



NOTA TÈCNICA

MODELITZACIÓ DE LA MARXA A PEU I EN BICICLETA A PARTIR DE L'ENQUESTA DE MOBILITAT OBLIGADA

AUTOR

Xavier Roselló, Adjunt al Director Tècnic, ATM

CONTINGUTS

1.	JUSTIFICACIÓ	3
2.	DADES DE PARTIDA	4
3.	DESPLAÇAMENTS INTERZONALS	5
3.1	Modelització dels desplaçaments	
3.2	Procediment de calibració	
3.3	Valoració dels resultats	
4.	MODELITZACIÓ DELS DESPLAÇAMENTS INTRAZONALS	9
5.	CALIBRACIÓ CONJUNTA DE TOTS ELS PARÀMETRES	11
6.	ANÀLISI DELS RESULTATS DEL MODE A PEU	13
7.	ASSAIG DE LA MODELITZACIÓ EN BICICLETA	14
8.	MODELITZACIÓ CONJUNTA DE L'A PEU I EN BICICLETA	18
	ANNEXOS	20
-	El model de màxima versemblança per a la regressió logística	
-	Adaptació del model de màxima versemblança per a la regressió logística en el cas dels desplaçaments interzonals i intrazonals	

1 – JUSTIFICACIÓ

L'estudi present forma part del procés de construcció d'un model de repartiment modal a la Regió Metropolitana de Barcelona (RMB), a partir de la informació exhaustiva fornida per l'Enquesta de Mobilitat Obligada 2001 (EMO 01). Modelitza la primera etapa en el procés d'elecció del mode, és a dir, l'elecció de la marxa a peu, i eventualment la bicicleta, enfront d'un mode mecanitzat.

La variable explicativa escollida en el procés d'elecció ha estat la distància recorreguda o distància entre zona origen i zona destinació, calculada damunt del graf viari. Sense cap dubte, és la variable més fàcil de definir, la més indiscutible i probablement la més significativa en aquest tipus d'elecció. L'alternativa hauria estat alguna estimació del cost generalitzat, en la qual hauria intervingut el temps, amb la dificultat afegida d'estimar-lo per a un mode mecànic genèric. Tot i que la literatura especialitzada aporta els recursos teòrics per abordar aquesta qüestió, semblava un mitjà exagerat pel fi que es pretenia, i s'oposava al principi de parsimònia sobre la simplicitat dels models.

El model estadístic que s'ha adoptat és la regressió logística, idònia per a les decisions binàries. La variable explicativa utilitzada és, evidentment, la distància a salvar per l'usuari. L'estudi tracta en primer lloc de la modelització de la marxa a peu i posteriorment tracta de la bicicleta, tant per separat com conjuntament amb la marxa a peu.

OBJECTE DE L'ESTUDI

Modelitzar la primera etapa en el procés de selecció del mode de transport.
En primer lloc, es modelitza la marxa a peu i, posteriorment, la marxa en bicicleta, tant per separat com conjuntament.

METODOLOGIA APLICADA

El model estadístic adoptat és la regressió logística, idònia per a les decisions binàries. La variable explicativa utilitzada és la distància entre zones que recorre l'usuari.

2 – DADES DE PARTIDA

Com és sabut, l'Enquesta de Mobilitat Obligada 2001 (EMO) està referida territorialment a un conjunt de 582 zones que cobreixen el conjunt de la Regió Metropolitana de Barcelona. D'aquestes zones, 200 corresponen al municipi de Barcelona; pel seu cantó, els grans municipis de l'RMB estan dividits en un nombre de zones variables, entre més de 20 i 5, i els municipis de menys població són d'una sola zona. Així doncs, l'EMO 01 conté en total un màxim de 582*582 fluxos, per bé que molts d'ells són nuls o amb un valor insignificant, que no haurien aportat res a la construcció del model.

Per a la modelització de la marxa a peu, doncs, s'han considerat dues famílies de fluxos entre zones:

1. Els desplaçaments **entre zones diferents** o **interzonals**, per als quals es coneix la distància recorreguda. Com que molts d'ells són numèricament molt reduïts, només s'han considerat aquells amb un valor total superior a 210 desplaçaments, que totalitzen 3.327 fluxos o parelles de zones, d'un total teòric de 338.724 (= 582²). El més gran suposa 13.987 desplaçaments, i els 100 primers tenen valors superiors a 2.100.
2. En els desplaçaments **a l'interior d'una mateixa zona** o **intrazonals** no es coneix la distància recorreguda, ja que el model de les quatre etapes els assimila a un mateix centre. Aquesta mancança no exigeix de prendre'ls en consideració, ja que els desplaçaments a peu són especialment rellevants en les distàncies curtes, precisament les que tenen lloc a l'interior de cada zona. Es disposa de tantes observacions com zones, és a dir, 582, totes les quals s'han incorporat al model.

Als efectes de claredat de l'exposició, s'han tractat en primer lloc els desplaçaments interzonals, i en acabat s'han afegit els intrazonals al model.

DADES MODELITZADES

Per a la modelització de la marxa a peu s'han considerat, d'una banda, els desplaçaments entre zones diferents o interzonals (se'n coneix la distància recorreguda), i de l'altra, els desplaçaments a l'interior d'una mateixa zona o intrazonals (no se'n coneix la distància):

3 – DESPLAÇAMENTS INTERZONALS

3.1 - MODELITZACIÓ

Per a cada un dels fluxos interzonals, designats genèricament amb el subíndex i , s'han pres en consideració el dos valors següents.

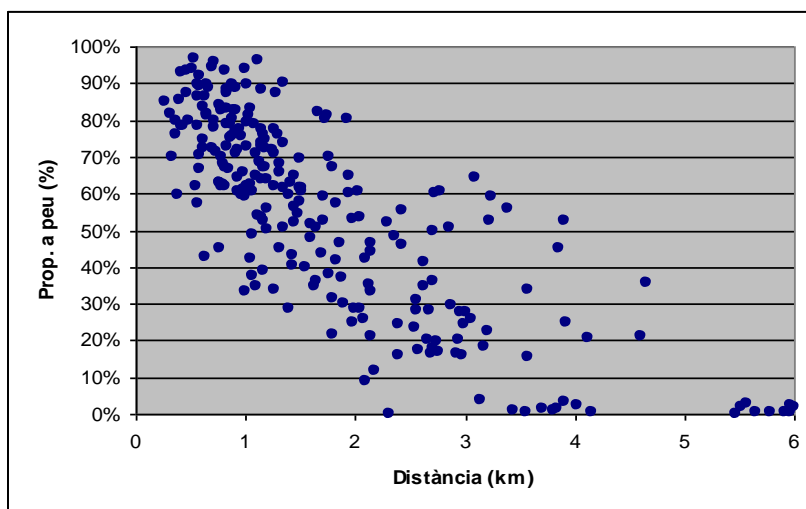
- w_i : nombre total de desplaçaments entre zones
- q_i : nombre de desplaçaments fets a peu.

A partir d'aquí es defineixen dues variables auxiliars:

- $(w_i - q_i)$: nombre de desplaçaments en modes mecànics
- $r_i = q_i / w_i$: proporció de viatges a peu

La variable explicativa, com ja s'ha dit més amunt, és la distància entre centroides de cada zona, expressada en km, que es designa per x_i .

FIGURA 1.
NÚVOL DE PUNTS DELS FLUXOS SELECCIONATS (EN UN DIAGRAMA r_i EN ORDENADES I x_i EN ABCISSES)



Cal notar que cada punt representa un flux, amb independència del volum de desplaçaments que el componen. S'hi pot observar la tendència decreixent de la proporció a peu a mesura que augmenta la distància, tot i que hi ha una dispersió important del núvol. Els 3.227 fluxos considerats representen el conjunt de desplaçaments de cada tipus.

FIGURA 2.
TIPUS DE DESPLAÇAMENTS INTERZONALS

TIPUS DE DESPLAÇAMENTS	NOMBRE	PERCENTATGE
Desplaçaments a peu	922.283	45,7%
Desplaçaments mecanitzats	1.094.147	54,3%
Desplaçaments totals	2.016.430	-

3.2 – PROCEDIMENT DE CALIBRACIÓ

Es tracta d'un **model de regressió logística**, amb una sola variable explicativa, la distància. La seva expressió general és:

$$\pi_i = \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot x_i)} \quad \forall i$$

on π_i indica la proporció de desplaçaments feta a peu per a una distància x_i ; β_0 i β_1 són els dos paràmetres a calibrar.

La determinació dels paràmetres es fa pel mètode de màxima versemblança que s'exposa en síntesi a l'Annex 1. En el cas present, els paràmetres màximo-versemblants són els que resolen el sistema d'equacions següent:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_i \left[y_i - \frac{1}{1 + \exp(-b_0 - b_1 \cdot x_i)} \right] = 0 \\ \sum_i x_i \cdot \left[y_i - \frac{1}{1 + \exp(-b_0 - b_1 \cdot x_i)} \right] = 0 \end{array} \right.$$

on y_i és una variable binària que val 1 si el desplaçament s'ha fet a peu i 0 altrament. Es tracta, doncs, d'un sistema de 2 equacions amb 2 incògnites. Observi's que les variables β_0 i β_1 s'han substituït per b_0 i b_1 , ja que ara ja no es tracta dels valors poblacionals sinó de les seves estimacions obtingudes a partir de la mostra.

Observi's també que la variable es refereix a cada un dels desplaçaments individuals efectuats. Però com que les dades de partida es refereixen no a un sol desplaçament sinó a tot un flux on hi ha múltiples desplaçaments, els sumatoris anteriors s'han adaptat com segueix:

Per als desplaçaments fets a peu dintre de cada flux, que són q_i es compleix $y_i = 1$

Per als desplaçaments fets en modes mecànics dintre de cada flux, que són $(w_i - q_i)$, es complirà: $y_i = 0$

Per tant, les fórmules anteriors esdevenen:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_i \left\{ q_i \cdot \left[1 - \frac{1}{1 + \exp(-b_0 - b_1 \cdot x_i)} \right] + (w_i - q_i) \cdot \left[0 - \frac{1}{1 + \exp(-b_0 - b_1 \cdot x_i)} \right] \right\} = 0 \\ \sum_i x_i \cdot \left\{ q_i \cdot \left[1 - \frac{1}{1 + \exp(-b_0 - b_1 \cdot x_i)} \right] + (w_i - q_i) \cdot \left[0 - \frac{1}{1 + \exp(-b_0 - b_1 \cdot x_i)} \right] \right\} = 0 \end{array} \right.$$

És a dir, s'estableix una ponderació per a cada flux igual al nombre de persones que conté. Això és equivalent a considerar un sumand per cada persona que ha realitzat el desplaçament, sigui a peu o sigui en un mode mecànic. Les expressions anteriors també poden escriure's de manera més simplificada:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_i w_i \cdot \left[r_i - \frac{1}{1 + \exp(-b_0 - b_1 \cdot x_i)} \right] = 0 \\ \sum_i w_i \cdot x_i \cdot \left[r_i - \frac{1}{1 + \exp(-b_0 - b_1 \cdot x_i)} \right] = 0 \end{array} \right.$$

Pot veure's que el claudàtor conté la diferència entre la proporció de desplaçaments a peu observats i estimats, la qual es pondera pel nombre total de desplaçaments d'aquell flux.

S'ha resolt aquest sistema mitjançant l'optimitzador Solver de l'Excel i s'han obtingut els valors següents:

$$b_0 = 1,627994$$

$$b_1 = -0,852503$$

S'ha analitzat la significació dels dos paràmetres mitjançant l'estadístic de la ràtio de versemblances i s'ha trobat que tots dos eren significatius

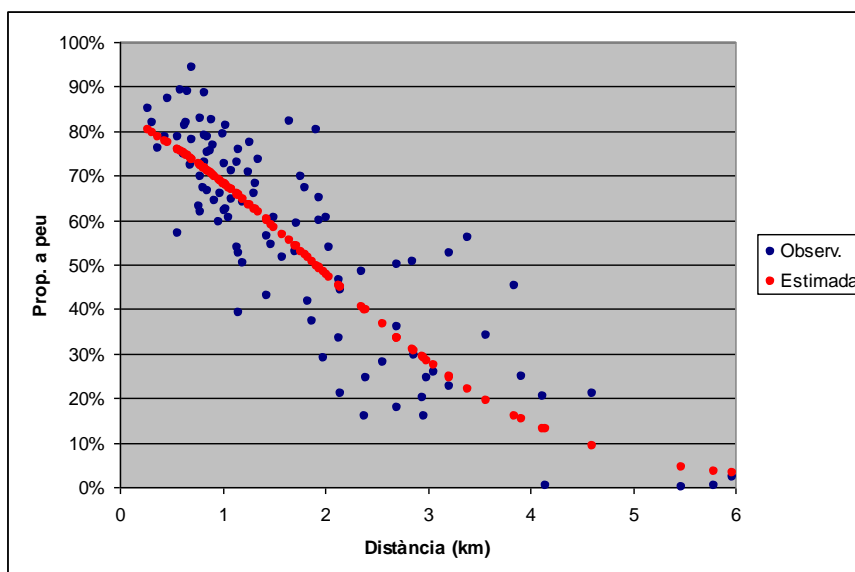
3.2 – CRÍTICA DELS RESULTATS

A continuació es presenta la corba de la funció logística estimada amb els valors deduïts dels paràmetres. Pot veure-s'hi que:

- per a un recorregut proper al 1,9 km s'igualava el nombre de desplaçaments a peu amb els mecanitzats
- per a distàncies molt curtes, la proporció d'usuaris a peu és del 83,6%
- per a distàncies molt llargues, de 4 km o més, encara hi ha proporcions de desplaçaments a peu o, eventualment, en bicicleta del 14,4%

La comparació dels valors observats amb els estimats per als fluxos superiors a 2000 desplaçaments mostra la correcció de l'expressió (Veure figura 3).

FIGURA 3.
COMPARACIÓ DELS VALORS OBSERVATS AMB ELS ESTIMATS



S'observa, però, que els fluxos més importants en volum, no corresponen a la ciutat de Barcelona i els seus municipis veïns, sinó a desplaçaments interzonals entre zones d'altres municipis de l'RMB, per exemple, entre barris de Sabadell.

Aquesta constatació va fer sorgir el dubte que si els fluxos entre zones de Barcelona es comportaven de la mateixa manera que els de l'exterior o, al contrari, es podia parlar de dues tipus de comportaments diferenciats, segons si es considerava Barcelona o un altre municipi, i que la causa d'aquesta diferència podia provenir d'una oferta superior en transport públic. Per aquesta raó es va calibrar un altre model només amb dades de Barcelona i voltant. En concret, es van aïllar els fluxos que tenien tant l'origen com la destinació en un dels municipis següents, que són els qui tenen servei de metro:

- 015 Badalona
- 019 Barcelona
- 073 Cornellà de Llobregat
- 077 Esplugues de Llobregat
- 101 l'Hospitalet de Llobregat
- 194 Sant Adrià de Besòs
- 245 Santa Coloma de Gramenet

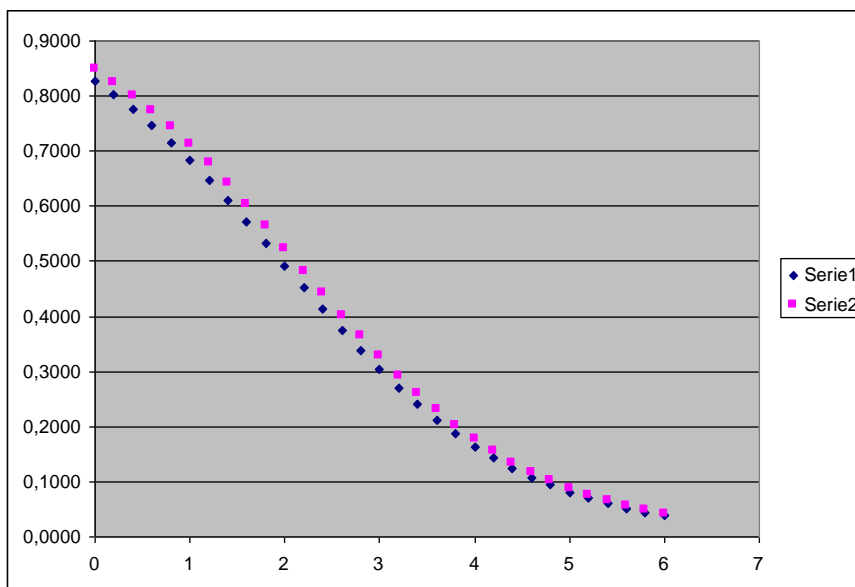
Va calibrar-se el mateix model només per a aquestes dades, i els resultats obtinguts van ser:

$$b_0 = 1,717330$$

$$b_1 = -0,812716$$

Com pot veure's, són valors molt semblants als obtinguts prenent el total

FIGURA 4.
COMPARACIÓ DEL COMPORTAMENT ENTE ELS MUNICIPIS AMB SERVEI DE METRO I ELS ALTRES



No hi ha raó, doncs, per suposar que hi ha comportaments diferents entre Barcelona i voltants i la resta de l'RMB, per la qual cosa s'adopta només la fórmula calculada en primer lloc.

4 – MODELITZACIÓ DELS DESPLAÇAMENTS INTRAZONALS

La modelització dels desplaçaments intrazonals no pot dur-se a terme calcant automàticament el procés dels interzonals perquè, en aquest cas, tot i que també es realitza un desplaçament, la seva longitud no pot estimar-se a partir de la distància entre centroides a través del graf, ja que té lloc del tot a l'interior d'una única zona i , per tant, no queda reflectida al graf.

S'ha optat, doncs, per suposar que la distància recorreguda a l'interior d'una zona és funció de la superfície edificada d'aquella zona: com més gran sigui aquesta, més llarg serà el desplaçament interior per terme mitjà. El Sistema d'Informació Geogràfica (GIS) de l'ATM informa sobre la dita magnitud, superfície edificada de cada zona de l'Enquesta de Mobilitat Obligada 2001, i s'ha utilitzat aquesta com a punt de partida.

Com que també es disposava de la superfície total, va calcular-se en primer lloc la proporció entre superfície edificada i total per a cada zona. Hi ha força zones del tot urbanes, com ara les del centre de Barcelona i de força altres municipis grans, la qual cosa feia suposar que aquesta ràtio valdria 1 en força casos. Tanmateix, va comprovar-se que no era així, sinó que els valors grans se situaven entre el 65% i el 70%, i en cap cas no s'ultrapassava el 71%. Se'n va concloure que aquesta superfície edificada no incloïa la superfície de xarxa viària, la qual tanmateix havia de prendre's en consideració als efectes de la mobilitat.

Així doncs, va suposar-se que la xarxa viària ocupava, en conjunt, la meitat de la superfície dels edificis, és a dir, que la relació edificat / viari és de 2 a 1. Per tant, si la ràtio entre superfície edificada i total valia almenys 2/3, podia admetre's que tota la zona estava urbanitzada. Va decidir-se, doncs, que la superfície urbanitzada als efectes de model seria l'edificada segons el GIS multiplicada per 1,5, i vetllant perquè en cap cas no s'excedís la superfície total de la zona. Aquesta superfície urbanitzada s'anomena A_i .

En segon lloc, va definir-se el concepte de diàmetre equivalent de cada zona, d_i , que equival al que tindria un cercle amb la seva mateixa superfície. És a dir:

$$d_i = 2 \cdot \sqrt{\frac{A_i}{\pi}} \quad \forall i$$

La següent hipòtesi és admetre que la distància mitjana dels desplaçaments a l'interior de cada zona serà proporcional al dit diàmetre. És a dir:

$$x_i = s \cdot d_i \quad \forall i$$

on x_i té el mateix significat que abans, és a dir, la distància mitjana recorreguda a la zona i s és un paràmetre a estimar, que se suposa idèntic per a totes les zones. Admet implícitament, doncs, que la distància mitjana recorreguda a cada zona és proporcional a l'arrel quadrada de la seva superfície urbanitzada. El conjunt de les 582 i dels seus fluxos interiors representen els desplaçaments següents.

SUPÒSITS METODOLÒGICS

La superfície urbanitzada als efectes de model és l'edificada segons el GIS multiplicada per 1,5, vetllant perquè en cap cas no s'excedeixi la superfície total de la zona.

El concepte de diàmetre equivalent de cada zona, equival al que tindria un cercle amb la seva mateixa superfície.

La distància recorreguda per l'usuari a l'interior de cada zona és proporcional al dit diàmetre.

La distància mitjana recorreguda a cada zona és proporcional a l'arrel quadrada de la seva superfície urbanitzada.

FIGURA 5.
TIPUS DE DESPLAÇAMENTS INTRAZONALS

TIPUS DE DESPLAÇAMENTS	NOMBRE	PERCENTATGE
Desplaçaments a peu	605.940	63,6%
Desplaçaments mecanitzats	347.236	36,4%
Desplaçaments totals	953.176	-

Tot i que el nombre de desplaçaments intrazonals és inferior al d'interzonals ja que no arriba a un milió, mentre que allà ultrapassava els 2, ara la proporció de viatges a peu és superior i representa quasi les 2/3 parts del total.

5 – CALIBRACIÓ CONJUNTA DE TOTS ELS PARÀMETRES

Atès que la realitat i el territori a modelitzar són uns, i que la divisió en zones és quelcom de sobreposat per imperatius del model, però no inherent a la mateixa realitat, s'ha suposat que no hi havia cap raó per suposar dos models diferents, sinó que el mateix model havia d'explicar el repartiment modal tant dels desplaçaments interzonals com dels intrazonals. Dit en altres paraules, el viatger no sap si està realitzant un desplaçament intrazonal o interzonal ja que ignora la divisió en zones del territori. En conseqüència, s'ha suposat que la funció de repartiment modal a aplicar era la mateixa que abans, només modificant la manera de calcular la distància, és a dir:

$$\left\{ \begin{array}{l} \pi_i = \frac{1}{1 + \exp(-b_0 - b_1 \cdot x_i)} \quad \forall i \text{ per als desplaçaments INTERzonals} \\ \pi_j = \frac{1}{1 + \exp(-b_0 - b_1 \cdot s \cdot d_j)} \quad \forall j \text{ per als desplaçaments INTRAzonals} \end{array} \right.$$

Observi's que els paràmetres b_0 i b_1 són els mateixos en les dues expressions. Per tant, en total només caldrà estimar-ne tres; aquests dos i s .

La calibració dels paràmetres s'obté aplicant el criteri de màxima versemblança, tal com s'ha fet més amunt. Donant el mateix significat a les variables que aleshores, i tenint en compte que el subíndex i recorre els desplaçaments interzonals i el subíndex j els intrazonals, les expressions que s'han de satisfer són les que segueixen. A l'Annex 2 se'n troba la justificació.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_i \left[y_i - \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot x_i)} \right] + \sum_j \left[y_j - \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot s \cdot d_j)} \right] = 0 \\ \sum_i x_i \cdot \left[y_i - \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot x_i)} \right] = 0 \\ \sum_j d_j \cdot \left[y_j - \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot s \cdot d_j)} \right] = 0 \end{array} \right.$$

Repetint el mateix raonament que en el paràgraf anterior sobre el nombre de desplaçaments de cada flux s'arriba a una expressió com la següent:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_i w_i \cdot \left[r_i - \frac{1}{1 + \exp(-b_0 - b_1 \cdot x_i)} \right] + \sum_j w_j \cdot \left[r_j - \frac{1}{1 + \exp(-b_0 - b_1 \cdot s \cdot d_j)} \right] = 0 \\ \sum_i w_i \cdot x_i \cdot \left[r_i - \frac{1}{1 + \exp(-b_0 - b_1 \cdot x_i)} \right] = 0 \\ \sum_j w_j \cdot d_j \cdot \left[r_j - \frac{1}{1 + \exp(-b_0 - b_1 \cdot s \cdot d_j)} \right] = 0 \end{array} \right.$$

Hi ha 3 equacions a resoldre, tantes com paràmetres. La primera equival a la primera del cas anterior, mentre que la segona i tercera es corresponen a la segona d'aleshores.

La calibració també es du a terme pel Solver i el valor dels paràmetres és:

- $b_0 = 1,518862$
- $b_1 = -0,772067$
- $s = 1,137716$

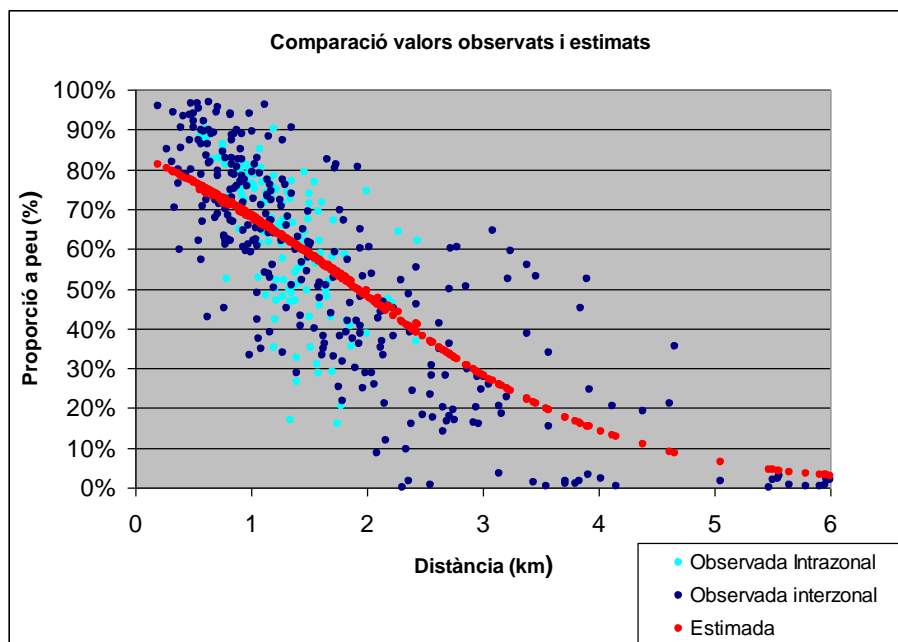
Els valors dels paràmetres b_0 i b_1 no són essencialment diferents de la calibració anterior. En canvi, el paràmetre s és superior a 1, la qual cosa vol dir que la distància mitjana recorreguda és més gran que el diàmetre. Cal notar, però, que aquest diàmetre s'ha calculat segons la distància euclidiana o a vol d'ocell, és a dir, suposant que el desplaçament efectuat és en línia recta. Com que això no és possible damunt de la xarxa viària, el recorregut mitjà acabarà essent superior al dit diàmetre. Per avaluar correctament aquest valor cal recordar que la distància Manhattan pot arribar a ser un 40% superior a l'euclidiana en segons quins recorreguts.

6 – ANÀLISI DELS RESULTATS DEL MODE A PEU

La funció conjunta de tots dos tipus de desplaçaments té unes característiques força semblants a la que s'ha calibrat anteriorment a partir només dels desplaçaments interzonals. En essència, doncs:

- per a un recorregut de 1,96 km s'igualava el nombre de desplaçaments a peu i mecanitzats
- per a distàncies molt curtes, la proporció d'usuaris a peu és del 82,0 %
- per a distàncies de 6 km, la proporció de desplaçaments a peu o, eventualment, en bicicleta, és del 4,3%.

FIGURA 6.
COMPARACIÓ DELS VALORS OBSERVATS I ESTIMATS INTERZONALS I INTRAZONALS



El gràfic mostra les dues famílies d'observacions, que representen els desplaçaments intrazonals i els interzonals. En els primers, la distància s'ha estimat a partir del diàmetre d_j afectat pel paràmetre s . Per tant, la variació d'aquest paràmetre provoca un efecte d'homotècia horitzontal en el núvol de punts corresponents observacions intrazonals.

Essencialment el gràfic mostra que els dos núvols corresponen a una mateixa població, i que encaixen els uns amb els altres. No és cap error, doncs, d'haver concebut un únic model per explicar els dos tipus de desplaçaments.

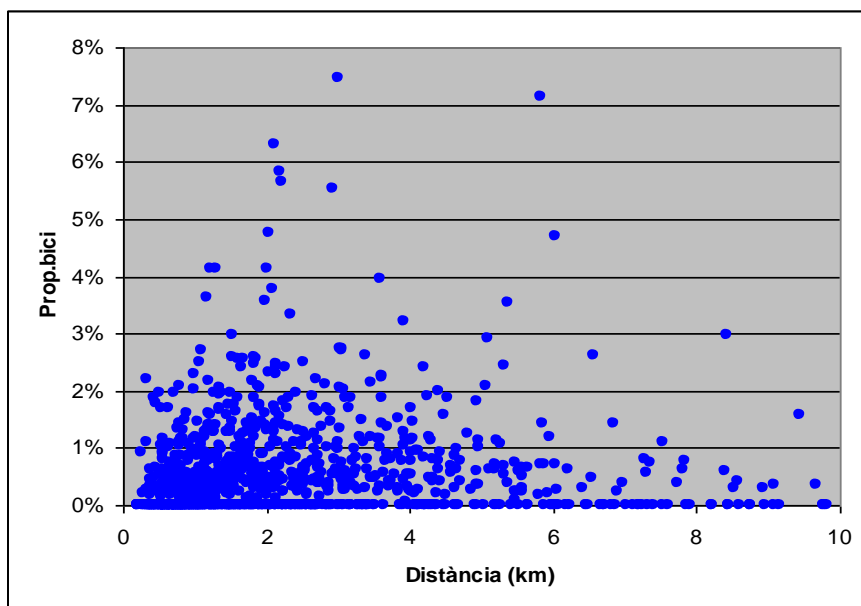
7 – ASSAIG DE MODELITZACIÓ DE LA BICICLETA

Després de tractar els desplaçaments a peu s'ha abordat el mode bicicleta, que és l'altre mode no motoritzat i a primer cop d'ull presenta unes concomitàncies clares amb el mode a peu.

El pes d'aquest mode és molt inferior a aquell. Així, només existeixen desplaçaments en bicicleta en 1.166 relacions o fluxos del total de l'RMB, que representen un total de 7.848 desplaçaments. Aquests valors suposen un 0,58% del total de desplaçaments i tan sols un 1,11% dels desplaçaments no motoritzats. Atesa la petitesa d'aquests valors, i abans d'encetar-ne la modelització, s'han fet unes primeres anàlisis de tipus exploratori, els resultats de les quals s'exposen a continuació.

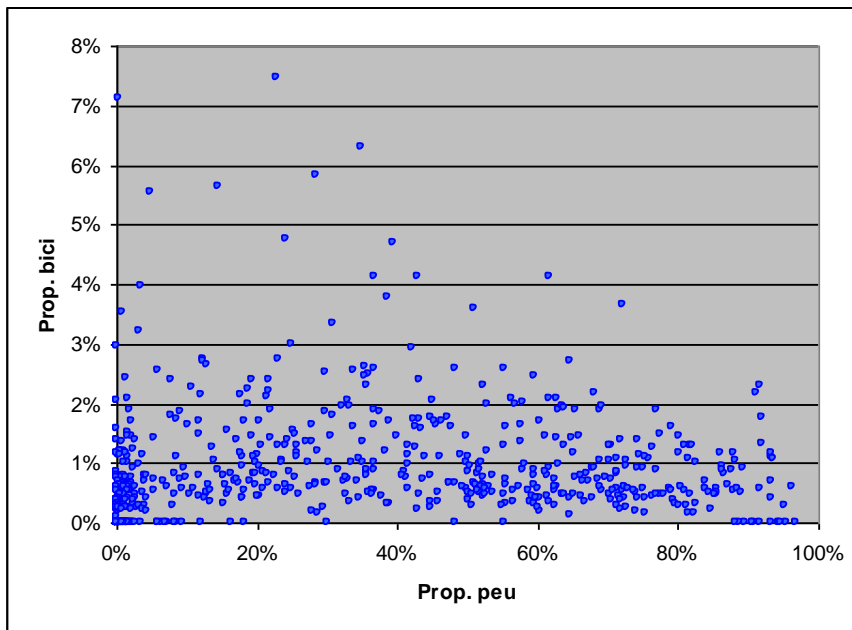
Una primera aproximació va consistir a relacionar la proporció de desplaçaments en bicicleta amb la distància, atesos els bons resultats que s'havien obtingut amb els desplaçaments a peu fent aquesta mateixa relació. En aquest cas, però, va observar-se que no hi havia cap mena de correlació, com deixa ben clar la figura següent.

FIGURA 7.
CORRELACIÓ ENTRE LA PROPORCIÓ DE DESPLAÇAMENTS EN BICICLETA I LA DISTÀNCIA RECORREGUDA



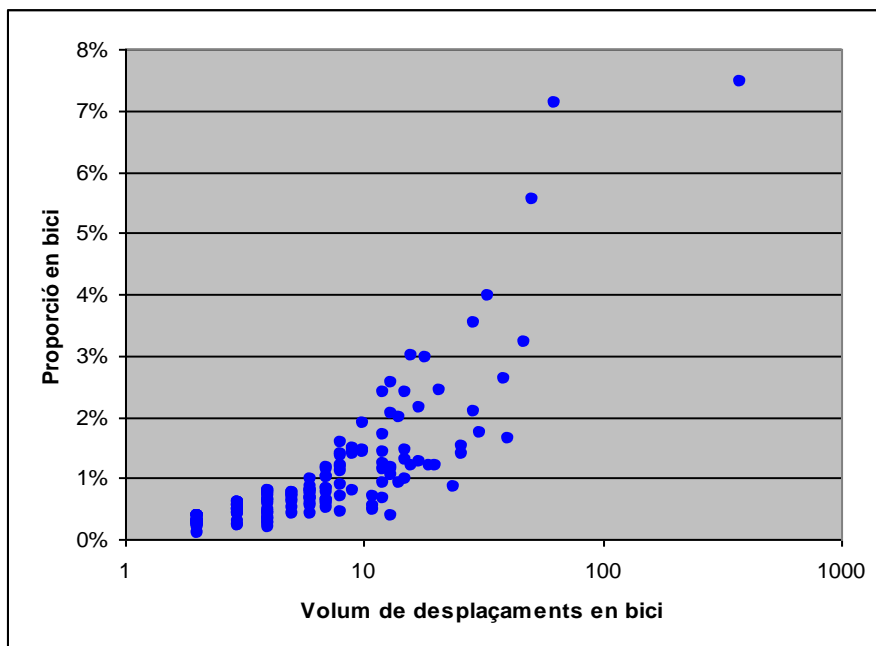
Un segon intent va consistir a relacionar la utilització de la bicicleta, és a dir, la seva proporció, amb la proporció de desplaçaments a peu, ja que es tracta dels dos modes no motoritzats. La conclusió va ser igualment decebedora: continua sense haver-hi cap lligam en la utilització dels dos modes, Vegi's la figura adjunta.

FIGURA 8.
CORRELACIÓ ENTRE LA PROPORCIÓ DE DESPLAÇAMENTS EN BICICLETA I LA DE DESPLAÇAMENTS A PEU



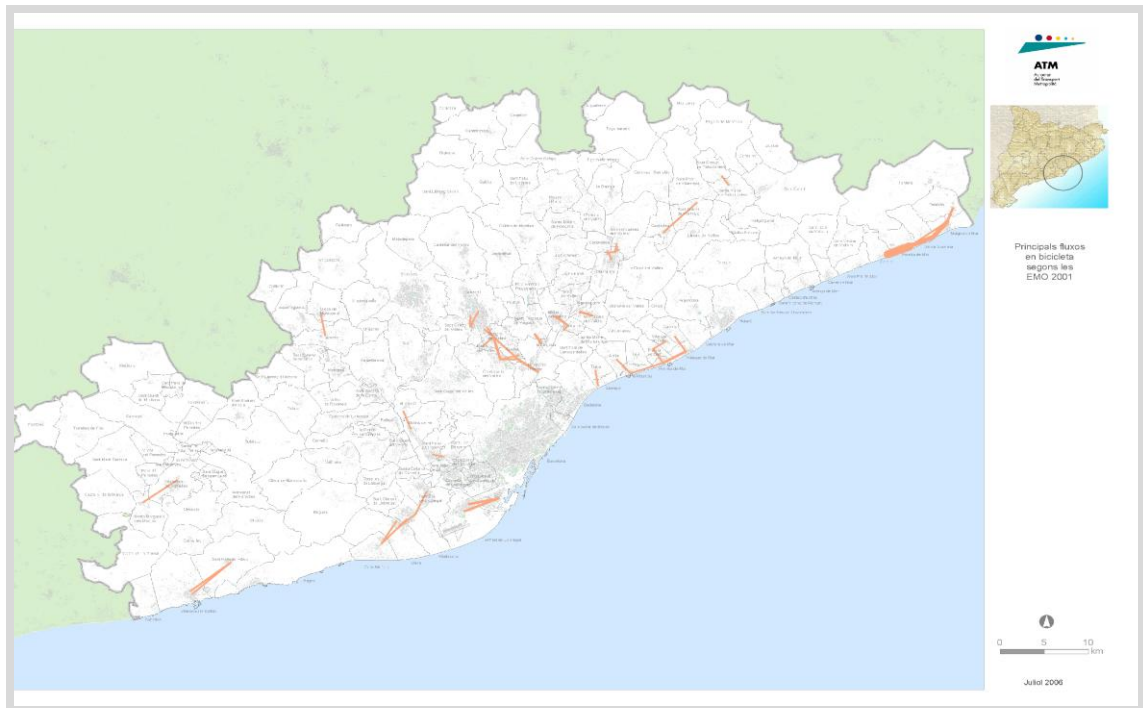
Vista, doncs, la impossibilitat de lligar la variable resposta, que ha de ser la proporció de desplaçaments en bicicleta, amb les dues variables amb qui a priori semblava que hi havia d'haver més relació, van explorar-se de manera sistemàtica les relacions entre aquesta variables i totes les altres que hi havia a l'abast. La conclusió és que tan sols hi ha una correlació significativa entre la proporció en bicicleta i el volum absolut en bicicleta, com es mostra a la figura següent:

FIGURA 9.
CORRELACIÓ ENTRE LA PROPORCIÓ DE DESPLAÇAMENTS EN BICICLETA I EL VOLUM TOTAL DE DESPLAÇAMENTS



És a dir, allà on hi ha una quantitat més gran de desplaçaments en bici, aquests també representen una proporció més alta d'utilització. Aquest resultat, que no necessàriament es repeteix en els altres modes, va fer pensar que la utilització de la bicicleta havia de lligar-se a la possibilitat de servir-se'n i a l'oferta disponible. Per això s'ha construït el plànol adjunt, en el qual se situen els desplaçaments més significatius damunt del territori.

FIGURA 10.
PLÀNOL DELS DESPLAÇAMENTS MÉS SIGNIFICATIUS EN EL TERRITORI



S'identifiquen amb facilitat unes àrees on s'agrupen quasi tots els moviments en bicicleta. Són aquests:

- Alt Maresme: corredor format pels municipis de Calella, Pineda de Mar, Santa Susanna, Malgrat de Mar i Palafolls. És el territori on hi ha els volums més alts de desplaçaments en aquest mode.
- Baix Maresme: inclou els municipis costaners del Masnou, Premià de Mar i Vilassar de Mar, però també els interiors d'Alella, Premià de Dalt, Vilassar de Dalt i Cabrils.
- Delta del Llobregat. Apareix d'una banda el corredor Sant Boi de Llobregat, Viladecans, Gavà i Castelldefels i, d'altra banda, els desplaçaments entre algunes zones del Prat de Llobregat i la Zona Franca.
- Vallès Occidental. També en aquest cas es forma un corredor, constituït pels municipis de Montcada i Reixac, Ripollet, Cerdanyola del Vallès i Barberà del Vallès.

Tots aquests territoris tenen alguns trets en comú:

- tenen poc pendent, i fins i tot en alguns casos discorren paral·lels al mar
- són zones amb una densitat de població relativament alta comparada amb el conjunt de l'RMB
- malgrat això, no incorporen els cascots urbans de grans ciutats, és a dir, en queden exclosos Barcelona ciutat, així com els grans municipis: Mataró, Sabadell, Cornellà o l'Hospitalet entre altres, tot i ser propers als corredors detectats.

Una primera conclusió és que la bicicleta es fa servir allà on és possible, és a dir, en aquells indrets on ho permeten en tant l'orografia com la congestió. Això du a concloure'n que si s'augmentava l'oferta de carrils bici o altres equipaments, la demanda seguiria aquesta nova disponibilitat. Tanmateix, les dades disponibles no permeten de fer-ne cap modelització com la que s'ha dut a terme amb la marxa a peu.

CONCLUSIÓ

La bicicleta es fa servir allà on és possible, és a dir, en aquells indrets on ho permeten en tant l'orografia com la congestió. Per tant, si s'augmentés l'oferta de carrils bici o altres equipaments, la demanda seguiria aquesta nova disponibilitat.

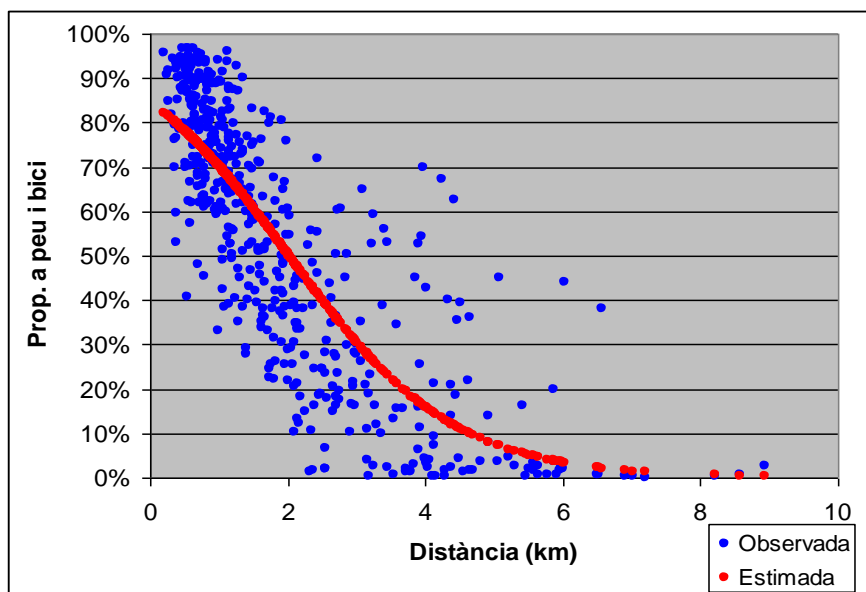
8 – MODELITZACIÓ CONJUNTA DE L'A PEU I EN BICICLETA

Però sí que tenia sentit de repetir la modelització considerant conjuntament els dos modes, és a dir la proporció d'usuaris de marxa a peu i la bicicleta en funció de la distància recorreguda. Com que les dades que es tenen de la bicicleta són interzonals, s'ha repetit el procés de calibració explicat al punt 4, però considerant només aquest tipus de desplaçaments. Els paràmetres obtinguts en aquest cas són:

- $b_0 = 1,700507$
- $b_1 = -0,839899$

La proporció d'usuaris no motoritzats és màxima per a una distància nul·la, on assoleix un 84,5%. El repartiment a parts iguals entre modes motoritzats i no motoritzats té lloc als 2,0 km, xifra lleugerament superior a l'obtinguda quan es tractava només la marxa a peu. A continuació es presenta el gràfic de valors observats i estimats.

FIGURA 11.
MODELITZACIÓ CONJUNTA DELS DESPLAÇAMENTS A PEU I EN BICICLETA

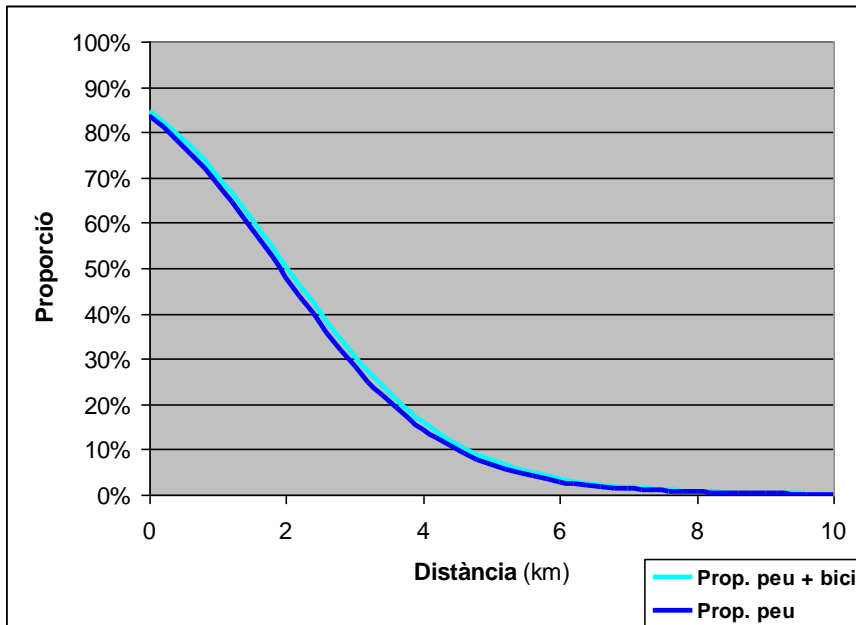


Els paràmetres obtinguts en aquesta nova calibració són comparables als obtinguts en la calibració de la marxa a peu exclusivament, que eren aleshores

- $b_0 = 1,627994$ i
- $b_1 = -0,852503$.

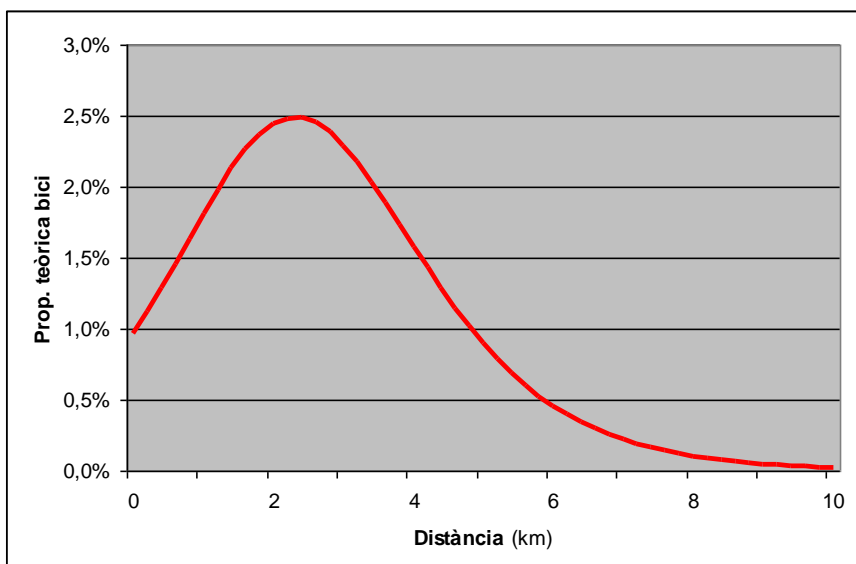
Com que els valors numèrics dels paràmetres són força semblants, també ho són les funcions estimades de repartiment modal, tal com es mostra a la figura adjunta, on es representen les dues gràfiques.

FIGURA 12.
COMPARACIÓ DEL MODE A PEU AFEGINT-HI LA BICICLETA O NO



La diferència entre les dues prediccions per a distància 0 km és escassament d'un 1%. Creix suauement fins a un màxim d'un 2,5 %, que s'assoleix als 2,3 km, i a partir d'aquí les dues estimacions s'aproximen entre si i tendeixen simultàniament a 0%. Vist gràficament, la corba de diferències és aquesta:

FIGURA 13.
DIFERÈNCIA ENTRE ELS DOS MODELS: INCLOENT-HI LA BICICLETA O NO



És fàcil caure en la temptació d'assimilar la corba anterior, que representa la diferència entre prediccions, a la proporció teòrica de l'ús de la bicicleta en funció de la distància. Però cal no oblidar que la Teoria de l'Error ensenya que no és recomanable estimar una magnitud petita com a diferència de dues de grans, ja que els errors implícits en les mesures d'aquelles poden ser tan elevats com la magnitud diferència que es tracta d'avaluar.

ANNEX

Annex 1.

El model de màxima versemblança per a la regressió logística

El model de regressió logística respon a l'expressió general:

$$\pi_i = \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot x_i)}$$

La seva funció de versemblança vindrà donada per:

$$L(\pi_i) = \prod_i \pi_i^{y_i} \cdot (1 - \pi_i)^{1-y_i} = \prod_i \left(\frac{\pi_i}{1 - \pi_i} \right)^{y_i} \cdot (1 - \pi_i)$$

I posant aquesta expressió en funció dels paràmetres β_0 i β_1 de l'expressió inicial s'obté:

$$L(\beta_0, \beta_1) = \prod_i [\exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot x_i)]^{y_i} \cdot \frac{1}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot x_i)}$$

I prenent logaritmes de la funció de versemblança, com és habitual, per tal de facilitar-ne la maximització:

$$\ln L(\beta_0, \beta_1) = \sum_i y_i (\beta_0 + \beta_1 \cdot x_i) - \sum_i \ln[1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot x_i)]$$

Derivant respecte dels paràmetres i igualant a 0 es troben les equacions que permeten determinar el valor dels paràmetres.

$$\begin{cases} \frac{\partial \ln L}{\partial \beta_0} = \sum_i y_i - \sum_i \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot x_i)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot x_i)} = \sum_i \left[y_i - \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot x_i)} \right] = 0 \\ \frac{\partial \ln L}{\partial \beta_1} = \sum_i y_i \cdot x_i - \sum_i \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot x_i)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot x_i)} \cdot x_i = \sum_i x_i \cdot \left[y_i - \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot x_i)} \right] = 0 \end{cases}$$

Aquest sistema de dues equacions amb dues incògnites és el que es transforma, tal com s'explica a la memòria, per adaptar-lo al cas present.

Annex 2. Adaptació del model de màxima versemblança per a la regressió logística en el cas dels desplaçaments interzonals i intrazonals

En aquest cas, el model de regressió logística respon a les dues expressions següents, tal com s'ha justificat a la memòria. La primera es refereix als desplaçaments interzonals, i se li assigna el subíndex i , i la segona als intrazonals, amb el subíndex j .

$$\left\{ \begin{array}{l} \pi_i = \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot x_i)} \quad \forall i \text{ per als desplaçaments INTERzonals} \\ \pi_j = \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot s \cdot d_j)} \quad \forall j \text{ per als desplaçaments INTRAzonals} \end{array} \right.$$

Pot veure-s'hi que hi intervenen tres paràmetres, els dos primers, β_0 i β_1 , comuns a les dues expressions, mentre que el tercer, s , només requerit en els desplaçaments intrazonals. Per tant, la seva funció de versemblança, ja expressada en funció del tres paràmetres, vindrà donada per:

$$L(\beta_0, \beta_1, s) = \left\{ \prod_i [\exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot x_i)]^{y_i} \cdot \frac{1}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot x_i)} \right\} \cdot \left\{ \prod_j [\exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot s \cdot d_j)]^{y_j} \cdot \frac{1}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot s \cdot d_j)} \right\}$$

I prenent logaritmes de la funció de versemblança:

$$\begin{aligned} \ln L(\beta_0, \beta_1, s) &= \\ &= \sum_i y_i (\beta_0 + \beta_1 \cdot x_i) - \sum_i \ln[1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot x_i)] \\ &+ \sum_j y_j (\beta_0 + \beta_1 \cdot s \cdot d_j) - \sum_j \ln[1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot s \cdot d_j)] \end{aligned}$$

Derivant respecte dels paràmetres i igualant a 0 es troben les tres equacions que permeten determinar el valor dels paràmetres.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \ln L}{\partial \beta_0} = \sum_i \left[y_i - \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot x_i)} \right] + \sum_j \left[y_j - \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot s \cdot d_j)} \right] = 0 \\ \frac{\partial \ln L}{\partial \beta_1} = \sum_i x_i \cdot \left[y_i - \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot x_i)} \right] + s \cdot \sum_j d_j \cdot \left[y_j - \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot s \cdot d_j)} \right] = 0 \\ \frac{\partial \ln L}{\partial s} = \beta_1 \cdot \sum_j d_j \cdot \left[y_j - \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot s \cdot d_j)} \right] = 0 \end{array} \right.$$

Restant de l'equació 2a. una combinació lineal de la 3a. es pot simplificar la seva expressió, que esdevé:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_i \left[y_i - \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot x_i)} \right] + \sum_j \left[y_j - \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot s \cdot d_j)} \right] = 0 \\ \sum_i x_i \cdot \left[y_i - \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot x_i)} \right] = 0 \\ \sum_j d_j \cdot \left[y_j - \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 \cdot s \cdot d_j)} \right] = 0 \end{array} \right.$$

I aquest sistema és el que s'utilitza per calibrar els paràmetres en el model global.