



EPS

Escola Politècnica

UdG

Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Industrial. Pla 2002

Títol: Estudi de la mobilitat en diferents xarxes de transport públic

Document: Resum

Alumne: Josep Barberillo Nualart

Director/Tutor: Joan Saldaña Meca

Departament: Informàtica i Matemàtica Aplicada

Àrea: Matemàtica Aplicada

Convocatòria (mes/any): 07/2008

RESUM

Aquest treball de final de carrera s'emmarca dins la línia de treball sobre xarxes complexes que des de fa tres anys duen a terme els professors del departament d'IMA (Informàtica i Matemàtica Aplicada). Concretament es centra en la realització d'un estudi de la mobilitat en diferents xarxes de transport públic. En particular, aquest estudi pretén ser una anàlisi comparativa de conceptes relacionats amb la topologia i navegabilitat de xarxes de metro de diferents països des d'un punt de vista innovador, tot realitzant una aproximació interdisciplinària a l'anàlisi de les xarxes.

Es tracta d'un estudi centrat sobretot en conceptes i mètodes desenvolupats últimament en el camp de les Xarxes Complexes i de la Teoria de la Informació. Això ens ha permès focalitzar les nostres conclusions en les mesures de navegabilitat de les diferents xarxes així com en els paràmetres topològics que ens les defineixen, sense basar-nos en dades geogràfiques ni operatives.

Els sistemes de metro estudiats en el present treball són els de Barcelona, Moscou, París i Nova York (veure Figura 1). Són sistemes que s'han desenvolupat en ambients històrics i culturals molt diversos fet que pot donar lloc a veure si aquesta circumstància és causant de diferències estructurals i de funcionament entre ells o bé si pel contrari segueixen uns patrons de comportament semblants (veure Figura 2).

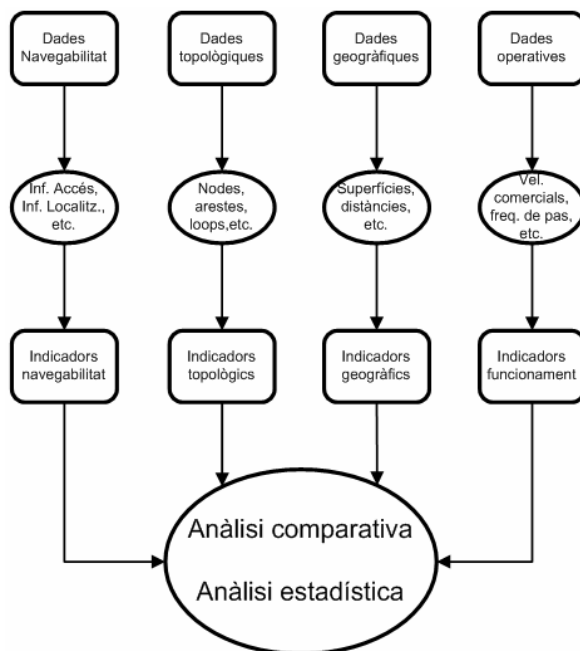
La primera fase del treball es centra en l'obtenció de l'estructura i posterior modelització de les xarxes sotmeses a estudi tot utilitzant grafs. Un cop introduïdes les llistes d'adjacència s'emmagatzema la informació de l'estructura de la xarxa en la corresponent matriu d'adjacència. En aquest cas hem decidit treballar tant en l'espai de representació L com en l'espai P proposats de forma general (Dasgupta, Chatterjee et al. 2003). La primera tipologia (espai L) consisteix en nodes que representen parades de metro. Una aresta entre dos nodes existeix si dues



Figura 1. Vista parcial del sistema de metro de NYC.

estacions són parades consecutives al llarg d'una mateixa línia. Per altra banda, en l'espai P els nodes segueixen representant estacions però en canvi les arestes entre nodes simbolitzen el fet que existeix alguna línia que les uneix sense necessitat de transbord. Conseqüentment, el grau d'un determinat node ve definit, en aquesta tipologia de representació, pel nombre total de nodes als quals és possible arribar des de l'estació en concret sense necessitat de canviar de línia.

Un cop decidit l'espai de treball i a partir de la matriu d'adjacència, aplicant conceptes fonamentals de Teoria de Grafs, obtenim el conjunt de mesures i indicadors que necessitem per poder fonamentar la nostra anàlisi. Per fer-ho s'ha d'haver realitzat amb anterioritat una segona fase important de tasca de programació emprant el



programa MAPLE, tot implementant una rutina amb els diferents algorismes desenvolupats en el camp de l'anomenada "Ciència de Xarxes".

Aquests algorismes ens han permès obtenir mesures que ens descriuen tan la topologia de la xarxa com els seus nivells de navegabilitat. Els paràmetres que ens determinen la topologia de la xarxa són fonamentalment dos:

- Connectivitat de les estacions (incloent el grau mitjà de la xarxa, seqüència de graus del graf, el grau mitjà dels primers veïns i els càlculs dels coeficients d'agrupament i d'assortativitat).
- Camins mínims entre estacions (incloent els càlculs de diàmetre de la xarxa, mesures de proximitat nodal, eficiència d'intercanvi d'informació, internodalitat i efecte embut).

Per altra banda, les mesures de navegabilitat també es recolzen en la base de conèixer els camins mínims entre estacions però, a més, molt lligat amb el terme

informació (número de bits necessaris per accedir a la xarxa o bé per localitzar una determinada estació, etc). Aquest tipus de mesures ens indiquen tant l'habilitat comunicativa de la xarxa com de quina manera es porta a terme aquest flux comunicatiu (com canalitzen el flux les estacions a través seu?, com de vulnerable és la xarxa davant atacs a les seves arestes o estacions?, etc):

- Mesures que ens parlen d'habilitat comunicativa: informació d'accés a la xarxa, informació de localització nodal, model de passeig i de salt (algorisme de classificació de pàgines web de Google).
- Mesures que interpreten el flux comunicatiu: entropia de l'efecte embut i entropia de trajectes.

La tercera fase del treball fa referència a l'anàlisi de resultats en profunditat. S'ha dut a terme mitjançant l'aplicació de diferents mètodes i tècniques d'inferència estadística utilitzant el programa SPSS.

Dels resultats obtinguts se'n desprenen les següents observacions generals:

- Importància cabdal del binomi connectivitat / posició per entendre les mesures obtingudes. A causa del fet que les xarxes no són homogènies la posició d'una determinada estació dins de la xarxa és fonamental. La connectivitat també influeix, si bé és cert que estacions ben situades solen tenir a més grau elevat (veure Fig.3).

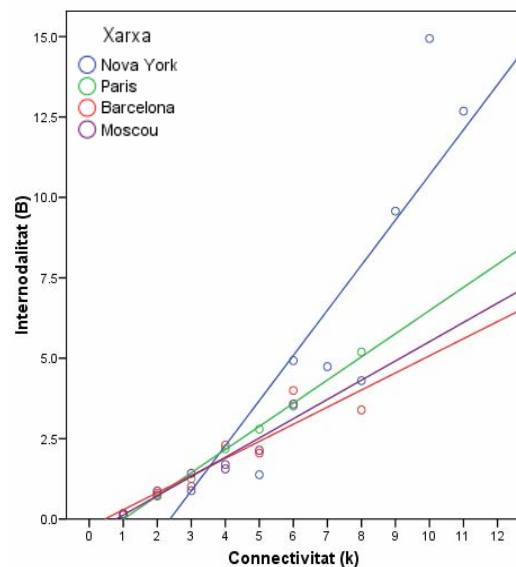
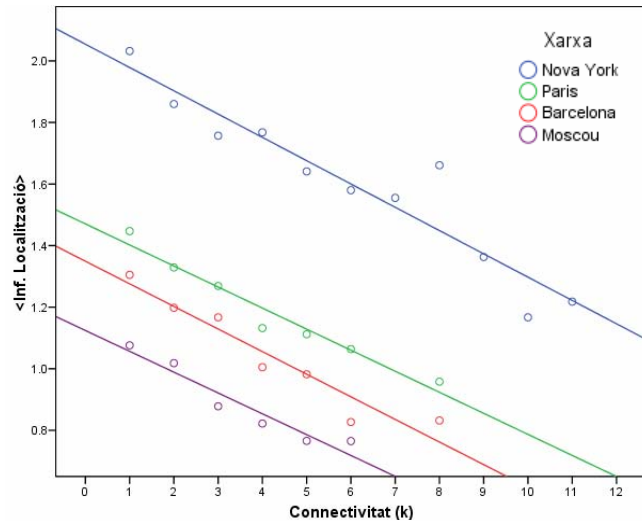


Figura 3. Intermodalitat (B) en funció del grau (k)

- En general, els sistemes de transport públic presenten unes limitacions grans en quan al seu tipus de creixement, nombre i tipologia de les connexions ($\langle k \rangle \approx 2.4$, $\langle c \rangle \approx 0$). Això és degut a la circumstància que estan situades en un estrat molt concret de terreny i que provoca que la xarxa quedi encabida en un pla (bidimensional).

- L'organització de les xarxes ve determinada, en gran mesura, per un comportament operacional comú fruit d'intentar minimitzar la funció cost / efectivitat. Tot i això, si ens fixem en els nivells de connexió, és més fàcil oferir una accessibilitat nodal a les diferents línies quan més gran és la xarxa.

- Comparativament no és més fàcil localitzar una determinada estació en una xarxa que en una altra. Partint d'un nivell d'informació bàsic necessari (que és més gran quant més grandària té la xarxa) la connectivitat de cada estació és l'únic factor que ens



determina la quantitat d'informació imprescindible per trobar-lo (veure Figura 4).

- Les xarxes de metro presenten un comportament que fuig de l'aleatorietat i, per tant, això és significatiu d'una disposició estructural i espacial característica

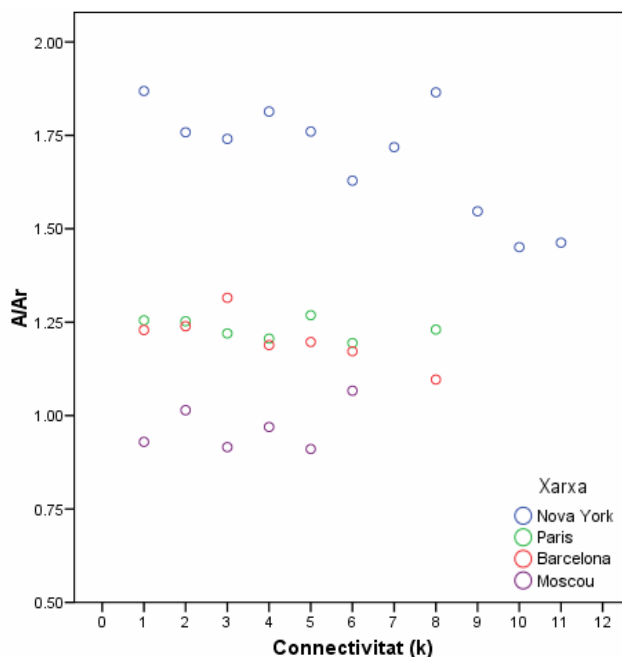
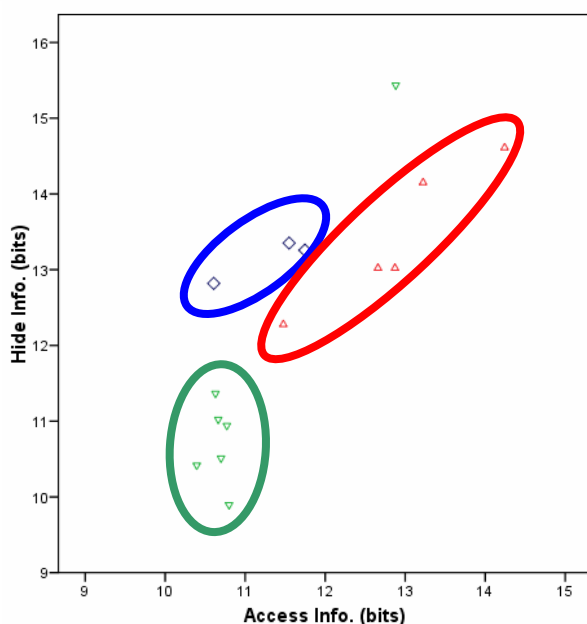


Figura 5. Informació d'accés $\langle A \rangle / \langle A_r \rangle$ en funció del grau (k).

d'aquestes xarxes. En la Figura 5 veiem que quan més mida té la xarxa, menys homogènia és i per tant les diferències d'accessibilitat respecte la mateixa xarxa aleatoritzada es fan cada cop més grans. Les xarxes aleatòries, en canvi, són poc sensibles a variacions de la mida de la xarxa (N).

Figura 6. Informació de localització en funció de l'accessibilitat.



Pel que fa referència a la xarxa de Barcelona hem pogut constatar que destaca la pobra planificació de la seva Xarxa Integrada: TMB, FGC i TRAM. Les diferents empreses explotadores del servei han realitzat una precària tasca de col·laboració global. Cadascuna ha pensat en els seus interessos individuals sense buscar la proposta conjunta més adequada per les diferents zones i barris de la xarxa. En la Figura 6 veiem

aquesta poca homogeneïtat en quan a termes d'accessibilitat es refereix, depenent de si estem en una línia o una altra en funció de qui en realitza l'explotació. Hem observat també l'efecte malla que provoca la nova L9, tot millorant la connexió de la ciutat.

Pel que fa referència a la xarxa de Moscou veiem que la línia circular té uns efectes positius en el conjunt del sistema. Aquesta línia ajuda a descongestionar el centre de la ciutat ja que permet anar de punta a punta de la xarxa

Amb línia circular	Sense línia circular
$\langle T \rangle = 0,1$	$\langle T \rangle = 0,090$

sense haver de passar per les seves estacions centrals. Alhora també millora fins a un 10% la cohesió de la xarxa si pensem en termes de proximitat nodal (T).

En referència a la xarxa de Nova York podem dir que presenta una certa estructura modular marcada amb diferents barris segregats entre si. El barri central és Manhattan i s'observa que els centres dels altres barris (principalment Queens i Brooklyn) estan estructurats molt a prop del centre de Manhattan. És per aquest motiu que apareix un cert comportament assortatiu de la xarxa ($r=0.145$).

Les eines d'anàlisi aplicades en aquest estudi són també extensibles a altres àmbits d'actuació com ara l'anàlisi de la mobilitat en xarxes de carreteres. Seria profitós, un cop adquirida la base de coneixement per afrontar aquest tipus de problema, seguir-hi aprofundint tot realitzant estudis que cada dia més estan esdevenint indispensables per a una millor gestió, planificació i disseny de les xarxes.