

TREBALL FINAL DE CARRERA

Estudi i aplicació de les tècniques de simulació en una xarxa distribuïda



UNIVERSITAT OBERTA DE CATALUNYA
GENER 2005

Alumne: JOSE MANUEL LOSADA DEUS

Treball dirigit per:

D. Angel Alejandro Juan Perez

INDEX

1. RESUM	2
2. PARAULES CLAU	3
3. ESTAT DE L'ART.....	4
3.1. La simulació.....	4
3.2. Avantatges de la simulació	5
3.3. Desavantatges de la simulació	8
3.4. Tècniques de simulació.....	9
3.4.1. El mètode Montecarlo.....	10
3.4.2. La Simulació d'Events Discrets.....	11
3.5. Tendències de futur en simulació	12
4. ESTUDI I APLICACIÓ D'UNA SIMULACIÓ EN UNA XARXA DISTRIBUÏDA	13
4.1. Breu introducció	13
4.2. El procés de simulació a seguir	15
4.3. Presentació del sistema escollit	18
4.4. Descripció actual del sistema i el seu funcionament	19
4.5. Formulació de la problemàtica a resoldre.....	20
4.6. Implementació informàtica del model	20
4.6.1. Descripció del SimColas.....	21
4.7. Execució de la simulació i anàlisi de resultats.....	25
4.7.1. Primer experiment de simulació	25
4.7.2. Segon experiment de simulació	29
4.7.3. Tercer experiment de simulació.....	30
4.7.4. Quart experiment de simulació	32
4.7.5. Cinquè experiment de simulació.....	34
4.7.6. Sisè experiment de simulació.....	37
4.7.7. Setè experiment de simulació	39
4.8. Conclusions.....	40
4.8.1. Conclusions dels experiments.....	40
4.8.2. Conclusions sobre el SimColas.....	42
5. GLOSARI.....	43
6. REFERÈNCIES.....	45

1. RESUM

Les tècniques de simulació presenten grans avantatges sobre l'ús d'altres mètodes matemàtics a l'hora d'estudiar el comportament de sistemes. Sense l'ajut inestimable d'aquestes tècniques caldria, en molts casos, construir sistemes de prova cars i complexos. Aquesta complexitat faria molt difícil, per no dir impossible, provar les solucions proposades, així com preveure el seu comportament global.

L'ús de metodologies i eines de simulació ens permet experimentar amb representacions molt detallades dels sistemes, modelitzant-los matemàticament per tal d'obtenir resultats numèrics sobre el seu comportament, minimitzant el temps necessari per comprovar el seu funcionament.

D'aquests resultats en traurem les conclusions adients per tal d'optimitzar al màxim el sistema. Cal tenir en compte, però, que els resultats de la simulació no són exactes, sinó estimacions dels paràmetres que es vulguin estudiar. Tanmateix, el disseny i desenvolupament d'un experiment de simulació no és un procés senzill, al contrari, és molt complex i requereix molt de temps i uns bons recursos matemàtics, estadístics i informàtics.

Entre les tècniques de simulació que s'apliquen en el disseny, estudi i millora de xarxes i sistemes informàtics, destaquem dues: les tècniques de simulació Montecarlo (SMC) i de esdeveniments discrets (SED).

L'ús combinat d'aquestes tècniques és de gran utilitat en l'estudi de la fiabilitat i disponibilitat dels sistemes complexos. L'objectiu d'aquest treball és veure com s'apliquen aquestes tècniques en l'estudi d'un sistema informàtic distribuït.

2. PARAULES CLAU

- Simulació
- Sistema
- Nombre pseudo-aleatori
- Teoria de cues
- Cua
- Cua FIFO
- Closetime
- Inputs
- Outputs
- Procés
- Entitat
- Iteració
- Outliers
- Aprenentatge virtual
- Activitat

3. ESTAT DE L'ART

3.1. La simulació

En el món real és habitual trobar-se processos i sistemes que si els volem analitzar mitjançant mètodes matemàtics analítics, ens trobarem amb una tasca especialment complexa o potser impossible de realitzar. Una alternativa eficaç per afrontar aquest tipus d'estudi consisteix en construir models lògic-matemàtics dels mateixos, que ens permetin imitar o simular el seu comportament.

Observant el comportament d'aquests models i analitzant els resultats obtinguts en la simulació mitjançant tècniques estadístiques, podem extreure conclusions sobre el funcionament del sistema o procés. Gràficament, el conjunt dels processos de modelatge, simulació i anàlisi de resultats pot ser:

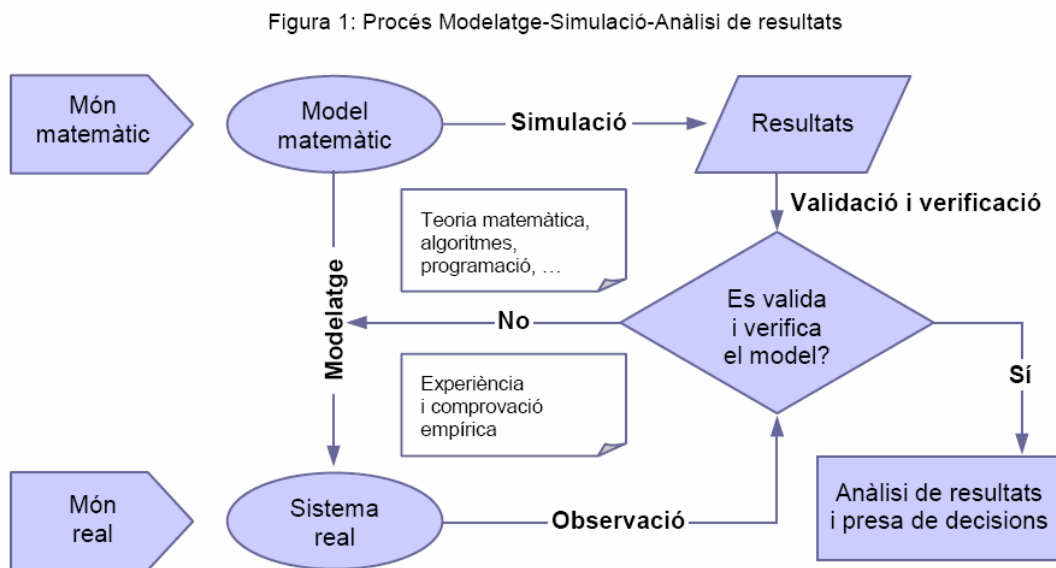


Figura 1: extreta de "Introducció a la simulació i simulació de Montecarlo" pàg. 2

De totes maneres hem de tenir en compte que no totes les situacions són susceptibles de ser analitzades amb mètodes de simulació. En alguns casos usar la simulació pot esdevenir un excés com pot ser matar una mosca amb una escopeta.

Com a guia general, la simulació és apropiada si els següents criteris són vàlids:

1. S'està prenent una decisió operacional (lògica o quantitativa)
2. El procés a analitzar està ben definit i és repetitiu
3. Les activitats i events tenen certa interdependència i variabilitat
4. L'impacte en el cost de la decisió és més gran que el cost de realitzar la simulació.
5. El cost d'experimentar amb el sistema real és major que el cost de realitzar la simulació.

En aquest cas crec que sí es donen els criteris esmentats i per tant crec prou enraonat l'ús de la simulació.

En els últims anys, s'ha experimentat un increment espectacular en la capacitat de processament dels ordinadors. En pocs anys hem passat de tenir màquines, la utilitat de les quals era majoritàriament aplicacions ofimàtiques a complexos ordinadors amb una capacitat de treball que permeten realitzar, per exemple, varies aplicacions al mateix temps en poc temps, treballar dintre d'un sistema perfectament sincronitzats, és a dir, en xarxa, ordinadors amb més d'un processador, etc.

Paral·lelament, una evolució constant del software (especialment els llenguatges de programació, sistemes operatius, programes de simulació i programes estadístics), ha permès desenvolupar aplicacions específiques per portar a terme diferents simulacions amb un grau de realisme molt elevat, alhora que el seu ús és molt intuïtiu.

Aquesta evolució constant ha permès el pas de una informàtica pensada des de i per els tècnics a una informàtica apta per a qualsevol usuari. Un exemple clar d'aquest pas el tenim en el conegut Sistema Operatiu Windows, que va ser el primer en utilitzar la lògica intuïtiva com a element d'interacció entre l'home i la màquina.

És per això que tots dos fenòmens, han convertit la simulació per ordinador en una de les eines matemàtiques de major potencia, flexibilitat i utilitat a l'hora d'analitzar el comportament de tot tipus de sistemes i processos (Shanon; 1998).

Sembla clar que la simulació té molts avantatges (i així és!), però també té desavantatges. Anem a veure els pros i els contra.

3.2. Avantatges de la simulació

Les avantatges de la simulació són, entre d'altres:

1. *Escollir correctament.* La simulació, per una banda, permet fer proves, canvis i aproximacions per tal d'escollir un model adequat per estudiar la problemàtica exposada i, per altra, ajustar el model per tal que sigui un reflex, el més aproximat possible, de la realitat que volem analitzar. Això és molt important, perquè abans de implementar qualsevol sistema en la realitat, podem observar quin o quins components són els més adequats. D'aquesta manera, rebaixem els costos que suposaria canviar un sistema que no ha estat correctament implementat.

2. *Control del temps.* Comprimit o ampliant el temps, la simulació permet accelerar o reduir la velocitat dels fenòmens per poder investigar-los a fons. Es pot investigar un canvi complet en el sistema en un temps que podem decidir nosaltres.
3. *Control de les variables.* Habitualment es vol saber perquè ocorren certs fenòmens en un sistema real. Mitjançant la simulació, es pot arribar a determinar la resposta reconstruint l'escena i examinant a fons el sistema per extreure la relació causa-efecte de manera que pugui modificar o enriquir els nostres aprenentatges. Això no es pot fer en un sistema real perquè no es pot veure o controlar íntegrament. Un exemple molt il·lustratiu és el de un simulador de pilotatge d'avions. A ningú se li acudiria fer una classe de vol en situacions extremes amb un avió real i ple de gent. En aquest sentit, també fariem referència a un aspecte a tenir en compte com és el de l'ètica. En alguns camps, el control de les variables en permet proposar models èticament sostenibles. Per exemple, en el camp de la medicina, on podem reproduir fenòmens biològics sense necessitat de produir patiment en altres éssers vius.
4. *Explorar possibilitats.* Una de les grans avantatges de la simulació és que, un cop s'ha desenvolupat un model vàlid, es poden explorar polítiques noves, procediments o mètodes sense el cost de la experimentació amb el model real. Les modificacions són incorporades al model de simulació i es poden observar els efectes d'aquests canvis més fàcilment que sobre el sistema real.
5. *Diagnòs de problemes.* Actualment, la complexitat de la indústria, dels serveis i de la logística que comporta el seu bon funcionament en un entorn ple d'interaccions, fa que sigui molt difícil, o gairebé impossible, entendre el seu funcionament en totes les seves dimensions. La simulació ens permet veure això.

Per una banda, ens permet aïllar certes variables que poden arribar a funcionar com a submodels. També, aquests submodels els podem fer interactuar entre ells per tal d'arribar a la seva autèntica complexitat i alhora arribar a la seva comprensió, ajudar-nos a diagnosticar problemes i proposar solucions eficaces.

6. *Identificar colls d'ampolla.* S'entén com a coll d'ampolla totes aquelles situacions en que el sistema és incapaç de donar una resposta eficient davant una entrada massiva de events. Això es pot donar tant a nivell industrial de producció com a nivell de gestió de informació.

A nivell industrial, ens poden trobar amb una cadena de muntatge que, en un punt determinat i sense causa aparent, fa que tota la producció s'aturi per un excés d'entrades que no és capaç de resoldre. En un simulador, fent evidents les variables que interactuen, ens permetrà identificar les causes del colls d'ampolla i la possibilitat de descobrir d'altres, podent optimitzar el sistema de producció.

A nivell de gestió d'informació, ho podríem entendre millor si ho veiem amb un exemple. En una gran ciutat com Barcelona, la complexa organització de la xarxa de semàfors per regular el trànsit ha de ser lo suficientment optimitzada per no arribar al col·lapse circulatori. Les diferents variables a tenir en compte, com ara la sincronització depenen del dia de la setmana, de l'hora i de la densitat del transit, es poden analitzar d'una manera més eficient en un model simulat. Aquesta simulació ens permet inferir models de gestió de la xarxa viària més eficaços.

7. *Visualitzar la implementació del sistema.* Mitjançant software específic, podem veure la implementació del sistema. Segons el software utilitzat, podem observar, mitjançant animacions, els processos des de varis angles i nivells d'ampliació. Això ens permet descobrir defectes de disseny que sobre el paper han passat per alt.
8. *Objectivitat del procediment.* La utilització de la simulació per presentar canvis en el sistema fa que la presa de decisions sigui més fàcil d'acceptar ja que els resultats de la simulació han estat provats, validats i visualment representats, tenint en compte totes les variables possibles que poden intervenir.

En aquest sentit, un professional, per molts coneixements que tingui, davant de la complexitat de la realitat de la que ha de donar una resposta, és materialment incapaç de tenir en compte la ingent quantitat de variables que intervenen i totes les seves possibles interaccions.

9. *Preparació pel canvi.* Una de les dificultats de l'esser humà és la gestió de la incertesa davant el canvi. En la nostra societat el canvi ha passat a ser un element intrínsec de la nostra cultura. L'ús de la simulació ens permet afrontar aquests canvis, i ens prepara per assumir canvi sense l'ansietat que suposa afrontar lo desconegut. Podem construir un model que respongui moltes preguntes, com ara: Quant de temps un recurs estarà disponible?, El sistema serà capaç d'atendre una puja en la demanda del servei?, Quines conseqüències tindrà el canvi climàtic?, etc.
10. *És una bona inversió.* El cost general d'un estudi de simulació representa menys de l'1% del total gastat en la posada en pràctica d'un disseny o canvi d'un disseny. En relació al cost que suposa un canvi o remodelatge d'un sistema relativament gran, després de la seva implementació, la simulació és una bona inversió.
11. *Aprenentatge i entrenament dels equips.* Els models de simulació, creats a tal efecte, poden ser una excel·lent eina per l'aprenentatge del funcionament d'un determinat sistema o per l'entrenament dels equips humans encarregats de fer-lo anar. És molt menys car i més segur que l'aprenentatge sobre el sistema real.

12. *Especificació de requeriments.* La simulació és una excel·lent eina per especificar els recursos d'un sistema. Simulant el comportament, la capacitat, etc. d'un sistema particular i complex, es poden establir els recursos necessaris per un bon rendiment. D'altra banda, també és una bona eina de manteniment del sistema perquè permet prendre decisions a curt, mitjà i llarg termini que poden marcar la estratègia comercial o empresarial.

3.3. Desavantatges de la simulació

Entre els desavantatges de la simulació tenim:

1. *Requereix experiència.* La construcció de models de simulació és un art que s'aprèn amb el temps i amb l'experiència. L'elaboració d'una simulació, amb la complexitat que comporta, requereix un anàlisi exhaustiu de l'entorn que vol representar. És aquí on apareix el punt dèbil. Si l'anàlisi no és fiable, la simulació perd tot el seu sentit. Si l'especialista no és capaç de tenir en compte totes les possibles situacions, els resultats de la simulació no s'ajustaran a la realitat.
2. *Resultats difícils d'interpretar.* En molts casos, els resultats de la simulació són variables aleatòries resultat d'entrades (*inputs*) també aleatoris. Això implica una dificultat en determinar si una observació és el resultat de les interaccions del sistema o si són degudes a la aleatorietat.
3. *Ús inapropiat.* Un ús inapropiat de la simulació pot comportar importants increments de costos en temps i pressupost. L'ús d'un model de simulació, en moltes ocasions requereix un aprenentatge previ. La no inversió en aquest aprenentatge fa que posteriorment el cost es dispari per la disfunció que donen els resultats. Un altre ús inapropiat es pot donar en la interpretació dels resultats ja que no sempre segueixen un protocol establert.
4. *Trivialització de la realitat.* El fet que podem fer models molt aproximats a una realitat complexa, fa que en moltes ocasions no som capaços de distingir les nostres pròpies limitacions. Per exemple, podem fer servir un simulador de vol i arribar a creure que som capaços de pilotar un avió real. El simulador ens ofereix una falsa seguretat.

Cal dir, però, que degut a l'evolució constant tant del hardware com del software, cada vegada la balança s'inclina més a favor dels avantatges que té l'ús de la simulació.

Les àrees d'aplicació de la simulació són moltes. Segons recents presentacions en la Winter Simulation Conference (WSC), estan dividides en diverses àrees, tal com mostra la seva web, entre les quals les més importants:

- **Aplicacions per a la fabricació.** Per exemple, simulacions que minimitzen els retard de sincronització de les parts prefabricades per tal de que posteriorment siguin assemblades, tant per evitar colls d'ampolla com temps d'espera.
- **Logística, transports i distribució.** Són exemples, simulacions que ens permeten optimitzar els espais disponibles segons els temps d'emmagatzematge, la caducitat dels productes, els fluxos de demanda, etc. Altres simulacions ens ajudaran a prendre decisions sobre quins són els millors transports i la millor distribució dels productes.
- **Biotecnologia.** Per exemple, models que simulen comportaments biològics.
- **Resposta a la seguretat i emergències nacionals.** Per exemple, els simuladors meteorològics ens permeten predir l'evolució d'un huracà i posar en marxa el protocol de seguretat establert a tal efecte.
- **Aplicacions militars.** Són exemples, qualsevol simulació que permeti establir estratègies d'atac o defensa militar.
- **Serveis públics.** Per exemple, qualsevol simulació que permeti estudiar la xarxa de transport públic d'una gran ciutat.
- **Sistemes de comunicació.** Un dels àmbits que actualment està en auge és l'anàlisi de la realitat virtual per tal de desenvolupar noves formes de treball en equip a distància i en temps real (teletreball).

El site web de la WSC és un excel·lent recurs per aprendre sobre l'ús de la simulació. Conté nombrosos tutorials i articles que s'han anat presentant en les diferents edicions.

La continuïtat i l'alta qualitat de les conferències que es fan cada any estan assegurades gràcies a la Fundació de la WSC que va néixer l'any 2003 per a la recerca d'esponsorització.

3.4. Tècniques de simulació

Entenem per tècniques de simulació les diferents metodologies utilitzades en la creació i desenvolupament d'una simulació.

Entre les tècniques de simulació n'hi ha dues de molt importants:

1. El mètode de Montecarlo (SMC)
2. La Simulació d'Events Discrets (SED).

3.4.1. El mètode de Montecarlo (SMC)

El mètode de Montecarlo o Simulació de Montecarlo (SMC) és una tècnica (o conjunt de tècniques) que combina conceptes estadístics amb la capacitat que tenen els ordinadors per generar nombres pseudo-aleatoris i automatitzar càlculs. Amb la SMC es pretén imitar el comportament aleatori de sistemes reals no dinàmics per intentar estimar el valor esperat de la variable aleatòria que descriu el comportament del sistema.

La SMC està present en tots els àmbits en què el comportament aleatori o probabilístic té un paper fonamental. Són exemples, la loteria, la quiniela, la ruleta, etc. (en general, qualsevol tipus de joc d'atzar), on es poden utilitzar aquests mètodes de simulació per intentar estimar successos favorables, entenent per succés favorable aquell en què podem obtenir premi.

Un aspecte important de la SMC és que el temps no hi té un paper important. En aquest sentit, es podria dir que són simulacions de caire estàtic.

El nom de Montecarlo prové de la famosa ciutat de Mònaco, on abunden els casinos de joc i on l'atzar, la probabilitat i el comportament aleatori conformen tot un estil de vida. El desenvolupament sistemàtic dels mètodes de Montecarlo daten aproximadament del 1994, amb el desenvolupament dels ordinadors. Una de les primeres aplicacions dels mètodes de Montecarlo va ser la resolució d'integrals que no es podien resoldre per mètodes analítics.

La clau de la SMC consisteix a crear un model matemàtic del sistema, procés o activitat que es vol analitzar, identificant les variables (*inputs* del model) el comportament aleatori de les quals determina el comportament global del sistema.

Àmbits d'aplicació

Els àmbits d'aplicació de la SMC són molts, entre els quals tenim:

- **Física.** Moltes vegades, els càlculs en la resolució de problemes impliquem sumes o integrals amb un nombre molt elevat de configuracions i dimensions. Donada la capacitat dels ordinadors per calcular gran quantitat de paràmetres i valors, l'ús d'aquest mètode és molt adequat. Són exemples, el càlcul del flux de neutrons en un reactor nuclear, l'estudi de les propietats termodinàmiques dels gasos, etc.
- **Ecologia.** En l'àmbit de l'ecologia la SMC també ha tingut molt bona acollida. Des de fa anys, s'han desenvolupat estudis per tal d'analitzar processos atmosfèrics com ara la incidència en la contaminació local de determinades indústries. Un altre exemple és l'estudi de l'evolució de poblacions de bacteris.

- **Indústria, telecomunicacions i informàtica.** En aquests àmbits, la utilitat de la SMC consisteix en analitzar la fiabilitat d'un sistema sotmès a unes condicions de funcionament concretes. Bàsicament, consisteix en determinar la probabilitat que el sistema continuï funcionant correctament transcorregut un determinat període de temps.
- **Finances.** L'estudi de fenòmens financers, el comportament dels quals estigui afectat per variables aleatòries, també es veu afavorit per l'ús de la SMC. Són exemples l'anàlisi del risc, la valoració d'hipoteques, la valoració de bons, etc.

3.4.2. La Simulació d'Events Discrets (SED)

La Simulació d'Events Discrets (SED) s'utilitza per estudiar sistemes i processos, l'estat dels quals va canviant al llarg del temps de manera discreta, és a dir, els canvis ocorren de manera instantània en punts concrets del temps com a resultat del tractament dels esdeveniments.

La característica més significativa de la simulació d'Events Discrets és la seva capacitat per observar efectes aleatoris presents en la majoria dels processos reals.

Tradicionalment la SED ha estat aplicada amb èxit en l'anàlisi i disseny de processos de fabricació. Actualment el seu ús s'ha fet extensiu a moltes altres àrees com ara:

- **Logística.** Qualsevol procés en la gestió, per exemple, d'entrades de comandes d'una botiga d'informàtica online. És evident que en un negoci és vital donar el màxim de resposta als clients. Per tant la gestió d'entrades és un punt que ha d'estar perfectament optimitzat i per aconseguir-ho aquest mètode de simulació és el que millor s'hi adapta donat que hi ha un component important d'aleatorietat.
- **Transports.** El mateix podem dir en la gestió d'entrades i sortides del Port de Barcelona dels vaixells, on el component d'aleatorietat és també important.
- **Serveis.** Per exemple la gestió de les demandes de serveis de taxis.
- **Sanitat.** El nombre de malalts que entren per urgències en un hospital és un nombre aleatori. En un gran hospital es veu la necessitat d'utilitzar aquesta tècnica de simulació per a què la gestió d'aquests malalts sigui la millor.
- **Informàtica:** La gestió de cues d'espera en un sistema distribuït.

- **Comunicacions:** Una utilitat molt extensa consisteix en la simulació de Call Centers per tal d'optimitzar la seva capacitat de resposta davant l'allau de trucades que es poden donar en un moment donat.

3.5. Tendències de futur en la simulació

A Espanya l'ús de les tècniques de simulació encara no és el desitjable. Les causes no les sé amb certesa, però m'atreviria a dir que la falta de recolzament per part de l'Estat i, també, per part empresaris que no creuen en la simulació com una inversió de futur, hi tenen molt a veure. Cal dir, però, que des de diferents entitats, com les Universitats, s'intenta contribuir a potenciar el seu ús, oferint formació adequada tant a nivell teòric com experimental.

En altres països, com els Estats Units o Canadà, la simulació té una llarga trajectòria i contínuament s'estan desenvolupant noves metodologies i revisant les ja existents. Hi ha una clara cultura de la simulació i els governs i els empresaris creuen en ella com una inversió de futur.

La simulació és una tecnologia que continuarà evolucionant en tant que les tecnologies relacionades amb ella (com per exemple la computació) vagin progressant.

En un apartat anterior he parlat de la Winter Simulation Conference com un excel·lent recurs per aprendre sobre simulació, però és molt més que això. La WSC és el punt de trobada anual de professionals de la simulació i d'entitats que, d'una manera o altra, col·laboren en els aspectes relacionats amb la simulació. Cada any, a l'hivern, es celebra la conferència i els ponents fan, amb els seus treballs, un recorregut per tots els àmbits en els que és possible l'aplicació de les tècniques de simulació.

En l'última conferència celebrada el mes de desembre del 2005, es poden observar treballs sobre la realitat virtual en la simulació, visualització 3D aplicada a la simulació, simulació aplicada a la indústria aeroespacial, ensenyament de la simulació, etc. Aquests article i treballs es poden consultar a <http://www.wintersim.org/prog05.htm>.

Des del punt de vista de les tendències es pot veure, jutjat pels treballs publicats, que el futur de la simulació (o almenys les grans vies del seu desenvolupament en la pròxima dècada) passa per la simulació dinàmica i en segon terme per la simulació qualitativa, és a dir, simulació de tendències i propagacions de pertorbacions en el procés.

La flexibilitat dels futurs simuladors permetrà fàcilment a l'usuari incorporar els seus propis models.

Podem afirmar, doncs, que a la simulació se li presenta un futur més que prometedor.

4. ESTUDI I APLICACIÓ D'UNA SIMULACIÓ EN UNA XARXA DISTRIBUIDA

4.1. Breu introducció

El present treball pretén fer un recorregut pels principals aspectes i tendències associats a la simulació de sistemes discrets i, concretament, a la SED.

Escollir l'eina adequada per a desenvolupar una simulació depèn en gran mesura del model que volem fer servir en el nostre estudi. En qualsevol cas, sempre s'obren dues alternatives clarament diferenciades, i que presenten avantatges i inconvenients que cal tenir en compte. Aquestes dues alternatives són:

1. Implementar el model a partir d'un llenguatge genèric. Per exemple, Java, C++, Visual Basic, etc.

Un dels avantatges és que es pot programar el sistema a mida, és a dir, permet recollir de forma exhaustiva tots els paràmetres i criteris que es consideren importants i adaptar-los al model que volem estudiar.

Tanmateix els desavantatges que ens podem trobar són que es requereix uns coneixements elevats i molt específics tant a nivell matemàtic, estadístic o de programació. També es necessita molt de temps per a la creació del model ja que ha de passar per tot un seguit de fases d'elaboració i comprovació que sovint s'han de sotmetre a repetides modificacions fins trobar el model definitiu. Per tant, això és evident que implicarà un increment en el cost econòmic.

2. O emprar alguna de les eines que hi ha en el mercat per poder modelitzar el sistema. Per exemple, SimProcess, Witness, etc.

En aquesta ocasió les avantatges en que ens podem trobar són bàsicament que no es necessiten coneixements específics de programació, matemàtics o estadístics.

Entre els desavantatges podrien citar, per exemple, la necessitat de trobar una eina en el mercat que s'adapti prou al sistema que volem representar. A més, un cop escollida caldrà tot un procés d'aprenentatge en el seu ús.

Respecte al seu cost econòmic en un principi pot sortir més barat que la programació, però potser aquest criteri no és tan vàlid per prendre una decisió si tenim en compte les inexactituds que pugui donar a l'hora d'adaptar-lo a la simulació del nostre model.

Valorades les dues alternatives, en aquest treball crec que la que més s'ajusta a les perspectives de l'estudi és la primera. He de dir, però, que programar una aplicació mitjançant algun llenguatge de programació no entra dintre dels meus coneixements ni tampoc dispo del temps que requereix implementar un model amb bones condicions de funcionament.

Existeix un complement d'Excel, anomenat *SimColas*, desenvolupat fa uns anys per Àngel A. Juan Pérez. Faré servir aquest complement, ja que m'estalviarà molta feina de desenvolupament i molts detalls tècnics (com la generació de nombres aleatoris provinents d'una distribució exponencial, etc.), que ja estan en l'aplicació.

En els capítols següents, es mostra el procés de simulació que he portat a terme, des de la formulació de la problemàtica fins a l'anàlisi dels resultats i la posterior conclusió.

4.2. El procés de simulació a seguir

Abans de fer l'experiment de simulació en sí, cal tenir clares les pautes o fases a seguir en una simulació. Les diferents fases es poden observar en la figura següent:

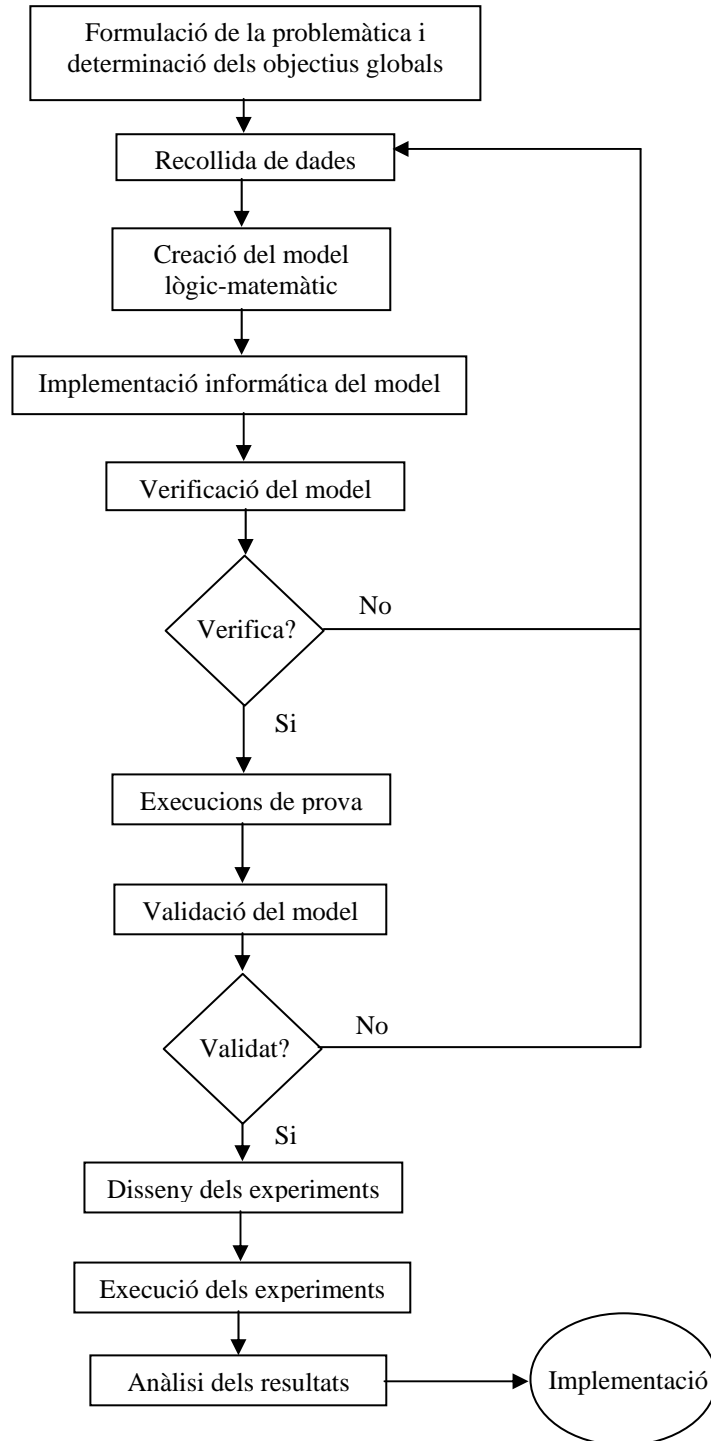


Figura 2: Fases de la simulació

1. Formulació de la problemàtica a resoldre i determinar els objectius globals.

Qualsevol estudi de simulació que es pretengui portar a terme, comença amb aquesta fase, en la que es defineix el o els problemes que es pretén o pretenen estudiar. Aquesta fase conté també els objectius de la simulació. La persona o entitat que desitja desenvolupar un sistema nou, o bé vol canviar alguns aspectes de l'actual perquè observa que la demanda ha pujat i necessita una reforma per poder atendre-la, demana un estudi de la seva problemàtica a un especialista en simulació. Aquest especialista (analista), defineix el/s problema/es i determina quins objectius es volen aconseguir.

2. Recollida de dades.

Aquesta fase és molt important, ja que dels resultats obtinguts depèn en gran mesura el desenvolupament de la simulació. L'analista identifica, recull i analitza totes les dades i aspectes que tenen importància en el desenvolupament de l'estudi de simulació. Cal fer una cerca exhaustiva i molt metòdica per tal de no deixar cap aspecte sense analitzar.

3. Creació del model lògic-matemàtic del sistema que permeti la seva simulació per ordinador.

A partir de les dades obtingudes, de la seva natura i estructura, cal desenvolupar un model de simulació que permeti obtenir els resultats que es volen aconseguir. En aquesta fase es fa una abstracció del sistema real que es vol estudiar mitjançant un model conceptual que l'imiti. Sèries lògiques i matemàtiques estableixen les relacions entre els components i la estructura del sistema. És recomanable començar per un model simple per anar desenvolupant-lo fins arribar a tenir un model que representi la complexitat del sistema.

4. Implementació informàtica del model.

El model conceptual creat en la fase anterior és codificat mitjançant algun llenguatge de programació (C/C++, Java, VBA, etc.) o mitjançant l'ús d'algun software específic (Arena, Extend, SimProcess, Witness, etc.). Aquesta fase requereix uns coneixements específics tant a nivell de programació com a nivell d'utilització de les aplicacions específiques.

5. Verificació del model.

Es verifica que els algorismes i la codificació emprats funcionen correctament, és a dir, cal comprovar que, efectivament, el model lògic-matemàtic creat a la fase 3 i la seva codificació en la fase 4, respon adequadament a les expectatives de funcionament que s'han establert. Si el model ha estat verificat, es passa a la fase següent. Si, pel contrari, no ha estat verificat, s'han de revisar les dades que s'han recollit, canviant aquelles que no són correctes o, fins i tot, afegint de noves, i tornar a fer la codificació. Això es farà les vegades que calgui fins que el model estigui verificat.

6. Execucions de prova.

Una vegada el model ha estat verificat, cal comprovar també que les dades resultants entren dintre dels estàndards que s'han establert per a la simulació. Per fer-ho, cal construir un conjunt d'execucions de prova basant-se en dades històriques que permeten comparar les dades que surten del model amb les que haurien de sortir. Per exemple, en una cadena d'etiquetatge d'ampolles en el que, segons dades anteriors, tenim al cap d'un mes una mitjana de 5.000 ampolles etiquetades, no seria correcte tenir una mitjana de 10.000 o de 2.000. En aquest cas, caldria revisar el conjunt d'execucions de prova i, inclús, el funcionament correcte del programa.

7. Validació del model.

Un cop fetes les execucions de prova, es comprova que els resultats de les proves s'ajusten als resultats esperats. Normalment en aquesta fase es requereix l'ajuda de persones expertes en el sistema modelitzat per fer efectiva la validació del model. Si el model és acceptat com a vàlid es passa a la fase següent, sinó, cal analitzar totes les fases per descobrir les possible errades.

8. Disseny dels experiments de simulació.

Un cop acceptat el model com a vàlid, es dissenyen les característiques de l'experiment de simulació que es portarà a terme, és a dir, es descriu de quina manera es portarà a terme la simulació. Cal considerar que un disseny experimental correcte ha de comptar amb un nombre "N" de rèpliques.

9. Execució dels experiments de simulació.

Un cop descrita la manera en que es portarà a terme la simulació, passem a la fase de la execució pròpiament dita. Cal tenir present que l'execució pot comportar un temps considerable i, per tant, cal preveure una fase en la que es durà a terme. Degut al nombre "N" de rèpliques necessàries, la durada de la execució pot no ser coneguda a priori.

10. Anàlisi dels resultat obtinguts en la simulació.

Una vegada es tenen els resultats dels experiments de la simulació, es procedeix a analitzar-los. Dels resultats dels anàlisis s'observa si s'han complert els objectius plantejats en la formulació del problema i s'extreuen les conclusions. En aquest sentit, cal plantejar si són necessaris nous experiments.

11. Implementació.

Analitzats els resultats i acceptant que es compleixen les expectatives plantejades al principi del procés, estem en disposició d'implementar físicament el sistema.

Vistes les fases de les que es compon un estudi complet de simulació, haig de dir que en aquest treball no les seguiré totes, ja que el temps del que dispo per fer un estudi complet no ho permet. Seguiré les fases que em semblen més importants per adquirir els conceptes bàsics de la simulació.

Les pautes o fases a seguir en aquesta simulació són les següents:

1. Formulació de la problemàtica a resoldre i determinar els objectius globals.
2. Implementació del model a l'ordinador. En aquesta fase utilitzaré el complement d'Excel, *SimColas*, ja esmentat anteriorment i que em permet fer l'estudi d'una cua d'espera.
3. Execució de la simulació i anàlisi dels resultats obtinguts en la simulació.

4.3. Presentació del sistema escollit

El model triat per fer l'estudi és un sistema de aprenentatge virtual (e-learning) que un centre d'estudis posa a disposició dels seus alumnes. Concretament, centraré l'estudi en el model d'avaluació virtual totalment automatitzat que fan els alumnes.

L'aprenentatge virtual actualment està esdevenint una opció d'aprenentatge amb una gran acceptació ja que ofereix als seus usuaris unes grans avantatges enfront l'aprenentatge tradicional presencial.

Les avantatges més valorades per aquest col·lectiu d'usuaris és, per exemple, la flexibilitat d'horaris que permet rentabilitzar millor el propi temps ja que cada usuari pot organitzar el seu temps en funció de les seves necessitats i obligacions laborals. Igualment hi ha un estalvi en temps de desplaçaments i en costos. En un principi l'aprenentatge virtual és més barat que l'altra opció, tot i que hi ha unes despeses en infraestructura com és l'ordinador i la connexió a internet que s'han de valorar.

Actualment es detecta un augment important en l'accés a aquest tipus d'ensenyament. L'oferta en aquest sentit cada cop és més àmplia: des de la UOC com a Universitat Virtual, a la UB amb cursos específics o altres entitats privades que ofereixen versions online dels seus cursos presencials. Així, doncs, davant l'allau igualment de la demanda d'aquest tipus de formació a vegades les pròpies institucions educatives es troben desbordades i la percepció dels usuaris pot arribar a ser negativa creant un efecte dòmino. En aquest sentit es fa necessari donar una bona resposta tecnològica.

Degut a aquesta bona projecció a nivell professional que crec que hi ha en aquest àmbit, vaig voler centrar el treball en l'estudi del sistema distribuït que dona servei als clients de l'empresa on treballa actualment i que està fent cursos d'aquest tipus.

Començaré fent una descripció del sistema i del seu funcionament per passar després a la formulació de la problemàtica a estudiar. Seguidament la implementació informàtica del model estarà resolta gràcies al *SimColas*. A continuació faré la simulació pròpiament dita i analitzaré els resultats. Finalment extrauré les conclusions i comprovaré que s'hagin complert els objectius proposats.

4.4. Descripció actual del sistema i el seu funcionament

Els recursos, les variables i els paràmetres que componen el sistema són:

- Tres servidors dedicats (S1, S2, S3), iguals entre ells. Dintre del model, aquests servidors seran els *recursos* del sistema.
- El temps que triga el servidor a prestar el servei segueix una distribució exponencial mitjana de paràmetre **L2 = 0,25 minuts**.
- Els clients es van connectant al sistema per tal de fer l'examen en horari de 9h a 13h de dilluns a divendres. Els clients seran les *entitats* del model. Fora d'aquest horari no s'atenen aquests tipus de connexió. No hi ha restriccions en quant el nombre de clients que intenten connectar-s'hi en un moment determinat (la única restricció és que estigui dintre de l'horari establert). La taxa mitjana d'arribada de nous clients és de 20 per minut, per tant, **el temps que hi ha entre dues arribades consecutives de clients segueix una distribució exponencial de mitjana $1/20 = 0,05$ minuts**.
- Quan un client es connecta, entra a formar part d'una cua d'espera, amb un temps d'arribada que segueix una distribució exponencial de paràmetre **L1 = 0,05 minuts**. La cua segueix una política FIFO. No hi ha cap límit en el nombre màxim d'entitats a la cua.
- Si hi ha cap servidor disponible, el client és dirigit a ell, sinó esperarà fins el primer servidor que quedi lliure.

Variables aleatòries d'aquest model:

- Tar = temps d'arribada d'un nou client a la cua.
- Tse = temps que triga el servidor en prestar el servei al client.

Totes dues variables segueixen una *distribució exponencial* de paràmetres L1 i L2 respectivament.

Paràmetres objecte d'estudi:

- Nombre mitjà de clients en la cua en un instant determinat.
- Nombre mitjà de clients servits en una jornada.
- Nombre mitjà de clients que entren al servei.

- Nombre mitjà de clients que no poden entrar al servei.
- Temps mitjà d'espera en cua.
- Temps mitjà del servei fet al client.

4.5. Formulació de la problemàtica a resoldre.

Tot i que en principi aquest model funciona, no ho fa com ho hauria de fer. Problemes de connexió, velocitat dels enllaços pobre, càrrega servida pels servidors insuficient, colls d'ampolla, etc., fan que en moltes ocasions l'alumne no pugui aprofitar el poc temps lliure que té. Això es tradueix en un baix o nul interès per aquest tipus de cursos i, en molts casos, l'abandonament del curs començat.

Es planteja la possibilitat de fer un estudi de la problemàtica per tal de trobar una solució. En aquest punt, l'objectiu final és comprovar com, actualitzant els recursos existents amb l'objectiu de solucionar els possibles colls d'ampolla, es pot oferir un bon servei. Com a conseqüència, l'interès dels alumnes augmentarà i es veuran estimulats en la realització i finalització dels diferents cursos.

4.6. Implementació informàtica del model

Font: *Simulació de cues amb Visual Basic*. Autors: Angel A. Juan Perez i Javier Faulin Fajardo.

Un esquema gràfic del sistema podria ser:

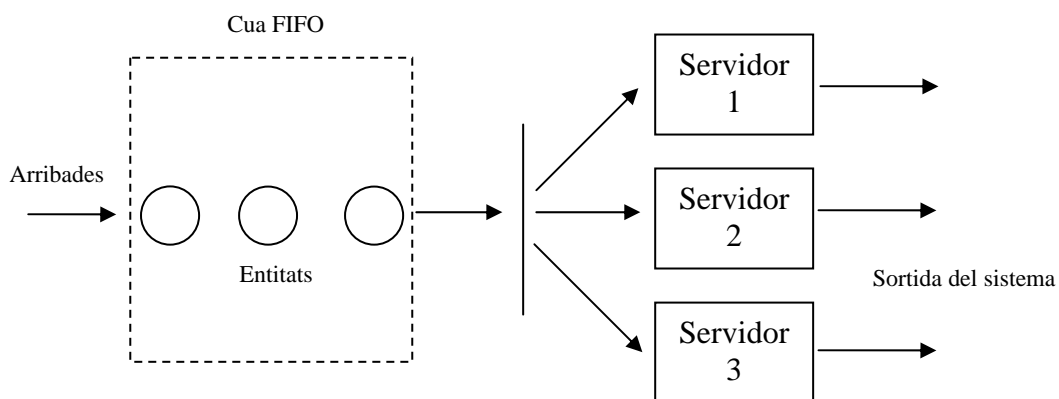


Figura 3: Esquema del sistema a estudiar

Com ja he dit anteriorment, per estudiar el sistema faré servir la combinació Visual Basic for Applications més l'Excel. Concretament, utilitzaré el complement anomenat *SimColas*. Cal dir, però, que aquesta aplicació no té en compte el fet de que un client es pugui afartar d'esperar a la cua i decideixi abandonar-la.

Existeix una altra aplicació, anomenada *SimuCall*, desenvolupada pel mateix autor i que sí té en compte aquest fet. Aquesta aplicació fou desenvolupada per simular l'estudi d'un Call Center i podria servir per fer l'estudi que ens ocupa, però m'he decidit pel SimColas perquè he pensat que seria suficient estudiar el comportament de la cua d'espera en relació al sistema que serveix als clients, és a dir, m'interessa veure com el sistema es capaç de servir totes les entitats que hi ha a la cua, tingui la capacitat que tingui, en un temps raonable. Si podem tenir un sistema que sigui capaç d'això, els clients es donen per satisfets i no pensen en abandonar-ho.

Amb això no vull dir que no sigui interessant estudiar el temps d'abandonament, però en aquets cas, crec que tinc suficient amb l'estudi del comportament de la cua.

4.6.1. Descripció del SimColas

El complement SimColas està format per un formulari (frmInputs) i cinc mòduls de codi:

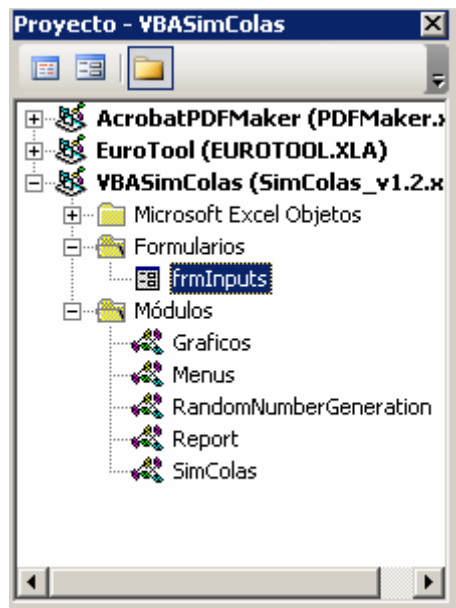


Figura 4: Visualització de l'estructura del complement SimColas

- **Menus**. S'encarrega d'afegir l'opció SimColas al menú Eines.

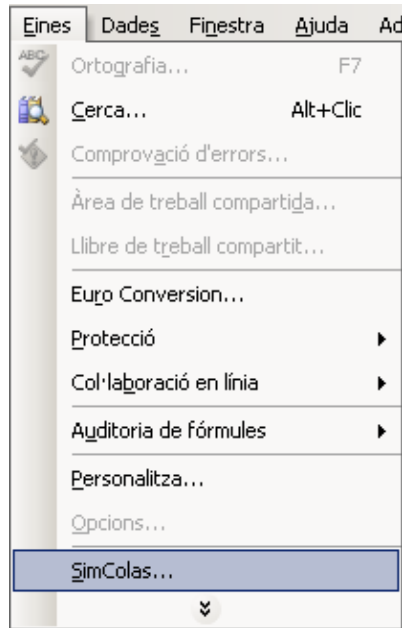


Figura 5: Complement SimColas afegit a la barra d'eines

- **RandomNumberGeneration**. Conté la funció `GenerateRandomNumber`, que ens permet d'obtenir nombres pseudo-aleatoris procedents d'alguna de les distribucions que es consideren.
- **Gràfics** i **Report**. Són els dos mòduls encarregats de proporcionar *outputs* gràfics i numèrics.
- **SimColas**. Mòdul que conté les principals subrutines del programa.

En iniciar el programa, s'obre un formulari, que ha d'emplenar l'usuari. Una vegada introduïts els paràmetres del model, simplement ens resta portar a terme la simulació. Polsem el botó `Acceptar` i el programa comença a fer les operacions. Un cop acabat el càlcul, ens retorna els resultats centralitzats en el full *SimColasReport*, que proporciona també els paràmetres del sistema i el temps de computació emprat:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	SIMCOLAS REPORT									
3										
4		28/12/2005 12:23								
5										
6	Inputs									
7										
8		Distrib. tiempos entre llegadas: Exponencial				Duración de la simulación:		00:00:40		
9		Parámetro 1 (L1): 0,05								
10		Parámetro 2:				Nº servidores:		3		
11						Nº máx. entidades en cola:		100		
12						Duración de cada iteración:		240		
13		Distrib. tiempos servicio: Exponencial				Nº de iteraciones:		1000		
14		Parámetro 1 (L2): 0,25								
15		Parámetro 2:								
16										
17	Outputs									
18	T Final	N Servidas	Tme Cola	Tmax Cola	Nme Cola	Nmax Cola	Util Serv.	N Perdidas	% Perdidas	
19	249,10	2946	7,98	10,22	94,36	100	100%	1835	38%	
20	247,46	3051	7,64	10,24	94,15	100	100%	1839	38%	
21	248,92	2950	7,93	10,60	94,01	100	100%	1853	39%	
22	249,10	2989	7,88	10,31	94,59	100	100%	1928	39%	
23	249,76	2992	7,77	10,75	93,10	100	100%	1771	37%	
24	247,33	2953	7,77	10,92	92,74	100	100%	1743	37%	

Figura 6: Capçalera del SimColas Report on s'observen els inputs del sistema

D'on:

T Final: instant en què el sistema deixa d'estar operatiu una vegada han estat ateses totes les entitats que han arribat al sistema abans del *closetime*.

N Servidas: Nombre d'entitats servides durant el temps en què el sistema ha estat operatiu.

Tme Cola: Temps mitjà de permanència en la cua.

Tmax Cola: Temps màxim de permanència en la cua.

Nme Cola: Nombre mitjà d'entitats a la cua.

Nmax Cola: Nombre màxim d'entitats en la cua.

Util Serv. Tant per cent d'utilització del servidors.

N Perdidas: Nombre d'entitats que no han pogut accedir al sistema perquè la cua era plena.

% Perdidas: Tant per cent d'entitats perdudes.

Al final del Report hi ha un resum dels resultats obtingut per variable:

1020	Resumen de resultados por variable									
1021										
1022	T Final	N Servidas	Tme Cola	Tmax Cola	Nme Cola	Nmax Cola	Util Serv.	N Perdidas	% Perdidas	
1023	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	Nº Observ.
1024	248,63	2979,08	7,86	10,62	94,16	100,00	1,00	1820,65	0,38	Media
1025	248,61	2978,82	7,86	10,60	94,18	100,00	1,00	1821,20	0,38	Media Acot.
1026	0,89	54,16	0,16	0,47	0,63	0,00	0,00	85,67	0,01	Desv. St.
1027	0,03	1,71	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	2,71	0,00	ES Media
1028	246,24	2816,00	7,33	9,41	91,32	100,00	0,99	1559,00	0,33	Min
1029	252,20	3144,00	8,31	12,32	95,53	100,00	1,00	2081,00	0,42	Max
1030	248,00	2943,00	7,75	10,29	93,78	100,00	1,00	1765,00	0,37	Q1
1031	248,60	2979,00	7,86	10,56	94,20	100,00	1,00	1823,00	0,38	Mediana
1032	249,18	3014,00	7,97	10,90	94,59	100,00	1,00	1878,00	0,39	Q3
1033										

Figura 7: Resum de resultats per variable en el SimColas Report

De on observem que per a cada variable ens dona els següents valors:

- **Nº Observ.** Nombre d'iteracions que ha fet el sistema.
- **Media.** Valor mitjà per a cada variable.
- **Media Acot.** És la mitjana "retallada", és a dir, considerant totes les dades excepte els *outliers* o dades atípiques (dades extremes que distorsionen el valor de la mitjana).
- **Desv. St.** Desviació estàndard. És una mesura de la dispersió de les dades.
- **ES Media.** És una mesura d'error associada a la desviació.
- **Min.** Valor mínim per a cada variable.
- **Max.** Valor màxim per a cada variable.
- **Q1.** Quartil·la 1. Si ordenem totes les dades de menor a major, Q1 és aquell valor que deixa el 25% de les dades a la seva esquerra i el 75% restant a la seva dreta.
- **Mediana.** També coneguda com a Q2, deixa el 50% de les dades (ordenades de menor a major) a cada banda. És un valor central que fa una funció semblant a la mitjana. Ens dona una idea de quin és el centre de les dades.
- **Q3.** Quartil·la 3. Amb les dades ordenades de menor a major, el 75% queden a la seva esquerra i només el 25% queden a la seva dreta. Exemple: si diem que la Q3 de la variable Tme Cola (temps mitjà d'espera en cua) és 35 minuts, vol dir que el 75% dels clients han esperat menys de 35 minuts i el 25% més.

4.7. Execució de la simulació i anàlisi de resultats

Per dur a terme la simulació, haig de fer uns quants experiments de simulació, el nombre dels quals no puc saber a priori. Aniré variant els paràmetres necessaris per cada experiment.

4.7.1. Primer experiment de simulació

Com ja hem vist en l'apartat anterior, un cop inicialitzat el programa SimColas, emplenem el formulari amb el paràmetres del sistema. Començaré amb el nombre de servidors que he explicat en la descripció del sistema: 3. Aquest paràmetre anirà variant en funció del interès creat amb el comportament del sistema, ajustant-se a casos reals, és a dir, no té cap interès el cas de 25 servidors ja que no hi ha recursos econòmics per fer-ho, però sí poden tenir interès fins a 4 o 5 servidors.

Igualment amb el tema de l'elecció del nombre d'entitats de la cua, en principi hauria de ser il·limitat, però començaré per un valor relativament baix de 100. Aquest no és un valor a l'atzar sinó que per experiència és un valor que es dóna sovint.

La resta de paràmetres són els explicat en la descripció del sistema:

Tiempo entre llegadas

Distribución: Exponencial.

Tiempo medio entre llegadas: 0,05 minuts.

Tiempos de servicio

Distribución: Exponencial.

Tiempo medio del servicio: 0.25 minuts.

Número de servidores: 3

Número máximo de entidades en cola: 100.

Duración de cada iteración: Una iteració són 4 hores = 240 minuts.

Número de iteraciones: Amb 1000 iteracions, crec que és suficient.

Figura 8: Formulari d'entrada de dades del SimColas

Polsem el botó Aceptar.

Un cop fets els càlculs, el programa retorna el Report:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	SIMCOLAS REPORT									
3										
4		28/12/2005 12:23								
5										
6	Inputs									
7										
8		Distrib. tiempos entre llegadas:	Exponencial			Duración de la simulación		00:00:40		
9		Parámetro 1 (L1):	0,05							
10		Parámetro 2:				Nº servidores:		3		
11						Nº máx. entidades en cola:		100		
12						Duración de cada iteración:		240		
13		Distrib. tiempos servicio:	Exponencial			Nº de iteraciones:		1000		
14		Parámetro 1 (L2):	0,25							
15		Parámetro 2:								
16										
17	Outputs									
18	T Final	N Servidas	Tme Cola	Tmax Cola	Nme Cola	Nmax Cola	Util Serv.	N Perdidas	% Perdidas	
19	249,10	2946	7,98	10,22	94,36	100	100%	1835	38%	
20	247,46	3051	7,64	10,24	94,15	100	100%	1839	38%	
21	248,92	2950	7,93	10,60	94,01	100	100%	1853	39%	
22	249,10	2989	7,88	10,31	94,59	100	100%	1928	39%	
23	249,76	2992	7,77	10,75	93,10	100	100%	1771	37%	
24	247,33	2953	7,77	10,92	92,74	100	100%	1743	37%	

Figura 9: Inputs en el primer experiment

i el resum de resultats per variable:

1022	T Final	N Servidas	Tme Cola	Tmax Cola	Nme Cola	Nmax Cola	Util Serv.	N Perdidas	% Perdidas	
1020	Resumen de resultados por variable									
1021										
1023	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	Nº Observ.
1024	248,63	2979,08	7,86	10,62	94,16	100,00	1,00	1820,65	0,38	Media
1025	248,61	2978,82	7,86	10,60	94,18	100,00	1,00	1821,20	0,38	Media Acot.
1026	0,89	54,16	0,16	0,47	0,63	0,00	0,00	85,67	0,01	Desv. St.
1027	0,03	1,71	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	2,71	0,00	ES Media
1028	246,24	2816,00	7,33	9,41	91,32	100,00	0,99	1559,00	0,33	Min
1029	252,20	3144,00	8,31	12,32	95,53	100,00	1,00	2081,00	0,42	Max
1030	248,00	2943,00	7,75	10,29	93,78	100,00	1,00	1765,00	0,37	Q1
1031	248,60	2979,00	7,86	10,56	94,20	100,00	1,00	1823,00	0,38	Mediana
1032	249,18	3014,00	7,97	10,90	94,59	100,00	1,00	1878,00	0,39	Q3
1033										

Figura 10: Resum dels resultats del primer experiment

D'aquesta primera simulació analitzem els resultats:

- S'han servit una mitja de 2979 clients (Media de N Servidas = 2979,08) en un temps mitjà de 248,63 minuts (Media de T Final = 248,63).
- El nombre mitjà de clients que no han pogut entrar a la cua perquè era plena és de 1821 (Media de N Perdidas = 1820,65) i correspon a una mitjana del 38% (Media de % Perdidas = 0,38).

Amb els resultats anteriors (clients servits i clients perduts) veig que alguna cosa no funciona com ho hauria de fer. Si sumem els clients que han estat servits i els que no han pogut entrar en el sistema tenim un total de 4800, que no està malament si els valorem com a demanda dels nostres serveis, però dels quals només s'ha pogut servir el 62%, un resultat que no considero sigui apte.

- El temps mitjà de permanència a la cua ha estat de 7,86 minuts (Media de Tme Cola = 7,86).

Amb aquest resultat ja veig també que el temps d'espera és molt elevat. En aquest punt, considero que un temps d'espera acceptable es podria situar entre els 0,16 i els 0,25 minuts (10 i 15 segons).

- El temps mitjà màxim d'espera ha estat 10,62 minuts (Media de Tmax Cola), essent 12,32 minuts (Max de Tmax Cola = 12,32) el temps que ha esperat el client que més temps s'ha estat a la cua i 9,41 minuts (Min de Tmax Cola = 9,41) el que menys.

Aquí també observo que el temps és excessiu. Amb un temps mitjà màxim de entre 0,75 i 1,25 minuts (45 i 75 segons) crec que estaria prou bé.

En el gràfic de freqüències puc observar d'una manera més visual la diferència entre els clients servits i els perduts:



Figura 11: Gràfic de freqüències del primer experiment

Tanmateix, En el gràfic de temps, puc observar el temps final del servei (T Final), el temps mitjà d'espera a la cua (Tme Cola) i el temps mitjà màxim de permanència a la cua (Tmax Cola):

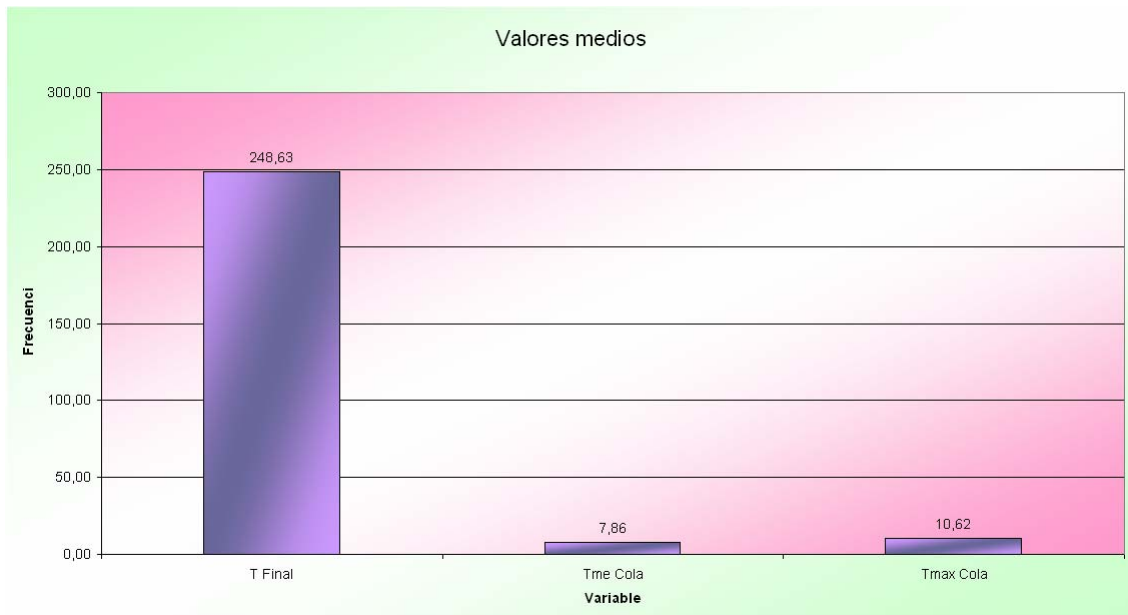


Figura 12: Gràfic dels temps en el primer experiment

M'acabo de topiar amb una gran sorpresa: el sistema és incapaç de donar resposta a una cua de 100 entitats que inicialment creia fins i tot un valor baix.

Tanmateix ha hagut un 38% de clients els quals s’han quedat sense servei i aquesta xifra és inacceptable a nivell empresarial.

Els temps d’espera i altres variables que voldria millorar han quedat, de moment, en un segon terme.

4.7.2. Segon experiment de simulació

Degut als valors donats del sistema amb una cua de únicament 100 entitats vull veure si el sistema millora, sobretot en quan a clients no servits, quan redueixo aquesta cua a la meitat.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	SIMCOLAS REPORT									
3										
4		12/01/2006 11:46								
5										
6	Inputs									
7										
8		Distrib. tiempos entre llegadas:	Exponencial			Duración de la simulación:	00:00:31			
9		Parámetro 1 (L1):	0,06							
10		Parámetro 2:				Nº servidores:	3			
11						Nº máx. entidades en cola:	50			
12						Duración de cada iteración:	240			
13		Distrib. tiempos servicio:	Exponencial			Nº de iteraciones:	1000			
14		Parámetro 1 (L2):	0,25							
15		Parámetro 2:								
16										
17	Outputs									
18	T Final	N Servidas	Tme Cola	Tmax Cola	Nme Cola	Nmax Cola	Util Serv.	N Perdidas	% Perdidas	
19	244,69	2899	4,00	5,93	47,41	50	100%	1872	39%	
20	243,73	2938	3,95	5,96	47,56	50	100%	1978	40%	
21	243,48	2890	4,00	6,25	47,45	50	100%	1915	40%	
22	244,74	2828	4,11	6,98	47,49	50	100%	2102	43%	
23	245,03	2985	3,87	5,89	47,16	50	100%	1841	38%	
24	244,34	3041	3,80	5,66	47,29	50	100%	1643	35%	
25	244,08	2786	4,17	6,79	47,57	50	100%	2047	42%	
26	244,81	2900	4,00	5,75	47,42	50	100%	1927	40%	
27	244,42	2945	3,90	5,88	47,03	50	100%	1743	37%	

1019										
1020	Resumen de resultados por variable									
1021										
1022	T Final	N Servidas	Tme Cola	Tmax Cola	Nme Cola	Nmax Cola	Util Serv.	N Perdidas	% Perdidas	
1023	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	Nº Observ.
1024	244,48	2930,03	3,95	5,97	47,36	50,00	1,00	1869,30	0,39	Media
1025	244,47	2929,89	3,95	5,95	47,37	50,00	1,00	1868,93	0,39	Media Acot.
1026	0,66	55,11	0,08	0,34	0,24	0,00	0,00	89,07	0,01	Desv. St.
1027	0,02	1,74	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	2,82	0,00	ES Media
1028	242,70	2778,00	3,72	5,18	46,48	50,00	0,99	1609,00	0,34	Min
1029	247,28	3088,00	4,21	7,62	48,04	50,00	1,00	2156,00	0,43	Max
1030	244,04	2895,00	3,90	5,74	47,21	50,00	1,00	1808,75	0,38	Q1
1031	244,43	2928,00	3,95	5,92	47,38	50,00	1,00	1868,00	0,39	Mediana
1032	244,92	2965,00	4,01	6,16	47,53	50,00	1,00	1927,00	0,40	Q3
1033										

Figures 13-14: Entrades i resum de resultats en el segon experiment

Mantenint els mateixos paràmetres que amb anterioritat, i modificant el valor de la cua topo amb uns resultats que aparentment encara són més sorprenents:

D'entrada no hi ha gaire diferència amb el nombre de clients servits. És més aquest cop s'ha servit a un nombre lleugerament inferior, de 2979 s'ha passat a 2930.

Igualment els clients no servits no només la seva situació no ha millorat sinó que també ha sofert un lleuger empitjorament. S'ha passat de parlar d'un 38% de clients no servits a un 39%.

Aquests resultats no esperats m'obliga a mirar quins són, doncs, els paràmetres que en la meua acció si han millorat. És aquí quan puc veure com els valors en el temps d'espera dels clients si servits ha millorat ostensiblement. S'ha passat d'un temps mitjà d'espera a la cua de 7,86 a 3,95 minuts i el temps mitjà màxim de permanència en la cua també ha millorat passant de 10,62 a 5,97 minuts.

A nivell empresarial podríem dir que hauríem aconseguit millorar la percepció del nostre servei als clients servits, és a dir, als clients que hem aconseguit servir els hem reduït el temps d'espera. En aquest moment això ens dóna pistes de quina haurà de ser l'estratègia empresarial a seguir. Aquesta no ha de passar per limitar el nombre de clients que tinguin accés als nostres cursos.

4.7.3. Tercer experiment de simulació

Si la solució no passa per restringir la cua d'espera, què passaria si dobléssim la seva capacitat?

Anem a veure-ho amb una cua de 200 entitats:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	SIMCOLAS REPORT									
3										
4		28/12/2005 11:21								
5										
6	Inputs									
7										
8		Distrib. tiempos entre llegadas:		Exponencial		Duración de la simulación		00:00:59		
9		Parámetro 1 (L1):		0,05		Nº servidores:		3		
10		Parámetro 2:				Nº máx. entidades en cola:		200		
11						Duración de cada iteración:		240		
12						Nº de iteraciones:		1000		
13		Distrib. tiempos servicio:		Exponencial						
14		Parámetro 1 (L2):		0,25						
15		Parámetro 2:								
16										
17	Outputs									
18	T Final	N Servidas	Tme Cola	Tmax Cola	Nme Cola	Nmax Cola	Util Serv.	N Perdidas	% Perdidas	
19	257,16	3114	14,85	19,18	179,77	200	100%	1689	35%	
20	256,50	3051	15,27	18,92	181,60	200	100%	1779	37%	
21	258,91	3086	15,19	19,17	181,08	200	100%	1718	36%	
22	256,81	3055	15,38	19,15	182,92	200	100%	1793	37%	
23	257,73	3170	14,65	19,18	180,16	200	100%	1592	33%	
24	258,25	3127	14,77	20,04	178,80	200	100%	1791	36%	
25	257,39	3079	15,11	19,67	180,70	200	100%	1547	33%	
26	258,21	3154	14,73	18,94	179,95	200	100%	1625	34%	
27	256,59	3097	15,17	19,17	183,12	200	100%	1723	36%	
28	256,07	3088	15,26	19,28	183,99	200	100%	1680	35%	

1019										
1020	Resumen de resultados por variable									
1021										
1022	T Final	N Servidas	Tme Cola	Tmax Cola	Nme Cola	Nmax Cola	Util Serv.	N Perdidas	% Perdidas	
1023	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000 N° Observ.	
1024	257,05	3078,58	15,19	19,49	181,87	200,00	1,00	1721,73	0,36 Media	
1025	257,04	3078,76	15,19	19,47	181,90	200,00	1,00	1721,65	0,36 Media Acot.	
1026	1,19	52,74	0,32	0,70	1,70	0,00	0,00	89,61	0,01 Desv. St.	
1027	0,04	1,67	0,01	0,02	0,05	0,00	0,00	2,83	0,00 ES Media	
1028	253,25	2865,00	14,09	17,59	175,03	200,00	0,99	1373,00	0,30 Min	
1029	261,09	3273,00	16,33	22,59	186,36	200,00	1,00	2037,00	0,42 Max	
1030	256,26	3043,00	14,99	19,00	180,78	200,00	1,00	1658,00	0,35 Q1	
1031	257,06	3079,00	15,19	19,44	181,94	200,00	1,00	1723,00	0,36 Mediana	
1032	257,79	3112,00	15,39	19,92	183,10	200,00	1,00	1785,00	0,37 Q3	
1033										

Figures 15-16: Inputs i resum de resultats del tercer experiment

En aquesta simulació observem:

Lògicament, el nombre de clients servits ha augmentat. Respecte a la primera simulació, de 2979 hem passat a 3079.

El nombre de clients que no han pogut entrar al sistema ha disminuït, de 1821 en el primer experiment hem passat a 1721 (Media de N Perdidas = 1721,73). Tot i així, no hi ha una diferència molt gran respecte a la primera simulació: d'un 38% hem passat a un 36%.

En canvi, sí que hi ha diferència respecte el temps d'espera a la cua. En aquesta tercera simulació *ha augmentat més del doble!!!*. De 7,86 minuts hem passat a 15,19 minuts (Media de Tme Cola = 15,19). El temps mitjà màxim d'espera a la cua també ha pujat fins als 19,49 minuts, gairebé 9 minuts més que en el primer experiment.

Tot això em fa pensar que, encara que pugui augmentar la capacitat de la cua, això és en detriment de la qualitat de servei dels clients servits. És a dir, al mateix temps estic augmentant el temps d'espera a la cua, la qual cosa no em serveix.

Ara si que el nostre objectiu ha de ser buscar com ampliar la capacitat del servei. Ara ens hem de fixar més en els paràmetres de temps mitjà de servei i d'espera a la cua pels clients servits.

4.7.4. Quart experiment de simulació

Anem a veure què passa quan el sistema l'ampliem amb un servidor més amb les mateixes característiques que els seus predecessors. És a dir, passem a tenir 4 servidors i mantenint el nombre d'entitats a la cua a 200:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	SIMCOLAS REPORT									
3										
4		28/12/2005 11:34								
5										
6	Inputs									
7										
8		Distrib. tiempos entre llegadas:	Exponencial			Duración de la simulación:	00:01:11			
9		Parámetro 1 (L1):	0,05							
10		Parámetro 2:				Nº servidores:	4			
11						Nº máx. entidades en cola:	200			
12						Duración de cada iteración:	240			
13		Distrib. tiempos servicio:	Exponencial			Nº de iteraciones:	1000			
14		Parámetro 1 (L2):	0,25							
15		Parámetro 2:								
16										
17	Outputs									
18	T Final	N Servidas	Tme Cola	Tmax Cola	Nme Cola	Nmax Cola	Util Serv.	N Perdidas	% Perdidas	
19	252,69	3933	11,46	14,91	178,37	200	100%	938	19%	
20	252,82	3897	11,14	14,87	171,79	200	100%	815	17%	
21	251,01	4105	10,70	13,46	174,94	200	100%	726	15%	
22	253,97	3928	11,27	15,25	174,30	200	100%	842	18%	
23	253,89	3992	10,95	14,21	172,21	200	99%	872	18%	
24	253,56	4042	10,96	14,11	174,74	200	100%	792	16%	
25	251,79	4078	10,65	14,19	172,55	200	100%	757	16%	
26	251,45	4042	10,69	14,18	171,87	200	100%	774	16%	
27	251,29	4096	10,06	14,12	163,95	200	100%	694	14%	
28	253,74	4077	10,76	13,99	172,89	200	99%	673	14%	
1019										
1020	Resumen de resultados por variable									
1021										
1022	T Final	N Servidas	Tme Cola	Tmax Cola	Nme Cola	Nmax Cola	Util Serv.	N Perdidas	% Perdidas	
1023	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	Nº Observ.
1024	252,81	4036,08	10,72	14,57	171,07	200,00	1,00	759,53	0,16	Media
1025	252,81	4036,86	10,74	14,55	171,39	200,00	1,00	759,47	0,16	Media Acot.
1026	0,97	63,40	0,41	0,53	5,13	0,00	0,00	94,02	0,02	Desv. St.
1027	0,03	2,00	0,01	0,02	0,16	0,00	0,00	2,97	0,00	ES Media
1028	249,29	3856,00	8,30	13,23	134,32	200,00	0,99	450,00	0,10	Min
1029	256,29	4254,00	11,65	16,51	181,05	200,00	1,00	1048,00	0,21	Max
1030	252,14	3992,75	10,49	14,20	168,46	200,00	1,00	697,00	0,15	Q1
1031	252,82	4034,00	10,77	14,53	171,93	200,00	1,00	764,00	0,16	Mediana
1032	253,49	4077,00	10,99	14,89	174,53	200,00	1,00	821,00	0,17	Q3
1033										

Figures 17-18: Inputs i resum de resultats del quart experiment

D'aquesta quarta simulació, observem:

- El nombre de clients servits ha augmentat fins als 4036.
- El nombre de clients que no ha pogut entrar al sistema ha baixat espectacularment fins a un 16%. Això està molt bé, encara que el nombre de clients perduts, 760, continua sent elevat pels objectius del sistema.
- El temps mitjà d'espera a la cua també ha baixat fins als 10,72 minuts, encara que considero que continua essent excessiu.
- Igualment passa amb el temps mitjà màxim de permanència a la cua, de 19,49 minuts hem passat a 14,57 minuts, que continua essent elevat.

Amb això aconseguixo millorar el nombre de clients no servits, però tanmateix la petita millora aconseguida en la qualitat del servei no és suficient.

Arribat a aquest punt, puc plantejar dues opcions:

- Continuar augmentant el nombre de servidors, amb característiques similars (en el mercat de segona mà podem trobar ofertes interessants).
- O bé substituir els servidors per uns altres nous més potents.

Augmentar el nombre de servidors sembla la opció més fàcil i econòmica, però s'han de tenir en compte altres aspectes. El sistema està treballant amb servidors des de fa uns anys i que es podrien considerar obsolets en referència a les necessitats actuals i a les opcions d'ampliació futures. De totes maneres, anem a veure que passa si ampliem el nombre de servidors.

Ara realitzem una altra simulació ampliant el nombre de servidors un altre cop (quasi fins a l'absurd), essent 6 servidors amb paràmetres similars i ampliant també el nombre d'elements a la cua que passa a ser de 1000.

4.7.5. Cinquè experiment de simulació

Els resultats són els següents:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	SIMCOLAS REPORT									
3										
4		12/01/2006 12:54								
5										
6	Inputs									
7										
8		Distrib. tiempos entre llegadas: Exponencial				Duración de la simulación:		00:00:30		
9		Parámetro 1 (L1): 0,05								
10		Parámetro 2:				Nº servidores:		6		
11						Nº máx. entidades en cola:		1000		
12						Duración de cada iteración:		240		
13		Distrib. tiempos servicio: Exponencial				Nº de iteraciones:		1000		
14		Parámetro 1 (L2): 0,25								
15		Parámetro 2:								
16										
17	Outputs									
18	T Final	N Servidas	Tme Cola	Tmax Cola	Nme Cola	Nmax Cola	Util Serv.	N Perdidas	% Perdidas	
19	240,96	4746	0,13	1,04	2,49	19	83%	0	0%	
20	240,56	4652	0,10	1,12	2,01	19	82%	0	0%	
21	240,40	4810	0,15	1,06	3,08	26	84%	0	0%	
22	240,96	4769	0,14	1,21	2,85	27	83%	0	0%	
23	240,55	4672	0,17	1,60	2,40	41	87%	0	0%	

1019										
1020	Resumen de resultados por variable									
1021										
1022	T Final	N Servidas	Tme Cola	Tmax Cola	Nme Cola	Nmax Cola	Util Serv.	N Perdidas	% Perdidas	
1023	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	Nº Observ.
1024	240,67	4801,24	0,15	1,25	2,92	28,00	0,83	0,00	0,00	Media
1025	240,64	4801,39	0,14	1,23	2,88	27,54	0,83	0,00	0,00	Media Acot.
1026	0,38	69,12	0,04	0,31	0,72	6,89	0,02	0,00	0,00	Desv. St.
1027	0,01	2,19	0,00	0,01	0,02	0,22	0,00	0,00	0,00	ES Media
1028	240,00	4528,00	0,07	0,67	1,37	15,00	0,78	0,00	0,00	Min
1029	242,54	5072,00	0,28	2,67	5,73	58,00	0,88	0,00	0,00	Max
1030	240,40	4755,00	0,12	1,03	2,42	23,00	0,82	0,00	0,00	Q1
1031	240,61	4802,00	0,14	1,19	2,82	27,00	0,83	0,00	0,00	Mediana
1032	240,88	4849,00	0,17	1,41	3,32	32,00	0,84	0,00	0,00	Q3
1033										
1034										

Figures 19-20: Inputs i resum de resultats del cinquè experiment

Podem observar:

- El nombre de clients servits és de 4801, més que acceptable des del punt de vista de la demanda del servei.
- Tots els clients que han demanat el servei, han estat atesos. No tenim cap client que o hagi pogut entrar al sistema (N Perdidas = 0).

- El temps mitjà d'espera a la cua és de 0,15 minuts, més baix inclús que el marge que havíem establert com a acceptable en la primera simulació (0,16 – 0,25 minuts).
- El temps mitjà màxim d'espera també ha baixat fins als 1,25 minuts. Aquest temps també entra dintre del marge establert com a acceptable (0,75 – 1,25 minuts).
- Observem també que la utilitat del servei (Util Serv.) té una mitjana del 83%, amb un mínim del 78% i un màxim del 88%.

Com en experiments anteriors, veiem-ho gràficament:

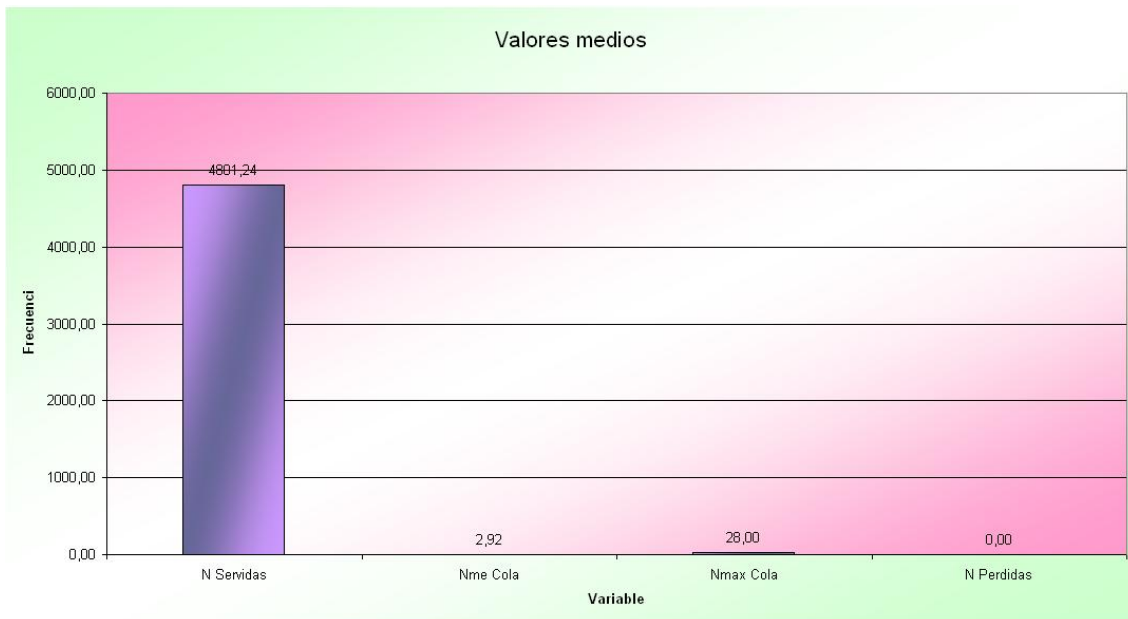


Figura 21: Gràfic de freqüències en el cinquè experiment

A simple vista ja veiem que no tenim entitats perdudes i que tots els clients han estat servits.

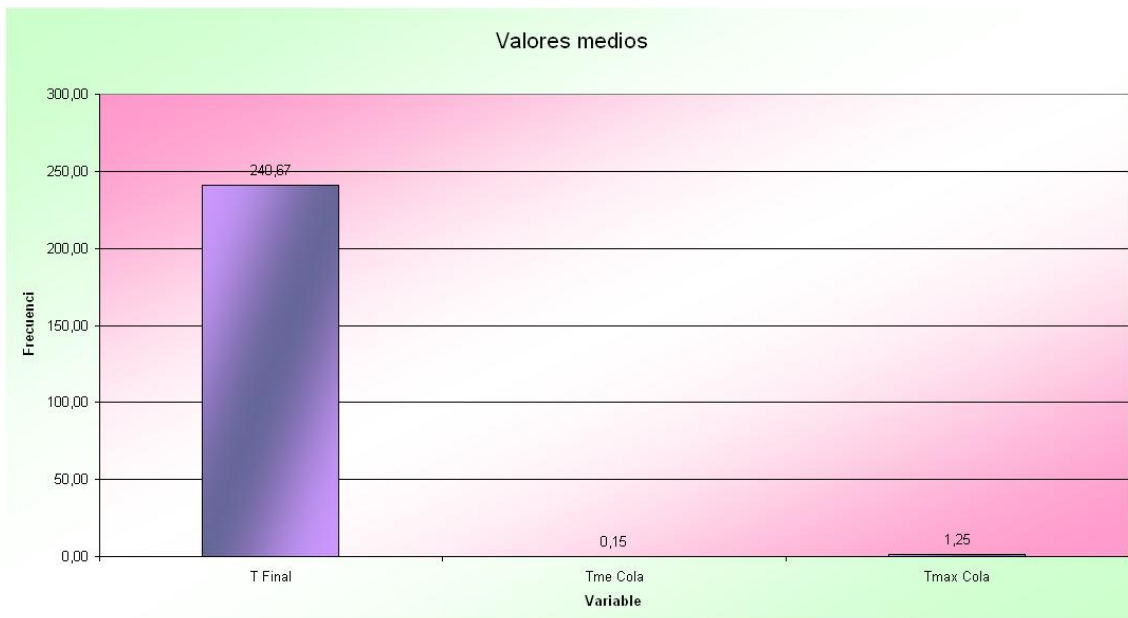


Figura 22: Gràfic de temps en el cinquè experiment

També veiem a simple vista que els temps mitja i el temps mitja màxim d'espera a la cua són realment bons.

A la vista d'aquests resultats, sembla que hem aconseguir optimitzar el sistema. El sistema ha estat capaç d'atendre totes les peticions amb un temps raonable i sense arribar al 100% del seu rendiment.

Això si, per fer-ho hem hagut de doblar el nombre de servidors amb l'ampliació de la xarxa que això comporta (cablatge, connexions, configuracions...) i ampliant també l'espai físic necessari per instal·lar aquests sis servidors.

Ara em queda el dubte de que passaria si féssim una renovació dels servidors.

4.7.6. Sisè experiment de simulació

Anem a veure què passa si canviem els servidors antics per uns altres més potents que puguin oferir un **temps de servei** de 7,5 segons (**L2 = 0,125 minuts**). El nombre màxim d'entitats a la cua el deixarem a 1000, per tal que després ens permeti comparar els resultats amb l'anterior situació i prendre decisions.

Els resultats són els següents:

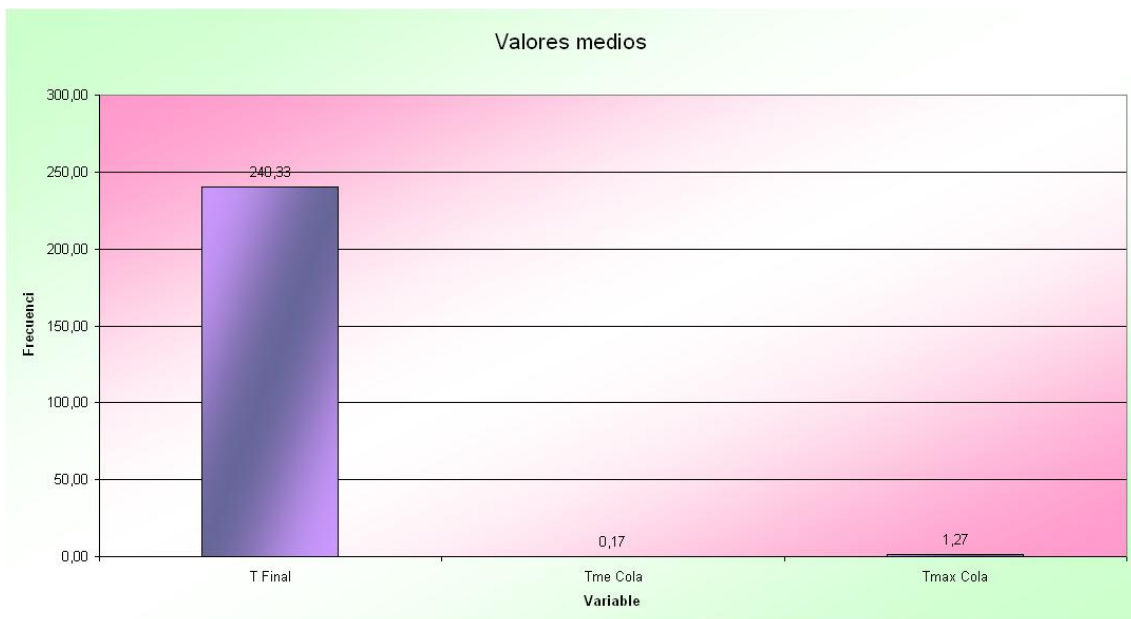
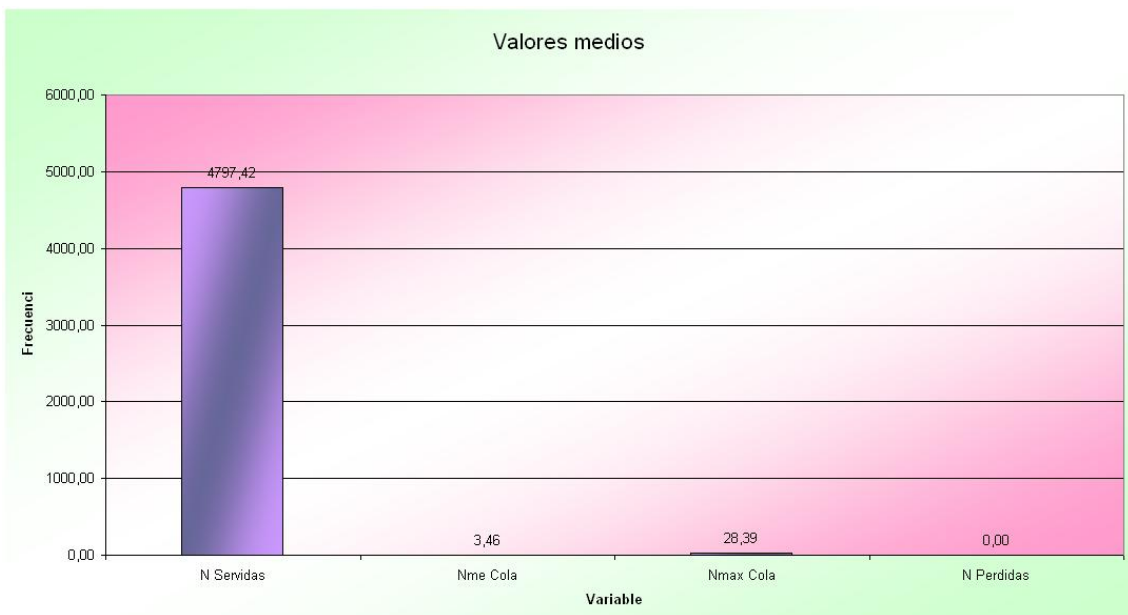
1	SIMCOLAS REPORT									
2										
3										
4	12/01/2006 13:17									
5										
6	Inputs									
7										
8	Distrib. tiempos entre llegadas:	Exponencial			Duración de la simulación:	00:00:28				
9	Parámetro 1 (L1):	0,05			Nº servidores:	3				
10	Parámetro 2:				Nº máx. entidades en cola:	1000				
11					Duración de cada iteración:	240				
12					Nº de iteraciones:	1000				
13	Distrib. tiempos servicio:	Exponencial								
14	Parámetro 1 (L2):	0,125								
15	Parámetro 2:									
16										
17	Outputs									
18	T Final	N Servidas	Tme Cola	Tmax Cola	Nme Cola	Nmax Cola	Util Serv.	N Perdidas	% Perdidas	
19	240,73	4765	0,16	1,00	3,16	23	82%	0	0%	
20	240,00	4764	0,13	1,11	2,52	26	81%	0	0%	

1019	Resumen de resultados por variable										
1020											
1021											
1022	T Final	N Servidas	Tme Cola	Tmax Cola	Nme Cola	Nmax Cola	Util Serv.	N Perdidas	% Perdidas		
1023	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	Nº Observ.	
1024	240,33	4797,42	0,17	1,27	3,46	28,39	0,83	0,00	0,00	Media	
1025	240,31	4797,96	0,17	1,25	3,41	27,97	0,83	0,00	0,00	Media Acot.	
1026	0,27	70,30	0,04	0,30	0,76	6,66	0,02	0,00	0,00	Desv. St.	
1027	0,01	2,22	0,00	0,01	0,02	0,21	0,00	0,00	0,00	ES Media	
1028	240,00	4547,00	0,09	0,68	1,64	16,00	0,78	0,00	0,00	Min	
1029	242,19	5003,00	0,34	2,93	6,96	63,00	0,89	0,00	0,00	Max	
1030	240,14	4753,00	0,15	1,06	2,93	24,00	0,82	0,00	0,00	Q1	
1031	240,26	4797,00	0,17	1,22	3,35	27,00	0,83	0,00	0,00	Mediana	
1032	240,47	4845,00	0,19	1,43	3,86	32,00	0,84	0,00	0,00	Q3	
1033											

Figures 23 – 24: Entrades i resum de sortides en el sisè experiment

- Els clients servits són 4797, pràcticament els mateixos que abans, 4801.
- Igual que abans, no n'hi ha clients que no hagin pogut entrar al sistema.
- El temps mitjà d'espera a la cua és de 0,17 minuts, pràcticament el mateix que abans (0,15 minuts).
- El temps mitjà màxim d'espera a la cua és exactament igual que abans: 1,25 minuts.

Gràficament també es pot observar la coincidència en els valors obtinguts:



Figures 25 - 26: Gràfics de freqüències i de temps en el sisè experiment

Acabo de comprovar que amb el mateix nombre de servidors que teníem al començament, però més potents, hem pogut optimitzar el sistema. Ara bé, que passaria si en un moment donat es produís una allau de clients?. Seria capaç el sistema de servir totes les demandes?. Anem a veure que passa si doblem la capacitat de la cua.

4.7.7. Setè experiment de simulació

Si augmentem el nombre de clients a la cua fins a 2000, veiem que no n'hi ha cap variació apreciable:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	SIMCOLAS REPORT									
3										
4		12/01/2006 13:20								
5										
6	Inputs									
7										
8		Distrib. tiempos entre llegadas:	Exponencial			Duración de la simulación:		00:00:28		
9		Parámetro 1 (L1):	0,05							
10		Parámetro 2:				Nº servidores:		3		
11						Nº máx. entidades en cola:		2000		
12						Duración de cada iteración:		240		
13		Distrib. tiempos servicio:	Exponencial			Nº de iteraciones:		1000		
14		Parámetro 1 (L2):	0,125							
15		Parámetro 2:								
16										
17	Outputs									
18	T Final	N Servidas	Tme Cola	Tmax Cola	Nme Cola	Nmax Cola	Util Serv.	N Perdidas	% Perdidas	
19	240,37	4858	0,20	1,17	4,06	31	85%	0	0%	
20	240,15	4745	0,13	0,86	2,55	21	82%	0	0%	
1019										
1020	Resumen de resultados por variable									
1021										
1022	T Final	N Servidas	Tme Cola	Tmax Cola	Nme Cola	Nmax Cola	Util Serv.	N Perdidas	% Perdidas	
1023	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	Nº Observ.
1024	240,34	4801,55	0,17	1,27	3,50	28,40	0,83	0,00	0,00	Media
1025	240,32	4801,70	0,17	1,25	3,45	27,98	0,83	0,00	0,00	Media Acot.
1026	0,27	68,93	0,04	0,31	0,79	6,83	0,02	0,00	0,00	Desv. St.
1027	0,01	2,18	0,00	0,01	0,03	0,22	0,00	0,00	0,00	ES Media
1028	240,00	4576,00	0,08	0,68	1,63	15,00	0,78	0,00	0,00	Min
1029	242,17	5000,00	0,39	2,93	8,05	58,00	0,88	0,00	0,00	Max
1030	240,14	4754,00	0,15	1,05	2,95	24,00	0,82	0,00	0,00	Q1
1031	240,30	4801,50	0,17	1,22	3,35	27,00	0,83	0,00	0,00	Mediana
1032	240,49	4849,00	0,20	1,42	3,95	32,00	0,84	0,00	0,00	Q3
1033										
1034										

Figures 27 – 28: Entrades i resum de resultats del setè experiment

A la vista d'aquests resultats, podem afirmar que el sistema respon correctament als objectius proposats i és capaç de fer front a eventuals augments de peticions de servei.

4.8. Conclusions

En l'apartat de conclusions, d'una banda, extrauré les conclusions pròpies derivades de l'anàlisi dels resultats obtinguts en els experiments de simulació portats a terme. D'altra banda, em referiré a les sensacions que he tingut respecte a la utilització del complement SimColas.

4.8.1. Conclusions dels experiments

Resumint en una taula els resultats obtinguts en els diferents experiments tenim, en valors mitjans, els següents resultats:

Experiment de simulació n°	Nombre de Servidors	Temps de servei de cada servidor	Nombre màxim d'entitats a la cua	N Servidas	N Perdidas	Tme Cola	Tmax Cola	Util Serv.
1	3	0.25	100	2979	1821	7.86	10.62	100%
2	3	0.25	50	2930	1869	3.95	5.97	100%
3	3	0.25	200	3079	1721	15.19	19.49	100%
4	4	0.25	200	4036	760	10.72	14.57	100%
5	6	0.25	100	4801	0	0.15	1.25	83%
6	3	0.125	1000	4797	0	0.17	1.25	83%
7	3	0.125	2000	4802	0	0.17	1.27	83%

En una primera simulació, he pogut comprovar com el sistema actual no és capaç d'oferir un bon servei. Amb els resultats obtinguts m'he portat una bona sorpresa, doncs em pensava que amb només 100 clients a la cua es podia oferir un servei acceptable, però amb 1821 clients perduts no es compleix l'objectiu de servir totes les peticions.

Amb la segona simulació, he intentat veure què passava si reduïa el nombre de clients de la cua a la meitat per tal d'aconseguir tenir menys clients perduts. Al fer-ho he comprovat que no només hi havia una lleugera disminució en el nombre de clients servits sino que també s'hi reflectia un lleuger augment en el nombre de clients perduts.

Aquests resultats tenen la seva lògica ja que si disminuïm la cua estem disminuint les possibilitats d'entrada al sistema. De fet el què hem fet és treure pressió al sistema per a què serveixi a més clients i aquest es pot dedicar millor a donar servei als clients que ja han entrat. D'aquí que ens trobem que la única dada que ha millorat sensiblement sigui el temps d'espera a la cua. Tot i així, amb un temps mitjà d'espera a la cua de 3,95 minuts no es pot considerar que s'hagi ofert un bon servei. Com a conseqüència, tenim els clients força descontents.

En aquest segon experiment m'adono de que l'optimització del sistema no passa per reduir el nombre de connexions dels clients amb l'objectiu de millorar la resposta. Per on passa, doncs?

En el tercer experiment, augmento el nombre d'entitats a la cua per veure com reacciona el sistema. He vist que el nombre de clients servits, lògicament, ha augmentat i el de clients perduts ha disminuït. Fins aquí bé, però el temps d'espera a la cua augmenta més del doble. Puc augmentar el nombre de connexions dels clients, però això repercuteix en una disminució de la qualitat del servei. És a dir, tinc molts clients, però no els serveixo bé. És aquí on acabo pensant que l'optimització del sistema passa per millorar els paràmetres de temps mitjà de servei i d'espera a la cua pels clients servits.

Amb els objectius d'optimització clars, intento millorar el sistema afegint més servidors amb les mateixes característiques que els ja existents. Observo, en la quarta i cinquena simulació com anant augmentant el nombre de servidors, el sistema reacciona d'una manera acceptable, fins que amb 6 servidors arriba a ser capaç de servir tots els clients en un temps òptim i sense arribar al màxim del seu rendiment.

Fins aquí, els resultats obtinguts indiquen que he aconseguit optimitzar el sistema, però em queda el dubte de què passaria si, en comptes d'afegir més servidors, es decidís renovar el sistema amb servidors nous més potents capaços d'oferir uns temps de servei més petits.

En el sisè experiment de simulació, observo com amb el mateix nombre de servidors, que teníem al principi, però amb més capacitat de servei, és possible optimitzar el sistema en les mateix condicions que si tinguéssim 6 servidors dels antics. Només em quedava comprovar si el sistema era capaç de servir un sobtat augment de clients.

En la setena i última simulació, he pogut comprovar com el sistema, a més de oferir un bon servei, és capaç de fer front a un eventual allau de clients.

Per tant arribem ja al moment crític de l'experiment: la presa de decisions.

1. Puc ampliar el sistema amb tres servidors més, de característiques similars a les que tenia
2. O puc comprar tres nous servidors.

En el primer cas hem de tenir present que els servidors poden estar arribant ja al final de la seva vida útil. Això implica un augment de costos en manteniment i possibles aturades del servei. Altres aspectes a tenir en compte són el fet que augmentar el nombre de servidors també implicaria redissenyar la xarxa (més cablatge, més connexions, etc.) i ocupar més espai físic. I per últim donat l'avanç tecnològic d'aquest camp segurament el sistema quedaria aviat obsolet i no ens assegura, a més, que no es col·lapsi.

Decantar-se pels tres servidors nous, tot i que sobre el paper no es dona un millor servei que en l'altre cas sembla l'opció més adient. En un principi pot semblar una despesa econòmica important, però hem de pensar que ens estem assegurant una bona resposta a les necessitats i que el sistema pot estar operatiu durant molts anys (els suficients per amortitzar àmpliament la despesa).

Resumint i fent un símil automobilístic, podríem dir que quan el cotxe, després d'uns anys d'ús ininterromput, ha de visitar molt sovint el mecànic, ja podem pensar en canviar-lo. De la mateixa manera, crec que ha arribat el moment de canviar el sistema.

En tot cas l'última decisió sempre la té l'empresari. La nostra feina ha estat mostrar-li els resultats obtinguts de forma el més comprensible possible per a que ell tingui criteri propi per a la decisió.

4.8.2. Conclusions sobre el SimColas

Durant la realització d'aquest treball he tingut l'oportunitat de conèixer aquesta aplicació. De les moltes aplicacions existents, que igualment haurien anat bé per a la confecció del projecte, m'he decidit per aquesta bàsicament per la seva facilitat d'ús i perquè he entès el seu funcionament des de bon començament. Ho vaig intentar amb una altra aplicació anomenada SimProcess però en moltes ocasions em perdia en el seu funcionament i els resultats obtinguts no eren, ni molt menys, coherents. Amb això no vull dir que no sigui una bona eina, al contrari, em sembla molt bona, però en el meu cas concret no disposava del temps suficient i els coneixements necessaris per treure-li el màxim profit.

Tampoc disposava dels coneixements necessaris per desenvolupar en poc temps un model mitjançant la seva programació amb algun dels llenguatges més coneguts en l'àmbit de la programació. Així li ho vaig fer saber al consultor encarregat de la direcció del meu treball i ell em va proposar fer servir una eina que ell mateix havia desenvolupat feia temps. Aquesta eina era el SimColas i la seva finalitat consisteix en l'estudi de cues d'espera, dintre de la Simulació d'Edeveniments Discrets.

La seva dificultat, potser radica en la interpretació dels resultats obtinguts. A primera vista sembla difícil d'analitzar les dades resultants en relació a les entrades que es produeixen, però aqueta dificultat va desapareixent a mesura que es va fer ús de l'eina.

Des del meu punt de vista crec que aquesta eina ha aconseguit amb escreix els objectius que m'havia marcat per a l'estudi del sistema escollit. Cal insistir, però, que no és un estudi complet ja que per això, potser s'hauria d'emprar eines més elaborades que fossin capaces d'estudiar altres aspectes del sistema com per exemple velocitats de transmissió, comportament del cablejat, etc.

5. GLOSARI

Activitat: Anomenem activitats a les operacions que les entitats reben durant el seu moviment a través del sistema i determinen el comportament del model de simulació.

Aprenentatge virtual: Sistema d'aprenentatge en que es fa ús de les noves tecnologies de la informació per a simular un espai o campus virtual on poder rebre la formació de forma asincrònica o sincrònica segons convingui.

Closetime: Temps d'execució de la simulació.

Coll d'ampolla. S'entén com a coll d'ampolla totes aquelles situacions en que el sistema és incapaç de donar una resposta eficient davant una entrada massiva de events.

Cua: La cua o *buffer* és un àrea de memòria en la qual es van emmagatzemant les entitats (clients) en espera que quedi lliure un recurs (servidor) per a ser ateses.

Distribució exponencial: Descriu processos en els que ens interessa conèixer el temps fins que ocorre un event determinat. El temps que pot ocórrer un event determinat des d'un instant determinat fins que ocorre no depèn del temps transcorregut anteriorment en el que no ha passat res.

Entitat: Element que normalment flueix pel sistema i que té una vida finita dintre del model. En aquest model, una entitat seria un client que es connecta i entra en la cua d'espera.

FIFO: Disciplina de la cua que respecta l'ordre d'arribada de les entitats a la cua, essent la primera a arribar la primera en ser servida (First-In-First-Out).

Generació de nombres pseudo-aleatoris: Procés computacional mitjançant el qual s'obtenen nombres aleatoris a partir d'un primer nombre anomenat *llavor*. Aquest primer nombre és l'únic obtingut d'una manera verdaderament aleatòria, la resta s'obtenen a partir d'aquest i s'anomenen *pseudo-aleatoris*.

Inputs: Paràmetres d'entrada. Són les entrades del sistema introduïdes per l'usuari mitjançant el formulari.

Iteració: Una iteració és el temps que el sistema està operatiu.

Outliers: Dades extremes que distorsionen el valor de la mitjana en una distribució de dades estadístiques.

Outputs: Paràmetres de sortida. Són les sortides del sistema un cop acabats els serveis fets a les entitats.

Procés: Descripció d'un conjunt d'activitats que una determinada entitat ha de desenvolupar dintre del model.

Recursos: Un recurs és qualsevol element del sistema la capacitat del qual estigui restringida. Normalment, els recursos desenvolupen una tasca o un servei el destinatari del qual són les entitats del sistema. En aquest model, els recursos serien els servidors.

Simulació: Conjunt de tècniques matemàtiques que fan ús dels ordinadors per a modelar sistemes o processos, fer càlculs i generar informes numèrics o gràfics. La simulació permet d'imaginar nous sistemes i analitzar, mitjançant observació directa, el seu comportament (fins i tot abans que hagin estat construïts).

Sistema. És un tot organitzat. Una entitat material formada per parts organitzades anomenades components que interactuen entre si de tal manera que les propietats del conjunt no es poden deduir per complet de les propietats de les seves parts.

Sistema dinàmic. És un sistema, l'estat del qual pot evolucionar al llarg del temps.

Sistema estàtic. És un sistema en el que l'estat no varia, continua constant al llarg del temps.

Sistema informàtic: Conjunt format per elements hardware i software que constitueixen els recursos als quals arriben les peticions dels usuaris amb la finalitat de ser ateses. Col·loquialment, podríem dir que es tracta d'un o varis ordinadors amb un sistema operatiu i programes (software) necessaris per l'usuari.

Sistema informàtic distribuït: Conjunt de sistemes informàtics autònoms que són capaços de comunicar-se i interaccionar entre sí mitjançant interconnexions hardware i software. A nivell d'usuari es coneix com a *xarxa*.

Teoria de cues: Estudi mitjançant models matemàtics del comportament de les cues o línies d'espera. L'objectiu de la Teoria de cues és identificar el nivell òptim de capacitat del sistema que minimitza el seu cost global.

Variable aleatòria: Variable que pren diferents valors com resultat d'un experiment aleatori. En el model, tenim dues variables aleatòries: temps d'arribada d'una nova entitat a la cua i temps que triga el recurs en realitzar el servei a l'entitat. Les dues segueixen una distribució exponencial.

Variable discreta: Variable que només pren valors determinats.

6. REFERÈNCIES

BIBLIOGRÀFIQUES

Banks, J. (1998): *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications and practice*.
Ed. John Wiley & Sons, EMP. New York.

Puigjanet, R. (1995): *Evaluación y explotación de sistemas informáticos*.
Ed. Síntesis, DL. Madrid.

Molero, X., Juiz, C., Rodeño, M.J. (2004): *Evaluación y modelado del rendimiento de los sistemas informáticos*.
Ed. Prentice Hall, Madrid.

Mital, K.V. Trad: Garcia, G. (1984): *Métodos de optimización en investigación de operaciones y análisis de sistemas*.
Ed. Limusa, México D.F.

Hills, P. R. (1973) : *An introduction to Simulation*.
Ed. NEC, Oslo

S. Carson II, John (2004): "Introduction to modeling and simulation".

Keezer, W. S. (1997): "Simulation of computer systems and applications".

Sinclair, J. B. (2004): "Simulation of Computer Systems and Computer Networks: A Process-Oriented Approach".

Kamen, E., Singh, S.: "A Comparative Reliability Study of Computer Network Configurations for Large-Scale Accelerator Systems".

Helsgaun, K.: "Discrete event simulation in Java"

Marzolla, M. : "Distributed Simulation of Large Computer Systems".

Fonseca, P.: "Eines de simulació".

Fonseca, P., Juan, A. A.: "Introducció a la simulació i simulació de Montecarlo".

Fonseca, P., Juan, A. A.: "Fiabilitat de sistemes amb Visual Basic".

Fonseca, P., Juan, A. A.: "Simulació d'esdeveniments discrets".

Fonseca, P.: "Pràctiques de simulació discreta amb Java".

Juan, A. A., Faulin, J.: "Simulació de cues amb Visual Basic".

ENLLAÇOS

<http://www.wintersim.org/pastprog.htm>

Winter Simulation Conference

<http://www.decisiontoolpak.com/>

TreePlan

<http://www.mirror-service.org/sites/home.ubalt.edu/ntsbarsh/Business-stat/excel/excel.htm>

Excel for Statistical Data Analysis

<http://www.idsia.ch/~andrea/simtools.html>

Simulation Tools

<http://www.me.utexas.edu/~jensen/ORMM/frontpage/jensen.lib/index.html>

ORMM Excel Add-ins

<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4030011/index.html>

Universidad Nacional de Colombia.