

Descripció de les enquestes de mobilitat a Catalunya. Procediment de fusió de matrius de mobilitat per obtenir la matriu general del 2006

Novembre 2010

Resum

Aquest document descriu, en primer lloc, les principals enquestes de mobilitat que es duen a terme a Catalunya, així com les seves aplicacions en la planificació. Posteriorment, detalla el procediment d'obtenció d'una matriu global de mobilitat que recull les diverses informacions sobre mobilitat contingudes en cadascuna de les matrius descrites. Per il·lustrar aquest procés, l'article es clou amb un exemple.

Autoria

Aquest article ha estat redactat per **Xavier Roselló**, adjunt al director tècnic de l'Autoritat del Transport Metropolità (ATM). La segona part, relativa a la fusió de les matrius de mobilitat, descriu la metodologia que es va emprar en el desenvolupament de l'estudi *Elaboració d'una matriu de mobilitat de Catalunya 2006*, iniciat pel Servei de Planejament i Estudis de la Direcció General del Transport Terrestre (DGTT). Per elaborar aquest Estudi, un grup de treball constituït *ad hoc* va mantenir, entre 2007 i 2009, un seguit de reunions on es plantejava el problema d'aprofitar conjuntament la informació continguda en les dues matrius. Els participants en aquest grup de treball, a més de Xavier Roselló, van ser: **Santi Ribas**, cap del Servei de Planejament i Estudis de la DGTT, i **Fèlix Burgos**, de la mateixa Direcció General; **Lluís Herran**, tècnic de la Secretaria per a la Mobilitat; **Francesc Calvet**, de l'ATM; **Josep M. Aragay**, de la Universitat de Barcelona (UB); **Andreu Esquius**, de MCrit; **Francesc Delgado**, de l'Idescat; i **Jordi Singla**, **Núria Llopart**, **David Abeijón** i **Enric Lluelles**, de l'empresa adjudicatària de la redacció de l'Estudi, ALG.

I. Descripció de les diverses enquestes de mobilitat

1 Enquestes de mobilitat obligada (EMO)

Els anys acabats en 1, a Espanya té lloc la realització del cens, i els acabats en 6, l'actualització del padró municipal. Des de l'any 1981, és a dir, des d'en fa quasi trenta anys, s'aprofita aquesta avinentesa per adquirir informació sobre mobilitat de manera sistemàtica, tot i que cal cercar els primers precedents molt més enrere, a les

operacions del 1970 i 1975, ja que fins aleshores els censos es realitzaven els anys acabats en 0 i els padrons, els acabats en 5. Val a dir que, tot i que el cens es duia a terme a tot Espanya, la inclusió de la pregunta sobre mobilitat només tenia lloc a Catalunya i, en un començament, en les operacions de 1970 i 1975, només a la Regió Metropolitana de Barcelona.

El mètode seguit consistia a afegir una pregunta específica al full censal o padronal, o bé a annexar-hi un full que versava sobre la ubicació del lloc de treball o d'estudi dels residents actius del domicili (cal recordar que aquestes operacions es duïen a terme amb un formulari que havien d'emplenar els residents en un mateix domicili). Aquest full es distribuïa a tota la població, la qual cosa feia l'enquesta exhaustiva. El nombre de respostes aplegades el 2001 per al conjunt de Catalunya va ser de 3.182.000, corresponents a una població de més de sis milions d'habitants en aquells moments.

La intenció dels planificadors sempre ha estat obtenir la màxima precisió territorial sobre la destinació de la persona activa, la qual cosa equival a demanar-li l'adreça postal del lloc de treball o d'estudi. Com que l'adreça postal de l'origen també es coneix, ja que és la de la residència on s'emplena l'enquesta, es disposa del punt d'origen i del de destinació. Aquesta informació es tractava zonificant el territori a escala municipal (o inframunicipal si el municipi era de gran dimensió), la qual cosa va obligar l'Institut d'Estadística de Catalunya a desenvolupar una aplicació informàtica, els anys vuitanta, que permetia assignar una adreça a una de les zones de mobilitat amb què es treballava. En aquella època el procediment fou realment pioner.

A més, els fulls censals o padronals també incloïen la pregunta del mode de transport utilitzat per accedir al lloc de feina o d'estudi. En el cas que n'hi hagués més d'un perquè la persona enquestada fes un viatge de més d'una etapa, s'hi incorporava o bé el mode principal o bé la combinació utilitzada (el format podia variar d'un any a un altre). Així, el cens del 2001 va considerar fins a quaranta-nou modes o combinacions, que s'agregaven en sis de principals. El mode principal, en el cas d'un desplaçament multimodal, era el situat més a l'esquerra de tots els utilitzats en un mateix desplaçament segons la jerarquia que s'adjunta a continuació:

Tren de rodalies > Autobús interurbà > Metro > Tramvia > Autobús urbà > Vehicle privat > Bicicleta > A peu

El cost de l'operació es determinava sempre com un increment sobre el de l'operació censal, i era l'únic que havia d'assumir l'organisme responsable de la mobilitat. En qualsevol cas, era una xifra assequible.

Aquesta font d'informació té un gran avantatge i un cert inconvenient. L'avantatge és que, fins ara, l'EMO s'ha demanat a tota la població, i no només a una mostra i, per tant, disposant d'informació poblacional, s'evita l'ús de la inferència estadística i els possibles errors derivats: n'hi romanen, només, els sorgits de l'adquisició de la informació, que a més solen ser d'inferior magnitud. L'EMO permet conèixer el primer desplaçament quotidià d'una persona activa que, amb una probabilitat alta, es realitza durant el període punta del matí: durant molts anys, l'EMO ha estat una estimació força precisa de la mobilitat ocupacional en aquesta franja del dia, fins no fa gaire el principal període punta d'un dia feiner.

L'inconvenient de l'EMO és que només informa sobre la mobilitat ocupacional, i no diu res de la personal. Durant força anys n'hi havia prou de conèixer la primera perquè quantitativament pesava més que la segona i, sobretot, perquè era la causant de la punta del matí, la principal del dia, per a la qual es dimensionaven les infraestructures i els serveis. La mobilitat personal s'estimava a partir de l'anterior de manera indirecta, per mitjà de ràtios i de coeficients. Però, cada vegada més, el període més carregat del dia és el vespre, quan se sumen la mobilitat ocupacional i la personal, la qual, val a dir, té unes característiques pròpies que cada cop són més difícils d'inferir a partir de l'ocupacional.

L'any 2001, però, ja no es va poder incloure al full censal la pregunta sobre l'adreça postal de la destinació, sinó només sobre el municipi del lloc de treball o d'estudi. Era una limitació greu en el cas dels grans municipis, ja que no permetia identificar la zona de destinació segons la zonificació preexistent. El problema es va poder resoldre, malgrat tot, amb una solució conjuntural consistent a recolzar-se parcialment en l'explotació de l'enquesta padronal del 1996 i suposar implícitament que no s'havien produït discrepàncies gaire grans en el pes relatiu dels barris d'un mateix municipi. L'any 2006 ja no es va fer l'operació padronal perquè se n'havia canviat la metodologia i s'havia passat al padró continu, que no requeria cap operació de camp comparable a les fetes quinquennalment fins aleshores.

Es preveu que el 2011, tal com s'exposa a l'Avantprojecte del cens demogràfic, redactat per l'Institut Nacional d'Estadística (INE), l'operació tindrà un caràcter mostral i inclourà variables sobre mobilitat. En concret es demanarà a les persones enquestades el municipi de treball o d'estudi, el mode de transport més freqüent en aquest desplaçament, el temps esmerçat i el nombre de viatges diaris per sentit. Per tal de preservar el secret estadístic, dels municipis grans només se'n podrà conèixer el nom, mentre que les dades dels més petits es donaran agrupades per veïnatge.

Evidentment, és millor disposar d'aquesta informació que de cap, però la indeterminació territorial li resta un gran part d'efectivitat.

Els resultats d'aquesta sèrie d'enquestes han estat profusament utilitzats pels planificadors de transport i pels professionals de la mobilitat. N'és bon exemple el Pla de metros de 1985, redactat pel Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya, que va ser un dels primers treballs que aprofitaven les dades de mobilitat per proposar i avaluar alternatives constructives. Més recentment, el mateix organisme ha redactat el Pla de carreteres, el Pla d'infraestructures de transport i el Pla de transport de viatgers, tots tres referits a Catalunya durant el decenni 2000-2010. De la seva banda, l'Autoritat del Transport Metropolità, l'àmbit de la qual és la Regió Metropolitana de Barcelona, també ha elaborat les seves previsions de mobilitat a partir de les enquestes esmentades: les ha utilitzades, per exemple, en la redacció del Pla director d'infraestructures 2001-2010 i 2009-2018, i en el Pla director de mobilitat 2008-2012. I l'EMO01 ha esdevingut una eina de referència obligada en els diversos estudis de mobilitat municipal i comarcal que s'han anat duent a terme. Hi ha ajudat el fet que sigui accessible des de la pàgina web de l'Institut d'Estadística de Catalunya, amb desagregació a nivell municipal.

2 Enquestes de mobilitat quotidiana (EMQ) i de mobilitat en dia feiner (EMEF)

Les enquestes de mobilitat quotidiana (EMQ) constitueixen una font d'informació més recent (es van implantar el 1996), i es conceben com a complement de les EMO suara descrites, a fi de conèixer tots els desplaçaments efectuats per la persona enquestada, per qualsevol motiu, al llarg d'un dia sencer.

La metodologia d'elaboració de les EMQ ha evolucionat des dels inicis: els anys 1996 i 2001, les EMQ consistien en una enquesta domiciliària continguda en un quadern que el cap de família havia d'emplenar fent-hi constar els desplaçaments fets per tots els membres de la família, o només per alguns de seleccionats, al llarg de tota una setmana. Del 2006 ençà s'ha substituït aquest mètode per l'enquesta telefònica amb suport CATI, amb la qual s'escull aleatòriament una família i, tot seguit, un dels seus membres, a qui es demana d'enumerar tots els desplaçaments fets el dia anterior i, si es tracta d'un dilluns, també els d'un dels dos dies del cap de setmana precedent, escollit a l'atzar. De cada desplaçament se'n sol·liciten els punts d'origen i de destinació, identificats per l'adreça postal, així com el motiu i el mode, la qual cosa aporta una informació exhaustiva de la mobilitat de les persones enquestades.

L'EMQ06 suposava que cada desplaçament podia estar format per un cert nombre d'etapes, fins a un màxim de quatre. De cada etapa se'n coneixia el punt inicial i final, amb precisió d'adreça postal. Per a cada etapa es preveien fins a vint-i-un modes de transport diferents. Pel que fa als motius, se'n preveien un total de vint-i-tres (tres d'ocupacionals, vint de personals i, el més freqüent, la tornada a casa).

Les enquestes de mobilitat quotidiana (EMQ) es duen a terme quinquennalment en una mostra gran de la població: l'univers considerat és el padró d'habitants, que fa que només es tinguin en compte els residents a Catalunya i no els transeünts, entre els quals els turistes, grans generadors de mobilitat. L'EMQ06 va consistir en 106.000 persones més grans de quatre anys residents a Catalunya, que van informar sobre un conjunt de 406.000 desplaçaments. Per zones, a la Regió Metropolitana de Barcelona, que en només una desena part de la superfície de Catalunya en concentra quasi dos terços de la població, l'EMQ06 hi va fer 40.000 enquestes, un 40% del total: la resta de Catalunya té una taxa de mostratge superior, a causa de la dispersió demogràfica.

Les enquestes de mobilitat en dia feiner (EMEF) es duen a terme anualment, per reforçar les EMQ; com aquestes, recullen tots els elements que cal saber d'un desplaçament, i són eines excel·lents per conèixer tendències, proporcions i ràtios de tot tipus amb referència a la mobilitat. Les EMEF comparteixen la metodologia de les EMQ, però se centren en una mostra molt més reduïda, d'unes 5.700 persones. Fins a 2008 es realitzaven només a la Regió Metropolitana de Barcelona; des de 2009, s'elaboren per a tot Catalunya.

Malgrat tot, l'EMQ i l'EMEF es revelen insuficients per estimar matrius de mobilitat amb el nivell de desagregació que requereix la planificació: només amb zones molt grans (comarques o grans municipis) s'hi poden inferir els seus valors fiables dels fluxos i, a mesura, que es redueix la grandària de les zones, decreix la mostra assignada a cada casella de la matriu corresponent a aquella zonificació i s'atenua de manera irremissible la capacitat predictiva de la mostra. El dilema, doncs, rau a saber què cal mantenir agregat i què es pot desagregar: els motius de desplaçament, els modes de transport o les zones del territori. I sovint l'estadística inferencial ensenya que no n'hi ha prou amb una sola concessió a l'agregació, sinó que cal fer-ne dues o totes tres.

Aquesta font d'informació no s'esgota com la de les EMO, però per la metodologia d'obtenció de dades continua essent més onerosa que els mètodes alternatius (per a l'EMQ06 es va estimar un cost de 12 EUR per persona enquestada). A més, fatalment, acaba topant amb el sostre de la manca de representativitat de la mostra.

No és suficient per si sola per proveir la informació necessària per a la mobilitat, però convé de no prescindir-ne, si més no pels estadístics del tot fiables que permet estimar.

Cal assenyalar que, un cop finalitzades la codificació i la depuració de l'EMQ06, es va afegir a cada desplaçament la seva distància estimada, obtinguda a partir d'un graf de transport preexistent damunt del qual s'havien calculat els camins mínims entre zones. Quan es tractava de desplaçaments interiors en una mateixa zona o municipi, per cert molt freqüents, se'n va calcular la longitud de recorregut com a funció de la forma i dimensions del nucli urbà, a partir d'una metodologia elaborada *ad hoc*. La incorporació de la distància ha permès enriquir de manera significativa les explotacions de l'EMQ06 que s'han fet i es continuen fent.

II. Fusió de les matrius de mobilitat de l'EMO01 i de l'EMQ06

1 Objectiu

L'objectiu d'aquest treball era aconseguir una matriu de mobilitat de l'any 2006 que permetés alhora mantenir la sèrie històrica de les successives matrius EMO existents fins a 2001.

L'any 2006 hi va haver l'EMQ06, ja comentada, que tot i que contenia informació molt extensa de tots els tipus de desplaçaments, tenia un error estadístic associat, pel fet d'haver estat obtinguda a partir d'una mostra, cosa que li va impedir d'arribar al nivell de desagregació territorial que permetien les EMO.

Per això, amb el treball *Elaboració d'una matriu de mobilitat de Catalunya*, es va desenvolupar una metodologia que permetés servir-se de la informació de les dues matrius més actualitzades de què es disposava (l'EMQ06 i l'EMO01), a fi d'obtenir una sola matriu de mobilitat per a 2006 que aprofités els punts forts de cadascuna de les enquestes.

2 Comparació de les dues enquestes

Les dues principals enquestes de mobilitat descrites fins al moment són complementàries fins a cert punt. Cadascuna té punts forts i febles:

	Fortaleses	Febleses
EMO01	<ul style="list-style-type: none">• Exhaustiva• N'existeix sèrie històrica• Informació amb bona desagregació territorial	<ul style="list-style-type: none">• Limitada al primer desplaçament fet per motius professionals• Antiguitat de cinc anys
EMQ06	<ul style="list-style-type: none">• Comprensiva de tots els motius de desplaçament• Actual	<ul style="list-style-type: none">• Mostratge, encara que amb mostra gran• Fiabilitat insuficient per obtenir resultats desagregats territorialment

Les principals explotacions que s'han fet de les dues enquestes han estat en forma de matrius de mobilitat, actuals o futures, eines fonamentals de les prediccions necessàries en les aplicacions exposades més amunt.

Abans, però, cal precisar que les matrius de mobilitat utilitzen una desagregació o zonificació territorial que en els nivells superiors, fins al municipi, coincideixen, però que deixen de fer-ho en les divisions intramunicipals, ja que les que considera l'EMQ06 no sempre són agregacions de les emprades per l'EMO01, amb un nivell de desagregació superior al de l'EMQ06: aquesta, a causa d'una taxa de mostratge inferior, no podia assolir una subdivisió tan fina.

Val a dir que aquestes zonificacions tenen una llarga història en la planificació de la mobilitat a Catalunya, la qual cosa ha permès l'elaboració de sèries temporals. Per això convé conservar-les. Però mai fins ara s'havia fusionat la informació provinent de fonts diferents: ordenada per desagregació decreixent, la zonificació adoptada té el nombre d'elements que consta a la taula següent, en la qual s'ha distingit entre la totalitat de Catalunya, la Regió Metropolitana de Barcelona (RMB) i el municipi de Barcelona.

	Catalunya		RMB		Barcelona	
	EMO01	EMQ06	EMO01	EMQ06	EMO01	EMQ06
Vegueries	7		1		-	
Comarques	41		7		-	
Municipis	946		164		1	
Zones intramunicipals	1.456	1.142	582	330	200	63

3 Descripció del procediment

La metodologia seguida per construir la matriu única de mobilitat 2006 es basava en el primer viatge diari fet per motius ocupacionals que constava a l'EMQ06 per a cada persona enquestada activa. La distribució així obtinguda era, doncs, comparable a la de l'EMO01, cosa que va permetre obtenir una sola matriu a partir de les dues.

Es va procedir de dalt a baix i, per tant, començant per la matriu de vegueries. En aquesta s'estimaven, en primer lloc, els totals marginals i, posteriorment, cadascuna de les 7x7 caselles. El valor que s'atribuïa tant als totals marginals com als valors de cada casella era una mitjana ponderada dels valors corresponents que figuraven a l'EMO01 i a l'EMQ06, donant tant més pes a la darrera com més gran era la mostra disponible en aquella casella. És a dir, els valors de l'EMQ06 es consideraven més fiables com més petit era l'interval de confiança amb què s'havien pogut estimar. En canvi, si la mostra era petita, es donava més credibilitat als resultats de l'EMO01. Posteriorment, es verificava la coherència de les sumes marginals per files i per columnes.

Un cop estimada la matriu de mobilitat entre vegueries es passava a la de comarques. Ara, cadascuna de les caselles d'aquella matriu es descomponia en una submatriu d'aquesta, ja que una vegueria és una agregació de comarques. El valor total havia de coincidir i, a l'hora d'estimar cada casella, es repetia el procediment anterior utilitzant una combinació lineal entre els valors fornits per les dues enquestes de partida segons la metodologia descrita més amunt.

Finalment, de la matriu comarcal es va passar a la matriu municipal, amb la mateixa metodologia. Cal fer notar que la immensa majoria dels valors eren nuls, la qual cosa simplificava la tasca d'estimació. A més, a mesura que es reduïa la dimensió de les zones, també ho feia la mostra de cada desplaçament. A grans trets, doncs, l'EMQ06 va servir per determinar els grans totals i per fixar les tendències que s'havien manifestat entre el 2001 i el 2006, mentre que l'EMO01 va precisar els desplaçaments més subtils a nivell fi, és a dir, dins petits municipis i zones intramunicipals.

D'aquesta manera es va arribar a una matriu de primer desplaçament ocupacional actualitzada a 2006. Aplicant-li els coeficients i ràtios que s'havien estimat, es va poder estimar la matriu de mobilitat quotidiana ocupacional completa.

La darrera etapa de l'Estudi va consistir a afegir-hi la mobilitat personal, que només es coneixia del 2006, també utilitzant les mateixes ràtios i valors agregats que s'havien determinat de manera global.

4 Formalització matemàtica de la metodologia

A continuació, es descriu en termes matemàtics la metodologia utilitzada per a l'obtenció de la matriu, que més amunt s'ha esmentat succintament.

El punt de partida del procés és l'estimació de la matriu de mobilitat obligada al treball, amb la intenció d'afegir-hi posteriorment la matriu de desplaçament a l'estudi i, més tard, la mobilitat no obligada. Per tant, el primer pas va consistir a extreure de la matriu de mobilitat quotidiana, EMQ06, el primer desplaçament del dia de casa a la feina, per tal que aquesta magnitud fos comparable a la matriu de mobilitat obligada EMO01, que, per la manera com va ser elaborada, conté precisament aquesta informació.

Les dades de partida eren, doncs:

$T^0 = [t_{ij}^0]$: matriu de mobilitat obligada EMO01. La justificació del superíndex 0 s'explica més avall.

$U = [u_{ij}]$: extracció de la matriu de mobilitat quotidiana EMQ06 que conté el primer desplaçament per motiu de treball. S'ha obtingut per elevació (que és un procés d'estimació) de la matriu N .

$N = [n_{ij}]$: matriu mostral, és a dir, nombre de persones enquestades residents a la zona i que han manifestat que treballen a la zona j .

I la matriu resultant:

$W = [w_{ij}]$:matriu resultant, que contindrà el primer desplaçament de casa a la feina l'any 2006.

Entremig s'utilitzen un seguit d'altres matrius de treball, que es defineixen en el seu moment. En tots els casos, es fa servir una doble notació per a les matrius de manera indistinta: o s'esmenta la matriu globalment amb una sola lletra majúscula, M , o un element genèric amb la mateixa lletra minúscula i subíndexs, $[m_{ij}]$.

Al seu torn, la matriu de desplaçaments EMQ06 era una estimació obtinguda a partir de la mostral pel procediment següent: sigui si el coeficient d'elevació o d'aixecament de la zona i , que és la relació entre la població susceptible de ser enquestada i el nombre de persones efectivament enquestades residents en aquella zona o, si es vol, el nombre de desplaçaments a què equival una persona enquestada en aquella zona. També és l'invers de la taxa de mostratge.

A la Regió Metropolitana de Barcelona, amb una població susceptible de ser enquestada propera als sis milions d'habitants i una mostra de 40.000 persones, aquest coeficient val 125 per terme mitjà, encara que amb una variabilitat molt gran d'una zona a una altra.

Aleshores, la relació entre la matriu mostral i la matriu estimada de desplaçaments ve donada per l'expressió:

$$u_{ij} = s_i \cdot n_{ij} \quad \forall i, \forall j$$

És fàcil de veure els defectes d'estimació que pot ocasionar una mostra insuficient. En aquelles caselles de la matriu on no s'hi hagi detectat cap desplaçament, el procediment d'estimació suposa que no n'hi ha cap. En canvi, si hi ha un valor baix, el nombre de desplaçaments estimats variarà de s_i en s_i , és a dir, o no n'hi haurà cap, o n'hi haurà 125, o 250, o 375, continuant amb el mateix valor suposat d'aquest coeficient, però amb cap valor intermedi entre aquests. Aquestes imprecisions en l'estimació són les que han obligat a dissenyar el mètode que s'exposa, que també té en compte l'EMO01.

De la matriu U se'n calculen els valors marginals per files i columnes tal com segueix:

$$O_i = \sum_j u_{ij} \quad \forall i$$
$$D_j = \sum_i u_{ij} \quad \forall j$$

Com que han estat calculats amb la mostra de tota la zona, la seva fiabilitat és superior a la d'una sola casella. Aquests valors es donen per bons i s'aprofiten per modificar la matriu T , provinent de l'EMO01, per tal de fer coincidir els valors marginals de les dues matrius, ja que altrament no serien comparables. La matriu T és, doncs, la matriu de desplaçaments que estimaria millor els desplaçaments de l'any 2006 si se'n coneguessin només els valors marginals, població activa i llocs de treball, però no s'hagués dut a terme l'enquesta EMQ06. Així doncs, és de desitjar que:

$$O_i = \sum_j t_{ij} \quad \forall i$$
$$D_j = \sum_i t_{ij} \quad \forall j$$

Aleshores, el pas de la matriu T^0 , definida abans, a la matriu T es fa mitjançant un procediment, anomenat Fratar, que modifica T^0 fins fer-ne coincidir els valors marginals amb els d' U , respectant, fins allà on sigui possible, l'estructura interna de les dades. Així, si els valors marginals de la primera són:

$$O_i^0 = \sum_j t_{ij}^0 \quad \forall i$$
$$D_j^0 = \sum_i t_{ij}^0 \quad \forall j$$

es tacta d'aconseguir:

$$t_{ij} = \frac{O_i}{O_i^0} \cdot t_{ij}^0 \quad \forall i \quad \forall j$$

alhora que:

$$t_{ij} = \frac{D_j}{D_j^0} \cdot t_{ij}^0 \quad \forall i \quad \forall j$$

és a dir, mantenir la proporcionalitat tant per files com per columnes, la qual cosa en general no és possible. El procediment Fratar consisteix a determinar una successió de matrius que satisfan alternativament les famílies de restriccions per orígens o per destinacions fins convergir en una que les satisfà totes dues. Aquesta és la que s'anomena T .

Un cop conegudes les dues matrius de mobilitat, T i U , la filosofia seguida per estimar cada casella de la matriu W reposa en la constatació, elemental en la inferència estadística, que com més gran és la mostra d'una zona o fila, tant més petit serà l'interval de confiança de l'estimació. La inferència estadística ensenya que l'estimació puntual de la proporció d'una casella, p_{ij} , és a dir, la proporció dels viatges generats a la zona i que acaba el seu desplaçament a la zona j , ve donada per:

$$p_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i} = \frac{t_{ij}}{O_i} \quad \forall i \quad \forall j$$
$$\text{on } n_i = \sum_j n_{ij} \quad \forall i$$

amb un error o semiinterval de confiança, e_{ij} :

$$e_{ij} = z_{\alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{p_{ij} \cdot (1 - p_{ij})}{n_i}} \quad \forall i \quad \forall j$$

en què $z_{\alpha/2}$ és el valor de la llei normal centrada i reduïda corresponent a un risc $\alpha/2$.

Per a $\alpha = 10\%$, que és un valor força habitual, $z_{\alpha/2} = 1,645$.

El nombre de desplaçaments entre dues zones és molt variable entre un lloc i un altre i, encara més important, no es pot parlar de valors grans i de valors petits de manera absoluta, ja que segons quin sigui l'objectiu i l'àmbit de l'estudi, un mateix valor serà gran en una situació i petit en una altra. Cal, doncs, evitar criteris de significació basats en valors absoluts. És preferible basar el criteri d'acceptació en aspectes relatius.

El criteri utilitzat consisteix a comparar l'estimació de la proporció p amb l'error associat e definit més amunt. Valors massa grans d' e respecte de p faran que l'estimació sigui poc fiable i, per tant, inacceptable. És fàcil de veure que, a mesura que disminueix la proporció, l'error també ho fa, per bé que a un ritme inferior.

En efecte, la taula següent ho deixa prou clar. S'ha suposat una mostra de 2.000 desplaçaments a la zona origen, és a dir, $n_i = 2.000$ i un risc de $\alpha = 10\%$.

p Proporció	e Error	$r = e/p$ Relació entre error i proporció
50%	1,84%	3,7%
20%	1,48%	7,4%
10%	1,11%	11,1%
5%	0,80%	16,1%
2%	0,52%	25,8%
1%	0,37%	36,7%

Així, per a un flux del 50%, és a dir, la meitat dels desplaçaments, l'error és de l'1,8%, que només representa un 3,6% del valor estimat. En canvi, per a un flux de l'1%, valor molt més habitual que l'anterior, l'error associat és del 0,37%, és a dir, un 36,7% de l'estimació.

L'estadístic determinant, doncs, de la bondat de l'estimació del flux d'una casella és el quocient r , definit de la manera següent:

$$r_{ij} = \frac{e_{ij}}{p_{ij}} = \frac{1}{p_{ij}} \cdot z_{\alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{p_{ij} \cdot (1 - p_{ij})}{n_i}} = z_{\alpha/2} \cdot \frac{1}{\sqrt{n_i}} \cdot \sqrt{\frac{1 - p_{ij}}{p_{ij}}}$$

Cal observar la rellevància que té per a totes les caselles d'una mateixa fila la grandària total de la mostra en aquella fila o zona, n_i .

La utilització que es fa d'aquest estadístic per obtenir l'estimació del flux dona tant més pes a l'EMQ06 com més gran sigui la mostra de què es disposa. Si la mostra és petita, amb prou feines la prenem en consideració, i es basa en l'EMO01. La metodologia utilitzada és una mitjana ponderada o combinació convexa del valor de les dues estimacions segons el coeficient λ . Això dona lloc a una primera estimació de la matriu buscada, W , que s'anomena W^0 .

$$w_{ij}^0 = \lambda_{ij} u_{ij} + (1 - \lambda_{ij}) \cdot t_{ij} \quad \forall i \forall j$$

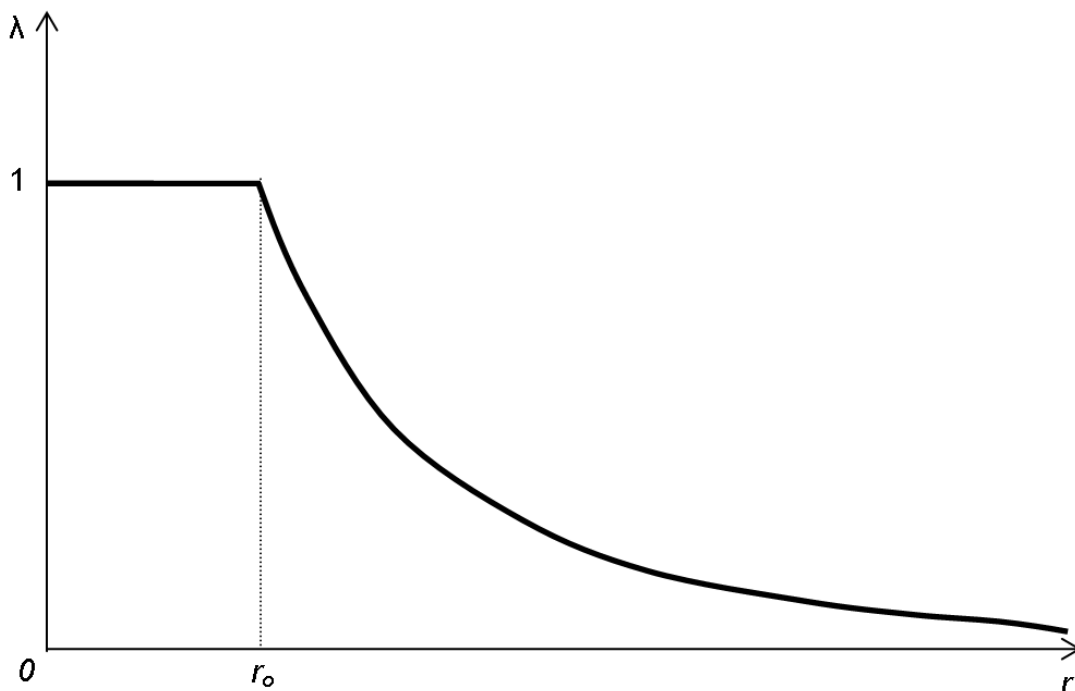
$$0 \leq \lambda \leq 1$$

Al seu torn, el paràmetre λ és funció de l'estadístic r definit més amunt, de la manera següent:

$$\lambda_{ij} = \min \left(1, \frac{r_o}{r_{ij}} \right) \quad \forall i \forall j$$

on el paràmetre r_o representa el valor llindar per sota del qual es confia del tot en l'EMQ06, fixat habitualment en 0,15.

Aleshores, el pes relatiu atorgat a l'EMQ06 per estimar la matriu final varia segons el valor del paràmetre r , seguint una corba com la següent, que és una recta en el tram fins a $\lambda \leq 0,15$ i una hipèrbola equilàtera més endavant.



La matriu W^0 , calculada segons el procediment anterior, no satisfarà en general les condicions marginals, que sí que s'han de complir. En general, doncs:

$$O_i \neq \sum_j w_{ij}^0 \quad \forall i$$

$$D_j \neq \sum_i w_{ij}^0 \quad \forall j$$

Per tant, caldrà aconseguir que la nova matriu respecti els totals marginals esmentats. Per això s'aplica altre cop el mètode Fratar, però només a aquelles caselles amb un error d'estimació més gran, segons que indica l'estadístic r_{ij} .

Així doncs, les diverses caselles de la matriu W^0 es classifiquen en dos grans conjunts, dits W^1 i W^2 , que al seu torn s'estructuren en matrius i que responen respectivament a les estimades d'una manera "robusta" i a les que no ho estan. Més concretament:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } r_{ij} \leq r_0, \text{ aleshores } w_{ij}^1 = w_{ij}^o \text{ i } w_{ij}^2 = 0 \quad \forall i \quad \forall j \\ \text{Si } r_{ij} > r_0, \text{ aleshores } w_{ij}^1 = 0 \text{ i } w_{ij}^2 = w_{ij}^o \quad \forall i \quad \forall j \end{array} \right.$$

de tal manera que: $W^0 = W^1 + W^2$.

La matriu W^1 no s'altera i a la W^2 se li imposa que els seus valors marginals siguin:

$$\begin{aligned} O_i^2 &= O_i - O_i^1 = O_i - \sum_j w_{ij}^1 \quad \forall i \\ D_j^2 &= D_j - D_j^1 = O_i - \sum_i w_{ij}^1 \quad \forall j \end{aligned}$$

Amb aquests valors marginals s'executa un altre cop el model Fratar fins aconseguir una nova matriu W^3 que satisfà:

$$\begin{aligned} \sum_j w_{ij}^3 &= O_i^2 \quad \forall i \\ \sum_i w_{ij}^3 &= D_j^2 \quad \forall j \end{aligned}$$

La matriu W final buscada vindrà donada per $W = W^1 + W^3$.

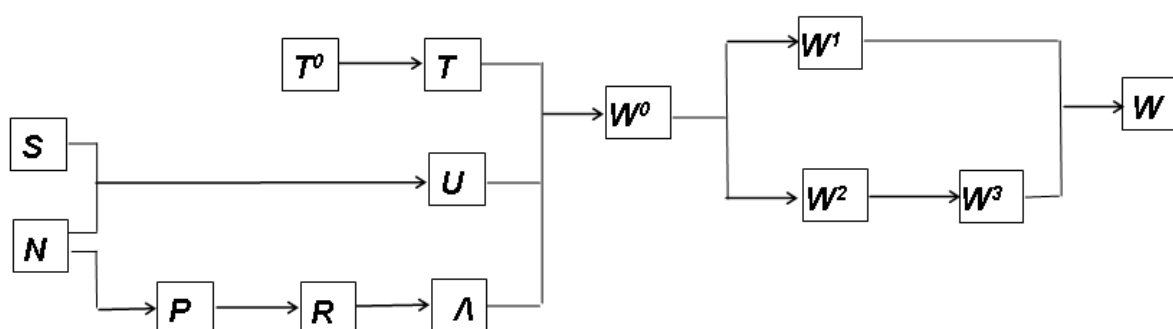
Aquest procediment haurà servit per estimar una matriu W a un nivell de zonificació territorial determinat. El pas següent serà desagregar aquesta matriu en una de nivell inferior. Així, si l'actual era la matriu de vegueries, la de nivell inferior serà la comarcal, i si era la comarcal, la de nivell inferior serà la municipal.

Aleshores, cada casella de nivell superior es descompondrà en una matriu de nivell inferior. El mètode seguit per estimar aquesta matriu és similar a l'anterior, per bé que amb la restricció addicional que la suma de les diverses caselles ha de ser igual al valor de nivell superior obtingut anteriorment. Aquesta restricció s'imposa modificant

en primer lloc els valors marginals d'òrgens i destinacions fins fer que coincideixin amb el total esmentat.

El procediment descrit es va aplicar en primer lloc als desplaçaments per motiu de treball. Posteriorment, es va fer per als desplaçaments a l'estudi, seguint la mateixa metodologia i sumant finalment les dues matrius per obtenir la mobilitat obligada en conjunt. Cal fer notar la diferència metodològica que hauria representat fer-ho conjuntament, agregant a priori els dos motius obligats.

S'acaba el capítol amb un esquema d'aquest procediment i l'encadenament de les diverses matrius entre si.



5 Exemple d'obtenció de la matriu de mobilitat obligada

A continuació s'exposa un exemple del procediment, basat en dades fictícies tot i que versemblants. Se suposa que és un territori dividit en cinc zones.

Es parteix de la matriu mostral **N**, resultat de l'explotació de l'enquesta EMQ06, de la qual només s'ha considerat el primer viatge al treball de les persones actives. Les mostres obtingudes que responen a aquest criteri són les següents:

Matriu N

	1	2	3	4	5	n_i
1	2.500	152	35	10	3	2.700
2	300	360	20	0	5	685
3	202	120	180	10	8	520
4	15	6	1	108	0	130
5	55	2	14	29	300	400
						4.435

Descripció de les enquestes de mobilitat a Catalunya. Procediment de fusió de matrius de mobilitat per obtenir la matriu general de 2006

Els coeficients d'elevació de cada zona, **S**, o relació entre la mostra i la població, o invers de la taxa de mostratge, són:

1	185
2	150
3	120
4	80
5	55

Cal observar que la taxa de mostratge sol ser inferior a les zones amb més població.

A partir d'aquestes dues es pot determinar la matriu estimada de desplaçaments, **U**:

Matriu U

	1	2	3	4	5	
1	462.500	28.120	6.475	1.850	710	499.655
2	45.000	54.000	3.000	0	750	102.750
3	24.240	14.400	21.600	1.200	960	62.400
4	2.200	480	80	8.640	0	11.400
5	3.025	110	770	1.595	16.500	22.000
	536.965	97.110	31.925	13.285	18.920	698.205

D'altra banda, per tal de calcular la matriu final més endavant, es comencen els passos intermedis. En primer lloc, es determina la matriu de proporcions de desplaçaments respecte dels orígens, **P**:

Matriu P

	1	2	3	4	5	
1	92,6%	5,6%	1,3%	0,4%	0,1%	100%
2	43,8%	52,6%	2,9%	0,0%	0,7%	100%
3	38,8%	23,1%	34,6%	1,9%	1,5%	100%
4	11,5%	4,6%	0,8%	83,1%	0,0%	100%
5	13,8%	0,5%	3,5%	7,3%	75,0%	100%

I els errors o semiintervalls de confiança, **E**, funció de la grandària de la mostra, seran, casella per casella:

Matriu E

	1	2	3	4	5
1	0,8%	0,7%	0,4%	0,2%	0,1%
2	3,1%	3,1%	1,1%	-	0,5%
3	3,5%	3,0%	3,4%	1,0%	0,9%
4	4,6%	3,0%	1,3%	5,4%	-
5	2,8%	0,6%	1,5%	2,1%	3,6%

Descripció de les enquestes de mobilitat a Catalunya. Procediment de fusió de matrius de mobilitat per obtenir la matriu general de 2006

l el quocient entre error i proporció, que dóna idea de la bondat de l'estimació de cada casella, R , serà:

Matriu R

	1	2	3	4	5
1	0,9%	13,0%	27,6%	51,9%	94,9%
2	7,1%	6,0%	36,2%	-	73,3%
3	9,1%	13,2%	9,9%	51,5%	57,7%
4	39,9%	65,6%	163,9%	6,5%	-
5	20,6%	116,0%	43,2%	29,4%	4,7%

Cal recordar que els valors baixos d'aquesta darrera matriu indiquen una bona estimació, i a l'inrevés. Quan la casella no té mostra, evidentment no hi ha estimació possible.

Segons la relació empírica que s'ha definit, a partir dels valors de la matriu precedent es pot estimar el pes relatiu que tindrà la matriu EMQ06 en l'estimació de la matriu final. Aquest pes queda recollit a la Λ , que segueix. Per calcular-la s'ha utilitzat un valor del paràmetre $r_0 = 0,15$.

Matriu Λ

	1	2	3	4	5
1	1,00	1,00	0,54	0,29	0,16
2	1,00	1,00	0,41	0	0,20
3	1,00	1,00	1,00	0,29	0,26
4	0,38	0,23	0,09	1,00	0
5	0,73	0,13	0,35	0,51	1,00

Es pot veure que, quan no hi ha mostra, el valor de la casella corresponent és 0, perquè tota l'estimació és recolza en la matriu EMO01. Igualment, quan la mostra és petita, el pes també ho és.

Anem ara a l'altra matriu, l'EMO01. Els resultats que es van obtenir l'any 2001 van donar lloc a la matriu T^0 següent:

Matriu T^0

	1	2	3	4	5	
1	446.000	22.000	3.500	1.500	1.000	474.000
2	34.000	38.000	2.200	500	400	75.100
3	22.000	10.500	17.000	1.300	1.200	52.000
4	1.500	250	150	6.000	450	8.350
5	2.200	850	200	1.500	12.500	17.250
	505.700	71.600	23.050	10.800	15.550	626.700

Descripció de les enquestes de mobilitat a Catalunya. Procediment de fusió de matrius de mobilitat per obtenir la matriu general de 2006

Cal observar que la mobilitat total del 2001, mesurada en nombre de viatges, era inferior, la qual cosa fa que aquest matriu no sigui directament comparable amb la U . Abans cal uniformar-les de tal manera que els totals marginals siguin els mateixos. Per a això s'ha sotmès aquesta matriu a un procés Fratar que ha donat lloc a la matriu T , amb valors marginals coincidents amb la U . Després de dotze iteracions, s'ha obtingut la matriu:

Matriu T

	1	2	3	4	5	
1	465.765	26.767	4.648	1.491	999	499.670
2	42.648	55.533	3.509	597	480	102.768
3	23.577	13.110	23.168	1.326	1.230	62.410
4	2.103	408	267	8.007	604	11.390
5	2.872	1.293	332	1.864	15.607	21.967
	536.965	97.110	31.925	13.285	18.920	698.205

els valors marginals de la qual coincideixen amb els de la matriu U . A partir de les matrius U i T , doncs, i aplicant els coeficients λ , s'ha pogut determinar la matriu W^0 , que conté informació de totes dues, però amb l'inconvenient que els seus totals marginals no són els desitjats, és a dir, els de la matriu U .

Matriu W^0

	1	2	3	4	5	
1	462.500	28.120	5.640	1.595	953	498.808
2	45.000	54.000	3.299	588	535	103.422
3	24.240	14.400	21.600	1.289	1.160	62.689
4	2.140	425	250	8.640	594	12.049
5	2.983	1.140	484	1.727	16.500	22.834
	536.863	98.084	31.273	13.839	19.743	699.802

Per fer quadrar els totals marginals, aquesta matriu es desmunta en dues: la primera, formada per les caselles més fiables, el valor de les quals es dona per definitiu, s'anomena W^1 :

Matriu W^1

	1	2	3	4	5	
1	462.500	28.120	0	0	0	490.620
2	45.000	54.000	0	0	0	99.000
3	24.240	14.400	21.600	0	0	60.240
4	0	0	0	8.640	0	8.640
5	0	0	0	0	16.500	16.500
	531.740	96.520	21.600	8.640	16.500	675.000

La segona matriu, complementària de l'anterior, s'anomena W^2 i es considera modificable:

Matriu W^2

	1	2	3	4	5	
1	0	0	5.640	1.595	953	8.188
2	0	0	3.299	588	535	4.422
3	0	0	0	1.289	1.160	2.449
4	2.140	425	250	0	594	3.409
5	2.983	1.140	484	1.727	0	6.334
	5.123	1.564	9.673	5.199	3.243	24.802

A aquesta darrera matriu se li aplica un altre procés Fratar fins fer que els seus valors marginals coincideixin amb els desitjats. La matriu resultant s'anomena W^3 .

Matriu W^3

	1	2	3	4	5	
1	0	0	6.670	1.575	791	9.036
2	0	0	2.970	442	338	3.750
3	0	0	0	1.230	930	2.160
4	2.036	147	216	0	360	2.760
5	3.189	443	469	1.398	0	5.499
	5.225	590	10.325	4.645	2.420	23.205

I sumant les matrius W^1 i W^3 s'obté la matriu buscada, W , que satisfà els valors marginals a més d'incorporar la informació de totes dues enquestes:

Matriu W

	1	2	3	4	5	
1	462.500	28.120	6.670	1.575	791	499.656
2	45.000	54.000	2.970	442	338	102.750
3	24.240	14.400	21.600	1.230	930	62.400
4	2.036	147	216	8.640	360	11.400
5	3.189	443	469	1.398	16.500	21.999
	536.965	97.110	31.925	13.285	18.920	698.205