



AUTORS

Albert Gragera (coordinador)
Javier Asensio
Anna Matas
Jordi Perdiguero

Contacte:

(albert.gragera@uab.cat)

(Actualització)

L'AVALUACIÓ DE L'IMPACTE SOBRE LA DEMANDA DELS DESCOMPTES EN LES TARIFES DEL TRANSPORT PÚBLIC

15/12/2023

Avaluació de l'impacte sobre la demanda dels descomptes en les tarifes del transport públic

© 2024, Departament de Territori, Habitatge i Transició Ecològica. Generalitat de Catalunya

Llicència CC BY 4.0

CONTINGUTS

RESUM EXECUTIU	0
1 INTRODUCCIÓ	2
2 DESCRIPCIÓ DE LA POLÍTICA	5
3 EFECTE DELS DESCOMPTES SOBRE LA DEMANDA DE TRANSPORT PÚBLIC	5
3.1 DADES	5
3.2 ESTRATÈGIA D'IDENTIFICACIÓ	7
3.3 RESULTATS	10
3.3.1 XARXA FERROVIÀRIA INTEGRADA	10
3.3.2 XARXA DE RODALIES RENFE	12
3.3.3 XARXA D'AUTOBUSOS	16
3.4 DISCUSSIÓ DE RESULTATS I MECANISME	20
4 CONCLUSIONS	22
REFERÈNCIES	23

RESUM EXECUTIU

Durant el 2022 es va aplicar una política de descomptes massius sobre el preu del transport públic com a mesura d'alleujament del cost de vida derivat de l'increment del cost de l'energia com a conseqüència de la guerra a Ucraïna. Aquesta política va introduir la gratuïtat dels viatges freqüents als serveis de Rodalies, amb un abonament específic de RENFE, i l'establiment de fons específics per reduir un 30% el preu de la resta de serveis oferts per les demés d'Administracions Públiques. Aquestes, a més, van poder incrementar els descomptes amb fons propis, que en el cas de Catalunya van ser d'un 20% addicional. De manera indirecta, l'objectiu de la política era afavorir l'ús del transport públic per promoure un canvi modal, permetent una reducció del consum energètic.

Aquesta política ha representat una reducció sense precedents en els preus del transport públic, i resulta una oportunitat idònia per explorar quin és l'efecte de les tarifes sobre la demanda de transport públic, ja que aquesta relació és fonamental en el debat polític sobre l'oferta de transport, les inversions i el finançament, i el control de les externalitats del transport. La subvenció al transport públic està plenament justificada des del punt de l'eficiència econòmica i de l'equitat social, però augmentar-ne la seva magnitud a través dels descomptes també suposa un fort increment del grau de cobertura dels costos per part de l'Administració pública.

En aquest treball s'ha realitzat una avaluació de l'impacte dels descomptes en les tarifes del transport (títols ATM) sobre la demanda a les xarxes ferroviària i d'autobusos del sistema tarifari integrat de Barcelona. En concret, l'anàlisi d'inferència causal es realitza aplicant models de regressió en discontinuïtat, aprofitant que la data d'implantació de la política es va decidir a nivell polític de manera exògena al nivell de demanda de transport. Es combinen diferents especificacions globals i locals per explorar la robustesa dels resultats, on de manera consistent es valora que els descomptes en les tarifes del transport han causat un increment del voltant del 5-10% en el nombre de validacions per estació/línia (segons la xarxa analitzada) dins la xarxa ferroviària integrada (FGC, tramvia i Metro), mentre que ha estat entre un 10-20% a la xarxa de Rodalies RENFE, i es situen entre un 7% i el 15% per la xarxa d'autobusos. Explorant l'heterogeneïtat d'aquests impactes a nivell de corredors ferroviaris, zones tarifàries, àmbit geogràfic i tipus de servei veiem que les variacions estan força acotades i van en la mateixa línia que els resultats generals, tot i que no sempre podem aportar valors fiables amb mostres reduïdes. Les diferències en els valors d'alguns models suggereixen efectes dinàmics de la política, que fan pensar que a llarg termini l'impacte s'ubicarà en el rang més alt (especialment per Rodalies).

Analitzant el mecanisme pel que s'arriba a aquest impacte veiem que l'augment en el nombre de validacions és més probable que vingui determinat per un augment de la demanda

induïda (propis usuaris del transport públic), amb molt baixa probabilitat de transvasament modal del vehicle privat. Una anàlisi cost-benefici molt simplificada apunta a que, tot i que la transferència de recursos que suposen els descomptes ha assolit de manera efectiva l'objectiu principal de la mesura (augmentar la renda disponible), molt difícilment aquesta política ha produït una millora en el benestar social, ja que sense transvasament modal important del vehicle privat no es generen reduccions en les externalitats i l'augment derivat de la demanda induïda pot incrementar la congestió en l'ús del transport públic. No obstant això, tot i que fora de l'abast del present treball, més enllà de l'eficiència econòmica, també seria rellevant analitzar l'impacte de la política des del punt de vista de l'equitat (com s'ha distribuït l'augment de la renda disponible entre els diferents estrats socials).

1 Introducció

El transport públic és l'eix vertebrador de la mobilitat urbana, sobretot en zones densament poblades. El transport públic assegura un mínim nivell d'accessibilitat a tots els membres de la societat, limita la dependència del vehicle privat, promou un consum eficient d'energia i sòl, redueix la congestió i les emissions de carboni (i altres contaminants) i millora l'habitabilitat a les zones urbanes.

Les raons econòmiques que justifiquen les subvencions al transport públic són diverses, però entre elles destaquen: (1) les economies d'escala, (2) les economies de densitat, (3) la seva capacitat de reduir les externalitats. Les economies d'escala imposen la necessitat de subvencionar les tarifes del transport públic en tant que els costos fixos derivats de les inversions en infraestructures són molt elevats en comparació a uns costos marginals (degut a la seva alta capacitat). Transportar un usuari addicional (cost marginal) té un cost molt petit que està per sota dels costos mitjos, cosa que implica que una tarifa socialment òptima no permet recuperar els costos de prestació del servei, fent necessària la subvenció. Les economies de densitat sorgeixen de l'augment del nombre d'usuaris, ja que usuaris addicionals justifiquen augmentar la freqüència del servei, reduint així els costos mitjans de viatge per la resta d'usuaris a través d'una reducció dels temps d'espera (efecte Mohring). A més, les subvencions poden potenciar els efectes de reducció d'externalitats del transport públic, reduint la congestió o la contaminació.

Així mateix, un transport públic assequible es justifica des del punt de vista de l'equitat social, en la mesura que garanteix un nivell mínim d'accessibilitat per als grups de renda més baixa que en depenen per accedir a oportunitats laborals, serveis essencials i altres equipaments urbans. L'evidència disponible suggereix que les subvencions al transport públic urbà tenen efectes progressius, en tant que beneficien més als usuaris de menors ingressos (Asensio et al., 2003; Matas et al., 2020). Una bona connectivitat del transport públic afavoreix la probabilitat d'ocupació i la concordança entre nivell d'educació i lloc de treball (Matas et al., 2010; Di Paolo et al., 2017). A més, les subvencions també poden alleujar la falta de concordança entre lloc de residència i treball (Zenou, 2000; Martín, 2001).

La relació entre les tarifes i la demanda del transport públic és fonamental en el debat polític sobre l'oferta de transport, les inversions i el finançament, però també de cara a les externalitats del transport o l'augment dels preus del combustible. Els descomptes massius reivindicats per certs agents socials i aplicats ara a Espanya i Alemanya de manera generalitzada, es consideren per molts com una opció barata per promoure el canvi modal (en comparació a les inversions en ampliar-ne les xarxes o millorar els serveis), però tenen rellevants implicacions pressupostàries, ja que l'augment de la taxa de cobertura de costos suportada pel sector públic pot augmentar el risc de deteriorament de la qualitat, retallades de

serveis i augmentar l'oposició social a qualsevol augment dels preus als nivells de preus anteriors a la baixada de tarifes. En general, tots els estudis indiquen que una reducció del preu del transport augmenta la demanda del mateix, però l'increment d'usuaris no sembla venir d'un canvi modal del vehicle privat sinó majoritàriament d'usuaris del transport públic o d'altres modes sostenibles (Cats et al., 2017; UTP, 2020; Matas et al., 2020; Bull et al., 2021). En concret, anàlisis recents de l'impacte dels descomptes implantats a Espanya i Alemanya sobre la qualitat de l'aire apunten en aquesta mateixa línia (Albalade et al., 2023; Aydin i Kürschner Rauck, 2023).

No obstant això, a part dels possibles efectes positius de l'aplicació dels descomptes, també cal tenir en compte que suposen un elevat increment del grau de cobertura dels costos per part de l'Administració pública, que pot comportar riscos si s'experimenten restriccions pressupostàries i imposen la necessitat de reduir l'oferta. Aquest factor pot ser especialment rellevant en un escenari post-COVID, on el dèficit del transport públic ha crescut degut a la baixada de passatgers. A la vegada, la reintroducció de les regles fiscals de la UE l'any 2024 fa augmentar el cost d'oportunitat dels fons públics. Així mateix, també és important posar de relleu les dificultats polítiques que es poden experimentar per revertir els descomptes, en tant que la percepció de pujades de preus sol comportar força oposició social.

És per això, que s'ha valorat oportú per part del Departament de Territori de la Generalitat de Catalunya valorar l'impacte que han tingut els descomptes en les tarifes del transport públic introduïdes al setembre del 2022 a través del present treball. En concret, la política analitzada en aquest treball ha estat la iniciada pel govern espanyol mitjançant el Reial Decret llei 11/2022, de 25 de juny, i l'Ordre Ministerial de 15 de juliol, l'aplicació d'una reducció de preu al transport urbà i interurbà d'un 30% en els abonaments i els títols multiviatge inicialment entre els dies 1 de setembre i 31 de desembre de 2022. Les administracions consorciades en el si de l'ATM van decidir implantar la mesura i complementar-la amb fons propis amb un altre 20% la reducció del preu per als títols integrats més recurrents: els abonaments mensuals (T-usual) i trimestral per a joves menors de 25 anys (T-jove), així com les seves versions per a famílies monoparentals i nombroses, i el títol per a persones en situació d'atur. Pel que fa al títol per a usuaris menys habituals (la T-casual) es va decidir no aplicar el descompte complementari i el descompte va quedar en el 30% que feia l'Estat. Aquesta política s'ha perllongat durant 2023 amb modificacions en els descomptes aplicats a títols ATM, i es planteja el seu probable perllongament durant el 2024.

A partir de les dades de validacions facilitades per l'ATM, i aplicant tècniques d'inferència causal, s'ha portat a terme una avaluació de l'impacte d'aquesta política sobre la demanda del transport públic a les xarxes ferroviària i d'autobusos del sistema tarifari integrat de Barcelona. En concret, els resultats s'obtenen combinant diferents models de regressió en discontinuïtat, aprofitant que la data d'implantació de la política es va decidir a nivell polític de manera exògena al nivell de demanda de transport. Es combinen diferents especificacions

globals i locals per explorar la robustesa dels resultats, on de manera consistent es valora que els descomptes en les tarifes del transport han causat un increment del voltant del 10% en el nombre de validacions per estació/línia (segons el cas) dins la xarxa ferroviària integrada. Explorat l'heterogeneïtat d'aquest impacte a nivell de corredors ferroviaris i zones tarifàries, les diferències són acotades al voltant del 5%-15%, amb menor efecte en àmbits centrals i majors en corones exteriors. Dins la xarxa de Rodalies RENFE, l'increment de validacions s'ha situat al voltant del 10-20%, de manera que amb el doble de descompte s'ha assolit el doble d'impacte, amb una elasticitat de la demanda equivalent (-0.2) per ambdues xarxes. Els resultats per corredors de Rodalies RENFE i zones tarifàries suggereixen que en general els impactes van en la línia dels globals en termes de magnituds, tot i que presenten molta més sensibilitat a les especificacions del models i els resultats no són significatius quan acotem l'anàlisi al voltant de la data d'implantació, cosa que suggereix una major rellevància de possible efectes dinàmics de la política.¹ Dins la xarxa d'autobusos, l'increment de validacions fluctua entre el 7% i el 15%, mentre que acotant l'anàlisi al voltant de la data d'implantació no hi ha efectes significatius fins que l'obrim als 150-180 dies amb valors acotats entre 7% i 9%, també apuntant a possibles efectes dinàmics de la política. Per aquesta xarxa no detectem diferències substancials en l'impacte sobre serveis dins i fora de l'AMB i resultats equiparables als del conjunt de la mostra per molts models, tot i que els serveis interurbans són els que més coincideixen, mentre els urbans i semiurbans mostren efectes menors. Els potencials efectes dinàmics detectats per les diferències en les estimacions dels diferents models suggereix que l'impacte a llarg termini es pot situar més cap al rang més alt dels valors descrits.

Estudiant el mecanisme pel que s'arriba a aquest impacte veiem que l'augment ve determinat per un augment de demanda dels propis usuaris del transport públic, amb molt baixa probabilitat de transvasament modal del vehicle privat. En tant que els descomptes són una transferència pura entre agents i explorant els diferents impactes que se'n poden derivar (reducció externalitats, augment de la congestió al transport públic derivat de l'increment de demanda) es valora com difícil que la política hagi suposat un increment del benestar social. Tot i que fora de l'abast del present treball, és important valorar que la transferència que impliquen els descomptes ha augmentat la renda disponible de les famílies (objectiu principal de la política), i caldria explorar els seus impactes en termes d'equitat.

La resta del document s'organitza de la manera següent. La secció 2 fa una descripció de la política objecte d'anàlisi. La secció 3 descriu les dades i metodologia emprades per identificar l'impacte causal de la política sobre la demanda del transport públic, aportant una discussió dels resultats obtinguts, els mecanismes pels quals s'hi arriba i una reflexió sobre els

¹ Quan parlem d'efectes dinàmics fem referència al fet que l'impacte no es manté constant al llarg del temps. És a dir, l'impacte immediat de la política pot ser un i anar augmentant o minvant amb el pas del temps. En el cas concret que ens ocupa, i només per la xarxa de Rodalies RENFE, sembla haver-hi indicis d'un increment de l'impacte inicial en mesos posteriors. En altres seccions s'explicita com els models donen indicis d'aquest impacte més a llarg termini.

potencials efectes de la política sobre el benestar social. La secció 4 recull les conclusions del treball.

2 Descripció de la política

El Govern espanyol va establir a partir de l'1 de setembre del 2022 un val gratuït per a viatges il·limitats durant un període de quatre mesos per als serveis ferroviaris de curta i mitjana distància operats per RENFE, amb l'objectiu d'alleujar la pressió inflacionista vinculada a l'augment del preu de l'energia i els combustibles a causa de la guerra a Ucraïna mitjançant la promoció del transport públic i la reducció dels desplaçaments en cotxe (reduint la dependència energètica). El val es podria adquirir pagant una fiança de 10 euros, reemborsable si el viatger ha fet més de 16 viatges durant el període establert. La seva durada inicial estava prevista només fins al 31 de desembre de 2022, però posteriorment el Govern central ha anat ampliant la vigència fins l'actualitat i es planteja ara la seva extensió durant tot 2024.

Paral·lelament, el Reial decret aprovat per establir inicialment aquesta mesura també ha dotat les autoritats del transport amb el finançament necessari per establir descomptes del 30% en les tarifes dels bitllets de transport multimodal, que han pogut ampliar amb fons propis en els casos que ho consideressin oportú. L'Autoritat del Transport Metropolità de Barcelona (ATM), amb la participació de l'Estat, la Generalitat i els Ajuntaments, va aplicar aquest 30% al bitllet multi-trajecte més utilitzat (*T-casual*) i un 20% de descompte addicional a la resta d'abonaments de trànsit (*T-usual*, *T-jove*, monoparentals, aturats i famílies nombroses). Els descomptes de tarifes no s'aplicaven a altres bitllets multi-trajectes dirigits a grups o turistes com *T-familiar*, *T-dia* o *T-grup*. Al gener de 2023 l'estructura de descomptes aplicats es va modificar tornant la *T-casual* al seu preu anterior als descomptes.

3 Efecte dels descomptes sobre la demanda de transport públic

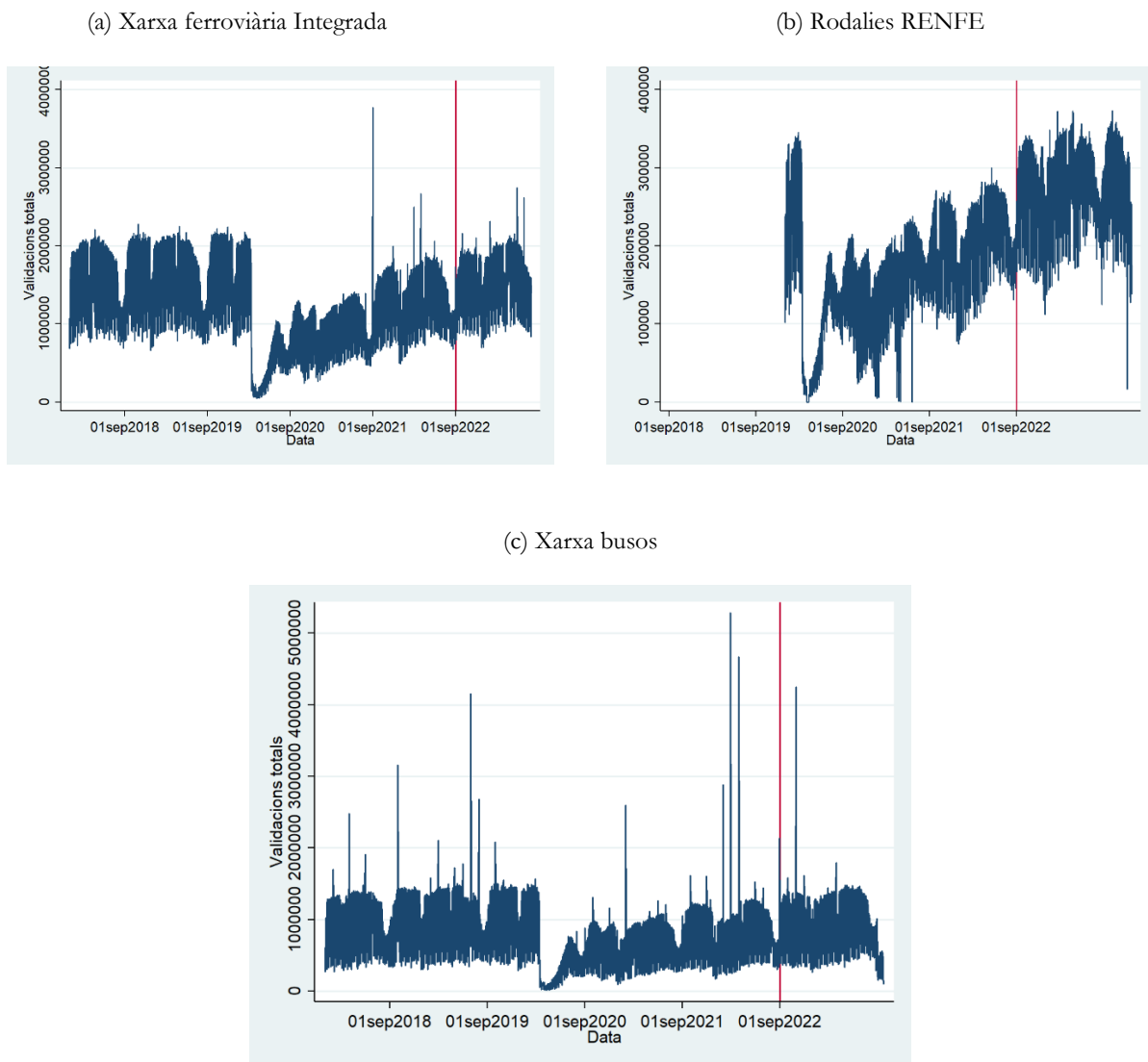
3.1 Dades

Per investigar l'impacte dels descomptes de les tarifes en els nivells d'usuaris, ens basem en les dades proporcionades per l'Autoritat del Transport Metropolità de Barcelona (ATM), que informa de les xifres diàries de validacions fetes per usuaris del transport públic a les estacions que formen part del règim tarifari integrat i a les línies de bus operades dins el mateix àmbit, així com les dades facilitades per RENFE per les seves estacions.

Les dades han presentat una sèrie de limitacions que ens han forçat a realitzar una anàlisi de l'impacte de la política per separat, amb models independents per la xarxa ferroviària integrada (FGC, tramvia i Metro), la xarxa ferroviària de RENFE i la xarxa de busos. El fet que l'abonament de RENFE s'hagi implantat amb un títol propi impedeix que les dades

disponibles a partir de la data d'implantació de la política dins les dades facilitades per ATM siguin vàlides, ja que hi ha hagut una molt important substitució de títols integrats pel títol propi de RENFE (abonament). Després de mesos de seguiment, RENFE ens ha facilitat les dades de validacions diàries per estacions, però només dins el període gener 2020 fins desembre 2023. Aquest fet limita molt la precisió de l'anàlisi en tant que impedeix controlar de manera adequada pels efectes de les restriccions de mobilitat durant la pandèmia, però s'han aplicat els mateixos models en pro de la consistència de l'estudi. Així doncs, s'ha procedit a replicar els models estimats per la xarxa ferroviària integrada amb la mostra d'estacions de RENFE, excloses en una primera fase.

Figura 1. Validacions diàries per la xarxa ferroviària integrada



En general, veiem que les dades de validacions presenten un nombre no menyspreable d'observacions anòmales que es valora tenen a veure amb incidències en la tramesa de dades, regularitzacions de validacions de títols amb banda magnètica i potencials incidències en la xarxa que no hem pogut incloure de manera fiable a l'anàlisi. En aquest sentit, val la pena destacar que el present estudi ha requerit de dades que inclouen períodes previs a la implantació de la *T-mobilitat*, que amb el seu desplegament complet ha de venir a corregir les limitacions enumerades anteriorment.

També s'han explorat dades facilitades per la Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DGIM), a través del visor Power-BI, per la resta d'ATMs del territori català. Malauradament, el nivell d'agregació de les dades disponibles no permeten una aplicació directa de les metodologies d'inferència causal. Donat això i les limitacions de temps per presentar resultats, ens han fet desestimar la seva inclusió en la present entrega.

3.2 Estratègia d'identificació

En aquesta secció, descrivim seqüencialment l'estratègia empírica que seguim per avaluar l'impacte causal dels descomptes de tarifes en la demanda del transport públic. En primer lloc, realitzem una simple anàlisi pre/post que pot servir com a línia de base útil per estimar la correlació entre els descomptes de tarifes i els nivells d'usuaris (condicional a altres factors explicatius), tal com es mostra a (1). El nombre de validacions per estació o línia, en el cas de serveis de ferrocarril o autobús respectivament, s'introdueix al model com la variable dependent en logaritmes (Y_{it}), on i correspon a l'estació/línia i t a la data (dia) concret. Definim una variable de tractament *dummy* (T_t) que és igual a 1 per a totes les estacions a partir de la data en què s'estableixen les reduccions de tarifa i 0 abans de la seva implementació. Això vol dir que δ , el nostre paràmetre d'interès, s'ha d'interpretar com el **canvi percentual en el nombre de validacions atribuïble a la implementació de la política** (en tant per u).

A l'equació (1) controlem de manera flexible per una matriu de possibles factors (X) que influeixen en la relació entre política i demanda de transport públic introduint variables específiques per data i estació/línia. Tractem els patrons d'estacionalitat tenint en compte les diferències en els nivells d'usuaris segons el tipus de dia de la setmana, el dia del mes, la setmana de l'any, els efectes fixos de l'any i un simulacre per tenir en compte les festes. Així com el conjunt complet d'interaccions entre els efectes fixos de la setmana de l'any i l'any i els efectes fixos del dia de la setmana i del mes (per controlar possibles canvis en els patrons de desplaçament a causa de l'adopció del treball remot). A més, incloem una variable temporal específica per tenir en compte les restriccions relacionades amb la COVID-19, definint períodes en què es van implementar diferents nivells de restriccions. Definim específicament els nivells de: pre-pandèmia, inici, confinament (complet, municipal i comarcal), altres restriccions (sense limitacions de mobilitat), nova normalitat (on les activitats eren obertes però les mascaretes encara eren obligatòries) i post-pandèmia. A més, també incloem variables

diàries i específiques d'estació per tenir en compte altres polítiques relacionades amb el transport implementades durant el període inclòs en la nostra anàlisi, com l'extensió de la tarifa de la zona 1 a 36 municipis de l'Àrea Metropolitana de Barcelona des del gener de 2019, o la retirada dels peatges a diverses autopistes des de setembre de 2021. També incloem variables *dummies* a nivell diari que controlen el fet que al gener del 2020 es van fer modificacions de preu entre els bitllets de viatges freqüents i casuals, o el descompte de 0,20 € en els preus de la benzina introduït pel Govern central a partir d'abril fins finals de desembre de 2022, afectant totes les estacions/línies.

A més, incloem efectes fixos a nivell d'estació/línia per tenir en compte la possible heterogeneïtat no observada entre les estacions/línies, ja que els seus nivells d'usuaris serien sistemàticament diferents segons el tipus de mode i les interconnexions que s'hi poden donar, a més de les característiques específiques del seu emplaçament /entorn.

$$Y_{it} = \beta_0 + \delta \cdot T_t + \beta' \cdot X + \alpha_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Aquest model d'efectes fixos (*FE*) descrit a (1) només fa ús de la variació dins de l'estació al llarg del temps per obtenir δ com a estimació de l'efecte mitjà del tractament (*ATE*). Tanmateix, un possible problema amb aquest model és que encara hi pot haver factors no observats que canvien amb el pas del temps, fent que el terme d'error ε es correlacioni amb el temps i , per tant, amb la implementació de la política, produint estimacions esbiaixades del nostre principal coeficient d'interès (δ). Alguns d'aquests factors podrien ser el canvi en les preferències de viatge per diferents cohorts, l'ampliació dels serveis de micromobilitat o qualsevol altra tendència subjacent que faci que els nivells de passatgers canviïn amb el temps. Per corregir aquesta potencial endogeneïtat, proposem estimar l'impacte de la política al voltant de la data d'implementació amb models de regressió en discontinuïtat. Per fer-ho, afegim al model una tendència temporal polinomial $f(\tilde{x}_t)$ amb el que fem una regressió en discontinuïtat global (*RDIT-global*), que ens permet controlar de manera flexible les “no linealitats” en la demanda de transport envers el temps, tal com es descriu a (2). En aquest cas, δ s'ha d'interpretar com l'estimació local de l'efecte mitjà de la política, al voltant de la data d'implantació de la mateixa.

$$Y_{it} = \beta_0 + \delta \cdot T_t + f(\tilde{x}_t) + \beta' \cdot X + \alpha_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

L'estratègia d'identificació indicada a (2) es basa en el supòsit d'aleatorització local al voltant de la data d'implementació, de manera que, en absència de la política, els nivells d'usuaris no canviarien de manera discontinua l'1 de setembre de 2022. Això implica que els descomptes de les tarifes s'han implantat de manera completament exògena al nivell d'usuaris

del transport públic (no hi ha cap manipulació de la de la data d'implantació en funció d'ells), cosa que d'altra manera esbiaixaria el nostre principal coeficient d'interès.

Aquest enfocament paramètric global comporta també certes limitacions, ja que s'allunya implícitament de la hipòtesi d'aleatorització local a l'incloure observacions que estan lluny de la data d'implementació de la política. A més, es desconeix la veritable forma funcional i la seva especificació incorrecta pot donar lloc a estimacions esbiaixades de l'efecte del tractament, encara més si existeixen efectes dinàmics de la política. La literatura mostra que quan les dades tenen soroll, els polinomis d'ordre baix tendeixen a suavitzar-les excessivament i les proves estadístiques advocaran per l'adopció d'un polinomi d'ordre alt $f(\tilde{x}_t)$, com els suggerits per Lee i Lemieux (2010). No obstant això, l'ús de polinomis d'ordre alt ha estat també criticat per Gelmans i Imbens (2019) ja que donen un pes arbitràriament elevat a les observacions allunyades de la data d'implantació de la política i, a la pràctica, fa que les estimacions siguin molt sensibles a l'ordre polinomi escollit. És per això, que s'estimarà al model per diferents especificacions (polinomis) per analitzar la robustesa del mateix.

Per tal de contrarestar aquests possibles problemes, també estimarem una regressió en discontinuïtat emprant un model semi-paramètric (*RDiT-global+bandes*), on dividim tot l'horitzó temporal d'anàlisi en K subdivisions de durada equivalent a cada costat de la discontinuïtat (*bandes*) i n'inclouem $K-2$ variables dummy que n'identifiquen el període al model representat a l'equació (2). L'amplada de les subdivisions les escollim mitjançant l'enfocament basat en dades proposat per Calonico et al. (2015). Aquestes subdivisions expliquen les desviacions de la tendència subjacent dels nivells d'usuaris lluny del tall, aïllant l'efecte a partir de les subdivisions contigües a la intervenció política (no incloses com a dummies) i reduint el biaix potencial, limitant també la sensibilitat a l'elecció de l'ordre polinomi.

Per cerciorar-nos encara més de la validesa dels resultats dels anteriors models, estimem també una regressió en discontinuïtat local sobre la variable dependent residualitzada (*RdiT-local*), restringint de manera efectiva l'anàlisi al voltant de la data d'implantació de la política. En aquest cas, obtenim la variable dependent residualitzada (Y_{it}^R) restant a les xifres d'usuari els valors predits per a aquesta utilitzant el model descrit a la equació (1), és a dir $Y_{it}^R = Y_{it} - \widehat{Y}_{it}$. Aquesta regressió local sovint es descriu a la literatura com un enfocament no paramètric, i fer-ho amb Y_{it}^R ens permet controlar eficaçment els patrons d'estacionalitat i altres factors que potencialment influeixen en la demanda de transport públic i que varien en el temps, en haver-la netejat de la resta de variables explicatives de la demanda que requerien emprar dades lluny de la data d'aplicació dels descomptes. Aquest enfocament a priori és el que hauria de presentar un mínim biaix, però també presenta limitacions, ja que aquesta reducció és a costa de reduir la precisió amb la que podem estimar l'impacte en emprar mostres cada vegada més restringides. De manera que, per obtenir l'avaluació d'impacte, el que fem serà combinar aquests últims models per comprovació de la consistència del conjunt dels valors obtinguts, més que quedar-nos amb un de sol.

La següent secció mostra un resum dels resultats obtinguts pels diferents models estimats, així com la interpretació conjunta que se'n deriva, tant per la xarxa ferroviària integrada, la xarxa de Rodalies RENFE, i la xarxa de busos (tant urbans com interurbans).

3.3 Resultats

3.3.1 Xarxa ferroviària integrada

La Taula 1 presenta els resultats de l'estimació de l'impacte dels descomptes de tarifes sobre la demanda de transport públic (validacions diàries) a la xarxa ferroviària integrada, per a les diferents especificacions dels models econòmics descrits a l'apartat 3.2 a nivell d'estació. El panell A descriu els resultats dels models *FE* on successivament incorporem diferents conjunts de variables explicatives. La primera columna, que només incorpora efectes fixos de ciutat, mostra un gran impacte a causa del fet que no es controla correctament la caiguda del nombre d'usuaris causada per les restriccions de mobilitat relacionades amb la COVID. Per contra, els models més complets mostren un petit impacte negatiu no estadísticament significatiu de la política, potencialment esbiaixats en no considerar cap possible tendència subjacent a causa d'altres factors que varien al llarg del temps durant el període d'anàlisi. Intentem corregir aquesta endogeneïtat amb els models de regressió en discontinuïtat (*RDiT*) descrits als panells B, C i D.

En concret, el panell B mostra les estimacions dels models *RDiT global* per a una sèrie d'especificacions de polinomis de diferent ordre (p) per a aquesta tendència, tal com s'especifica a l'equació (2). Les dades presenten cert nivell de soroll i semblen suggerir l'adopció de polinomis d'ordre alt, on $p = 7$ sembla l'especificació preferida (segons els criteris AIC²). Tanmateix, en tant que els polinomis d'ordre elevat poden introduir biaixos en l'estimació de l'impacte a causa del pes alt arbitrari que donen a les observacions lluny del moment d'implantació, i que els resultats semblen bastant sensibles a l'elecció d'ordre del polinomi, hem d'assumir que l'estimació amb aquest model no resulta robusta i cal intentar acotar més els possibles biaixos en la mateixa. A tal efecte, el panell C mostra els resultats globals de *RDiT global + bandes*, mostrant que l'estimació de l'efecte mitjà de la política fluctua consistentment al voltant del 7% al 15% d'augment dels nivells de demanda. El panell D mostra els resultats de *RDiT local* que venen a confirmar que l'estimació local de l'efecte mitjà de la política oscil·la entre el 7% i el 10% dins d'una finestra estreta al voltant de la data d'implementació.³ Així doncs, hem d'interpretar que **els descomptes en les tarifes del transport públic han**

² Aikaike Information Criterion (AIC)

³ Val la pena destacar que a l'obrir més la finestra temporal al voltant de la qual s'avalua l'impacte amb els models *RDiT local*, obtenim valors que s'assimilen als obtinguts amb els models *RDiT global + bandes*.

provocat un augment de l'ordre del 10% del nombre de validacions diàries per estació dins la xarxa ferroviària integrada (excloses les de RENFE).

Taula 1. Efecte de la política sobre el nombre de validacions per estació dins la xarxa ferroviària integrada

Panell A - FE					
Impacte política	0.379*** (0.003)	-0.017*** (0.004)	-0.032*** (0.004)	-0.001 (0.004)	-0.001 (0.004)
R ²	0.025	0.437	0.449	0.529	0.529
E.F. Ciutat	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
E.F. Temps	No	Sí	Sí+	Sí+	Sí+
Pandèmia	No	No	No	Sí	Sí
Altres polítiques	No	No	No	No	Sí
Panell B - RDiT global					
	p = 5	p = 6	p = 7	p = 8	p = 9
Impacte política	0.237*** (0.00617)	0.251*** (0.00751)	0.158*** (0.00760)	0.140*** (0.00775)	0.158*** (0.00843)
R ²	0.536	0.536	0.539	0.539	0.539
Panell C - RDiT global + bandes					
	p = 1	p = 2	p = 3	p = 4	p = 5
Impacte política	0.0783*** (0.0114)	0.0956*** (0.0117)	0.110*** (0.0118)	0.112*** (0.0119)	0.154*** (0.0122)
R ²	0.559	0.559	0.560	0.560	0.560
Panell D - RDiT local					
	p = 0	p = 1	p = 0	p = 1	
Impacte política	0.0713** (0.0290)	0.0839* (0.0491)	0.0729* (0.0389)	0.106** (0.0475)	
Kernel	Triangular	Triangular	Uniforme	Uniforme	
Banda poli. (h)	53.56	51.23	18.77	44.23	
Banda biax (b)	113.8	80	60	78.12	
No-tractats obs.	21365	20557	7244	17724	
Tractats obs.	22057	21241	7759	18383	

Nota: Les unitats d'observació per a totes les especificacions són 413 estacions durant el període gener del 2018 a juliol del 2023 (818.012 observacions) que cobreixen tota la xarxa ferroviària del sistema tarifari integrat metropolità, excloent l'operador RENFE. La variable dependent és el nombre diari de validacions per estació en logaritmes. El panell A mostra les estimacions de les regressions FE que s'ajusten a l'equació 1, incloent seqüencialment diferents conjunts de variables explicatives. Al panell A, les columnes 3 a 5 inclouen efectes fixos temporals amb interaccions, marcadets (+). El panell B mostra les estimacions de RDiT global representades a l'equació 2 per a tendències de polinomi quàrtic (p = 5) a nònic (p = 9), ja que l'AIC suggereix que p = 7 seria l'especificació més adequada. El panell C mostra les estimacions de RDiT global + bandes, que amplien l'equació 2 incloent les bandes de temps específiques comunes a totes les estacions, per a les especificacions de tendència temporal polinòmica lineal (p = 1) a quàrtica (p = 5). Totes les especificacions inclouen 58 bandes temporals pre-intervenció i 16 bandes post-intervenció (29 i 20 dies cadascuna, respectivament), seguint el procediment de Calonico et al., (2015). El panell D mostra les estimacions dels models RDiT- local (no paramètrica) per a una combinació de polinomis de grau zero i lineal amb *kernels* triangulars i homogenis (pesos donats a cada observació). Les estimacions del panell D es calculen mitjançant l'elecció òptima de l'amplada de la banda d'anàlisi i els estadístics robustos de correcció de biaix proposades a Calonico et al. (2018, 2022). Errors estàndard entre parèntesis. *** p<0,01, ** p<0,05, * p<0,1

3.3.2 Xarxa de Rodalies RENFE

La Taula 4 presenta els resultats de l'estimació de l'impacte de la introducció de l'abonament gratuït de RENFE sobre el nombre de validacions diàries dins la xarxa ferroviària d'aquest operador (centrant-nos només ens les estacions que opera). Aquest impacte l'estimem a partir de les diferents especificacions dels models econòmics descrits a l'apartat 3.2. a partir de les observacions nivell d'estació. El panell A descriu els resultats dels models *FE* on successivament incorporem diferents conjunts de variables explicatives. La primera columna, que només incorpora efectes fixos de ciutat, mostra un gran impacte a causa del fet que no es controla correctament la caiguda del nombre d'usuaris causada per les restriccions de mobilitat relacionades amb la COVID. Per contra, els models més complets mostren un impacte positiu molt més moderat (estadísticament significatiu) de l'ordre del 9% d'increment en la demanda. No obstant, aquest valor pot estar potencialment esbiaixat en no considerar cap possible tendència subjacent a causa d'altres factors que varien al llarg del temps durant el període d'anàlisi (i que actuen de manera simultània sobre la demanda).

Intentem corregir aquesta endogeneïtat amb els models de regressió en discontinuïtat (*RDiT*) descrits als panells B, C i D. En concret, el panell B mostra les estimacions dels models *RDiT global* per a una sèrie d'especificacions de polinomis de diferent ordre (p) que intenta precisament descriure aquesta tendència subjacent, tal com s'especifica a l'equació (2). Les dades presenten cert nivell de soroll i semblen suggerir l'adopció de polinomis d'ordre alt de la mateixa manera que passava a l'anàlisi de la xarxa ferroviària integrada, on $p = 7$ sembla l'especificació preferida (segons els criteris AIC). Tanmateix, en tant que els polinomis d'ordre elevat poden introduir biaixos en l'estimació de l'impacte a causa del pes alt arbitrari que donen a les observacions lluny del moment d'implantació, i que els resultats semblen bastant sensibles a l'elecció d'ordre del polinomi, amb impactes positius sobre la demanda que es mouen entre el 20% i el 40% d'increment de demanda. En base a aquesta sensibilitat, hem d'assumir que l'estimació amb aquest model pot no resultar robusta i cal intentar acotar més els possibles biaixos als que pot estar subjecte. A tal efecte, el panell C mostra els resultats globals de *RDiT global + bandes*, mostrant que l'estimació de l'efecte mitjà de la política fluctua de manera una mica més consistent al voltant del 12% al 20% d'augment dels nivells de demanda.

Taula 2. Efecte de la política sobre el nombre de validacions per estació dins la xarxa ferroviària de RENFE

Panell A - FE						
Impacte política	0.433*** (0.005)	0.045*** (0.009)	0.047*** (0.009)	0.076*** (0.010)	0.087*** (0.010)	0.087** (0.034)
R ²	0.056	0.286	0.294	0.413	0.415	0.415
E.F. Ciutat	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
E.F. Temps	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pandèmia	No	No	No	Sí	Sí	Sí
Altres polítiques	No	No	No	No	Sí	Sí
Clustered s.e.	No	No	No	No	No	Sí
Panell B - RDiT global						
	p = 4	p = 5	p = 6	p = 7	p = 8	p = 9
Impacte política	0.308*** (0.0158)	0.209*** (0.0160)	0.311*** (0.0179)	0.428*** (0.0189)	0.479*** (0.0189)	0.305*** (0.0191)
R ²	0.427	0.433	0.433	0.435	0.440	0.449
Panell C - RDiT global + bandes						
	p = 1	p = 2	p = 3	p = 4	p = 5	p = 6
Impacte política	0.112*** (0.0273)	0.126*** (0.0274)	0.186*** (0.0281)	0.212*** (0.0292)	0.221*** (0.0293)	0.183*** (0.0300)
R ²	0.467	0.467	0.468	0.468	0.468	0.468
Panell D - RDiT local						
	p = 0		p = 1		p = 1	
Impacte política	0.129*** (0.0404)		0.0701 (0.0593)		0.118*** (0.0367)	
Kernel	Triangular		Triangular		Uniforme	
Banda poli. (h)	240		240		240	
Banda biax (b)	240		240		240	
No-tractats obs.	24886		24886		24986	
Tractats obs.	25144		25144		25250	

Nota: Les unitats d'observació per a totes les especificacions són 109 estacions durant el període gener del 2020 a desembre del 2023 (144,714 observacions) que cobreixen tota la xarxa ferroviària del sistema tarifari integrat metropolità, excloent l'operador RENFE. La variable dependent és el nombre diari de validacions per estació en logaritmes. El panell A mostra les estimacions de les regressions FE que s'ajusten a l'equació 1, incloent seqüencialment diferents conjunts de variables explicatives. Al panell A, les columnes 3 a 5 inclouen efectes fixos temporals amb interaccions, marcadets (+). El panell B mostra les estimacions de RDiT global representades a l'equació 2 per a tendències de polinomi quartic (p = 4) a nònic (p = 9), ja que l'AIC suggereix que p = 7 seria l'especificació més adequada. El panell C mostra les estimacions de RDiT global + bandes, que amplien l'equació 2 incloent les bandes de temps específiques comunes a totes les estacions, per a les especificacions de tendència temporal polinòmica lineal (p = 1) a sextica (p = 6). Totes les especificacions inclouen 58 bandes temporals pre-intervenció i 16 bandes post-intervenció (29 i 20 dies cadascuna, respectivament), seguint el procediment de Calonico et al., (2015). El panell D mostra les estimacions dels models RDiT- local (no paramètrica) per a una combinació de polinomis de grau zero i lineal amb *kernels* triangulars i uniformes (pesos donats a cada observació). Les estimacions del panell D es calculen per una amplada de banda d'anàlisi de 240 dies i els estadístics robustos de correcció de biaix proposades a Calonico et al. (2018, 2022). Errors estàndard entre parèntesis. *** p<0,01, ** p<0,05, * p<0,1

El panell D mostra els resultats de *RDiT local* que donen una estimació acotada al voltant de la data d'implantació de la política, i descriuen el seu efecte més immediat. Aquests resultats venen a confirmar que l'estimació local de l'efecte mitjà de la política oscil·la entre el 7% i el 15% dins d'una finestra temporal de 240 dies al voltant de la data d'implementació.⁴ Les discrepàncies en els resultats entre els anteriors models, ens fan pensar que pel cas de RENFE existeix un efecte dinàmic dels descomptes sobre la demanda de transport, amb un impacte creixent des de la implantació de la política, que **es mou d'un 10% inicial fins a un 20% d'increment del nombre de validacions diàries per estació** (com a cota inferior a mig/llarg termini). La lectura d'aquests resultats concorda amb l'impacte detectat per la xarxa integrada, ja que amb el doble de descompte obtenim al voltant del doble d'increment de demanda.

A més d'aquesta anàlisi global per la xarxa integrada i la de Rodalies, també hem dut a terme una anàlisi d'heterogeneïtat de l'impacte de la política a partir de l'estimació dels models anteriors per submostres específiques d'estacions emplaçades en corredors i zones tarifàries concrets. La Taula 3 mostra els resultats d'aquesta anàlisi per corredors ferroviaris específics (fora de la zona 1) i zones tarifàries, respectivament. Per tal de simplificar la lectura dels resultats, aquesta taula només mostra els impactes puntuals estimats pels models RDiT global (Panell B) i RDiT local (Panell D), com a cota inferior i superior de l'impacte segons realitzem l'anàlisi més a llarg o curt termini, respectivament. La Taula 4 mostra l'anàlisi per zones tarifàries i xarxes. Tot i disposar de cert caràcter informatiu, la validesa d'aquests resultats és qüestionable donat el nombre reduït d'estacions que integren molts d'aquests corredors o zones i el fet que els resultats es poden veure afectats per fenòmens locals pels que no podem controlar degut a la manca d'informació suficient (com ara esdeveniments o actuacions programades).

⁴ Val la pena destacar que amb finestres temporals molt més estretes l'impacte no resulta significatiu, cosa que, juntament amb els resultats dels models globals, apunta a que l'impacte sobre la demanda pot tenir un marca efecte dinàmic que aquest model no contempla. Seria necessari analitzar millor aquestes dinàmiques per poder aportar una valoració de l'impacte a més llarg termini de la política.

Taula 3. Xarxa ferroviària: Resum resultats estimacions per corredors ferroviaris integrats i Rodalies RENFE

Corredors ferroviaris	Panell D <i>RDiT global</i>	Panell B <i>RDiT local</i>	Núm. Estacions
Garraf (RENFE)	16%	16%	8
Penedès (RENFE)	0%	19%	8
Anoia (FGC)	9%	28%	10
Llobregat (RENFE)	0%	18%	4
Llobregat (FGC)	8%	19%	11
Metro (TMB)	4%	12%	152
Vallès (RENFE)	6%	17%	3
Vallès (FGC)	3%	17%	20
Vic (RENFE)	12%	37%	9
Manresa (RENFE)	6%	21%	13
Manresa (FGC)	13%	17%	7
Granollers (RENFE)	15%	9%	16
Maresme (RENFE)	10%	33%	19

Taula 4. Xarxa ferroviària: Resum resultats estimacions per zones tarifàries i xarxes ferroviàries

Zona tarifària	Xarxa	Panell D <i>RDiT local</i>	Panell B <i>RDiT global</i>	Núm. Estacions
1	ATM	8%	16%	380
	RENFE	11%	61%	35
2	ATM	7%	13%	9
	RENFE	7%	45%	15
3	ATM	10%	21%	8
	RENFE	7%	8%	17
4	ATM	9%	31%	4
	RENFE	9%	43%	19
5	ATM	14%	23%	6
	RENFE	9%	50%	14
6	ATM	7%	15%	4
	RENFE	4%	67%	7

Els resultats per corredors suggereixen que en general els impactes van en la línia dels globals en termes de magnituds, tot i que presenten molta més sensibilitat a les especificacions del models (degut a la gran reducció en la mostra disponible), especialment quan estimem els models més acotats en el temps. Explorant aquests resultats veiem que els impactes centrats al voltant de la data d'implantació és mouen en general entre el 5% i el 15% (Panell D). Obrint el focus, veiem que els impactes poden arribar a cotes superiors de l'ordre del 20-30%, tot i que com s'ha especificat a la secció 3.2, aquests són probablement estimacions esbiaixades. És per això, que **considerem impactes entre el 5% i el 15% com els més robustos**.⁵ Si comparem aquests resultats més robustos (RDiT local) per xarxes, també veiem tal com passa pel conjunt de la xarxa que els impactes per Rodalies RENFE són majors que els de la xarxa integrada, associat a oferir un major descompte en les tarifes. De manera equivalent, veiem que els resultats per zones (dins de cada xarxa) aporten magnituds d'impacte de la política consistentes amb els descrit anteriorment, sense substancials diferències a nivell zonal. En aquest cas però, les diferències entre xarxes no són substancials al centrarnos en el curt termini, i només apareixen en els models que contemplen un més llarg termini, cosa que dona suport a la hipòtesis que els efectes dinàmics poden ser més rellevant a la xarxa de Rodalies.

3.3.3 Xarxa d'autobusos

La Taula 7 presenta els resultats de l'estimació de l'impacte dels descomptes de tarifes sobre la demanda de transport públic (validacions diàries) pel conjunt de la xarxa d'autobusos integrada a nivell de línia. Igual que per la xarxa ferroviària, el panell A descriu els resultats dels models *FE* on incorporem successivament diferents variables explicatives. Els panells B, C i D presenten els resultats dels models de regressió en discontinuïtat (RDiT) amb els que intentem corregir les diferents limitacions descrites a l'apartat 3.2.

En concret, el panell B mostra les estimacions dels models *RDiT global* per a una sèrie d'especificacions polinomials. En aquest cas també $p = 7$ sembla l'especificació preferida, on l'impacte estimat és de l'ordre del 30% d'increment en el nombre de validacions per línia. Malauradament, no treballar sobre les mateixes unitats de mesura fa difícil comparar els

⁵ El biaix rau en la possibilitat que existeixin efectes dinàmics en l'efecte de la política. Pel cas de la xarxa ferroviària integrada no es detecta que els residus dels models estimats es correlacionen amb cap patró respecte la data d'implantació, però això sí passa per la xarxa de Rodalies. Cal plantejar, per exemple, que l'abonament gratuït ha estat un títol de nova introducció amb una durada major als disponibles fins al moment i amb unes condicions molt específiques, que pot haver requerit d'una major esforç cognitiu per part del consumidor a l'hora d'adquirir-lo i una major experimentació per a modificar el seu comportament de viatge.

resultats entre la xarxa d'autobusos i la ferroviària, ja que els impactes es donen per línia i per estació respectivament.

Tanmateix, en tant que els polinomis d'ordre elevat poden introduir biaixos en l'estimació de l'impacte i que els resultats semblen bastant sensibles a l'elecció d'ordre del polinomi, hem d'assumir que l'estimació amb aquest model no resulta robusta i cal intentar acotar més els possibles biaixos en la mateixa. A tal efecte, el panell C mostra els resultats globals de *RDiT global + bandes*, mostrant que l'estimació de l'efecte mitjà de la política fluctua consistentment al voltant del 7% al 15% d'augment dels nivells de demanda. Comparant els resultats dels panells B i C, veiem que hi ha força discrepància. Això ens indica la possibilitat que existeixin efectes dinàmics en l'impacte de la política pel cas de la xarxa d'autobusos, ja que el panell C ens dona una estimació de l'impacte amb una ponderació major de les observacions properes a la data d'implantació de la política restringint-lo més cap al curt termini, en comparació amb el panell B on observacions més distants tenen un major pes. El panell D mostra els resultats de *RDiT local* que encara restringeixen més l'anàlisi a curt termini, i venen a mostrar que l'impacte no és estadísticament significatiu a menys que obrim la banda temporal de l'anàlisi fins als 150-180 dies, assolint valors significatius a l'entorn del 7-9%. Així doncs, concloem que **l'impacte és d'un 10% d'increment del nombre de validacions per línia a la xarxa de busos integrada** (en el curt termini).

Taula 5. Efecte de la política sobre el nombre de validacions per línia dins la xarxa de busos integrada

Panell A - FE					
Impacte política	0.259*** (0.011)	-0.025*** (0.008)	-0.030*** (0.008)	-0.009 (0.007)	0.012* (0.007)
R ²	0.015	0.352	0.358	0.449	0.449
E.F. Ciutat	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
E.F. Temps	No	Sí	Sí+	Sí+	Sí+
Pandèmia	No	No	No	Sí	Sí
Altres polítiques	No	No	No	No	Sí
Panell B - RDiT global					
	p = 5	p = 6	p = 7	p = 8	p = 9
Impacte política	0.220*** (0.0108)	0.224*** (0.0112)	0.304*** (0.0120)	0.240*** (0.0115)	0.206*** (0.0118)
R ²	0.455	0.455	0.458	0.460	0.460
Panell C - RDiT global + bandes					
	p = 1	p = 2	p = 3	p = 4	p = 5
Impacte política	0.0874*** (0.0115)	0.0698*** (0.0117)	0.0824*** (0.0118)	0.0718*** (0.0120)	0.156*** (0.0124)
R ²	0.477	0.478	0.478	0.478	0.478
Panell D - RDiT local					
	p = 0	p = 1	p = 0	p = 1	
Impacte política	0.0137 (0.0265)	0.0127 (0.0390)	0.0225 (0.0339)	0.0678 (0.0463)	
Kernel	Triangular	Triangular	Uniforme	Uniforme	
Banda poli. (h)	52.81	67.61	21.26	38.70	
Banda biax (b)	114.1	117.7	64.73	79.27	
No-tractats obs.	25091	32671	9272	17837	
Tractats obs.	26647	33584	11452	19928	

Nota: Les unitats d'observació per a totes les especificacions són 617 línies de bus durant el període gener del 2018 a juliol del 2023 (1,033,545 observacions) que s'integren dins el sistema tarifari integrat metropolità. La variable dependent és el nombre diari de validacions per estació en logaritmes. El panell A mostra les estimacions de les regressions FE que s'ajusten a l'equació 1, incloent seqüencialment diferents conjunts de variables explicatives. Al panell A, les columnes 3 a 5 inclouen efectes fixos temporals amb interaccions, marcades (+). El panell B mostra les estimacions de RDiT global representades a l'equació 2 per a tendències de polinomi quàrtic (p = 5) a nònic (p = 9), ja que l'AIC suggereix que p = 7 seria l'especificació més adequada. El panell C mostra les estimacions de RDiT global + bandes, que amplien l'equació 2 incloent les bandes de temps específiques comunes a totes les estacions, per a les especificacions de tendència temporal polinòmica lineal (p = 1) a quàrtica (p = 5). Totes les especificacions inclouen 45 bandes temporals pre-intervenció i 12 bandes post-intervenció (37 i 29 dies cadascuna, respectivament), seguint el procediment de Calonico et al., (2015). El panell D mostra les estimacions dels models RDiT- local (no paramètrica) per a una combinació de polinomis de grau zero i lineal amb *kernels* triangulars i homogenis (pesos donats a cada observació). Les estimacions del panell D es calculen mitjançant l'elecció òptima de l'amplada de la banda d'anàlisi i els estadístics robustos de correcció de biaix proposades a Calonico et al. (2018, 2022). Errors estàndard entre parèntesis. *** p<0,01, ** p<0,05, * p<0,1

A petició de la Subdirecció General de Transport Públic per Carretera i Mobilitat, s'ha realitzat una anàlisi restringint la mostra a línies segons els seus àmbits geogràfics, diferenciant entre dins i fora de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) i tipologies de serveis, com ara serveis de caràcter eminentment urbà (dins un mateix conteni urbà), semiurbà (connexió entre municipis veïns sense continu urbà) i interurbans (serveis que connecten diversos municipis). A nivell geogràfic, la Taula 6 mostra com no detectem diferències substancials en relació a l'impacte de la política entre serveis dins i fora de l'àmbit, amb valors que es mouen en el mateix rang que a la xarxa ferroviària.

Taula 6. . Xarxa de busos integrada: Resum resultats estimacions per àmbit geogràfic i tipus de servei

		Panell D RDiT local	Panell B RDiT global	Núm. Línies	
Àmbit	Dins AMB	5%	30%	243	
	Fora AMB	4%	31%	370	
Servei	Urbà	0%	26%	20	
	AMB	12%	27%	126	
	Semiurbà	0%	30%	140	
	Interurbà	6%	32%	327	

3.4 Discussió de resultats i mecanisme

A partir dels resultats obtinguts podem calcular l'elasticitat-preu (ϵ) de la demanda de transport públic a valors mitjos com el quocient entre l'increment de demanda estimat (10% o 20%) i el descompte de tarifes en percentatge (30%, 50% o 100%), el que la situa en el rang $-0.33 < \epsilon < -0.2$.⁶ Això implica que la demanda és inelàstica, és a dir, els desplaçaments en transport públic augmenten menys que proporcionalment a la reducció de les tarifes. Els valors obtinguts són consistents amb els disponibles a la literatura per elasticitats-preu del transport públic a curt termini, indicant que la reducció de les tarifes induïx que es realitzin més desplaçaments en transport públic, tot i que de manera limitada. Cal destacar que aquesta elasticitat-preu indica també que la reducció d'ingressos derivada dels descomptes serà major que els que es podrien obtenir amb l'increment de demanda induïda.⁷

L'elasticitat-preu ens estableix l'existència d'inducció de demanda, però val la pena valorar si pot haver existit certa substitució entre modes de transport. Dins aquest treball no ha estat possible encara tractar les dades de trànsit i obtenir-ne evidència descriptiva de la relació entre descomptes i canvi modal. Però podem inferir els efectes més probables a partir de l'elasticitat creuada entre la demanda pels diferents modes respecte al cost de desplaçament en transport públic. En concret, la literatura mostra que l'elasticitat creuada de l'ús del vehicle privat respecte al cost del transport públic es mou entre 0.02 i 0.05 (Asensio, 2002; Litman, 2004). El signe positiu i la magnitud d'aquesta elasticitat creuada indica que reduccions en el cost del transport públic només reduirà de manera marginal l'ús del vehicle privat. A més, el fet que aquesta elasticitat sigui sobre el cost total del transport ens indica que reduccions sobre les tarifes encara han de tenir un efecte menor, ja que aquestes només són una de les components del cost total del transport. En la mateixa línia, també podem analitzar la potencial substitució d'altres modes a partir de l'evidència disponible a la literatura, on l'elasticitat creuada dels desplaçaments a peu respecte el cost del transport públic és del voltant de 0.06 (Wardman & Feanley, 2018), i la dels desplaçaments en bicicleta és de l'ordre de 0.12 (Wardman & Feanley, 2018).

Tot això apunta a que el mecanisme pel qual la política ha generat l'impacte estimat als apartats anteriors és que majoritàriament el creixement en validacions al transport públic es fa per usuaris que ja empraven el mateix. La reducció del preu del transport públic fa que ara hi facin desplaçaments que fins ara no els sortien a compte pel cost que tenien. Per contra, l'efecte

⁶ Cal notar que, tant per la xarxa integrada com per RENFE, el valor de l'elasticitat de la demanda es situa en el mateix rang, ja que s'assoleix un 10% d'increment de demanda amb un 50% de descompte i un 20% d'increment amb un 100% de descompte.

⁷ La demanda inelàstica implica que la variació de demanda és menys que proporcional a la variació en el preu. Per exemple, al baixar el preu un 1% la demanda incrementa menys d'un 1%. Això implica que no hi ha un augment net d'ingressos, ja que la demanda no puja prou com per compensar el descompte.

substitució entre modes és molt limitat, sobretot pels usuaris del vehicle privat, i si n'hi ha és molt més probable que vingui de modes sostenibles com la bicicleta. En aquesta mateixa direcció apunta el fet l'EMEF (2023) mostra un baix grau de substitució i un major pes de la demanda induïda, ja que només un 1.2% dels entrevistats declara haver-se passat al transport públic, mentre que un 8.4% respon haver-ne augmentat el seu ús.

A la vista d'això, des del punt de vista de l'eficiència econòmica ens podem plantejar si els descomptes han provocat una millora del benestar social. Els descomptes, ens si mateixos, són una transferència pura entre agents i no produeixen cap canvi de benestar. El benefici que se'ls genera als usuaris del transport públic augmentant la seva renda disponible és exactament igual a l'increment de cost per l'Administració, de manera que en una anàlisi cost-benefici es cancel·len mútuament, sempre que no es consideri el cost d'oportunitat dels fons públics i que no es considerin els efectes distributius. En concret, en termes de pèrdua d'ingressos la política de descomptes implica un cost d'uns 200 M€ només pels serveis integrats a l'ATM de Barcelona. Un cost en el que s'ha d'incórrer anualment si es volen mantenir els efectes de la política. Si a més es tingués en compte el cost d'oportunitat associat a les distorsions que ha pogut generar en l'economia l'obtenció d'aquests recursos a través d'impostos, el seu cost social seria en general major (tot i que depèn de la definició específica dels impostos i la recomanació de la guia cost-benefici del Departament recomana deixar-los fora de l'anàlisi, veure SAIT, 2021).

No obstant, de la modificació de la demanda extreta de l'avaluació d'impacte se'n poden derivar canvis de benestar de manera indirecta. Per exemple, una substitució de desplaçaments del vehicle privat cap al transport públic tindria un impacte positiu en el benestar social per la reducció en les externalitats negatives associades al seu ús, però amb l'evidència disponible tot apunta a que difícilment s'ha donat en un volum significatiu. Una substitució de desplaçaments d'altres modes sostenibles no resulta tan evident quin impacte net tindria sobre el benestar social, ja que per un costat el transvasament cap al transport públic pot generar estalvis de temps, també se'n deriva un augment de les externalitats al passar a un mode amb majors nivells de contaminació.⁸ El que sí tenim clar és que l'augment de demanda de desplaçaments en transport públic (demanda induïda) pot comportar un increment del nivell de congestió ($>3\text{pax}/\text{m}^2$), que implica una externalitat negativa pel conjunt d'usuaris i multiplica per 1.5 el valor del temps pels usuaris que el pateixen (segons SAIT, 2021). Aquest factor serà més rellevant quan els serveis operin en situacions properes a la capacitat, que a més, pot portar a un augment de les incidències i increment de costos per falta de fiabilitat.

⁸ Malauradament, l'abast limitat del present treball no ens ha permès realitzar una estimació de quin ha estat el nivell de substitució entre modes, a partir del qual podríem avaluar els efectes sobre les externalitats esmentades.

Per tant, considerant de manera conjunta aquests canvis, sembla difícil argumentar que la política hagi tingut un impacte positiu net en termes de benestar social.

No obstant això, les consideracions en termes d'eficiència econòmica no invaliden pas efectes positius de la política en termes d'equitat que queden fora de l'abast del present treball. És clar que els descomptes han implicat un increment de la renda disponible per les famílies, que era el principal objectiu de la política. Caldria avaluar com de progressius/regressius han estat els descomptes. Hi ha consens que els usuaris del transport públic solen tenir un nivell d'ingressos menor, però l'aplicació universal de descomptes pot no ser progressiva segons l'ús que en facin els usuaris o com es distribueixin en el territori. Un aspecte a estudiar seria l'impacte específic que la política ha tingut sobre els grups socials o àmbits territorials més desfavorits a nivell de renda, per tal d'explorar si descomptes a mida enfocats als mateixos reporta un major benefici social.

4 Conclusions

Aquest treball ha analitzat l'impacte causal dels descomptes de les tarifes del transport públic implantades al setembre del 2022 per les xarxes ferroviàries i d'autobusos integrades dins el sistema integrat de l'ATM de Barcelona. A partir de les dades de validacions diàries facilitades per l'ATM s'ha aplicat una estratègia d'identificació de l'impacte a partir del mètode de regressió en discontinuïtat, en tant que tota la xarxa ha rebut el mateix tractament i la política es va implementar en una data concreta de manera exògena (decisió política). La reducció del preu del transport públic entre el 30% i el 50%, n'ha incrementat la demanda al voltant d'un 10% (tant per serveis ferroviaris com autobusos). Així mateix, el descompte del 100% a la xarxa de RENFE amb l'abonament de viatger habitual ha comportat un increment de validacions de l'ordre del 20%.

A la vista d'aquests resultats, el fet que els descomptes són una transferència pura entre usuaris i Administració, que hi ha un molt baix potencial esperable de canvi modal (sobretot del vehicle privat), que l'increment de demanda es dona per usuaris que ja feien servir el transport públic i els potencials efectes negatius en termes de congestió als serveis més tensionats, es valora com a difícil que la política hagi aportat un increment de benestar social. No obstant això, l'augment de la renda disponible dels usuaris té implicacions en termes d'equitat no explorades en el present treball, que també són rellevants per la presa de decisions. A la vista dels resultats obtinguts, recomanem considerar de manera conjunta els efectes sobre l'eficiència econòmica i l'equitat per la definició de la política de descomptes, explorant la seva possible substitució per descomptes dirigits a grups específics on es pot aprofitar millor les seves capacitats de millora de l'equitat alhora que limita els potencials efectes negatius de la demanda induïda sobre els trams de xarxa de transport que operen prop de la seva capacitat.

REFERÈNCIES

- Adler, M. W., Liberini, F., Russo, A., & Ommeren, J. N. V. (2021). The congestion relief benefit of public transit: evidence from Rome. *Journal of Economic Geography*, 21(3), 397-431.
- Albalade, D.; Borsati, M. and Gragera, A. (2023) Free Rides to Cleaner Air? Examining the Impact of Massive Public Transport Fare Discounts on Air Quality. Available at SSRN: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4603867>
- Anderson, M.L., 2014. Subways, strikes, and slowdowns: the impacts of public transit on traffic congestion. *Am. Econ. Rev.* 104 (9), 2763–2796.
- Aydin, E., K`urschner Rauck, K., 2023. Public transport subsidization and air pollution: Evidence from the 9-euro-ticket in Germany. SSRN Working Paper No. 4505249.
- Asensio, J. (2002). Transport mode choice by commuters to Barcelona's CBD. *Urban Studies* 39(10), 1881-1895.
- Asensio, J., Matas, A., & Raymond, J. L. (2003). Redistributive effects of subsidies to urban public transport in Spain. *Transport Reviews*, 23(4), 433-452.
- Bauernschuster, S., Hener, T., Rainer, H., 2017. When labor disputes bring cities to a standstill: The impact of public transit strikes on traffic, accidents, air pollution, and health. *American Economic Journal: Economic Policy* 9, 1–37.
- Bull, O., Muñoz, J.C., Silva, H.E., 2021. The impact of fare-free public transport on travel behavior: Evidence from a randomized controlled trial. *Regional Science and Urban Economics* 86, 103616.
- Calonico, S., M. D. Cattaneo, and R. Titiunik 2015. Optimal data-driven regression discontinuity plots. *Journal of the American Statistical Association* 110: 1753-1769.
- Calonico, S., Cattaneo, M.D., Farrell, M.H., 2018. On the effect of bias estimation on coverage accuracy in nonparametric inference. *Journal of the American Statistical Association* 113, 767–779.
- Calonico, S., Cattaneo, M.D., Farrell, M.H., 2022. Coverage error optimal confidence intervals for local polynomial regression. *Bernoulli* 28, 2998–3022.
- Cats, O., Susilo, Y.O., Reimal, T., 2017. The prospects of fare-free public transport: Evidence from Tallinn. *Transportation* 44, 1083–1104.

- Di Paolo, A., Matas, A., & Raymond, J. L. (2017). Job accessibility and job-education mismatch in the metropolitan area of Barcelona. *Papers in regional science*, 96, S91-S112.
- Gelman, A., Imbens, G., 2019. Why high-order polynomials should not be used in regression discontinuity designs. *Journal of Business & Economic Statistics* 37, 447–456.
- Hörcher, D., De Borger, B., Seifu, W., & Graham, D. J. (2020). Public transport provision under agglomeration economies. *Regional science and urban economics*, 81, 103503.
- Martin, R. W. (2001). Spatial mismatch and costly suburban commutes: can commuting subsidies help? *Urban Studies*, 38(8), 1305-1318.
- Matas, A., Raymond, J. L., & Roig, J. L. (2010). Job accessibility and female employment probability: The cases of Barcelona and Madrid. *Urban Studies*, 47(4), 769-787.
- Matas, A., Raymond, J. L., & Ruiz, A. (2020). Economic and distributional effects of different fare schemes: Evidence from the Metropolitan Region of Barcelona. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 138, 1-14.
- Mohring, H., 1972. Optimization and scale economies in urban bus transportation. *Am. Econ. Rev.* 62 (4), 591–604.
- Parry, I.W., Small, K.A., 2009. Should urban transit subsidies be reduced? *Am. Econ. Rev.* 99 (3), 700–724.
- SAIT (2021) Sistema d'Avaluació d'Inversions en Transport, Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat Terrestre, Generalitat de Catalunya. https://territori.gencat.cat/web/.content/home/03_infraestructures_i_mobilitat/SAIT/manual-SAIT-v2021.pdf
- UITP, 2020. Full free fare public transport: Objectives and alternatives. The International Association of Public Transport. Retrieved March 1, 2023 from <https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/09/Policy-Brief-FullFreeFarePT-DEF-web.pdf>.
- Yaman, F., & Offiaeli, K. (2022). Is the price elasticity of demand asymmetric? Evidence from public transport demand. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 203, 318-335.
- Zenou, Y. (2000). Urban unemployment, agglomeration and transportation policies. *Journal of Public Economics*, 77(1), 97-133.