



NOTA TÈCNICA

ESTIMACIÓ DEL TRANSVASAMENT ENTRE MODES A CAUSA D'UNA MILLORA DE L'OFERTA DE TRANSPORT PÚBLIC COL·LECTIU

AUTOR

Xavier Roselló, Adjunt al Director Tècnic, ATM

CONTINGUTS

1.	JUSTIFICACIÓ I PLANTEJAMENT	3
2.	DETERMINACIÓ DE LA PROPORCIÓ TRANSVASADA	5
3.	EXEMPLE NUMÈRIC	6
4.	SIMPLIFICACIÓ: APROXIMACIÓ LINEAL	8

1 – JUSTIFICACIÓ I PLANTEJAMENT

El document té per objecte d'estimar la captació d'usuaris que experimenta el transport públic col·lectiu quan es realitza una millora en l'oferta del dit mode, habitualment una nova infraestructura, ja que aquesta fórmula s'ha dissenyat per ser utilitzada en primer lloc en la revisió del Pla Director d'Infraestructures.

OBJECTIU DEL TREBALL

Estimar la captació d'usuaris que experimenta el transport públic col·lectiu quan es realitza una millora en l'oferta d'aquest mode.

Els punts de partida són els següents:

- Se suposa que hi ha **tres modes de transport**, cada un dels qual amb el subíndex associat següent:

- 1: a peu
- 2: transport privat
- 3: transport públic

que s'utilitzaran al llarg de tot el document.

- El **repartiment entre modes** segueix la llei *logit* acostumada:

$$p_k = \frac{e^{V_k}}{\sum_l e^{V_l}}$$

on k : és el subíndex de mode ($k=1,2,3$)

p_k és la proporció (tant per u) d'usuaris del mode k

V_k és la utilitat observable associada al mode k

- En el cas que ja es conegui el repartiment modal i tant sols vulgui estimar-se'n la variació de proporcions com a conseqüència d'un canvi en la utilitat del mode, és d'**aplicació la fórmula incremental**, que estima les proporcions futures d'utilització de cada mode a partir de les proporcions actuals, tal com segueix:

$$p'_k = \frac{p_k \cdot e^{\Delta V_k}}{\sum_l p_l \cdot e^{\Delta V_l}}$$

on p_k és la proporció actual d'usuaris del mode k

p'_k és la proporció futura d'usuaris del mode k

ΔV_k és l'increment d'utilitat associat al mode k

- Com que en el cas present l'únic mode que ha modificat la seva oferta, i doncs la seva utilitat, és el transport públic col·lectiu, per als altres dos modes no hi haurà variació de la utilitat, és a dir:

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 = 0$$

- La utilitat associada a un mode és el cost generalitzat d'aquell mode, g_k , multiplicada per un constant, b , amb $b < 0$. És a dir:

$$V_k = b \cdot g_k$$

- El cost generalitzat d'un mode és el producte del temps de recorregut d'aquell mode, c_k , pel valor econòmic del temps, a , més el cost monetari del desplaçament. Com que ara es tracta tan sols d'estimar increments i s'admet que el preu del títol de transport no varia, aquest no tindrà cap incidència en l'expressió final. Per tant, la variació de la utilitat serà una funció lineal de la reducció de temps de viatge:

$$\Delta V_k = b \cdot \Delta g_k = b \cdot a \cdot \Delta c_k$$

Com que $b < 0$ i $a > 0$, $b \cdot a < 0$. Per tant, una disminució del temps de recorregut comportarà un increment de la utilitat associada al mode de transport.

El valor econòmic del temps tendeix a augmentar si llarg dels anys. Entre els 2007 i el 2014 ha passat de 8,70 €/h a 10,80 €/h.

2 – DETERMINACIÓ DE LA PROPORCIÓ TRANSVASADA

Se suposa que tot el raonament d'aquest document es refereix a un flux entre dues zones, és a dir, a una parella (i,j) . Com que aquest procediment s'haurà de repetir per a cada parella, en endavant ja no s'utilitzen els subíndexs ij , que es donen per sobreentesos

Com a conseqüència de les hipòtesis exposades al punt precedent, en el cas present la fórmula de la proporció futura de desplaçaments en transport privat adopta l'expressió:

$$p'_2 = \frac{p_2}{p_1 + p_2 + p_3 \cdot e^{\Delta V_3}} = \frac{p_2}{(1 - p_3) + p_3 \cdot e^{\Delta V_3}} = \frac{p_2}{1 + p_3 \cdot (e^{\Delta V_3} - 1)}$$

D'altra banda, si s'anomena:

- t : el nombre total de desplaçaments entre una parell de zones
- t_2 : el nombre de desplaçaments en vehicle privat en el moment actual
- t'_2 : el nombre de desplaçaments en vehicle privat en la situació futura

aleshores el nombre de desplaçaments transvasats del mode privat al públic, Δt_2 , serà:

$$\Delta t_2 = t'_2 - t_2 = (p'_2 - p_2) \cdot t = \left[\frac{p_2}{1 + p_3 \cdot (e^{\Delta V_3} - 1)} - p_2 \right] \cdot t = \left(\frac{1}{1 + p_3 \cdot (e^{\Delta V_3} - 1)} - 1 \right) \cdot t_2 = q \cdot t_2$$

on q representa l'expressió inclosa entre parèntesis, que val:

$$q = \frac{1}{1 + p_3 \cdot (e^{\Delta V_3} - 1)} - 1 = \frac{1}{1 + p_3 \cdot (e^{ba\Delta c_3} - 1)} - 1$$

i indica la proporció de desplaçaments actuals en transport privat que seran transvasats al transport públic després de fer la millora.

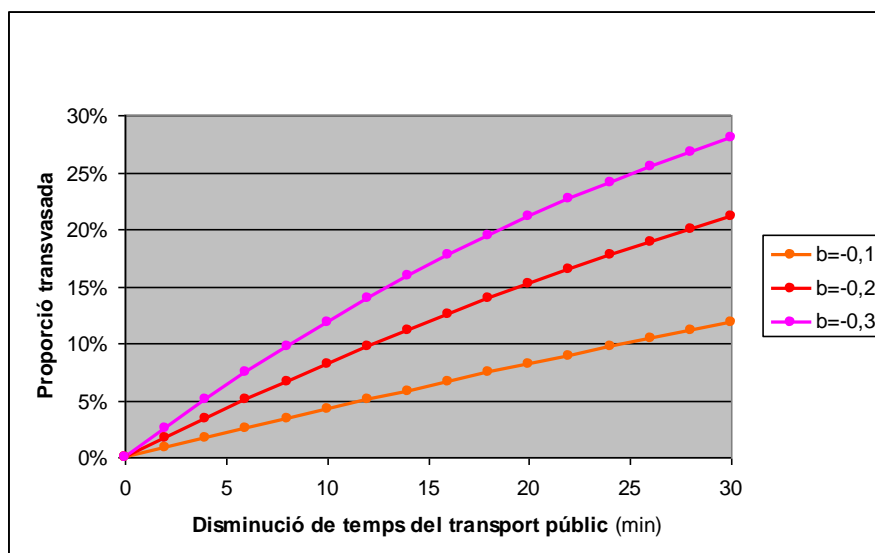
Observi's que aquesta expressió és aplicable també als desplaçaments a peu. N'hi ha prou de substituir els subíndexs 2 per subíndexs 1, i repetir tot el raonament. Per tant, la proporció q també representa la proporció de desplaçaments a peu que seran captats pel transport públic, que és la mateixa que la del transport privat. Aquesta és una de les principals propietats de les funcions *logit*. Cal notar que es tracta de la mateixa proporció entre els mode a peu i vehicle privat, no del mateix nombre absolut de desplaçaments transvasats

3 – EXEMPLE NUMÈRIC

Per tal d'il·lustrar el funcionament de la fórmula precedent, s'han calculat els valors que pren q per a alguns valors habituals dels altres paràmetres. El gràfic següent mostra la proporció transvasada per a diferents sensibilitats de l'usuari, és a dir, per a diferents valors de b , coeficient que s'interpreta com un indicador de la sensibilitat de l'usuari a la diferència de costos o d'utilitats.

En aquest exemple s'ha mantingut la proporció actual d'utilització del transport públic, p_3 , en un valor versemblant del 30%

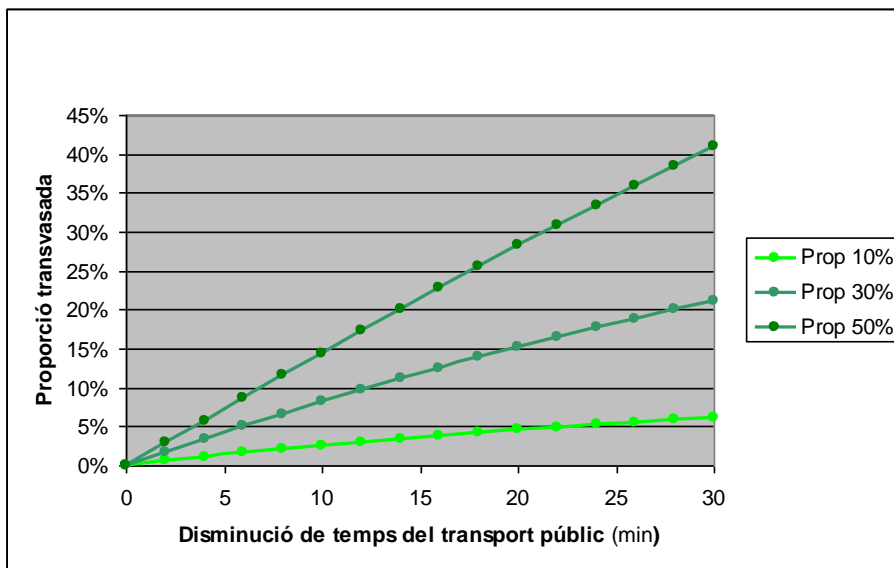
FIGURA 1.
PROPORCIÓ DEL TRANSPORT PRIVAT CAP AL PÚBLIC



Com pot veure's, presenta un comportament força lineal, sobre tot per a disminucions petites de temps. Per a un guany de 10 minuts, els desplaçaments de transport privat transvasats al públic serien respectivament del 4,2%, 8,2% i 11,2%, xifres totes ells acceptables.

Suposant ara un valor constant de $b = -0,2 \text{ €}^{-1}$ per al paràmetre de sensibilitat, i fent variar la proporció actual de desplaçaments en transport públic, el gràfic que s'obté és com segueix:

FIGURA 2.
PROPORCIÓ DEL TRANSPORT PRIVAT CAP AL PÚBLIC



on per a una disminució de 10 minuts s'obtenen uns transvasaments del 2,6%, 8,2% i 14,4%, que també són valors versemblants. També pot observar-se que el comportament és lineal, i encara que no tan clar com en el gràfic precedent, la hipòtesi de linealitat és admissible.

4 – SIMPLIFICACIÓ: APROXIMACIÓ LINEAL

Atès el comportament força lineal de la funció que ara s'analitza, s'ha optat per substituir-la per una aproximació lineal, la seva recta tangent a l'origen.

Per tant, cal conèixer el valor de la derivada a l'origen de la funció $q(\Delta c_3)$, és a dir, de la proporció transvasada des del vehicle privat en funció de la disminució del temps de viatge del transport públic. És així:

$$\begin{aligned} q(\Delta c_3) &= [1 + p_3 \cdot (e^{ba\Delta c_3} - 1)]^{-1} - 1 \\ q'(\Delta c_3) &= (-1) \cdot [1 + p_3 \cdot (e^{ba\Delta c_3} - 1)]^{-2} \cdot p_3 \cdot e^{ba\Delta c_3} \cdot b \cdot a \\ q'(0) &= -p_3 \cdot b \cdot a \end{aligned}$$

Per tant, una bona aproximació al nombre de desplaçaments transvasats del transport privat al públic vindrà donada per l'expressió:

$$\Delta t_2 = q t_2 \cong -p_3 \cdot b \cdot a \cdot t_2$$

Com que la fórmula també és aplicable a la marxa a peu, pot escriure's igualment:

$$\Delta t_1 = q t_1 \cong -p_3 \cdot b \cdot a \cdot t_1$$

Aquestes expressions requereixen alguns comentaris i interpretacions:

- b és un coeficient negatiu. Per tant, atès el signe menys de la fórmula, el nombre de passatgers transvasats serà sempre positiu.
- p_3 és la proporció actuals d'usuaris de transport públic respecte del total de desplaçaments entre les dues zones. Equival, doncs, al quocient t_3/t . Pot semblar estrany que el nombre de viatgers transvasats cap al transport públic sigui proporcional a l'ús que actualment ja es fa d'aquest mode. Per comprendre-ho, cal adonar-se que una utilització alta del mode públic és conseqüència d'una diferència de costos gran entre aquest mode i els altres. Per tant, una reducció afegida serà tan més sentida pels usuaris dels altres modes com més gran ja sigui la diferència actual entre temps dels modes.
- el valor de a canvia al llarg del temps. De 8,70 €/h ha passat a 10,80 €/h
- com és lògic, el nombre de desplaçaments transvasats des de cada mode és proporcional al nombre absolut de desplaçaments en aquell mode.
- fins i tot prescindint de l'aproximació lineal que ara es propugna, no es pot parlar d'un comportament asimptòtic de la funció de transvasament, sinó que el límit de la proporció q és -1 , és a dir, que si disminuïa prou el temps del transport públic acabaria absorbint els fluxos dels altres modes. De tota manera, hi ha un límit previ, que és la no-negativitat del costos, més enllà de la qual no pot anar-se.

La taula següent dona alguns valors numèrics del percentatge transvasat des de cada mode alternatiu per minut estalviat de transport públic. S'imposa fer una calibració del paràmetre de sensibilitat, b , a partir d'alguns resultats observats en enquestes *ad hoc*, com per exemple la del Tramvia Metropolità poc després de la inauguració.

FIGURA 3.
PROPORCIÓ ACTUAL D'USUARIS DE TRANSPORT PÚBLIC (p_3)

b	10%	30%	50%	70%	90%
-0,10	0,15%	0,44%	0,73%	1,02%	1,31%
-0,20	0,29%	0,87%	1,45%	2,03%	2,61%
-0,30	0,44%	1,31%	2,18%	3,05%	3,92%
-0,40	0,58%	1,74%	2,90%	4,06%	5,22%
-0,50	0,73%	2,18%	3,63%	5,08%	6,53%