

# Els efectes del retard

Albert Ribes Marzá

13 de juny de 2017

## Resum

With this project we continue in the same line as the previous ones. We are interested in evaluating the performance we can get by modifying some of the issues in a bus line. We've been summing up a little from the first versions we had. In the beginning we were evaluating a system where there were many lines, and had some things into account like the traffic backup that would be produced when many buses from different lines happened to meet at the same point. In a later version we were more interested in the amount of time a client may have to wait until the bus arrive, taking into account that at certain hours of the day more people need to take the bus than in others.

For this project we have realized that a tiny delay in the beginning can cause a very big mess in the end if it is not handled well. Therefore, we have developed a study which helps us see what will be the results after taking some decisions over the schedule of the buses

## Índex

<b>1</b>	<b>Descripció del sistema</b>	<b>2</b>
1.1	Descripció informal . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Objectius</b>	<b>2</b>
2.1	Generals . . . . .	2
2.2	Específics . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Descripció del model a implementar</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Aspectes metodològics</b>	<b>4</b>
4.1	Motor de simulació emprat . . . . .	4
4.2	Justificació de l'us del paradigma de simulació . . . . .	4
<b>5</b>	<b>Especificació en detall del model</b>	<b>4</b>
5.1	Hipòtesis de simulació usades . . . . .	4
5.1.1	Simplificadores . . . . .	4
5.1.2	Sistèmiques . . . . .	5
5.2	Objectes . . . . .	5
5.3	Paràmetres . . . . .	6
5.4	Variables d'estat . . . . .	7
5.5	Successos . . . . .	7
5.6	Dades d'entrada . . . . .	7

5.6.1	Taules explicatives de les dades . . . . .	8
5.6.2	Reflexió sobre la aleatorietat dels processos . . . . .	8
5.6.3	Utilitat de la introducció de la aleatorietat . . . . .	8
5.7	Variables de sortida . . . . .	8
5.7.1	Tipologia . . . . .	8
5.7.2	Format . . . . .	9
5.7.3	Representació . . . . .	9
<b>6</b>	<b>Diseny d'experiments</b>	<b>9</b>
6.1	Possibles ampliacions de l'estudi . . . . .	9

## 1 Descripció del sistema

### 1.1 Descripció informal

Es vol estudiar el sistema d'una línia d'autobús. Hi ha una sèrie de parades, distribuïdes per tot el camí, autobusos que comencen el seu recorregut cada cert temps en una parada d'inici i acaben en una de destí, i també hi ha persones, que tenen una parada d'inici i una parada de destí, i que agafaran els autobusos per fer el seu camí.

S'ha comprovat que hi ha un fenomen que podria ser el causant de molts endarreriments importants en molts sistemes similars: donat que les persones necessiten un cert temps per pujar a l'autobus, i han de pujar d'una en una, el fet d'haber-hi més persones a la parada pot endarrerir el recorregut. Però com que a mida que va passant el temps van arribant més persones a la resta de les parades, succeeix una reacció incremental en cadena: es produeix un retard pel motiu que sigui en un moment donat, això fa que s'arribi una mica més tard a la següent parada, causant que hi hagi més gent esperant, endarrerint encara més el recorregut per a la següent parada, i així successivament.

No és únicament el temps del recorregut que es veu afectat per aquest fenomen. També es veuen afectats els temps d'espera que han de fer els clients a les estacions, la ocupació que han de suportar els autobusos, etc.

Per intentar minimitzar aquest efecte, es pot estudiar el comportament d'una línia d'autobus per a uns certs paràmetres, i prendre una decisió al respecte.

## 2 Objectius

### 2.1 Generals

Aquest projecte de simulació té per objectiu entendre com poden afectar les decisions preses en els horaris d'una línia de autobus en la velocitat de la mateixa. S'estudien algunes de les situacions en les que pot estar un autobús en un moment donat, la situació de les persones que l'han de fer servir i la interacció que tenen diferents autobusos d'una mateixa línia; i es preten veure quines decisions s'han de prendre per minimitzar efectes no desitjats i maximitzar els desitjables.

## 2.2 Específics

Concretament, aquest projecte vols estudiar els següents aspectes:

### Respecte els autobusos

- La quantitat de retard que tenen els autobusos deguts a l'efecte descrit anteriorment
- Els avançaments que por haber de fer un autobús a un altre deguts a retards en el primer

### Respecte les parades

- El temps que han d'esperar els clients per agafar el seu autobús.

### Respecte al recorreguts

- La ocupació que ha de suportar un autobús en el cas que hi hagi algun retard.

De tots aquests aspectes volem recollir valors mitjans, valors màxims i quantitat total d'incidències.

Aquestes dades es podran utilitzar per modificar aspectes de la línia com:

- **Topologia de la línia:** posar més o menys parades en un recorregut, i com de separades
- **Frequència de sortida d'un nou autobús:** també està relacionat amb la quantitat total d'autobusos per a la línia
- **Capacitat dels autobusos:** si és millor posar pocs autobusos amb molta capacitat o el contrari, molts i petits
- **Velocitat dels autobusos:** potser és recomanable fer obres a la carretera per millorar aquest aspecte
- **Velocitat per pujar a l'autobus:** posar més portes d'entrada o eixamplar el passadís ajuden en aquest aspecte

És fora de l'abast d'aquest projecte estudiar el comportament de les persones en una ciutat, els retards produïts per altres aspectes, com avaries o mala circulació, i les hores punta del dia a dia. És per això aquest tema s'han ignorat en la simulació o s'han simplificat enormement, com per exemple la aparició de persones noves. Si per algun posterior estudi fos necessari estudiar algun d'aquests aspectes es podria modificar l'actual simulació.

## 3 Descripció del model a implementar

El model que s'ha implementat és el següent:

S'estudia una sola línia d'autobus no cíclica. La línia té parades distribuïdes per tot el recorregut. Amb una certa freqüència prefixada i amb un factor aleatori van apareixent persones en el model en una certa estació, i tenen una altra

com a destí. També amb una certa freqüència es van generant autobusos nous, que fan tot el recorregut, sempre en el mateix ordre, fins que arriben a l'última estació. Quan arriben a una parada, els passatgers que la tenien com a destí hi baixen, i els que estaven esperant que arribés i pugen. Sempre podrà haver una quantitat arbitràriament gran de persones en un autobús independentment de la seva capacitat, però es comptabilitzarà la sobrecàrrega que hi hagi hagut i durant quant de temps.

La quantitat de persones que pugen en una estació afecta el seu recorregut: si hi ha més persones l'autobús està més temps parat en aquell lloc fins que torni a avançar.

## 4 Aspectes metodològics

El model de simulació emprat és discret: es va executant pas a pas, i en cada un es recull molta informació. En acabar la simulació es mostren totes les dades d'una forma entenedora.

### 4.1 Motor de simulació emprat

El motor de simulació emprat per fer l'estudi és un programa propi, escrit per mi amb el llenguatge de programació "Python". Donat que aquest model no requeria gràfics ha sigut una eina adequada tenint en compte la flexibilitat que ofereix i la velocitat de desenvolupament. També ens permet tenir una visió més clara del que realment s'està executant, i facilita afegir més funcionalitat més endavant. També és avantatjós que es tracta d'un llenguatge multi-plataforma i lliure.

### 4.2 Justificació de l'us del paradigma de simulació

S'ha fet servir un paradigma de simulació discreta. Els motius han sigut:

- Simplicitat: el codi és més senzill i menys propens a errors
- He considerat que aquest tipus de model tindria un resultat molt similar en una simulació discreta i en una contínua. El motiu és que es tracta d'un estudi a llarg termini, és a dir: s'estudia es que succeeix al llarg del temps, i no en un instant determinat.
- Facilitat: programar un simulador discret és més senzill que un de continu
- Eficiència: els càlculs es simplifiquen i es poden fer de forma més ràpida, consumint menys recursos.

## 5 Especificació en detall del model

### 5.1 Hipòtesis de simulació usades

#### 5.1.1 Simplificadores

Per fer la simulació s'han fet les següents hipòtesis simplificadores:

- **La generació dels clients en el model.** Ja s'ha indicat prèviament que l'estudi del comportament de les persones queda fora de l'abast d'aquesta simulació. Per això s'ha suposat que les persones arriben amb un freqüència més o menys constant i que escullen origen i destí aleatòriament. Si per a posteriors estudis fos necessari tenir en compte aquest aspecte es podria modificar el simulador, però aquest no és el cas.
- **No es tenen en compte retards per altres causes.** Igual que abans, aquesta simulació únicament preten estudiar el fenomen descrit anteriorment, i no es tenen en compte altres aspectes com podrien ser avaries en els autobusos o embussos en la via pública. Es considera que això no afecta al nostre estudi.
- **La velocitat és constant.** Realment els autobusos han de reduir velocitat quan s'apropen a una parada i han d'accelerar quan es posen en marxa, i això no succeeix en la simulació. De la mateixa manera, en el cas que una estació estigui buida i arribi un autobús, no és té en compte cap tipus d'endarreriment, encara que hagin de baixar persones.
- **Simulació discreta.** Hem fet la hipòtesi que un model de simulació discreta tindria uns resultats similars als que tindria una simulació contínua.

### 5.1.2 Sistèmiques

Per fer la simulació s'han fet les següents hipòtesis sistèmiques:

- **Temps relatius.** El que es triga en fer algunes accions són paràmetres d'entrada de la simulació, i es suposa que estan ben proporcionats. Per exemple, hauria d'haber-hi una certa proporció entre el temps que triguen les persones en pujar a l'autobus i la velocitat que té aquest.
- **Velocitat dels autobusos.** S'ha suposat que tots els autobusos es mouen a la mateixa velocitat, tot i que en el món real això pot dependre dels conductors o de la situació de la via pública.
- **Totes les estacions són igual de populars.** Totes poden rebre una persona nova amb una mateixa probabilitat. En el món real hi ha parades en les que hi puja molta gent i altres en les que hi puja menys gent.
- **Es pot superar la capacitat màxima dels autobusos.** Es permet que hi hagi més persones que la capacitat màxima del autobús, però es té en compte a l'hora de recollir les dades. En un cas real pot passar que algunes persones no puguin entrar per falta d'espai.
- **Un horari uniforme.** Tots els autobusos surten amb un mateix període de temps, no depen de la hora o dels horaris que es puguin haber fixat, com succeiria en un cas real.

## 5.2 Objectes

Els objectes definits en el model són:

**Autobús** Són els que es mouen per tota la línia i van recollint persones. Els atributs que tenen són:

- Capacitat
- Per cada instant de temps, la ocupació que han tingut
- La posició actual
- L'estat: en circulació o acabat el recorregut
- La quantitat d'autobusos als quals ha avançat

**Estació** Són els llocs on esperen les persones i a on els autobusos les recullen. Té els atributs següents:

- La seva posició en el recorregut
- Les persones que estan esperant allà
- Per cada autobús que ha passat, el moment en el que ha passat

**Persona** Són les que s'han de desplaçar d'una parada a una altra mitjançant els autobusos. Els atributs que tenen són:

- La parada d'origen
- La parada de destí
- L'instant de temps en que ha entrat en el model
- L'instant de temps en el que ha pujat en el seu autobús
- L'estat, que pot ser “esperant”, “viatjant” o “acabat”

### 5.3 Paràmetres

Els paràmetres que té en compte aquesta simulació i en els quals es basa per a poder fer tots els càlculs són els següents:

- **La posició de cada una de les parades.** S'especificuen en el fitxer `topology/stations`
- **Els tipus d'autobús que hi ha.** Cada tipus d'autobús té una capacitat màxima i una proporció respecte la resta de tipus.
- **Frequència d'aparició de les persones.** Pot ser un real entre 0 i 1 i també pot ser un enter més gran que 1. Indica quants steps han de passar per a que es generi una nova persona. Sí és menor a 1 es generaran diverses persones cada step, i si és més gran trigarà aquell temps en generar una. És el paràmetre “`people.freq`” dins dels fitxers `params/params`
- **La velocitat dels autobusos.** Indica quantes posicions del recorregut avancen els autobusos en cada step. És el paràmetre “`bus.speed`” dins del fitxer `params/params`

- **La quantitat d'execucions.** Permet fer varies execucions amb uns mateixos paràmetres. És el paràmetre “num\_exec” dins del fitxer params/params
- **Temps per pujar a l'autobus.** El temps que triga cada persona en pujar a l'autobus quan aquest està a la parada. És un enter. És el paràmetre “load\_time” dins del fitxer params/params
- **La freqüència amb la que es generen nous autobusos.** Indica els steps que han de passar fins que es generi un nou autobús. És sempre una quantitat entera. És el paràmetre “bus\_freq” dins del fitxer params/params
- **Steps totals d'execució.** Indica durant quant de temps es mantindrà en marxa l'execució. És el paràmetre “exec\_steps” dins del fitxer params/params
- **Temps permés per cada parada.** Indica els temps que pot estar un autobús a una parada sense que es consideri que va endarrerir. És el paràmetre “time\_per\_station” dins del fitxer params/params.

## 5.4 Variables d'estat

Durant cada instant de temps es mantenen les variables següents:

- L'instant de temps actual
- La informació de cadascun dels autobusos
- La informació de cadasuna de les parades
- La informació de cadascuna de les persones
- El nombre de l'execució que s'està fent. El simulador permet executar varies vegades amb els mateixos paràmetres.

## 5.5 Successos

Els successos que es poden produir durant la simulació són:

- Un nou autobús comença el seu recorregut
- Una nova persona ha arribat a una estació
- Un autobús ha arribat a una estació
- Un autobús ha avançat un altre
- Un autobús ha acabat el seu recorregut

## 5.6 Dades d'entrada

Les dades d'entrada són els paràmetres que s'han indicat prèviament. Aquesta es tota la informació que es pot variar d'execució en execució.

### 5.6.1 Taules explicatives de les dades

Totes les dades d'entrada per a la simulació són escrites es fitxers de dades. Per modificarles només és necessari modificar aquests fitxers. *MAI* és necessari modificar el codi del simulador per a modificar una dada d'entrada.

### 5.6.2 Reflexió sobre la aleatorietat dels processos

No hi ha massa aleatorietat durant la execució d'aquesta simulació, però una mica sí que hi ha. El motiu és que preten simular un entorn que no és del tot determinista, però que està molt relacionat amb patrons horaris i repetició de les mateixes accions. Per això no es pot predir exactament com serà el dia a dia d'una línia d'autobús, però sí que es poden fer aproximacions bastant segures.

La dificultat d'aquest estudi no resideix en la incertesa de les dades sino en el fet que poden ser una mica caòtiques. És per això que no es consideren massa importants les distribucions utilitzadas, sent conscients que si en el futur tinguessin un paper més important s'hauria d'estudiar millor.

### 5.6.3 Utilitat de la introducció de la aleatorietat

En aquesta simulació la aleatorietat es fa servir per fer el sistema una mica més caòtic i per tenir un ventall més ampli de les possibilitats a estudiar, però no juga un paper important en les resolucions preses després d'aquest estudi.

## 5.7 Variables de sortida

Les variables de sortida que té aquesta simulació són:

- Els temps d'espera en promig que han tingut tots els clients fins que ha arribat el seu autobús
- El màxim de temps que ha hagut d'esperar alguna persona per pujar al seu autobús
- La ocupació mitjana que han tingun els autobusos durant tot el recorregut
- La ocupació màxima que hi ha hagut durant tota la execució en algún dels autobusos
- La quantitat de vegades que ha succeït que es superés la capacitat màxima d'un autobús.

### 5.7.1 Tipologia

Les dades de sortia són principalment mitjanes, valor màxims i quantitat de incidències. Això és adequat ja que no es tracta d'una simulació en la que es tinguin en compte moments determinats, sino que es té en compte el comportament que hi ha hagut en conjunt al llarg del temps.



### 5.7.2 Format

Les dades de sortida es treuen en una taula html que estarà situada en el directori output. Per conservar-les després de diverses execucions és necessari canviar el nom dels fitxers o copiar-los fora del directori.

S'ha escollit aquest format per tenir més comoditat en la lectura, però es podria haver escollit qualsevol altre.

### 5.7.3 Representació

Aquest és un model que és útil per a llarg termini. Té sentit per estudiar el que ha ocorregut de manera estadística després de la execució de forma continuada durant molt de temps. És per això que no té cap sentit tenir una representació gràfica en viu de tot el que s'està calculant. L'únic que és important són les dades finals.

Per això no hi ha una representació gràfica durant l'execució. Aquest era un dels motius pels quals s'havia preferit dissenyar la eina de simulació en comptes de fer servir una genèrica: aquesta no requereix tants recursos, que en aquest cas son innecessaris.

La representació de les dades es fa mitjançant un document html.

## 6 Diseny d'experiments

Per fer experiments amb aquest simulador primer cal decidir quina és la prioritat que es tindrà. Podria ser el temps d'espera dels clients, o el preu a pagar per tenir més autobusos, o la falta d'eficiència pel fet de tenir autobusos gairebé buits, etc.

Un cop que s'ha decidit què és el que es vol millorar, s'ha de fer algun tipus d'estudi de quines seran les característiques que tindrà el terreny que es vol simular. Com que es tracta d'un simulador bastant genèric, és important conèixer realment quines seran les paràdes que s'hauran de posar, la quantitat de persones que han de fer servir la línia, la situació de la carretera que s'ha de fer servir...

Quan ja es tenen clares les dades, és necessari configurar correctament el simulador per que pugui reflexar correctament el món real. Cal donar valor adequats al paràmetres d'entrada porque la simulació tingui sentit.

Finalment, l'únic que s'ha de fer és realitzar diverses execucions amb el simulador i estudiar les dades obtingudes. Aquestes seran útils per decidir quins canvis es faran en la ruta.

En cas que es vagin fent canvis, caldrà iterar sobre aquest procés fins que s'adequi al resultat desitjat.

### 6.1 Possibles ampliacions de l'estudi

Aquest estudi es podria ampliar per fer simulació sobre temes que en aquest s'han ignorat. Algunes recomanacions podrien ser:

- Afegir una cerca variabilitat en la aparició de nous clients en funció de l'hora i la ubicació.
- Afegir horaris més complexos per a la sortida dels autobusos

- Afegir les afectacions que poden haver-hi en la circulació degudes a embussos de transit, avaries o accidents.
- Definir realment un límit a partir del qual ja no poden pujar més persones a l'autobus a causa de la capacitat
- Afegir el factor de tenir espais reservats per a persones amb cadires de rodes o altes necessitats.
- Estudiar el cost que té mantenir un cert horari a causa de la quantitat d'autobusos necessaris, el sou dels conductors, la reparació i manteniment del material...
- Afegir en els càlculs els diners que paguen els clients per fer servir aquest servei
- Estudiar models d'autobusos amb més d'una porta o altres sistemes per fer més ràpides les entrades.