



Integració d'eines de simulació de xarxes en un entorn virtual

Treball Final de Carrera

Enginyeria Tècnica de Telecomunicacions, especialitat de Telemàtica

U.O.C.

per

Carles de Haro i Roig

Consultor: Ferran Adelantado i Freixer

(Última actualització: 31/01/11)

*Per a l'Esther i la Irene, sense elles, jo no sóc res.
I per els meus amics, ja saben qui són i a on sóc.*

Preàmbul

Què és una simulació ? Aquesta es la pregunta més important que ens hem de fer a l'hora d'encarar aquest treball. Tenim varies acepcions, segons la definició de la segona edició del *Diccionari de la llengua catalana del IEC*:

1.f. [LC] Acció de simular.

2.f. [IN] En inform., representació del comportament d'un sistema mitjançant l'actuació d'un altre.

3.f. [IN] *Tècnica que simula un fenomen determinat, ja sigui resolent per ordinador les equacions que el regeixen o, també, observant un altre fenomen anàleg governat per les mateixes equacions.*

4.f. [DR] En jur., alteració aparent de la causa, l'índole o l'objecte veritable d'un acte o contracte.

L'accepció que més s'escau al desenvolupament d'aquest treball és la tercera. Mitjançant la *simulació* pretenem que un event pugui ser desenvolupat de manera fictícia, però que pugui assolir un nivell de realisme que el faci versemblant, gaire bé real.

Els avantatges que ens aporten les simulacions són importants i diverses, però ni hi ha dues que ens són particularment interessants: d'una banda, les simulacions ens permeten dissenyar models empírics sense haver de realitzar una sèrie d'inversions en maquinari i comprovar-ne el comportament i, de l'altre, ens permeten la predicció de comportament en sistemes actius, podent desenvolupar modificacions per a la seva millora o, també, detectar-ne els seus punts febles i preveure'n les possibles fallides o colls d'ampolla que puguin presentar.

La simulació ens permet encabir part d'un entorn real dintre d'un fitat, facilitant-nos l'avaluació d'un seguit de casos on podrem canviar les condicions per tal de fabricar diferents escenaris on poder avaluar les diferents simulacions per a, amb posterioritat, prendre les decisions adients, ja sigui en modelar un entorn real o en proposar canvis en la detecció de fallides.

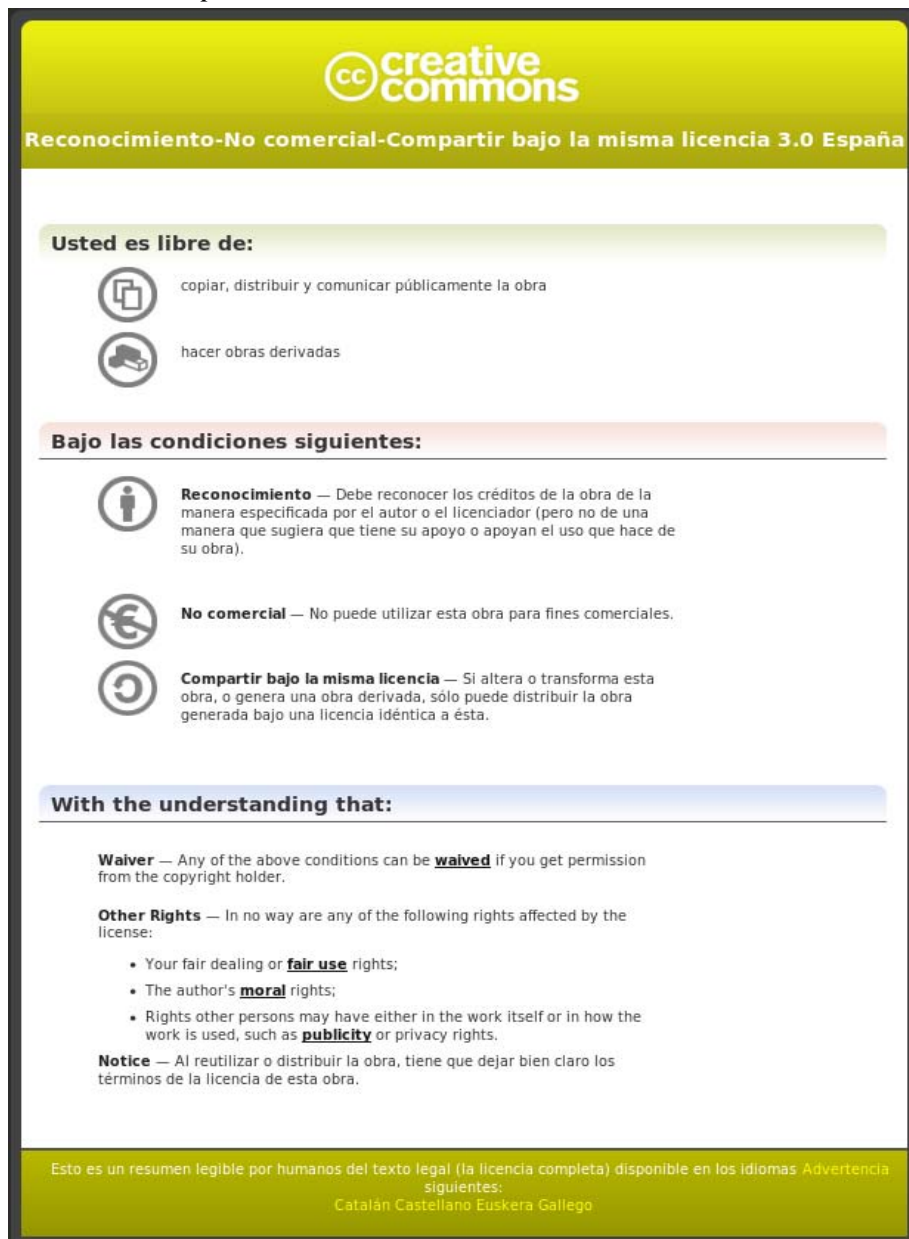
Tot i que les simulacions no són el procés "real", hi ha un factor que les fa molt atractives: la repetició d'una simulació haurà de donar, invariablement, sempre el mateix resultat. Aquest fet es molt important, ja que ens permetrà modificar el escenari, sigui amb la incorporació de nous elements o canviant els valors de les entrades, per a obtenir resultats diferents que ens han de permetre comparar sistemes diferents o amb condicions diferents entre si.

Llicència

“És tan absurd posar finestres a l'ordinador, com portes en el camp.”



Carles de Haro i Roig, una persona.

Aquest TFC està llicenciat com *Reconeixement-No Comercial – Compartir sota la mateixa llicència 3.0 España* de Creative Commons.






The image shows a Creative Commons license summary card. At the top, it features the Creative Commons logo and the text "Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 3.0 España". Below this, there are two main sections: "Usted es libre de:" and "Bajo las condiciones siguientes:". The "Usted es libre de:" section lists two permissions: "copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra" (represented by a document icon) and "hacer obras derivadas" (represented by a hand holding a pencil icon). The "Bajo las condiciones siguientes:" section lists three conditions: "Reconocimiento" (represented by a person icon), "No comercial" (represented by a crossed-out Euro symbol icon), and "Compartir bajo la misma licencia" (represented by a circular arrow icon). Below these conditions, there is a section titled "With the understanding that:" which includes "Waiver", "Other Rights", and "Notice" sections. At the bottom, there is a footer in Spanish: "Esto es un resumen legible por humanos del texto legal (la licencia completa) disponible en los idiomas Advertencia siguientes: Catalán Castellano Euskera Gallego".

Usted es libre de:

-  copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra
-  hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:

-  **Reconocimiento** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciadador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
-  **No comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
-  **Compartir bajo la misma licencia** — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

With the understanding that:

Waiver — Any of the above conditions can be **waived** if you get permission from the copyright holder.

Other Rights — In no way are any of the following rights affected by the license:

- Your fair dealing or **fair use** rights;
- The author's **moral** rights;
- Rights other persons may have either in the work itself or in how the work is used, such as **publicity** or privacy rights.

Notice — Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.

Esto es un resumen legible por humanos del texto legal (la licencia completa) disponible en los idiomas Advertencia siguientes:
Catalán Castellano Euskera Gallego

Podeu trobar una descripció completa de la llicència a:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/legalcode.ca> .

Taula de continguts

Preàmbul	IV
Llicència	VI
1. Presentació del projecte	1
1.1. <i>Plantejament inicial del projecte</i>	1
1.1.1. Introducció a les eines de simulació de xarxes virtuals	2
1.1.2. Estat de l'art de les eines de simulació de xarxes virtuals	2
1.1.3. Cerca i comparatives de simuladors	2
1.1.4. Tria de simuladors	2
1.1.5. Escenaris de control dels simuladors	2
1.1.6. Elecció i justificació	3
1.1.7. Conclusions	3
1.2. <i>Objectiu del projecte</i>	3
1.3. <i>Riscos del projecte</i>	3
2. Introducció a les eines de simulació xarxes en entorns virtuals	5
2.1. <i>Conceptes bàsics de la simulació</i>	5
2.1.1. Sistemes	5
2.1.2. Models	6
2.2. <i>Simulacions</i>	7
2.2.1. Què es una simulació?	7
2.2.2. De quines parts es compona una simulació?	7
2.2.3. Modelat de simulacions	8
2.2.4. Com és crea una simulació?	8
2.2.5. Modelat de sistemes orientats a events discrets	10
3. Estat de l'art de les eines de simulació de xarxes en entorns virtuals	12
3.1. <i>Eines de simulació: petita visió històrica</i>	12
3.2. <i>Estat de l'art dels simuladors de xarxes</i>	13
3.2.1. ns-2/ns-3	13
3.2.2. OMNeT++	14
3.2.3. OPNET IT Guru	15
3.2.4. JiST	17
3.2.5. QualNet Developer	17
3.2.6. KivaNS	18
3.2.7. Altres	19
3.3. <i>Tria de simulador. Justificació.</i>	20
3.3.1. Funcionament	20
3.3.2. Versatilitat	20
3.3.3. Models de simulació	20
3.3.4. Llicències	21
3.3.5. Execució de les simulacions	21
3.3.6. Integració de l'entorn de treball	21
3.3.7. Conclusió	21
4. Teoria de cues	22
4.1. <i>Introducció a la teoria de cues</i>	22
4.2. <i>Modelat de cues</i>	22
4.3. <i>Notació estàndard de cues</i>	23
4.4. <i>Cadenes de Markov</i>	24
4.5. <i>Xarxes de cues</i>	24
4.6. <i>Degoteig (leaky-bucket / token bucket)</i>	25
4.7. <i>Limitacions de la teoria de cues</i>	25
5. OPNET IT Guru a fons	26
5.1. <i>Historia d'OPNET</i>	26

5.1.1. Productes OPNET	26
5.2. <i>Descripció del programari: OPNET IT Guru Academic Edition</i>	27
5.3. <i>Utilitats d'OPNET IT Guru</i>	28
5.4. <i>Ús del simulador</i>	28
5.5. <i>Instal·lació de OPNET IT Guru Academic Edition</i>	30
5.6. <i>L'entorn integrat d'OPNET</i>	35
5.6.1. L'editor de projectes	36
5.6.2. Creació d'un projecte amb OPNET IT Guru Academic Edition	37
5.6.3. Configurant la simulació	44
5.6.4. Eines per a l'anàlisi dels resultats	45
6. OPNET IT Guru en la pràctica	48
6.1. <i>Objectius del laboratori</i>	48
6.1.1. Resum del laboratori	48
6.2. <i>Laboratoris</i>	49
6.2.1. Primer laboratori, primer escenari: connexió amb hub	49
6.2.2. Primer laboratori, segon escenari: connexió amb switch.....	54
6.2.3. Resultats i anàlisi del primer laboratori	55
6.2.4. Segon laboratori, primer escenari: interconnexió amb hubs	56
6.2.5. Segon laboratori, segon escenari: interconnexió amb switches	57
6.2.6. Resultats i anàlisi del segon laboratori	59
6.2.7. Conclusions dels laboratoris	60
7. Conclusions	62
Apèndix	65

Índex de taules

Taula 1: Components d'una simulació.	7
Taula 2: Resum d'eines de simulació.	20

Índex de figures

Figura 1: Modelatge d'un sistema.....	6
Figura 2: El procés de la simulació.....	9
Figura 3: Passos en el projecte de simulació d'OPNET.....	29
Figura 4: Formulari de registre d'OPNET.....	30
Figura 5: Validació a la web d'OPNET.....	30
Figura 6: e-mail de recepció de llicència.....	31
Figura 7: Acceptació de la llicència.....	31
Figura 8: Descàrrega d'OPNET IT Guru Academic Edition.....	32
Figura 9: Acceptació de llicència.....	32
Figura 10: Detall del codi d'acceptació de llicència.....	33
Figura 11: Activació via web de la llicència.....	33
Figura 12: Codi d'aprovació de la llicència.....	34
Figura 13: Inserció del codi d'acceptació en el programari.....	34
Figura 14: Verificació del servidor de llicències local.....	35
Figura 15: Finestra de sistema d'OPNET IT Guru Academic Edition.....	35
Figura 16: Editor de projectes amb diferenciació de les zones.....	36
Figura 17: Donant nom al projecte i a l'escenari.....	37
Figura 18: Topologia inicial.....	38
Figura 19: Dimensions de la xarxa.....	38
Figura 20: Tria de tecnologies.....	38
Figura 22: Canvi de paleta.....	39
Figura 24: Edició d'atributs.....	41
Figura 25: Afegint dues ACL al router.....	41
Figura 26: Controls de l'escenari.....	42
Figura 27: Control de les aplicacions.....	42
Figura 28: Control dels perfils.....	43
Figura 29: Associació dels perfils a les estacions.....	43
Figura 30: Afegint les aplicacions al servidor.....	44
Figura 31: Quadre de diàleg de configuració de la simulació.....	44
Figura 32: Recollida de dades d'interès d'un objecte.....	45
Figura 33: Gràfics de les dades d'interès recollides.....	46
Figura 34: Revisió del registre amb explicació dels errors trobats.....	46
Figura 35: Components a escollir per al primer laboratori, primer escenari.....	49
Figura 36: Infraestructura final per al primer laboratori, primer escenari.....	50
Figura 37: Afegint l'usuari a la taula de perfils.....	50
Figura 38: Afegint l'aplicació al perfil.....	50
Figura 39: Comprovació de la càrrega correcta del perfil.....	51
Figura 40: Configuració de Web Browsing (Heavy HTTP1.1) en el servidor.....	51
Figura 41: Escollint les dades d'interès.....	52
Figura 42: Configuració de la simulació.....	52
Figura 43: Execució de la simulació.....	53
Figura 44: Comparació del temps de resposta de pàgina entre tres estacions.....	53
Figura 45: Configuració de l'escenari connectat amb switch.....	54
Figura 46: Canvi de la configuració dels escenaris per als gràfics.....	55
Figura 47: Anàlisi de resultats del laboratori.....	55
Figura 48: Configuració de la xarxa en estrella.....	56
Figura 49: Infraestructura de les subxarxes.....	57
Figura 50: Escenari del segon laboratori interconnectat amb hubs.....	58
Figura 51: Escenari del segon laboratori interconnectat amb switches.....	58

Figura 52: Temps de resposta de les pàgines en una estació qualsevol.....	59
Figura 53: Retard en les peticions al servidor.....	59

1. PRESENTACIÓ DEL PROJECTE

Aquest és el punt de partida del que serà el nostre projecte. Partirem d'una presentació bastant informal per, progressivament, fer una primera aproximació i tenir una idea global de quin és el projecte i que és pretén assolir en concloure'l.

1.1. Plantejament inicial del projecte

Les eines de simulació de xarxes en entorns virtuals ens proporcionen una gran flexibilitat per tal de tractar diferents propostes d'entorns reals. Aquests tipus d'eines han sofert una gran evolució i la seva qualitat ha anat progressant de manera força evident. De la mateixa manera, han sorgit un gran nombre d'aplicacions que tracten aquesta problemàtica des de diferents enfocaments. Com veurem, hi han eines que tracten diferents entorns, especialitzant-se en diferents entorns i, com cal preveure, des de punts de vista de model de negoci ben diferenciats: veurem eines que es subministren de manera lliure, més enfocades al coneixement, i d'altres amb una marcada vocació comercial. Aquest aspecte haurà de prendre's en consideració.

La funcionalitat d'aquestes eines suposa l'eix central: necessitem unes eines que compleixin uns objectius concrets. L'assoliment d'aquests objectius marcarà, en gran mesura, la tria dels simuladors que, amb posterioritat, seran avaluats i destriats per trobar-ne les millors opcions.

Exposem les tasques en les tasques en les que dividim el projecte:

- *Introducció a les eines de simulació de xarxes virtuals.*
- *Estat de l'art de les eines de simulació de xarxes virtuals.*
- *Cerca de simuladors. Comparatives de multiplexació, commutació de circuits, encaminaments, cues, flux de paquets, RSVP i teoria de cues.*
- *Tria de simuladors.*
- *Plantejament d'escenaris de control del simuladors.*
- *Elecció i justificació.*
- *Conclusions.*

1.1.1. Introducció a les eines de simulació de xarxes virtuals

En aquest apartat es pretén fer una introducció al concepte de simulació, què és, què es pretén amb la simulació i quins són els avantatges i inconvenients d'una simulació. També es procurarà enfocar-ho cap al sistema de simulació que farem servir amb posterioritat.

1.1.2. Estat de l'art de les eines de simulació de xarxes virtuals

En aquest apartat es tractarà l'evolució del programari de simulacions per tal de comprovar com han evolucionat, en quin punt es troben i quines són les expectatives de futur.

1.1.3. Cerca i comparatives de simuladors

En aquest apartat es procedirà a la cerca d'un grup de simuladors i comprovar quines prestacions ens donen i si aquestes s'ajusten al propòsit del projecte.

1.1.4. Tria de simuladors

Un cop s'ha fet la cerca, es procedirà a una tria basant-se en els següents criteris:

- Idoneïtat*: els simuladors hauran de complir uns mínims de qualitat dels entorns a simular.
- Enfocament del simulador*: cal que els simuladors tinguin una funcionalitat d'aprenentatge.
- Facilitat d'ús*: a l'hora de manegar el simulador, caldrà comprovar que no sigui excessivament complex.
- Presentació de resultats*: caldrà comprovar la cura que tenen els simuladors en manegar i presentar els resultats.
- Llicència*: degut a la possibilitat de manegar el projecte amb els mínims impediments possibles, un aspecte a considerar és el treball amb simuladors d'entorn de programari lliure.

1.1.5. Escenaris de control dels simuladors

En aquest punt, es plantejaran diferents escenaris o entorns de control per tal de validar el funcionament dels simuladors que s'hagin triat. Els punts que hauran de validar els simuladors constaran de:

- Objectiu*: quina és la finalitat de les proves que es faran.
- Paràmetres d'interès*: quins són els punts que ens interessa controlar.
- Simulador utilitzat*.
- Arquitectura*: elements que conformen l'escenari i la seva topologia.
- Proves i resultats*: valoració de les proves i expectatives dels resultats.

1.1.6. Elecció i justificació

Un cop efectuats els controls, es farà una elecció d'un simulador en concret, basant-nos en els resultats del control previs, valorant tant la cura en els resultats dels escenaris, com en la presentació dels resultats i la facilitat de parametrització dels escenaris.

1.1.7. Conclusions

Un cop assolides totes les tasques, s'exposaran les conclusions.

1.2. Objectiu del projecte

El principal objectiu del projecte és el d'avaluar un seguit d'eines per tal de valorar la possibilitat del seu ús en un entorn típic d'aprenentatge. L'acompliment d'uns objectius didàctics, la versatilitat del funcionament del programari i la possibilitat d'usar el programari de manera lliure són els principals aspectes a valorar en el nostre projecte.

1.3. Riscos del projecte

Com tot projecte, aquest no està exempt de riscos. Cal destacar-ne els següents:

- Incompliment de plaços de lliurament.* Tot i haver fet una planificació acurada, sempre pot sorgir algun entrebanc que impedeixi el correcte lliurament.
- Desconeixement tècnic de la matèria.* La gran quantitat d'eines disponibles i la gran quantitat de material que les documenta poden arribar a bloquejar el desenvolupament del projecte.
- Problemes amb el programari.* Podem trobar-nos amb casos de programari que sigui de difícil instal·lació, obligant-nos a un sobreesforç no planificat.
- Documentació dels aspectes a valorar.* Alguns dels aspectes que es valoraran poden comportar una complexitat excessiva.

Contra aquesta sèrie de riscos, s'han determinat algunes contramesures per alleujar-los:

- Control exhaustiu dels plaços de lliurament.* Qualsevol entrebanc que pugui preveure's que comportarà un retard, serà comunicat el més aviat possible.
- Aprofundiment per etapes en la matèria.* Les eines avaluades patiran processos d'eliminació selectiva tant bon punt es comprovi algun aspecte que en desaconselli el seu ús. Aquest aspecte és força important, ja que comportarà haver d'examinar menys documentació.
- Instal·lació en màquines virtuals.* En la mida que sigui possible, es plantejarà un entorn inicial sense cap tipus de programari afegit en màquines virtuals per a les proves de les eines, evitant conflictes amb programari ja existent i utilitzant les màquines virtuals com a “caixa de terra” (*sandbox*) per a les proves.
- Aprofundir en els aspectes principals.* Moltes de les eines ens aportaran funcionalitats que, per desconeixement o per manca d'idoneïtat, no seran d'utilitat per al projecte. Caldrà centrar-se específicament en els aspectes que de debò ens siguin interessants i que aportin quelcom al projecte.

(Aquesta pàgina s'ha deixat en blanc intencionadament.)

Integració d'eines de simulació de xarxes en un entorn virtual

2. INTRODUCCIÓ A LES EINES DE SIMULACIÓ XARXES EN ENTORNS VIRTUALS

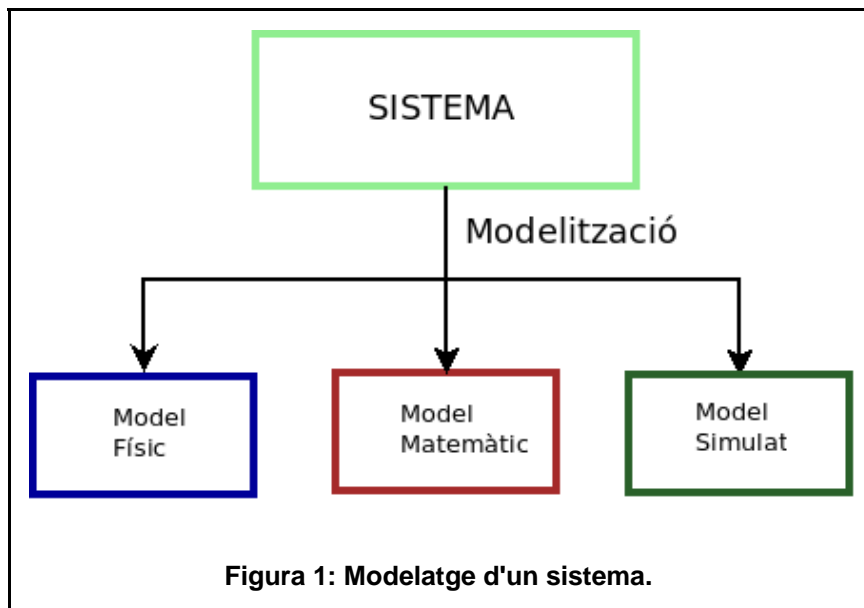
Per tal d'avaluar el rendiment d'una xarxa, disposem de diferents models que ens permetran un enfocament diferent: les mesures directes, per anàlisi matemàtic i per simulació. Sense aprofundir molt, es previsible que cada model aportï una sèrie d'avantatges i un seguit d'inconvenients, però es previsible que el model que donarà uns resultats més acurats és el de mesurar directament en un entorn real, mentre que el model matemàtic és el que més s'allunya d'ella. Nosaltres ens quedarem en el punt intermedi que suposa la simulació de xarxes en entorns virtuals (o no reals). Aquest model pretén fusionar part del model matemàtic, en el que respecta a la part predictiva, i part del model real, en l'aspecte relacionat a la “visualització” de la infraestructura que volem simular i al seu comportament.

2.1. Conceptes bàsics de la simulació

2.1.1. Sistemes

Amb la simulació, el que es pretén és modelar un **sistema**, que no és més que un conjunt d'objectes que realitzen una activitat conjunta, transformant unes entrades per aconseguir unes sortides desitjades. De manera similar a la programació orientada a objectes, podem identificar-ne els components, així tenim:

- Objectes*: components que formen part del sistema i que tenen unes propietats determinades.
- Atributs*: són les propietats que tenen aquests objectes.
- Funcions*: són les accions que poden realitzar els objectes.



2.1.2. Models

Podem classificar els models que representen aquests sistemes de diverses maneres, per exemple, pels estats, podent ser continus (les variables d'estat poden assumir qualsevol valor) o discrets (les variables només podran assumir uns pocs valors). Un altre tipus de classificació és en dependència del domini temporal que utilitzant. Tenim, segons aquesta classificació:

- Continus*: l'estat del sistema té una evolució continua i constant.
- Discrets*: l'estat del sistema evoluciona de manera puntual, al executar-se determinades accions concretes.

Aquests diferents estats formen la llista d'estats en la que, en un moment donat, el sistema haurà d'estar per força en algun estat d'aquesta llista. Podem assimilar el funcionament al d'una màquina d'estats. Aquests estats poden canviar de dos maneres diferents:

- De manera *determinista*, on, partint d'un estat, unes variables concretes condueixen el sistema a un estat determinat invariablement.
- Estocàstic*, on l'estat de sortida pot ser diferent partint d'un estat concret amb variables iguals.

D'aquests últims, en concret, ens són interessants els que són *orientats a events discrets*, que són aquells que, en lapses instantanis de temps canvien d'estat i romanen en aquest estat fins que no ocórrer un event que els faci canviar d'estat.

En el modelatge orientat a events discrets, el simulador manté una cua o un planificador d'events ordenats de manera temporal, llegint de la cua i llançant els events en els instants de temps marcats.

El nostre model d'interès serà per tant: dinàmic, permetent-nos veure l'evolució de les variables en el temps; estocàstic i discrets en el temps.

2.2. Simulacions

2.2.1. Què es una simulació?

Entenem per **simulació** com el procés de la imitació d'un model real en un entorn controlat (virtual) que en ser repetit diverses vegades, els resultats hauran de ser iguals. Llavors, un *simulador* o una *eina de simulació* no és més que un programari que ens permet la creació d'un model imitat del món real en un ordinador. Sobre aquest model imitat, podrem parametritzar diferents aspectes per tal de poder valorar possibles modificacions en el model o mesurar la seva resposta sota diferents condicions.

La simulació per ordinador és aplicable a gaire bé qualsevol entorn (mecànica, electrònica, etc.), però l'aspecte que ens és més interessant és la seva aplicació al món de les telecomunicacions, permetent-nos abastar tots els nivells de la pila OSI.

2.2.2. De quines parts es compona una simulació?

Una simulació es conforma amb diferents components, estats, variables, etc. En la següent taula fem un resum dels principals components que ens trobarem en una simulació.

Component	Funcionalitat
<i>Sistema</i>	Conjunt d'entitats relacionades per tal d'assolir un propòsit
<i>Variables d'estat</i>	Són els valors que descriuen l'estat del sistema
<i>Event</i>	Ocurrència temporal que fa canviar l'estat del sistema
<i>Entitat</i>	Objecte que té una funcionalitat dins la simulació
<i>Cua</i>	Llista ordenada d'events planificats en el temps on les entitats esperen l'execució de l'event
<i>Crear/Eliminar</i>	Creació o eliminació d'events o entitats de la simulació
<i>Planificació</i>	Assignació d'events a les entitats

Taula 1: Components d'una simulació.

2.2.3. Modelat de simulacions

Entenem com a *modelat* el procés l'abstracció que realitzem del sistema, amb les seves entitats i relacions, per tal de representar-lo de la manera més fidedigna possible. En aquest procés de modelat és molt probable que podem perdre algunes característiques més o menys importants del sistema que volem modelar. Com podem saber si el modelat del sistema és acurat? Les eines de simulació han de respondre a aquesta pregunta amb les següents característiques:

Integració d'eines de simulació de xarxes en un entorn virtual

- Senzillesa*: els models més simples són els que millor representen la realitat i els que millor funcionament tenen. Aquest fet no implica que en el procés a modelar, entitats i relacions hagin de ser senzilles forçosament, sinó que haurem de descompondre'ls en models quant més senzills, millor.
- Credibilitat*: un model serà més creïble en tant en quant estigui validat per algun organisme que li doni reputació, per exemple, existeixen diferents models validats pel IEEE, organisme contrastat.
- Documentació*: quant més documentat estigui el model, més es podrà entendre, incloent-hi simplificacions o canvis que el model pot assumir com sobre-enteses.

Pel que respecta a les simulacions per ordinador, cal afegir algunes característiques més a les esmentades:

- Eficiència*: amb respecte al model, les simulacions han de funcionar de manera eficient.
- Comprovacions*: el rendiment del model simulat ha de tenir un bon apropament al model real.
- Qualitat del codi*: en determinades eines de simulació, aquestes hauran de mantenir un codi òptim i haurà d'estar el suficientment documentat.
- Disponibilitat*: les eines hauran d'estar disponibles per tal de que diferents grups de professionals puguin conduir diferents simulacions.

2.2.4. Com és crea una simulació?

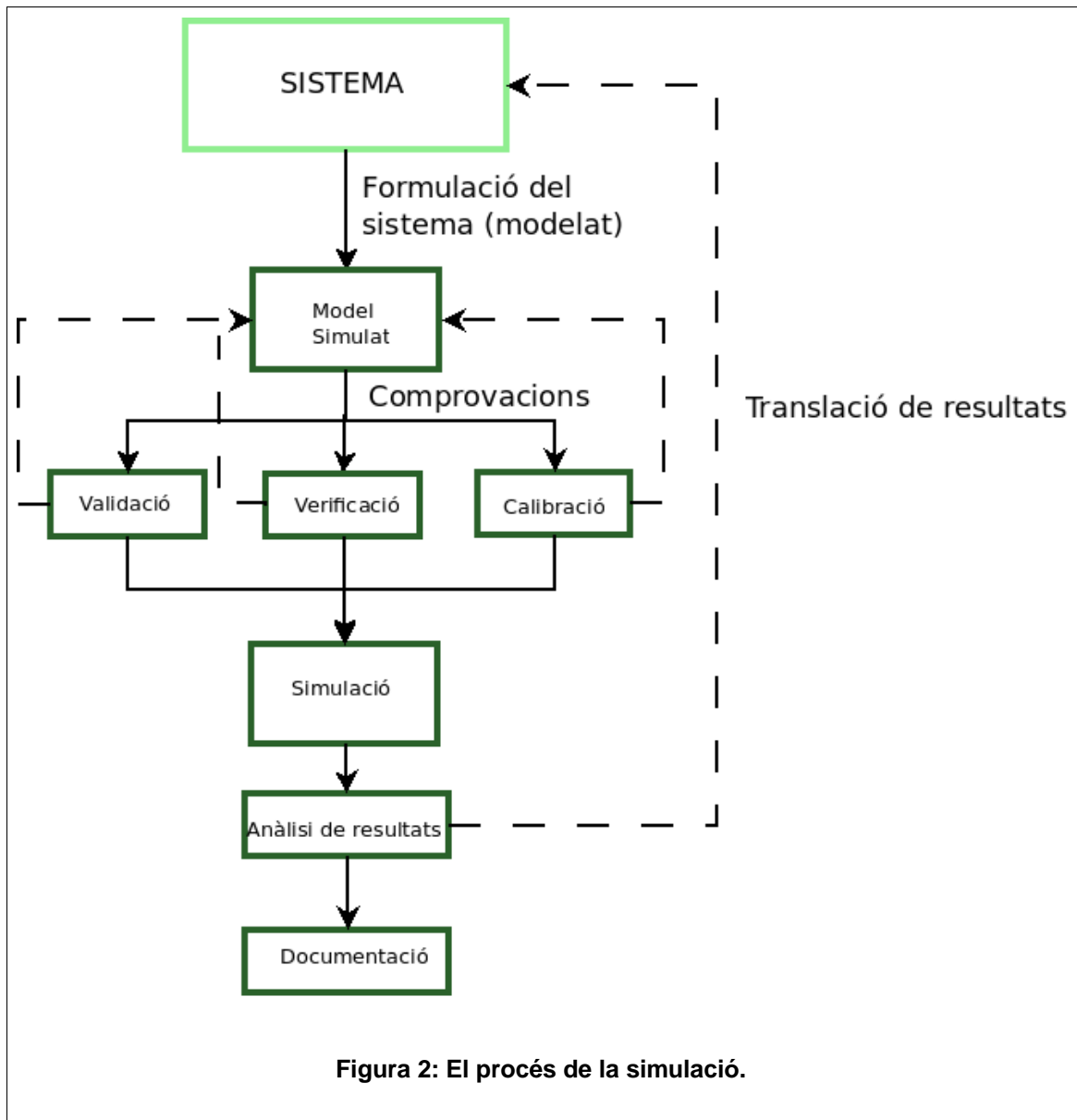
Fin el moment hem vist tot un seguit d'abstraccions del que és un sistema i com podem representar-lo d'una manera més o menys acurada. Anem a veure com es crea una simulació, de manera que tinguem clar quines són les parts fonamentals que ens caldran per tal de poder-lo simular. Alguns dels punts que ens interessin són:

- Formulació del sistema*: és la part fonamental, on cal reconèixer les entitats, les variables i, probablement, els estats del sistema.
- Desenvolupament del model de simulació*: durant el procés de formulació del sistema, cal recollir les característiques principals per tal de desenvolupar un model lògic que sigui tant precís com sigui possible.
- Comprovacions en el model*: un cop s'ha desenvolupat el model, aquest haurà de complir els següents requisits:
 - Validació: per comparació amb les sortides, cal veure si el model es vàlid per al sistema.
 - Verificació: que el codi del model està implementat correctament.
 - Calibració: per tal d'ajustar el model al sistema.
- Simulació*: un cop fetes les comprovacions, es procedeix a la simulació.
- Anàlisi dels resultats*: un cop feta la simulació, s'analitzen els resultats per tal de verificar el funcionament del model.
- Translació dels resultats*: un cop fet l'anàlisi, es procedeix a afegir les possibles millores o a corregir els possibles defectes.

Introducció a les eines de simulació xarxes en entorns virtuals

•*Documentació*: com qualsevol altre procés, es documenten tots els aspectes que siguin rellevants.

En la següent figura veiem com es desenvolupa el procés complet. Las línies discontinúes mostren la possibilitat d'haver de fer marxa en enrere en els punts del procés.



2.2.5. Modelat de sistemes orientats a events discrets

Com ja s'ha comentat prèviament, el nostre interès es centra en els sistemes orientats a events discrets. Hi ha diferents eines que permeten aquest modelat, des de la programació en llenguatges de programació genèrics, com ara Java o C++, o mitjançant llenguatges de simulació específics (SIMNET, GASP o GPSS, per exemple) o, directament, mitjançant eines de simulació. Aquests llenguatges permeten desenvolupar o disposen de llibreries que permeten

Integració d'eines de simulació de xarxes en un entorn virtual

modelar sistemes, mentre que les eines de simulació permeten l'ús d'una capa, normalment visual (GUI, *Graphic User Interface*), que elimina la feixuga tasca de la programació i enfocant el model d'una manera més senzilla i permetent centrar-nos en la pròpia simulació.

Els principals avantatges que ens permet el modelat de sistemes orientats a events discrets són:

- Permet modelar en detall la naturalesa de les xarxes, que són els sistemes que pretenem analitzar.
- Permet obtenir informació sobre el comportament intern de la xarxa i no només avaluar els resultats.
- Permet fer canvis en les entitats del model de manera senzilla per tal d'efectuar proves sota diferents condicions (es coneix com “*what happens if...*”, “què passa si...”).

3. ESTAT DE L'ART DE LES EINES DE SIMULACIÓ DE XARXES EN ENTORNS VIRTUALS

Un cop ens hem introduït en el món de la simulació, veurem de comprovar quines solucions tenim a l'abast per tal de poder dur-les a terme. Farem un recorregut per les diferents apostes actuals i l'evolució que han tingut aquestes eines des del seu naixement fins l'actualitat.

3.1. Eines de simulació: petita visió històrica

La primera referència que tenim del terme *simulació* són pels volts de 1940, dins del projecte Montecarlo de física nuclear. La simulació i les eines que l'acompanyen permeten desenvolupar tècniques de predicció en gaire bé tots els àmbits i disciplines imaginables, incloent entorns tan dispars com puguin ser les vendes i l'electrònica.

El punt inicial del desenvolupament de la simulació en l'entorn que ens ocupa, està lligat al naixement de les xarxes de telecomunicació: finals dels anys 80. La xarxa DARPA ja ha començat a fer el salt cap a la distribució de components, adoptant TCP/IP com a protocol i comença a imposar-se com a nou model en les telecomunicacions. En d'altres àmbits, com ara la telefonia mòbil, també comencen a desenvolupar-se noves tecnologies per comunicar-se. Les xarxes de telecomunicacions passen a ser un component bàsic de la quotidianitat.

Els desenvolupadors de les tècniques de telecomunicació saben que tenen una limitació: els canals de comunicació són finits i cal fer-ne un ús tan profitós com sigui possible. El concepte bàsic no és altre que les eines de simulació han de poder preveure i analitzar escenaris de manera que es puguin optimitzar els recursos. A finals dels anys 80 i principis dels 90 apareix una de les eines més valorades per la comunitat: *ns-2*. Nascut com a *REAL*, el projecte acaba de prendre l'empenta final a mitjans dels anys 90. A partir del any 200 comencen a aparèixer simuladors amb entorns més visuals i menys difícils de manegar.

3.2. Estat de l'art dels simuladors de xarxes

Els simuladors de xarxes han assolit un nivell de maduresa molt important. A hores d'ara, ens permeten fer especificacions completes i acurades tant d'enllaços com de nodes i definint entorns de treball virtuals fàcilment modificables. La seva versatilitat ens permet considerar-los ja com a eines indispensables per a la creació i millora d'entorns, protocols i d'altres especificacions.

Tot i l'augment de la complexitat de les xarxes, els simuladors poden continuar sent útils degut a la filosofia de l'ús de blocs altament configurables i programables, fet que els hi afegeix una autonomia a l'hora de manejar estructures altament complicades.

Existeixen simuladors per a qualsevol entorn de programari, solucions propietàries i lliures. De l'ampli ventall de solucions existents, exposem a continuació les que són més rellevants o significatives avui en dia.

3.2.1. ns-2/ns-3

Durant molts anys, *ns-2* ha estat el estàndard *de facto* en l'àmbit de la investigació de protocols i comunicacions en el món acadèmic. *ns-2* és un simulador orientat a events discrets que suporta la pila OSI al complet: protocols, enrutament, capa física, etc., està construït de manera modular i suporta dos tipus bàsics de llenguatges: C++, per a les dades i OTcl, per la descripció de la simulació i per la manipulació dels objectes C++ de les dades. *ns-2* no té un entorn gràfic inclòs, sinó que li cal *nam* (*network animator*) per tal de poder desenvolupar les simulacions de manera gràfica. També té l'avantatge d'estar distribuït sota llicència GNU GPL i està disponible tant per versions Windows (amb CygWin) com per GNU/Linux.

ns-3 neix a principis de 2006 com un reemplaçament a *ns-2* i te com a principal objectiu la substitució i millora del realisme dels models. Tanmateix, no només usa l'estructura de *ns-2*, sinó que també treu profit dels simuladors de GeorgiaTech (*GTNetS*) i de YANS (*Yet Another Simulator*). *ns-3* abandona l'ús de OTcl i centra el simulador en C++, millorant també el depurat del codi, i Python com a llenguatge de scripts. Distribuït també sota llicència GNU GPL, també està disponible per versions Windows i OS/X mitjançant CygWin. És un simulador amb un futur molt interessant que ja ha donat origen a populars simuladors com ara GNS-3, que permet simular entorns de Cisco i Juniper, de manera encara limitada, però prou eficient.

Característiques principals

El model d'arquitectura de *ns* segueix fil per randa el model OSI, on el modelat de xarxes representa la interconnexió dels típics nodes i enllaços, poden associar a cada un d'ells característiques de modelat de trànsit (como ara Telnet, FTP o CBR per exemple).

La topologia de la xarxa s'implementa indicant els nodes i els extrems en un arxiu de topologia, permetent la creació d'arquitectures jeràrquiques en les categories de WAN, MAN i LAN, on cada categoria té els nodes i els enllaços pertinents. Disposa també de múltiples generadors de tràfic per poder acoblar als nodes (per exemple, OSPF, basat en l'algorisme de Dijkstra o protocols de vector/distància pels encaminadors), mentre que els enllaços suporten capacitat, retard i encuament, podent-ser activats i desactivats en qualsevol moment de la simulació.

Integració d'eines de simulació de xarxes en un entorn virtual

Models de simulació

Cal destacar que ns-2/ns-3 és un projecte molt madur dins l'entorn del programari lliure i que la comunitat li dona ampli suport, com veiem en els models, molts d'ells implementats per la pròpia comunitat. Els més destacats, a banda dels previsibles, són:

- Suport Wi-Fi 802.11.
- Extensions per comunicacions 3G.
- Suport WiMAX: 802.16.
- Serveis integrats i serveis diferenciats.
- QoS amb PHB (*Per Hop Behaviour*).
- Suport per a multicast.

Per a la generació de tràfic cal remarcar que permet la incorporació de generadors estadístics, a banda dels típics generadors de tràfic, com ara FTP o Telnet.

Supervisió dels resultats

ns disposa de dos modes diferents per a supervisar els resultats. El primer consisteix en la supervisió directa en executar la simulació, emmagatzemant els resultats en un arxiu per a un posterior processat. L'altre, anomenat *traces*, va enregistrant cada paquet a mesura que va arribant, sortint o es descarta en la cua d'un enllaç. Els objectes *trace* es configuren dins la simulació com a part de la topologia de la xarxa, típicament com un canal enllaçat al objecte que es vol supervisar, representant el destí del recull de dades. Existeix un altre tipus d'objecte, anomenat *monitor*, que pot anar recollint informació com ara paquets i bytes rebuts, sortits, etc.

3.2.2. OMNeT++

OMNeT++ (*Object Modular Network Testbed ++*) és un simulador orientat a events discrets basat en objectes. D'ús bastant habitual per a modelar tràfic de xarxes de telecomunicacions, sistemes multiprocessador i rendiment de programari, disposa d'extensions per tal de poder simular gaire bé qualsevol cosa, fet que li confereix nombrar-lo com quelcom més que un simulador de xarxes. Desenvolupa amb el llenguatge C++, usa un llenguatge específic anomenat NED i un altre dels fets que el particularitza és l'ús de Eclipse com IDE per tal de visualitzar les simulacions, mitjançant pluggins per l'entorn d'abast ampli, permetent inclús simulacions amb bases de dades i llenguatges de programació.

L'aspecte de la llicència el fa bastant idoni per a entorns d'estudi, ja que aquesta és lliure de ser usada en entorn acadèmic i d'educació, to i que també existeixen llicències comercials (el producte té, inclús, un altre denominació: OMNEST). Pel que respecta al suport de sistemes operatius, pot ser utilitzat tant en entorns GNU Linux com en entorns Windows (via CygWin).

Característiques principals

El modelat de sistemes amb OMNeT++ consisteix en niar els mòduls de manera jeràrquica, permeten la representació del sistema lògic sense límit de profunditat i permetent-nos un gran detall. Els mòduls es comuniquen entre ells passant-se missatges, que poden tenir una estructura

Estat de l'art de les eines de simulació de xarxes en entorns virtuals

complexa de dades, podent-se passar missatges entre els mòduls o a través de camins predefinitos o connexions amb determinades propietats (ample de banda, retards, etc.). Els mòduls són tanmateix personalitzables per tal de crear topologies flexibles, com ara variables compartides. Els mòduls jeràrquics es poden crear utilitzant el llenguatge descriptiu NED o per la seva versió gràfica (GNED).

Els mòduls, en el seu nivell més baix, són proporcionats per l'usuari i contenen els algorismes del model. Aquests mòduls estan implementats usant el llenguatge C++, de manera que encaixa amb la metodologia orientada a objectes del propi simulador, sobre el que es poden estendre els conceptes com ara herència i polimorfisme, per exemple.

OMNeT++ disposa de diferents interfícies per a diferents propòsits, com ara depurat, demostració i execucions per lots. Aquest aspecte permet anar canviant d'interfície per tal de poder intervenir en alguns aspectes de la simulació, ja que la GUI incorpora capacitats d'inspecció i depurat.

Una altre característica és el suport a simulacions en paral·lel mitjançant l'ús de llibreries de comunicacions MPI o PVM3. També incorpora suport a MRIP d'*Akaroa*, projecte que té la intenció de millorar la credibilitat dels resultats de simulacions estocàstiques i millorar la velocitat d'execució de les simulacions mitjançant MRIP (*Multiple Replications In Parallel*), a l'hora que també usa mètodes de sincronització usats per PARSEC, llenguatge de simulació basat en C per a la simulació d'events discrets seqüencials i paral·lels.

Models de simulació

OMNeT++ dona suport a un ampli nombre del models, entre el que es poden citar:

- INET Framework: amb models TCP/IP, UDP, Ethernet. MPLS i RSVP.
- Suite IPv6: amb suport per a la mobilitat i compliment dels estàndards RFC IPv6.
- Simulació de sistemes de fitxers (FS).
- Interfícies de vídeo.
- Simulació de protocols P2P (*Distributed Hash Table*).
- Mobility Framework.
- Busos SCSI.
- Models de xarxes centralitzades, basades en Hiperlan/2.
- 802.11

3.2.3. OPNET IT Guru

OPNET (*Optimized Network Engineering Tools*) ha assolit un ús extens tant a nivell acadèmic com professional. Específicament dissenyat per modelar i simular xarxes, és un dels programaris més comprovats i documentats i la seva interfície gràfica es força bona amb edició de projectes. Disposa de llicència acadèmica i comercial i només està disponible per a entorns Windows, tot i que cap la possibilitat de que funcioni en entorns GNU Linux (cal investigar-ho). A l'hora de desenvolupar els models, la seva funcionalitat s'adapta perfectament a l'escenari descrit en la *Figura 2*. També disposa de gràfiques per tal de poder valorar millor la recollida de les dades,

Integració d'eines de simulació de xarxes en un entorn virtual

incloent-hi mòduls d'exportació de dades. Disposa d'una experiència en el desenvolupament de la aplicació d'uns quinze anys, que li confereix una estabilitat al programari molt bona.

Característiques principals

El cor del funcionament d'OPNET és el d'una màquina d'estats finita, combinada amb el model analític, permet una solució de compromís entre precisió i velocitat de les simulacions. Una de les parts que el fan una solució atractiva és la seva interfície gràfica, que es contraposa amb els simuladors de codi obert, d'aspecte una mica més rudimentari.

Mitjançant una estructura jerarquitzada orientat a objectes, on en cada nivell es representen les xarxes, els nodes i els processos, el programari està dividit en diverses parts: OPNET Modeler, OPNET Planner, la llibreria de models i l'eina d'anàlisi, incloent-hi simulacions d'events programats de *kernel* i eines d'interpretació.

Arquitectura interna

L'arquitectura, en el seu nivell més baix de models de procés, està estructurat com un model de màquina d'estats finit, on els estats i les transicions es poden especificar de manera gràfica mitjançant transicions d'estats i les condicions de transició es programen amb un llenguatge anomenat Proto-C, semblant a C. Els models de procés, conjuntament amb els ja integrats amb OPNET (mòduls d'origen-destí, generadors de tràfic, cues, etc.) es poden configurar mitjançant menús i organitzats mitjançant diagrames de flux, que representaran als nodes en l'editor de nodes. Emprant l'eina gràfica de l'editor de xarxa, es poden triar els nodes i els enllaços per tal de poder crear la topologia d'interès de la xarxa planejada.

L'eina d'anàlisi ens proporciona un entorn gràfic per tal de poder veure i manipular les dades recollides durant la simulació, podent analitzar els resultats de qualsevol element de la xarxa planejada. L'aplicació OPNET Planner permet fer una avaluació del rendiment de xarxes i sistemes distribuïts mitjançant simulacions d'events discrets: tant sols fa falta escollir d'entre els models predefinits (que van des de la capa física fins a la d'aplicació) i habilitar els atributs necessaris.

Models de simulació

OPNET disposa d'una gran quantitat de models simulació que abasten, com ja s'ha comentat, des del nivell físic fins al d'aplicació. Destaquem entre ells:

- Nivell físic: SONET, Gigabit Ethernet
- Nivell d'enllaç: ATM, suport per VLANs. multicast
- Qualitat de servei (QoS): gestió de cues, ToS (*Type of Service*)
- MPLS
- Nivell de xarxa: HSRP (*Hot Standby Routing Protocol*), RSVP, EIGRP, OSPF
- Nivell de transport: TCP, UDP
- Nivell d'aplicació: FTP, Telnet, VoIP
- Mòduls independents incorporables amb tecnologia ACE (*Application Characterization Environment*) per anàlisi de xarxes

Estat de l'art de les eines de simulació de xarxes en entorns virtuals

•Modelat de servidors

3.2.4. JiST

Aquest simulador té la particularitat de que s'executa sobre una màquina virtual Java, usat conjuntament amb SWANS, té un rendiment a destacar i un baix consum de memòria. Amb un llicència lliure, el projecte sembla necessitar d'una empenta, ja que està aturat des de 2005.

Característiques principals

JiST (*Java in Simulation Time*) és un simulador orientat a events discrets desenvolupat completament en Java que permet simulacions en paral·lel.

Arquitectura interna

L'arquitectura d'aquest simulador es força complexa. L'arquitectura està formada per quatre components: un compilador, un *bytecode rewriter*, un kernel de simulació i una màquina virtual. La simulació s'escriu en Java i es compila a *bytecode* (p. ex. amb el propi compilador de Java). Les classes compilades es modifiquen amb un *rewriter* per tal de poder ser executats sobre el kernel de la simulació i per que siguin suportats en temps de simulació. El programa de simulació, el *rewriter* i el kernel de simulació estant també escrits en Java. El procés s'executa en una màquina Java (JVM).

El benefici d'aquest enfocament és l'encastat, que permet un alt grau de reutilització del codi i de les llibreries, a l'hora que permet una alta velocitat d'execució. També cal destacar que permet fer simulacions amb un nombre molt elevat (100.000) de nodes.

Models de simulació

Els models de simulació són proporcionats per SWANS. Els principals són:

- Model camp*: 5x5 Km², espai lliure sense pèrdues
- Model radio*: AWGN, potència, guanys, etc.
- Model d'enllaç*: 802.11b
- Model de xarxa*: IPv4
- Model de transport*: UDP
- Mobilitat variable*
- Aplicació*: descobriment de veïns per bateig
- Projectes*: TCP, AODV i DSR

3.2.5. QualNet Developer

Proporciona un entorn virtual per a simulacions de xarxes. Derivat d'un altre conegut en el món de les simulacions (GLOMOSIM) permet un entorn de simulacions bastant ampli, però la llicència és molt restrictiva (només sota petició).

Característiques principals

QualNet aporta un conjunt ampli de funcions i es pot considerar com de gran escalabilitat, en gran part pel seu disseny modular, arribant assolir un nombre considerable de nodes. Un altre tret que el caracteritza és la possibilitat de modificar-ne l'API per poder millorar-ne les seves funcionalitats, permetent assolir un gran nivell de detall.

Les eines d'anàlisi i simulació són força acceptables, incloent-hi la documentació i el suport tècnic. Per tal desenvolupar una simulació, el procediment consisteix en crear un escenari, afegir els dispositius associats (incloent-hi els enllaços), es seleccionen les aplicacions que connecten els nodes i ja es pot dur a terme la simulació. La simulació pot ser executada sencera o de manera interactiva per anar recalibrant el model. Tot el procés de la simulació pot dur-se a terme des de interfície gràfica.

Arquitectura interna

QualNet està conformat per un arquitectura de capes i disposa de les següents eines per tal de donar-hi suport:

- *QualNet simulator*
- *Dissenyador d'escenaris*: es tracta de l'eina gràfica que ens permet de crear l'entorn de la simulació de manera gràfica, permeten aplicar característiques als objectes escollits.
- *Animator*: permet crear animacions dels escenaris dissenyats per tal de comprovar el flux del tràfic i d'altres paràmetres addicionals.
- *Analitzador*: permet recollir i analitzar les dades de la simulació, permetent visualitzar estadístiques.
- *Disseny de protocols*: eina per a dissenyar nous protocols i per incorporar-los.
- *Packet Tracer*: eina que permet seguir els paquets de la simulació.

Models de simulació

QualNet aporta una gran quantitat de models de simulació per a totes les capes, incloent-hi un dissenyador en cas d'animar-nos a desenvolupar algun protocol o, fins i tot, modificar-ne alguns. D'entre els models, es poden esmentar els següents:

- *Aplicacions*: VoIP, HTTP
- *Suport QoS*
- *Suport a comunicacions sense fils*, incloent antenes
- *Models MPLS*

Estat de l'art de les eines de simulació de xarxes en entorns virtuals

- *Models de routing*, incloent HSRP i ACL (*Access Control List*)

- *Suport de cues*

- *etc.*

3.2.6. KivaNS

També desenvolupat amb Java, KivaNS està llicenciada com a programari lliure i està desenvolupat per la Universidad de Alicante. KivaNS està format per dues parts: d'una banda, l'API que és la que aporta el motor de simulació i la segona és la interfície gràfica. Al igual que JisT, te l'avantatge de ser multiplataforma de partida.

Característiques principals

Desenvolupat per complet amb Java, aquest projecte de la Universidad de Alicante està concebut per a ser utilitzat en un àmbit d'estudi. Implementa la simulació d'events discrets mitjançant EJS (*Easy Java Simulation*) a través de l'API de simulació de KivaNS. L'entorn gràfic permet dibuixar els esquemes de la xarxa i configurar els paràmetres dels equips i enllaços de manera visual. La configuració dels components es fa de manera similar als entorns de treball reals i es permet executar la simulació de manera global o pas per pas, facilitant-ne les modificacions davant imprevistos. El procés de creació de la simulació és força senzill, ja que només cal preparar l'esquema de la xarxa, validar-lo per que no hagi errors, planificar la transmissió de les dades i executar-lo.

Arquitectura interna

KivaNS està conformat per tres mòduls. En primer lloc disposem del mòdul de simulació i classes, que s'encarrega de manegar els equips i connexions disponibles; està basat en un gestor d'events discrets que s'encarrega d'atendre a la planificació dels events implementats en els equips i xarxes; aquest mòdul també accedeix a d'altres mòduls que gestionen les comunicacions de les diferents capes de l'arquitectura de la xarxa. El mòdul de l'API, que facilita la integració amb d'altres mòduls des de diferents aplicacions Java i no depèn de l'entorn gràfic. Finalment, el mòdul gràfic permet utilitzar els mòduls de simulació sense necessitat de programar-los.

Models de simulació

Per al moment, només hi ha suport per a tràfic Ethernet 802.3 en les varietats CSMA/CD i amb suport de switching i per a protocols IP. Pel que fa al maquinari suportat, a banda del bus, hi han switches, routers i ordinadors. Cal pensar que KivaNS és un projecte encara en fase de desenvolupament i se'n preveuen evolucions i afegits per tal de millorar-lo.

3.2.7. Altres

Havent ressaltat les opcions més consistentes, hi han en el mercat tot un seguit d'eines de simulació de xarxes que podríem definir com bones o molt bones, però que es descarten pel fet de tractar-se de programari propietari, sense opció a ser avaluades o amb condicions molt

Integració d'eines de simulació de xarxes en un entorn virtual

difícils. Pel que respecta a la simulació en entorn de programari lliure, també s'han descartat algunes opcions degut a que el projecte està en fases molt inicials o bé aquest s'ha abandonat.

Programari	Versions	Entorn	Llicència
<i>ns-2/ns-3</i>	2.34(2009)/3.9(2010)	Multiplataforma	Lliure
<i>OMNeT++</i>	4.1 (2010)	Multiplataforma	Comercial (versió acadèmica)
<i>OPNET</i>	9.1 (2010)	Windows GNU Linux(?)	Propietària (versió acadèmica)
<i>JisT</i>	1.06 (2005)	Multiplataforma (Java)	Lliure
<i>QualNet</i>	N/A	Multiplataforma	Propietària
<i>KivaNS</i>	1.1 (2008)	Multiplataforma (Java)	Lliure

Taula 2: Resum d'eines de simulació.

3.3. Tria de simulador. Justificació.

Un cop presentats els simuladors, procedim a fer-ne un anàlisi per tal de veure com s'adeqüen a les nostres finalitats.

3.3.1. Funcionament

El sistema de funcionament de tots els simuladors és bastant semblant, llevat el que fa respecte l'ús de llenguatges de programació, on OPNET no disposa de llenguatge de programació d'alt nivell. Tots usant una estructura de descomposició jerarquizada que permet un millor apropament als models a desenvolupar.

Les entrades i sortides permetent modelar els elements partint de distribucions probabilístiques i permeten la recollida de dades i la creació de gràfics de manera que aporten claredat. *ns-2/ns-3* és el que potser treu menys nota en aquest aspecte, ja que es pot assolir aquest aspecte afegint-hi programari o tractant les dades de manera manual.

3.3.2. Versatilitat

En valorar la versatilitat, OPNET és el programari que aporta una manera de treballar més fàcil que qualsevol dels altres programaris. L'estil de treball és totalment visual i permet manegar tots els objectes de manera força intuïtiva.

Estat de l'art de les eines de simulació de xarxes en entorns virtuals

La documentació és més que correcte en tots els programaris, amb profusió d'exemples, llevat de KivaNS, ja que es tracta d'un programari que està amb una fase inicial de desenvolupament, i JisT, justament pel motiu contrari.

3.3.3. Models de simulació

També en aquest aspecte la tria realitzada dona suport a una gran quantitat de models de simulació, si bé tant JisT com KivaNS queden despenjats en aquest aspecte.

3.3.4. Llicències

Aquest aspecte de valoració s'ha obert al disposar de programari propietari sota llicència personal o versió acadèmica, ja que ens permetrà disposar de programari que d'altra manera no es podria provar. L'única llicència restrictiva és la de QualNet.

3.3.5. Execució de les simulacions

Tots els programaris presentats tenen unes velocitats de simulacions adequades, destacant JisT i OPNET en aquest aspecte.

3.3.6. Integració de l'entorn de treball

Aquest és potser un altre aspecte força important a tractar, ja que, en incorporar diverses funcionalitats (models, gràfics, etc.), la integració de les eines en un entorn integrat facilita l'aprenentatge sobre el seu ús. OPNET en aquest aspecte és el programari que millor integra les eines, mentre que la resta, per exemple OMNeT, necessiten d'instal·lació de programari addicional, com ara entorns i compiladors que dificulten la integració.

3.3.7. Conclusió

Després d'haver fet una presentació de les eines de simulació, l'opció més adient per a dur terme el projecte és **OPNET**. Tot i les restriccions del programari, es disposa d'una llicència acadèmica que permet modelar entorns força grans. La seva interfície gràfica que integra tots els aspectes d'interès i la facilitat d'aprendre a crear model de simulació el fa ideal per a les tasques previstes. La pretensió és que sigui el suficientment atractiu i fàcil de manejar per a que pugui ser integrat com a eina d'aprenentatge.

La majoria de la resta de models tenen una gran càrrega d'aprenentatge, alguns incloent-hi parts de programació, que si bé poden ser bones en alguns casos, pel cas que s'ens presenta pot representar un esforç massa important.

4. TEORIA DE CUES

La simulació de cues es important degut a que proporciona prediccions teòriques sobre les que validar els resultats de les simulacions: en condicions normals, un model de simulació es pot simplificar de manera que la teoria de cues pot validar les previsions teòriques, comparant-les amb mesures experimentals reals.

4.1. Introducció a la teoria de cues

Agner Kraup Erlang va ser qui va introduir el terme de teoria de cues per modelar el tràfic en les línies telefòniques. Pels volts de 1953, David Kendall va introduir la notació de les cues (A/B/C) i en 1960, Leonard Kleinrock va dur a terme un important treball de teoria de cues sobre les xarxes commutades de paquets.

La teoria de cues no és més que l'estudi matemàtic de l'espera de manera que ens permet fer-ne un anàlisi dels processos que podem relacionar en una cua: arribar, esperar i ser servit. Per a nosaltres és essencial, ja que en els entorn de simulació la seva importància es cabdal.

El funcionament de la teoria de cues es el següent: hi ha un font encarregada de generar events que aniran arribant al sistema modelat quedant en espera per tal de que puguin ser servits, abandonant el sistema un cop s'ha servit la cua. Per norma, un sistema de cues funciona amb un o més servidors que donaran servei a un o més usuaris conforme aquests van arribant al sistema. L'arribada d'aquests clients es regulada per una font que s'encarrega de generar-los de forma aleatòria finita o infinitament.

4.2. Modelat de cues

Per tal d'aconseguir modelar de forma correcte el funcionament d'una cua, caldrà tenir presents els elements següents:

- Capacitat de la cua: és el nombre màxim de clients que poden estar a l'espera
- Client: usuari que demana que entra a la cua per a sol·licitar el servei del servidor
- Cua: conjunt de clients que ja ha estat servida pel servidor

- *Mecanisme de servei*: és el procés mitjançant el qual es serveixen als clients
- *Font d'entrada*: origen dels usuaris que volen demanar el servei
- *Disciplina de la cua*: esquema de servei als clients. Els més importants són:
 - FIFO (First In – First Out): la cua es serveix per ordre d'arribada
 - LIFO (Last In – First Out): la cua es serveix en ordre invers a l'arribada
 - Servei aleatori: la cua es serveix de forma aleatòria
 - Round Robin: s'assignen temps per a servir als usuaris

En una representació mitjançant objectes, servidors i cues són objectes estàtics, mentre que els clients són dinàmics. Els paràmetres que ens interessin d'una cua són:

- *Temps d'espera*:
 - *En el servidor*
 - *En la cua*
- *Objectes del sistema*:
 - *Servits*
 - *Encuats*

Per a casos complexos no queda altre solució que fer ús de la simulació, però si els casos són senzills es poden utilitzar càlculs manuals.

4.3. Notació estàndard de cues

Les cues fan servir la notació de Kendall per tal de modelitzar-les. L'esquema que es segueix és el següent:

$$X/Y/Z/K$$

on:

- *X*: Indica la natura del procés de l'arribada i pot prendre els valors:
 - *M*: sense memòria
 - *G*: distribució lineal
 - *D*: distribució determinista
- *Y*: indica la distribució de la probabilitat en el temps de ser servida i pot prendre els valors:
 - *M*: distribució exponencial
 - *G*: distribució general
 - *D*: distribució determinista
- *Z*: indica el nombre de servidors
- *K*: (opcional) indica la limitació en el nombre d'usuaris del sistema

4.4. Cadenes de Markov

Són els models més habituals per a les cues on la distribucions temporals són exponencials,. Les més habituals són:

- M/M/1*: el model assumeix una arribada en model de Poisson i un servei de distribució exponencial amb paràmetre μ . La velocitat d'arribada no depèn del nombre d'usuaris del sistema. Usa disciplina FIFO.
- M/M/M*: idèntic a l'anterior, però pel cas de que hi hagin M servidors.
- M/M/1/K*: igual al *M/M/1*, però amb K usuaris limitant la cua.
- M/M/∞*: igual que el *M/M/1*, però per infinits servidors
- M/M/1/s/K*: extensió del model *M/M/1* on tant el nombre de servidors com de clients està limitat.

4.5. Xarxes de cues

Es correspon a una xarxa on a cadascun dels nodes estan formats per una cua amb el(s) seu(s) corresponent(s) servidor(s). La xarxa es representa mitjançant un graf i es correspon a una màquina d'estats finita. Les xarxes s'utilitzen per a modelar els casos en que els clients són atesos per més d'un servidor. Poden ser:

- Obertes*: podent arribar clients des de fora de la xarxa i sortir de fora de la pròpia xarxa. Cal que compleixin:
 - Els nodes són servits per un nombre de servidors en un temps de servei que segueix sempre la mateixa distribució.
 - Els clients poden arribar de la xarxa o fora d'ella, però sempre seguint un procés de distribució de Poisson.
 - El flux de les transicions és aleatori i instantani.
- Tancades*: segueixen el mateix esquema que les obertes, però els clients estan sempre dins la xarxa.
- De cues cícliques*: es correspon a l'esquema de xarxa tancada, però la xarxa esta connectada de forma circular, de manera que la direcció de salt entre els nodes és fixe.
- De cues sèrie*: les cues es disposen de manera lineal una darrere l'altra. En cas de que els clients vinguin de fora de la xarxa, han d'entrar per força pel primer node.
- De cues sèrie amb bloqueig*: segueixen l'esquema anterior, però les cues, una o varies, es veuen limitades bé per la mida, bé pel temps de servei.

4.6. Degoteig (leaky-bucket / token bucket)

El model *leaky-bucket* es pot associar al d'una galleda foradada, on l'aigua va sortint de la galleda a una velocitat constant amb independència de la velocitat d'entrada de l'aigua. La

possibilitat de trànsit a ràfegues es veu suavitzat amb aquest sistema, aconseguint un flux fixe, però amb la limitació de la capacitat de la galleda (o de la cua, en aquest cas).

Token-bucket, és l'aplicació de *leaky-bucket* però usat per a testimonis en lloc de dades. Usa dos paràmetres:

•*R*: és la velocitat d'arribada dels testimonis o la taxa mitjana de dades admeses per a un flux determinat en un període de temps llarg.

•*B*: és la capacitat de regulació. Ens indica el nombre de testimonis que poden ser emmagatzemats.

Llavors, per tal de que un paquet pugui ser transmès, cal eliminar un testimoni del regulador. Cas de que el regulador no tingui testimonis, el paquet s'haurà d'esperar a que arribi un. Si hi han *B* testimonis, permet una ràfega de *B* paquets. La capacitat del regulador és l'encarregada de limitar la mida de l'impuls.

4.7. Limitacions de la teoria de cues

Les assumpcions de la teoria de cues clàssica es potser massa restrictiva per a modelar situacions reals d'una manera fidedigna. Hi han moltes variables externes que poden influir en la teoria de cues de manera que calgui desenvolupar eines especialitzades i acurades per a cada entorn.

És pot preveure que l'estadística juga i jugarà un paper fonamental en el desenvolupament de la teoria de cues per fer-la tant acurada com sigui possible.

5. OPNET IT GURU A FONTS

En aquest apartat farem una exploració en profunditat de la versió *Academic Edition* del programari OPNET IT Guru que hem escollit per a dur a terme la nostra pràctica. Es farà un recorregut per la majoria d'opcions de les que disposa i veurem com poder adaptar la seva funcionalitat als nostres requeriments pràctics.

5.1. Historia d'OPNET

A mitjans dels anys 80, un estudiant del MIT de 20 anys anomenat Alain Cohen juntament amb un company, Steven Baraniuk, comencen a desenvolupar un prototip d'un sistema que pugui permetre el modelat i simulació de xarxes de telecomunicacions que varen anomenar *Optimized Network Tools*, OPNET. Durant el desenvolupament del prototip, veuen una oportunitat de negoci i, conjuntament amb el germà de Alain., Marc, prenen la decisió de fundar l'empresa *MIL-3*, conjuntament amb les primeres versions d'OPNET (1.1). A l'any 2.000, l'empresa passa a anomenar-se *OPNET Technologies Inc.*

5.1.1. Productes OPNET

Avui en dia, OPNET té tres branques de negoci principals que són:

- Gestió de rendiment d'aplicacions
- Enginyeria i planificació de xarxes
- Desenvolupament i investigació de xarxes

El primer producte del que van disposar va ser *OPNET Modeler*, que era una eina de modelat i simulació de xarxes. Des de llavors, han anat aprofundint en les àrees de negoci i han creat noves i diverses eines en les respectives branques de negoci:

- Gestió del rendiment d'aplicacions: ACE Analyst (Standard i Plus), ACE Enterprise Management Server, OPNET Panorama, ACE Live Appliance, ACE Live Rover, etc.
- Enginyeria i planificació de xarxes: IT Guru, SP Guru Network Planner, SP Guru Transport Planner, NetOnE, VNE Server, IT NEt Mapper, nCompass for Service Providers, etc.
- Desenvolupament i investigació: OPNET Modeler, OPNET Modeler Wireless Suite i OPNET Modeler Wireless Suite per a Defense

Potser un dels aspectes a destacar es l'anomenat *University Program*, programa pel qual OPNET proporciona programari de manera lliure a universitats per a recerca acadèmica i per a ensenyament, del qual se'n beneficien a prop de 25.000 centres universitaris, proporcionant:

- El model complet de llibreries amb el codi font, incloent model específics com ara WiMAX o IPv6, per exemple
- Simulacions i modelatge avançats, simulacions d'events discrets, modelat analític i tecnologies híbrides
- Un programa de manteniment a baix cost
- Formació gratuïta
- Una gran quantitat d'eines de formació

Dintre d'aquest programa, a banda d'OPNET IT Guru Academic Edition, està inclòs el següent programari: IT Guru, OPNET Modeler, OPNET Modeler Wireless Suite i SP Guru Transport Planner.

5.2. Descripció del programari: OPNET IT Guru Academic Edition

OPNET IT Guru Academic Edition proporciona a l'usuari, en un entorn integrat, un complet simulador d'entorn de telecomunicacions per a una gran quantitat de components, des de telefonia fins a commutadors ATM, concentradors de dades i servidors, tant de serveis com d'aplicacions. Les limitacions sobre el programari de pagament es limiten a:

- Limitació en les capacitats d'importar/exportar de/des de la a versió professional
- Limitació en les capacitats wireless
- No es poden incorporar determinats mòduls del fabricant
- El nombre d'events de la simulació està limitat (50 milions)
- El nombre màxim de nodes intermedis està limitat (20)
- Llicència limitada a 6 mesos d'ús

5.3. Utilitats d'OPNET IT Guru

L'ús del simulador OPNET IT Guru ens permetrà:

- Diagnosticar problemes de configuració en xarxes i comprovar el funcionament:

Integració d'eines de simulació de xarxes en un entorn virtual

- Permet supervisar la xarxa, tant amb fluxos de trànsit com en transaccions d'aplicacions
- Permet la detecció d'errades en la configuració de la xarxa
- Permet trobar en quin nivell de la pila OSI està localitzat el problema
- Proves de validació en escenaris quasi-reals sobre augments i canvis del tipus de tràfic que hi circularà en la xarxa, permetent:
 - Millores sobre els components existents i previsió sobre quins components afegir per tal de donar suport al trànsit futur
 - Millores en la implementació de protocols
 - Validació de polítiques de trànsit (p. ex. QoS)
- Definir i validar expansions de la xarxa:
 - Racionalització en les inversions sense sobredimensionaments, ni colls d'ampolla
 - Adaptació del equipament sense provocar caigudes en la xarxa
 - Racionalització en l'ús de les opcions de trànsit de la xarxa

5.4. Ús del simulador

Per tal de poder desenvolupar una simulació caldrà seguir els següents [passos](#):

1. Crear un projecte: un projecte no és més que un conjunt d'escenaris que tenen un objectiu en comú.

2. Creació del/s escenari/s: si creem un escenari per tal de comprovar el funcionament d'un determinat protocol, el primer escenari serà el punt de partida des d'on es crearan els escenaris següents amb les possibles modificacions a incloure per tal de comprovar-ne com es veu afectat l'escenari principal per les modificacions que s'introdueixen. La creació d'un escenari també inclou escollir l'àmbit geogràfic, els elements de xarxa inclosos, la creació de perfils de peticions tant d'aplicacions com de trànsit, etc.

3. Tria de la recollida i estadístiques de dades: en aquest punt s'estableixen quins seran els paràmetres sobre els que ens interessa recollir-ne les dades i analitzar, com ara actualitzacions de rutes, càrregues en els enllaços, etc.

4. Duplicació de l'escenari: ens permet, partint de l'escenari original, fer una replica on podrem modificar els aspectes que podem preveure que afectaran el rendiment de les dades d'interès que volem avaluar o quantificar. Per exemple, podem comprovar com afecta al model un augment o disminució de la velocitat d'un enllaç al rendiment del model plantejat inicialment.

5. Execució de les simulacions: un cop plantejats tots els possibles escenaris, es procedeix a executar la simulació sobre ells, on OPNET podrà fer les prediccions de rendiments amb tota la informació que ha estat inclosa en els escenaris (estadístiques, trànsit, etc.)

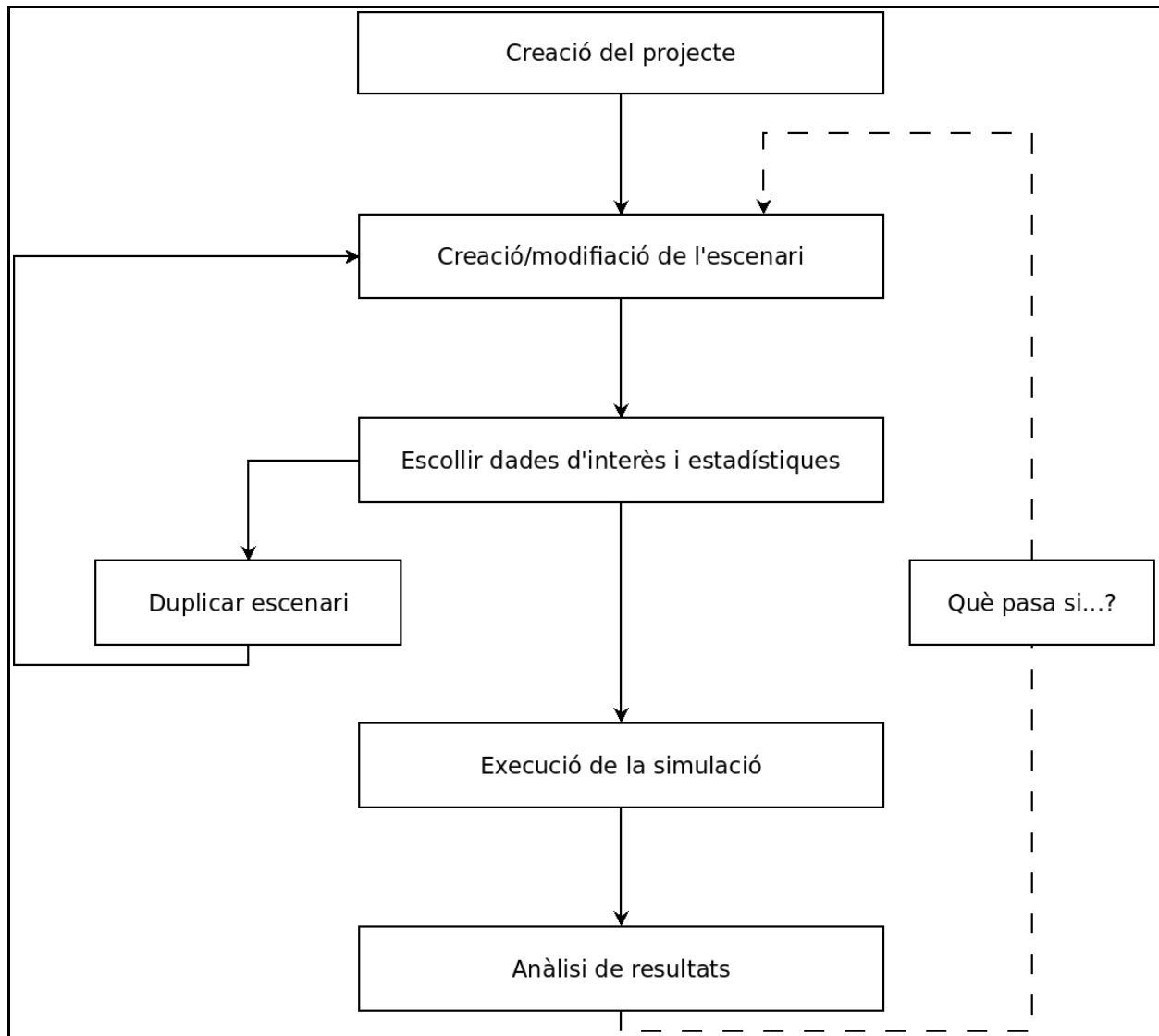


Figura 3: Passos en el projecte de simulació d'OPNET.

6. **Anàlisi dels resultats:** un cop executades les simulacions, es procedeix a avaluar els resultats amb les eines de que disposa OPNET: estadístiques, gràfiques i el log.

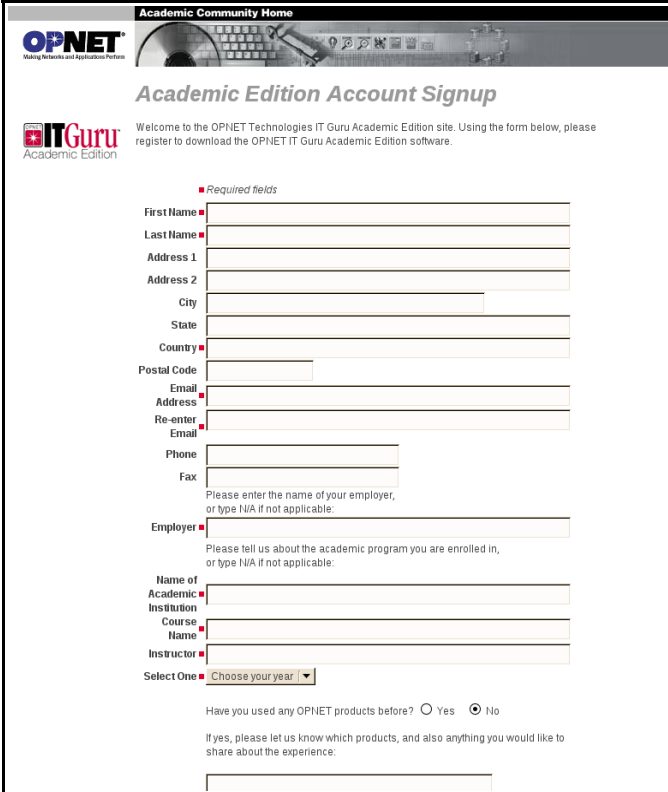
7. **Redisseny/canvis:** si els resultats de les simulacions no són els desitjats, es procedeix a canviar el model fins que aquest assoleixi les nostres expectatives. Es pot fer un anàlisi per tal de comprovar com s'hagués comportat el model si s'haguessin canviat algunes de les condicions que puguin influir de manera crítica en el nostre model (*Què passa si...?*).

5.5. Instal·lació de OPNET IT Guru Academic Edition

Com hem comentat, la llicència d'ús acadèmic ens permetrà desenvolupar models de caire professional amb un mínim de restriccions, però el procés d'instal·lació del programari i la llicència no és trivial. Per tal de descarregar i instal·lar el programari, cal fer un seguit de passos, que són:

Integració d'eines de simulació de xarxes en un entorn virtual

- Descàrrega del programari: des de http://www.opnet.com/university_program/itguru_academic_edition/
- Complimentar el *formulari*: https://enterprise37.opnet.com/4dcgi/SIGNUP_NewUserOther
- Recollir la *licència de la bústia de correu*: la llicència s'envia a l'adreça d'e-mail especificada i cal seguir els passos indicats en el correu
- Accedir a l'adreça <http://www.opnet.com/itguru-academic/download.html> i procedir a la *validació*



The screenshot shows the 'Academic Edition Account Signup' form on the OPNET website. The form is titled 'Academic Edition Account Signup' and includes a welcome message: 'Welcome to the OPNET Technologies IT Guru Academic Edition site. Using the form below, please register to download the OPNET IT Guru Academic Edition software.' The form contains several input fields, some marked as required with a red asterisk. The fields are: First Name, Last Name, Address 1, Address 2, City, State, Country, Postal Code, Email Address, Re-enter Email, Phone, Fax, Employer (with a note: 'Please enter the name of your employer, or type N/A if not applicable.'), Name of Academic Institution, Course Name, Instructor, and a 'Select One' dropdown menu with the option 'Choose your year'. There are also radio buttons for 'Have you used any OPNET products before?' (Yes/No) and a text area for sharing experience.

Figura 4: Formulari de registre d'OPNET.



The screenshot shows a web authentication dialog box titled 'Cal autenticació'. The dialog box contains a question mark icon and the text: 'https://enterprise37.opnet.com ha sol·licitat un nom d'usuari i contrasenyes. El lloc web diu: "IT Guru Academic Edition"'. Below this, there are two input fields: 'Nom d'usuari:' with the text 'carlesdeharo' and 'Contrasenya:' with a masked password of ten dots. At the bottom, there are two buttons: 'D'acord' (Yes) and 'Cancel·la' (Cancel).

Figura 5: Validació a la web d'OPNET.

THANK YOU FOR REGISTERING WITH OPNET TECHNOLOGIES.

Please use the username and password below to download OPNET IT Guru Academic Edition.

username carlesdeharo
password jrj4h0su

Please save your username and password because you will need them to access important information on OPNET's website, including the web pages referenced below.

If you do not already have the IT Guru Academic Edition installer, download the software from here:
<http://www.opnet.com/itguru-academic/download.html>

Once you have downloaded the installer, run it to install the software. Then run the software, which will guide you through the product activation process.

For additional information related to IT Guru Academic Edition, including FAQs:
<http://www.opnet.com/itguru-academic/home.html>

About IT Guru Academic Edition
OPNET IT Guru Academic Edition provides a virtual environment for modeling, analyzing, and predicting the performance of IT infrastructures, including applications, servers, and networking technologies. Based on OPNET's award-winning IT Guru product, Academic Edition is designed to complement specific lab exercises that teach fundamental networking concepts. The

Figura 6: e-mail de recepció de llicència.

•*Acceptació de la llicència de programari:* llegim la llicència d'ús i [acceptem](#) per a iniciar la descàrrega

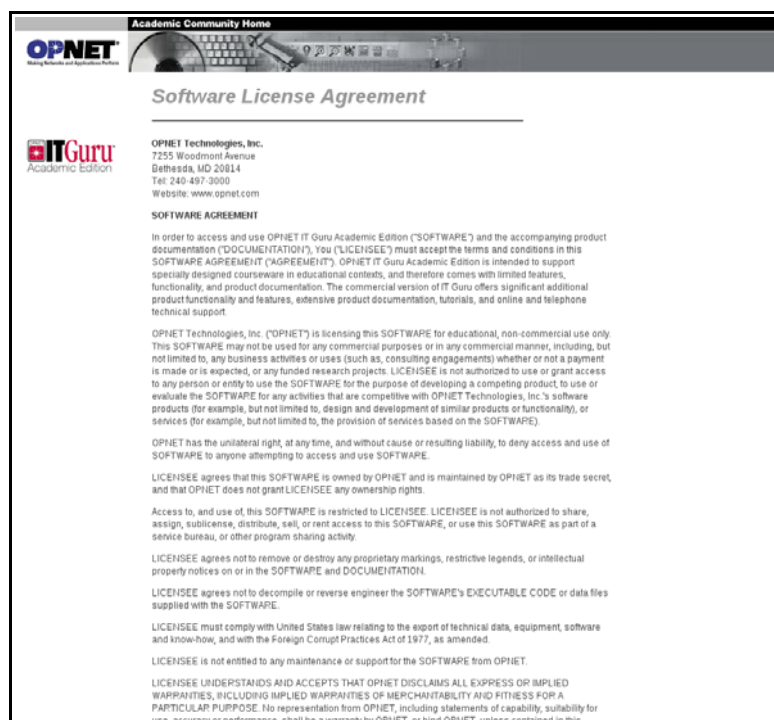


Figura 7: Acceptació de la llicència.

Integració d'eines de simulació de xarxes en un entorn virtual

•Inici de la [descàrrega](#): l'arxiu ocupa uns 190 Mb

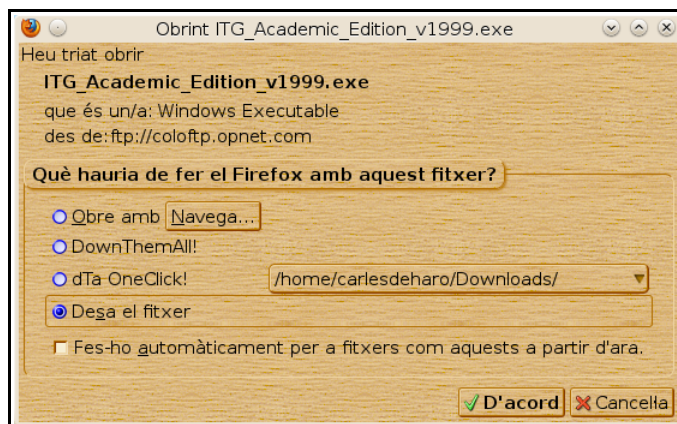


Figura 8: Descàrrega d'OPNET IT Guru Academic Edition.

Un cop finalitzat el procés de descàrrega, només caldrà procedir a fer-ne la seva instal·lació. El procediment de la instal·lació ens demanarà d'[acceptar](#) i activar la llicència i iniciar la transacció de registre de la llicència.

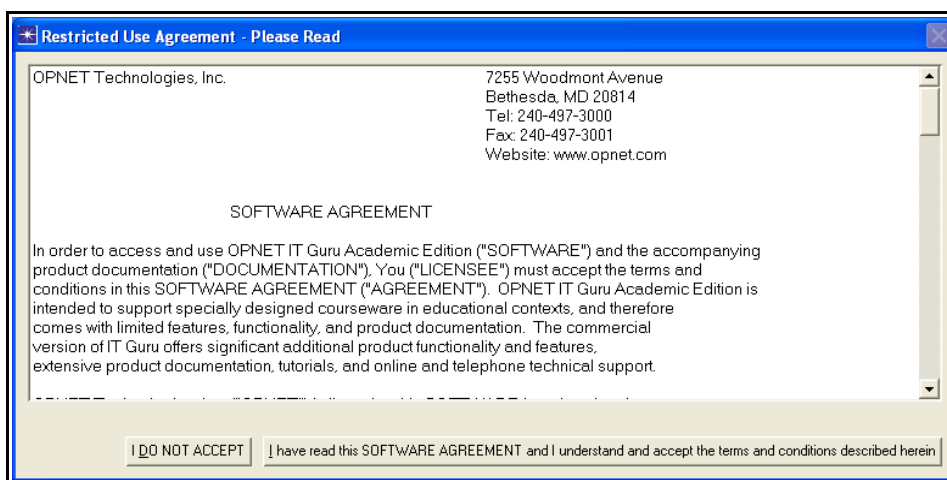


Figura 9: Acceptació de llicència.

Amb el [codi d'acceptació](#) de llicència, procedim a fer l'[activació](#) via web de la llicència, retornant-nos el [codi d'aprovació](#) de la llicència. Llavors, encara cal retornar al programari per a [introduir-hi el codi d'acceptació](#). En aquest moment ja disposem del programari instal·lat i completament funcional. Tant sols caldrà fer una [modificació en el servidor de llicències](#): anirem a l'opció **Edit** -> **Preferences** i cercarem la variable `license_server_standalone` i verificarem que estigui a `TRUE`, modificant-la en cas de que sigui necessari.

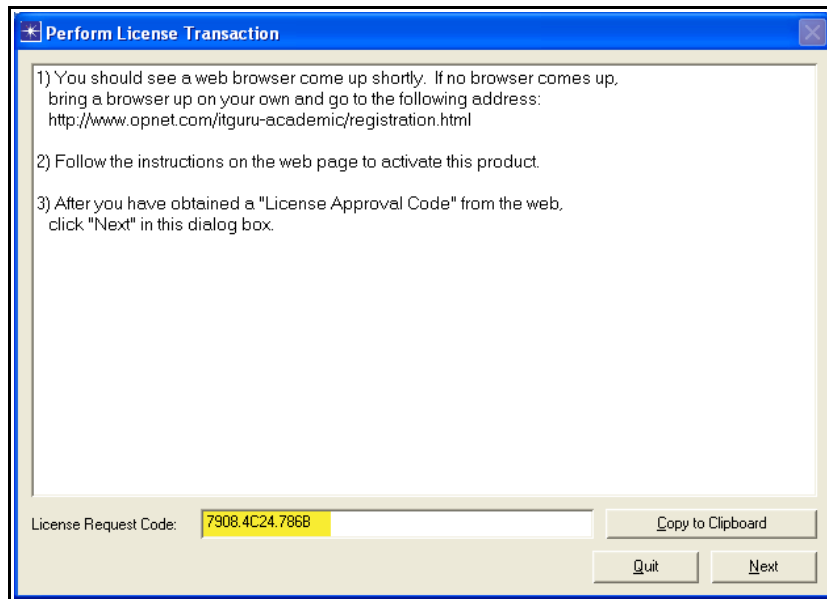


Figura 10: Detall del codi d'acceptació de llicència.

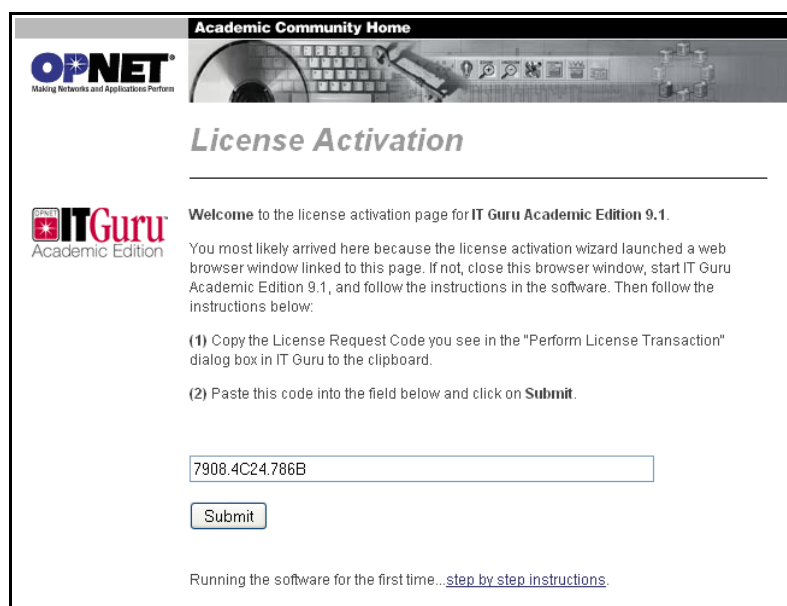
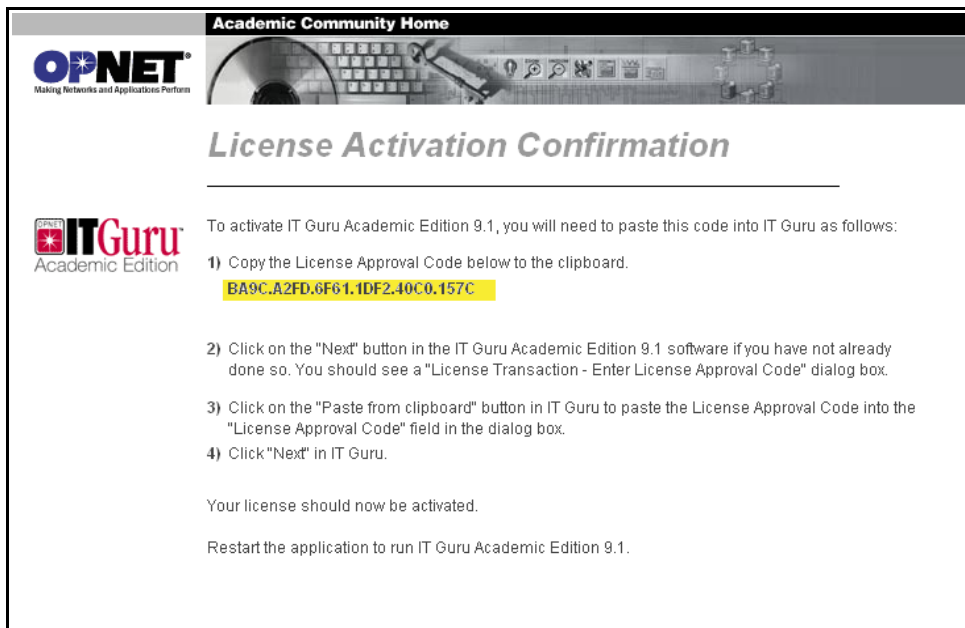


Figura 11: Activació via web de la llicència.



The screenshot shows a web page titled "Academic Community Home" with the OPNET logo. The main heading is "License Activation Confirmation". Below this, it states: "To activate IT Guru Academic Edition 9.1, you will need to paste this code into IT Guru as follows:"

- 1) Copy the License Approval Code below to the clipboard.
BA9C.A2FD.6F61.1DF2.40C0.157C
- 2) Click on the "Next" button in the IT Guru Academic Edition 9.1 software if you have not already done so. You should see a "License Transaction - Enter License Approval Code" dialog box.
- 3) Click on the "Paste from clipboard" button in IT Guru to paste the License Approval Code into the "License Approval Code" field in the dialog box.
- 4) Click "Next" in IT Guru.

Your license should now be activated.
Restart the application to run IT Guru Academic Edition 9.1.

Figura 12: Codi d'aprovació de la llicència.

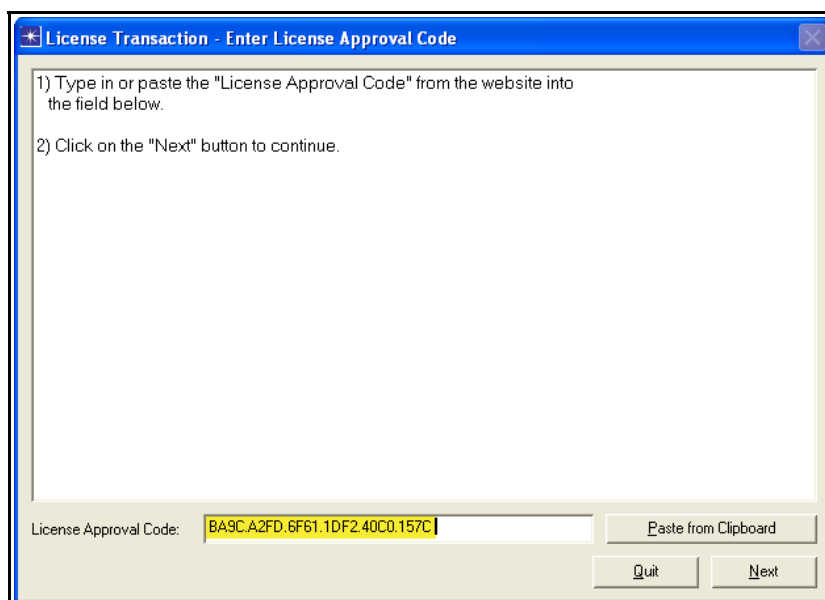


Figura 13: Inserció del codi d'acceptació en el programari.

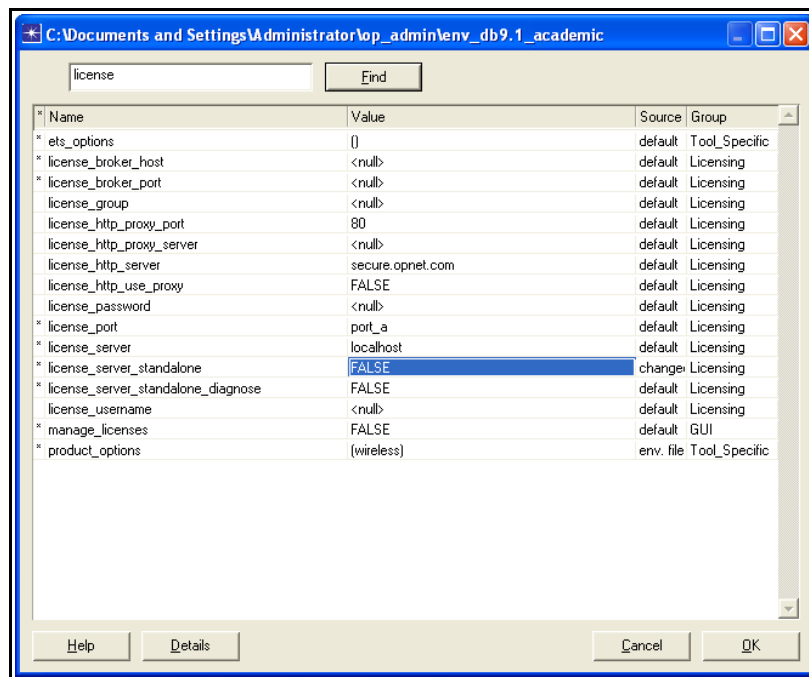


Figura 14: Verificació del servidor de llicències local.

5.6. L'entorn integrat d'OPNET

La finestra principal d'OPNET IT Guru Academic Edition és la *finestra del sistema*. Aquesta és la finestra principal des d'on manegarem els projectes. Des d'aquí podem procedir a la creació d'un projecte: **File->New->Project**.

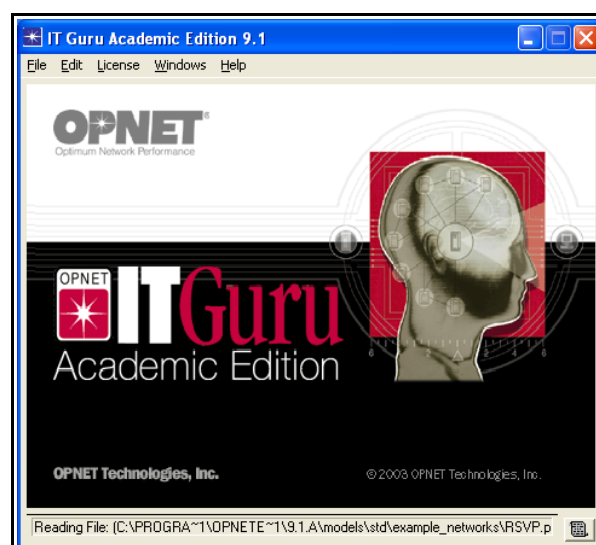


Figura 15: Finestra de sistema d'OPNET IT Guru Academic Edition.

5.6.1. L'editor de projectes

La finestra de l'[editor de projectes](#) és la finestra principal de treball. Des d'aquí és on podrem crear escenaris, recollir dades i estadístiques, executar simulacions, etc. Dintre de l'editor de projectes, la zona de treball es on la que disposarem els objectes i disposa d'una *grid* que podrem augmentar o disminuir en funció de les distàncies sobre les que treballem, permetent, inclús, la inserció de mapes o planells.

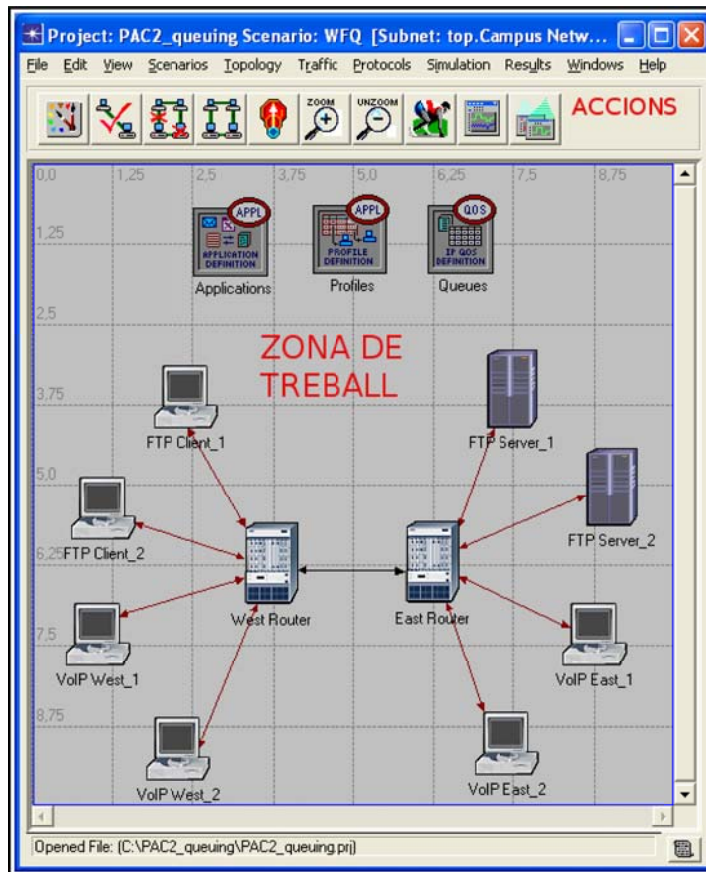


Figura 16: Editor de projectes amb diferenciació de les zones.

A la part de dalt de l'editor de projectes tenim les accions que interactuen amb els elements del projecte. El significat de cada acció és el següent:



•**Paleta d'objectes:** ens permetrà afegir components a l'escenari (servidors, enllaços, etc.)



•**Comprovació dels enllaços:** permet comprovar si tots els enllaços de la xarxa són correctes. És de molta utilitat en el moment de la finalització de l'escenari i abans d'executar la simulació.



•**Fallida d'enllaç:** simula una caiguda en un o varis enllaços, permetent estudiar l'escenari sota condicions de caigudes (p. ex. redundàncies).



•**Recuperació d'enllaç:** recupera els enllaços caiguts per retornar a l'estat inicial de l'escenari.



•**Retorn a la subxarxa anterior:** útil per a manegar xarxes grans, tenim l'opció d'agrupar elements, com ara estacions, servidors i els seus enllaços, en subxarxes i agrupar els elements en icones dins la zona de treball permetent-nos una millor visió de la xarxa global.



•**Botons de zoom:** ens permeten apropar o allunyar l'escenari.



•**Configurar/executar simulació:** permet la configuració de la simulació sobre l'escenari en el que estem treballant mitjançant un quadre de diàleg on es podran ajustar diferents valors de la simulació (durada, protocols, eficiència, etc.).



•**Visualitzar resultats:** mostra els resultats estadístics de les dades recollides mitjançant gràfiques.



•**Amagar/mostrar totes les gràfiques:** permet recollir/mostrar les gràfiques per una millor visualització de l'espai de treball.

5.6.2. Creació d'un projecte amb OPNET IT Guru Academic Edition

Des de la finestra de sistema d'OPNET, crearem un projecte amb les opcions **File->New->Project**, i posarem nom tant al projecte com a l'escenari inicial.

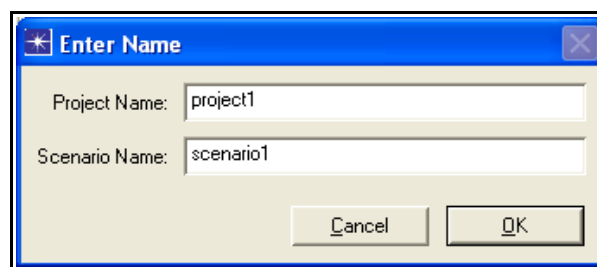


Figura 17: Donant nom al projecte i a l'escenari.

El següent pas consisteix en seguir l'**assistent del projecte**, que és un seguit de quadres de diàleg per tal d'ajustar la configuració inicial de l'escenari. El primer quadre de diàleg es correspon a la topologia inicial, que ens permet escollir entre un **escenari buit** i **importar des de ACE**. Aquesta darrera opció ens permetria importar l'escenari des de dades capturades amb *sniffers*, com ara *WireShark*.

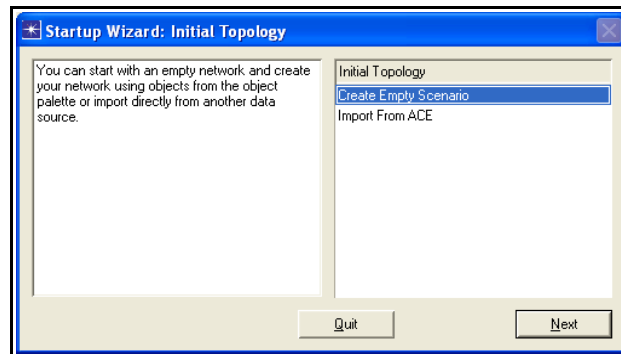


Figura 18: Topologia inicial.

El pas següent consisteix en triar l'[escala](#) de l'àmbit de treball de manera que s'adapti millor a les nostres necessitats per a les dimensions de l'escenari. En el següent quadre de diàleg ens permetrà fitar les distàncies de manera més precisa, ja sigui per regions geogràfiques si hem escollit l'escala mundial, o més reduïdes en d'altres eleccions. Normalment, l'elecció de *World* o *Choose From Maps* ens serà més útil per a xarxes WAN, mentre que la resta d'opcions és més acurada per a LAN.

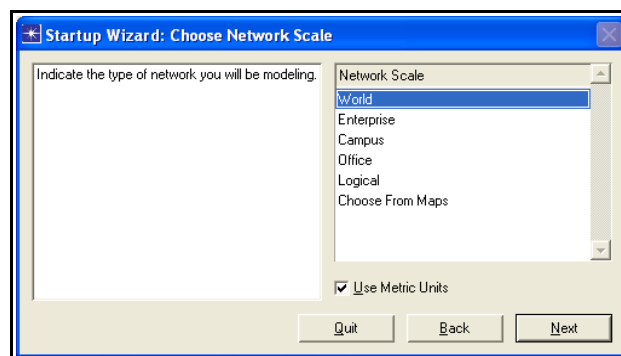


Figura 19: Dimensions de la xarxa.

En el darrer quadre de diàleg podrem [afegir les tecnologies](#) a mida amb les que treballarem. El darrer pas ens demana la confirmació i ja s'ens mostrarà l'[editor del projecte amb la paleta](#) d'objectes escollida.

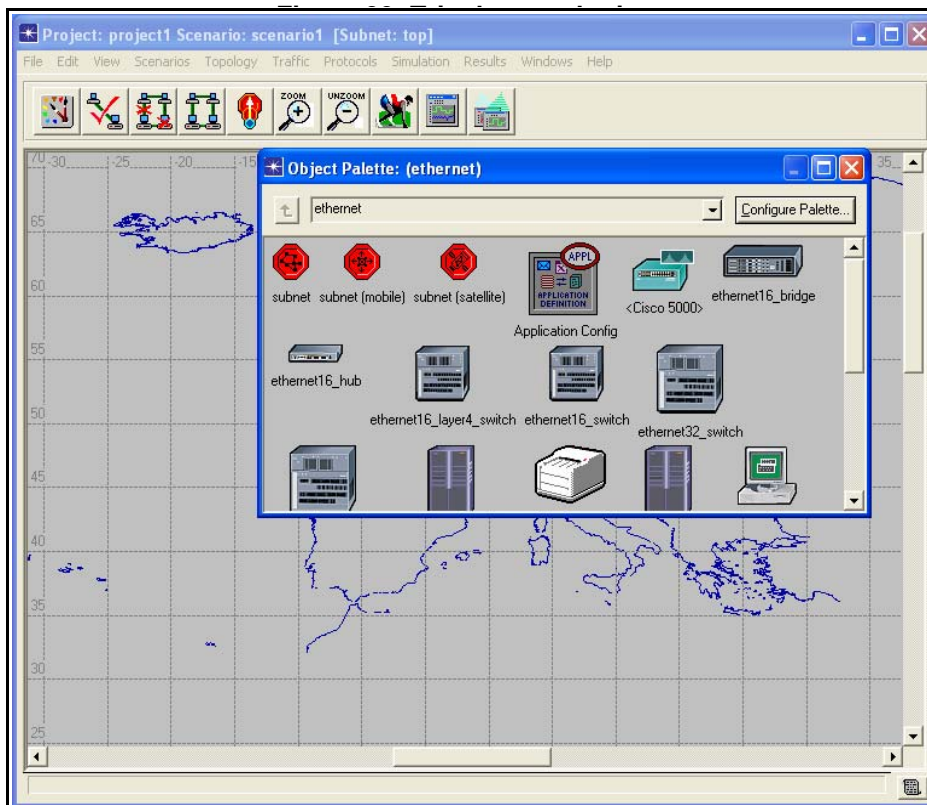
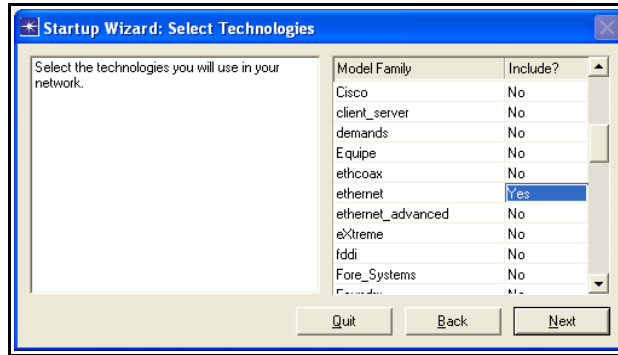


Figura 21: Escenari amb la paleta d'objectes.

Arribats a aquest punt, ja podem començar a arrossegar objectes des de la paleta a l'àrea de treball. Si algun component no estigues a la paleta que havíem escollit, podem [canviar de paleta](#) de manera molt senzilla fin trobar l'objecte que necessitem.

Integració d'eines de simulació de xarxes en un entorn virtual

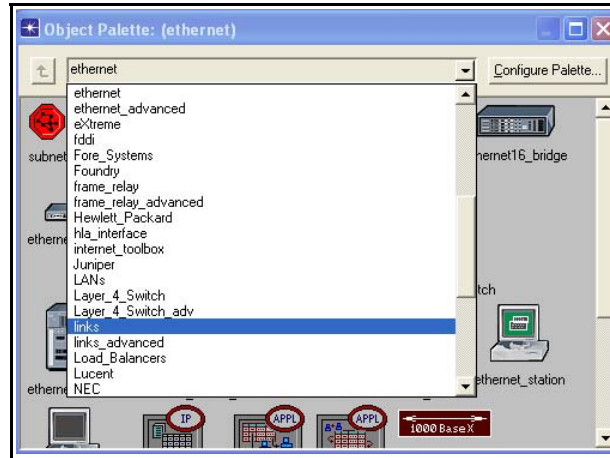


Figura 22: Canvi de paleta.

En les paletes tenim els objectes agrupats per famílies de manera que són fàcilment accessibles. En la *Figura 23*, podem veure un model senzill creat amb la paleta *Sim_Int_Model_List*.

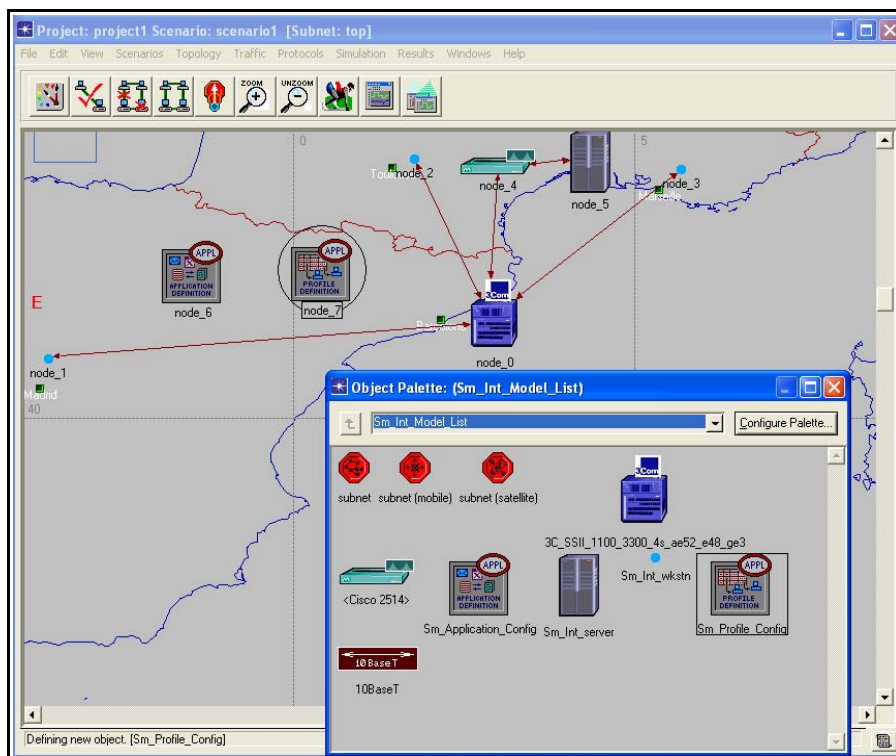


Figura 23: Model simple de xarxa.

En el nostre exemple, només disposem d'enllaços 10BaseT per tal de poder interconnectar els nodes. Però això no es obstacle per que els podem canviar: podem [editar els atributs](#) de qualsevol objectes (un enllaç, en l'exemple) i canviar- ne el valor, només cal col·locar-se sobre l'objecte i

clicant amb el botó dret del ratolí, escollir editar els atributs i triar el que ens sigui més convenient.

Els atributs dels objectes estan organitzats de manera jeràrquica, pel que, de vegades, haurem d'anar desplegant camps fins a trobar el valor concret de l'objecte que volem canviar. El petit símbol d'interrogant ens mostrarà informació en passar el ratolí per sobre d'ell. Podem també seleccionar diferents objectes usant la tecla *Ctrl* i pitjant el botó esquerra del ratolí sense deixar-lo anar per canviar valors d'un seguit d'objectes. És molt important marcar el checkbox *Apply Changes to Selected Objects* (veure [Figura 24](#)), ja que altrament no es farà cap modificació en l'atribut que volem canviar.

En ocasions ens podem trobar que tenim dispositius amb una gran quantitat d'interfícies, com concentradors de dades o switches, de tal sort que haurem de configurar manualment interfícies per interfície. Per aquest motiu és bona pràctica posar nom a cadascuna de les interfícies de l'objecte, ja que d'aquesta manera podrem visualitzar les dades en passar el ratolí per sobre de l'objecte. OPNET assigna els noms de les interfícies de manera automàtica depenent de l'ordre de creació dels nodes, llavors podrem disposar de diferents escenaris amb els mateixos nodes, però amb noms diferents.

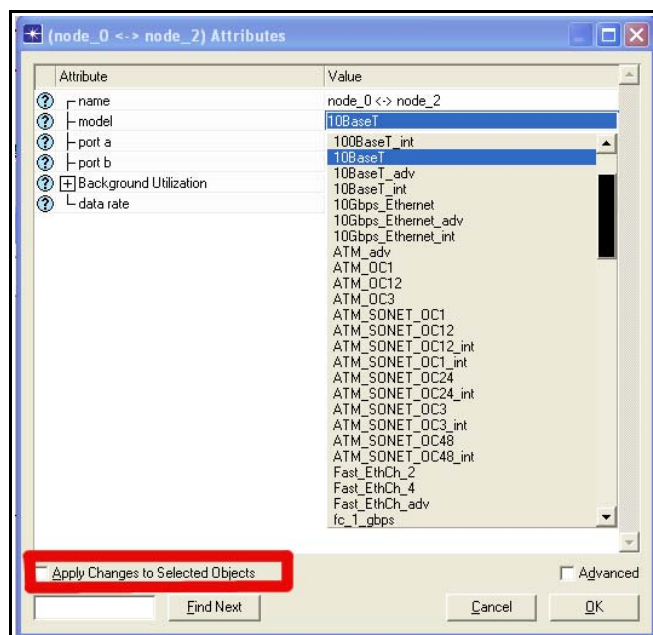


Figura 24: Edició d'atributs.

També ens trobarem amb objectes que disposen de diferents números de columnes que poden ser canviades per l'usuari. En la [Figura 25](#) podem comprovar aquest aspecte en afegir dues files a la llista ACL, que originalment estava a zero, del router de l'escenari fictici que hem creat.

Integració d'eines de simulació de xarxes en un entorn virtual

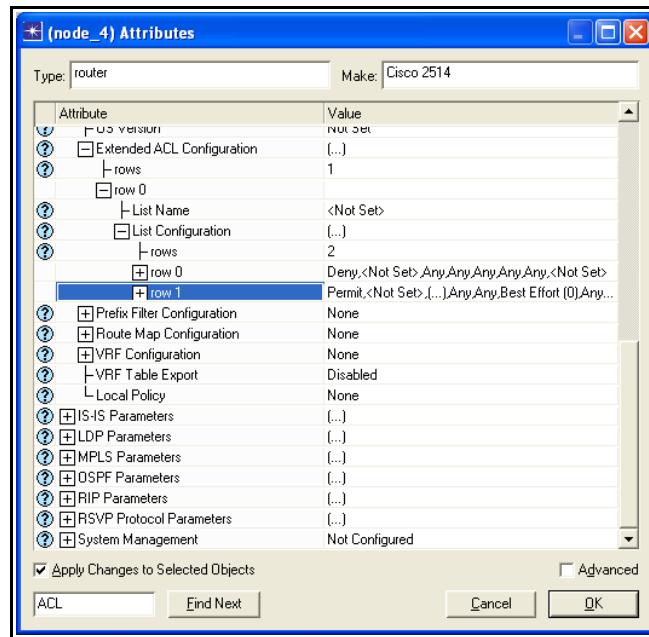


Figura 25: Afegint dues ACL al router.

Hi han dos objectes dintre de l'escenari que no són nodes, sinó que son controls. Aquests controls han estat inserits des de la paleta d'objectes *Sim_Int_Model_List* que havíem escollit.

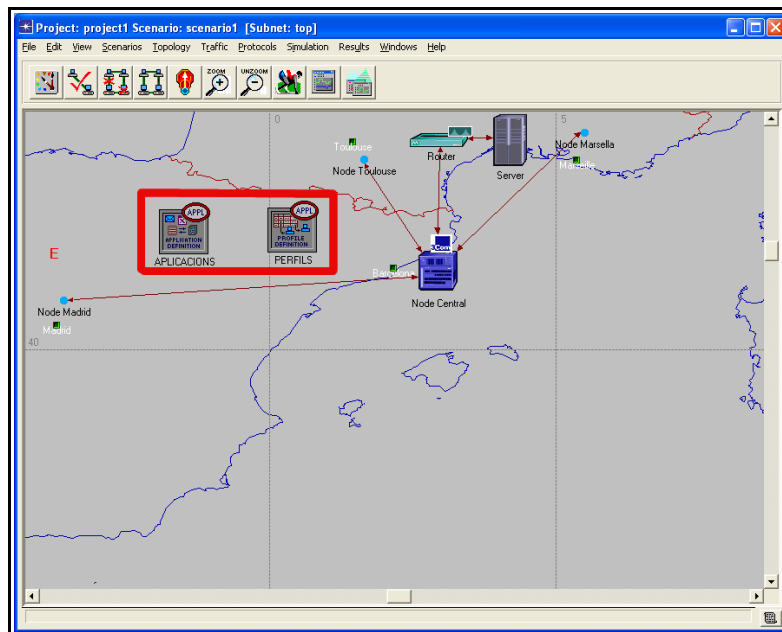


Figura 26: Controls de l'escenari.

La [configuració de les aplicacions](#) ens permetrà definir les aplicacions que executaran les estacions, com ara correu, FTP, etc. Es permet configurar fins a 8 tipus d'aplicacions diferents amb dues opcions de càrrega sobre la xarxa (forta o fluixa).

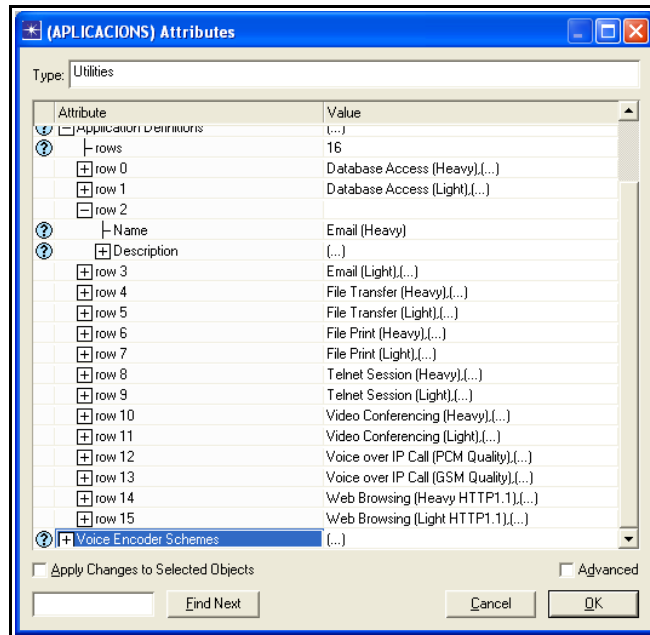


Figura 27: Control de les aplicacions.

El [control de perfils](#) ens aportarà cinc perfils personalitzats cadascun d'ells amb aplicacions i càrregues ja definides llestes per a ser utilitzades.

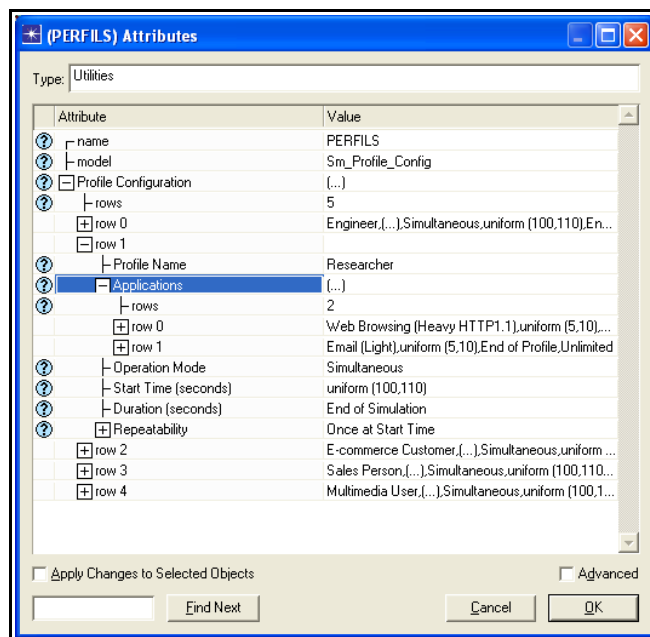


Figura 28: Control dels perfils.

Integració d'eines de simulació de xarxes en un entorn virtual

Un cop definit els perfils, només cal associar-los a les estacions de manera que hi quedin enllaçats.

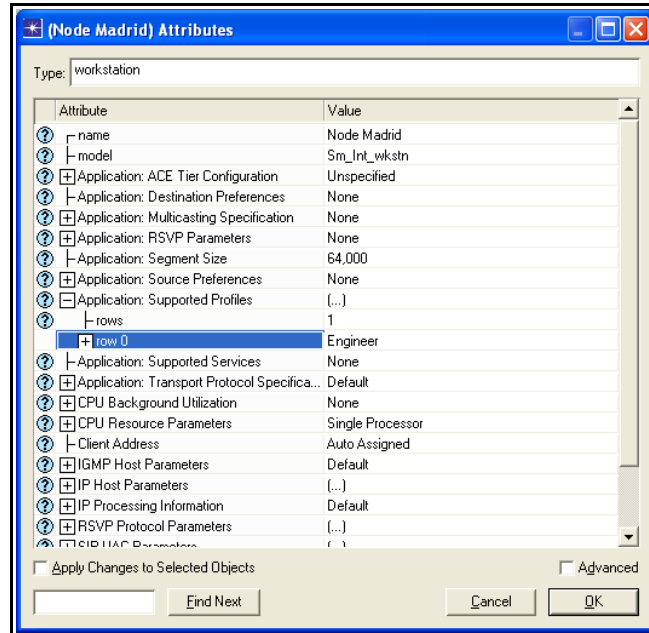


Figura 29: Associació dels perfils a les estacions.

El darrer pas, en el nostre exemple, és el d'assignar les aplicacions al servidor per tal de que les puguin utilitzar les estacions.

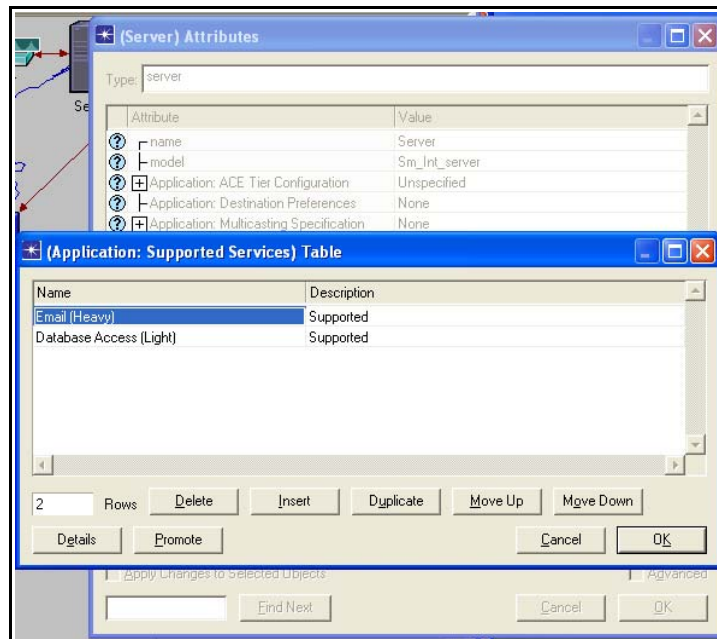


Figura 30: Afegint les aplicacions al servidor.

5.6.3. Configurant la simulació

Un cop hem fet un tomb per les opcions, configuracions i el funcionament dels escenaris, el següent pas és el de configurar la simulació. Això es pot fer en dos passos:

• **Escollir les estadístiques:** es poden fer en referència a objectes individualitzats (escollir l'objecte, clicar el botó dret del ratolí, **Escollir estadístiques individuals** i del quadre de diàleg emergent, escollir les dades d'interès) o es poden recollir del propi escenari (el procés es similar, però cal clicar amb el botó dret del ratolí sobre la grid).

• **Configurar i executar la simulació:** mitjançant [aquest botó](#) d'acció, sens obrirà el quadre de diàleg que ens permetrà configurar i executar la simulació.

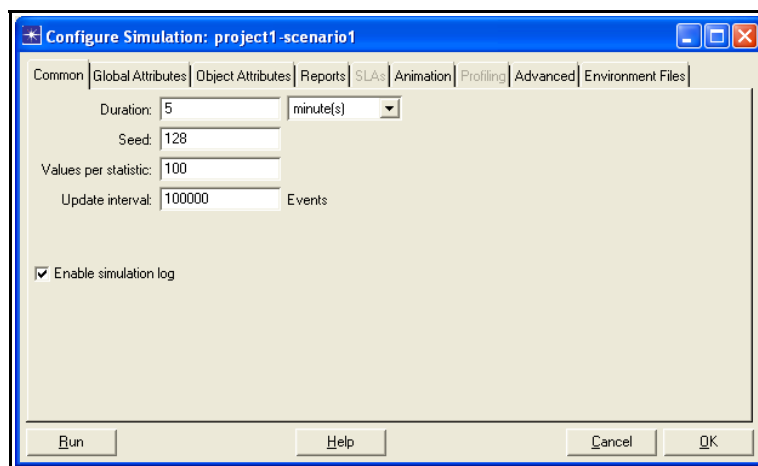


Figura 31: Quadre de diàleg de configuració de la simulació.

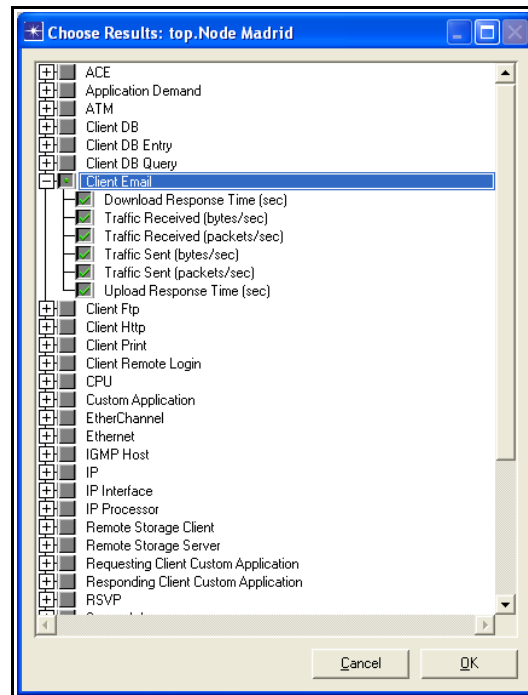


Figura 32: Recollida de dades d'interès d'un objecte.

5.6.4. Eines per a l'anàlisi dels resultats

Un cop executada la simulació, només resta veure els gràfics i analitzar-ne els resultats. Tenim dues eines per a aquesta tasca:

- **Visualitzar els gràfics:** mitjançant [aquest botó](#) d'acció, podem veure i analitzar els gràfics. Tenim forces opcions, com ara la d'apilar-los per tal de comparar millor els resultats obtinguts.
- **Revisió del log:** clicant amb el botó dret sobre la grid, tenim l'opció de visualitzar i analitzar el registre per tal de comprovar possibles errades, amb informació molt detallada dels events.

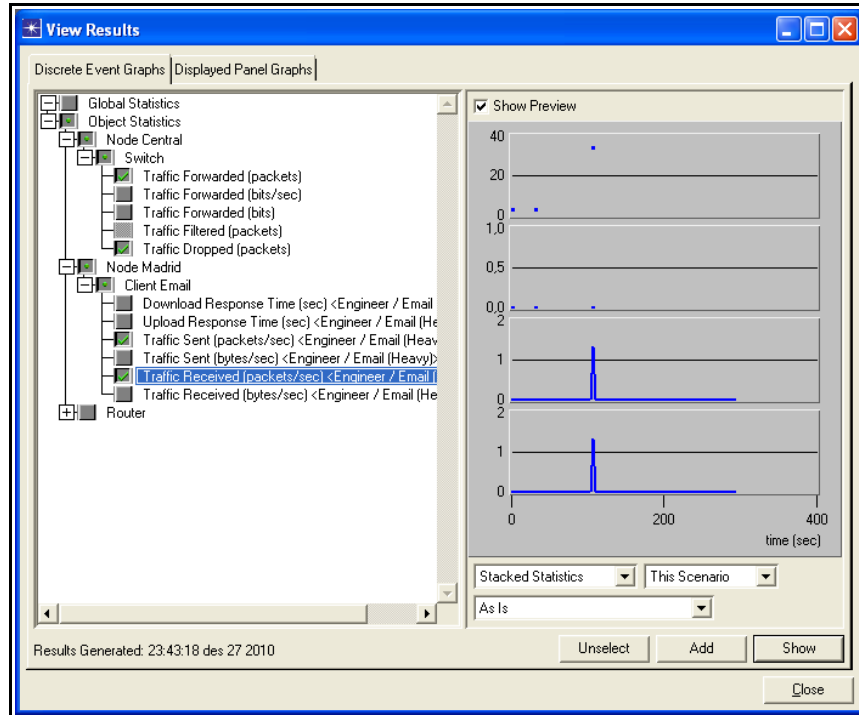


Figura 33: Gràfics de les dades d'interès recollides.

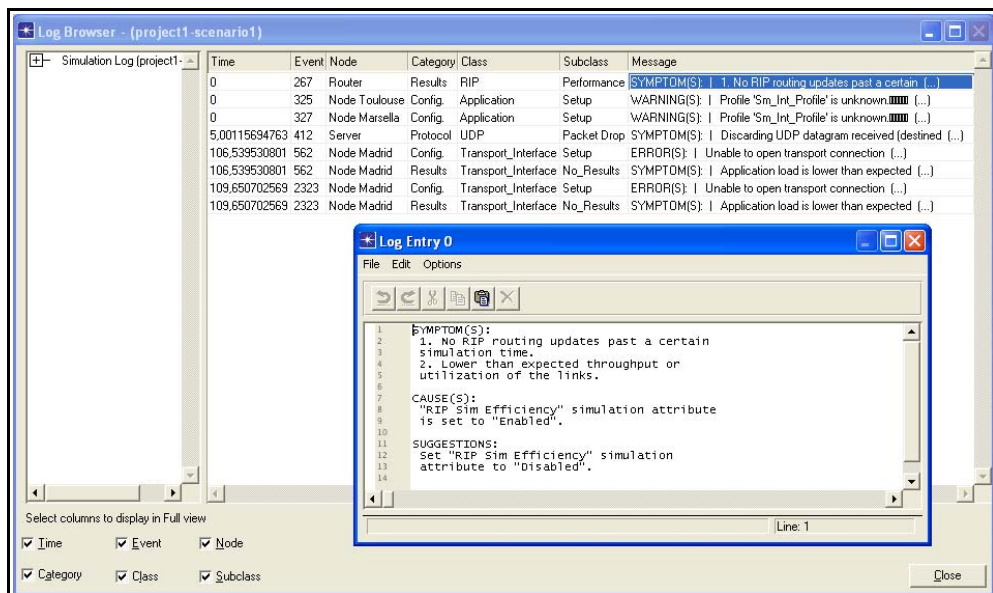


Figura 34: Revisió del registre amb explicació dels errors trobats.

6. OPNET IT GURU EN LA PRÀCTICA

Un cop hem procedit a fer tot el procediment d'instal·lació, configuració i demostració de les capacitats d'OPNET IT Guru, provarem de desenvolupar un laboratori pràctic per tal de poder veure com ens pot ajudar OPNET en comprovar i validar escenaris i com ens pot ajudar a millorar el rendiment de les xarxes.

6.1. Objectius del laboratori

La proposta del laboratori és el de comprovar els rendiments en xarxes locals dels hubs envers els switches. El propòsit és el d'avaluar el comportament de hubs i switches en diferents entorns de xarxa per veure'n el seu rendiment. Es plantejaran dues propostes amb diferent nombre d'estacions de treball.

6.1.1. Resum del laboratori

Es recrearan dos laboratoris diferents, cadascun d'ells amb dos escenaris diferents:

1.*Xarxa petita*: conformada per cinc estacions de treball i un servidor d'aplicacions (Web). Els escenaris són:

- a. Interconnexió amb hub
- b. Interconnexió amb switch

2.*Xarxa mitjana*: seguint un esquema similar al de la xarxa petita, però s'utilitzaran de l'ordre de > 100 estacions. De la mateixa manera, es plantejaran dos escenaris:

- a. Interconnexió amb hub
- b. Interconnexió amb switch

6.2. Laboratoris

6.2.1. Primer laboratori, primer escenari: connexió amb hub

Per tal de crear el primer laboratori, seguirem el següent esquema de configuració:

- 1) Executar OPNET IT Guru; *File -> New -> Project*. A *Projecte Name* li donem nom al projecte **Projecte_TFC_1** i a l'escenari l'anomenarem **Escenari_Hub**.
- 2) Seguint l'assistent, *Create Empty Scenario -> Choose Network Scale*, escollirem **Office**, i acceptem la resta de paràmetres per defecte.
- 3) De la paleta *internet_toolbox*, escollirem *ethernet_wkstn*, *ethernet32_hub* i *ethernet_server*. Crearem cinc instàncies de les estacions i una per al hub i al servidor.

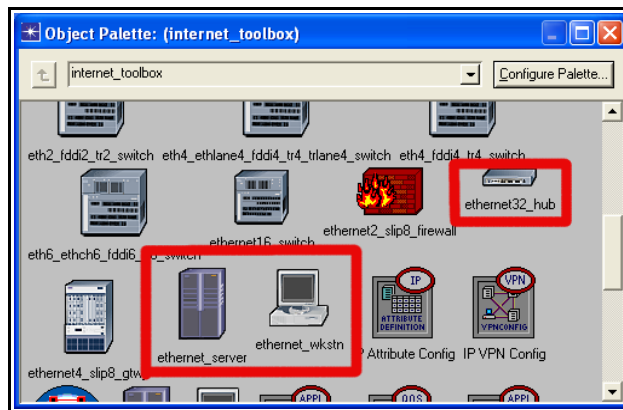


Figura 35: Components a escollir per al primer laboratori, primer escenari.

- 4) Afegim els enllaços entre les estacions i el servidor amb el hub. Utilitzarem enllaços 10 Base T per a aquest escenari. El resultat final haurà de ser el que es mostra en la [Figura 36](#).
- 5) Ara afegim els nodes *Application Config* i *Profile Config*.
- 6) Editem els atributs del node d'APLICACIONS i escollirem *Default* per al paràmetre *Application Definitions*. Això ens permetrà d'usar les aplicacions estàndards per al nostre laboratori.
- 7) Creem un perfil personalitzat per al nostre laboratori que anomenarem *Usuari Web*. Per a crear el perfil, editarem les propietats de *PERFILS* i editarem el paràmetre *Profile Configuration*. Llavors s'ens mostrarà la taula de configuració de perfils. Escollirem la primera fila i afegirem sota *Profile Name* *Usuari Web*, i canviarem el paràmetre *Repeatability* a *Unlimited*. L'aspecte final ha de ser el de la [Figura 37](#).
- 8) Sobre la mateixa finestra, escollim la cel·la *Applications* i escollim *Edit...*. Ara ens apareixerà una [finestra d'aplicacions](#). Seguint el mateix procediment que en el pas anterior, ens col·loquem sobre la cel·la *Name* i s'ens desplegarà el tipus d'aplicacions que podem afegir. Escollirem *Web Browsing (Heavy HTTP1.1)*. Ara ja podem anar tancant totes les finestres, sense oblidar-nos d'aplicar els canvis. En aquest moment, ja disposem del perfil *Usuari Web* que podem utilitzar en el nostre laboratori.

Integració d'eines de simulació de xarxes en un entorn virtual

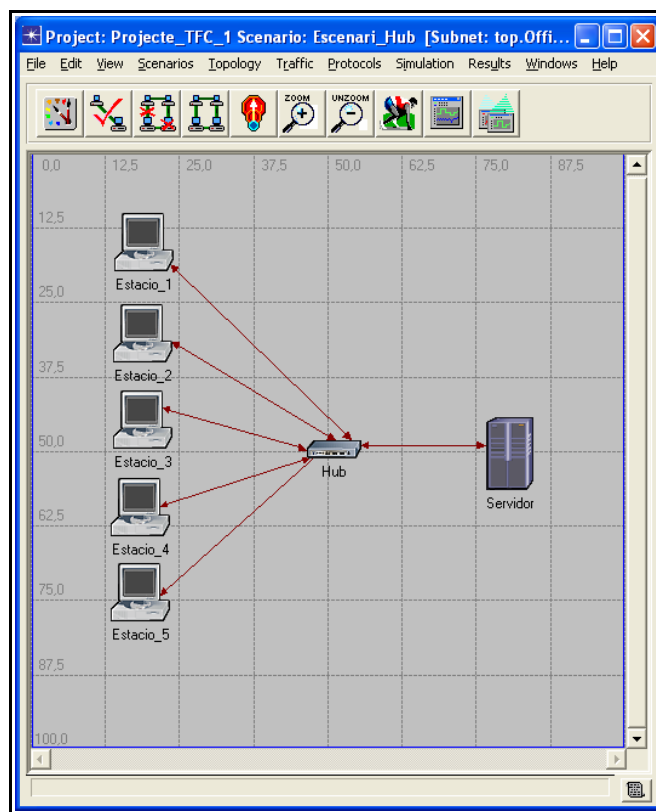


Figura 36: Infraestructura final per al primer laboratori, primer escenari.

Profile Name	Applications	Operation Mode	Start Time (seconds)	Duration (seconds)	Repeatability
Usuari Web	None	Serial (Ordered)	uniform (100,110)	End of Simulation	Unlimited

Buttons: Rows, Delete, Insert, Duplicate, Move Up, Move Down, Details, Promote, Cancel, OK

Figura 37: Afegint l'usuari a la taula de perfils.

Name	Start Time Offset (se...)	Duration (seconds)	Repeatability
Web Browsing [Heavy HTTP1.1]	uniform (5,10)	End of Profile	Unlimited

Buttons: Rows, Delete, Insert, Duplicate, Move Up, Move Down, Details, Promote, Cancel, OK

Figura 38: Afegint l'aplicació al perfil.

9)Aplicarem el perfil *Usuari Web* a totes les estacions de treball. Per això, només caldrà seleccionar totes les estacions (*Ctrl+estació*) *Edit Atributes* -> *Applications Suported Profile* -> *Edit*, afegim a la primera columna i cliquem en el nom del perfil, on ens apareixerà *Usuari Web*. L'escollim i guardem els canvis realitzats. Podem editar per a [comprovar](#) que el perfil s'ha carregat correctament.

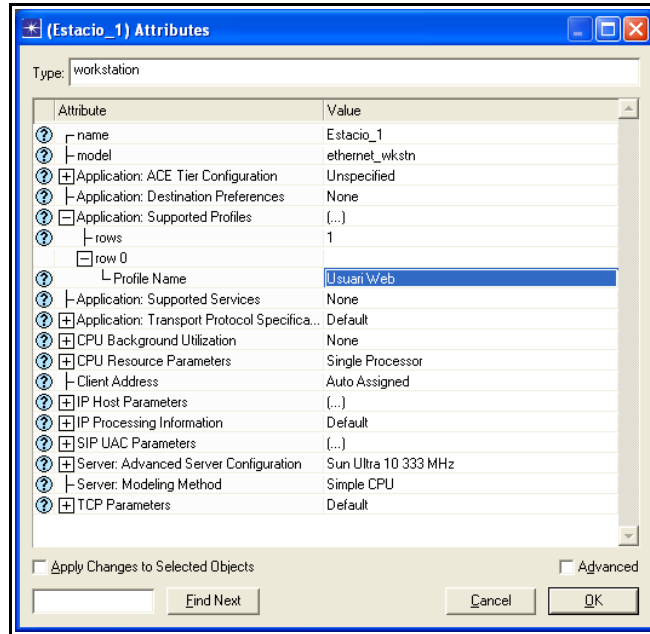


Figura 39: Comprovació de la càrrega correcta del perfil.

10)El següent pas consisteix en configurar el servidor per tal de que serveixi l'aplicació web. Editem els atributs del servidor i cerquem la fulla de *Application Supported Services*. DE manera similar a com hem vingut fent, editem la primer columna i afegim *Web Browsing (Heavy HTTP1.1)*. La finestra haurà de ser com la de la [Figura 40](#).

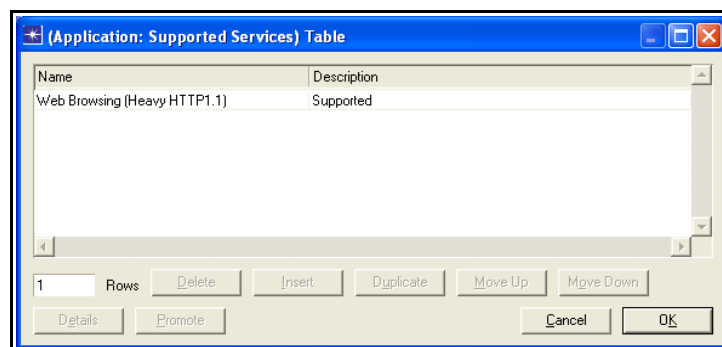


Figura 40: Configuració de Web Browsing (Heavy HTTP1.1) en el servidor.

Integració d'eines de simulació de xarxes en un entorn virtual

11) Ara, escollim les dades d'interès per a recollir. Ens col·loquem sobre la grid i pitgem el botó dret del ratolí i escollim *Choose Individual Statistics*. Pel propòsit del nostre laboratori escollirem de la fulla *Node Statistics*:

- Sota *Client HTTP*: *Object Response Time*, *Page Response Time*, *Traffic Sent*, *Traffic Received* i *User Cancelled Connections*
- Sota *Server HTTP*: *Load*, *Traffic Received* i *Traffic Sent*
- Sota *TCP*: *Connection aborts*, *Delay* i *Retransmission Count*

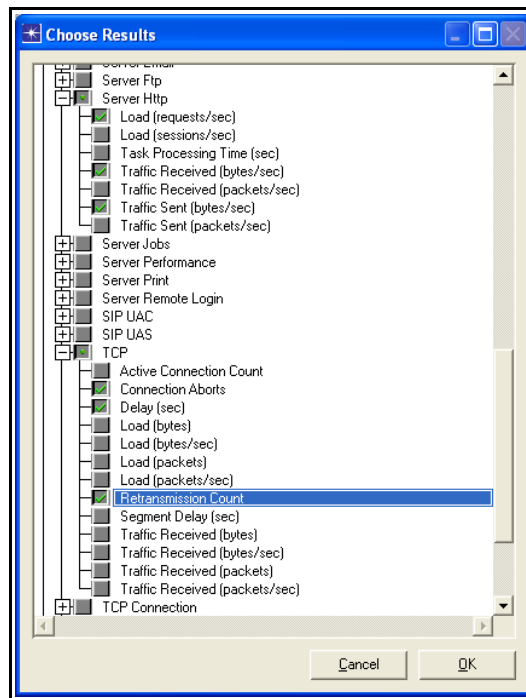


Figura 41: Escollint les dades d'interès.

12) Ara ja estem en condicions de poder executar la simulació. Pitgem sobre el botó Configure/Run i ens apareixerà una finestra com la de la Figura 42. Pitgem *Run* i comença l'execució de la simulació.

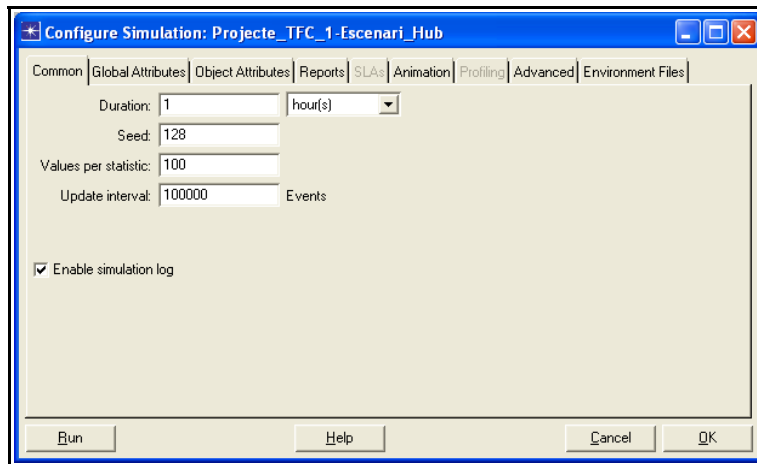


Figura 42: Configuració de la simulació.

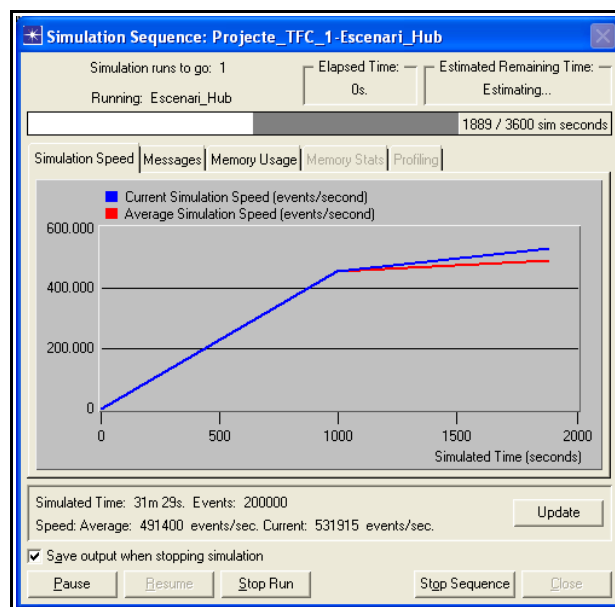


Figura 43: Execució de la simulació.

13) Ara ja podem examinar els gràfics amb les dades recollides. Pitgem l'acció de *Mostrar Gràfics* i ja podem començar a fer comparatives.

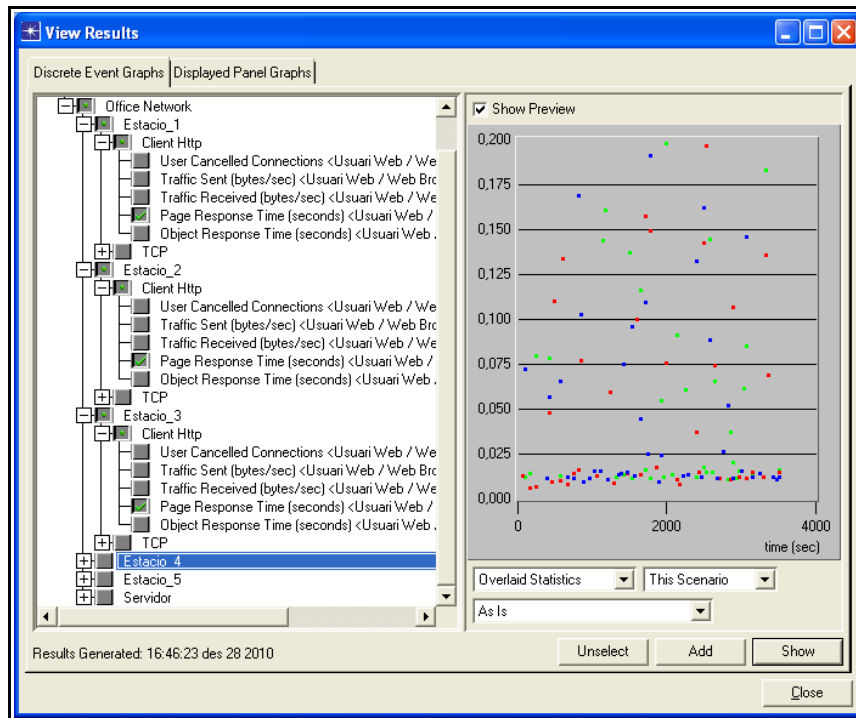


Figura 44: Comparació del temps de resposta de pàgina entre tres estacions.

De moment, les dades recollides no tenen massa importància, ja que el nostre objectiu es el de comparar dues tecnologies diferents (hubs i switches). El següent pas es desenvolupar el mateix escenari, però amb d'altres paràmetres. Comprovarem la versatilitat que aporta OPNET en la gestió d'escenaris i amb quina facilitat podem fer comparacions canviant uns pocs ajustos.

6.2.2. Primer laboratori, segon escenari: connexió amb switch

Un cop ja hem creat l'escari connectat mitjançant un hub, procedim a crear un escenari reemplaçant el hub per un switch:

1. Pitgem *Scenarios* -> *Duplicate Scenario* i li posarem nom al nou escenari: **Escenari_Switch**
2. Ens col·loquem sobre el hub i l'eliminem. Afegim un switch en el seu lloc i l'enllacem amb connexions 100 Base T. La *Figura 45* mostra l'aspecte resultant.

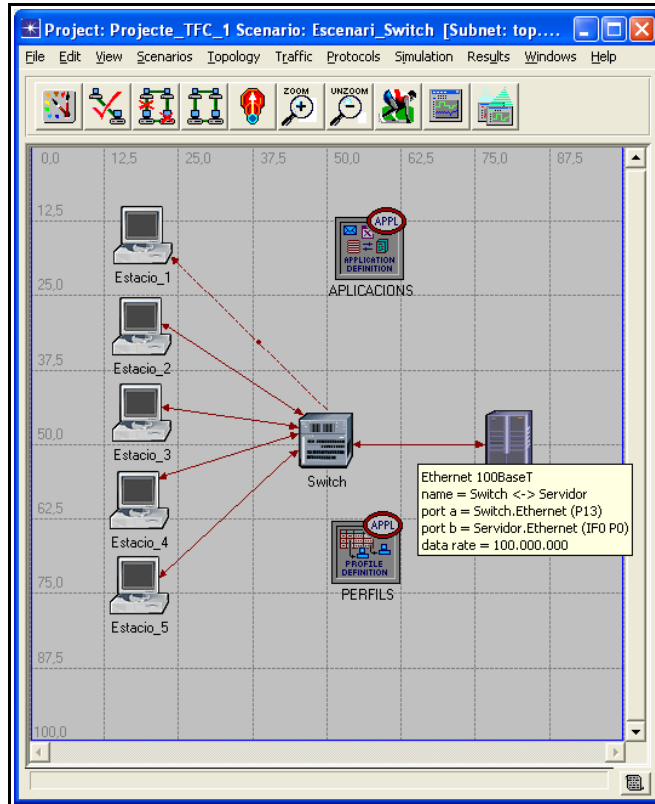


Figura 45: Configuració de l'escenari connectat amb switch.

3. En haver duplicat l'escenari, ja tenim estacions, servidor, perfils i aplicacions configurats. Només resta per configurar les dades a recollir, que són les mateixes que les del punt **11** de l'escenari anterior.

4. En aquest punt, ja estem preparats per executar la simulació. Seguim les instruccions del punt **12** de l'apartat anterior.

5. Ara ja es poden fer comparacions entre les dades recollides en els dos escenaris. La única precaució a tenir en compte es canviar l'opció del combo box situat abaix a la dreta per tal de seleccionar All Scenarios en comptes de This Scenario.

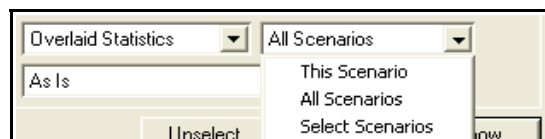


Figura 46: Canvi de la configuració dels escenaris per als gràfics.

6.2.3. Resultats i anàlisi del primer laboratori

Un cop hem executat les simulacions en els dos escenaris, ja podem comparar els resultats entre les dues propostes. Abans d'executar les simulacions, podríem preveure que la configuració amb el switch ha d'oferir millors prestacions que la configuració amb el hub, és més, recordem que els enllaços que hem col·locat al hub eren de menor velocitat (10Mb/s) que els que havíem

Integració d'eines de simulació de xarxes en un entorn virtual

configurat en el switch (100Mb/s). Però en analitzar els [resultats](#) comprovem, contràriament al que suposàvem, que les prestacions que ens ofereix el hub són similars, inclús podríem afirmar que millors que les del switch. Quina explicació podem donar en analitzar aquests resultats ?

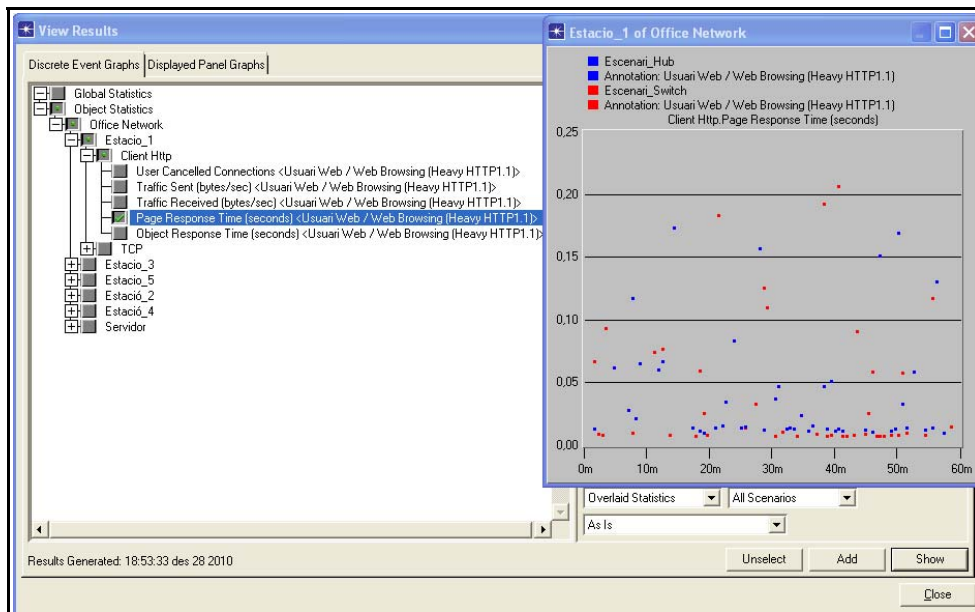


Figura 47: Anàlisi de resultats del laboratori: en blau, els temps de resposta del hub i en vermell, els del switch.

La resposta és que, per a entorns de xarxes locals amb poques estacions de treball i aplicacions client/servidor, el comportament dels hubs és millor al dels switches degut al temps de latència que utilitzen els switches, ja que el seu funcionament es basa en la tecnologia *Store & Forward*. El retard que introdueix el switch en el moment de prendre la decisió de per on enviar els paquets és un desavantatge davant la senzillesa de funcionament dels hubs en una LAN amb poques estacions de treball. Ara bé, què passa si el nombre d'estacions augmenta ? Aquesta pregunta mereix un nou laboratori on veurem si el nombre d'estacions influeix en les tecnologies d'interconnexió de LANs.

6.2.4. Segon laboratori, primer escenari: interconnexió amb hubs

Per a aquest laboratori, seguirem el següent esquema de configuració:

- 1) Obrim i creem un nou projecte que anomenarem *Projecte_TFC_2* i l'escenari *Escenari_Hub*. A diferència del primer laboratori, escollirem una mida de *Campus* per tal de que ens càpiguen les xarxes.
- 2) Escollirem la paleta *ethernet* i afegirem un objecte *subnet*. Un cop afegit, farem doble clic en l'objecte per tal d'entrar dins la subxarxa.
- 3) Un cop dins la subxarxa, utilitzarem una característica molt funcional d'OPNET: escollirem l'opció *Topology -> Rapid Configuration*. S'ens obrirà una finestra amb la topologia a desplegar, escollim *Star*. Aquesta opció ens permetrà desplegar una configuració de manera ràpida i senzilla. La següent finestra ens pregunta quin tipus de node central, estacions i enllaços tindrem en la xarxa. Per a aquest primer escenari, caldrà reomplir les opcions com es mostra en la [Figura 48](#).

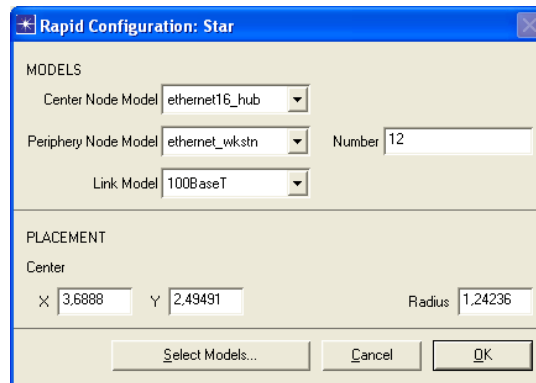


Figura 48: Configuració de la xarxa en estrella.

4) Un cop hem creat la primera xarxa, procedim a duplicar-la i unim les dues xarxes mitjançant un bridge. Prenem nota del número de node del bridge, ja que ens caldrà tenir-lo a mà posteriorment.

5) Creem l'*Usuari Web* de la mateixa manera que ho havíem fet en el primer laboratori. Igualment, aplicarem el perfil *Usuari Web* a totes les estacions de la xarxa. Ho podem fer fàcilment seleccionant un rectangle que abasti totes les estacions i aplicarem els canvis en totes a l'hora. El resultat de la infraestructura de la subxarxa és el que es mostra en la *Figura 49*.

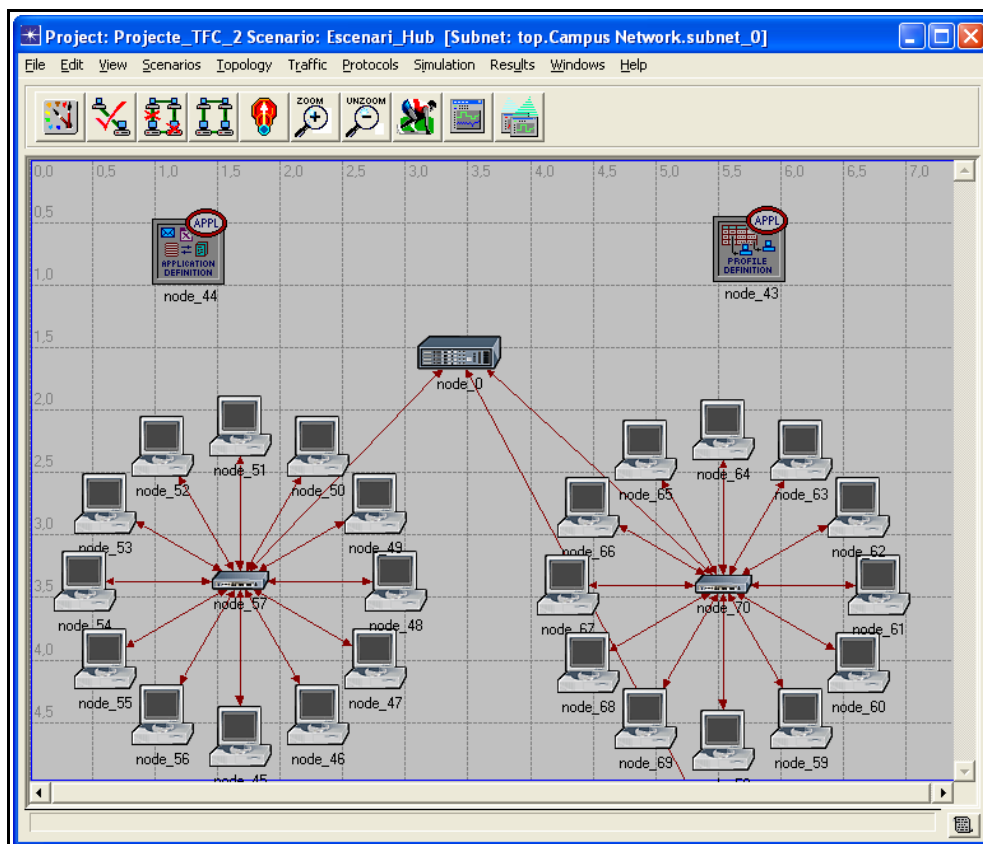


Figura 49: Infraestructura de les subxarxes.

Integració d'eines de simulació de xarxes en un entorn virtual

6) Ara tornarem a la subxarxa anterior i duplicarem la subxarxa creada fins assolir un valor d'estacions > 100. Repetim el procés fins a disposar de cinc subxarxes, arribant a un valor de 120 estacions.

7) En aquest punt, afegim un hub per interconnectar les quatre subxarxes i el servidor. Cal anar amb cura, ja que enllaçar la subxarxa al hub central ens demanarà quin número de node de la subxarxa volem connectar. Justament aquest era el motiu pel qual ens havíem de recordar del nombre de node del bridge.

8) Configurem l'aplicació HTTP en el servidor ethernet de la mateixa manera que ho havíem fet en el laboratori 1. La topologia resultant és la que es pot veure en la [Figura 50](#).

9) Procedim a recollir les dades d'interès per aquest apartat. Ens interessen en especial:

• **Client HTTP:** *Download Objects, Download Pages, Object Response Time i Page Response Time.*

• **TCP:** *Connection Aborts, Delay i Retransmission Count.*

10) Un cop escollides les dades, procedim a executar la simulació. Les dades quedaran guardades per fer la posterior comparativa amb la mateixa infraestructura, però interconnectada amb switches.

6.2.5. Segon laboratori, segon escenari: interconnexió amb switches

De manera similar a com varem fer en el primer laboratori, procedirem a duplicar l'escenari i a substituir els hubs per switches. La manera de reemplaçar els equips es tan senzilla com editar l'atribut del equip i escollir-ne de la llista d'objectes que hi disposem. La topologia resultant es pot veure en la [Figura 51](#). Executem la simulació i ja podrem comparar-ne els resultats.

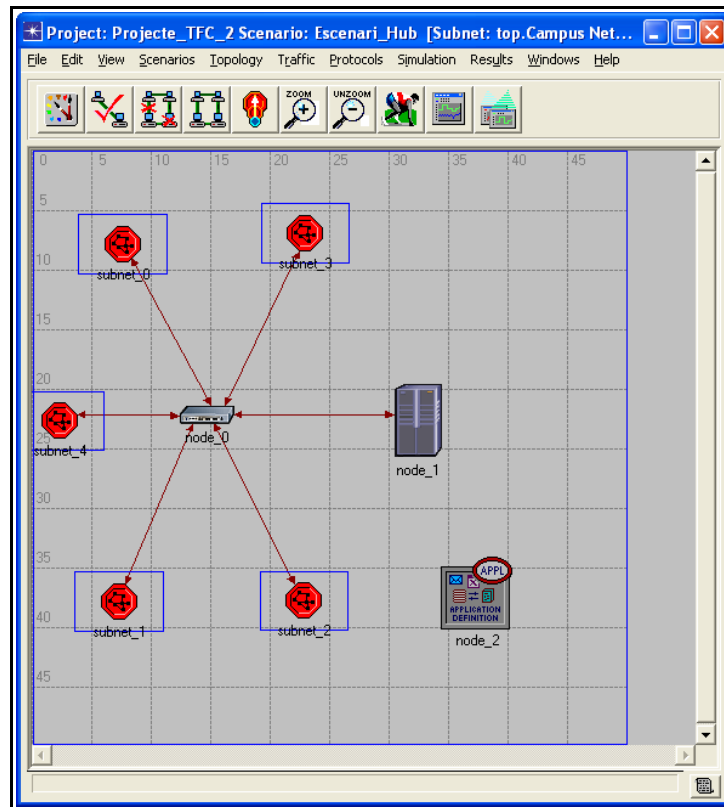


Figura 50: Escenari del segon laboratori interconnectat amb hubs.

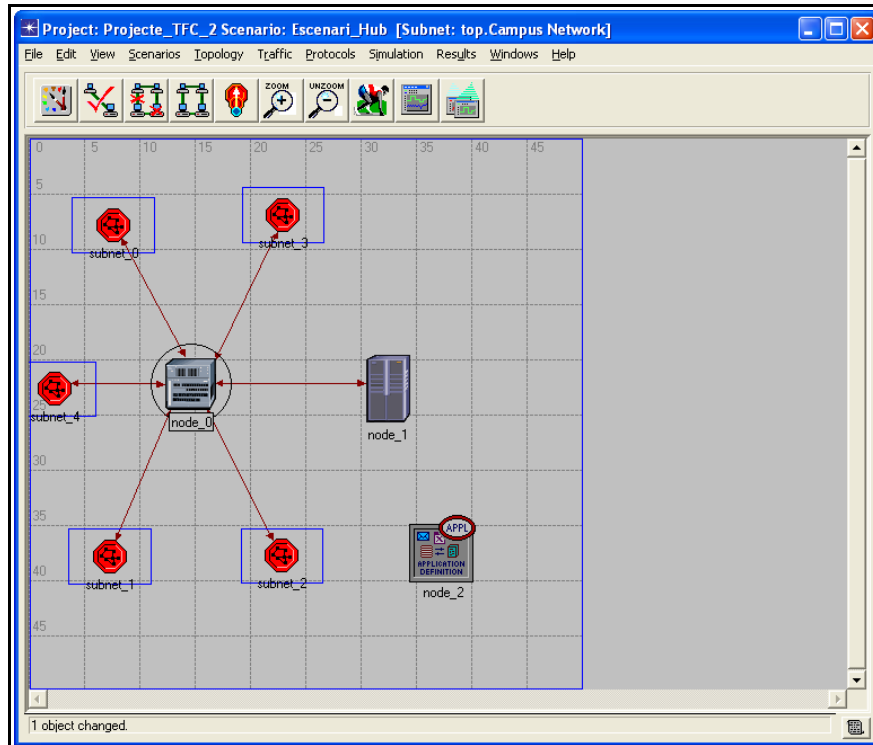


Figura 51: Escenari del segon laboratori interconnectat amb switches.

6.2.6. Resultats i anàlisi del segon laboratori

Un cop efectuades les simulacions, ja podem procedir a analitzar-ne els resultats. Dels paràmetres escollits, se'n mostren dos que especialment ens ajudaran a treure'n conclusions. D'una banda, el [Temps de Resposta de les Pàgines](#) i, d'altre banda, el [Retard TCP en el Servidor](#).

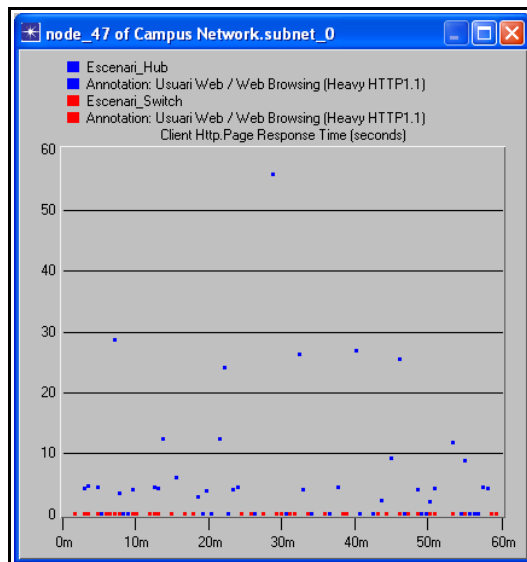


Figura 52: Temps de resposta de les pàgines en una estació qualsevol.

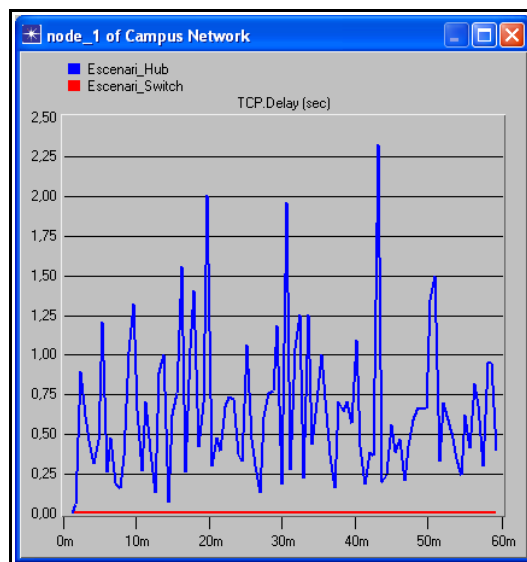


Figura 53: Retard en les peticions al servidor.

En el dos gràfics podem apreciar que el retard en arribar les peticions al servidor com el temps de resposta en les estacions és millor per a l'escenari amb switches, sense retard en el servidor, que per l'escenari amb hubs.

6.2.7. Conclusions dels laboratoris

Hem pogut comparar el comportament de dues xarxes LAN amb els mateixos components i diferents mides. El fet més rellevant ha estat el de comprovar que, per a una xarxa petita, els hubs es comporten de millor manera que els switches, contràriament al que es podia esperar. El segon laboratori ens ha permès comprovar que, per a xarxes d'una mida mitjana-gran, els switches són capaços d'oferir una millora real pel que fa a la velocitat de transmissió/recepció de dades.

7. CONCLUSIONS

Las simulacions ens permeten desenvolupar una gran quantitat de tasques, d'entre les que destaca, per sobre des totes, la possibilitat de fer prediccions. Partint de l'anàlisi del comportament de models reals, es creen models idealitzats que ens permetran fer prediccions del comportament en entorns controlats i ens facilitaran la tasca a l'hora de crear noves infraestructures o analitzar les actuals per poder millorar-les amb modificacions prèviament analitzades.

L'ésser humà ha après sempre per imitació i les simulacions no pretenen ser cap altre cosa que la imitació de processos que permeten comprendre el funcionament dels models, ja puguin ser simuladors de models d'alta o de baixa complexitat. Així, doncs, la finalitat bàsica de la simulació és la de comprendre com funcionen els models i com s'interrelacionen els models entre ells.

Pel que respecta a l'àmbit de les telecomunicacions i sistemes informàtics, les simulacions que millor s'adapten a aquest entorn són les **simulacions de sistemes discrets**. Aquest tipus de simulacions ens permeten modelar sistemes d'alta complexitat o d'alt cost econòmic, facilitant-nos d'aquesta manera la tasca del seu disseny i predictibilitat. Ara bé, no tot són facilitats en el moment de desenvolupar un bon sistema, ja que hi han factors que juguen en contra nostre a l'hora de modelar un sistema el suficientment fidel: en tractar-se de sistemes d'alta complexitat és fàcil passar per alt variables que duguin a una mala interpretació dels resultats obtinguts.

El procés de modelat de la simulació requereix d'una tècnica metòdica, que es fonamenta en la conceptualització del model a simular i la implementació del model amb les eines de simulació disponibles. Aquest procés ha d'intentar, d'una banda, representar la realitat de la manera més fidedigna possible i, d'altra, executar les simulacions de manera que puguin reflectir el funcionament del model de manera quasi-real. La part que correspon al modelatge dins de l'entorn virtual és el que pot comportar més errors en la conceptualització i translació dels elements reals del sistema, mentre que l'execució de les simulacions comporta el tractament dels events. En aquest darrer aspecte, la **teoria de cues** juga un paper fonamental, ja que diferents sistemes modelats poden usar diferents esquemes de cues i amb diferents funcionaments.

Existeix una gran quantitat de simuladors de xarxes per a entorns virtuals amb un gran marge de funcionalitats, entorns i nivell de desenvolupament. Hem pogut comprovar el gran desenvolupament que aquests tenen, sobre tot, en l'entorn de programari lliure i en entorns acadèmics, tot i que el

desenvolupament del projecte ens ha conduït cap a la tria d'un entorn propietari amb llicència acadèmica per raons, fonamentalment, de versatilitat i de facilitat d'aprenentatge. La validesa de les simulacions ens ve marcada per la qualitat de les llibreries que permeten modelitzar els sistemes, on hem pogut comprovar l'ús amb profusió dels llenguatges orientats a objectes que s'adeqüen perfectament a la filosofia dels simuladors.

OPNET IT Guru permet assolir els objectius marcats inicialment pel projecte, ja que ens permet un aprenentatge molt senzill i de manera molt visual, ja que encapsula totes les tasques de baix nivell i proporciona un alt nivell de confiabilitat, permetent-nos saber en tot moment que les tasques de modelat del sistema s'estan duent a terme de manera correcta i que, per tant, els resultats de les simulacions s'ajustaran a les previsions o conjetures que podríem tenir del sistema abans de ser modelat, tal i com s'ha pogut comprovar en el desenvolupament dels laboratoris proposats.

Malgrat que ens hem concentrat, forçosament, en el món de les telecomunicacions, les eines de simulació són molt útils en d'altres aspectes de l'aprenentatge. Aquest aspecte es degut a que aprenem per imitació i per repetició, funcionalitats en les que es basen els simuladors, on el comportament dels sistemes modelats només variarà en funció de els paràmetres que permetin un comportament diferenciat dels models. Això permet que els simuladors siguin útils en llocs tant diferents com ara cadenes de muntatge o els clàssics i ben coneguts simuladors de vol.

El món de la simulació tendirà, invariablement, a anar millorant i progressant a mesura que passi el temps, dirigint-nos cap al perfeccionament d'aquestes eines, que incorporaran millores i nous models que minimitzaran la complexitat de sistemes actuals, fent-los més eficients, i afegiran les incorporacions de nous, i per tant, i més complexes que puguin aparèixer. Tot i que la simulació sempre va un pas per enrere de la realitat, les simulacions ens permeten comprendre molt millor i amb més profunditat la realitat.

Bibliografia

Tot i que la concreció del tema i el seu enfocament cap a les noves tecnologies fan que la majoria de dades hagin esta recollides dins la xarxa, s'han utilitzat dos llibres com a introducció personal en el món de les simulacions, que són:

- *Network Modeling and Simulation. A Practical Perspective*, Mohsen Guizani, Ammar Rayes, Bilal Khan i Ala Al-Fuqaha. Editorial: Wiley and Sons, 2010. Ens introdueix i aprofundeix en les simulacions, modelatge i els events discrets i distribucions. Incorpora un apartat dedicat al modelat de xarxes.
- *Modeling and Tools for Network Simulation*, Klaus Werle, Mesüt Guneş i James Gross. Editorial: Springer-Verlag, 2010. Més enfocat a les eines de simulació per a xarxes informàtiques i de telecomunicacions, fa un profund recorregut pel modelat en tots els nivells de la pila OSI.

Enllaços d'interès

Els simuladors provats durant aquest treball i la documentació associada i especificacions es poden localitzar a:

- *The Network Simulator ns*: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- *OMNeT ++*: <http://www.omnetpp.org/>
- *OPNET*: <http://www.opnet.com/>
- *JiST / Swans*: <http://jist.ece.cornell.edu/docs.html>
- *QualNet*: <http://www.scalable-networks.com/products/qualnet/>
- *KivaNS*: <http://www.aurova.ua.es/kiva/>

Laboratoris amb OPNET IT Guru

OPNET IT Guru té un fort arrelament acadèmic. Això ens permet trobar diferents laboratoris de proves amb aquest programari. Durant el desenvolupament del treball, s'han elaborat diferents escenaris i també s'ha tingut l'oportunitat de comprovar el seu comportament, tot i que els laboratoris escollits siguin molt específics. Es poden disposar de laboratoris en l'adreça http://www.opnet.com/university_program/teaching_with_opnet/textbooks_and_materials/index.html. També hi ha un llibre, al que no s'ha pogut tenir accés, que implementa laboratoris i escenaris de gran complexitat. És *Network Simulations Experiments Manual*, Emad Aboelela, Editorial Elsevier – Morgan Kaufmann, 2008. Dona suport al llibre *Computer Networks. A System Approach*, Larry L. Peterson i Bruce S. Davie, amb laboratoris relacionats amb la teoria del llibre.

Programari utilitzat per el desenvolupament del treball

Per tal de poder dur a terme aquest treball, ha calgut l'ús de diferent programari. Potser són els gran oblidats, però val la pena fer-ne un reconeixement i agraïment:

- Planificació i desenvolupament del projecte: *Openproj*
- Redacció de la memòria: *OpenOffice Writer*. Imatges: *MorgueFile.com*
- Presentació: *OpenOffice Impress*
- Screencast:
 - Captura d'àudio: *Audacity*
 - Captura de vídeo i edició: *Camtasia Studio*, versió d'avaluació

Agraïment personal

El darrer agraïment és pel meu consultor, en Ferran Adelantado i Freixer. Gràcies per la comprensió i l'ajut, sobre tot en els retards i per donar-me suport quan, en l'últim moment, vaig tenir un greu problema amb les dades d'aquest projecte. El meu sincer agraïment per suportar els meus darrers nervis.