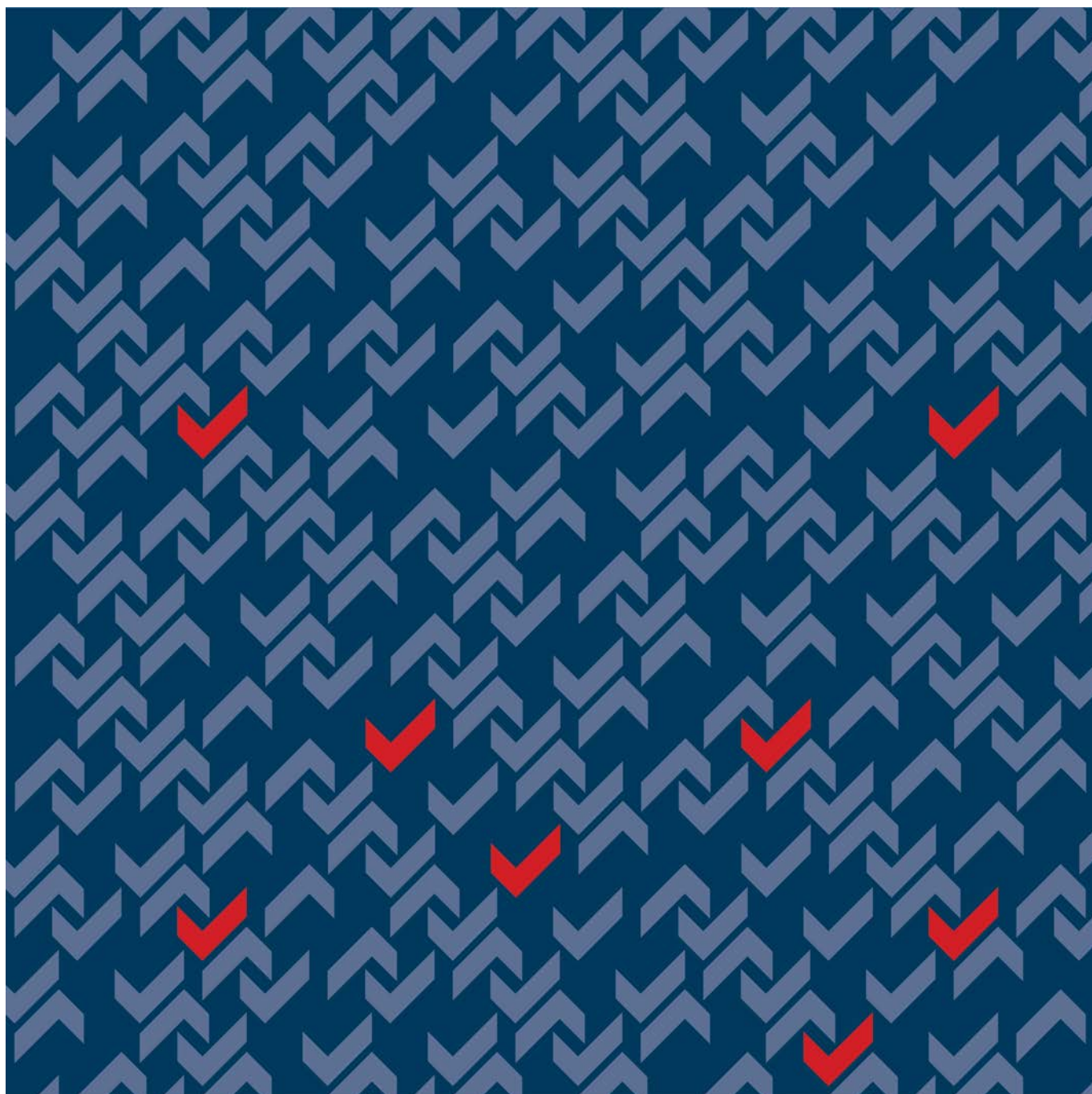


ivàlua ✓

Institut Català d'Avaluació
de Polítiques Públiques

Informe

Avaluació de l'impacte dels controls automàtics de velocitat



Avaluació de l'impacte dels controls automàtics de velocitat

Informe definitiu:
Maig de 2025

Tipus d'avaluació:
Impacte

Avaluació encarregada per:
Servei Català de Trànsit

Avaluació finançada per:
**Servei Català de Trànsit i Departament
d'Economia i Finances, mitjançant el Fons de
promoció per a l'avaluació de polítiques
públiques (PROAVA)**

Avaluació realitzada per:
Ivàlua

Equip de treball:
**Arnau Juanmartí Mestres (coordinador), Marc
Bosch Matas i Cristina Ferrer Romero**

Agraïments:

**Al Servei Català de Trànsit, al Departament
d'Interior i Seguretat Pública i al Departament
d'Economia i Finances**

**© Institut Català d'Avaluació de Polítiques
Públiques (Ivàlua), 2024**

Aquesta obra està subjecta a la llicència Creative
Commons de Reconeixement - No Comercial -
CompartirIgual 4.0 Internacional.

Es permet a terceres persones distribuir, retocar i
crear a partir de l'obra llicenciada
de manera no comercial, la distribució de les quals
cal fer-la amb una llicència igual a la que regula
aquesta obra original.

Ivàlua

**Institut Català d'Avaluació
de Polítiques Públiques**

Districte Administratiu de la Generalitat de Catalunya

– Edifici B, C/ dels Alts Forns, 36-44

Barcelona 08038

Tel. 00 34 93 554 53 00

info@ivalua.cat

Cita suggerida: Juanmartí, Arnau; Bosch, Marc; Ferrer, Cristina (2025). Avaluació de l'impacte dels controls
automàtics de velocitat. Barcelona: Ivàlua.

L'avaluació en xifres

214

Controls automàtics de velocitat de punt fixos instal·lats a Catalunya

1.610

Accidents amb persones ferides que s'han evitat

372

Accidents amb víctimes greus o mortals que s'han evitat

- 31%** Reducció del nombre d'accidents amb persones ferides en les localitzacions dels controls de punt fixos com a conseqüència de la seva instal·lació
- 20%** Reducció del nombre d'accidents amb víctimes greus o mortals en les localitzacions dels controls de punt fixos com a conseqüència de la seva instal·lació
- 13** Nombre mínim d'anys durant els quals els controls redueixen el nombre d'accidents

Resum executiu

Els controls automàtics de velocitat, dispositius que s'instal·len en punts específics de les carreteres per detectar excessos en la velocitat legal màxima de conducció, són una mesura molt implementada arreu del món per reduir l'accidentalitat a les carreteres, una de les principals causes de mortalitat i discapacitat a escala mundial. Tot i que la lògica de la intervenció és clara, una baixa consciència de la perillositat de conduir a velocitats elevades i el potencial dels controls per produir un comportament de conducció erràtic posen en dubte l'efectivitat de la intervenció i generen la necessitat d'avaluar si els controls de velocitat realment aconseguixen reduir l'accidentalitat.

Encara que existeix un gran nombre d'estudis que han avaluat l'impacte dels controls de velocitat, la majoria presenten limitacions metodològiques importants que dificulten extreure conclusions sobre la seva efectivitat. En aquest estudi s'avalua l'impacte que la instal·lació dels controls de velocitat a Catalunya ha tingut sobre el nombre i la gravetat dels accidents. La utilització d'un mètode d'estimació robust permet superar les limitacions dels estudis previs i contribueix a generar evidència fiable sobre l'impacte dels controls, sobre els mecanismes que expliquen aquest impacte i sobre aspectes de la implementació de la intervenció que poden contribuir a augmentar-ne l'efectivitat.

En primer lloc, els resultats mostren que la instal·lació de controls de punt fixos a la xarxa viària catalana ha reduït en un 31% el nombre d'accidents amb persones ferides i en un 20% el nombre d'accidents amb víctimes greus o mortals en els 500 metres anteriors i posteriors als dispositius. Aquestes estimacions impliquen que, durant els anys que han estat instal·lats, els controls de punt fixos han evitat 1.610 accidents amb persones ferides i 372 accidents amb víctimes greus o mortals al voltant de la localització dels dispositius.

En segon lloc, a diferència del que postulen diversos estudis anteriors, els resultats mostren que, mentre l'efecte dels controls de punt fixos es concentra en les localitzacions més properes al dispositiu, aquests no causen un augment del nombre d'accidents en localitzacions més allunyades que faci minvar la seva efectivitat. A més, l'efecte dels controls augmenta amb el temps a mesura que les persones conductores aprenen a adaptar la seva conducció de risc al voltant de la localització del dispositiu, la qual cosa suggereix que, per maximitzar la reducció dels accidents que es produeixen en punts de la xarxa viària que presenten una alta perillositat, és important que qui condueix conegui la localització exacta dels dispositius.

Finalment, els resultats mostren que els controls de velocitat redueixen els accidents causats per un comportament de conducció més arriscat o imprudent, però no tenen efecte en accidents provocats per altres causes. Aquest fet suggereix que un dels mecanismes principals que explica l'efectivitat dels controls de velocitat és que aconseguixen induir un comportament de conducció més prudent en relació amb la velocitat o amb altres conductes de risc.

Continguts

1. Introducció.....	1
2. Evidència prèvia	5
3. Els controls automàtics de velocitat a Catalunya	11
3.1. La implementació	11
3.2. Preguntes d'avaluació	15
4. Metodologia.....	18
4.1. Dades	18
4.2. Estratègia d'estimació	20
4.3. Mostra d'anàlisi	22
5. Resultats	27
5.1. Efectes principals.....	27
5.2. Efecte cangur	33
5.3. Efectes heterogenis	36
5.3.1. Efectes segons característiques de l'accident.....	36
5.3.2. Efectes segons característiques del tram de carretera.....	40
6. Conclusions	43
7. Recomanacions.....	44
8. Referències	47
9. Annex	53
9.1. Estudis revisats	53
9.2. Estratègia d'estimació	57
9.3. Anàlisi de robustesa	59
9.3.1. Robustesa dels supòsits d'identificació	59
9.3.2. Estimadors alternatius	67
9.4. Forma funcional	70
9.5. Altres figures	73

1. Introducció

L'any 2021 els accidents de trànsit van causar 1,19 milions de morts i entre 20 i 50 milions de lesions a tot el món (Organització Mundial de la Salut, 2023). Són la tretzena causa de mort, la novena causa de discapacitat en el conjunt de la població i la primera causa de mort i discapacitat entre les persones d'entre 5 i 29 anys.¹ Es calcula que el cost social dels accidents de trànsit es troba entre l'1,7 i el 6% del PIB en 7 països desenvolupats (Wijnen i Stipdonk, 2016) i entre el 0,4 i el 4,1% en 31 països europeus (Wijnen *et al.*, 2019), i més de dos terços del cost està relacionat amb les lesions causades pels accidents (Wijnen & Stipdonk, 2016).² Aquestes xifres mostren que els accidents de trànsit són un problema de salut pública de primera magnitud a escala mundial, i evidencien la necessitat d'implementar polítiques per reduir l'accidentalitat a les carreteres.

Hi ha diversos factors que s'han identificat com a determinants del nombre o la gravetat dels accidents de trànsit, com el disseny i l'estat de les carreteres i els vehicles, conduir sota els efectes de l'alcohol o altres substàncies psicoactives, distraccions causades per l'ús de telèfons mòbils o altres dispositius o no utilitzar mesures de seguretat passiva com el cinturó de seguretat, el casc o les cadiretes per a infants (Organització Mundial de la Salut, 2023). Un dels factors que ha rebut més atenció és la velocitat de conducció, que presenta una correlació molt elevada amb el nombre d'accidents i amb la gravetat de les lesions que aquests causen (Elvik *et al.*, 2019). La lògica és clara: quan algú condueix a més velocitat, té menys temps de reacció davant d'una circumstància no prevista, cosa que fa que augmenti la probabilitat de patir un accident. Alhora, com més velocitat, l'energia absorbida per les persones integrants del vehicle en produir-se el xoc és més alta, i això provoca lesions de més gravetat (Wilson *et al.* 2010).

En conseqüència, implementar mesures per reduir la velocitat de conducció és una estratègia prometedora per reduir el nombre i la gravetat dels accidents. Entre aquestes mesures, la implementació de controls automàtics de velocitat (d'ara en endavant, controls de velocitat o, simplement, controls) és una estratègia molt utilitzada arreu del món.

Els controls de velocitat són dispositius que s'instal·len en punts específics de la carretera i tenen la capacitat de mesurar la velocitat a la qual circula un vehicle quan passa per aquest punt. Si el vehicle circula a una velocitat superior a l'establerta legalment per aquell tram de

¹ Estimacions extretes de l'estudi *Global Burden of Disease* de l'any 2021, els resultats del qual es poden consultar a <https://vizhub.healthdata.org/gbd-results/>. En aquest estudi, la discapacitat associada als accidents de trànsit està mesurada en Anys de Vida Ajustats per Discapacitat (AVADs), un indicador comunament utilitzat en el camp de la salut per mesurar la pèrdua de salut associada a malalties, lesions i factors de risc.

² El cost que els accidents de trànsit impliquen per a la societat està format pel cost dels tractaments mèdics, les pèrdues de producció, les pèrdues en salut i benestar emocional, els danys a la propietat (de vehicles i carreteres) i els costos administratius associats als serveis policials, de bombers, judicials i d'assegurances.

via, la persona conductora rep una sanció que, segons la gravetat de la infracció, pot incloure pagar una multa, perdre punts del carnet de conduir, privar del dret a conduir, fer treballs en pro de la comunitat o ingressar a la presó.

La lògica per la qual els controls de velocitat poden induir una reducció en la velocitat de conducció (i, per tant, en el nombre i la gravetat dels accidents) es basa en la idea dels mecanismes dissuasius (Becker, 1968; Steinbach *et al.*, 2016). Quan un conductor o una conductora sap que hi ha un control de velocitat, augmenta la seva percepció del risc de conduir a una velocitat elevada, ja sigui perquè és més probable que se'l detecti si circula massa ràpid (i hagi de fer front a una sanció) o perquè és més conscient de la probabilitat de patir un accident. Sota aquesta lògica, els controls haurien de reduir el nombre i la gravetat dels accidents al voltant de la localització exacta d'aquests (el que es coneix com a efectes localitzats). A la vegada, en generar la percepció d'una probabilitat més alta de trobar un control en qualsevol punt de la carretera, els controls també poden induir una reducció de l'accidentalitat en localitzacions on aquests no s'han instal·lat (el que es coneix com a efectes generalitzats).

Tot i que aquesta lògica sembla raonable, hi ha diversos elements que la poden posar en dubte i que assenyalen la importància d'avaluar si els controls de velocitat realment causen una reducció de l'accidentalitat. En primer lloc, enquestes d'opinió realitzades arreu del món indiquen que qui condueix no sempre percep la velocitat com un factor que pot contribuir a provocar un accident, fet que podria minvar la capacitat dels controls d'induir una reducció de la velocitat de conducció. Per exemple, en una enquesta de l'any 2023 a persones de 42 països d'arreu del món,³ més de la meitat havien conduït per sobre de la velocitat establerta legalment en carreteres secundàries, autopistes o autovies, i menys de la meitat donaven suport a implementar una velocitat legal màxima de 80 km/h en vies interurbanes i de 30 km/h en zones urbanitzades.

En segon lloc, diversos estudis apunten a la possibilitat que els controls de velocitat causin un comportament de conducció erràtic que fa que qui condueix freni bruscament abans de la localització exacta del dispositiu i acceleri de forma precipitada després. Aquest comportament podria provocar un augment dels accidents en localitzacions una mica més allunyades de la localització exacta del dispositiu, i convertiria els controls en una mesura inefectiva o, fins i tot, contraproductiva. L'augment dels accidents en localitzacions una mica més allunyades de la localització exacta del dispositiu es coneix comunament a la literatura com a efecte cangur (vegeu, per exemple, Pauw *et al.* 2014).

Per això, avaluar l'impacte dels controls pot ajudar a proporcionar evidència sobre quins aspectes de la seva implementació ajuden a incrementar-ne l'efectivitat, com per exemple quin tipus de dispositiu és més efectiu (fix o mòbil, visible o no per a qui condueix, de punt o de tram) o en quins punts de la via és millor col·locar-lo perquè hi hagi menys accidents.

³ E-Survey of Road users' Attitudes (ESRA), disponible a: <https://www.esranet.eu/> (consultat el 03/02/2025).

En aquest informe s'avalua si els controls de velocitat de punt fixos⁴ instal·lats en la xarxa viària catalana han sigut efectius a l'hora de reduir el nombre i la gravetat dels accidents de trànsit que es produeixen al voltant de la localització exacta del dispositiu. Per fer-ho, s'utilitza, d'una banda, informació precisa de les dates d'instal·lació i de la localització geogràfica dels controls de punt fixos que s'han instal·lat a Catalunya i, de l'altra, informació precisa sobre les dates i la localització dels accidents de trànsit que s'han produït a les carreteres catalanes entre els anys 2000 i 2023. Per tal d'estimar l'efecte causal dels controls d'una manera robusta, amb aquestes dades es fa servir la instal·lació esglaonada en el temps dels controls en diverses localitzacions en un model de diferència en diferències, un mètode d'estimació quasiexperimental àmpliament utilitzat en l'avaluació d'impacte d'intervencions.

Els resultats de l'anàlisi mostren que els controls de punt fixos instal·lats a les carreteres catalanes han reduït un 31% el nombre d'accidents amb persones ferides i un 20% el nombre d'accidents amb víctimes greus o mortals al voltant de la localització dels dispositius, la qual cosa indica que els controls són efectius, ja que redueixen tant el nombre d'accidents de trànsit com la gravetat de les lesions que aquests ocasionen. Partint de càlculs aproximats, aquests impactes impliquen que, durant els anys que han estat instal·lats a Catalunya, els controls de punt fixos han evitat 1.610 accidents amb persones ferides i 372 accidents amb víctimes greus o mortals al voltant de la localització dels dispositius.⁵

Cal tenir en compte, però, que aquestes estimacions només capturen l'efecte localitzat dels controls, és a dir, la reducció en el nombre d'accidents que es produeixen al voltant de la localització dels dispositius. Si, mitjançant un efecte dissuasiu generalitzat que s'estén més enllà de la localització del dispositiu, la instal·lació de controls causés també una reducció del nombre d'accidents en punts de la via on aquests no estan instal·lats, aquestes estimacions només estarien capturant una part de l'efecte total dels controls.⁶

⁴ A causa de la disponibilitat de dades, en aquest informe s'estima l'impacte dels controls de velocitat de punt fixos, és a dir, aquells controls que s'instal·len i romanen en un únic punt de la xarxa viària mentre estan actius. Però a Catalunya, com en altres països, també s'han instal·lat controls de tram (que mesuren la velocitat mitjana al llarg d'un tram de carretera determinat) i controls de punt mòbils (que es van movent periòdicament entre diversos punts d'una àrea concreta de la xarxa viària). A Catalunya, tots els controls fixos (de punt i de tram) estan senyalitzats de manera que es pugui conèixer la seva localització exacta. En canvi, els controls mòbils (que són tots de punt) no estan senyalitzats en la seva ubicació exacta, tot i que la informació sobre l'àrea de carretera dintre de la qual cada un dels controls es pot anar movent periòdicament és informació pública a la qual tothom pot accedir).

⁵ Es proporciona la reducció del nombre d'accidents evitats per tal de posar els resultats en perspectiva. Cal tenir en compte, però, que aquestes estimacions s'han fet a partir de diversos supòsits que fan que les reduccions s'hagin d'interpretar com a aproximades. En la secció 5.9.2. es descriu com s'han calculat aquestes estimacions i quins supòsits s'han fet servir.

⁶ Estimar els efectes generalitzats dels controls de velocitat és metodològicament complex, ja que caldria trobar àrees de la xarxa viària en què tothom sabés que no hi ha controls de velocitat instal·lats. Desafortunadament, com passa en la majoria de països, la forma en què s'han instal·lat els controls a

Tot i que l'impacte que tenen els controls de velocitat en l'accidentalitat s'ha analitzat àmpliament en estudis anteriors, la metodologia d'estimació utilitzada en la gran majoria d'aquests estudis no és l'adient per estimar de forma robusta el seu efecte causal. Com s'explica en detall a la Secció 2, la majoria d'estudis previs utilitzen metodologies que no controlen satisfactòriament per factors correlacionats al mateix temps amb la instal·lació dels controls de velocitat i amb el nombre d'accidents, fet que fa que les estimacions siguin molt sensibles a com es materialitzen aquests factors en cada context d'estudi i que probablement explica el gran rang de variació de les estimacions.

Per tant, tot i que la literatura prèvia en general troba que la instal·lació de controls de velocitat redueix el nombre i la gravetat dels accidents, les limitacions metodològiques fan que calgui interpretar els resultats amb precaució. La contribució principal del present estudi rau en la utilització d'un mètode d'estimació quasiexperimental àmpliament emprat en l'avaluació d'impacte d'intervencions, amb supòsits d'identificació clars i explícits, que permet proporcionar una estimació robusta i precisa de la magnitud de l'efecte dels controls de velocitat en l'accidentalitat.

La riquesa de les dades disponibles permet també analitzar aspectes importants del funcionament dels controls per als quals la literatura prèvia no és concloent. En primer lloc, els resultats del present estudi mostren que els efectes dels controls de punt fixos augmenten amb el temps i es mantenen almenys fins a un període de tretze anys després de la instal·lació. Aquest fet suggereix que els controls de punt fixos aconseguixen induir un canvi progressiu en el comportament de risc de conductors i conductores que augmenta a mesura que s'acostumen a la presència del control en una localització concreta.

En segon lloc, es mostra que la reducció de l'accidentalitat es concentra als punts més propers a la localització exacta del dispositiu, i que no hi ha un augment del nombre d'accidents en punts una mica més allunyats (fins a 2 km del dispositiu), cosa que indica que, fins i tot si els controls de punt fixos indueixen un comportament de conducció erràtic, aquest no causa un augment en el nombre d'accidents que faci reduir la seva efectivitat. És a dir, els resultats indiquen que als controls de punt fixos no es produeix el fenomen que en la literatura s'anomena normalment efecte cangur.

Aquests resultats tenen implicacions pràctiques importants. D'una banda, alguns autors recomanen que, per tal d'evitar el fenomen de l'efecte cangur, s'utilitzin controls de tram (vegeu, per exemple, Li *et al.* 2020). A falta d'evidència robusta que compari l'efectivitat relativa entre els controls de punt i els controls de tram, els resultats del present estudi indiquen que no s'haurien de substituir els controls de punt per controls de tram en base a la justificació única que els primers produeixen l'efecte cangur. D'altra banda, i en la

Catalunya no permet identificar àrees amb aquestes característiques i, per tant, no ha estat possible trobar una estratègia d'estimació adequada per capturar els efectes generalitzats.

mateixa línia, diversos estudis (vegeu, per exemple, la revisió de literatura duta a terme per Steinbach *et al.* 2016) suggereixen que la no senyalització dels controls o l'ús de controls mòbils podria intensificar la reducció d'accidents de forma més generalitzada en punts de la xarxa viària on els controls no estan instal·lats (augmentar els efectes generalitzats). Els resultats del present estudi indiquen que, per tal de garantir o augmentar l'efecte localitzat dels controls, és important que les persones que condueixen coneguin la localització exacta dels dispositius, de manera que puguin acostumar-se a la seva presència i adaptar el seu comportament de conducció. Conseqüentment, per tal d'evitar els accidents que es produeixen en punts que presenten una alta perillositat o un alt nombre d'accidents, és important que els controls de punt siguin fàcilment visibles per tothom que condueix i que es mantinguin fixos en la mateixa localització.

Finalment, la riquesa de les dades disponibles permet estimar l'impacte dels controls de velocitat en funció de diverses característiques dels accidents i dels trams de carretera on aquells s'ubiquen. D'una banda, els resultats mostren que els controls només tenen efecte (o tenen més efecte) en els accidents en què qui condueix ha comès un error de conducció i en col·lectius que acostumen a tenir un comportament de conducció més arriscat (persones joves i homes). Com seria d'esperar, això suggereix que un dels mecanismes principals que explica l'efectivitat dels controls és que aquests indueixen un comportament més segur, tant en relació amb la velocitat com amb d'altres que poden influir en la concentració a l'hora de conduir.

D'altra banda, els resultats mostren que l'efectivitat dels controls no depèn de característiques concretes del tram de carretera on aquests s'ubiquen (el tipus de via, el volum de vehicles que hi circula, la velocitat màxima permesa o el radi de curvatura del tram), sinó que el més recomanable és instal·lar els controls de punt fixos en punts de la via que presenten un alt nombre d'accidents.

2. Evidència prèvia

Hi ha nombrosos estudis que han avaluat l'impacte dels controls de velocitat en el nombre i la gravetat dels accidents de trànsit. La Figura 21 de l'Annex presenta les característiques d'un conjunt ampli d'estudis elaborats als darrers anys. La taula s'ha construït sobretot basant-se en els estudis identificats en diverses revisions de literatura (Soole *et al.*, 2013; Steinbach *et al.*, 2016; Wilson *et al.*, 2010). Per a cada estudi, la taula indica el país on s'ha dut a terme l'estudi, el mètode d'estimació utilitzat, els efectes estimats en les variables de resultat analitzades i la tipologia o les característiques dels controls de velocitat que es consideren.

Partint d'aquests estudis, a continuació es descriuen les conclusions que es poden extreure sobre l'impacte dels controls de velocitat, els mecanismes que expliquen aquests

impactes i els elements de la implementació dels controls que poden ajudar a augmentar la seva efectivitat.

Les limitacions metodològiques de la recerca existent dificulten extreure conclusions clares

Un primer aspecte molt important a destacar és que la majoria d'estudis presenten limitacions metodològiques que condicionen en gran manera les conclusions que se'n poden extreure. En general, els controls de velocitat s'instal·len en punts de la xarxa viària on, a causa les seves característiques (males condicions físiques de la via, velocitats màximes legals de conducció elevades, alt volum de trànsit, entre d'altres), acostuma a haver-hi un nombre elevat d'accidents. Per tant, una comparació simple del nombre d'accidents entre punts de la via amb controls instal·lats i sense tendirà a proporcionar una sobreestimació de l'efecte causal.

A aquest problema, s'hi afegeix el fet que els controls de velocitat s'acostumen a instal·lar en localitzacions de la via on s'ha produït un nombre inusualment elevat d'accidents als anys immediatament anteriors a la instal·lació. A causa del fenomen conegut com a regressió a la mitjana, aquests punts tendiran a presentar una reducció en el nombre d'accidents els anys següents, independentment de si la instal·lació dels controls ha contribuït a aquesta disminució. Per tant, si el mètode d'estimació utilitzat no es corregeix pel fenomen de regressió a la mitjana, els efectes tendiran a estar sobreestimats.

Per solucionar aquests problemes, és necessari aplicar mètodes d'estimació robustos que permetin identificar l'efecte causal dels controls de velocitat de manera no esbiaixada. Com es pot veure a la Figura 21, dels 46 estudis analitzats, 28 es limiten a comparar el nombre d'accidents abans i després de la instal·lació dels controls (estudis d'abans-després), mètode que no permet controlar pels factors correlacionats amb el nombre d'accidents que varien en el temps i que no té en compte el fenomen de regressió a la mitjana.

14 estudis fan servir un mètode anomenat Empirical Bayes (EB), que durant molt temps s'ha considerat, en aquesta literatura, el més apropiat per estimar l'impacte d'intervencions de seguretat viària (Hauer *et al.*, 2002). Utilitzant localitzacions de la xarxa viària on no s'ha instal·lat un control de velocitat, el mètode de l'EB estima un conjunt de paràmetres que caracteritzen la relació entre un conjunt de característiques de la via i el nombre d'accidents, i aplica aquests paràmetres d'una manera determinada a localitzacions de la via on s'ha instal·lat un control de velocitat per estimar l'efecte de la instal·lació dels controls (vegeu, per exemple, Hauer *et al.* 2002 per a una explicació detallada del mètode).

El problema principal d'aquest mètode és que, per estimar l'efecte causal de la instal·lació dels controls de manera no esbiaixada, cal que sigui capaç de modelar tots els factors que causen els accidents, cosa que generalment és impossible perquè hi ha variables que no són observables (per a una explicació molt detallada de per què el mètode de l'EB no és

capaç de produir estimacions no esbiaixades de l'efecte causal, vegeu Gallagher i Fisher 2020).

L'evidència prèvia apunta que els controls de velocitat són efectius per reduir l'accidentalitat, però cal interpretar aquests resultats amb precaució

Entre els estudis identificats en la Figura 21, la reducció del nombre d'accidents amb persones ferides a causa de la instal·lació dels controls de velocitat va del 2 al 71,3%, i la reducció del nombre d'accidents amb víctimes greus o mortals va del 20,6 al 49%. En termes generals, però, tal com s'ha comentat, les metodologies utilitzades en aquests estudis no permeten corregir per l'existència de regressió a la mitjana ni controlar per altres factors no mesurats que estan correlacionats al mateix temps amb el nombre d'accidents i amb la instal·lació dels controls de velocitat. Això, unit al fet que sovint els estudis analitzen una mostra molt petita de localitzacions, fa que els efectes estimats depenguin en gran manera de com es materialitzen aquests factors en cada cas d'estudi.

Com han suggerit diverses revisions de literatura (Wilson *et al.*, 2010; Steinbach *et al.*, 2016), això probablement explica l'ampli rang de variació en la magnitud dels efectes estimats en els estudis. Per tant, tot i que els estudis anteriors apunten que els controls de velocitat provoquen una reducció en el nombre i la gravetat dels accidents, les limitacions metodològiques que presenten fan que hàgim d'interpretar aquests resultats amb precaució a l'espera de nous estudis que utilitzin metodologies d'estimació més robustes.

Els controls de velocitat podrien generar un comportament de conducció erràtic que en limita els efectes, però l'evidència existent no és concloent

A part de conèixer en quina mesura els controls de velocitat són efectius per reduir l'accidentalitat, els estudis anteriors també poden proporcionar evidència sobre quins mecanismes ajuden a explicar els impactes. Com s'ha dit, un dels principals mecanismes que podrien explicar la falta d'efectivitat dels controls de velocitat, especialment als controls fixos que són fàcilment visibles per qui condueix, és el que en la literatura prèvia s'ha anomenat efecte cangur.

Tal com suggereixen diversos estudis, és raonable pensar que qui condueix frena bruscament just abans de la localització exacta del dispositiu per tal d'evitar la sanció i accelera de manera precipitada després de la localització del dispositiu. L'efecte cangur es refereix al fet que la frenada i l'acceleració brusques induïdes per la presència del control poden fer augmentar el nombre d'accidents, un fet que no s'hauria produït en absència d'aquest control. En aquest cas, fins i tot si el control de velocitat és capaç de causar una reducció del nombre d'accidents en la ubicació exacta del dispositiu, l'augment del nombre d'accidents en localitzacions una mica més allunyades que es produiria com a conseqüència del control (l'efecte cangur) podria compensar o superar aquesta reducció, i convertiria els controls de velocitat en una mesura inefectiva o contraproductiva.

Diversos estudis han analitzat específicament si l'efecte cangur es produeix. Mesurant la velocitat de conducció en diversos punts de la via situats a diferents distàncies abans i després del punt exacte del dispositiu, dos estudis han analitzat quin és el comportament dels vehicles a l'hora de passar pel control de velocitat (Bar-Gera *et al.*, 2017; Pauw *et al.*, 2014). Segons aquests estudis, conductores i conductors comencen a reduir la velocitat a mesura que s'apropen al dispositiu (aproximadament a partir d'1 km abans del dispositiu), la reducció màxima de velocitat es troba en el punt exacte del dispositiu i tornen a accelerar un cop passat el dispositiu. En alguns casos, la velocitat de conducció en punts situats abans del dispositiu és inferior a la que es produïa sense la presència del control de velocitat, i la velocitat de conducció en punts situats després del dispositiu és superior a la que es produïa sense la presència d'aquest.

Per tant, tot i que les limitacions metodològiques dels estudis no permeten atribuir aquest comportament de conducció només a la presència dels controls de velocitat, els resultats suggereixen que és probable que els controls indueixin a frenar bruscament abans del dispositiu i a accelerar bruscament després d'aquest, cosa que podria causar un increment del nombre d'accidents.

Diversos estudis han analitzat si aquest comportament de conducció al voltant del dispositiu fa augmentar el nombre d'accidents. Per fer l'anàlisi, s'estima l'efecte de la instal·lació dels controls de velocitat en el nombre d'accidents en funció de diferents longituds del tram de carretera en què es mesura el nombre d'accidents (trams de carretera de diferents longituds en els quals el dispositiu es troba al centre del tram). Si l'efecte cangur es produeix (és a dir, si la instal·lació dels controls fa augmentar el nombre d'accidents en punts una mica més allunyats de la localització exacta del dispositiu), hauríem d'observar que la reducció del nombre d'accidents causada per la instal·lació dels controls disminueix a mesura que considerem trams de carretera de més longitud. Si l'augment del nombre d'accidents en punts més allunyats de la localització exacta del dispositiu compensa (o supera) la reducció en punts més propers, hauríem d'observar que en considerar trams de més longitud la instal·lació dels controls no té efecte (o causa un augment) en el nombre d'accidents.

Els resultats d'aquests estudis, però, no són concloents. D'una banda, un dels estudis troba que la reducció del nombre d'accidents com a conseqüència de la instal·lació dels controls de velocitat no depèn de la longitud del tram considerat, i indica que no hi ha cap presència de l'efecte cangur (Mountain *et al.*, 2004). D'altra banda, dos dels estudis troben que la magnitud de la reducció del nombre d'accidents disminueix a mesura que augmenta la longitud del tram, però que aquesta segueix sent considerable i estadísticament significativa en longituds llargues, la qual cosa indica que sí que es produeix un augment del nombre d'accidents en punts més allunyats del punt exacte del dispositiu, però que aquest augment és menor que la reducció que es produeix en punts més propers (Hess, 2004; Li *et al.*, 2013). I, finalment, tres dels estudis troben que la magnitud de la reducció

minva a mesura que augmenta la longitud del tram, i que no hi ha una reducció o aquesta no és estadísticament significativa als trams de més longitud, cosa que indica que l'augment del nombre d'accidents causats per l'efecte cangur compensa la reducció als punts més propers al dispositiu, i converteix els controls de velocitat en una mesura inefectiva (Christie *et al.*, 2003; Høye, 2015; Pauw *et al.*, 2014).

La contradicció en els resultats d'aquests estudis podria ser deguda a les limitacions metodològiques comentades anteriorment. Les metodologies utilitzades fan que els efectes estimats de la instal·lació dels controls en el nombre d'accidents depenguin sobretot de com els factors correlacionats amb la instal·lació dels controls es materialitzen en cada cas d'estudi (volum de trànsit, condicions físiques de la via, presència de regressió a la mitjana, etc.). Per tant, per saber si els controls de velocitat produeixen l'efecte cangur, cal analitzar-ho utilitzant mètodes d'estimació més robustos que permetin controlar aquests factors.

Cal dur a terme estudis que siguin capaços de mesurar l'efecte generalitzat dels controls de velocitat per proporcionar una estimació completa del seu efecte en l'accidentalitat

Un altre element important a considerar és la distinció entre els efectes localitzats i els efectes generalitzats dels controls. Com s'ha dit, el mecanisme pel qual els controls causarien una reducció del nombre d'accidents és que aquests fan augmentar la percepció de risc de qui condueix de rebre una sanció o de patir un accident. En aquest sentit, els controls de velocitat poden reduir el nombre d'accidents al voltant de la localització exacta del dispositiu (efectes localitzats), però també causar una reducció en localitzacions on aquests no estan instal·lats (efectes generalitzats) si la percepció de risc de qui condueix augmenta també per l'expectativa o la incertesa de trobar-se un control de velocitat en qualsevol punt de la via quan no es coneix amb precisió la localització exacta d'aquests.

Mesurar la magnitud tant dels efectes localitzats com dels efectes generalitzats és important principalment per dos motius. En primer lloc, per conèixer la magnitud total de l'efecte. Si les estimacions de l'impacte dels controls de velocitat només capturen els efectes localitzats, s'estarà infraestimant el seu efecte, la qual cosa dificulta la comparació de l'efectivitat dels controls de velocitat respecte a altres intervencions de seguretat viària.

En segon lloc, perquè probablement les dues tipologies d'efecte tindran una importància diferent en funció de les característiques o la tipologia de control (especialment si el control és mòbil o fix o si aquest és visible o no pel conductor o la conductora). És raonable pensar que, si el control és fix i fàcilment visible per qui condueix, l'efecte en la reducció dels accidents es concentrarà als voltants de la localització del control. Si, en canvi, el control es va movent a diferents localitzacions o aquest no és fàcilment visible, de manera que no se'n coneix la localització exacta, probablement la reducció dels accidents en la localització del control no serà tan important, mentre que la percepció de risc generalitzada

podria fer que la reducció del nombre d'accidents es produís en major mesura en altres localitzacions.

Capturar els efectes generalitzats dels controls és metodològicament complex, ja que s'haurien de trobar àrees de la xarxa viària en què les persones que condueixen no esperen trobar cap control, cosa que és difícil, ja que, en general, la instal·lació de controls de velocitat no varia en funció de diferents àrees d'una mateixa jurisdicció. Probablement per això, tots els estudis previs han estimat els efectes localitzats dels controls de velocitat, sense mesurar si aquests han tingut també un efecte generalitzat.

Per conèixer la magnitud total de l'efecte dels controls de velocitat, i permetre d'aquesta manera una comparació més útil de la seva efectivitat en funció de la tipologia de control o en relació amb altres mesures de seguretat viària, cal que es facin nous estudis que apliquin estratègies d'identificació que permetin capturar el seu efecte generalitzat.

No hi ha evidència robusta sobre l'efectivitat relativa de diferents tipus de controls de velocitat, la qual cosa dificulta la presa de decisions

En la mateixa línia, és important conèixer quins tipus de controls de velocitat són més efectius i en quines circumstàncies, per tal d'ajudar a la presa de decisions sobre quins controls (o quina combinació de controls) cal implementar a la pràctica.

Desafortunadament, els estudis previs no ofereixen conclusions clares.

Una forma de conèixer l'efectivitat relativa de diversos tipus de controls és comparar els resultats de diferents estudis en funció del tipus de control analitzat. Però, com s'ha comentat, les limitacions metodològiques dels estudis existents fins ara fan que els seus resultats siguin molt sensibles als factors endògens de cada cas particular, i això faria que una comparació entre els estudis en funció del tipus de control estigués captant una variació en aquests factors, cosa que complicaria la interpretació.

Segons la revisió que s'ha fet, només un estudi previ (Steinbach *et al.* 2016) ha intentat aquest exercici, i ha trobat que l'efecte localitzat dels controls de velocitat no depèn de la seva tipologia (fixos contra mòbils o visibles contra no visibles). Com assenyalen els mateixos autors, però, l'heterogeneïtat dels estudis considerats compromet la validesa d'aquests resultats.

Una altra forma de comparar l'efectivitat de diferents tipus de control és estimar el seu efecte en funció del tipus en un mateix estudi, en el context d'una intervenció que combini la instal·lació de més d'un tipus de controls, de manera que les diferències en els factors endògens no comprometin els resultats. Desafortunadament, però, no s'ha trobat cap estudi que compari en un mateix context l'efectivitat de diferents tipus de control de velocitat.

Per contribuir a generar evidència que ajudi a prendre decisions en la implementació de controls de velocitat, cal dur a terme estudis amb mètodes d'estimació més robustos

En resum, els estudis previs apunten que els controls de velocitat són efectius a l'hora de reduir el nombre i la gravetat dels accidents de trànsit. No obstant això, les limitacions metodològiques fan que els resultats d'aquests estudis s'hagin d'interpretar amb precaució. Per tant, cal analitzar l'impacte dels controls de velocitat utilitzant mètodes d'estimació més robustos que proporcionin estimacions no esbiaixades dels seus efectes, que contribueixin a conèixer quins mecanismes expliquen els impactes i que proporcionin evidència sobre quins aspectes de la implementació poden contribuir a augmentar la seva efectivitat.

El present estudi contribueix a aquest propòsit estimant l'efecte de la instal·lació dels controls de velocitat fent servir un model de diferència en diferències, un mètode d'estimació quasiexperimental àmpliament utilitzat en l'avaluació d'impacte d'intervencions, amb supòsits d'identificació clars i explícits.

3. Els controls automàtics de velocitat a Catalunya

3.1. La implementació

Als diferents països en què s'han instal·lat, els controls automàtics de velocitat són dispositius que es col·loquen en punts específics de la xarxa viària i que estan dissenyats per mesurar la velocitat dels vehicles que passen per aquests punts. Contenen càmeres que capturen la matrícula del vehicle i detecten si aquest excedeix el límit de velocitat legalment establert al tram de carretera on hi ha el dispositiu. Si és així, s'aplica una sanció a la persona conductora.⁷

Hi ha diferents tipus de controls, que difereixen en funció de les característiques següents:

- **Fixos/mòbils:** els controls fixos s'instal·len en una localització específica de la xarxa viària i no es mouen d'aquesta localització, mentre que els controls mòbils es van desplaçant periòdicament a diferents localitzacions d'una àrea determinada.
- **Punt/tram:** els controls de punt consisteixen en un únic dispositiu instal·lat en un punt específic de la via, i capturen la velocitat dels vehicles en l'instant en què passen per davant del dispositiu. Els controls de tram consisteixen en diversos dispositius instal·lats al llarg d'un tram de via, i calculen la velocitat mitjana a la qual ha circulat el vehicle des de l'inici fins al final del tram.
- **Senyalitzats/encoberts:** els controls senyalitzats s'anuncien de manera que les persones conductores en coneguin la localització exacta, mentre que els controls encoberts no s'anuncien.

⁷ Segons el país, la sanció s'aplica a qui condueix o a la propietària o propietari del vehicle. A Catalunya, les sancions s'apliquen a qui condueix.

A Catalunya, el primer control de velocitat (que era un control fix i de punt) es va instal·lar l'any 2002 a l'autovia de Castelldefels, dos anys després del traspàs complet de les competències en matèria de trànsit al Govern de la Generalitat. Des de llavors, s'han anat instal·lant a diferents localitzacions de la xarxa viària catalana més controls de diferents tipus. La Figura 1 mostra l'evolució del nombre de controls fixos actius cada any a la xarxa viària. A Catalunya, els controls fixos poden ser de punt o de tram, i tots se senyalitzen, normalment mitjançant un senyal de trànsit situat 1 km abans de la localització exacta del dispositiu. Des del primer control fix, instal·lat el 2002, s'han col·locat de manera progressiva 183 controls fixos més.⁸ La majoria d'ells (168) són de punt, però a partir de 2010 es comencen a instal·lar també controls de tram, de manera que a finals de 2024 hi ha 14 controls de tram en funcionament.

L'altre tipus de controls que s'han instal·lat a Catalunya són els mòbils, que són tots de punt. En general, no estan senyalitzats els punts exactes en què aquests es van movent, tot i que el tram específic de carretera en el qual cada un dels controls mòbils es pot anar movent periòdicament és informació pública que tothom pot consultar. A finals de 2024 hi ha 130 controls mòbils en funcionament.⁹

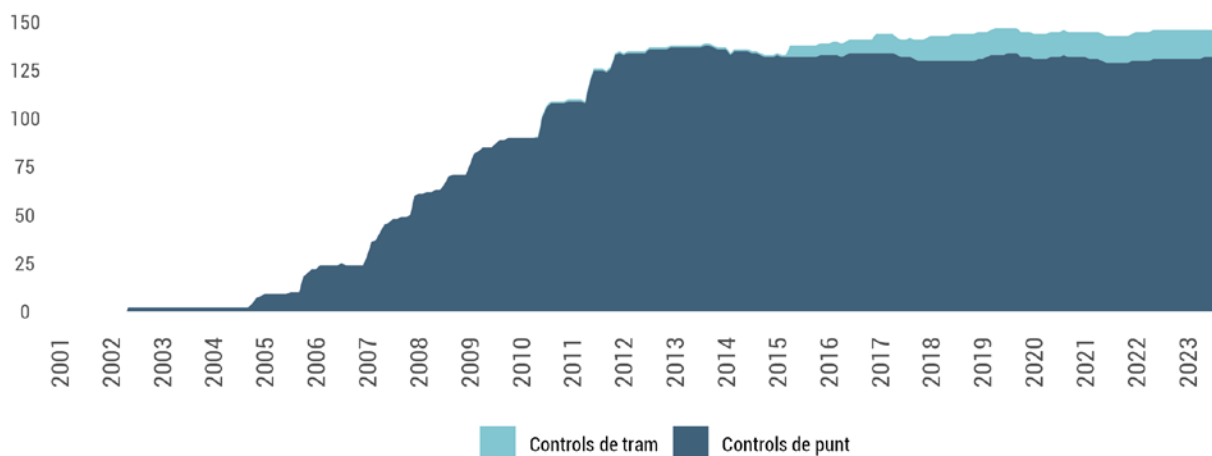
La Figura 2 mostra la localització de tots els controls de velocitat actius en la xarxa viària catalana a finals del 2024. En aquest moment hi ha 145 controls fixos (Panell A, 131 de punt i 14 de tram) i 130 controls mòbils (Panell B, tots de punt). Per als controls mòbils, el Panell B mostra el tram de carretera en què cada control es pot anar desplaçant periòdicament, que, per al conjunt de controls mòbils actius a finals de 2024, té una longitud mitjana de 30 km.

Tot i que a Catalunya estan en funcionament diferents tipus de controls automàtics de velocitat, la present avaluació analitza únicament l'impacte dels controls de velocitat fixos de punt. La Secció 4.3 exposa els motius metodològics que hi ha darrere d'aquesta decisió.

⁸ Alguns controls han deixat d'estar actius en algun moment després de la seva instal·lació, perquè s'han espatllat o per altres raons, fet que explica que el nombre de controls actius pugui disminuir d'un any a l'altre. La figura no mostra l'evolució del nombre de caixes buides que s'han instal·lat, ja que no es disposa d'informació precisa sobre les seves dates d'instal·lació. Les caixes buides són controls de punt fixos senyalitzats, però que no estan en funcionament i, per tant, no tenen capacitat sancionadora.

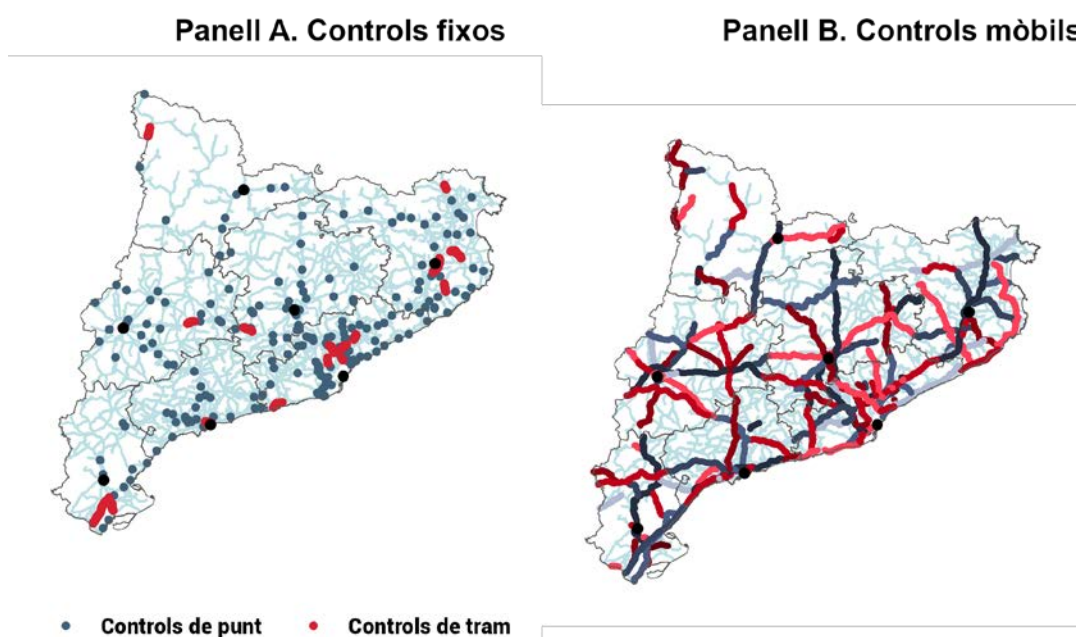
⁹ No es pot mostrar l'evolució del nombre de controls mòbils, atès que no es disposa d'informació sobre les seves dates d'instal·lació.

Figura 1. Nombre de controls automàtics de velocitat fixos actius per mes i any



Font: Elaboració pròpia a partir de dades proporcionades pel Servei Català de Trànsit.

Figura 2. Localització dels controls automàtics de velocitat l'any 2024



Font: Elaboració pròpia a partir de dades proporcionades pel Servei Català de Trànsit. Cada tram d'un color al mapa de controls mòbils assenyalava una zona vigilada per un sol control que pot estar situat en qualsevol punt del tram.

Per bé que algunes regions presenten més concentració de controls, aquests estan instal·lats en punts repartits per tota la xarxa viària catalana. Vist que l'objectiu dels controls és reduir l'accidentalitat, cal tenir en compte que el criteri principal emprat per decidir on es localitzarà el punt o tram de carretera determinat és que en aquest punt o tram hi hagi hagut un nombre elevat d'accidents els anys immediatament anteriors a la instal·lació.

El mecanisme pel qual els controls de velocitat haurien d'aconseguir reduir el nombre i la gravetat dels accidents de trànsit es basa en el fet que aquests augmenten la percepció del risc de conduir a velocitats elevades a través d'un augment de la probabilitat que la persona conductora sigui detectada (i sancionada). El sistema de sancions, per tant, és un element important de la lògica del funcionament dels controls de velocitat, ja que aquests han d'induir la persona que condueix a disminuir la velocitat per tal que la intervenció sigui efectiva en la reducció de l'accidentalitat.

A Catalunya, actualment, el sistema de sancions per excés de velocitat combina la imposició de multes d'entre 100 i 600 € i la retirada de fins a 6 punts del carnet de conduir (per a més detalls, vegeu la Figura 32). En el cas d'excessos de la velocitat permesa superiors a 60 km/h en vies urbanes i a 80 km/h en vies interurbanes, els fets passen a considerar-se delictes pel Codi Penal.¹⁰ Aquests casos poden comportar penes de presó o treballs en benefici a la comunitat i, en qualsevol cas, la privació temporal del dret a conduir.

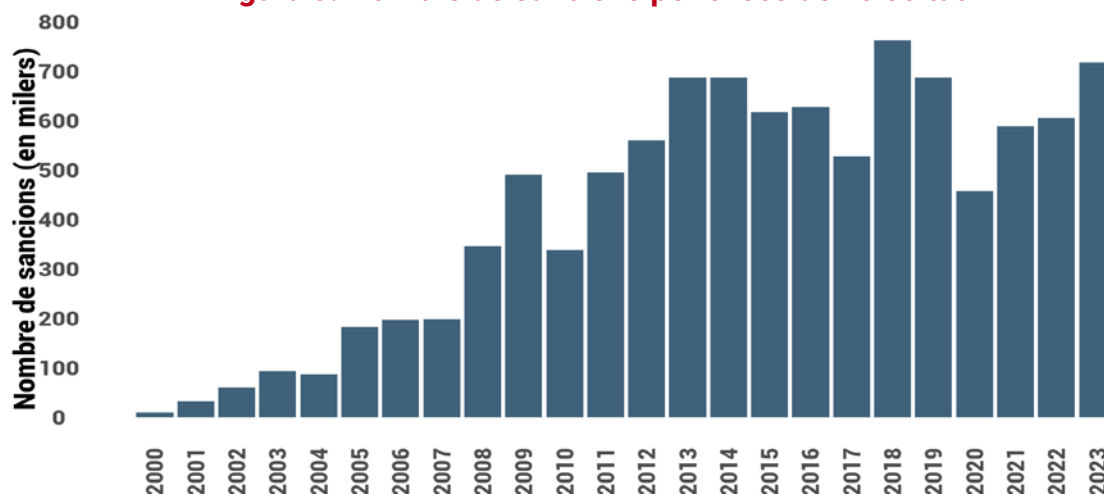
La Figura 3 mostra l'evolució del nombre de sancions per excés de velocitat imposades a Catalunya durant el període 2000-2023. Com és d'esperar, a mesura que ha crescut el nombre de controls de velocitat instal·lats a la xarxa viària ha crescut també el nombre de sancions imposades. La Figura 4 mostra l'evolució del nombre d'accidents¹¹ succeïts a la xarxa viària catalana durant el període 2000-2023, que diferencia entre accidents amb persones ferides i accidents amb víctimes greus o mortals.

Hi ha múltiples factors que influeixen en el nombre i la gravetat dels accidents i que expliquen, per tant, aquesta evolució, com són el nombre de vehicles en circulació, les condicions de les carreteres i els vehicles o l'ús de mesures de seguretat passiva com el cinturó de seguretat. Tal com s'ha explicat, aquesta multiplicitat de factors és una de les principals raons per les quals resulta metodològicament difícil escatir si la instal·lació de controls de velocitat ha aconseguit reduir, i en quina mesura, el nombre i la gravetat dels accidents. Aquest informe respon a aquesta pregunta.

¹⁰ Llei orgànica 10/1995, de 23 de novembre, del Codi Penal. URL ELI: [Disponible a: https://portaljuridic.gencat.cat/eli/es/lo/1995/11/23/10](https://portaljuridic.gencat.cat/eli/es/lo/1995/11/23/10)

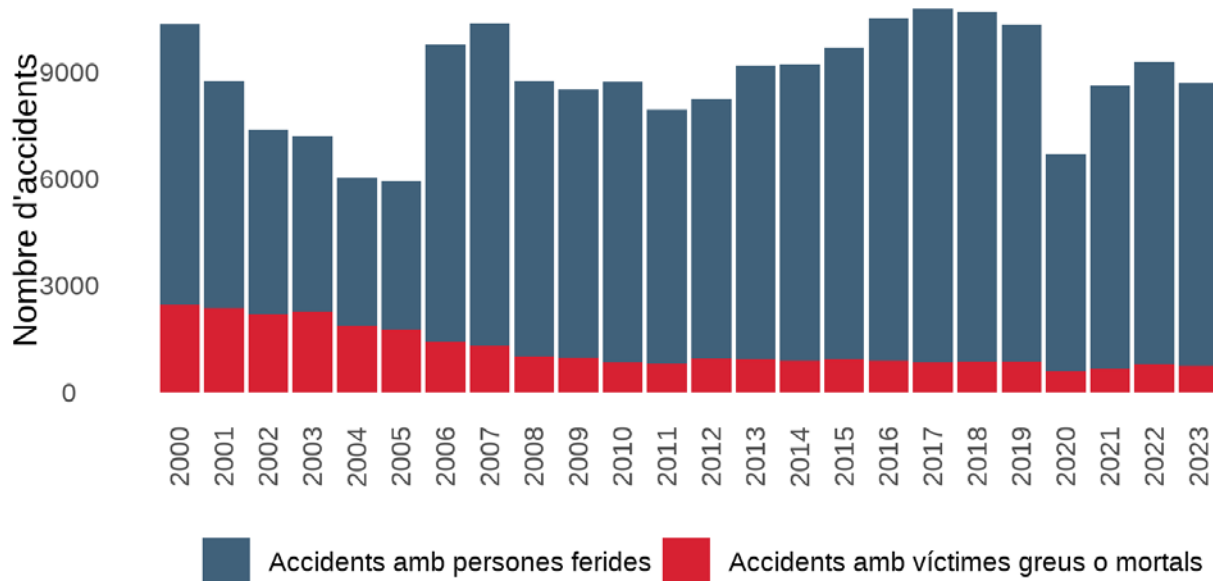
¹¹ La Figura mostra el nombre d'accidents independentment dels factors que hi hagin pogut contribuir. Tot i que la base de dades utilitzada incorpora informació sobre si la velocitat de conducció ha influït en l'accident, aquesta informació es recull per part dels serveis d'emergència quan aquests acudeixen al lloc de l'accident. Per tant, és probable que hi hagi errors de mesura perquè sovint és difícil saber amb certesa si la causa principal de l'accident ha estat un excés de velocitat de conducció.

Figura 3. Nombre de sancions per excés de velocitat



Font: Elaboració pròpia a partir de dades proporcionades pel Servei Català de Trànsit.

Figura 4. Nombre d'accidents de trànsit



Font: Elaboració pròpia a partir de dades proporcionades pel Servei Català de Trànsit.

3.2. Preguntes d'avaluació

L'objectiu principal del present informe és estimar l'impacte dels controls de velocitat en el nombre i la gravetat dels accidents de trànsit. La principal pregunta que es vol respondre, per tant, és la següent:

- **Quin és l'impacte que té la instal·lació de controls de velocitat a les carreteres catalanes sobre el nombre i la gravetat dels accidents de trànsit?**

Utilitzant les dades i la metodologia explicades en la secció següent, s'estimarà l'impacte dels controls en les variables de resultat descrites en la Figura 5.

Figura 5. Variables de resultat

Variable de resultat	Descripció
Accidents amb persones ferides	Nombre d'accidents en què es dona una, o més d'una, de les situacions següents: • Una o més persones resulten hospitalitzades durant un període menor a 24 hores. • Una o més persones resulten hospitalitzades durant un període superior a 24 hores. • Una o més persones moren.
Accidents amb víctimes greus o mortals	Nombre d'accidents en què es dona una, o més d'una, de les situacions següents: • Una o més persones resulten hospitalitzades durant un període superior a 24 hores. • Una o més persones moren.

L'elecció d'aquestes variables de resultat està motivada per dues raons. En primer lloc, perquè son capaces de captar l'impacte dels controls tant en el nombre d'accidents com en la gravetat de les lesions que causen, dos aspectes pels quals s'espera que els controls tinguin incidència. Per a cadascuna d'aquestes variables de resultat, una reducció de la variable pot indicar una reducció del nombre d'accidents, una reducció del nombre de persones ferides que aquests causen o ambdues coses. D'aquesta manera, si els controls no causen una reducció del nombre d'accidents, però fan que l'accident sigui menys greu i hi hagi menys persones ferides, aquesta reducció de la gravetat estarà captada per la variable. Alhora, la separació entre persones ferides (independentment de la gravetat) i víctimes greus o mortals permet analitzar si els efectes són diferents en funció del nivell de gravetat.

En segon lloc, les variables s'han escollit perquè són les que utilitzen la gran majoria d'estudis previs, la qual cosa permet comparar els resultats del present estudi amb l'evidència existent.

Un altre objectiu del present estudi és proporcionar evidència que ajudi a explicar quins mecanismes intervenen en l'efectivitat dels controls. A aquest efecte, s'analitza l'impacte dels controls en funció de diverses característiques dels accidents. La pregunta específica per tal de proporcionar evidència en aquest sentit és:

- **L'impacte dels controls de velocitat en l'accidentalitat varia en funció de les característiques de les persones i els vehicles implicats en els accidents, del moment en què aquests s'han produït o dels factors que hi han influït?**

Per respondre aquesta pregunta, es construeixen variables de resultat que capturen el nombre i la gravetat dels accidents (iguals que les variables principals descrites abans), però diferenciades segons les característiques de l'accident. Es tenen en compte les que apareixen llistades en la Figura 6.

Figura 6. Característiques de l'accident

Dimensió	Característiques de l'accident
Moment del dia	• Diürn • Nocturn
Dia de la setmana	• Laborable • Cap de setmana
Tipus de vehicle involucrat	• Lleugers • Pesants • Dues rodes • Vianants
Causa	• Error de la persona conductora (p. ex. excés de velocitat, ús del mòbil o altres distraccions) • Influència del consum de drogues i/o alcohol • Condicions de la via • Condicions meteorològiques • Influència de la circulació (conducta de la resta de persones usuàries)¹²

Finalment, per tal de proporcionar evidència sobre aspectes de la implementació dels controls que poden millorar l'efectivitat de la intervenció, es respon la pregunta següent:

- **L'impacte dels controls de velocitat varia segons les característiques dels trams de carretera on aquests s'ubiquen?**

Per donar-hi resposta, s'estima l'impacte dels controls en funció de diverses característiques dels trams de carretera on s'han instal·lat, que apareixen llistades en la Figura 7

Dimensió	Característiques dels trams de carretera
Tipus de via	• Autopistes, autovies i carreteres desdoblades • Carreteres no desdoblades
Velocitat legal màxima	• Igual o menor a 90 km/h • Superior a 90 km/h

¹² Vegeu l'apartat 5.3. sobre els efectes heterogenis segons les característiques del tram de carretera per a una definició detallada de les variables analitzades.

Dimensió	Característiques dels trams de carretera
Volum de trànsit	• Nombre de vehicles que circulen al dia
Desnivell	• Presència de canvis d'altitud
Curvatura	• Presència de revolts pronunciats

Figura 7. Característiques dels trams de carretera

Dimensió	Característiques dels trams de carretera
Tipus de via ¹³	• Autopistes, autovies i carreteres desdoblades • Carreteres no desdoblades
Velocitat legal màxima	• Igual o menor a 90 km/h • Superior a 90 km/h
Volum de trànsit	• Nombre de vehicles que circulen al dia
Desnivell	• Presència de canvis d'altitud
Curvatura	• Presència de revolts pronunciats

4. Metodologia

4.1. Dades

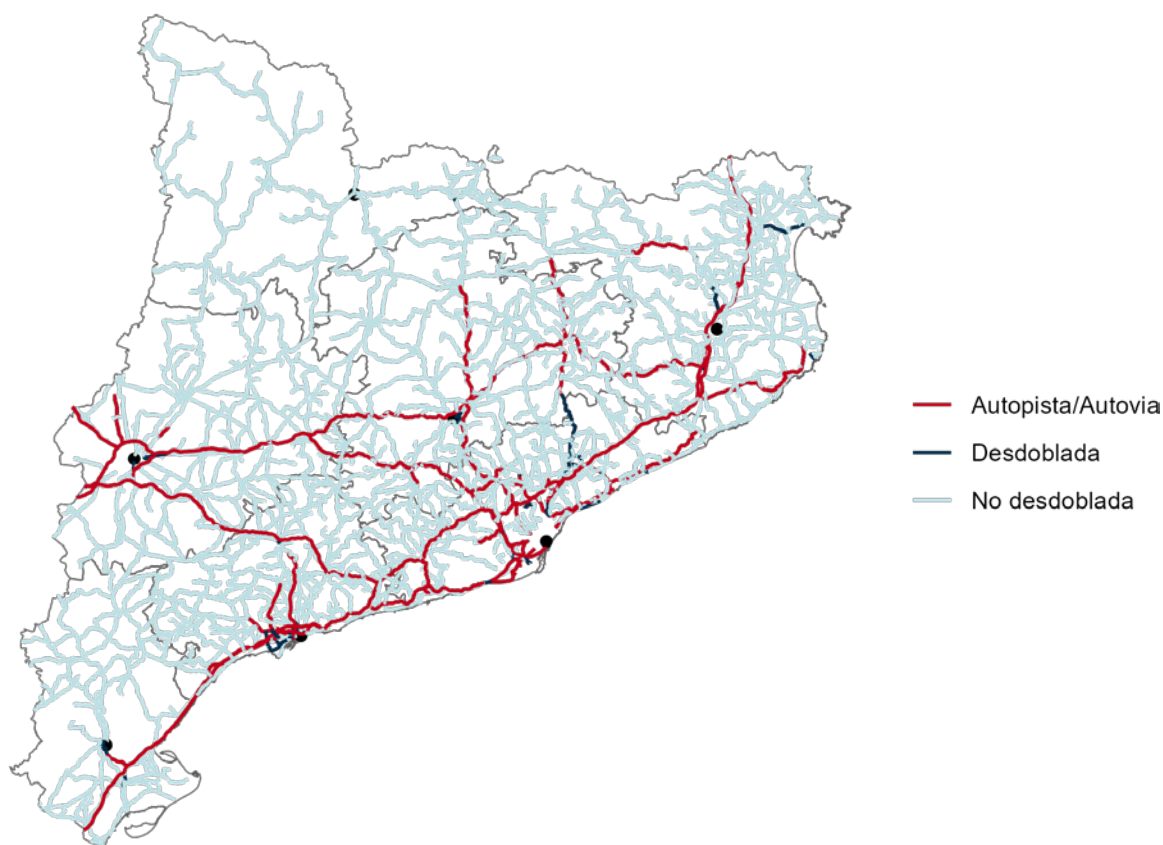
Per tal d'estimar l'impacte dels controls de velocitat en el nombre i la gravetat dels accidents de trànsit es fa servir un conjunt de bases de dades, les quals es processen i es combinen entre elles per construir una nova base de dades en un format adient per aplicar l'estratègia d'estimació descrita en la secció següent.

¹³ Per facilitar l'anàlisi estadística, IvÀlua ha elaborat una classificació pròpia de la xarxa de carreteres catalana que consta d'aquestes dues categories.

En primer lloc, s'utilitzen dades geolocalitzades de la xarxa de carreteres de Catalunya proporcionades pel Servei Català de Trànsit (SCT),¹⁴ de les quals es presenta una descripció gràfica en la Figura 8.

La xarxa viària catalana té una llargada total de 13.805,6 km, el 76% dels quals corresponen a carreteres no desdoblades (carreteres amb un sol carril per sentit amb límits de velocitat entre 80 i 90 km/h), el 21,5% a autopistes o autovies (carreteres amb dos o més carrils per sentit amb límits de velocitat entre 100 i 120 km/h) i el 2,1% restant a carreteres desdoblades diferents d'autopistes i autovies (carreteres de dos sentits, normalment amb quatre carrils i límits de velocitat entre 80 i 100 km/h).

Figura 8. Xarxa de carreteres de Catalunya



Font: Elaboració pròpia a partir de dades proporcionades pel Servei Català de Trànsit.

En segon lloc, s'utilitza informació dels controls de velocitat instal·lats a Catalunya, proporcionada també pel SCT. Aquestes dades contenen la localització geogràfica i la data d'instal·lació i d'eventual retirada de tots els controls que s'han instal·lat en la xarxa viària catalana. Malgrat que les dades contenen informació precisa sobre els controls fixos de punt i de tram, com s'ha comentat, per als controls de velocitat mòbils falta informació

¹⁴ El Servei Català de Trànsit és la institució encarregada de la gestió del trànsit i la seguretat viària a Catalunya.

relativa a les localitzacions i les dates d'instal·lació, la qual cosa impossibilita estimar-ne l'impacte.

En tercer lloc, es disposa d'una base de dades, proporcionada també pel SCT, que conté informació sobre els accidents de trànsit succeïts a les carreteres catalanes des de l'any 2000 fins al 2023. Per a cada accident, les dades contenen informació sobre la gravetat de l'accident (gravetat de les lesions sofertes per les persones implicades en l'accident), sobre la seva causa (per exemple, si en l'accident van influir el consum de drogues o les condicions meteorològiques), sobre les característiques demogràfiques de totes les persones implicades (sexo i edat), sobre les característiques dels vehicles implicats (tipus de vehicle) i sobre el moment en què s'ha produït l'accident (moment del dia i dia de la setmana).

Tot i que aquestes són les fonts d'informació principals, s'utilitzen altres bases de dades que permeten fer anàlisis de robustesa i explorar si els efectes dels controls varien en funció de les característiques dels trams de carretera on aquests s'ubiquen. D'una banda, s'empra una base de dades que conté informació sobre tots els expedients sancionadors que s'han obert a Catalunya durant el període 2000-2023 per infraccions relatives a sobrepassar els límits legals de velocitat o per altres tipus d'infraccions. De l'altra, es fa servir també una base de dades amb informació sobre el volum de vehicles diaris que circulen per un conjunt de punts específics de la xarxa viària¹⁵ i una base de dades que registra les incidències viàries que s'han produït en qualsevol punt de la xarxa durant el període 2000-2023 (afectacions que han causat una circulació més lenta del normal). Totes aquestes bases de dades han estat proporcionades també pel SCT.

Finalment, també per fer anàlisis de robustesa dels resultats, s'ha recollit informació sobre característiques dels municipis o comarques on estan ubicats els trams de carretera analitzats: població, parc de vehicles per tipus i Producte Interior Brut (PIB), provinents de l'Institut Català d'Estadística (Idescat).

4.2. Estratègia d'estimació

L'objectiu principal d'una avaluació d'impacte de qualsevol intervenció és estimar els canvis que s'han produït en les variables de resultat *com a conseqüència única* de la intervenció. Quan es poden atribuir els canvis en les variables de resultat únicament a la intervenció, es diu que s'ha estimat l'efecte *causal* de la intervenció. Donat que gairebé sempre existeixen factors correlacionats amb la implementació de la intervenció, que al mateix temps estan correlacionats amb les variables de resultat, per tal de produir

¹⁵ Aquesta base de dades ha estat elaborada pel Reial Automòbil Club de Catalunya com a membre de l'European Road Assessment Programme (Programa Europeu d'Avaluació de les Carreteres, EuroRAP segons les seves sigles en anglès) i conté, entre altres indicadors, la intensitat mitjana diària de vehicles en una sèrie de trams concrets de carretera, és a dir, el nombre mitjà de vehicles que circulen cada dia en cada tram.

estimacions de l'efecte causal (estimacions no esbiaixades) és necessari aplicar metodologies específiques (generalment anomenades mètodes d'estimació o estratègies d'identificació causal) que siguin capaces de *controlar* aquests factors.

En termes generals, aquestes metodologies es basen a comparar unitats (persones, empreses, etc.) que han rebut la intervenció amb unitats que no l'han rebut, i aplicar estratègies per tal que la comparació del resultat d'interès entre aquests dos grups d'unitats (grup de tractament i grup de comparació) doni una estimació no esbiaixada de l'impacte de la intervenció.

Per estimar l'impacte dels controls de velocitat en el nombre d'accidents, el punt de partida natural és definir trams de carretera on hi ha un control instal·lat com a grup de tractament, i trams de carretera on no hi ha un control instal·lat com a grup de comparació. Una simple comparació del nombre d'accidents entre aquests dos grups produiria estimacions esbiaixades de l'efecte causal, per dues raons. En primer lloc, els controls s'acostumen a instal·lar en punts de la xarxa viària que presenten un nombre elevat d'accidents degut a les seves característiques (males condicions físiques de la via, molt volum de trànsit, etc.). Com que precisament aquestes característiques estan correlacionades amb el nombre i la gravetat dels accidents, una simple comparació del nombre d'accidents entre els dos grups de trams després de la instal·lació dels controls atribuiria erròniament a la instal·lació dels controls l'augment en el nombre d'accidents produïda per aquestes característiques dels trams.

En segon lloc, els controls s'acostumen a instal·lar en punts de la xarxa viària en què hi ha hagut un nombre inusualment elevat d'accidents als anys immediatament anteriors a la instal·lació. Aquests punts, per tant, tenen una probabilitat més alta de tornar al nombre mitjà d'accidents que s'acostumen a produir al punt independentment de si s'ha instal·lat un control (el fenomen anomenat regressió a la mitjana). Per tant, si es produeix el fenomen de regressió a la mitjana, una simple comparació entre els dos grups de trams abans i després de la instal·lació dels controls interpretaria aquesta regressió a la mitjana com l'efecte de la instal·lació dels controls, cosa que produiria estimacions esbiaixades de l'efecte causal.

Per solucionar aquests dos problemes, en aquest estudi s'utilitza el mètode d'estimació (o estratègia d'identificació) que es coneix com a diferència en diferències. En aquest cas, el mètode de diferència en diferències consisteix a comparar la diferència en el nombre d'accidents entre els trams del grup de tractament i els trams del grup de comparació que es produeix després de la instal·lació dels controls, amb la diferència en el nombre d'accidents entre els mateixos dos grups que es produeix abans de la instal·lació. D'aquesta forma, i si es compleixen els supòsits que s'assenyalen al paràgraf següent, aquest mètode és capaç de solucionar els dos problemes esmentats anteriorment. En concret, el mètode és capaç de *controlar* els diversos factors que estan correlacionats alhora amb la instal·lació dels controls i amb el nombre d'accidents (com les

característiques físiques de la carretera, els canvis en el volum de trànsit, la implementació d'altres intervencions destinades a reduir el nombre d'accidents o el fenomen de regressió a la mitjana).

Però perquè l'aplicació d'aquest mètode produeixi estimacions no esbiaixades, s'han de complir dos supòsits, anomenats *tendències paral·leles* i *no anticipació*. El supòsit de tendències paral·leles estipula que l'accidentalitat dels trams del grup de tractament i del grup de comparació haurien de seguir una evolució paral·lela en el temps si els controls de velocitat no s'haguessin instal·lat. El supòsit de no anticipació estipula que el grup de tractament no és capaç d'anticipar en quin moment es produirà la intervenció. En el cas que ocupa aquesta avaluació, el supòsit estipula que els conductors no són capaços de preveure el moment en què un control s'instal·larà en un punt concret de la xarxa viària. A l'Annex, la Secció 2 9.1. descriu de manera més detallada l'estratègia d'estimació utilitzada i la Secció 3 9.3.1. presenta un conjunt d'anàlisis que proporcionen evidència que els supòsits d'identificació es compleixen en aquest cas.

4.3. Mostra d'anàlisi

Com s'ha explicat en la Secció 2. , és probable que l'efecte dels controls de velocitat en el nombre i la gravetat dels accidents variï en funció del tipus de control, la qual cosa té implicacions sobre quin tipus de control és millor implementar a la pràctica (i en quines circumstàncies) per millorar l'efectivitat de la intervenció. Desafortunadament, diverses limitacions fan que en aquest estudi només es pugui estimar l'impacte dels controls de punt fixos, i no dels controls de punt mòbils ni dels controls de tram, les altres dos tipus de controls que s'han instal·lat a Catalunya.

Pel que fa als controls de punt mòbils, no es disposa de les dates d'instal·lació ni de la localització dels punts exactes de la via on aquests es van posicionant periòdicament, la qual cosa impossibilita l'aplicació d'un mètode adequat per estimar-ne l'impacte. Pel que fa als controls de tram, tot i que sí que es disposa de les dates d'instal·lació i de les localitzacions, el mètode d'estimació aplicat no compleix els supòsits d'identificació necessaris perquè els efectes estimats es puguin interpretar com a efectes causals.¹⁶ Per tant, cal tenir en compte que en aquest estudi s'està parlant sempre dels efectes dels

¹⁶ Com s'explica en la Secció 4.24. i amb més detall en la Secció 9.29.2. , el mètode d'estimació utilitzat (diferència en diferències) es basa a aprofitar la variació temporal i geogràfica de la instal·lació dels controls de velocitat. En aquest mètode, per tal que les estimacions siguin robustes, cal que les dates d'instal·lació dels controls no estiguin correlacionades amb factors que influeixen en el nombre d'accidents, i això requereix que hi hagi prou variació de les dates d'instal·lació dels controls tant en el temps com geogràficament. A Catalunya, de moment s'han instal·lat pocs controls de tram (14) i hi ha poca variació temporal en les dates d'instal·lació, la qual cosa dificulta que el mètode de diferència en diferències proporcioni estimacions no esbiaixades. El fet de disposar d'una mostra més gran de controls de tram, amb més variació en el temps en les seves dates d'instal·lació, per tant, facilitaria que l'aplicació d'aquest mètode d'estimació proporcionés estimacions no esbiaixades del seu efecte causal.

controls de punt fixos i que aquest efecte no ha de ser necessàriament el mateix en els altres tipus de control.

La mostra d'anàlisi es construeix a partir de les bases de dades descrites a la Secció 4.1. S'identifiquen trams de carretera centrats en la ubicació exacta d'un control de velocitat instal·lat en algun moment entre els anys 2000 i 2023. A partir d'aquests punts, es defineixen trams de 1.000 metres (500 metres a banda i banda del dispositiu), i per a cada any es comptabilitza el nombre d'accidents ocorreguts dins d'aquest espai.¹⁷

Així doncs, la mostra d'estimació és un panell de dades format per 111 trams de carretera instal·lat en un control de punt fix entre 2000 i 2023, observats anualment durant aquest mateix període.¹⁸ Encara que aquests 111 trams són l'única base de les estimacions, també es construeix una mostra descriptiva formada per 7.776 trams de 1.000 metres de la xarxa viària catalana on no s'ha instal·lat mai cap control durant el període d'estudi, amb l'objectiu de comparar-ne les característiques i justificar l'estratègia d'identificació.

El Panell A de la Figura 9 proporciona descriptius del nombre d'accidents per als trams amb control (la mostra d'estimació) i els trams sense control. Es mostra el nombre mitjà d'accidents anuals per a les dues variables de resultat (per al nombre d'accidents amb persones ferides i per al nombre d'accidents amb víctimes greus o mortals; vegeu el Panell A de la Figura 10 per a una definició completa de les variables de resultat). S'observa com el nombre mitjà d'accidents anuals als trams en què s'ha instal·lat un control en algun moment és més del doble que als trams en què no s'ha instal·lat mai un control, cosa que indica que els controls s'instal·len en localitzacions amb una concentració molt més alta d'accidents. El Panell B de la Figura 9 mostra la mitjana anual d'un conjunt de variables que mesuren diverses característiques dels trams (vegeu el Panell B de la Figura 10 per a la definició de les variables). S'observa com els trams amb control presenten característiques que indiquen més perillositat, com per exemple més afectacions en les quals s'ha hagut de tallar la carretera o que han causat congestions de trànsit o més canvis d'altitud de la carretera.

Aquesta superior perillositat estructural dels trams amb control indica que una comparació directa amb trams sense control (com els 7.776 de la mostra descriptiva) generaria estimacions esbiaixades. Aquesta comparació reflectiria, en part, les diferències estructurals entre els trams, i no solament l'efecte dels controls. Per evitar aquest biaix, es

¹⁷ S'ha escollit una distància de 500 metres a banda i banda de la localització del dispositiu perquè sembla una distància raonable en la qual els controls poden tenir un efecte en el nombre d'accidents succeïts al voltant del dispositiu. No obstant això, en la Secció 5.2. s'analitza l'efecte en accidents que es produeixen a distàncies més llargues.

¹⁸ No s'inclouen en la mostra d'estimació els trams de carretera on els controls instal·lats s'han desactivat en algun moment després de la seva instal·lació. Aquests trams s'exclouen, en primer lloc, perquè el model de diferència en diferències emprat no permet fer estimacions robustes quan el control en un tram s'activa en més d'una ocasió. I en segon lloc, per evitar possibles errors de mesura del moment exacte en què un control es desactiva i es torna a activar, els quals podrien causar un biaix en les estimacions.

fa servir un model de diferència en diferències que compara cada tram amb ell mateix abans i després de la instal·lació del control. Concretament, el model compara els períodes posteriors a la instal·lació del control (grup de tractament) amb els períodes anteriors (grup de comparació), sempre dins del mateix tram. D'aquesta manera, s'eliminen els efectes de les característiques fixes del tram que poden influir en l'accidentalitat (com el tipus de via o l'orografia), i es permet aïllar millor l'efecte del control de velocitat.

Tot i que una opció habitual en models de diferència en diferències és comparar trams tractats amb trams mai tractats (columna dreta de la Figura 9), el fet d'utilitzar només els trams de carretera en què s'ha instal·lat un control en algun moment aporta més robustesa a les estimacions, ja que aquests són trams més semblants entre ells en relació amb les característiques que influeixen en l'accidentalitat.

Figura 9. Estadístics descriptius

Panell A. Nombre mitjà d'accidents al tram (1.000 m). Anys 2000-2023		
	Trams amb control	Trams sense control
Accidents amb persones ferides	1,28	0,62
Accidents amb víctimes greus o mortals	0,28	0,1
Panell B. Característiques del tram (1.000 m). Mitjana anual. Anys 2000-2023		
	Trams amb control	Trams sense control
Nre. d'afectacions amb carretera tallada	0,34	0,17
Nre. d'afectacions amb trànsit pesant	0,73	0,56
Alta densitat d'accidents	0,22	0,1
Pics de 5 metres o més	0,1	0,08
Valls de 5 metres	0,03	0,08
Canvis d'altitud de 5 metres o més	1,6	0,86
Radi de curvatura	1,13	1,25
Percentatge de turismes en el municipi	0,65	0,63
Total de vehicles en el municipi	13.434,75	13.526,90
PIB per habitant de la comarca	14.123,66	14.303,49
Carretera no desdoblada	0,68	0,77
Carretera desdoblada	0,13	0,06
Autopista/autovia	0,18	0,17
Velocitat màxima permesa	93,62	¹⁹
Observacions	2.856	203.424
Trams de carretera	111	7.776

¹⁹ Donat que aquesta variable presenta un gran nombre d'observacions sense informació del seu valor als trams sense control, no es mostra el seu valor mitjà perquè no seria representatiu.

ivàlua ✓

Figura 10. Definició de variables

Variable	Definició
Panell A. Variables de resultat	
Accidents amb persones ferides	Nombre d'accidents en els quals es dona una o més d'una de les situacions següents: • Una o més persones resulten hospitalitzades durant un període menor a 24 hores. • Una o més persones resulten hospitalitzades durant un període superior a 24 hores. • Una o més persones moren.
Accidents amb víctimes greus o mortals	Nombre d'accidents en els quals es dona una o més d'una de les situacions següents: • Una o més persones resulten hospitalitzades durant un període superior a 24 hores. • Una o més persones moren.
Panell B. Variables de control	
Nre. d'afectacions amb carretera tallada	Nombre de vegades en què la carretera ha resultat tallada a causa d'una afectació
Nre. d'afectacions amb trànsit pesant	Nombre de vegades en què hi ha hagut una circulació de trànsit lenta a causa d'una afectació
Alta densitat d'accidents	Variable binària que indica que en aquell tram de carretera hi ha hagut una densitat especialment alta d'accidents durant el període estudiat. Es consideren trams d'alta densitat el nombre mínim de trams cada any que concentren el 50% dels accidents de la via on s'ubiquen. ²⁰
Pics de 5 metres o més	Variable binària que indica si el tram conté un pic de 5 metres o més. Un pic es defineix com un punt en la carretera més alt que els punts 100 metres anterior i 100 metres posterior.
Valls de 5 metres	Variable binària que indica si el tram conté una vall de 5 metres o més. Una vall es defineix com un punt en la carretera més baix que els punts 100 metres anterior i 100 metres posterior.
Canvis d'altitud de 5 metres o més	Variable binària que indica si el tram conté un canvi d'altitud de 5 metres o més. Un canvi d'altitud es defineix com un punt en la carretera més alt o més baix que el punt 100 metres anterior o 100 metres posterior però no de tots dos.
Radi de curvatura	Coeficient resultant de dividir la llargada del tram per la distància en línia recta des del punt d'inici al final.
Percentatge de turismes en el municipi	Percentatge de turismes registrats en el municipi sobre el total de vehicles registrats.
Total de vehicles en el municipi	Nombre total de vehicles registrats en el municipi (turismes, motocicletes, camions i furgonetes, tractors industrials, autobusos i altres).
PIB per habitant de la comarca	Producte Interior Brut (en milers d'euros) dividit per la població de la comarca.
Carretera no desdoblada ²¹	Carretera amb un únic carril per cada sentit.
Carretera desdoblada	Carretera amb més d'un carril per cada sentit que no és autopista o autovia.
Autopista/autovia	Carretera amb més d'un carril per cada sentit amb velocitat màxima permesa de 120 km/h o 100 km/h.
Velocitat màxima permesa	Velocitat de conducció legal màxima permesa.

5. Resultats

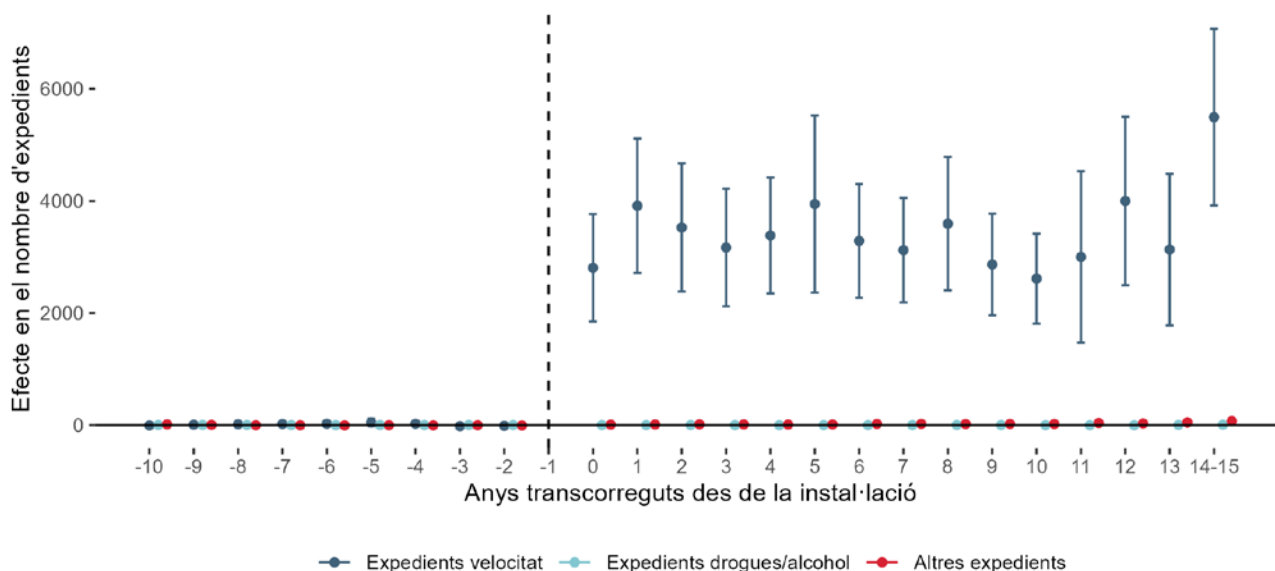
5.1. Efectes principals

Abans de mostrar els efectes dels controls de velocitat en l'accidentalitat, és important comprovar si la instal·lació dels controls ha tingut un efecte en el nombre d'expedients sancionadors per excés de velocitat, ²² ja que, com s'ha explicat, aquest és el mecanisme pel qual els controls aconseguirien reduir el nombre d'accidents. Aplicant el mètode de diferència en diferències en la mostra d'estimació, la Figura 11 mostra l'efecte que la instal·lació dels controls de punt fixos ha tingut sobre el nombre d'expedients sancionadors per excés de velocitat, i mostra l'efecte per a cada un dels anys abans i després de la instal·lació dels controls, fins a quinze anys després de la instal·lació (el màxim que permeten les dades).

Aquest tipus de gràfic permet veure si hi ha hagut un canvi en la variable de resultat en el moment en què s'instal·len els controls (marcat amb un 0 en el gràfic), i permet observar com l'efecte ha evolucionat en el temps després de la instal·lació. Com seria d'esperar, els resultats indiquen que la instal·lació dels controls ha causat un augment immediat i considerable en el nombre de sancions per excés de velocitat imposades, el qual es manté durant els anys posteriors a la instal·lació, i no ha tingut cap efecte en el nombre d'expedients sancionadors per infraccions no relacionades amb la velocitat, cosa que indica que la construcció de la mostra no presenta errors de mesura relacionats amb la localització i amb les dates d'instal·lació dels controls.

²² Els expedients sancionadors poden no acabar en sanció per presentació d'al·legacions i recursos.

Figura 11. Efecte dels controls de velocitat en els expedients sancionadors per excés de velocitat



Notes: La Figura mostra efectes mitjans per a cada any des de la instal·lació dels controls, estimats mitjançant la regressió (2) de la Secció 9.1. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les línies verticals indiquen intervals de confiança al 95% calculats a partir d'errors estàndard agrupats per tram de carretera. Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\hat{\beta}) - 1)$. Les regressions inclouen com a controls les variables descrites al Panell B de la Figura 10 i tendències temporals lineals de tram de carretera.

La Figura 12 mostra les estimacions de l'efecte dels controls en el nombre d'accidents amb persones ferides (columna 1) i en el nombre d'accidents amb víctimes greus o mortals (columna 2). Els coeficients mesuren el canvi percentual en el nombre d'accidents en relació amb el nombre d'accidents que es produïen als trams abans de la instal·lació dels controls, i s'han d'interpretar com l'efecte en el nombre mitjà anual d'accidents durant quinze anys d'observació posteriors a la instal·lació, que és el període d'observació que permet la nostra mostra. Els resultats indiquen que, durant els quinze anys posteriors a la seva instal·lació, els controls de punt fixos han reduït un 30,83% el nombre d'accidents amb persones ferides i un 20,18% el nombre d'accidents amb víctimes greus o mortals ocorreguts al voltant de la localització exacta del dispositiu.

Figura 12. Efecte dels controls de velocitat en l'accidentalitat

	Accidents amb persones ferides	Accidents amb víctimes greus o mortals
	(1)	(2)
Efecte en el nombre d'accidents (%)	-30,83 *** (8,18)	-20,18 *** (5,93)
Mitjana de l'any anterior a la instal·lació del dispositiu	1,60	0,34
Observacions	2.664	2.664
Trams de carretera	111	111

Notes: $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Els coeficients s'han estimat mitjançant la regressió (1) de la Secció 9.1. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\beta) - 1)$. Els errors estàndard (entre parèntesis) s'agrupen per tram de carretera. Les regressions inclouen com a controls les variables descrites al Panell B de la Figura 10 i tendències temporals lineals de tram de carretera.

Per posar aquests resultats en perspectiva, es calcula quina implicació tenen aquestes estimacions pel que fa al nombre d'accidents que els controls de punt fixos han aconseguit evitar en el conjunt de la xarxa viària catalana durant els anys que han estat instal·lats.

Des del primer control de velocitat de punt fix instal·lat el 2002 a la xarxa viària catalana, s'han posat 214 controls de punt fixos, els quals han estat actius una mitjana de 15,4 anys. Durant els anys previs a la instal·lació dels controls, s'han produït, de mitjana entre els diferents controls, 339 accidents al voltant de la localització exacta dels dispositius en el conjunt de controls de punt fixos instal·lats. Per tant, aplicant la reducció anual estimada de 30,83% en el nombre d'accidents amb persones ferides per a cada un dels 15,4 anys en què els controls de punt fixos han estat actius, obtenim que aquests han evitat 1.610 accidents amb persones ferides al voltant de la localització dels dispositius.²³ Fent els mateixos càlculs per als accidents amb víctimes greus o mortals, la reducció anual estimada de 20,18% implica que els controls de punt fixos han evitat 372 accidents amb víctimes greus o mortals al voltant de la localització dels dispositius.²⁴

²³ L'operació concreta és $339 * 0,3083 * 15,4 = 1610$. Dels 214 controls de punt fixos, 46 són caixes buides. Les caixes buides són controls (en aquest cas, de punt i fixos) que no estan en funcionament i, per tant, no tenen capacitat sancionadora. No obstant això, aquests estan senyalitzats igual que els controls de punt fixos que sí que estan en funcionament i, per tant, és raonable suposar que tindran un efecte semblant en el nombre d'accidents. Donat que no disposem d'informació precisa sobre les dates d'instal·lació de les caixes buides, hem utilitzat per a aquestes el mateix nombre mitjà anual d'accidents abans de la instal·lació dels controls i el mateix nombre d'anys d'activació que per als controls de punt fixos que sí que tenen capacitat sancionadora.

²⁴ Aquestes estimacions capturen el nombre d'accidents evitats al voltant de la localització dels dispositius només per als controls de punt fixos. Com s'ha comentat, a Catalunya s'han instal·lat també controls de tram fixos i controls de punt mòbils. Com que és raonable pensar que aquests altres tipus de control poden tenir un impacte diferent en el nombre d'accidents que els controls de punt fixos, i com que l'efecte estimat en

Cal remarcar, però, que aquestes estimacions només mesuren l'efecte que la instal·lació dels controls de punt fixos ha tingut en la reducció del nombre d'accidents succeïts al voltant de la localització exacta dels dispositius (l'efecte localitzat) i no capturen l'efecte que els controls hagin pogut tenir sobre els accidents que es produeixen en localitzacions on aquests no s'han instal·lat (l'efecte generalitzat). Aquest es donaria si, a causa d'una superior expectativa de les persones conductores de trobar-se amb un control en qualsevol punt de la via, aquestes fossin capaces d'induir una conducció més segura en punts de la via on no hi ha un control instal·lat.

El mètode d'estimació utilitzat en aquest estudi no captura aquests efectes i, per tant, en cas que aquests es donin, les estimacions només capturarien una part de l'efecte total dels controls de velocitat en l'accidentalitat.²⁵ D'altra banda, les estimacions només capturen el nombre d'accidents evitats pels controls de punt fixos i no pels altres tipus de control que s'han instal·lat a Catalunya (controls de tram i controls de punt mòbils).

Per analitzar com l'efecte dels controls evoluciona en el temps, la Figura 13 mostra l'efecte de la instal·lació dels controls per a cada un dels anys abans i cada un dels anys després de la instal·lació, igual que s'ha mostrat per al nombre d'expedients sancionadors en la Figura 11.

De la Figura 13 es desprenen dos resultats importants. En primer lloc, el fet que no hi hagi diferències significatives entre el grup de tractament i el grup de comparació durant els anys anteriors a la instal·lació proporciona evidència que el supòsit de tendències paral·leles es compleix, la qual cosa aporta robustesa a les estimacions (vegeu la Secció

aquest informe és per als controls de punt fixos, utilitzar la mateixa estimació per calcular el nombre d'accidents evitats pels altres tipus de control podria generar xifres poc representatives.

Tot i així, per tenir-ho de referència, fem també aquest exercici. Per als controls de tram, es tenen en compte els accidents que s'han produït en tots els punts de carretera coberts pels 14 controls de tram que s'han instal·lat (és a dir, els accidents que es produeixen al tram de carretera en què el control calcula la velocitat mitjana dels conductors). Per als controls mòbils, com que no disposem de les seves dates d'instal·lació, s'imputa, per als 130 controls de punt mòbils actius en l'actualitat, el mateix nombre mitjà d'accidents previs a la instal·lació en les localitzacions dels controls que el feta servir pels controls de punt fixos. I també per als controls de punt mòbils s'imputa el mateix nombre mitjà d'anys d'activació que l'observat pels controls de punt fixos.

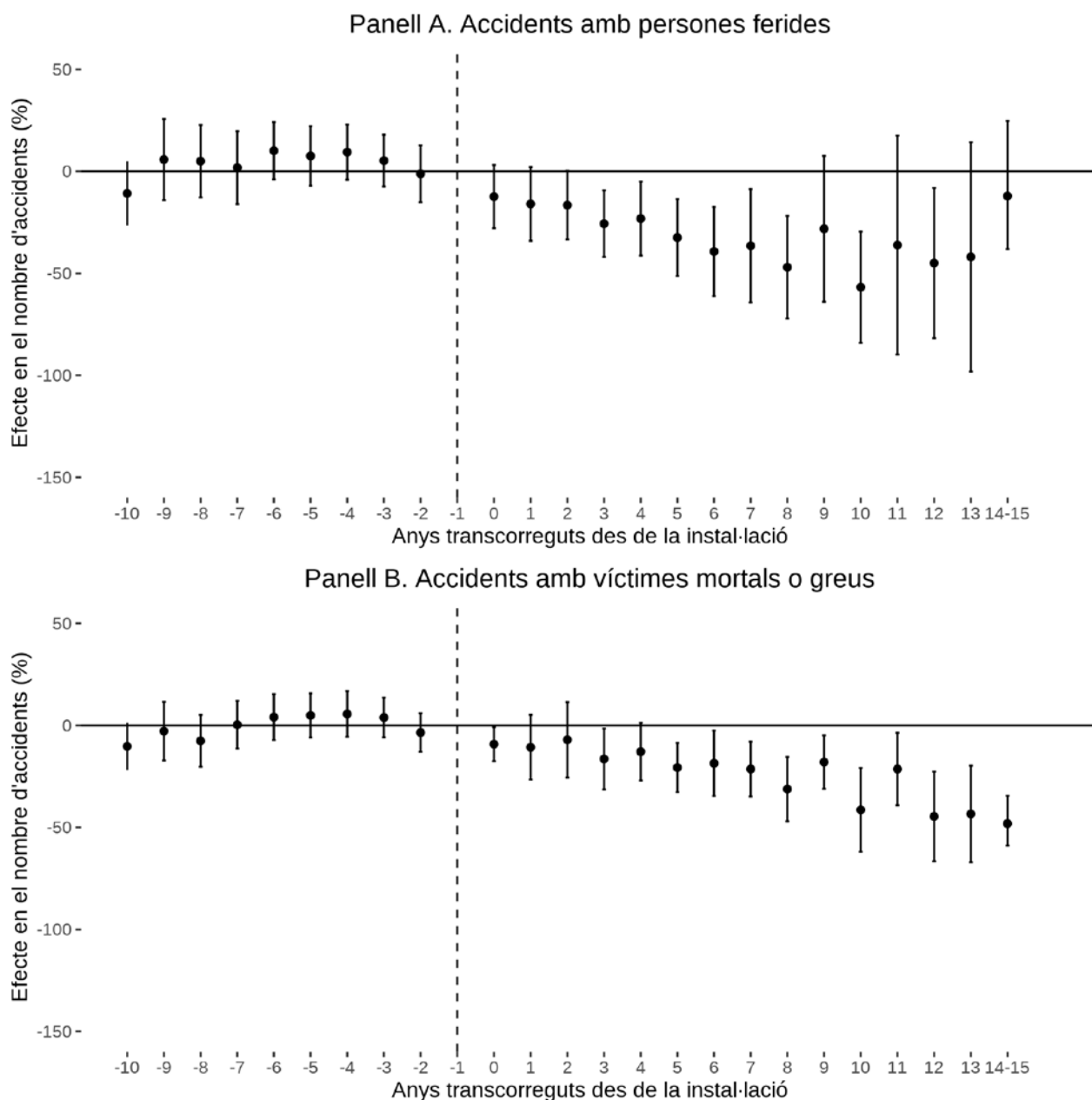
Així, fent servir els efectes estimats pels controls de punt fixos, els càlculs impliquen que els controls de tram haurien evitat 532 accidents amb persones ferides i 64 accidents amb víctimes greus o mortals i que els controls de punt mòbils haurien evitat 978 accidents amb persones ferides i 226 accidents amb víctimes greus o mortals.

Igual que les estimacions realitzades per als controls de punt, aquestes xifres es refereixen al nombre d'accidents evitats només al voltant de la localització dels dispositius, i no capturen el possible efecte generalitzat dels controls en localitzacions on aquests no s'han instal·lat.

²⁵ Per tal d'estimar els efectes generalitzats s'hauria d'aplicar una estratègia d'estimació alternativa que no és factible donades les característiques de la implementació de la intervenció i de les fonts d'informació disponibles. En concret, hauríem de poder observar àrees de la xarxa viària en què conductores i conductors sabessin que no hi ha cap control de velocitat instal·lat, la qual cosa no és possible en el context d'aquest estudi.

9.2. de l'Annex per a una explicació més detallada sobre els supòsits d'identificació i la Secció 9.3. 9.3.2. per a un conjunt d'anàlisis complementàries que proporcionen evidència sobre la seva validesa).

Figura 13. Efectes dinàmics dels controls de velocitat en l'accidentalitat



Notes: La Figura mostra efectes mitjans per a cada any des de la instal·lació dels controls, estimats mitjançant la regressió (2) de la Secció 9.1. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les línies verticals indiquen intervals de confiança al 95%, calculats a partir d'errors estàndard agrupats per tram de carretera. Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\hat{\beta}) - 1)$. Les regressions inclouen com a controls les variables descrites al Panell B de la Figura 10 i tendències temporals lineals de tram de carretera.

En segon lloc, s'observa que, tant per als accidents amb persones ferides (Panell A) com per als accidents amb víctimes greus o mortals (Panell B), l'efecte dels controls creix amb el temps a partir del moment de la seva instal·lació. Per als accidents amb persones ferides, l'efecte s'estabilitza al voltant d'aproximadament un 50% a partir del vuitè any i es manté en aquest nivell almenys fins al dotzè any.²⁶ Per als accidents amb víctimes greus o mortals, l'efecte creix de manera constant fins aproximadament un 50% al quinzè any, l'últim observat. Aquests resultats indiquen que els controls de velocitat no només són efectius a curt termini, sinó que la reducció d'accidents que provoquen es manté i augmenta considerablement durant un llarg període de temps després de la seva instal·lació. Una hipòtesi que podria explicar aquesta dinàmica és que els controls augmenten la seva efectivitat a mesura que les persones conductores són cada cop més conscients de la seva ubicació i, per tant, poden reaccionar millor a la seva presència, tot i que no tenim informació per contrastar aquest mecanisme.²⁷

En aquest sentit, només s'ha trobat un estudi previ que analitzi la dinàmica temporal dels efectes dels controls de velocitat (Li *et al.* 2020). A diferència dels resultats del present estudi, els autors troben que l'efecte dels controls de punt fixos en el nombre d'accidents amb persones ferides que es produeixen al voltant de la localització exacta del dispositiu es redueix progressivament en el temps durant els dotze anys posteriors a la instal·lació dels controls. Sense aportar-hi evidència, suggereixen que la reducció en l'efectivitat dels controls pot ser deguda al fet que conductores i conductors coneixen millor la localització exacta dels controls a mesura que passa el temps, i això faria que augmentés la importància de l'efecte cangur, perquè intenten evitar la sanció mitjançant una frenada brusca abans de la localització exacta del dispositiu i una acceleració temerària després.

Partint d'aquesta hipòtesi, els autors de l'estudi recomanen que, per evitar l'efecte cangur, s'instal·lin controls de tram en localitzacions en què hi hagi un alt risc d'accidents.

Els resultats del present estudi apunten cap a una altra direcció. Com s'exposa en detall a la secció següent, els resultats indiquen que no es produeix l'efecte cangur (els accidents es redueixen a la zona controlada però augmenten en zones properes), ja que no s'ha

²⁶ Encara que sembla que a partir del tretzè any l'efecte s'esvaeix, això podria ser degut al fet que, als últims anys observats, la mostra de trams amb què es fan les estimacions és més petita, la qual cosa provoca que les estimacions siguin menys precises i menys comparables amb els anys anteriors. La Figura 33 de l'Annex mostra el nombre de trams de tractament que conformen la mostra per a cada un dels anys, on s'observa que als últims anys considerats el nombre de trams inclosos es redueix considerablement.

²⁷ Aquesta dinàmica dels efectes en el temps també podria ser deguda a un canvi en la composició de la mostra de trams considerats en cada any. Com que per a anys més allunyats de la data d'instal·lació la mostra està conformada per més proporció de trams en què els controls s'han instal·lat abans, l'augment de l'efecte en el temps podria explicar-se si els controls que s'han instal·lat primer tenen més efecte. La Figura 34 de l'Annex mostra l'efecte dels controls en funció de l'any en què s'han instal·lat. S'observa que l'efecte augmenta per als controls que s'han instal·lat més tard. Això indica que la dinàmica dels efectes observada en la Figura 13 no és conseqüència d'un canvi en la composició de la mostra.

trobat cap augment del nombre d'accidents en localitzacions una mica més allunyades de la localització exacta del dispositiu, i aquesta absència d'efecte cangur és coherent amb el fet que l'efecte dels controls augmenti en el temps.

Si realment creix el coneixement de conductores i conductors a l'entorn de la localització exacta dels controls a mesura que passa el temps, és raonable pensar que aprenen progressivament a adaptar la seva conducció per evitar la sanció o un potencial accident al voltant de la localització del dispositiu. Si bé no es pot saber amb certesa per què els resultats de Li *et al.* (2020) mostren una dinàmica diferent, cal tenir en compte que l'estudi no proporciona evidència sobre la validesa dels supòsits d'identificació de la seva estratègia d'estimació, la qual cosa podria posar en dubte els resultats.²⁸

Aquests resultats tenen implicacions pràctiques importants. En primer lloc, l'existència de l'efecte cangur no hauria de ser un argument en contra dels controls de punt i no hauria de servir per justificar l'ús de controls de tram. En segon lloc, els resultats suggereixen que, per tal de maximitzar l'efecte dels controls en l'accidentalitat que es produeix al voltant de la localització dels dispositius (efectes localitzats), és important que qui condueix conegui la localització exacta dels controls per tal que es pugui acostumar a la seva presència i pugui adaptar la seva conducció. Encara que, com s'ha comentat, la no senyalització dels controls o la utilització de controls mòbils podria augmentar l'efecte generalitzat dels controls, els resultats suggereixen que, per tal d'evitar els accidents que es produeixen en punts específics de la via que presenten un alt nombre d'accidents, és millor que en aquests punts s'instal·lin controls de punt visibles per a tothom que es mantinguin fixos en la localització.

5.2. Efecte cangur

Com s'ha dit en la Secció 2. , una de les principals hipòtesis plantejada en la literatura segons la qual els controls de velocitat poden no ser efectius per reduir l'accidentalitat és que aquests poden induir un comportament de conducció erràtic que la literatura prèvia anomena efecte cangur (vegeu, per exemple, Pauw *et al.*, 2014). Segons aquesta hipòtesi, els controls (especialment els controls de punt que són fàcilment visibles) poden causar que conductors i conductores frenin bruscament abans de la localització exacta del dispositiu, per tal d'evitar la sanció, i accelerin de manera temerària després. L'efecte cangur es refereix al fet que aquests canvis bruscos de velocitat podrien fer augmentar el nombre d'accidents en localitzacions una mica més allunyades de la localització exacta del

²⁸ L'estratègia d'estimació utilitzada per Li *et al.* (2020) és, com en el present estudi, un model de diferència en diferències. A diferència del present estudi, els autors utilitzen com a grup de comparació trams de carretera on no s'ha instal·lat mai un control. Com s'ha explicat a la Secció 4.2.4.2. i com s'explica més en detall en la Secció 9.2. el supòsit d'identificació principal del model de diferència en diferències és que el grup de control i el grup de comparació hagin seguit una tendència paral·lela en el temps, encara que no es proporciona evidència sobre la validesa d'aquest supòsit en el seu context (com es fa en el present estudi a la Secció 9.3.1.).

dispositiu. Si aquest augment d'accidents en localitzacions més allunyades de la localització exacta del dispositiu compensa (o supera) la reducció en localitzacions més properes, els controls de velocitat podrien ser inefectius (o contraproductius) a l'hora de reduir el nombre d'accidents que es produeixen al voltant de la localització del dispositiu.

Per analitzar si l'efecte cangur es produeix, en aquesta secció s'explora si efectivament la instal·lació dels controls de punt fixos fa augmentar el nombre d'accidents en localitzacions una mica més allunyades del punt exacte del dispositiu. I s'explora utilitzant informació precisa sobre la localització exacta dels controls de punt fixos i dels accidents. En la Secció 4.1. s'ha mostrat que la instal·lació dels controls redueix els accidents en punts de carretera situats a una distància de, com a màxim, 500 metres abans i 500 metres després de la localització exacta del dispositiu (un tram de 1.000 metres centrat en la localització exacta del dispositiu). Aquí s'amplia l'anàlisi, mesurant l'efecte dels controls en els accidents que es produeixen en punts de la carretera contigus al tram anterior. En concret, es mesura l'efecte en els accidents succeïts en trams de carretera situats 500 metres abans i després del tram de 1.000 metres centrat en el punt exacte del dispositiu.

La Figura 14 presenta els efectes en el nombre d'accidents amb persones ferides (Panell A) i el nombre d'accidents amb víctimes greus o mortals (Panell B) per als diferents trams de carretera considerats. La columna (1) mostra l'efecte en el nombre d'accidents ocorreguts al tram que cobreix una distància de 500 metres abans i 500 metres després de la localització exacta del dispositiu (que és el resultat principal, mostrat a la Figura 12). La columna (2) mostra l'efecte en els accidents ocorreguts 500 metres anteriors i 500 metres posteriors al tram considerat en la columna (1). La columna (3), l'efecte en els següents 500 metres anteriors i 500 metres posteriors a la columna (2), i la columna (4) en els 500 metres anteriors i 500 metres posteriors als metres de la columna (3).

Figura 14. Efecte dels controls de velocitat en l'accidentalitat segons la distància al dispositiu

	Accidents amb persones ferides			
	Punt	Contigu 1	Contigu 2	Contigu 3
	(1)	(2)	(3)	(4)
Efecte en el nombre d'accidents (%)	-30,2 *** (5,97)	0,32 (5,66)	0,49 (5,06)	5,39 (8,83)
Mitjana de l'any anterior a la instal·lació del dispositiu	1,60	0,74	0,52	0,26
Observacions	2664	2616	2400	2352
Trams de carretera	111	109	100	98
	Accidents amb víctimes greus o mortals			
	Punt	Contigu 1	Contigu 2	Contigu 3
	(1)	(2)	(3)	(4)
Efecte en el nombre d'accidents (%)	-18,93 *** (4,91)	-4,45 ** (1,87)	-0,12 (2,22)	1,52 (3,02)
Mitjana de l'any anterior a la instal·lació del dispositiu	0,34	0,18	0,1	0,03
Observacions	2664	2616	2400	2352
Trams de carretera	111	109	100	98

Notes: $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Els coeficients s'han estimat mitjançant la regressió (1) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\hat{\beta}) - 1)$. Els errors estàndard (entre parèntesis) s'agrupen per tram de carretera. Les regressions inclouen com a controls les variables descrites al Panell B de la Figura 10 i tendències temporals lineals de tram de carretera.

Els resultats mostren que, mentre la instal·lació dels controls de punt fixos redueix el nombre d'accidents al tram de carretera que cobreix els 500 metres anteriors i posteriors a la localització exacta del dispositiu, aquesta no fa augmentar (o fins i tot redueix) el nombre d'accidents succeïts en les localitzacions contigües a aquest tram.²⁹ En no

²⁹ La Figura 35 i la Figura 36 de l'Annex mostren els resultats del mateix exercici, però considerant trams de carretera de 300 i de 200 metres, respectivament, en comptes dels 500 metres considerats en la Figura 14. Els resultats mostren el mateix patró. Els controls causen una reducció del nombre d'accidents als punts més propers a la localització exacta del dispositiu, i no causen un augment del nombre d'accidents en punts més allunyats.

disposar de dades de velocitat, no es pot analitzar si els controls indueixen canvis bruscos en la velocitat de conducció. No obstant això, aquests resultats indiquen que, fins i tot si es produeixen, aquests canvis bruscos no causen un augment dels accidents en les localitzacions una mica més allunyades del punt exacte del dispositiu. És a dir, els resultats mostren que als controls de punt fixos fàcilment visibles per tothom no es produeix l'efecte cangur suggerit per la literatura prèvia.

Aquest resultat té implicacions pràctiques importants. En primer lloc, diversos autors argumenten que l'existència de l'efecte cangur justifica l'ús de controls de tram, ja que evitarien frenades i acceleracions brusques al voltant de la localització exacta del dispositiu (vegeu, per exemple, Li *et al.* 2020). Els resultats del present estudi indiquen que la instal·lació de controls de tram no s'hauria de basar en la intenció d'evitar l'efecte cangur que es podria produir als controls de punt, ja que aquest no es produeix. Com s'ha dit en la Secció 2. la literatura no és concloent sobre l'efectivitat relativa entre els controls de punt i els controls de tram i, per tant, cal generar més evidència robusta sobre aquest aspecte per oferir recomanacions sobre aquesta qüestió.

5.3. Efectes heterogenis

Aprofitant la riquesa de la informació disponible en les bases de dades utilitzades, en aquesta secció s'explora si els efectes dels controls en l'accidentalitat són heterogenis. En un primer exercici, s'analitza si els efectes varien en funció de les característiques de l'accident (edat i sexe de la persona conductora, factors que han influït en l'accident, moment en què aquest s'ha produït i tipus dels vehicles implicats). Aquesta exploració permet analitzar per a quins col·lectius els controls són més efectius i proporcionar evidència sobre els mecanismes pels quals aquests aconseguixen reduir l'accidentalitat. En un segon exercici, s'analitza quines característiques dels trams de carretera on els controls estan situats influeixen en la seva efectivitat, per conèixer si hi ha elements de la implementació que es poden millorar per maximitzar la reducció d'accidents.

5.3.1. Efectes segons característiques de l'accident

La Figura 15 presenta estimacions de l'efecte dels controls en el nombre d'accidents amb persones ferides en funció de l'edat i el sexe de la persona conductora. Els controls són més efectius a l'hora de reduir el nombre d'accidents en persones d'edats entre 25-34 anys i 35-44 anys. En canvi, sembla que no tenen efecte en conductores i conductors d'edats entre 45-54 anys i 55-64 anys. Una raó que podria explicar aquest patró és que les persones conductores més joves tendeixen a tenir un comportament de conducció més arriscat i imprudent (McNally & Bradley, 2014; Turner & McClure, 2003). Per tant, aquests resultats suggereixen que un dels mecanismes que expliquen l'efectivitat dels controls de

velocitat és que aconseguir un comportament de conducció més segur en relació amb la velocitat i altres comportaments de risc.³⁰

Aquesta capacitat dels controls de forçar una conducció més prudent també podria explicar la major efectivitat d'aquests en homes, donat que tenen un comportament de conducció més arriscat que les dones, com indiquen diversos estudis (Turner i McClure 2003, Jiménez-Mejías *et al.* 2014).

Figura 15. Efectes dels controls de velocitat en l'accidentalitat segons les característiques demogràfiques de la persona conductora

	Edat							Sexe	
	<25	25-34	35-44	45-54	55-64	65-74	75 o més	Homes	Dones
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Efecte en el nombre d'accidents (%)	-8,56*	-16,36**	-14,51*	-3,39	-6,35	-10,61***	-10,12**	-22,71***	-15,78
	(4,69)	(7,49)	(8,33)	(8,5)	(4,48)	(4,14)	(4,58)	(7,14)	(11,35)
Mitjana de l'any anterior a la instal·lació del dispositiu	0,31	0,61	0,64	0,30	0,31	0,09	0,08	1,32	0,70
Observacions	2.664	2.664	2.664	2.664	2.664	2.664	2.664	2.664	2.664
Trams de carretera	111	111	111	111	111	111	111	111	111

Notes: * $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Els coeficients s'han estimat mitjançant la regressió (1) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\hat{\beta}) - 1)$. Els errors estàndard (entre parèntesis) s'agrupen per tram de carretera. Les regressions inclouen com a controls les variables descrites al Panell B de la Figura 10 i tendències temporals lineals de tram de carretera.

La Figura 16 mostra els efectes en funció dels factors que han contribuït a l'accident. Els factors els registren persones dels serveis d'emergència encarregades d'acudir a servir al lloc dels fets (polícia, bombers, serveis mèdics), i moltes vegades és difícil determinar quins factors han influït realment a produir l'accident. Per tant, cal interpretar aquests resultats amb precaució. Tot i així, els resultats apunten també que un dels mecanismes principals a l'hora d'explicar l'efectivitat dels controls és que aquests són capaços de reduir el comportament de risc de conductores i conductors en relació amb la velocitat i altres

³⁰ Com que el nombre de morts i lesions causades pels accidents de trànsit és molt més elevat en les persones joves, el fet que els controls siguin més efectius en aquesta població contribueix positivament a reduir la càrrega de salut imposada pels accidents de trànsit.

possibles distraccions causades per manca de concentració mentre es condueix. En concret, s’observa com els controls són efectius per reduir els accidents en els quals s’ha identificat un error per part de la persona conductora, que inclou tant una velocitat excessiva de conducció com altres comportaments que poden distreure-la, com l’ús de dispositius mòbils.³¹ I s’observa com els controls no són efectius per reduir el nombre d’accidents en què han influït altres motius i en els quals no s’ha identificat directament un error per part de qui condueix (el consum de drogues i/o alcohol, les condicions de la via,³² la meteorologia³³ i la circulació³⁴).

Figura 16. Efectes dels controls de velocitat en l’accidentalitat segons la causa de l’accident

	Error de la persona conductora	Drogues i/o alcohol	Condicions de la via	Meteorologia	Circulació
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Efecte en el nombre d’accidents (%)	-18,92**	-1,58	-1,18	-1,68	-0,12
	(9,79)	(1,42)	(2,23)	(2,99)	(0,95)
Mitjana de l’any anterior a la instal·lació del dispositiu	0,84	0,03	0,08	0,05	0,01
Observacions	2664	2664	2664	2664	2664
Trams de carretera	111	111	111	111	111

Notes: $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Els coeficients s’han estimat mitjançant la regressió (1) de la Secció 9.2. de l’Annex utilitzant l’estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\hat{\beta}) - 1)$. Els errors estàndard (entre parèntesis) s’agrupen per tram de carretera. Les regressions inclouen com a controls les variables descrites al Panell B de la Figura 10 i tendències temporals lineals de tram de carretera.

A l’últim, la Figura 17 mostra els efectes segons si en l’accident hi ha implicat com a mínim un vehicle de les diferents tipologies considerades i la Figura 18 mostra l’efecte segons el dia de la setmana en què es produeix l’accident (entre setmana o cap de setmana) i segons el moment del dia en què té lloc (dia o nit). Tot i que les diferències poden ser degudes a

³¹ Com a error de la persona conductora s’inclouen aquells accidents en què hi ha hagut una infracció per excés de velocitat i aquells altres en què la base de dades registra com a motiu de l’accident alguna condició que es pugui atribuir a un error de qui condueix que pot afectar la seva atenció al volant. En molts casos la informació disponible no precisa de quin error es tracta, i només sabem que la persona o persones encarregades de registrar els motius de l’accident al lloc dels fets han considerat que existia un error de la persona conductora.

³² Inclou els accidents en què ha influït característiques de l’entorn, el ferm de la calçada, solcs i rases o un objecte a la calçada.

³³ Inclou els accidents en què ha influït la lluminositat, l’estat del clima, la boira, la visibilitat o la intensitat del vent.

³⁴ Inclou tant els accidents en què ha influït la circulació d’altres vehicles com la circulació de vianants.

altres factors que no es poden analitzar amb la informació de què es disposa, els resultats són consistents amb la hipòtesi que els controls aconseguixen reduir l'accidentalitat a través d'un augment en la concentració de conductors i conductores. El fet que els controls aconseguixin reduir els accidents en què hi ha implicats vehicles lleugers i vehicles de dues rodes i no siguin efectius per a accidents amb vehicles pesants podria explicar-se perquè els vehicles pesants els condueixen sobretot persones que els utilitzen per a la seva feina (trasllat de mercaderies), les quals probablement tendeixen a tenir una conducció més segura i a conduir a menys velocitat.³⁵

Aquest mecanisme també podria explicar que l'efectivitat es concentri en els dies entre setmana, quan hi ha una més persones que es desplacen amb vehicles lleugers als llocs de treball, un tipus de desplaçament en què s'esperaria una conducció en què els excessos de velocitat o distraccions podrien ser més freqüents.

Figura 17. Efectes dels controls de velocitat en l'accidentalitat segons el tipus de vehicle implicat en l'accident

	Vehicle lleuger	Vehicle pesant	Dues rodes	Vianant
	(1)	(2)	(3)	(4)
Efecte en el nombre d'accidents (%)	-30,44*** (8,21)	-6,69 (4,62)	-7,31* (4,51)	1,53 (1,48)
Mitjana de l'any anterior a la instal·lació del dispositiu	1,44	0,18	0,25	0,03
Observacions	2664	2664	2664	2664
Trams de carretera	111	111	111	111

Notes: $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Els coeficients s'han estimat mitjançant la regressió (1) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\hat{\beta}) - 1)$. Els errors estàndard (entre parèntesis)

³⁵ De fet, per normativa europea, els vehicles pesants que s'utilitzen per al transport de mercaderies amb una massa superior a les 3,5 tones estan obligats a tenir instal·lat un tacògraf, un aparell que, entre d'altres coses, mesura la velocitat de conducció i els descansos que fan les persones que condueixen. Aquesta informació la fa servir l'empresa per controlar la seguretat del seu personal i la policia la pot utilitzar quan fa controls o inspeccions. Vegeu, per exemple, <https://www.transportes.gob.es/transporte-terrestre/inspeccion-y-seguridad-en-el-transporte/tacografo-digital/preguntas/preguntas-frecuentes-tacografo-digital> (consultat el 16 d'abril de 2025).

s'agrupen per tram de carretera. Les regressions inclouen com a controls les variables descrites al Panell B de la Figura 10 i tendències temporals lineals de tram de carretera.

Figura 18. Efectes dels controls de velocitat en l'accidentalitat segons el moment de l'accident

	Entre setmana	Cap de setmana	Dia	Nit
	(1)	(2)	(3)	(4)
Efecte en el nombre d'accidents (%)	-26,52*** (6,69)	-7,68 (9,36)	-19,57*** (8,48)	-23,06*** (6,16)
Mitjana de l'any anterior a la instal·lació del dispositiu	1,01	0,59	0,98	0,60
Observacions	2664	2664	2664	2664
Trams de carretera	111	111	111	111

Notes: $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Els coeficients s'han estimat mitjançant la regressió (1) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\hat{\beta}) - 1)$. Els errors estàndard (entre parèntesis) s'agrupen per tram de carretera. Les regressions inclouen com a controls les variables descrites al Panell B de la Figura 10 i tendències temporals lineals de tram de carretera.

5.3.2. Efectes segons característiques del tram de carretera

La Figura 19 i la Figura 20 mostren l'efecte dels controls en el nombre d'accidents amb persones ferides en funció de diverses característiques del tram de carretera on aquests estan ubicats. Per a cada característica considerada, s'estima l'efecte per a dos subgrups de trams amb diferències en relació amb aquesta característica, i es proporciona el p-valor resultant d'un test que mesura si existeixen diferències estadísticament significatives entre els dos grups. D'aquesta manera, un p-valor de menys de 0,05 indica que els controls de velocitat són més efectius en un grup que en l'altre amb un nivell de confiança del 95%.

Figura 19. Efectes dels controls de velocitat en l'accidentalitat segons les característiques del tram de carretera

	Tipus de via		Intensitat mitjana diària (IMD)		Velocitat màxima permesa	
	Carretera no desdoblada	Autovia, autopista o carretera desdoblada	Trams per sota la mediana	Trams per sobre la mediana	Menys de 90 km/h	90 km/h o més
	(1)	(2)	(5)	(6)	(3)	(4)
Efecte en el nombre d'accidents (%)	-29,70*** (4,17)	-31,19*** (4,86)	-30,17*** (6,63)	-24,60*** (7,10)	-35,61*** (5,32)	-28,66*** (4,21)
p-valor (test de diferència en els efectes)	0,743		0,3		0,167	
Mitjana de l'any anterior a la instal·lació del dispositiu	1,8	1,12	1,23	2,02	3,64	1,04
Observacions	2.260	2.260	2.260	2.260	2.260	2.260
Trams	111	111	111	111	111	111

Notes $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Els coeficients s'han estimat mitjançant la regressió (1) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\hat{\beta}) - 1)$. Els errors estàndard (entre parèntesis) s'agrupen per tram de carretera. Les regressions inclouen com a controls les variables descrites al Panell B de la Figura 10 i tendències temporals lineals de tram de carretera.

Figura 20. Efectes dels controls de velocitat en l'accidentalitat segons les característiques físiques del tram de carretera

	Existència de desnivells		Radi de curvatura	
	No	Sí	Trams per sota la mediana	Trams per sobre la mediana
	(1)	(2)	(3)	(4)
Efecte en el nombre d'accidents (%)	-24,25*** (5,01)	-32,18*** (4,28)	-27,80*** (4,13)	-32,58*** (4,79)
p-valor (test de diferència en els efectes)	0,01		0,247	
Mitjana de l'any anterior a la instal·lació del dispositiu	1,32	1,8	1,23	1,98
Observacions	2260	2260	2260	2260
Trams	111	111	111	111

Notes: $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Els coeficients s'han estimat mitjançant la regressió (1) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\hat{\beta}) - 1)$. Els errors estàndard (entre parèntesis) s'agrupen per tram de carretera. Les regressions inclouen com a controls les variables descrites al Panell B de la Figura 10 i tendències temporals lineals de tram de carretera.

Els resultats mostren que, en general, l'efectivitat dels controls no depèn de les característiques dels trams de carretera considerades. En concret, no existeixen diferències en funció del tipus de via (carreteres no desdoblades o autopistes, autovies i d'altres carreteres amb dos o més carrils per sentit), del volum de vehicles que hi circulen, de la velocitat màxima permesa o del radi de curvatura del tram (vegeu la Figura 10 per a una definició d'aquestes variables). L'única característica considerada que influeix en l'efectivitat és la presència de desnivells al tram, tot i que la diferència en els efectes entre els dos grups és molt petita.

El fet que l'efectivitat dels controls no depengui de les característiques dels trams de carretera és coherent amb el resultat mostrat a la Secció 5.3.1. que els controls no són efectius per reduir el nombre d'accidents en els quals s'ha identificat que, sense haver-hi cap error de conducció de la persona conductora, les condicions de la via han influït en l'accident. Aquests resultats suggereixen que, per tal de maximitzar la reducció del nombre d'accidents que es produeixen al voltant de la localització dels dispositius, no és útil tenir en compte les característiques dels trams de carretera (o almenys les característiques considerades aquí) a l'hora de decidir la localització dels controls de punt fixos i que, per tant, és més important ubicar aquest tipus de controls en trams de la xarxa viària que acostumin a presentar un nombre elevat d'accidents.

6. Conclusions

Els controls de velocitat són una mesura molt utilitzada arreu del món per reduir els accidents de trànsit, que són una de les principals causes de mortalitat i discapacitat a escala mundial. A través d'un augment en la percepció de risc, conductors i conductores haurien d'induir una reducció en la velocitat de conducció que hauria de revertir en una reducció del nombre i la gravetat dels accidents. Encara que aquesta lògica és clara, una baixa consciència de les persones conductores sobre la perillositat de conduir a velocitats elevades i el possible comportament de conducció erràtic que poden provocar els mateixos controls de velocitat poden posar en dubte l'efectivitat de la intervenció i generen la necessitat d'avaluar si els controls de velocitat realment aconseguixen reduir l'accidentalitat.

Diversos estudis han avaluat l'impacte dels controls de velocitat en la reducció d'accidents, però la majoria presenten limitacions metodològiques importants que comprometen la validesa dels resultats. Per generar evidència que ajudi a la presa de decisions, cal dur a terme estudis utilitzant mètodes d'estimació més robustos. Amb aquesta finalitat, en el present estudi s'avalua l'impacte dels controls de velocitat de punt fixos en l'accidentalitat utilitzant un model de diferència en diferències, un mètode d'estimació quasiexperimental àmpliament emprat en l'avaluació d'impacte d'intervencions. Aquest enfocament permet superar les limitacions dels treballs anteriors i obtenir resultats específics per a Catalunya. Així, el present estudi aporta evidència robusta sobre la magnitud de l'impacte dels controls, sobre els mecanismes que expliquen aquests impactes i sobre elements de la intervenció que poden ajudar a incrementar-ne l'efectivitat. En concret, els resultats de l'estudi mostren que:

- Els controls de velocitat de punt fixos instal·lats en la xarxa viària catalana han reduït en un 31% el nombre d'accidents amb persones ferides i en un 20% el nombre d'accidents amb víctimes greus o mortals al voltant de la localització dels dispositius. Aquestes estimacions impliquen que, durant els anys que han estat instal·lats, els controls de punt fixos han evitat 1.610 accidents amb persones ferides i 372 accidents amb víctimes greus o mortals al voltant de la localització dels dispositius. Però l'efecte total dels controls podria ser més gran en cas que aquests estiguin causant efectes generalitzats (és a dir, en cas que conductores i conductors modifiquin el seu comportament en tota la xarxa viària i no només als punts de carretera propers als controls).
- L'efecte dels controls de punt fixos augmenta amb el temps i arriba fins a un 50% de reducció d'accidents a partir del dotzè any posterior a la instal·lació, la qual cosa suggereix que l'efecte augmenta a mesura que les persones que condueixen s'acostumen a la presència dels controls en localitzacions concretes i aprenen a adaptar la seva conducció.

- A diferència del que postulen diversos autors i autores, els controls de punt fixos no indueixen un comportament de conducció erràtic que faci augmentar el nombre d'accidents al voltant de la localització dels dispositius. En concret, els resultats mostren que els controls de punt fixos causen una reducció del nombre d'accidents als punts més propers al dispositiu, i no indueixen un augment dels accidents en punts més allunyats. Per tant, no es produeix allò que en la literatura es coneix com a efecte cangur, segons el qual la presència del control podria induir frenades brusques abans o acceleracions temeràries després de la localització exacta del dispositiu, les quals podrien provocar un augment del nombre d'accidents.
- Els controls de velocitat són especialment efectius per reduir el nombre d'accidents en els casos següents: qui condueix són persones joves o homes, s'ha comès un error de conducció humà, s'han produït de dia i entre setmana i ha involucrat vehicles lleugers i motocicletes. En termes generals, els accidents que compleixen aquestes casuístiques són aquells on hi pot haver un comportament de conducció més arriscat o imprudent. Això suggereix que un dels mecanismes principals que explica l'efectivitat dels controls de velocitat és que aconseguixen induir un comportament de conducció més prudent en relació amb la velocitat o altres conductes de risc.
- L'efecte dels controls de velocitat no depèn de la majoria de les característiques analitzades dels trams de carretera on estan instal·lats. En concret, la magnitud de la reducció en l'accidentalitat no depèn del tipus de via (carreteres no desdoblades, autovies o autopistes), del volum de vehicles que hi circula, de la velocitat màxima permesa o de la ràtio de curvatura del tram. Únicament s'ha detectat un efecte lleugerament superior en trams de carretera amb desnivells respecte als que no en tenen.

7. Recomanacions

De la literatura prèvia i dels resultats del present estudi, se'n deriven una sèrie de recomanacions que poden contribuir a millorar el funcionament dels controls de velocitat. En concret:

- Els resultats mostren que l'efecte localitzat dels controls de punt fixos augmenta amb el temps. Un element important que explica la seva efectivitat és que les persones que condueixin coneguin la localització exacta dels dispositius. Així redueixen les conductes de risc a mesura que s'acostumen a la presència del control. Per tant, tot i que la no senyalització dels controls o la utilització de controls mòbils té el potencial per augmentar la reducció d'accidents d'una manera més generalitzada en punts de la xarxa viària on aquests no estan instal·lats, perquè hi

hagi menys accidents en punts de la via especialment perillosos o que presenten un alt nombre d'accidents es recomana instal·lar controls fixos i senyalitzats en aquestes ubicacions concretes.

- L'efecte dels controls de punt fixos no depèn de la majoria de característiques dels trams de carretera on s'instal·len (el tipus de via, el volum de vehicles que hi circula, la velocitat màxima permesa o el radi de curvatura), amb l'excepció que són més efectius en trams amb més desnivell. A falta d'evidència robusta sobre altres característiques dels trams de carretera que poden influir en l'efectivitat dels controls, per evitar el màxim nombre d'accidents es recomana que la decisió sobre on instal·lar els controls de punt fixos es basi principalment en el nombre d'accidents que es produeixen al punt, tal com es fa actualment.
- L'evidència existent sobre l'efectivitat dels controls de velocitat presenta limitacions metodològiques que dificulten extreure conclusions i recomanacions sobre aspectes de millora de la intervenció. La present avaluació només ha analitzat l'efectivitat dels controls de punt fixos i no d'altres tipus. Per continuar ampliant l'evidència disponible que ajudi a la presa de decisions, es recomana investigar els aspectes següents:

- o *Avaluar l'efectivitat comparada dels controls de punt i de tram:*

Alguns autors i autores recomanen utilitzar controls de tram argumentant que aquests podrien evitar l'anomenat "efecte cangur", però els resultats d'aquesta avaluació no detecten aquest efecte en els controls de punt fixos instal·lats a Catalunya. Tot i amb això, cal investigar si hi ha diferències rellevants en l'efectivitat entre ambdós tipus, un cop les característiques de la implementació dels controls permetin aplicar metodologies robustes per a l'estimació de l'impacte que facin possible extreure conclusions fiables.

- o *Avaluar l'efectivitat comparada dels controls fixos i mòbils:*

Per analitzar l'efectivitat relativa dels controls fixos i mòbils, és fonamental millorar el registre de dades dels controls mòbils, registrar les seves ubicacions concretes i les seves dates d'activació i desactivació. Aquesta informació permetria valorar quina tipologia de control és més efectiva i en quines circumstàncies.

- El sistema d'informació sobre els controls de velocitat, l'accidentalitat i les característiques de la xarxa viària a Catalunya és de molt bona qualitat, i aquest és un element fonamental a l'hora de fer avaluacions sobre la intervenció que permetin generar evidència sobre com millorar-ne l'efectivitat. Per tant, es recomana seguir mantenint aquest sistema d'informació i aprofitar-la per fer avaluacions de l'impacte d'altres intervencions de seguretat viària utilitzant metodologies d'estimació robustes.

- Finalment, es recomana complementar les avaluacions d'impacte amb les avaluacions econòmiques que posin en relació els beneficis i els costos de diferents intervencions de seguretat viària per contribuir a generar evidència sobre la millor manera de distribuir els recursos disponibles.

8. Referències

- Agustsson, L. (2001). Automatic Speed enforcement. The Danish pilot project [Automatisk hastighedskontrol, Rapport 210]. *Danish Road Directorate*.
- ARRB Group Project Team. (2005). Evaluation of the fixed digital speed camera program in NSW (RC 2416). *Roads and Traffic Authority*, 1-51.
- Athey, S.; Imbens, G. W. (2017). The State of Applied Econometrics: Causality and Policy Evaluation. *Journal of Economic Perspectives*, 31(2), 3-32. Disponible a: <https://doi.org/10.1257/jep.31.2.3>
- Bar-Gera, H.; Schechtman, E.; Musicant, O. (2017). Evaluating the effect of enforcement on speed distributions using probe vehicle data. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 46, 271-283. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.07.011>
- Becker, G. S. (1968). Crime and Punishment: An Economic Approach. *Journal of Political Economy*, 76(2), 169-217.
- Borusyak, K.; Jaravel, X.; Spiess, J. (2024). Revisiting Event-Study Designs: Robust and Efficient Estimation. *The Review of Economic Studies*, 91(6), 3253-3285. Disponible a: <https://doi.org/10.1093/restud/rdae007>
- Callaway, B.; Sant'Anna, P. H. C. (2021). Difference-in-Differences with multiple time periods. *Journal of Econometrics*, 225(2), 200-230. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.12.001>
- Chen, G.; Meckle, W.; Wilson, J. (2002). Speed and safety effect of photo radar enforcement on a highway corridor in British Columbia. *Accident Analysis & Prevention*, 34(2), 129-138. Disponible a: [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(01\)00006-9](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(01)00006-9)
- Chen, G.; Wilson, J.; Meckle, W.; Cooper, P. (2000). Evaluation of photo radar program in British Columbia. *Accident Analysis & Prevention*, 32(4), 517-526. Disponible a: [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(99\)00071-8](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(99)00071-8)
- Christie, S. M.; Lyons, R. A.; Dunstan, F. D.; Jones, S. J. (2003). Are mobile speed cameras effective? A controlled before and after study. *Injury Prevention*, 9(4), 302-306. Disponible a: <https://doi.org/10.1136/ip.9.4.302>
- Collins, G. (2010). 14 Route Enforcement Scheme: A Case Study in Effective Average Speed Control. *Speed Check Services*.
- Cunningham, C.; Hummer, J.; Moon, J.-P. (2005). An Evaluation of the Safety Effects of Speed Enforcement Cameras in Charlotte, North Carolina. Final Report. *Institution for Transport Research and Education*, 1-156.

De Chaisemartin, C.; D'Haultfœuille, X. (2020). Two-Way Fixed Effects Estimators with Heterogeneous Treatment Effects. *American Economic Review*, 110(9), 2964-2996.

Disponible a: Disponible a: <https://doi.org/10.1257/aer.20181169>

De Chaisemartin, C.; D'Haultfœuille, X. (2023). Two-way fixed effects and differences-in-differences with heterogeneous treatment effects: A survey. *The Econometrics Journal*, 26(3), C1-C30. Disponible a: Disponible a: <https://doi.org/10.1093/ectj/utac017>

Diamantopoulou, K.; Cameron, M. (2002). *An Evaluation of the Effectiveness of Overt and Covert Speed Enforcement Achieved through Mobile Radar Operations* (187).

Diamantopoulou, K.; Cameron, M.; Shtifelman, M. (1998). Evaluation of moving mode radar for speed enforcement in Victoria 1995-1997. *Monash University Accident Research Centre (MUARC)*.

Donnelly, T. (2003). Application of system engineering techniques to optimise benefits of fixed speed cameras. *Proceedings of the Australasian road safety research, policing and education conference*, 7(2), 215-220.

Elvik, R. (1997). Effects on Accidents of Automatic Speed Enforcement in Norway.

Transportation Research Record, 1595(1), 14-19. Disponible a: Disponible a:

<https://doi.org/10.3141/1595-03>

Elvik, R.; Vadeby, A.; Hels, T.; Van Schagen, I. (2019). Updated estimates of the relationship between speed and road safety at the aggregate and individual levels. *Accident Analysis & Prevention*, 123, 114-122. Disponible a: Disponible a:

<https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.11.014>

Gains, A.; Heydecker, B. G.; Nordstrom, M.; Shrewsbury, J.; Robertson, S. (2004). The national safety camera programme: Three-year evaluation report. En *The Centre for Transport Studies (CTS): London, UK*. [Report]. The Centre for Transport Studies (CTS).

Disponible a: Disponible a: <https://www.ucl.ac.uk/civil-environmental-geomatic-engineering/research/groups-centres-and-sections/centre-transport-studies-cts>

Gains, A.; Humble, R.; Heydecker, B.; Robertson, S. (2003). A cost recovery system for speed and red-light cameras. Two-year pilot evaluation. *Department of Transport. Road Safety Division*. Disponible a: <https://trid.trb.org/View/731582>

Gains, A.; Nordstrom, M.; Shrewsbury, J.; Mountain, L.; Maher, M. (2005). *The national safety camera programme—Four-year evaluation report—December 2005*. Disponible a:

<https://trid.trb.org/View/897571>

Gallagher, J.; Fisher, P. J. (2020). Criminal Deterrence When There Are Offsetting Risks: Traffic Cameras, Vehicular Accidents, and Public Safety. *American Economic Journal: Economic Policy*, 12(3), 202-237. Disponible a: <https://doi.org/10.1257/pol.20170674>

- Goldenbeld, C.; Van Schagen, I. (2005). The effects of speed enforcement with mobile radar on speed and accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 37(6), 1135-1144. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.06.011>
- Gorell, R.; Sexton, B. (2005). Performance of safety cameras in London: Final Report. *TRL Limited*.
- Graham, D. J.; Naik, C.; McCoy, E. J.; Li, H. (2019). Do speed cameras reduce road traffic collisions? *PLOS ONE*, 14(9), e0221267. Disponible a: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221267>
- Hauer, E.; Harwood, D. W.; Council, F. M.; Griffith, M. S. (2002). Estimating Safety by the Empirical Bayes Method: A Tutorial. *Transportation Research Record*, 1784(1), 126-131. Disponible a: <https://doi.org/10.3141/1784-16>
- Hess, S. (2004). Analysis of the Effects of Speed Limit Enforcement Cameras: Differentiation by Road Type and Catchment Area. *Transportation Research Record*, 1865(1), 28-34. Disponible a: <https://doi.org/10.3141/1865-05>
- Hess, S.; Polak, J. (2003). Effects of Speed Limit Enforcement Cameras on Accident Rates. *Transportation Research Record*, 1830(1), 25-33. Disponible a: <https://doi.org/10.3141/1830-04>
- Highways Agency's London Network and Customer Services (LNCS) (1997). West London speed camera demonstration project. *London Accident Analysis Unit (LAAU), London Research Centre (LRC)*, 1-45.
- Høye, A. (2015). Safety effects of section control—An empirical Bayes evaluation. *Accident Analysis & Prevention*, 74, 169-178. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.10.016>
- Hung-Leung, C. (2000). Speed enforcement camera systems in Hong Kong. *HKSAR, Transport Department Hong Kong*, 386-394.
- Jiménez-Mejías, E.; Prieto, C. A.; Martínez-Ruiz, V.; Del Castillo, J. de D. L.; Lardelli-Claret, P.; Jiménez-Moleón, J. J. (2014). Gender-related differences in distances travelled, driving behaviour and traffic accidents among university students. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 27, 81-89. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.09.008>
- Jones, A. P.; Sauerzapf, V.; Haynes, R. (2008). The effects of mobile speed camera introduction on road traffic crashes and casualties in a rural county of England. *Journal of Safety Research*, 39(1), 101-110. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2007.10.011>
- Keall, M. D.; Povey, L. J.; Frith, W. J. (2001). The relative effectiveness of a hidden versus a visible speed camera programme. *Accident Analysis & Prevention*, 33(2), 277-284. Disponible a: [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(00\)00042-7](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(00)00042-7)

- Keall, M. D.; Povey, L. J.; Frith, W. J. (2002). Further results from a trial comparing a hidden speed camera programme with visible camera operation. *Accident Analysis & Prevention*, 34(6), 773-777. Disponible a: [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(01\)00077-X](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(01)00077-X)
- Li, H.; Graham, D. J.; Majumdar, A. (2013). The impacts of speed cameras on road accidents: An application of propensity score matching methods. *Accident Analysis & Prevention*, 60, 148-157. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.08.003>
- Li, H.; Zhang, Y.; Ren, G. (2020). A causal analysis of time-varying speed camera safety effects based on the propensity score method. *Journal of Safety Research*, 75, 119-127. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.08.007>
- Maekinen, T. E. (2001). Halo Effects of Automatic Speed Enforcement. *Technical Research Centre of Finland (VTT)*. Disponible a: <https://trid.trb.org/View/415872>
- McNally, B.; Bradley, G. L. (2014). Re-conceptualising the reckless driving behaviour of young drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 70, 245-257. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.04.014>
- Montella, A.; Imbriani, L. L.; Marzano, V.; Mauriello, F. (2015). Effects on speed and safety of point-to-point speed enforcement systems: Evaluation on the urban motorway A56 Tangenziale di Napoli. *Accident Analysis & Prevention*, 75, 164-178. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.11.022>
- Montella, A.; Persaud, B.; D'Apuzzo, M.; Imbriani, L. L. (2012). Safety Evaluation of Automated Section Speed Enforcement System. *Transportation Research Record*, 2281(1), 16-25. Disponible a: <https://doi.org/10.3141/2281-03>
- Moon, J.-P.; Hummer, J. E. (2010). Speed Enforcement Cameras in Charlotte, North Carolina: Estimation of Longer-Term Safety Effects. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2182(1), 31-39. Disponible a: <https://doi.org/10.3141/2182-05>
- Mountain, L. J.; Hirst, W. M.; Maher, M. J. (2004). Costing lives or saving lives: A detailed evaluation of the impact of speed cameras. *Traffic, Engineering and Control*, 45(8), Article 8.
- Mountain, L. J.; Hirst, W. M.; Maher, M. J. (2005). Are speed enforcement cameras more effective than other speed management measures?: The impact of speed management schemes on 30mph roads. *Accident Analysis & Prevention*, 37(4), 742-754. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.03.017>
- Newstead, S. V.; Cameron, M. H. (2003). Evaluation of the Crash Effects of the Queensland Speed Camera Program. *Monash University Accident Research Centre*. Disponible a: <https://research.monash.edu/en/publications/evaluation-of-the-crash-effects-of-the-queensland-speed-camera-pr>

- Newstead, S. V.; Cameron, M. H.; Leggett, L. M. W. (2001). The crash reduction effectiveness of a network-wide traffic police deployment system. *Accident Analysis & Prevention*, 33(3), 393-406. Disponible a: [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(00\)00053-1](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(00)00053-1)
- Novoa, A. M.; Pérez, K.; Santamariña-Rubio, E.; Marí-Dell'Olmo, M.; Tobías, A. (2010). Effectiveness of speed enforcement through fixed speed cameras: A time series study. *Injury Prevention*, 16(1), 12-16. Disponible a: <https://doi.org/10.1136/ip.2008.021485>
- Oei, H. (1996). Automatic Speed Management in the Netherlands. *Transportation Research Record*, 1560(1), 57-64. Disponible a: <https://doi.org/10.1177/0361198196156000109>
- Organització Mundial de la Salut (2023). *Global status report on road safety 2023*.
- Pauw, E. D.; Daniels, S.; Brijs, T.; Hermans, E.; Wets, G. (2014). Behavioural effects of fixed speed cameras on motorways: Overall improved speed compliance or kangaroo jumps? *Accident Analysis & Prevention*, 73, 132-140. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.08.019>
- Pérez, K.; Marí-Dell'Olmo, M.; Tobias, A.; Borrell, C. (2007). Reducing Road Traffic Injuries: Effectiveness of Speed Cameras in an Urban Setting. *American Journal of Public Health*, 97(9), 1632-1637. Disponible a: <https://doi.org/10.2105/AJPH.2006.093195>
- Rogerson, P. A.; Newstead, S. V.; Cameron, M. H. (1994). Evaluation of the speed camera program in Victoria 1990-1991. *Monash University Accident Research Centre (MUARC)*, 54, 1-41.
- Roth, J.; Sant'Anna, P. H. C.; Bilinski, A.; Poe, J. (2023). What's trending in difference-in-differences? A synthesis of the recent econometrics literature. *Journal of Econometrics*, 235(2), 2218-2244. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2023.03.008>
- Shim, J.; Park, S. H.; Chung, S.; Jang, K. (2015). Enforcement avoidance behavior near automated speed enforcement areas in Korean expressways. *Accident Analysis & Prevention*, 80, 57-66. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.03.037>
- Shin, K.; Washington, S. P.; Van Schalkwyk, I. (2009). Evaluation of the Scottsdale Loop 101 automated speed enforcement demonstration program. *Accident Analysis & Prevention*, 41(3), 393-403. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.12.011>
- Skubic, J.; Johnson, S. B.; Salvino, C.; Vanhoy, S.; Hu, C. (2013). Do Speed Cameras Reduce Collisions? *Annals of Advances in Automotive Medicine*, 57, 365-368.
- Soole, D. W.; Watson, B. C.; Fleiter, J. J. (2013). Effects of average speed enforcement on speed compliance and crashes: A review of the literature. *Accident Analysis & Prevention*, 54, 46-56. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.01.018>
- Steinbach, R.; Perkins, C.; Edwards, P.; Beecher, D.; Roberts, I. (2016). Speed cameras to reduce speeding traffic and road traffic injuries. *What Works: Crime Reduction Systematic Review Series*.

Tay, R. (2000). Do Speed Cameras Improve Road Safety? *Traffic and Transportation Studies*, 44-51. Disponible a: [https://doi.org/10.1061/40503\(277\)7](https://doi.org/10.1061/40503(277)7)

Thorpe, N.; Fawcett, L. (2012). Linking road casualty and clinical data to assess the effectiveness of mobile safety enforcement cameras: A before and after study. *BMJ Open*, 2(6), e001304. Disponible a: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2012-001304>

Turner, C.; McClure, R. (2003). Age and gender differences in risk-taking behaviour as an explanation for high incidence of motor vehicle crashes as a driver in young males. *Injury Control and Safety Promotion*, 10(3), 123-130. Disponible a: <https://doi.org/10.1076/icsp.10.3.123.14560>

Vadeby, A.; Howard, C. (2024). Spot speed cameras in a series—Effects on speed and traffic safety. *Accident Analysis & Prevention*, 199, 107525. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107525>

Wijnen, W.; Stipdonk, H. (2016). Social costs of road crashes: An international analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 94, 97-106. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.05.005>

Wijnen, W.; Weijermars, W.; Schoeters, A.; Van den Berghe, W.; Bauer, R.; Carnis, L.; Elvik, R.; Martensen, H. (2019). An analysis of official road crash cost estimates in European countries. *Safety Science*, 113, 318-327. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.12.004>

Wilson, C.; Willis, C.; Hendrikz, J. K.; Brocque, R. L.; Bellamy, N. (2010). Speed cameras for the prevention of road traffic injuries and deaths. *Cochrane Library*.

Wooldridge, J. M. (2021). *Two-Way Fixed Effects, the Two-Way Mundlak Regression, and Difference-in-Differences Estimators* (SSRN Scholarly Paper 3906345). Social Science Research Network. Disponible a: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3906345>

Wooldridge, J. M. (2023). Simple approaches to nonlinear difference-in-differences with panel data. *The Econometrics Journal*, 26(3), C31-C66. Disponible a: <https://doi.org/10.1093/ectj/utad016>

9. Annex

9.1. Estudis revisats

Figura 21: Estudis revisats

Estudi	País	Mètode d'estimació	Efecte en els accidents						Tipus de control de velocitat
			Tots	Amb persones ferides	Amb víctimes lleus	Amb víctimes greus	Amb víctimes mortals	Amb víctimes greus o mortals	
Rogerson <i>et al.</i> , 1994	AUS	Abans-després		14%-30% ^a					control de punt, fix i mòbil, senyalitzat i encobert
Oei, 1996	NLD	Abans-després	35%						control de punt, fix, senyalitzat
LNCS, 1997	UK	Abans-després	12.4% ^a		7.9% ^a			31% ^a	control de punt, fix + semàfor
Elvik, 1997	NOR	Empirical Bayes		20% *					control de punt, fix, senyalitzat
Diamantopoulou <i>et al.</i> , 1998	AUS	Abans-després		28% *					control de punt, mòbil, senyalitzat i encobert
Chen <i>et al.</i> , 2000	CAN	Abans-després	25% *			11% *	17% *		control de punt, mòbil, encobert
Hung-Leung, 2000	CHN	Abans-després	46% ^a				66% ^a		control de punt, fix
Tay, 2000	NZL	Abans-després	9.17% *				32.4% *		control de punt, fix, senyalitzat
Newstead <i>et al.</i> , 2001	AUS	Abans-després	11% *				31% *		cotxe de policia, mòbil
Agustsson, 2001	DNK	Abans-després		20% ^a					control de punt, mòbil
Maekinen, 2001	FIN	Abans-després	19%						control de punt, fix
Keall <i>et al.</i> , 2001	NZL	Abans-després	11% *	19% *					control de punt, mòbil, encobert i senyalitzat
Diamantopoulou & Cameron, 2002	AUS	Abans-després		71.3% *					control de punt, mòbil, encobert i senyalitzat
Chen <i>et al.</i> , 2002	CAN	Empirical Bayes	14% *						control de punt, fix, senyalitzat
Keall <i>et al.</i> , 2002	NZL	Abans-després	11% *	19% *					control de punt, mòbil, encobert i senyalitzat
Newstead & Cameron, 2003	AUS	Abans-després		17.5 % *		21.9 % *	15.7 %	26%	control de punt, mòbil, senyalitzat

Estudi	País	Mètode d'estimació	Efecte en els accidents						Tipus de control de velocitat
			Tots	Amb persones ferides	Amb víctimes lleus	Amb víctimes greus	Amb víctimes mortals	Amb víctimes greus o mortals	
Donnelly, 2003	AUS	Abans-després		7% a		10% a	13% a		control de punt, fix
Hess & Polak, 2003	UK	Abans-després		31,26% *					control de punt, fix, senyalitzat
Hess, 2004	UK	Abans-després		45.74%					control de punt, fix, senyalitzat
Gains <i>et al.</i> , 2003	UK	Abans-després		33% a					control de punt, fix i mòbil, senyalitzat + semàfor
Christie <i>et al.</i> , 2003	UK	Abans-després		49%					control de punt, mòbil, senyalitzat
Mountain <i>et al.</i> , 2004	UK	Empirical Bayes		24%					control de punt, fix, senyalitzat
Gains <i>et al.</i> , 2004	UK	Abans-després		6% *				35% *	control de punt, fix i mòbil, senyalitzat + semàfor
Gorell & Sexton, 2005	UK	Empirical Bayes		12,4% a				20,6% a	a
ARRB Group Project Team, 2005	AUS	Abans-després		22,8% a			89,8% a		control de punt, fix, senyalitzat
Mountain <i>et al.</i> , 2005	UK	Empirical Bayes		22% *			11%		control de punt, fix, senyalitzat
Gains <i>et al.</i> , 2005	UK	Empirical Bayes		22% *				42% *	control de punt, fix i mòbil, senyalitzat + semàfor
Goldenbeld & Van Schagen, 2005	NLD	Abans-després	21% *					21%	control de punt, mòbil, encobert
Cunningham <i>et al.</i> , 2005	USA	Empirical Bayes	11% *						control de punt, mòbil, senyalitzat
Pérez <i>et al.</i> , 2007	ESP	Abans-després	27% *	27% *					control de punt, mòbil, senyalitzat
Jones <i>et al.</i> , 2008	UK	Abans-després	19% *					44% *	control de punt, mòbil, senyalitzat
Shin <i>et al.</i> , 2009	USA	Empirical Bayes	44%-55% *	46%-56% *					control de punt, fix, senyalitzat
Collins, 2010	UK	a			20.2% a	65.4% a			a

Estudi	País	Mètode d'estimació	Efecte en els accidents						Tipus de control de velocitat
			Tots	Amb persones ferides	Amb víctimes lleus	Amb víctimes greus	Amb víctimes mortals	Amb víctimes greus o mortals	
Moon & Hummer, 2010	USA	Abans-després	21.3 % *				16.7% *		control de punt, mòbil, senyalitzat
Novoa <i>et al.</i> , 2010	ESP	Abans-després	-						fix i mòbil, senyalitzat
Montella <i>et al.</i> , 2012	ITA	Empirical Bayes	31,2% *		26,6%*	55,6%*			control de tram
Thorpe & Fawcett, 2012	UK	Empirical Bayes		2%					fix, mòbil
Li <i>et al.</i> , 2013	UK	<i>Matching</i>		27,5% *				-0,188 *	control de punt, fix
Skubic <i>et al.</i> , 2013	USA	Abans-després	-						control de punt, fix i mòbil
Pauw <i>et al.</i> , 2014	BEL	Abans-després		8%				29% *	control de punt, fix
Høye, 2015	NOR	Empirical Bayes		22% *				49%	control de tram, fix, senyalitzat
Montella <i>et al.</i> , 2015	ITA	Empirical Bayes	32% *	37% *					control de tram, fix, senyalitzat
Shim <i>et al.</i> , 2015	KOR	Empirical Bayes	7.6%						control de punt, fix, senyalitzat
Graham <i>et al.</i> , 2019	UK	Diferència en diferències	15% *						control de punt, fix
Li <i>et al.</i> , 2020	UK	Diferència en diferències		26,78% *					control de punt, fix
Vadeby & Howard, 2024	SWE	Empirical Bayes				15.2%	38,6%*		control de tram, fix, senyalitzat

* L'efecte és estadísticament significatiu, com a mínim, al 10% de confiança.

^a No es disposa d'aquesta informació.

La taula mostra, per cada estudi revisat, el país on s'ha implementat la intervenció analitzada, el mètode d'estimació utilitzat per estimar-ne l'impacte, l'efecte trobat en la reducció percentual d'accidents segons tipologia d'accident i el tipus de control de velocitat analitzat (control de punt o de tram, fix i/o mòbil, senyalitzat o encobert). Pel que fa a la tipologia d'accident, cada una de les categories es refereix al fet que la variable de resultat mesura el nombre d'accidents en què hi ha implicades una o més persones que han patit lesions de la gravetat indicada. En el cas d'accidents amb persones ferides, la variable mesura el nombre d'accidents amb persones ferides de qualsevol gravetat. En el cas de tots els accidents, la variable mesura el nombre d'accidents independentment de si hi ha persones implicades que han patit lesions.

9.2. Estratègia d'estimació

L' objectiu és estimar l'efecte causal de la instal·lació dels controls de velocitat en el nombre i la gravetat dels accidents de trànsit. Utilitzant només trams on s'ha instal·lat un control en algun moment durant el període d'observació, explotem la variació quasiexperimental en les dates d'instal·lació dels controls en un model de diferència en diferències. Per estimar l'efecte mitjà (estàtic) dels controls durant els anys posteriors a la instal·lació, fem servir el següent tipus de regressions:

$$\log(Y_{it}) = \beta D_{it} + \alpha_i + \delta_t + X_{it} + \varepsilon_{it}$$

on:

Y_{it} és una variable de resultat (nombre d'accidents) per al tram de carretera i a l'any t

α_i són efectes fixos de tram

δ_t són efectes fixos d'any

ε_{it} és un terme d'error

Com a variables de resultat principals, considerem el nombre d'accidents amb persones ferides i el nombre d'accidents amb víctimes greus o mortals (vegeu el Panell A de la Figura 10 per a una descripció), en les quals s'imputa el valor 1 per a les observacions amb 0 accidents per evitar perdre observacions com a resultat de la transformació logarítmica. X_{it} és un vector que inclou variables que mesuren característiques dels trams de carretera (descrites al Panell B de la Figura 10).

El paràmetre d'interès, β , mesura el canvi percentual en el nombre anual d'accidents que es produeix durant els quinze anys posteriors a la instal·lació, que són els anys que observem en la nostra mostra.

En un context en què la implementació és esglaonada en el temps (en què les unitats adopten el tractament en diferents punts del temps), fins fa poc la pràctica comuna era estimar la regressió (1) mitjançant quadrats mínims ordinaris (QMO), mètode conegut com l'estimador d'efectes fixos (en anglès, *two-way fixed effects (TWFE) estimator*).

No obstant això, estudis recents han mostrat que, quan la implementació és esglaonada en el temps, l'estimador d'efectes fixos produeix estimacions esbiaixades de l'efecte causal quan hi ha heterogeneïtat en els efectes del tractament (és a dir, quan els efectes del tractament varien en funció dels grups d'unitats o en funció del temps). El problema sorgeix perquè l'estimador d'efectes fixos, per calcular l'efecte mitjà, fa, alhora, comparacions "correctes" entre unitats tractades i unitats encara no tractades i comparacions "incorrectes" entre unitats que són tractades totes dues. Quan els efectes

del tractament són heterogenis, aquestes comparacions “incorrectes” poden causar un biaix en l’efecte mitjà estimat (Roth *et al.*, 2023).

Per solucionar aquest problema, s’han proposat estimadors alternatius que són robustos a la presència d’heterogeneïtat en els efectes del tractament (vegeu, per exemple, Borusyak *et al.*, 2024; Callaway i Sant’Anna, 2021; De Chaisemartin i D’Haultfœuille, 2020; Wooldridge, 2021, 2023).

La presència d’efectes heterogenis és probable en aquest cas i, tenint en compte la naturalesa de la implementació esglaonada en el temps que es produeix en el context, l’estimador d’efectes fixos pot incorporar comparacions “incorrectes” que produirien un biaix en els efectes estimats. Per tant, les estimacions del present estudi estan basades en estimadors alternatius que són robustos a la presència d’efectes heterogenis.

Les especificacions preferides estan basades en l’estimador proposat per Borusyak *et al.* (2024), donat que aquest estimador produeix estimacions més precises en aquest cas sense reduir el biaix (per a més detalls, vegeu la Secció 9.3.2. de l’Annex). No obstant això, en la Secció 9.3.2. de l’Annex mostrem que els resultats no canvien quan utilitzem altres estimadors robustos a la presència d’efectes heterogenis.

Les variables de resultat (nombre d’accidents) són dades de recompte que, habitualment, es modelen utilitzant regressions de *Poisson*. No obstant això, l’únic estimador robust a la presència d’efectes heterogenis i que permet produir estimacions utilitzant un model de *Poisson* és l’estimador proposat per Wooldridge (2023). Com que aquest estimador no permetria fer diverses anàlisis que són importants a l’informe, no l’utilitzem com l’estimador principal. No obstant això, a la Secció 9.4. 9.4. de l’Annex mostrem que els resultats no canvien qualitativament quan utilitzem el *pooled quasi-maximum likelihood estimator* (QMLE) amb una distribució de *Poisson*, tal com recomana Wooldridge (2023).

Els supòsits d’identificació són els anomenats *tendències paral·leles* i *no anticipació*. Atès que en les estimacions utilitzem només trams de carretera on s’ha instal·lat un control en algun moment durant el període d’observació, el supòsit de tendències paral·leles requereix que els trams on “encara” no s’ha instal·lat un control hagin tingut la mateixa tendència en el nombre d’accidents que els trams tractats si els controls no s’haguessin instal·lat.

El supòsit de no anticipació requereix que qui condueix no pugui anticipar la localització exacta dels controls abans que aquests s’hagin instal·lat. Per tal de proporcionar evidència sobre la plausibilitat dels supòsits d’identificació i per explorar la dinàmica temporal dels efectes, estimem les generalment anomenades *event-study regressions* o especificacions dinàmiques, que tenen la forma següent:

$$\log(Y_{it}) = \sum_k \tau_k d_{it}^k + \alpha_i + \delta_t + X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

On:

α_i són efectes fixos de tram

δ_t són efectes fixos d'any

X_{it} és un vector que incorpora variables que mesuren característiques dels trams (descrites al Panell B de la Figura 10)

ε_{it} és un terme d'error

d_{it}^k són variables binàries per k anys des de la data d'instal·lació dels controls

Els principals efectes dinàmics s'estimen també utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). No obstant això, la Secció 9.3.2. de l'Annex mostra que els resultats no canvien quan fem servir estimadors alternatius.

9.3. Anàlisi de robustesa

9.3.1. Robustesa dels supòsits d'identificació

Els supòsits d'identificació són el supòsit de tendències paral·leles i el supòsit de no anticipació. Com s'ha explicat a la Secció 9.2., el supòsit de tendències paral·leles requereix que els trams on "encara" no s'ha instal·lat un control (trams encara no tractats) hagin seguit la mateixa evolució en les variables d'interès que els trams tractats. El supòsit de no anticipació requereix que qui condueix no sigui capaç d'anticipar la localització exacta dels controls abans de la seva instal·lació.

En la Secció 5.1. hem mostrat que els coeficients d'abans del tractament de l'especificació dinàmica són tots estadísticament insignificants per a deu anys abans de la instal·lació dels controls. El test de significació conjunta dels coeficients d'abans del tractament proposat per Borusyak *et al.* (2024) es rebutja amb un p-valor de 0,425 per als accidents amb persones ferides i de 0,488 per als accidents amb víctimes greus o mortals, la qual cosa aporta més evidència de l'absència de tendències divergents abans de la instal·lació dels controls.

Tot i que aquesta evidència és tranquil·litzadora, hi ha diversos elements que encara poden suscitar dubtes sobre la validesa del supòsit de tendències paral·leles. En aquesta secció, discutim cada una d'aquestes amenaces a la identificació i mostrem el resultat de diverses anàlisis de robustesa.

Un primer element de preocupació rau en la possibilitat que la instal·lació dels controls provoqui un comportament evasiu per part de qui condueix. Si conductors i conductores coneixen la localització exacta dels controls, poden alterar la seva conducció agafant rutes alternatives per evitar els trams de carretera amb controls. Si això es produeix, la instal·lació dels controls estaria causant una reducció del volum de trànsit als trams amb control i un increment en el volum de trànsit en altres localitzacions sense controls. Com

que el volum de trànsit probablement està correlacionat amb la quantitat i/o la gravetat dels accidents, aquesta reducció del trànsit als trams amb control podria estar causant una reducció del nombre d'accidents en les localitzacions tractades que esbiaixaria les estimacions. La presència d'aquest fenomen (de vegades anomenat *migració d'accidents* en la literatura) ocasionaria un trencament del supòsit de tendències paral·leles i produiria una infraestimació de l'efecte.

Per comprovar que la presència de la migració d'accidents no està esbiaixant els resultats, fem dos tests de robustesa. En primer lloc, incloem com a control addicional en les especificacions una variable que mesura la mitjana en el nombre de vehicles que circula diàriament pel tram de carretera (intensitat mitjana diària, IMD).³⁶ En segon lloc, estimem l'efecte dels controls en la IMD fent servir les mateixes especificacions que per al nombre d'accidents. Els efectes mitjans (estàtics) que resulten d'aquestes estimacions es presenten a la Figura 22. La columna (1) mostra l'estimació principal de l'efecte dels controls en el nombre d'accidents amb persones ferides, i la columna (2) mostra la mateixa estimació però incloent-hi com a control addicional la IMD.

Les estimacions gairebé no canvien, la qual cosa indica que, fins i tot si les persones que condueixen tenen un comportament evasiu, aquest no és prou pronunciat per alterar l'efecte dels controls en el nombre d'accidents. Les columnes (3) i (4) mostren l'efecte dels controls en la IMD, amb la inclusió de variables de control i sense, respectivament. De manera consistent amb les columnes (1) i (2), els coeficients són de magnitud molt petita i no significatius, i indiquen que conductores i conductors no tenen un comportament evasiu. La Figura 23 presenta les estimacions de les especificacions dinàmiques corresponents a les columnes (1) i (2) de la Figura 22; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (Panell A) i les columnes (3) i (4) de la Figura 22 (Panell B), la qual cosa indica que s'extreuen les mateixes conclusions quan considerem els efectes dinàmics.

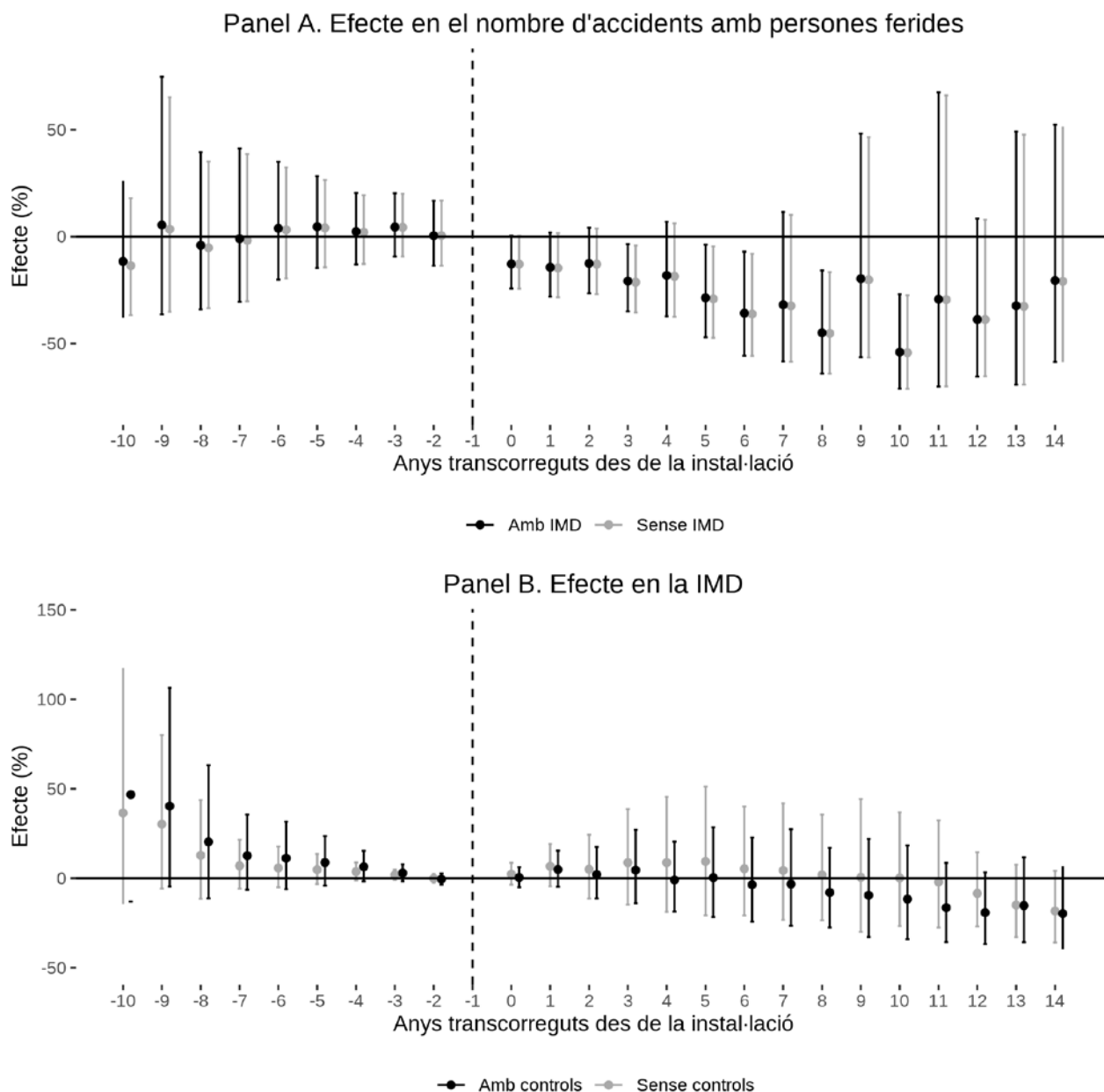
³⁶ Aquesta variable no s'ha inclòs en les estimacions principals, ja que no es disposa d'informació per a tots els trams i anys considerats. Si s'inclogués es reduiria la precisió de les estimacions i el nombre d'anys per als quals es poden analitzar els efectes dinàmics.

Figura 22. Anàlisi de robustesa a la presència de migració d'accidents: especificació estàtica

	Variable dependent			
	Accidents amb persones ferides		Intensitat mitjana diària (IMD)	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Efecte (%)	-27,24** (15,74)	-26,88** (15,88)	3,73 (12,78)	-3,21 (10,26)
Mitjana de l'any anterior a la instal·lació del dispositiu	1,62	1,62	15518,42	15518,42
Observacions	2120	2120	2120	2120
Trams de carretera	106	106	106	106
Efectes fixos d'any	✓	✓	✓	✓
Efectes fixos de tram	✓	✓	✓	✓
Controls	✓	✓		✓
Tendència temporal lineal de tram	✓	✓		✓
IMD		✓		

Notes: $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Els coeficients s'han estimat mitjançant la regressió (1) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\hat{\beta}) - 1)$. Els errors estàndard (entre parèntesis) s'agrupen per tram de carretera. Les variables de control incloses en les regressions estan descrites al Panell B de la Figura 10.

Figura 23. Anàlisi de robustesa a la presència de migració d'accidents: especificació dinàmica



Una altra amenaça al supòsit de tendències paral·leles és la potencial presència del fenomen de regressió a la mitjana. Com s'explica a la Secció 4.2. , els controls normalment

s'instal·len en trams de carretera on hi ha hagut un nombre inusualment elevat d'accidents als anys anteriors a la instal·lació.

Per tant, és probable que aquests trams de carreteres haguessin mostrat una reducció del nombre d'accidents (un retorn al nombre mitjà d'accidents) als anys posteriors a la instal·lació, fins i tot si la instal·lació no s'hagués produït. Si aquest és el cas, les estimacions estarien captant la reducció del nombre d'accidents resultant d'aquesta regressió a la mitjana, i n'infraestimaria els efectes.

L'absència de tendències divergents durant els deu anys anteriors a la instal·lació dels controls és una evidència forta que no es produeix el fenomen de regressió a la mitjana en la nostra mostra de trams. No obstant això, com a anàlisi de robustesa, estimem els resultats principals exclouent-ne els trams que presenten una desviació percentual més alta i més baixa en el nombre d'accidents al primer any anterior a la instal·lació respecte a la mitjana d'accidents durant tots els anys anteriors a la instal·lació.

Els coeficients per als efectes mitjans (estàtics) es presenten a la Figura 24. La Columna (1) mostra l'efecte en el nombre d'accidents amb persones ferides sense excloure cap tram. La columna (2) presenta el mateix efecte però exclouent el 5% de trams amb una desviació percentual més alta (i el 5% amb una desviació percentual més baixa), i la columna (3) presenta els efectes exclouent el 10% de trams amb una desviació percentual més alta (i el 10% amb una desviació percentual més baixa).

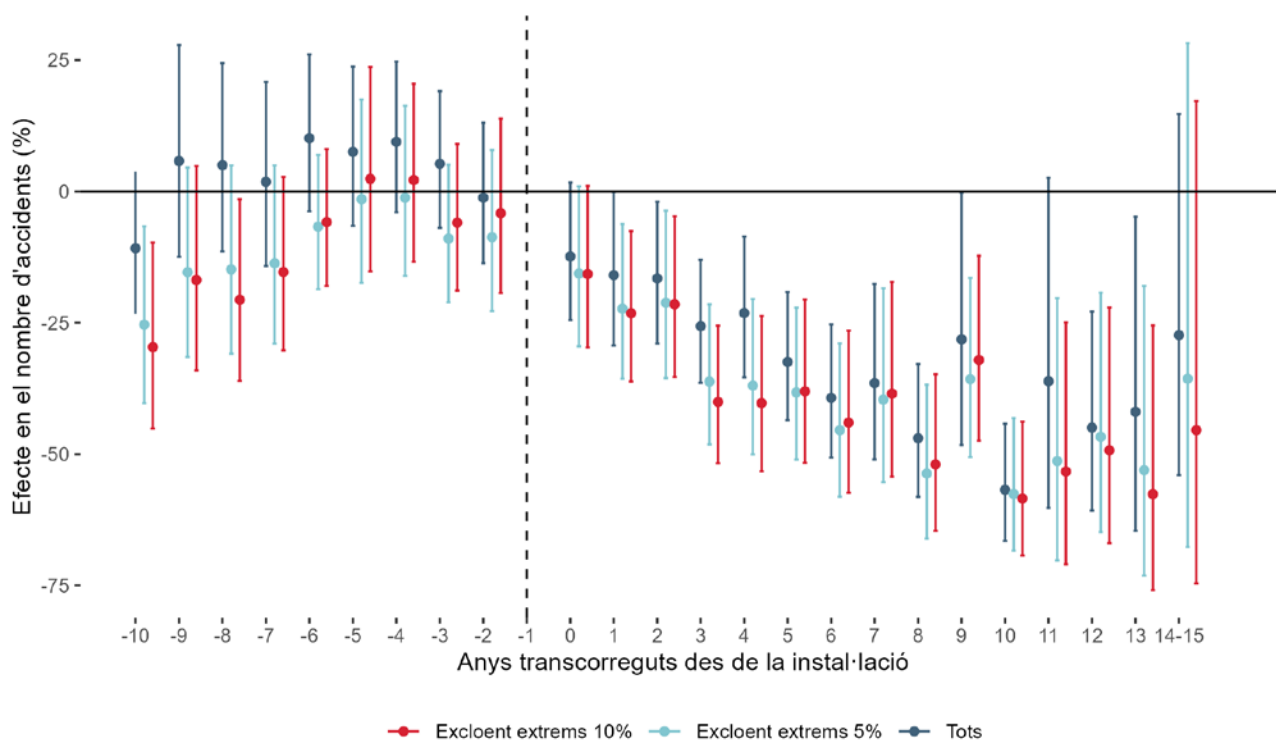
Els resultats mostren que, en excloure trams amb més probabilitat de presentar regressió a la mitjana, la magnitud dels efectes en el nombre d'accidents no es redueix (com s'esperaria si hi hagués regressió a la mitjana) i fins i tot augmenta. La Figura 25 presenta els efectes dinàmics corresponents a les tres mostres considerades a la Figura 24, dels quals es desprenen les mateixes conclusions.

Figura 24. Anàlisi de robustesa a la regressió a la mitjana: especificació estàtica

	Tots els trams	Excloent-ne el 5%	Excloent-ne el 10%
	(1)	(2)	(3)
Efecte en el nombre d'accidents (%)	-30,83*** (8,18)	-37,78*** (10,65)	-38,66*** (10,69)
Mitjana de l'any anterior a la instal·lació del dispositiu	1,60	2,33	2,21
Observacions	2664	1536	1392
Trams de carretera	111	64	58
Efectes fixos d'any	✓	✓	✓
Efectes fixos de tram	✓	✓	✓
Controls	✓	✓	✓
Tendència temporal lineal de tram	✓	✓	✓

Notes: $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Els coeficients s'han estimat mitjançant la regressió (1) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\hat{\beta}) - 1)$. Els errors estàndard (entre parèntesis) s'agrupen per tram de carretera. Les variables de control incloses en les regressions estan descrites al Panell B de la Figura 10.

Figura 25. Anàlisi de robustesa a la regressió a la mitjana: especificació dinàmica



Notes: La Figura mostra efectes mitjans per a cada any des de la instal·lació dels controls, estimats mitjançant la regressió (2) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les línies verticals indiquen intervals de confiança al 95% calculats a partir d'errors estàndard agrupats per tram de carretera. Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\hat{\beta}) - 1)$. Les regressions inclouen com a controls les variables descrites al Panell B de la Figura 10 i tendències temporals lineals de tram de carretera.

Finalment, de vegades es proposa fer un test alternatiu per analitzar la validesa dels supòsits de tendències paral·leles i no anticipació (vegeu, per exemple, Athey i Imbens, 2017), que consisteix a estimar l'efecte del tractament en la variable de resultat però endarrerint artificialment les dates d'inici del tractament de cada unitat tractada. Una absència d'efectes amb aquestes dates d'inici "placebo" evidencia que l'efecte estimat amb les dates d'inici reals és conseqüència del tractament i no d'altres factors correlacionats amb l'inici del tractament i amb la variable de resultat.

Malgrat que hi ha qui no recomana aquest exercici com a estratègia per valorar la plausibilitat dels supòsits de tendències paral·leles i no anticipació (vegeu, per exemple, Borusyak *et al.* 2024), com a referència fem aquest exercici. En concret, estimem l'efecte

de la instal·lació dels controls en el nombre d'accidents amb persones ferides endarrerint quatre anys la data d'instal·lació de cada control.³⁷

Les estimacions dels efectes mitjans (estàtics) es presenten a la Figura 26. La Columna 1 mostra l'efecte en el nombre d'accidents amb persones ferides utilitzant les dates d'instal·lació reals. Per fer la comparació, els efectes s'estimen només per a quatre anys després de la instal·lació dels controls. Donat que l'efecte augmenta amb el temps (vegeu Secció 5.1. el coeficient és de menor magnitud que quan considerem tots els anys disponibles. La Columna 2 mostra l'efecte en el nombre d'accidents amb persones ferides després d'endarrerir quatre anys les dates d'instal·lació. El coeficient és de menor magnitud i no significatiu, la qual cosa proporciona credibilitat als supòsits de tendències paral·leles i no anticipació. La Figura 27 mostra els efectes dinàmics amb dates d'instal·lació reals i artificials, on s'observa també que els efectes es tornen insignificants i de menor magnitud amb les dates artificials.

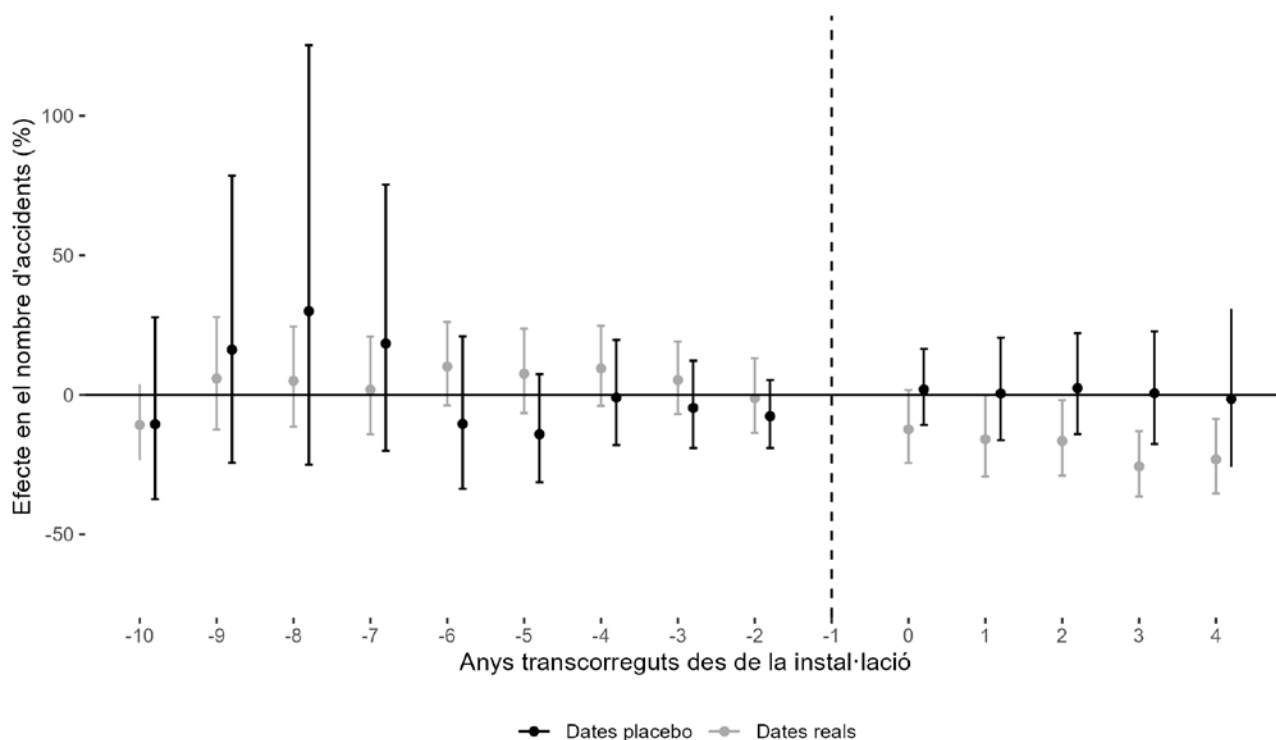
Figura 26. Anàlisi de robustesa utilitzant dates placebo: especificació estàtica

	Accidents amb persones ferides	
	Dates reals	Dates "placebo"
	(1)	(2)
Efecte en el nombre d'accidents (%)	-6,86*** (2,25)	0,38 (3,68)
Mitjana de l'any anterior a la instal·lació del dispositiu	1,60	1,40
Observacions	711	232
Trams de carretera	111	111
Efectes fixos d'any	✓	✓
Efectes fixos de tram	✓	✓
Controls	✓	✓
Tendència temporal lineal de tram	✓	✓

Notes $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Els coeficients s'han estimat mitjançant la regressió (1) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\hat{\beta}) - 1)$. Els errors estàndard (entre parèntesis) s'agrupen per tram de carretera. Les variables de control incloses en les regressions estan descrites al Panell B de la Figura 10.

³⁷ Escollim endarrerir quatre anys les dates d'instal·lació per tal de comparar els resultats utilitzant els mateixos trams de carretera que en les especificacions principals. Com que en la nostra mostra el primer control s'instal·la el 2004, si endarreríssim més de quatre anys les dates d'instal·lació faria que no observéssim anys posteriors a la instal·lació per als trams que s'han instal·lat el 2004.

Figura 27. Anàlisi de robustesa utilitzant dates placebo: especificació dinàmica



Notes: La Figura mostra efectes mitjans per a cada any des de la instal·lació dels controls, estimats mitjançant la regressió (2) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les línies verticals indiquen intervals de confiança al 95% calculats a partir d'errors estàndard agrupats per tram de carretera. Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\hat{\beta}) - 1)$. Les regressions inclouen com a controls les variables descrites al Panell B de la Figura 10 i tendències temporals lineals de tram de carretera.

9.3.2. Estimadors alternatius

Com s'ha esmentat, en un context en què la implementació del tractament és esglaonada en el temps (en el qual les unitats adopten el tractament en diferents punts del temps), la presència d'efectes heterogenis del tractament pot fer que l'estimador d'efectes fixos assigni un pes elevat a comparacions "incorrectes" i produeixi estimacions esbiaixades. Per solucionar aquest problema, de vegades s'han proposat estimadors robustos a la presència d'efectes heterogenis. Tots aquests estimadors solucionen el problema de les comparacions "incorrectes" de l'estimador d'efectes fixos, però difereixen en diversos aspectes que condicionen la interpretació dels supòsits d'identificació i l'eficiència de les estimacions en el context particular on s'apliquen (De Chaisemartin i D'Haultfoeuille 2022 i Roth *et al.* 2023 en proporcionen revisions).

En aquesta secció presentem els resultats principals estimats mitjançant diversos estimadors robustos a la presència d'efectes heterogenis i discutim les implicacions relacionades amb la robustesa dels resultats.

Estimem l'efecte de la instal·lació dels controls utilitzant els estimadors aplicables al context d'aquest estudi que més s'han discutit en la literatura: els estimadors de Borusyak *et al.* 2024 (d'ara endavant, BJS), Callaway i Sant'Anna 2021 (d'ara endavant, CS) i De Chaisemartin i D'Haultfoeuille 2020 (d'ara endavant, DCDH). Com a referència, mostrem també les estimacions resultants de l'estimador d'efectes fixos. La Figura 28 mostra les estimacions dels efectes estàtics en el nombre d'accidents amb persones ferides i la Figura 29 els efectes dinàmics estimats mitjançant especificacions d'*event-study*.³⁸

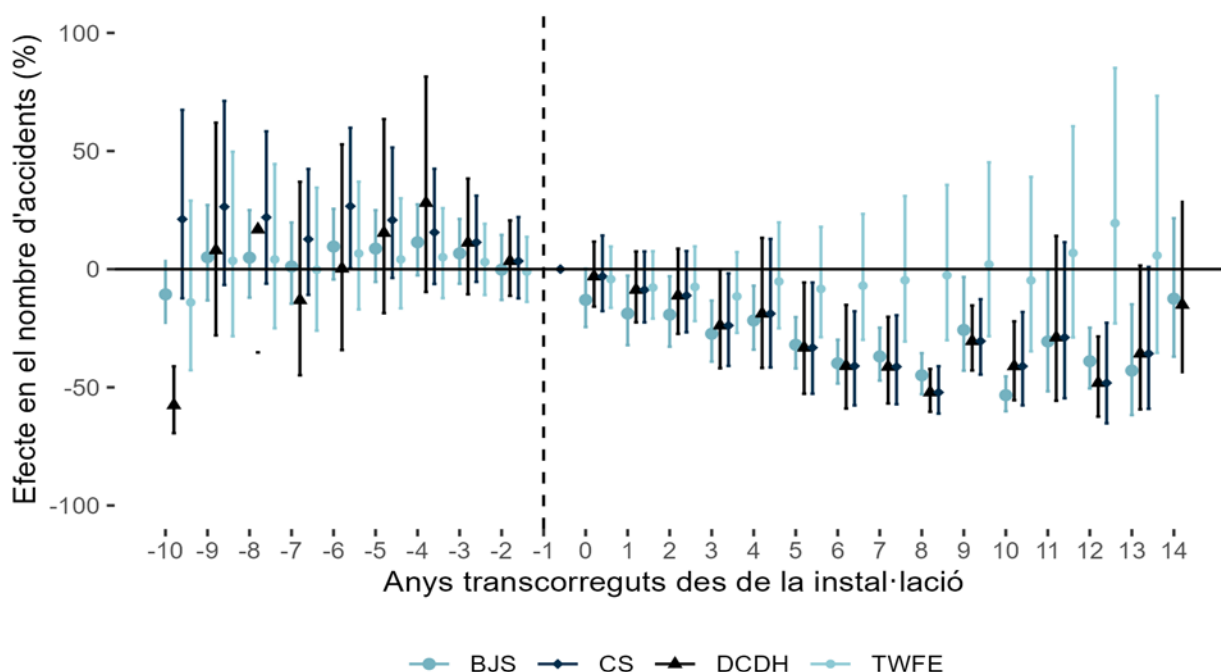
Figura 28. Anàlisi de robustesa a estimadors alternatius: especificació estàtica

	BJS (1)	CS (2)	DCDH (3)	TWFE (4)
Efecte en el nombre d'accidents (%)	-30,2*** (5,97)	-28,07*** (9,45)	-28,62*** (10,1)	-14,09*** (5,92)
Mitjana de l'any anterior a la instal·lació del dispositiu	1,60	1,60	1,60	1,60
Observacions	2664	2664	2664	2664
Trams de carretera	111	111	111	111
Efectes fixos any	✓	✓	✓	✓
Efectes fixos tram	✓	✓	✓	✓

Notes: $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Els coeficients s'han estimat mitjançant la regressió (1) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant cada un dels estimadors indicats. Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\hat{\beta}) - 1)$. Els errors estàndard (entre parèntesis) s'agrupen per tram de carretera.

³⁸ Els efectes s'estimen sense la inclusió de variables de control. Donat que alguns dels estimadors no permeten incloure controls que varien en el temps i els estimadors fan servir tècniques diferents per estimar l'efecte mitjà quan hi ha controls en l'especificació, la inclusió de variables de controls no permetria una comparació clara entre els diferents estimadors, que és l'element important d'aquest exercici.

Figura 29. Anàlisi de robustesa a estimadors alternatius: especificació dinàmica



Notes: La Figura mostra efectes mitjans per a cada any des de la instal·lació dels controls, estimats mitjançant la regressió (2) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les línies verticals indiquen intervals de confiança al 95% calculats a partir d'errors estàndard agrupats per tram de carretera. Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\beta) - 1)$.

Destaquem diversos elements importants. Mentre tots els estimadors robustos a la presència d'efectes heterogenis produeixen resultats molt semblants, l'estimador d'efectes fixos produeix un efecte molt menor (tot i que també estadísticament significatiu) i presenta un patró d'efectes dinàmics molt diferent. Aquesta diferència entre els efectes estimats per l'estimador d'efectes fixos i pels estimadors robustos a la presència d'efectes heterogenis evidencia que en aquest cas hi ha efectes heterogenis i, per tant, l'estimador d'efectes fixos produeix estimacions esbiaixades.

Una de les diferències principals entre els estimadors de BJS i DCDH i l'estimador de CS és el període de referència que fan servir per calcular els efectes. BJS calculen els efectes després del tractament en relació amb la mitjana de tots els anys anteriors al tractament, i calculen els efectes abans del tractament en relació amb la mitjana de tots els anys anteriors a l'any en consideració. CS calculen els efectes després del tractament en relació amb l'any anterior al tractament i calculen els efectes abans del tractament en relació amb l'any anterior a l'any en consideració. Per tant, BJS assumeix tendències paral·leles per a un horitzó temporal més llarg.

Com expliquen De Chaisemartin i D'Haultfœuille (2023), quan el supòsit de tendències paral·leles no es compleix en horitzons temporals més llargs, BJS produeix més biaix que CS, però quan el supòsit de tendències paral·leles falla a causa d'incompliments als últims anys anteriors al tractament, BJS genera menys biaix que CS.

En aquest cas, observem a la Figura 29 que els tres estimadors (BJS, DCDH i CS) mostren una absència de tendències divergents per a un horitzó de fins a deu anys, i produeixen un patró d'efectes dinàmics molt semblant després del tractament, fet que, com suggereixen De Chaisemartin i D'Haultfœuille (2023), és evidència que hi ha tendències paral·leles per a un horitzó temporal llarg.

Finalment, Borusyak *et al.* (2024) mostren que el seu estimador produeix estimacions més precises en la majoria de situacions, i aquest és el cas en el context d'aquest estudi, tal com mostren els errors estàndards dels coeficients estimats en l'especificació estàtica i dinàmica de la Figura 28 i la Figura 29, respectivament. Juntament amb les consideracions sobre el biaix de les estimacions explicades en el paràgraf anterior, aquest guany en precisió justifica l'elecció de l'estimador de BJS com el preferit per estimar els efectes en el context d'aquest estudi.

9.4. Forma funcional

Les variables de resultat (nombre d'accidents) són dades de recompte, les quals s'acostumen a modelar utilitzant regressions *Poisson*. No obstant això, l'únic estimador que és robust a la presència d'efectes heterogenis en el context d'una implementació esglaonada en el temps i que alhora permet utilitzar un model de *Poisson* per modelar les variables de resultat és el proposat per Wooldridge (2023). Atès que aquest estimador no permet fer anàlisis importants presentades a l'informe, no hem basat les estimacions principals en aquest estimador.

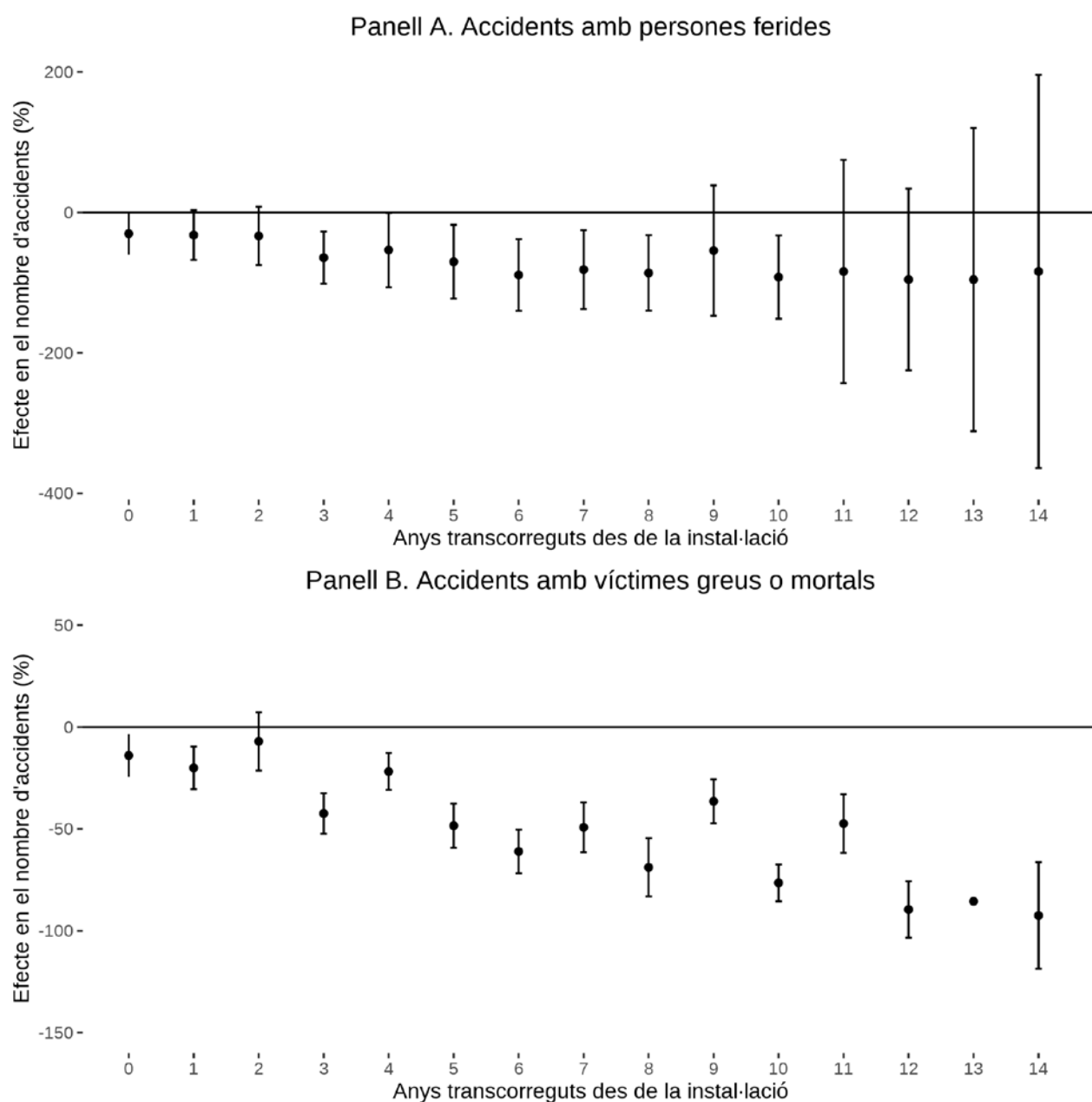
No obstant això, per alleujar preocupacions, presentem aquí els resultats principals estimats utilitzant l'estimador de *quasi-maximum likelihood (QMLE)* proposat per Wooldridge (2023). Els resultats per als efectes estàtics es presenten en la Figura 30 i els resultats per als efectes dinàmics es presenten en la Figura 31. En tots dos casos s'observa que, en comparació amb els efectes estimats amb l'especificació *log-linear* emprant l'estimador de BJS (vegeu la Figura 12 i la Figura 13), encara que els efectes són d'una magnitud més gran, els resultats són qualitativament iguals.

Figura 30. Anàlisi de robustesa a la forma funcional: especificació estàtica

	Accidents amb persones ferides	Accidents amb víctimes greus o mortals
	(1)	(2)
Efecte en el nombre d'accidents (%)	-72.01*** (21,26)	-48.72*** (2,52)
Mitjana de l'any anterior a la instal·lació del dispositiu	1,34	0,32
Observacions	2664	2664
Trams de carretera	111	111
Efectes fixos any	✓	✓
Efectes fixos tram	✓	✓

Notes: * $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Els coeficients s'han estimat mitjançant la regressió (1) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant l'estimador de *quasi-maximum likelihood (QMLE)* proposat per Wooldridge (2023). Els errors estàndard (entre parèntesis) s'agrupen a nivell de tram de carretera.

Figura 31. Anàlisi de robustesa a la forma funcional: especificació dinàmica



Notes: Els coeficients s'han estimat mitjançant la regressió (2) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant l'estimador de *quasi-maximum likelihood (QMLE)* proposat per Wooldridge (2023). Els errors estàndard (entre parèntesis) s'agrupen per tram de carretera.

9.5. Altres figures

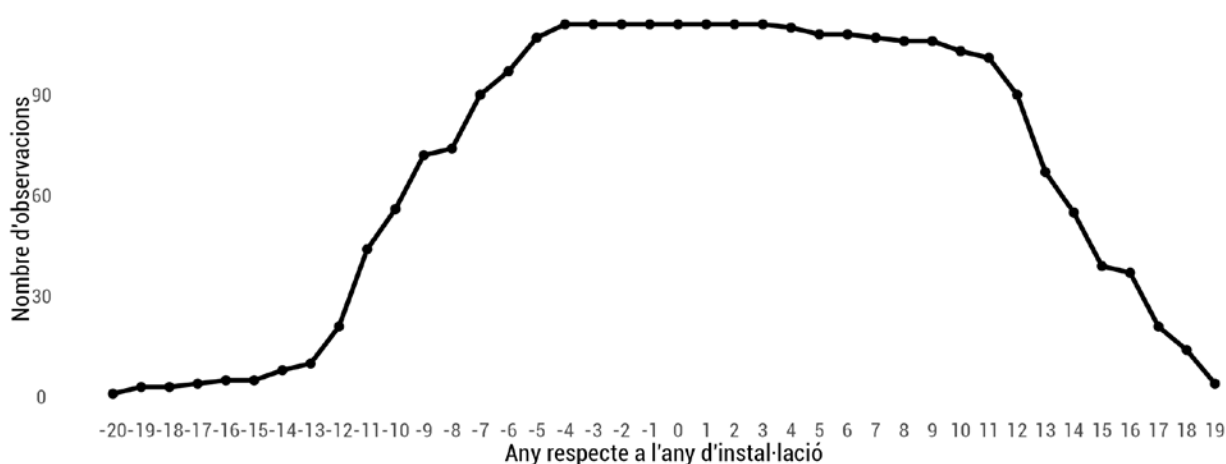
Figura 32. Sistema de sancions per excés de velocitat no penal

	Límit 20	Límit 30	Límit 40	Límit 50	Límit 60	Límit 70	Límit 80	Límit 90	Límit 100	Límit 110	Límit 120	Límit 130	Multa	Punts
Greu	21 40	31 50	41 60	51 70	61 90	71 100	81 110	91 120	101 130	111 140	121 150	131 150	100	---
Greu	41 50	51 60	61 70	71 80	91 110	101 120	111 130	121 140	131 150	141 160	151 170	151 170	300	2
Greu	51 60	61 70	71 80	81 90	111 120	121 130	131 140	141 150	151 160	161 170	171 180	171 180	400	4
Greu	61 70	71 80	81 90	91 100	121 130	131 140	141 150	151 160	161 170	171 180	181 190	181 190	500	6
Molt Greu	71	81	91	101	131	141	151	161	171	181	191	191	600	6

Nota: En els supòsits d'excés de velocitat a les autopistes i autovies d'accés a ciutats on el límit específic de velocitat de la via és inferior a 100 km/h, s'aplicarà l'import de multa que correspongui pel límit de velocitat establert, però s'aplicarà la detracció de punts corresponent al límit de 100 km.

Font: Informació extreta del portal web del Servei Català de Trànsit (https://transit.gencat.cat/web/.content/documents/normatives_i_legislacio/Quadres/velocitat.pdf).

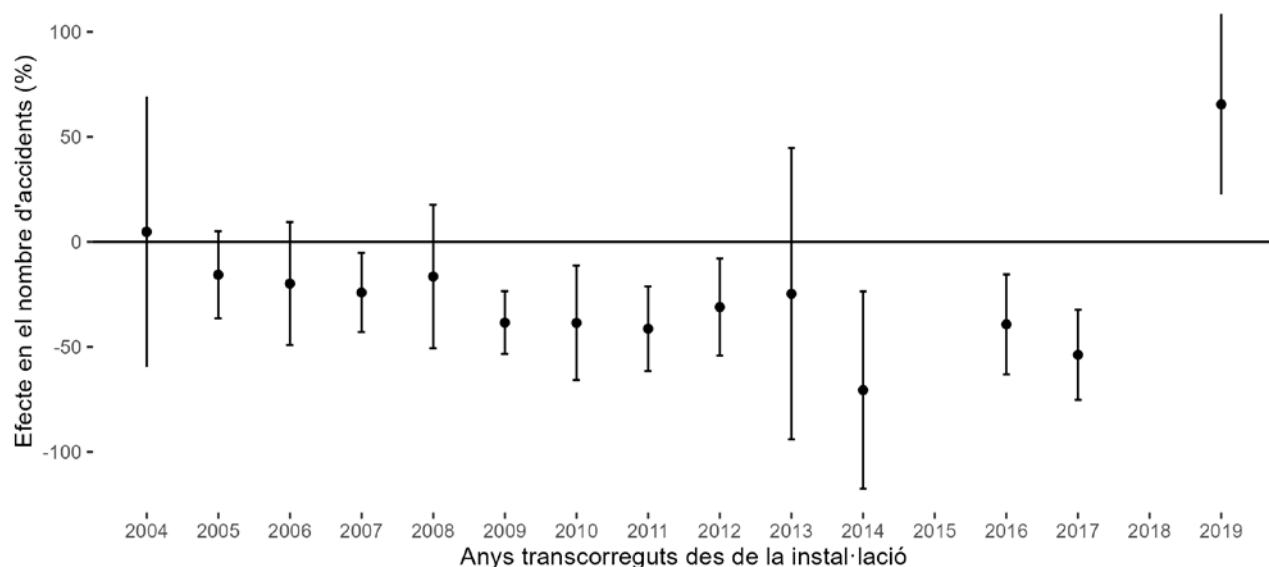
Figura 33. Nombre d'observacions de trams de tractament segons l'any respecte a l'any d'instal·lació



Notes: La Figura mostra, per al conjunt de trams de la mostra d'estimació, el nombre de trams on hi ha un control instal·lat en funció del nombre d'anys respecte a l'any d'instal·lació.

Font: elaboració pròpia.

Figura 34. Efectes dinàmics dels controls de velocitat segons l'any d'instal·lació



Notes: La Figura mostra efectes mitjans agrupats per l'any en què s'instal·len els controls, estimats mitjançant la regressió (2) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les línies verticals indiquen intervals de confiança al 95% calculats a partir d'errors estàndard agrupats per tram de carretera. Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\hat{\beta}) - 1)$. Les regressions inclouen tendències temporals lineals de tram de carretera.

Figura 35: Anàlisi de l'efecte cangur a 200 metres

	Accidents amb persones ferides			
	Punt	Contigu 1	Contigu 2	Contigu 3
	(1)	(2)	(3)	(4)
Efecte en el nombre d'accidents (%)	-26,52** (13,41)	-19,73*** (5,54)	-7,39 (10,63)	1,44 (3,94)
Mitjana de l'any anterior	1,89	0,67	0,53	0,34
Observacions	2640	2544	2473	2520
Trams de carretera	110	106	103	105
	Accidents amb víctimes greus o mortals			
	Punt	Contigu 1	Contigu 2	Contigu 3
	(1)	(2)	(3)	(4)
Efecte en el nombre d'accidents (%)	-6,52 (7,5)	-17,85*** (2,88)	-4,64 (4,95)	-1,87 (2,01)
Mitjana de l'any anterior	0,34	0,18	0,15	0,04
Observacions	2640	2544	2473	2520
Trams de carretera	110	106	103	105

Notes: $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Els coeficients s'han estimat mitjançant la regressió (1) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\hat{\beta}) - 1)$. Els errors estàndard (entre parèntesis) s'agrupen per tram de carretera. Les regressions inclouen com a controls les variables descrites al Panell B de la Figura 10 i tendències temporals lineals de tram de carretera.

Figura 36: Anàlisi de l'efecte cangur a 300 metres

Accidents amb persones ferides				
	Punt	Contigu 1	Contigu 2	Contigu 3
	(1)	(2)	(3)	(4)
Efecte en el nombre d'accidents (%)	-24.19***	-15.23**	2.59	10.24
	(10,65)	(7,9)	(5,14)	(6,12)
Mitjana de l'any anterior	1,80	0,76	0,42	0,48
Observacions	2736	2664	2640	2520
Trams de carretera	114	111	110	105
Accidents amb víctimes greus o mortals				
	Punt	Contigu 1	Contigu 2	Contigu 3
	(1)	(2)	(3)	(4)
Efecte en el nombre d'accidents (%)	-16.82***	-7.56**	-3.91**	0
	(6,6)	(4,05)	(1,85)	(2)
Mitjana de l'any anterior	0,41	0,19	0,10	0,08
Observacions	2736	2664	2640	2520
Trams de carretera	114	111	110	105

Notes: $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$. Els coeficients s'han estimat mitjançant la regressió (1) de la Secció 9.2. de l'Annex utilitzant l'estimador de Borusyak *et al.* (2024). Les estimacions estan transformades a semielasticitats exactes utilitzant la fórmula $100 * (\exp(\beta) - 1)$. Els errors estàndard (entre parèntesis) s'agrupen per tram de carretera. Les regressions inclouen com a controls les variables descrites al Panell B de la Figura 10 i tendències temporals lineals de tram de carretera.



Avaluar per millorar

A Ivàlua promovem la cultura de l'avaluació de polítiques públiques a Catalunya.
Avaluem polítiques públiques, difonem evidències, oferim formació i elaborem recursos.



Generalitat
de Catalunya



Diputació
Barcelona



Universitat
Pompeu Fabra
Barcelona