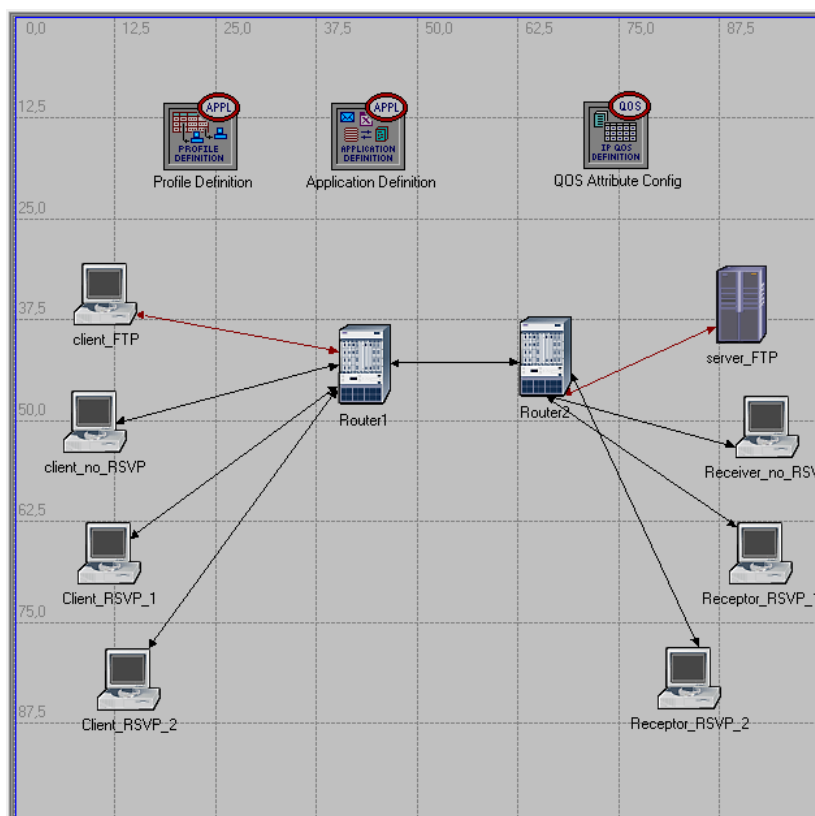


Figura 36 – Escenari 1: Oficines centrals

Els paràmetres d'interès del present escenari que s'analitzaran en el següent punt de resultats són:

- El retard dels paquets de veu extrem a extrem d'una comunicació VoIP analitzada primerament sense reserva de recursos i posteriorment amb el protocol RSVP. En aquests context es veurà com afecten l'ample de banda assignat al flux RSVP i la mida del buffer als resultats de la simulació.
- La variació del retard dels paquets de veu també en una comunicació analitzada en primer lloc sense reserva de recursos i en segon lloc amb el protocol RSVP. De la mateixa manera es veurà com afecta als resultats de la simulació la variació dels paràmetres anteriorment esmentats.

## 5.2.- Escenari 2: Fàbrica

L'objectiu del segon escenari és l'estudi de tres dels planificadors o disciplines de servei més importants (FIFO-*First-In-First-Out*, PQ-*Priority Queuing* i WFQ-*Weighted-Fair Queuing*). S'analitzarà de quina manera l'elecció de la disciplina de servei en els routers pot afectar al rendiment de les aplicacions suportades i a la utilització dels recursos de la xarxa. S'han plantejat tres escenaris idèntics en els quals s'ha modificat únicament la disciplina de servei utilitzada per tal de poder-les estudiar d'una manera comparativa.

Fent un breu resum de la teoria de cues, esmentar que cada router ha d'implementar un planificador que governi la manera en com els paquets seran emmagatzemats en la cua mentre esperen a ser transmesos. Hi ha diversos models de cues que permetran controlar quins paquets seran transmesos i quins seran descartats. Els que ens incumbeixen a l'escenari 2 són:

- FIFO: Utilitza la tècnica d'emmagatzematge i reenviament. En la seva versió més senzilla, s'encarrega d'emmagatzemar els paquets quan hi ha congestió en la xarxa i d'enviar-los quan té la possibilitat, mantenint l'ordre d'arribada, és a dir, no ofereix cap prioritat d'uns paquets sobre uns altres. Val a dir que és el mètode més ràpid. Aquest mecanisme és el que se sol usar per defecte quan es parla del model de servei best-effort.

Està limitat pel seu buffer. Aquest algoritme, al igual que succeeix amb la resta de mecanismes de cua, té com a limitació la capacitat del seu buffer en moments de congestió.

No és recomanable per a QoS. Avui en dia, són necessaris algoritmes més sofisticats que permeten diferenciar entre diferents tipus de paquets.

- PQ: Dóna prioritat estricta al tràfic important. Assegura que el tràfic important rebi un servei ràpid en cada punt de la xarxa, on estigui present aquest mecanisme.

Existeixen quatre classes de prioritat de tràfic que ofereixen garanties totals. En el mecanisme PQ, cadascun dels paquets ha de ser col·locat en una de les quatre possibles cues (alta, mitja, normal i baixa prioritat), servides en rigorós ordre de prioritat, fet que pot crear inanició, és a dir, deixar fora de servei al tràfic menys prioritari. Les prioritats es defineixen mitjançant filtres en els routers.

La prioritat dels paquets pot diferenciar-se per diversos mitjans com el protocol de xarxa, la interfície del router per la qual arriba el paquet, la mida del paquet i l' adreça d' origen i destí.

Els paquets que no puguin ser classificats seran assignats a la cua de prioritat normal.

L 'inconvenient del planificador PQ és que al ser un mètode estàtic no s'adapta als requeriments de la xarxa. A més, com ja s'ha comentat anteriorment, por crear inanició.

- WFQ: És un algoritme de cua basat en fluxos (o sessions), que realitza dues tasques simultàniament i de manera automàtica:
  - Organitza el tràfic en temps real, col·locant-li-ho al principi de la cua, reduint així el temps de resposta.
  - Comparteix equitativament la resta de l'ample de banda entre la resta del tràfic d'alta prioritat.

Els paquets que arriben es classifiquen en classes i es col·loquen a la cua corresponent a la seva classe. WFQ va donant servei a les classes de forma circular.

El sistema WFQ assigna més capacitat a les cues més ocupades, sense deixar però d'atendre a les cues menys ocupades. Ajusta la disciplina d'atenció de les cues mitjançant la ponderació del servei de les classes amb pesos ( $w_i$ ) en funció de la quantitat de tràfic, o en funció de la quantitat de servei sol·licitat pel tràfic de cada flux. Aquest sistema permet atendre tràfic amb diferents necessitats sense penalitzar-ne cap.

Assegura que les diferents cues no es quedin privades de un mínim ample de banda, de manera que el servei proporcionat al tràfic és més predictable.

Considera fluxos de poc caudal amb fluxos sensibles al retard, com pot ser VoIP.

Els mecanismes vistos anteriorment (FIFO i PQ) són estàtics, és a dir, no s'adapten als canvis produïts en la xarxa. El mecanisme WFQ és adaptatiu, tot i que no és escalable dins d'una gran xarxa.

WFQ proporciona un bon temps de resposta. És adequat per a situacions on es necessiti un bon temps de resposta, tant per a usuaris que facin un ús elevat de la xarxa com per aquells que en facin un ús més baix, sense afegir ample de banda addicional.

En aquest segon escenari, s'analitzaran de manera comparativa les tres disciplines de servei comentades anteriorment (FIFO, PQ i WFQ). Es farà duplicant l'escenari base dues vegades més i assignant a cadascun d'ells una disciplina de servei diferent.

L 'arquitectura emprada per a modelar la seu 2 consta de dos routers, un en cada planta, connectats entre si i a la mateixa vegada connectats a les seves respectives LAN's. En la primera LAN trobem dos clients d' FTP, un de correu, un d' Http i dos més de VoIP. I en la



## 5. Estudi de simulació amb OPNET IT Guru Academic Edition 9.1: Descripció de l' objectiu d'estudi, arquitectura emprada i paràmetres d'interès a analitzar

segona LAN trobem tres servidors, un d' FTP, un de correu i un tercer d' Http, i dos receptors de VoIP.

Al igual que en l'escenari 1, la pretensió no ha estat la de realitzar un esquema de xarxa complex, sinó la de treballar sobre un escenari simplificat que permeti l'estudi de les tres disciplines de servei que ens incumbeixen de manera clara i concisa.

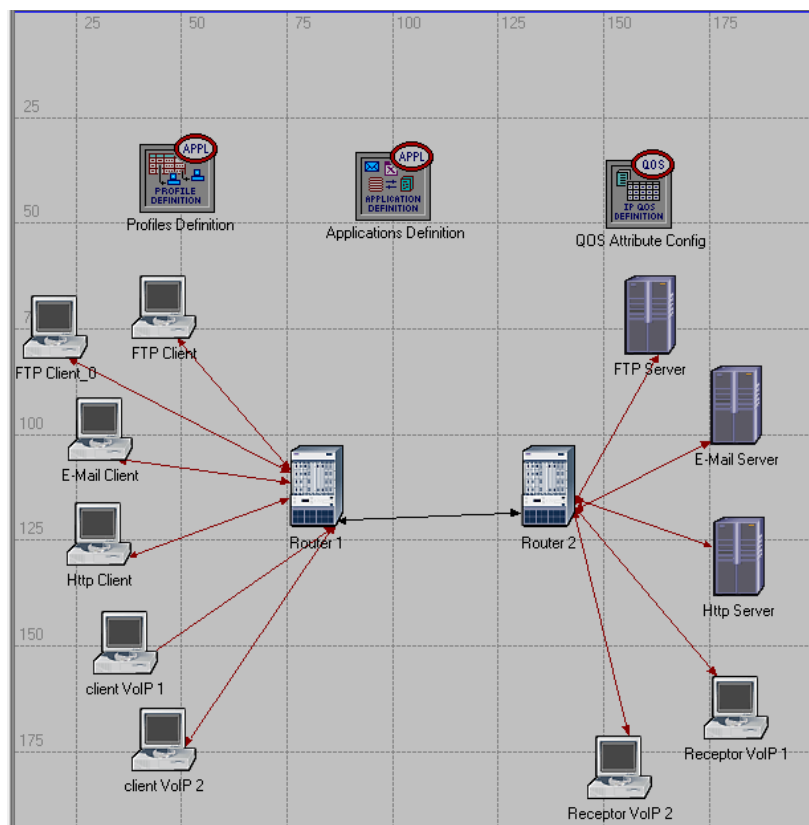


Figura 37 – Escenari 2: Fàbrica

Els paràmetres d'interès del present escenari que s' analitzaran de manera comparativa en el següent punt de resultats són:

- E-Mail: Download Response Time. S'analitzarà el temps de descarrega dels correus electrònics en funció del planificador escollit i de les prioritats assignades a cada servei.
- FTP: Download Response Time. S'analitzarà el temps de descarrega FTP en les mateixes condicions anteriors.
- HTTP: Page Response Time. S' analitzarà el temps de resposta de la pàgina Http en funció de la disciplina de servei escollida i de les prioritats assignades a cada servei.

## 5. Estudi de simulació amb OPNET IT Guru Academic Edition 9.1: Descripció de l' objectiu d'estudi, arquitectura emprada i paràmetres d'interès a analitzar

---

- HTTP: Object Response Time. Temps de resposta d'un objecte Http. OPNET considera que una pàgina Http està constituïda per diversos objectes Http. Per tant s'analitzarà la resposta individual dels objectes en les condicions anteriorment esmentades.
- IP: Traffic Dropped. S'analitzaran els paquets rebutjats per a cadascuna de les tres disciplines de servei estudiades, mantenint les prioritats assignades a cada servei.
- Voice: Traffic Received. S'analitzarà el tràfic de veu rebut i es comprovarà la concordança amb el tràfic de veu rebutjat també per a cadascun dels tres planificadors vistos i mantenint les prioritats assignades a cada servei.
- Packet End-to-End Delay. S'analitzarà el retard de veu dels paquets extrem a extrem de la comunicació, sense utilitzar però RSVP, ja que OPNET únicament permet realitzar reserva de recursos per la disciplina WFQ. Es veurà l'efecte que té el tràfic generat pels altres tipus d' aplicacions sobre el de VoIP en cada planificador i en funció de les prioritats assignades a cada tipus de servei.
- Packet Delay Variation. S'analitzarà la variació del retard dels paquets de veu en les mateixes condicions que el punt anterior.

## 6.- Resultats de les simulacions amb OPNET IT Guru Academic Edition 9.1:

### 6.1 Escenari 1: Oficines centrals

En totes les simulacions realitzades en aquest apartat, per al Client\_RSVP\_1 s'han fixat els següents valors d'ample de banda i mida del buffer: BW= 5.000 Bytes/sec , Mida del Buffer= 5.000 Bytes.

Al Client\_RSVP\_2 se li aniran variant els paràmetres anteriorment esmentats per tal de veure'n el seu efecte sobre el protocol RSVP.

#### 6.1.1 Simulació 0: VoIP amb RSVP vs sense RSVP

En aquesta primera simulació es compara el retard extrem a extrem i la variació del retard d'una comunicació de VoIP que no realitza reserva de recursos amb una segona que si, amb l'objectiu d'analitzar l'efecte del protocol RSVP en la comunicació de veu.

El resultat obtingut del retard extrem a extrem amb i sense RSVP és:

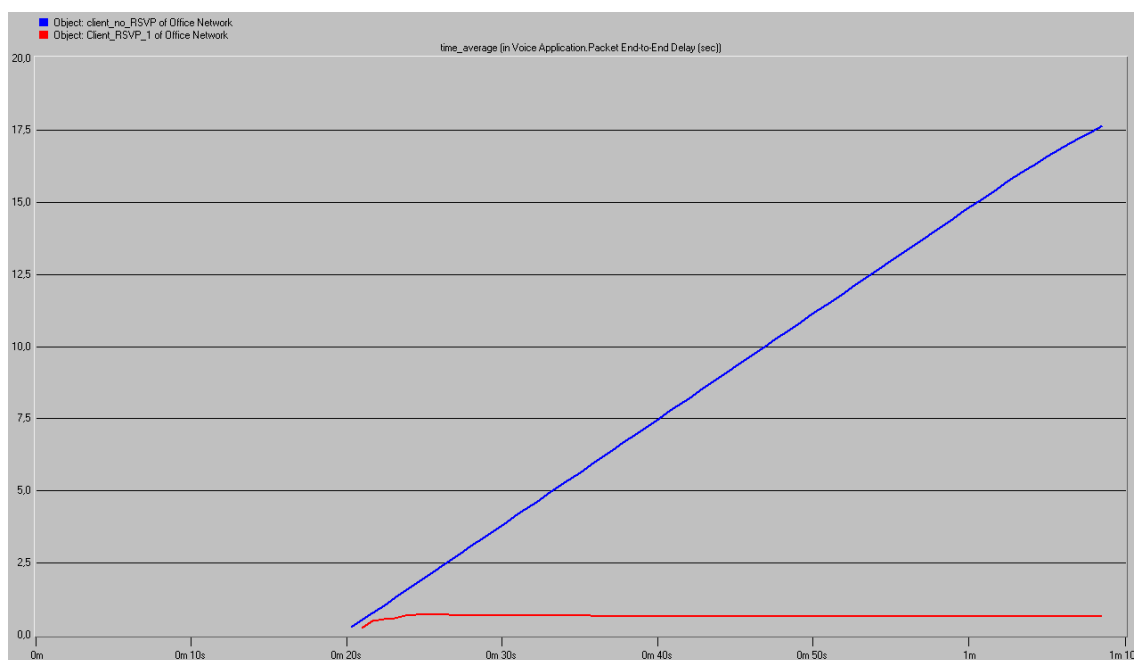


Figura 38 – Sim 0.Voice Application. Packet end to end Delay (sec)

Es comprova que el retard extrem a extrem de la comunicació VoIP sense realitzar reserva de recursos es dispara en front el retard experimentat per la comunicació VoIP amb RSVP.

El resultat obtingut de la variació del retard amb i sense RSVP és:

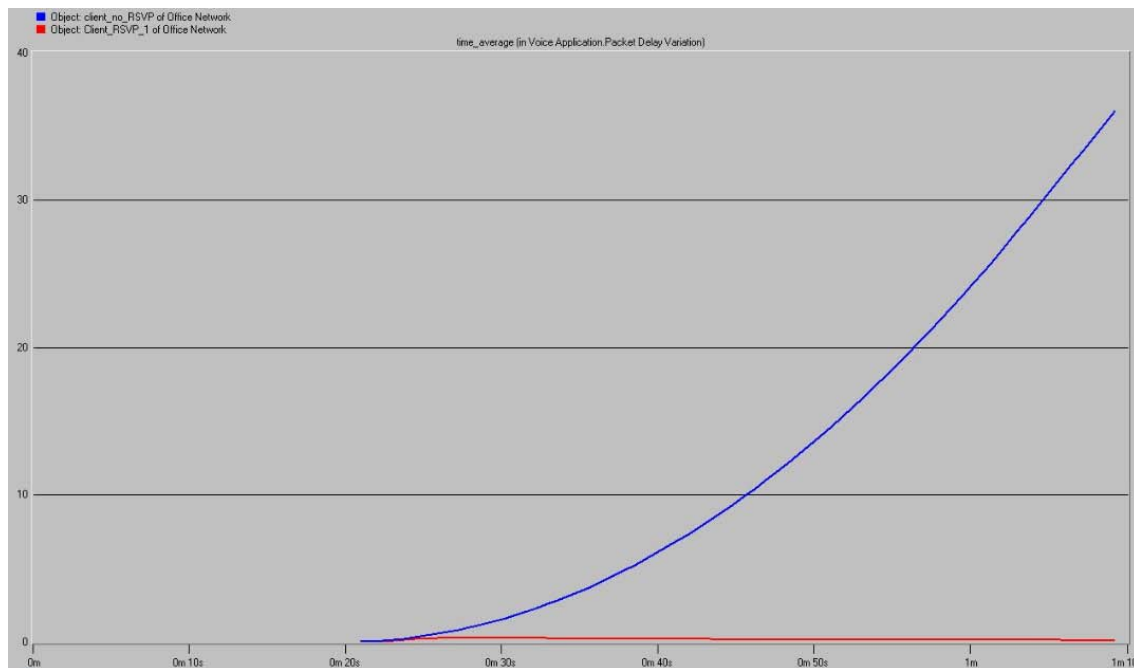


Figura 39 – Sim 0.Voice Application. Packet Delay Variation (sec)

Es comprova que la variació de retard en la comunicació VoIP sense realitzar reserva de recursos es dispara en front el retard experimentat per la comunicació VoIP amb RSVP.

#### 6.1.2: Simulació 1: VoIP amb RSVP augmentant l'ample de banda

En la present simulació es compara el retard extrem a extrem de la comunicació VoIP de dos clients que realitzen reserva de recursos i la variació d'aquest retard. El tret que els diferencia és que els amplituds de banda assignats són diferents. Els paràmetres utilitzats per al Client\_RSVP\_2 són: BW= 6.000 Bytes/sec, Mida del Buffer= 5.000 Bytes.

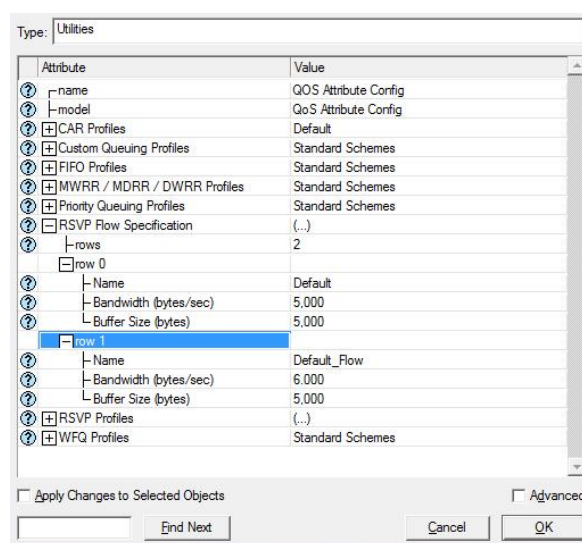


Figura 40 – Sim 1.QoS Atributte Configuration

El resultat obtingut del retard extrem a extrem és:

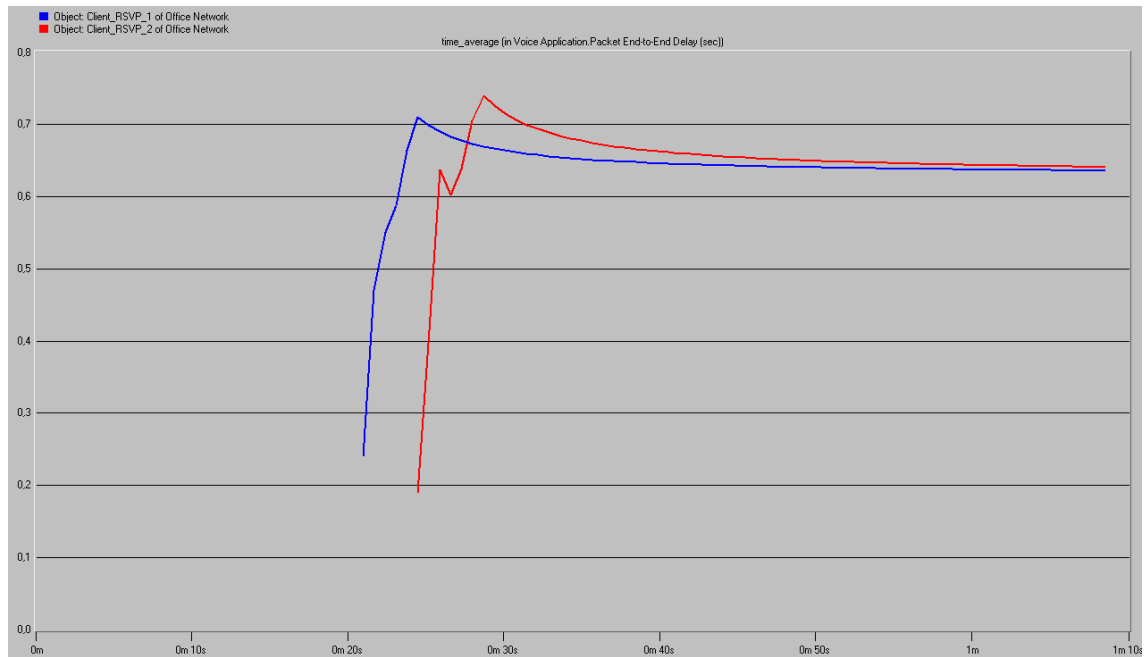


Figura 41 – Sim 1.Voice Application. Packet end to end Delay (sec)

I el resultat obtingut de la variació del retard és:

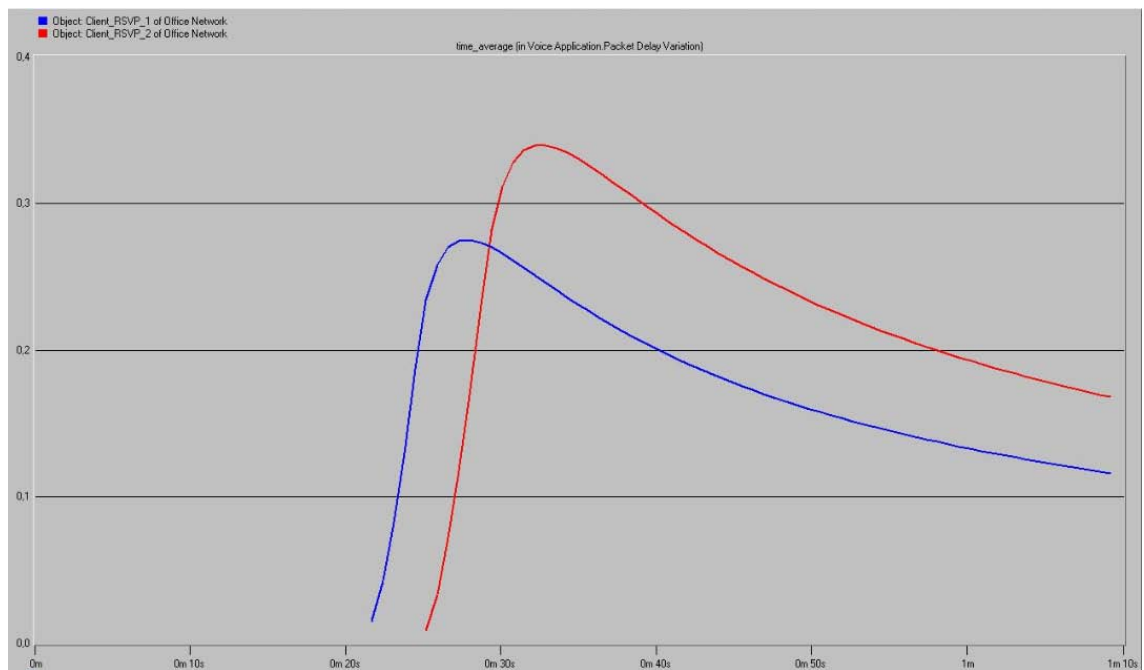


Figura 42 – Sim 1.Voice Application. Packet Delay Variation (sec)

## 6.1.3 Simulació 2: VoIP amb RSVP disminuint l'ample de banda

En la següent simulació es realitza la mateixa comparació que en l'anterior: el retard extrem a extrem d'una comunicació VoIP de dos clients que realitzen reserva de recursos i la variació del retard. En aquest cas, en comptes d'augmentar l'ample de banda del Client\_RSVP\_2 respecte el Client\_RSVP\_1, es disminueix, quedant els paràmetres utilitzats per al Client\_RSVP\_2 de la següent manera: BW= 4.000 Bytes/sec, mida el Buffer= 5.000 Bytes.

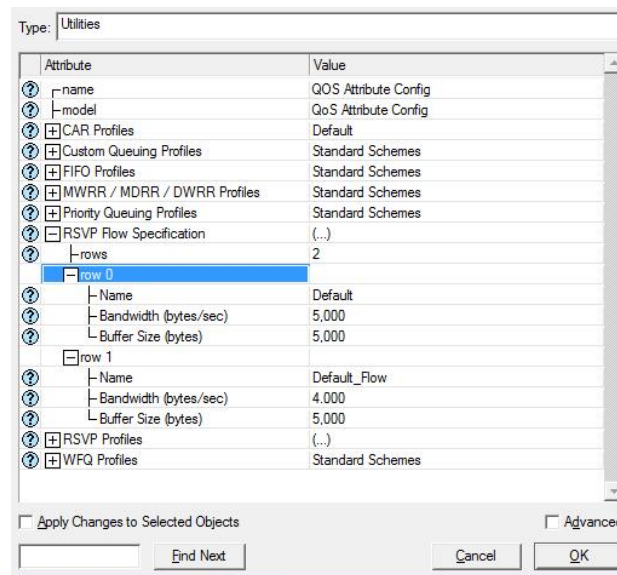


Figura 43 – Sim 2.QoS Atributte Configuration

El resultat obtingut del retard extrem a extrem és:

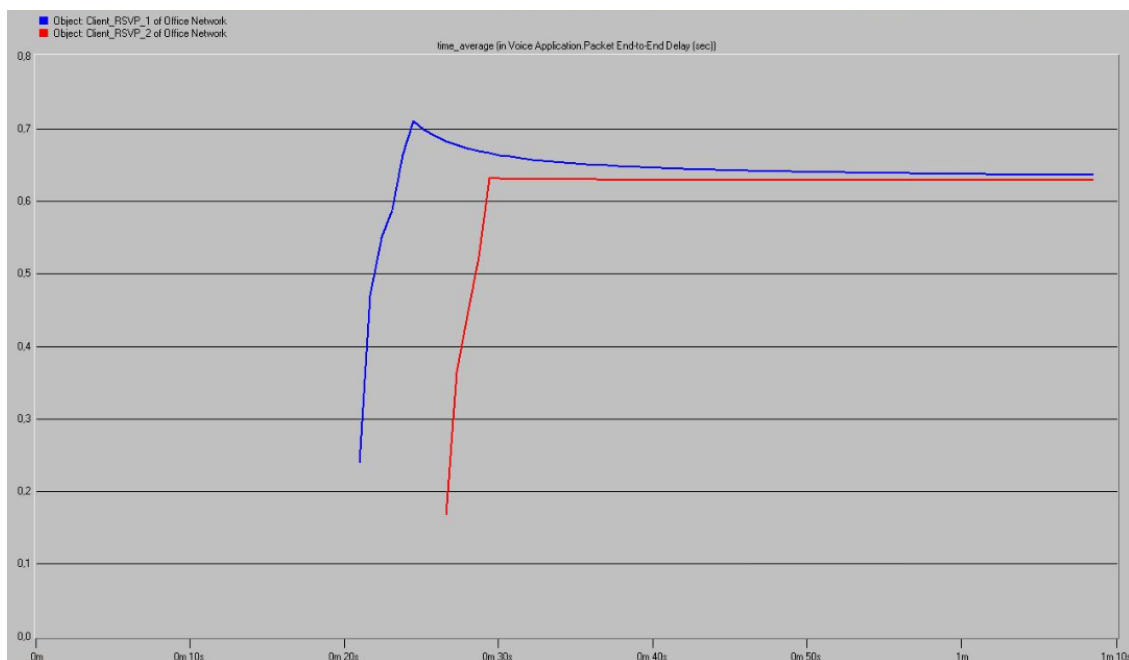


Figura 44 – Sim 2.Voice Application. Packet end to end Delay (sec)

I el resultat obtingut de la variació del retard és:

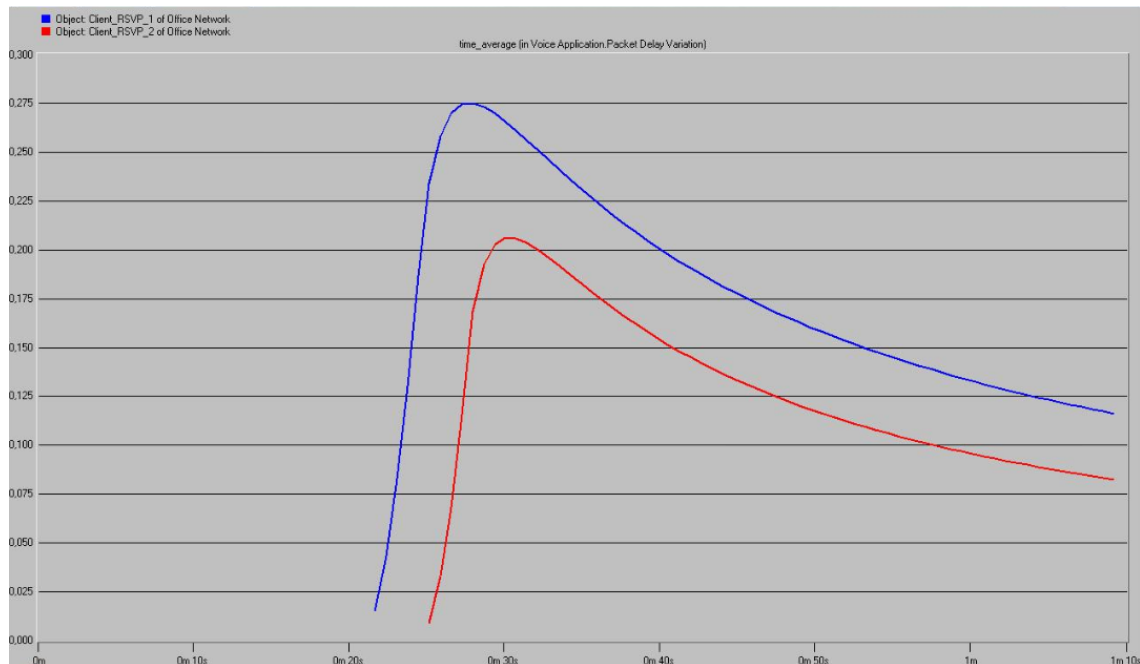


Figura 45 – Sim 2.Voice Application. Packet Delay Variation (sec)

La conclusió de com afecta l'ample de banda en el retard entre extrems de la comunicació VoIP amb reserva de recursos i en la variació del retard, en les simulacions 1 i 2 és la següent:

S'observa que el fet d'augmentar l'ample de banda del flux RSVP fa augmentar el retard extrem – extrem inicial, mentre que si es redueix, aquest retard inicial també es redueix. En ambdós casos, al cap d'un temps relativament curt el retard s'estabilitza en el mateix valor.

Aquest comportament és l'esperat, ja que aquest atribut (BW) especifica el tràfic que es generarà i, per tant, pel qual s'han de reservar recursos. Aleshores, quan major sigui el valor de l'BW, major serà el retard en la fase inicial, mentre es realitza la reserva de recursos. Com que després entra en funcionament el protocol RSVP, els retards s'equiparen.

En referència a la variació del retard, a l'augmentar l' ample de banda, la variació del retard també ho fa, i al disminuir l'ample de banda, la variació del retard també disminueix.

#### 6.1.4 Simulació 3: VoIP amb RSVP disminuint la mida del buffer

En les dues simulacions següents es tornen a analitzar els mateixos resultats que en les anteriors, és a dir, el retard extrem a extrem de la comunicació VoIP de dos clients que realitzen reserva de recursos i la variació d'aquest retard, però en aquest cas es modificarà la mida del Buffer del Client\_RSVP\_2, en comptes de l'ample de banda.

A la simulació 3 es redueix la mida del buffer, quedant els paràmetres del Client\_RSVP\_2 de la següent manera: 5.000 Bytes/sec, mida del Buffer= 1.000 Bytes.

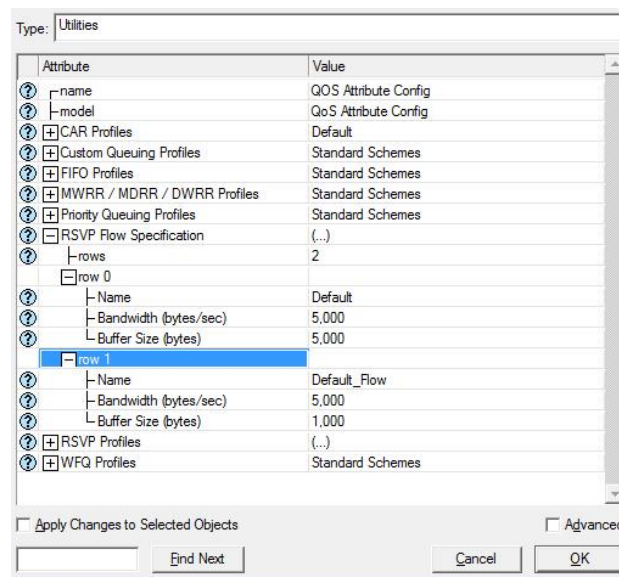


Figura 46 – Sim 3. QoS Atributte Configuration

El resultat obtingut del retard extrem a extrem és:

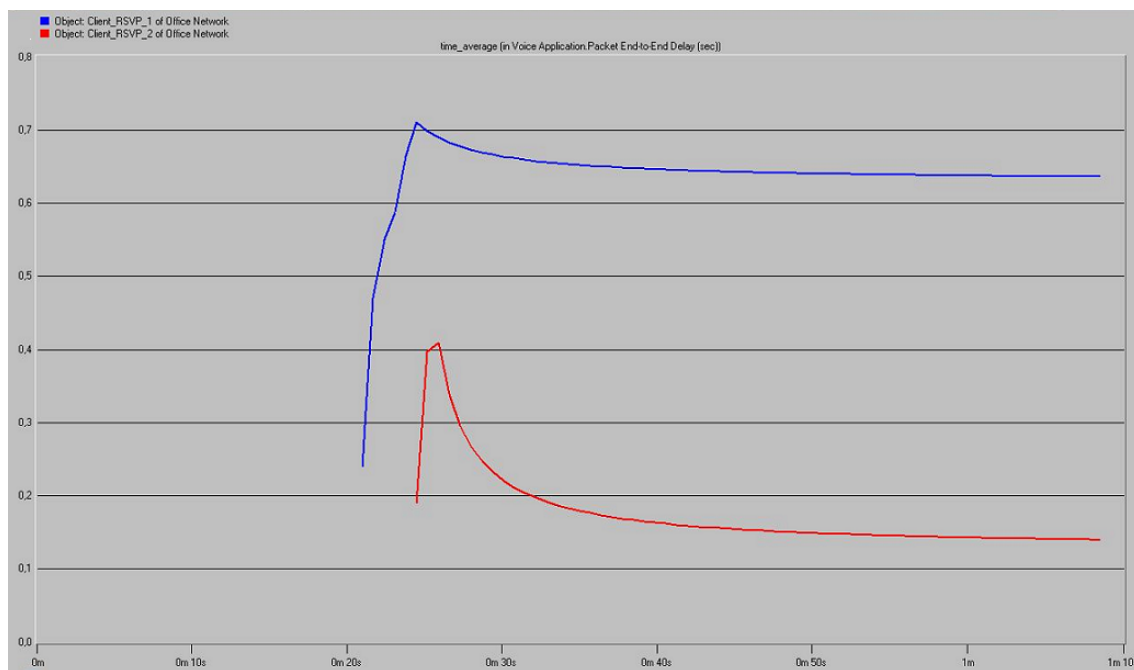


Figura 47 – Sim 3.Voice Application. Packet end to end Delay (sec)



I el resultat obtingut de la variació del retard és:

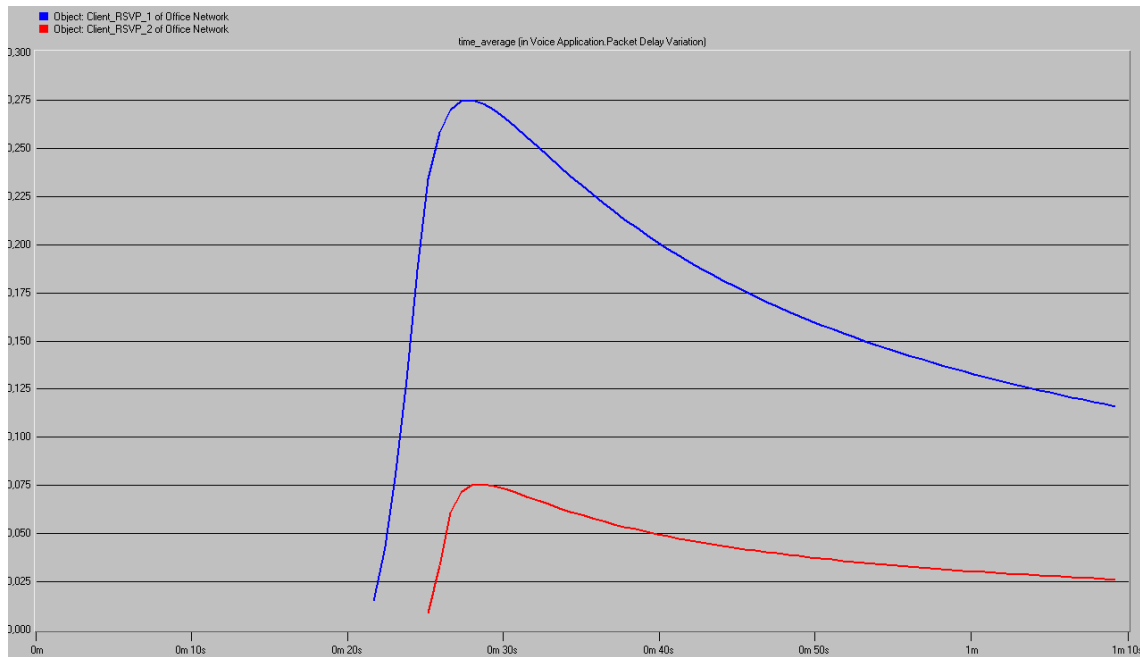


Figura 48 – Sim 3.Voice Application. Packet Delay Variation (sec)

#### 6.1.5 Simulació 4: VoIP amb RSVP augmentant l'ample de banda

En la simulació 4 s'augmenta la mida del buffer per veure com afecta al retard extrem a extrem i a la seva variació, quedant els paràmetres del Client\_RSVP\_2 de la següent manera: 5.000 Bytes/sec, mida del Buffer= 10.000 Bytes.

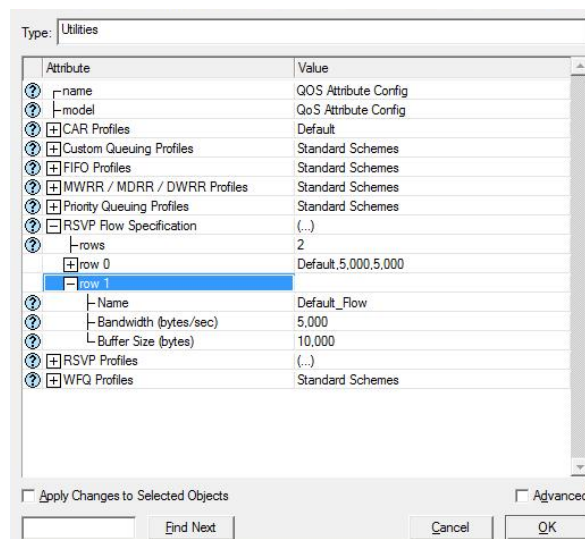


Figura 49 – Sim 4. QoS Attribute Configuration

El resultat obtingut del retard extrem a extrem és:

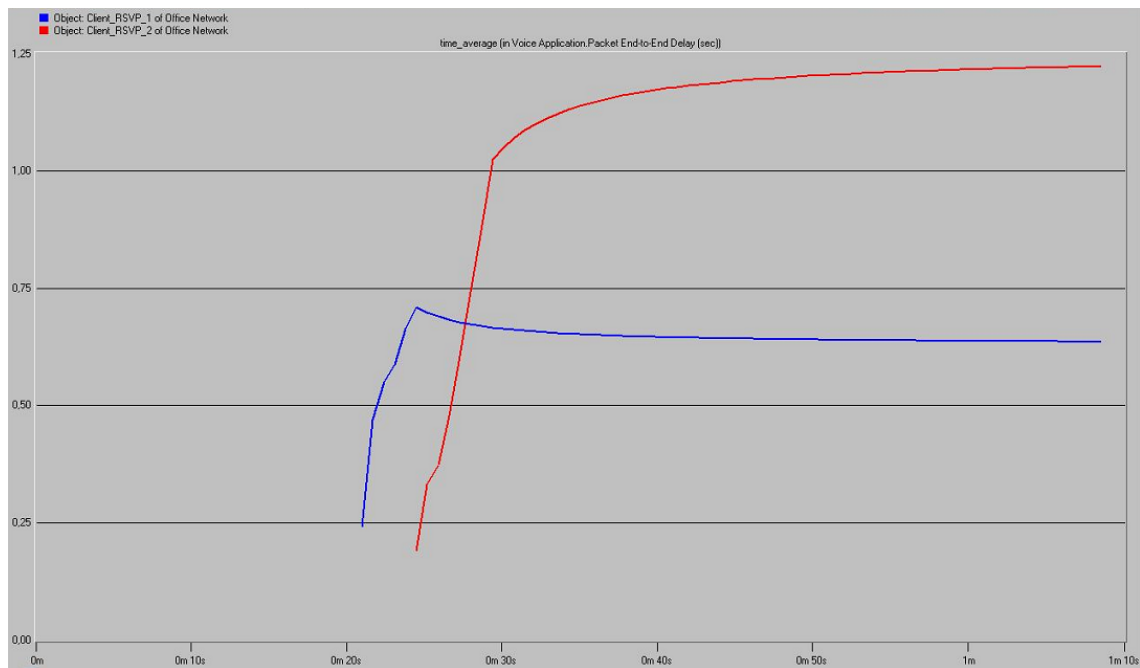


Figura 50 – Sim 3.Voice Application. Packet end to end Delay (sec)

I el resultat obtingut de la variació del retard és:

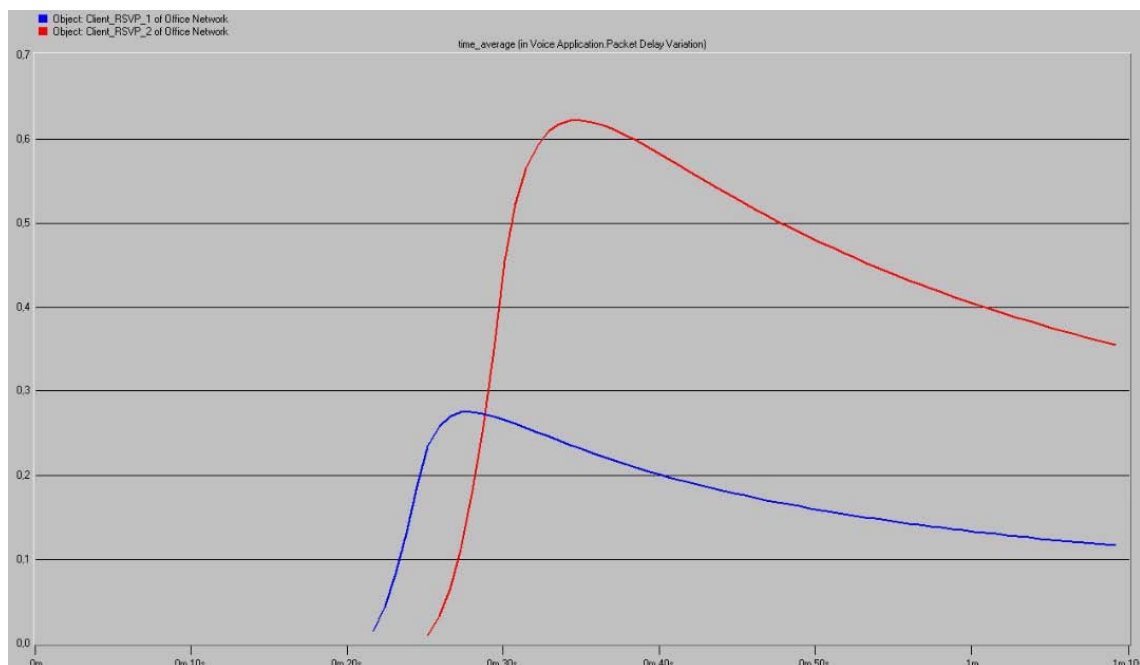


Figura 51 – Sim 4.Voice Application. Packet Delay Variation (sec)

La conclusió de com afecta la mida del buffer en el retard entre extrems de la comunicació VoIP amb reserva de recursos i en la variació del retard, en les simulacions 3 i 4 és la següent:

S'observa que al reduir la mida del buffer, el retard es redueix considerablement, i a l'inrevés a l'augmentar-ho. Això és així perquè a Opnet, aquest atribut es tradueix en la mida del buffer que s'ha de reservar en cada node IP pel tràfic. Per tant, com més petit sigui el buffer, més ràpidament es transmetrà, fent que el retard sigui menor. Per contra, si s'augmenta la mida del buffer passa a l'inrevés.

De la mateixa manera s'observa que amb la variació del retard succeeix el mateix. Al disminuir la mida del buffer disminueix la variació del retard, i a l'inrevés. Això es així perquè com més ràpid es transmeti la informació (menor retard), menys possibilitats hi ha de patir variacions en la velocitat.

## 6.2 Escenari 2: Fàbrica

### 6.2.1 Taules de paràmetres de configuració

Planificador	Cues	Prioritat cua	Mida màxima cua	ToS
FIFO	1	-	500	Best Effort
PQ	0	Low	80	Best Effort (0)
				Background (1)
	1	Normal	60	Standard (2)
				Excelent Effort (3)
	2	Medium	40	Streaming Multimedia (4)
				Interactive Multimedia (5)
	3	High	20	Interactive Voice (6)
				Reserved (7)
WFQ	1	1	500	Best Effort (0)
	2	10	500	Background (1)
	3	20	500	Standard (2)
	4	30	500	Excelent Effort (3)
	5	40	500	Streaming Multimedia (4)
	6	50	500	Interactive Multimedia (5)
	7	60	500	Interactive Voice (6)
	8	70	500	Reserved (7)

Taula 16 – Paràmetres de configuració I

Aplicacions	ToS
FTP	Background (1)
VoIP Application 1	Streaming Multimedia (4)
VoIP Application 2	Interactive Voice (6)
Email	Standard (2)
Http	Best Effort (0)

Taula 17 – Paràmetres de configuració II

### 6.2.2 Paràmetres d'interès analitzats:

E-Mail: Download Response Time

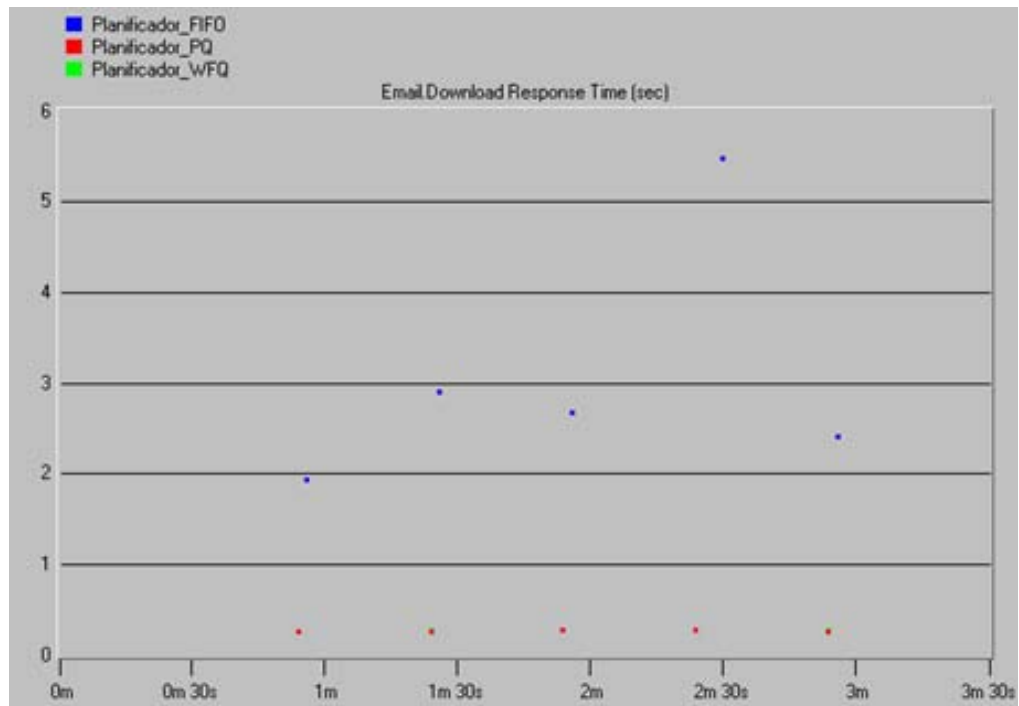


Figura 52 – Email Download Response Time (sec)

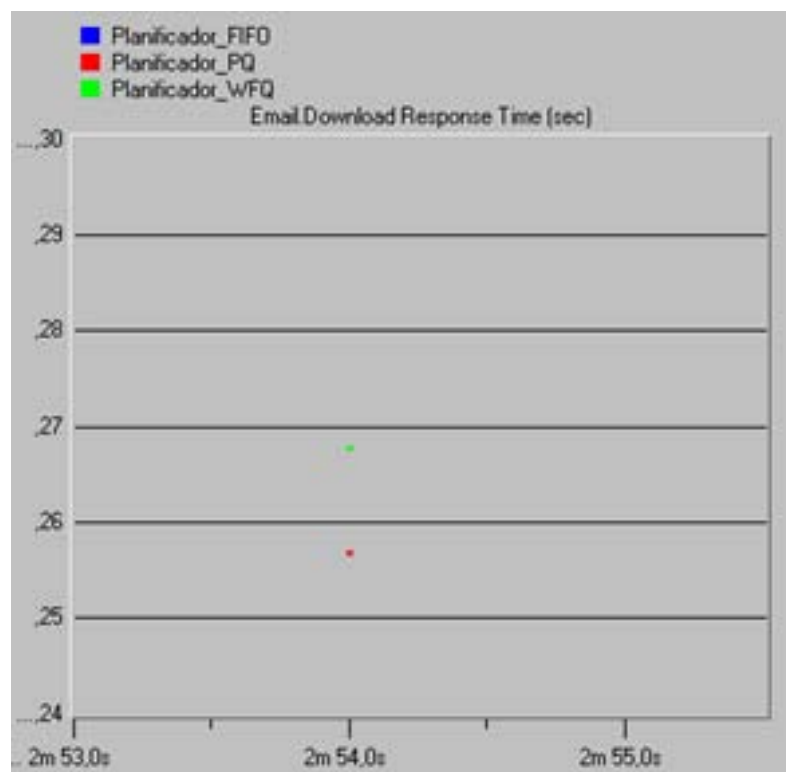


Figura 53 – Email Download Response Time (sec) zoom

S'observa clarament la diferència entre utilitzar la disciplina de servei FIFO en front de qualsevol de les altres dues analitzades (PQ i WFQ). El temps de descàrrega dels e-mails és molt més elevat amb la cua FIFO. Això és degut a la congestió, donat que en aquest tipus de planificador no s'assigna cap prioritat. Entre PQ i WFQ la diferència és mínima (en la figura 52 no s'aprecia, però fent zoom, en la figura 53 observem que el temps de PQ és sensiblement menor a WFQ), i és considerablement inferior al de la cua FIFO, ja que en aquest escenari l'e-mail té la tercera prioritats més alta, per davant de FTP i HTTP, fet que s'aprecia en els resultats obtinguts.

FTP: Download Response Time

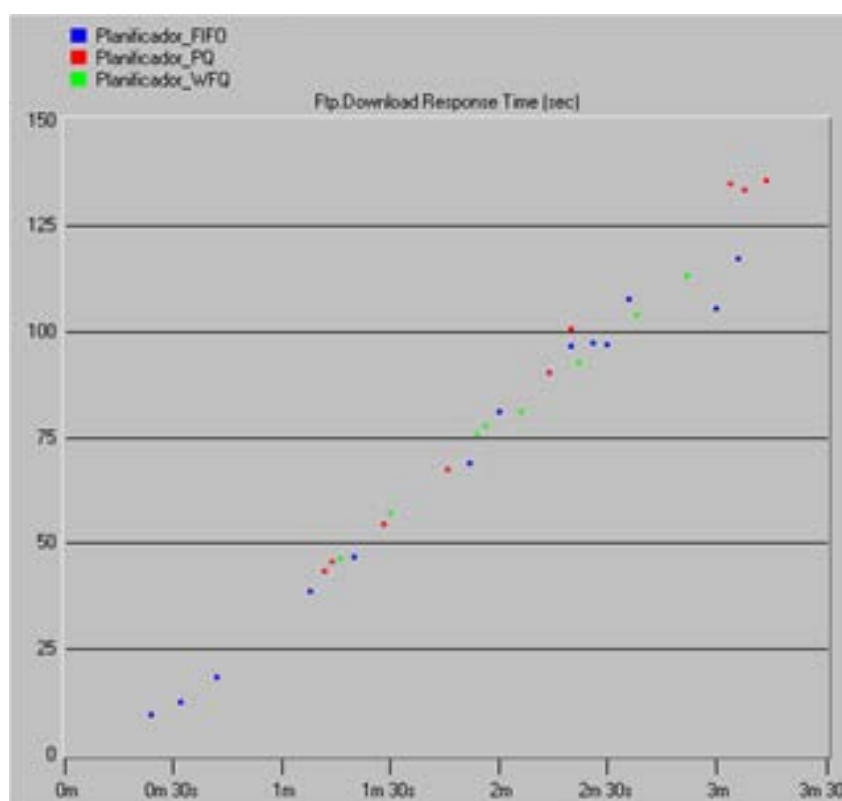


Figura 54 – FTP Download Response Time (sec)

El temps de descàrrega FTP augmenta de forma continuada en les tres cues. La prioritats de l'aplicatiu FTP en aquest escenari és la segona més baixa, fet que penalitza a aquest servei. Al final del temps de simulació s'observa més la penalització en la cua PQ, sent el temps d'aquesta major al de les altres. Això és així perquè, tal i com s'ha comentat anteriorment, la disciplina de servei PQ penalitza el servei del tràfic de menys prioritats, que serà servit només en cas que no hi hagi tràfic de més prioritats a l'espera de ser transmès.

## HTTP: Page Response Time

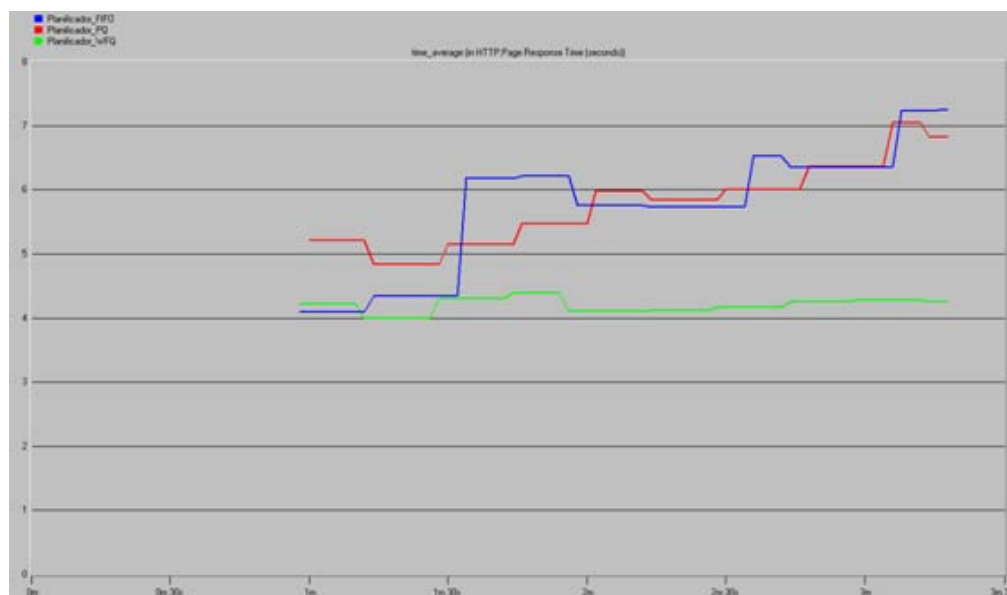


Figura 55 – HTTP Page Response Time (seconds)

El temps de resposta de pàgina Http augmenta de forma continuada pels planificadors FIFO i PQ, amb els que s'obtenen resultats similars. Tot i així esmentar que amb la disciplina de servei PQ, el tràfic al qual s'ha assignat la menor prioritat, en resulta més perjudicat. En canvi, amb la cua FIFO, tot tipus de tràfic queda canalitzat per igual. D'altra banda, la cua WFQ manté un temps de resposta aproximadament constant al llarg del temps, ja que tot i que és el servei amb menys prioritat assignada, és la cua més equitativa.

## HTTP:Object Response Time

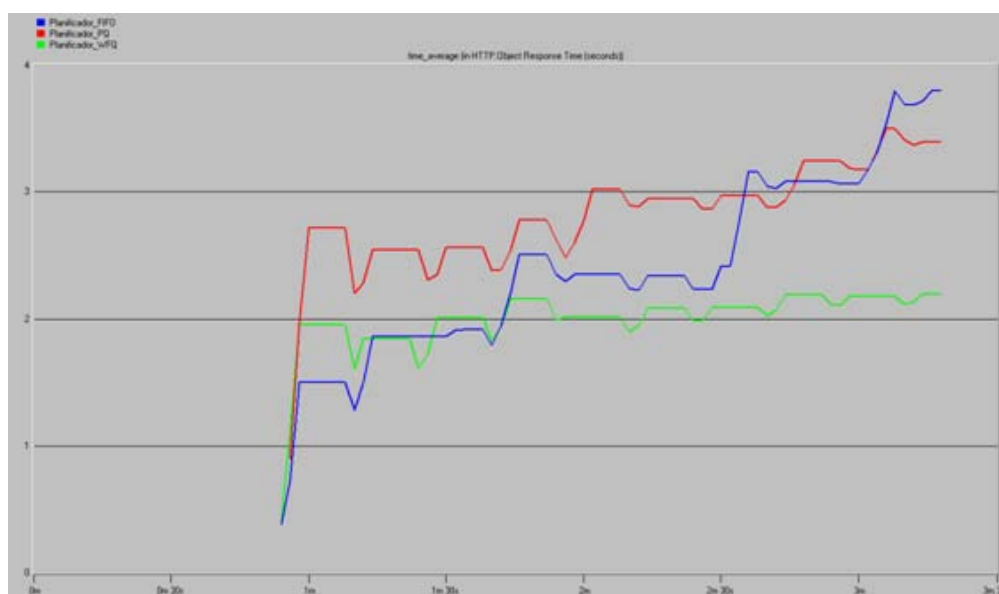


Figura 56 – HTTP Object Response Time (seconds)

Pel simulador Opnet, una pàgina Http està formada per un conjunt d'objectes Http. A la gràfica anterior s'observa la resposta individual dels objectes en qüestió. S'observa que les tendències dels temps de resposta dels objectes són les mateixes que per les pàgines completes. La diferència radica en que, com era d'esperar, el temps de resposta d'un objecte individual és menor al temps de resposta de la pàgina sencera.

#### IP: Traffic Dropped

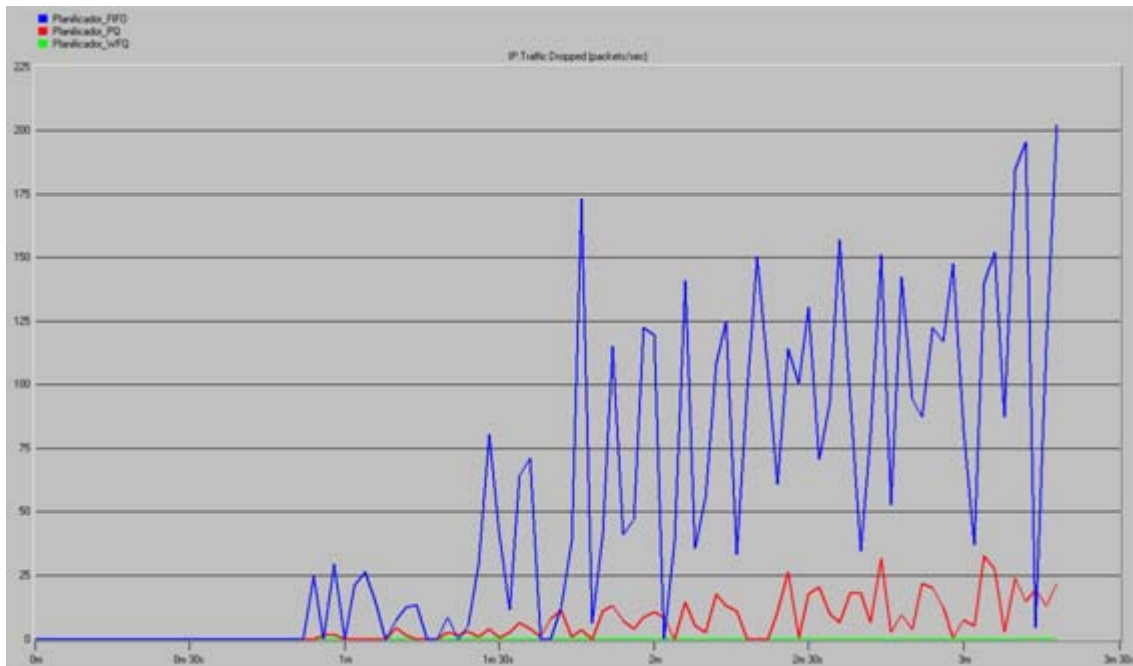


Figura 57– Traffic Dropped (packets/sec)

En aquesta gràfica es veuen els paquets IP rebutjats per les tres disciplines de cua. La quantitat de paquets rebutjats amb la disciplina de servei FIFO és molt elevada, donat que no pot garantir la total transmissió dels paquets encuats. En aquest cas s'ha plantejat una FIFO de 500 posicions, com es pot observar, mida insuficient per absorbir la totalitat del tràfic generat, cosa que provoca la pèrdua dels paquets que no han cabut a la cua.

Amb la disciplina PQ les pèrdues es redueixen significativament. Aquesta modalitat de cua assigna diferents nivells de prioritat en funció del tipus de servei. En aquest cas s'ha determinat que el tràfic amb major prioritat sigui canalitzat amb una cua de 20 posicions. Progressivament s'ha anat augmentant la longitud de les diferents cues a mesura que s'ha anat disminuint la prioritització del tràfic, fins arribar al tràfic menys prioritari canalitzat amb una cua de 80 posicions. D'aquesta manera no es pot garantir la correcta transmissió de tot el tràfic generat, però sí es millora significativament la transmissió del tràfic d'elevada prioritat.

Quan es fa servir la disciplina WFQ en aquest escenari, les pèrdues són nul·les. En aquest cas s'assigna una cua diferent per a cada tipus de servei, la mida de les quals és de 500 paquets, que es transmeten de forma circular assignant diferents capacitats de transmissió per les diferents cues en funció de la seva prioritat.

Voice: Traffic Received,

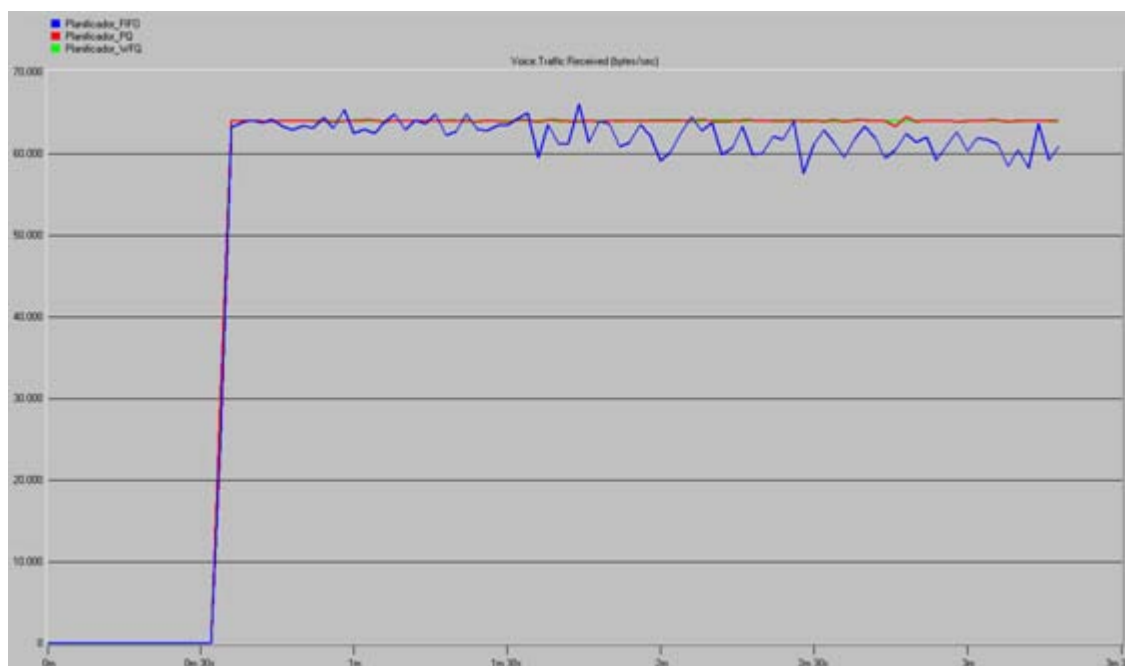


Figura 58 – Traffic Received (Bytes/sec)

El tràfic de veu rebut està en total concordança amb el gràfic corresponent al tràfic rebutjat vist anteriorment en la figura 57. Aleshores, sabent que el tràfic de veu transmès és constant, es comprova que amb la cua FIFO el volum de tràfic rebut és inferior al generat. Aquest tràfic no rebut, és el que en la figura 57 s'ha vist com a tràfic rebutjat.

Amb la disciplina PQ, també hi ha algunes variacions del tràfic rebut, tot i que són molt inferiors a les de la FIFO, cosa que també concorda amb el tràfic rebutjat amb PQ vist anteriorment.

Finalment, amb WFQ el tràfic rebut és constant, és a dir, es rep la totalitat del tràfic i no es rebutja cap paquet, tal i com s'havia vist a la figura 57.



## Packet End-to-End Delay

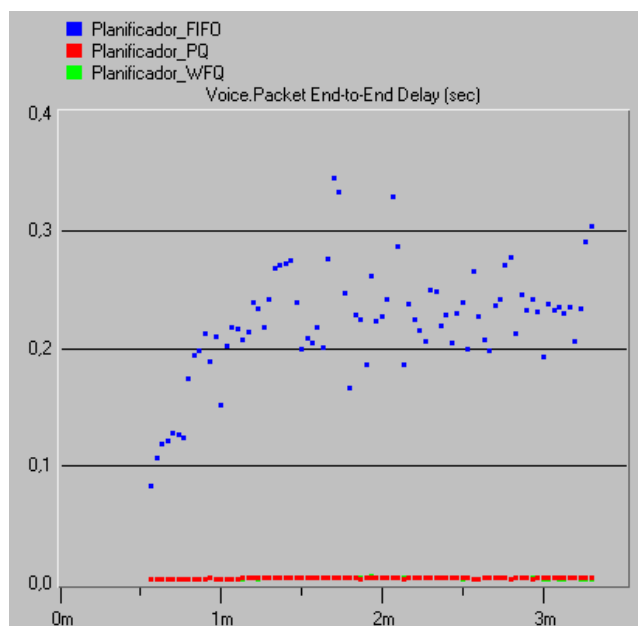


Figura 59– Voice. Packet End-to-End Delay (sec)

En la disciplina de servei FIFO es produeixen retards relativament elevats, ja que el tràfic de veu en la cua ha d'esperar a que primerament es serveixin els paquets dels altres tipus de serveis (FTP, Http i E-Mail) que havien arribat abans. El retard de les transmissions de veu amb PQ i WFQ es redueix fins a mínims, ja que és el tipus de servei amb prioritat més elevada.

## Packet Delay Variation

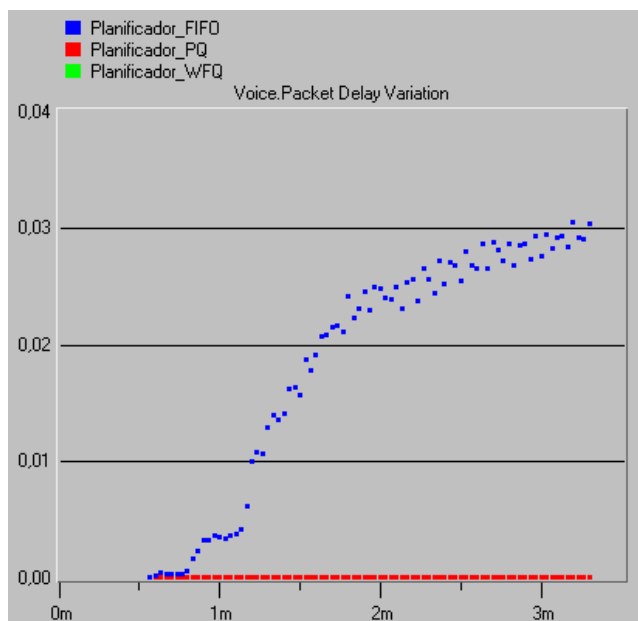


Figura 60 – Voice. Packet Delay Variation

S'observa que fent servir FIFO, la variació del retard dels paquets de veu augmenta de forma continuada, ja que en aquest cas, aquest servei no té prioritat. A més, s'aprecia que el major increment del retard es produeix quan totes les aplicacions de l'escenari ja estan transmetent, és a dir, quan hi ha major saturació de la xarxa.

Quan es fa servir PQ i WFQ, la variació és manté constant i pràcticament nul·la, ja que el servei de veu és el més prioritari en tots dos casos.

## Conclusions.

- Abans de crear una xarxa física real, és necessari planificar-ne la seva estructura, protocols i altres paràmetres per tal d'assegurar-nos que el disseny sigui una solució adequada a la necessitat que es vol satisfer mitjançant la xarxa. En aquest punt sorgeix la necessitat dels simuladors de xarxes.
- L'objectiu cercat per tot simulador és recrear un model que s'assimili el màxim possible a la realitat, si més no, pel que fa a les característiques a estudiar, ja que les dades obtingudes durant l'execució del programa de simulació seran usades per extrapolar els resultats obtinguts i calcular així les estimacions del funcionament del sistema original.
- En l'actualitat, existeix un gran nombre d'eines de simulació disponibles. A partir de l'anàlisi d'algunes d'elles, determinant-ne els avantatges i inconvenients de l'ús d'aquest programari en un entorn virtual, es convé que OPNET IT Guru Academic Edition és el simulador adient per a la realització del present treball.
- OPNET IT Guru Academic Edition és un simulador adequat per a la implementació de xarxes de comunicacions.
- És útil en l'entorn docent, donat que es tracta d'una eina àmpliament difosa en l'àmbit acadèmic mundial.
- Requereix de llicència acadèmica privada, tot i que és facilitada de forma gratuïta per OPNET prèvia sol·licitud.
- Per a executar les simulacions, es disposa de diferents opcions configurables i parametritzables.
- OPNET IT Guru Academic Edition permet abordar els següents aspectes de les xarxes de comunicacions:
  - Ofereix la possibilitat d'estudiar l'efecte de diferents planificadors, cues FIFO, amb prioritat i equitatives (FQ, WFQ), en la transmissió de paquets per a diferents serveis. Permet analitzar de manera comparativa, com es veu afectat el rendiment de les diferents aplicacions en funció de la disciplina de servei escollida.
  - Possibilita l'estudi de l'efecte de l'ús del Protocol de Reserva de Recursos (RSVP) com a part de l'enfocament dels serveis integrats IntServ per a proporcionar qualitat de servei (QoS) a les sol·licituds individuals o als fluxos de dades. Permet analitzar com el protocol RSVP contribueix al rendiment de les aplicacions que l'utilitzen.
- En l'estudi del retard dels paquets de veu extrem a extrem d'una comunicació VoIP analitzada primerament sense reserva de recursos i posteriorment amb el protocol de reserva de recursos RSVP, es conclou que, el retard extrem a extrem de la comunicació VoIP sense realitzar reserva de recursos es dispara en front el retard experimentat per la comunicació VoIP amb RSVP.

- En l'estudi de la variació del retard dels paquets de veu en una comunicació analitzada en primer lloc sense reserva de recursos i en segon lloc amb el protocol de reserva de recursos RSVP es comprova que, la variació de retard en la comunicació VoIP sense realitzar reserva de recursos es dispara en front el retard experimentat per la comunicació VoIP amb RSVP.
- En l'estudi del retard dels paquets de veu extrem a extrem d'una comunicació VoIP entre dos clients que realitzen reserva de recursos, però que tenen amplituds de banda assignats diferents, es conclou que, el fet d'augmentar l'amplitud de banda del flux RSVP fa augmentar el retard extrem – extrem inicial, mentre que si es redueix, aquest retard inicial també es redueix. En ambdós casos, al cap d'un temps relativament curt el retard s'estabilitza al voltant dels mateixos valors.
- L'amplitud de banda determina el tràfic que es generarà i, per tant, pel qual s'ha de reservar recursos. Aleshores, quan major sigui el valor de l'amplitud de banda, major serà el retard en la fase inicial, mentre es realitza la reserva de recursos. Com que a posteriori entra en funcionament el protocol de reserva de recursos RSVP, els retards s'equiparen.
- En l'estudi de la variació de retard dels paquets de veu extrem a extrem d'una comunicació VoIP entre dos clients que realitzen reserva de recursos, però que tenen amplituds de banda assignats diferents, es conclou que, a l'augmentar l'amplitud de banda, la variació del retard també ho fa, i al disminuir l'amplitud de banda, la variació del retard també disminueix.
- En l'estudi del retard dels paquets de veu extrem a extrem d'una comunicació VoIP entre dos clients que realitzen reserva de recursos, però que tenen diferents mides de buffer assignats, es conclou que, al reduir la mida del buffer, el retard es redueix considerablement, i a l'inrevés a l'augmentar-ho.
- A OPNET IT Guru Academic Edition, aquest atribut es tradueix en la mida del buffer que s'ha de reservar en cada node IP pel tràfic. Per tant es comprova que com més petit sigui el buffer, més ràpidament es transmetrà, fent que el retard sigui menor. Per contra, si s'augmenta la mida del buffer passa a l'inrevés.
- En l'estudi de la variació del retard dels paquets de veu extrem a extrem d'una comunicació VoIP entre dos clients que realitzen reserva de recursos, però que tenen diferents mides de buffer assignats, es conclou que, al disminuir la mida del buffer disminueix la variació del retard, i a l'inrevés, donat que com més ràpid es transmeti la informació (menor retard), menys possibilitats hi ha de patir variacions en la velocitat.
- En l'anàlisi del temps de descàrrega dels correus electrònics en funció del planificador escollit i de les prioritats assignades a cada servei, s'observa clarament la diferència entre utilitzar la disciplina de servei FIFO en front de qualsevol de les altres dues analitzades (PQ i WFQ). El temps de descàrrega dels e-mails és molt més elevat amb la cua FIFO degut a la congestió, donat que en aquest tipus de planificador no s'assigna cap prioritat. Entre PQ i WFQ la diferència és mínima, i és considerablement inferior al de la cua FIFO.

- En l'anàlisi del temps de descarrega FTP en funció del planificador escollit i de les prioritats assignades a cada servei, es comprova que, el temps de descàrrega FTP augmenta de forma continuada en les tres cues. Al final del temps de simulació s'observa més la penalització en la cua PQ, sent el temps d'aquesta major al de les altres, donat que la disciplina de servei PQ penalitza el servei del tràfic de menys prioritat, que serà servit només en cas que no hi hagi tràfic de més prioritat a l'espera de ser transmès.
- En l'anàlisi del temps de resposta de la pàgina Http en funció del planificador escollit i de les prioritats assignades a cada servei, es conclou que, el temps de resposta de pàgina Http augmenta de forma continuada pels planificadors FIFO i PQ, amb els que s'obtenen resultats similars. Amb la disciplina de servei PQ, el tràfic al qual s'ha assignat la menor prioritat, en resulta més perjudicat. En canvi, amb la cua FIFO, tot tipus de tràfic queda canalitzat per igual. D'altra banda, la cua WFQ manté un temps de resposta aproximadament constant al llarg del temps.
- En l'estudi dels paquets rebutjats per a cadascuna de les tres disciplines de servei estudiades, mantenint les prioritats assignades a cada servei, s'observa que la quantitat de paquets rebutjats amb la disciplina de servei FIFO és molt elevada, donat que no pot garantir la total transmissió dels paquets encuats. Amb la disciplina PQ les pèrdues es redueixen significativament. No garanteix la correcta transmissió de tot el tràfic generat, però si es millora significativament la transmissió del tràfic d'elevada prioritat. Amb el planificador WFQ, les pèrdues són nul·les.
- S'observa que el tràfic de veu rebut està amb total concordança amb el tràfic de veu rebutjat també per a cadascun dels tres planificadors vistos i mantenint les prioritats assignades a cada servei. Sabent que el tràfic de veu transmès és constant, es comprova que amb la cua FIFO el volum de tràfic rebut és inferior al generat. Amb la disciplina PQ, també hi ha algunes variacions del tràfic rebut, tot i que són molt inferiors a les de la FIFO. Finalment, amb el planificador WFQ el tràfic rebut és constant, és a dir, es rep la totalitat del tràfic i no es rebutja cap paquet.
- En l'anàlisi del retard de veu dels paquets extrem a extrem de la comunicació, sense utilitzar però el protocol de reserva de recursos RSVP, ja que OPNET únicament permet realitzar reserva de recursos per la disciplina WFQ, es comprova l'efecte que té el tràfic generat pels altres tipus d'aplicacions sobre el de VoIP en cada planificador i en funció de les prioritats assignades a cada tipus de servei, concloent que, en la disciplina de servei FIFO es produeixen retards relativament elevats, donat que el tràfic de veu en la cua ha d'esperar a que primerament es serveixin els paquets dels altres tipus de serveis que havien arribat abans. El retard de les transmissions de veu amb PQ i WFQ es redueix fins a mínims.
- En l'estudi de la variació del retard dels paquets de veu, sense utilitzar però el protocol de reserva de recursos RSVP, es comprova l'efecte que té el tràfic generat pels altres tipus d'aplicacions sobre el de VoIP en cada planificador i en funció de les prioritats assignades a cada tipus de servei, concloent que, que fent servir el planificador FIFO, la variació del retard dels paquets de veu augmenta de forma continuada. S'aprecia que el major increment del retard es produeix quan la saturació

de la xarxa és màxima. Quan es fa servir PQ i WFQ, la variació és manté constant i pràcticament nul·la.

## Annex 2.- Instal·lació del simulador OPNET IT Guru Academic Edition 9.1

De la següent pàgina web, es pot descarregar l'última versió d'Opnet IT Guru Academic Edition 9.1

[http://www.opnet.com/university\\_program/itguru\\_academic\\_edition/](http://www.opnet.com/university_program/itguru_academic_edition/)

Per a poder descarregar el software, cal enregistrar-se prèviament com administrador. De la mateixa manera, per a poder crear un compte d'usuari, serà necessari acceptar prèviament el contracte de llicència. Aquesta llicència tant sols podrà ser utilitzada una vegada. Per tant, si es volgués instal·lar l'aplicació en més d'un ordinador, necessitaríem varies comptes de correu.

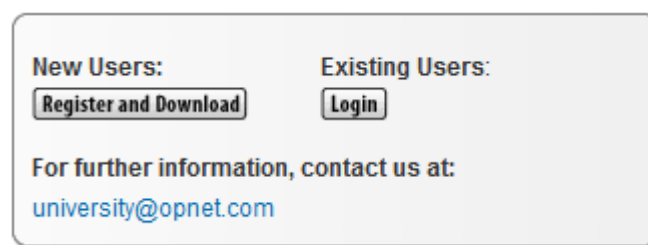


Figura 61 – Accés al formulari de registre

Passats un parell de minuts, es rebrà un correu informatiu similar al següent, amb la compte creada i la contrasenya assignada.

En el cos del mateix correu trobarem un link que ens redirigirà a la pàgina de descarrega del software.

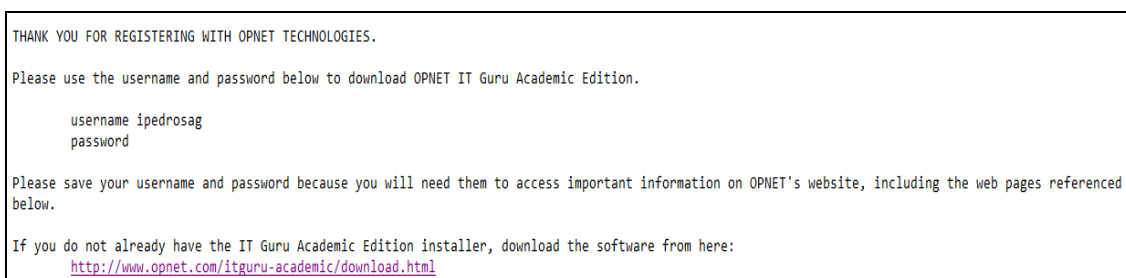
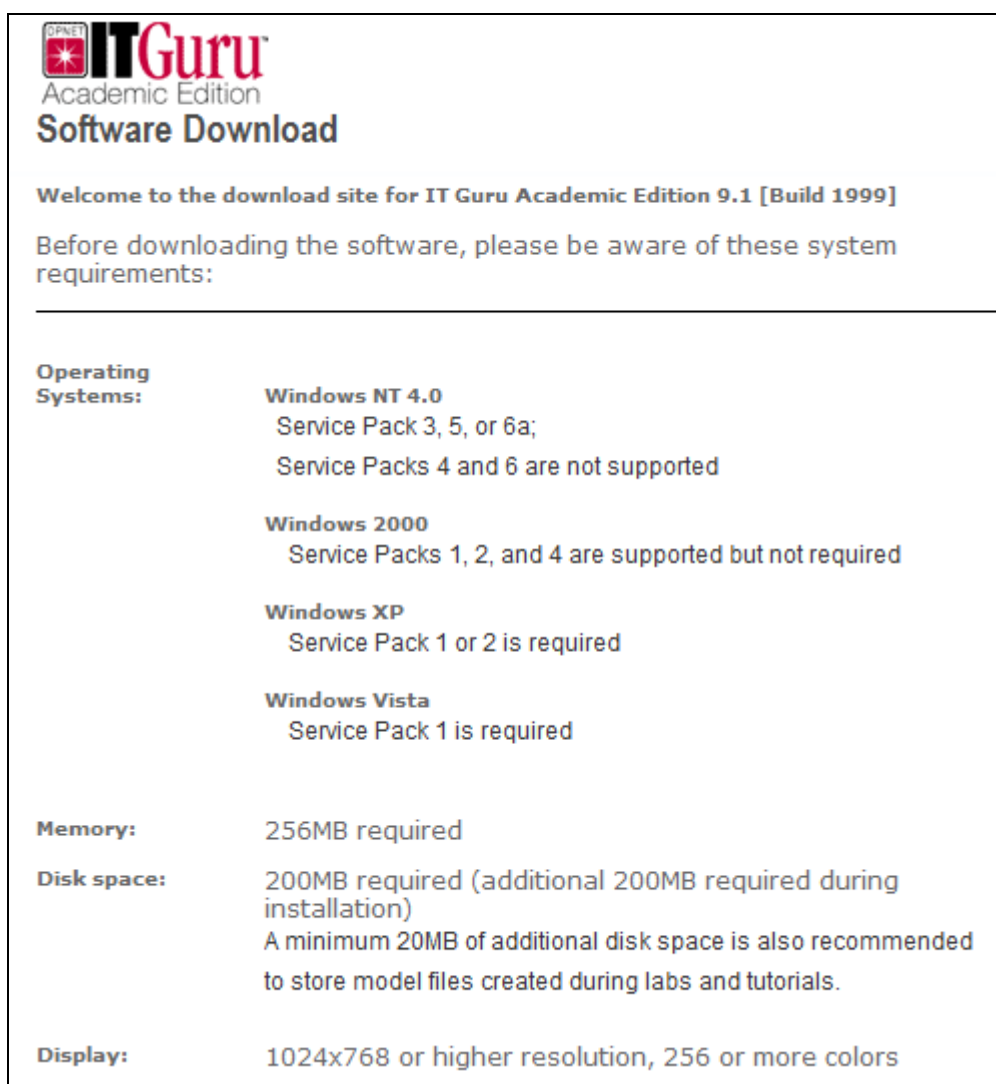


Figura 62 – Confirmació de correu electrònic

Per a poder instal·lar-lo correctament, En primer lloc és necessari tenir permisos d'administrador, i en segon lloc cal tenir presents els següents requeriments mínims:



**OPNET ITGuru<sup>®</sup>**  
Academic Edition  
**Software Download**

Welcome to the download site for IT Guru Academic Edition 9.1 [Build 1999]

Before downloading the software, please be aware of these system requirements:

---

<b>Operating Systems:</b>	<p><b>Windows NT 4.0</b> Service Pack 3, 5, or 6a; Service Packs 4 and 6 are not supported</p> <p><b>Windows 2000</b> Service Packs 1, 2, and 4 are supported but not required</p> <p><b>Windows XP</b> Service Pack 1 or 2 is required</p> <p><b>Windows Vista</b> Service Pack 1 is required</p>
<b>Memory:</b>	256MB required
<b>Disk space:</b>	<p>200MB required (additional 200MB required during installation)</p> <p>A minimum 20MB of additional disk space is also recommended to store model files created during labs and tutorials.</p>
<b>Display:</b>	1024x768 or higher resolution, 256 or more colors

Figura 63 – Requeriments mínims per a la instal·lació

Es guardarà el fitxer executable en el disc local i, un cop executat, tant sols caldrà seguir els passos que anirà indicant l'instal·lador.

Finalment, per a poder començar a treballar amb OPNET IT Guru Academic Edition 9.1 s'haurà de llegir el contracte de la llicència i, en cas d'estar conforme, acceptar-la 'I have read this SOFTWARE AGREEMENT and I understand and accept the terms and conditions described here in'.

Arribats a aquest punt, s'hauria d'obrir la finestra d' inici d' OP OPNET IT Guru Academic Edition 9.1, tal i com es mostra en la següent figura:





Figura 64 - Finestra d'inici d' OPNET IT Guru Academic Edition 9.1

## Annex 2.- Llibreries de models d' OPNET IT Guru Academic Edition 9.1

(En blau aquells mòduls i característiques que no estan incloses en la llibreria de models estàndards i s'han d'adquirir apart).

### Protocols Technologies: Standard / Modules

Aplicacions	ACE, <a href="#">ACE Whiteboard</a> , CBR, Database, Email, FTP, HTTP, Remote Login / TELNET, Self-Similar Traffic (RPG), Print, SIP, VBR, Voice, VoIP – SIP, RTP, Video, Custom.
Transport	NCP, TCP Tahoe, TCP Reno, TCP New Reno, TCP ECN, TCP SACK, UDP.
Routing	BGP, OSPF, OSPFv3, EIGRP, ISIS, RIP, RIPv6, IGRP, Static Routes, Distance Vector (for ATM Networks), PNNI (for ATM Networks), Dijkstra's Algorithm (API).
Multicasting	IGMP / Static Membership, PIM-SM, Static RP, Auto RP / Bootstrap.
Network	HSRP, IPv4, <a href="#">IPv6</a> , IPX, Mobile IPv4, <a href="#">Mobile IPv6</a> , RSVP.
Mpls	MPLS, CSPF, Signaling (LDP / RSVP-TE), IGP Extensions (OSPF-TE / ISIS-TE), Fast Reroute, VPN.
Quality of service	CAR / Policing, CQ, DWFQ / CBWFQ, DWRR / MDRR/ MWRR, FIFO, LLQ with Rate Limit, Marking, PQ, TOS / DSCP - based classification, WRED/ RED.
Mac	Aloha, ATM (incl. IMA), CSMA, CSMA/CA, CSMA/CD, <a href="#">DOCSIS</a> , DPT / SRP, Ethernet (coax, 10baseT, 100baseT), FDDI, Fiber Channel , Frame Relay, Gigabit Ethernet (10Gbps, 1000baseX), LANE, LAPB, Link Aggregation (incl. EtherChannel), SNA, Spanning Tree, Token Ring, VLAN, X.25.
Tdm	<a href="#">Circuit Switching</a> .
Physical	DSL, ISDN, SONET, Custom Link, Models (OPNET Pipeline Stages).
<a href="#">3d visualization</a>	3DNV (based on MAK Technologies), 3DNV Logger (based on MAK Technologies).

Taula 18 – Protocols Technologies: Standard / Modules

### Fabricants de dispositius: Standard / Modules

Routers & switches	3Com, ADC, Alteon, Ascend (Lucent), Avici, Bay Networks (Nortel), Brocade, Cabletron, Cisco, Coyote Point, Equipe, Extreme, F5, Fore (Marconi), Foundry, HP, Juniper, Lucent, McData, Motorola, NEC, NET, Newbridge (Alcatel), Nortel, Radware, Xylan, Any custom model using Device Creator.
<a href="#">Servers</a>	AMD, Compaq, Dell, HP, IBM, Intel, Sun.
<a href="#">Mainframes</a>	IBM zSeries
<a href="#">Antenna</a>	Antel, Dapa, Ems.
Firewalls	Cisco PIX, Checkpoint.
Dual msfc	Cisco.

Taula 19 – Fabricants de dispositius: Standard / Modules

<b>Wireless: Standard / Modules</b>	
Protocols/ technologies	802.11a, 802.11b, 802.11e, 802.11g, 802.16 (model development consortium), AODV, DSR, OLSR, SMART MAC, TORA, <a href="#">UMTS</a> .
Custom modulations	BPSK, CCK, DPSK, FSK, GMSK, MSK, PSK, QAM, QPSK.
Mobility	Arbitrary trajectories, HLA mobility updates, Random Waypoint.
Propagation	Free Space, Longley-Rice, <a href="#">TIREM</a> .
Terrain	DEM, DTED.
Custom antenna patterns	Antenna Pattern – 9 vendor specific w/ pattern viewer and editor, Antenna conversion from 2D definitions to 3D, Antenna APIs for complex antenna patterns, Isotropic, <a href="#">UMTS Cell</a> , <a href="#">UMTS Sector</a> .
Satellite capability	Amplifier Bandwidth, Amplifier Gain, Amplifier Noise Figure, Antenna APIs for complex antenna patterns, Antenna conversion from 2D definitions to 3D, Antenna Pattern – 9 standard vendor models, w/ pattern viewer and editor, Channel Characteristics (Bandwidth, Data Rate, Frequency, Unlimited Partitions, Signal Power, Spreading Code), Modulation Schemes – 19 standard, w/ editor for customization, Orbital Trajectory – 6 degrees, Orbital Viewing, Satellite Phase, Satellite Start / Stop time, STK Integration – Orbital Data.

Taula 20 – Wireless: Standard / Modules

<b>Integració amb productes de tercers: Standard / Modules</b>	
Topology	ATM ASCII Files, Cisco WAN Manager, Cisco Works, Device Configuration Files, HP Network Node Manager, Lucent Naviscore SMARTS In-Charge, XML (no additional module req.).
Traffic	ASCII file (no additional module req.), Cisco NetFlow Collector, CFlowd, Fluke Networks OptiView Console, NAI Distributed Sniffer NetScout nGenius, NavisXtend, Spreadsheet (no additional module req.).
Loads	ASCII file (no additional module req.), Concord eHealth-Network, HP Openview Performance Insight, InfoVista, MRTG, XML (with topology import).
Servers	BMC Patrol Perform, Concord System Edge, HP Openview, Performance Agent, NetIQAppManager, MicrosoftPerfmon XML.
Mainframes	IBM RMF Spreadsheet Reporter, AS/MXG, XML.
Satellite	AGI STK.
External interficies	Cosim (used for HITL), ETS API (External Tool Support), HLA.

Taula 21 – Integració amb productes de tercers: Standard / Modules

## Referències Bibliogràfiques

- [1] Cnet Network Simulator (The University Of Western Australia) <http://www.csse.uwa.edu.au/pls/cnet/>  
[accés octubre'10].
- [2] Kiva Network Simulator [KivaNS] (Universitat d' Alacant) <http://disclab.ua.es/kiva/>  
[accés octubre'10].
- [3] NCTuns Network Emulator and Simulator. <http://nsl10.csie.nctu.edu.tw/main.html>  
[accés octubre'10].
- [4] ISI (Information Sciences Institute). The Network Simulator ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>  
[accés octubre'10 ].
- [5] OMNet++, <http://www.omnetpp.org>.  
[accés octubre'10 ].
- [6] OMNet++, Tic Toc tutorial. <http://www.omnetpp.org/doc/omnetpp40/tictoc-tutorial/>  
[accés octubre'10 ].
- [7] OPNET IT Guru Academic Edition.  
[http://www.opnet.com/university\\_program/itguru\\_academic\\_edition/](http://www.opnet.com/university_program/itguru_academic_edition/).  
[accés octubre'10 ].
- [8] SimuRed (Universitat de València) <http://tapev.uv.es/simured/index.php>  
[accés octubre'10 ].
- [9] Security Labs in IT Guru Academic Edition.  
[http://www.opnet.com/university\\_program/teaching\\_with\\_opnet/textbooks\\_and\\_materials/index.html](http://www.opnet.com/university_program/teaching_with_opnet/textbooks_and_materials/index.html).  
[accés octubre'10 ].
- [10] Simulació de xarxes i sistemes informàtics. (Biblioteca UOC).  
<http://openaccess.UOC.edu/webapps/o2/handle/10609/1042>.  
[accés octubre'10 ].