

Estudi d'identificació dels trams de concentració d'accidents de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya (2012-2016)



Març 2019

Quadern d'infraestructures i mobilitat

36

Responsable de l'estudi:

Laia Pou Reguant, Servei de Seguretat Viària i Sistemes de Gestió
Albert Gómez Ametller, Sub-direcció General d'Explotació Viària

Coordinació:

Fèlix Burgos Campo
Abel Pineda Segarra

Equip redactor:

Ingeniería de Tráfico, SL
Daniel Jordi Bibiloni
Pau Vilar Ribó
Jordi Parés Estela

Col·laboradors:

Albert Bové Chic, Infraestructures de la Generalitat de Catalunya S.A.U.

Control de versions:

Versió núm. 1
Març de 2019

Índex de continguts

1	Introducció	7
1.1	PRESENTACIÓ	7
1.2	OBJECTIUS	8
2	Metodologia.....	9
2.1	PARÀMETRES I BASES DE CÀLCUL	9
2.2	MODEL ESTADÍSTIC DE PREVISIÓ D'ACCIDENTS	12
2.2.1	<i>Hipòtesi de partida.....</i>	12
2.2.2	<i>Model lineal generalitzat.....</i>	13
2.2.3	<i>Validació i qualitat del model.....</i>	15
3	Identificació dels TCA.....	16
3.1	DETERMINACIÓ DELS TRAMS D'ELEVADA ACCIDENTALITAT	16
3.1.1	<i>Model lineal generalitzat amb distribució binomial negativa</i>	16
3.1.2	<i>Validació, interpretació i anàlisi gràfica dels models GLM.....</i>	17
3.2	IDENTIFICACIÓ I PRIORITZACIÓ DELS TCA 2012-2016	18
3.2.1	<i>El cost social de les víctimes de trànsit.....</i>	19
3.2.2	<i>Anàlisi multicriteri.....</i>	21
3.2.3	<i>Resultats: identificació i priorització dels TCA 2012-2016.....</i>	23
4	Anàlisi dels TCA.....	26
4.1	Anàlisi i caracterització general de seguretat viària dels TCA	26
4.1.1	<i>Localització dels TCA en el territori.....</i>	29
4.2	Anàlisi històrica de l'evolució dels TCA.....	30
5	Identificació dels TCA específics per a nusos.....	32
5.1	INTRODUCCIÓ	32

5.2	METODOLOGIA.....	33
5.2.1	<i>Origen i tractament de dades</i>	33
5.2.2	<i>Model</i>	33
5.3	ANÀLISI ESTADÍSTICA	34
5.3.1	<i>Anàlisi bivariant</i>	34
5.3.2	<i>Anàlisi multivariant</i>	36
5.3.3	<i>Models per a la predicció d'accidents en interseccions</i>	38
5.4	CÀLCUL DELS TCA ESPECÍFICS PER A NUSOS	39
5.4.1	<i>Bases</i>	39
5.4.2	<i>Resum dels TCA específics per a nusos identificats</i>	41
5.4.3	<i>Localització dels TCA específics per a nusos</i>	42
6	Conclusions	43

Índex de taules

Taula 1. Bases de càlcul dels TCA.....	10
Taula 2. Resum dels models lineals generalitzats (GLM)	15
Taula 3. Paràmetres dels models de regressió	17
Taula 4. Costos unitaris segons tipus de víctima	19
Taula 5. Relació entre tipus de víctimes i graveta de l'accident.....	20
Taula 6. Puntuació dels criteris de priorització de TCA.....	21
Taula 7. Funcions de transformació per a cada criteri	22
Taula 8. Participació de cada criteri sobre la combinació de criteris.....	23
Taula 9. Nombre de trams per nivell de TCA	25
Taula 10. Trams segons el tipus de via.....	26
Taula 11. Resum dels TCA identificats del nivell 1	26
Taula 12. Resum dels TCA identificats del nivell 2	27
Taula 13. Resum dels TCA identificats del nivell 3	27
Taula 14. Resum dels TCA identificats totals.....	27
Taula 15. Distribució dels TCA per àmbit territorial	28
Taula 16. Distribució dels TCA per àmbit de gestió	28
Taula 17. Distribució dels TCA per concessions	29
Taula 18. TCA històrics coincidents amb TCA 12-16.....	30
Taula 19. Anàlisi bivariant del model de TCA específic per a nusos	35
Taula 20. Anàlisi multivariant del model de TCA específic per a nusos.....	36
Taula 21. Model de predicció dels accidents amb víctimes per al càlcul per freqüència.....	38
Taula 22. Model de predicció dels accidents ponderats per al càlcul per gravetat.....	38
Taula 23. Bases de càlcul dels TCA específics per a nusos.....	39
Taula 24. Resum dels TCA específics per a nusos 2012-2016	41

Índex de figures

Figura 1.	Esquema resum de l'anàlisi d'identificació i prioritització dels TCA	11
Figura 2.	Esquema del model estadístic de previsió d'accidents	12
Figura 3.	Histograma de freqüència d'accidents amb víctimes en trams d'1km	14
Figura 4.	Histogrames resultants de les variables transformades	22
Figura 5.	Agrupació dels TCA en nivells, segons el % de trams acumulats	24
Figura 6.	Distribució dels TCA per àmbit territorial	28
Figura 7.	Distribució dels TCA per àmbit de gestió	28
Figura 8.	Localització dels TCA a les carreteres de la Generalitat de Catalunya	29
Figura 9.	TCA identificats en períodes històrics	30
Figura 10.	TCA coincidents	31
Figura 11.	Correlacions entre variables de càlcul pels TCA de nusos	37
Figura 12.	Localització dels TCA específics per a nusos a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya	42

1 Introducció

1.1 PRESENTACIÓ

El terme tram de concentració d'accidents o TCA, s'utilitza per fer referència als punts de la xarxa de carreteres on s'ha registrat una accidentalitat superior a l'esperada. Aquest estudi consisteix en una identificació purament estadística i no entra, per tant, en l'anàlisi de la causa de l'accidentalitat observada. Els trams que s'identifiquen en aquest estudi serviran com a punt de partida per a posteriors anàlisis, que seran les que hauran de determinar sobre quin o quins dels factors, que intervenen en els accidents, s'ha de treballar per millorar la sinistralitat observada: carretera, vehicle o conductor/a.

De la identificació d'aquests trams, i de la seva adequada prioritització, dependrà l'eficiència dels esforços futurs per millorar la seguretat viària.

Aquest document recull els trams de concentració d'accidents a les carreteres de titularitat de la Generalitat de Catalunya. Les dades inicials han estat els accidents produïts en aquesta xarxa durant el quinquenni que comprèn entre els anys 2012 i 2016, amb resultat de víctimes mortals, ferits greus i/o ferits lleus. Els accidents sense víctimes no s'han tingut en compte en aquest estudi. Es considera víctima mortal a tota persona que, com a conseqüència de l'accident, mori en el moment de l'accident o dins les 24 hores següents.

El nombre d'accidents que es produeixen en un tram durant un any està sotmès a variacions aleatòries degut a la mateixa naturalesa del fenomen de l'accidentalitat. Per això, a efectes d'obtenir una identificació més fiable dels TCA, es consideren les dades d'accidentalitat de cinc anys.

Les dades han estat subministrades pel Servei Català de Trànsit a partir dels qüestionaris elaborats per la Policia de la Generalitat – Mossos d'Esquadra.

Per a la identificació dels possibles trams de concentració d'accidents s'han realitzat dos càlculs, el primer considerant la freqüència i el segon tenint en compte la gravetat dels accidents. En tots dos casos els paràmetres bàsics de càlcul són els accidents dels darrers cinc anys, la intensitat mitjana diària (IMD) i la segmentació de la xarxa en intervals d'aproximadament un quilòmetre de longitud.

1.2 OBJECTIUS

L'objectiu principal de l'estudi és revisar i aplicar la metodologia desenvolupada en l'estudi d'identificació de TCA del període 2010-2014 per a identificar els trams de concentració d'accidents (TCA) del període 2012-2016 de la xarxa de carreteres gestionada per la Generalitat de Catalunya.

Així mateix, l'estudi també té com a objectiu identificar els TCA específics per a nusos (interseccions, enllaços i rotondes) adaptant la metodologia de l'estudi del període 2010-2014 a les condicions actuals de l'accidentalitat i característiques viàries.

Com a novetat d'aquest treball, es desenvolupa una metodologia més elaborada per prioritzar els trams TCA per ordre d'importància sobre la base d'una sèrie de criteris prèviament definits.

2 Metodologia

S'aplica una metodologia per identificar i prioritzar de manera fiable els TCA mitjançant l'anàlisi de la divergència entre l'accidentalitat observada de cada tram de carretera i l'accidentalitat que, en valor mitjà i per les característiques de la via, s'espera. Aquesta metodologia, tot i que s'està aplicant a Catalunya els darrers 15 anys, des de l'estudi de 2010-2014 s'ha millorat i en el present estudi ha estat adaptada.

Per definir un valor d'accidentalitat esperat a les carreteres, s'utilitza la interrelació entre el fenomen de la sinistralitat i la intensitat de vehicles que circulen per la via (intensitat mitjana diària o IMD). La hipòtesi en la qual es basa l'estudi per tal d'establir un model de relació entre l'accidentalitat i la IMD és que la primera tendeix a créixer a mesura que augmenta la segona.

Per a la identificació dels trams de concentració d'accidents s'han realitzat de forma paral·lela dues anàlisis per comparar l'accidentalitat observada amb l'accidentalitat esperada en funció de les característiques de la via. El primer, considerant la freqüència dels accidents, és a dir, el nombre total d'accidents amb víctimes del període analitzat, i el segon, considerant la gravetat dels accidents, és a dir, avaluant de manera discreta els accidents en funció del resultat de les víctimes; mortals, greus i/o lleus, donant més importància als accidents de més gravetat.

Amb la tasca anterior s'obté una sèrie de trams que destaquen per la freqüència de l'accidentalitat, o per la seva gravetat, o per ambdós motius (freqüència i gravetat). Sobre aquests trams s'aplicarà una anàlisi addicional, que permetrà considerar, a més de la freqüència i gravetat de l'accidentalitat, cinc factors addicionals: reincidència en altres períodes d'estudi, tendència (favorable o desfavorable), cost social de l'accidentalitat, i diferència amb els valors esperats d'accidentalitat (per freqüència i gravetat) per a trams de característiques similars als analitzats.

La consideració d'aquests factors en conjunt permet identificar i prioritzar els TCA definitius, de forma que s'obté una llista jerarquizada final d'aquests trams.

2.1 PARÀMETRES I BASES DE CàLCUL

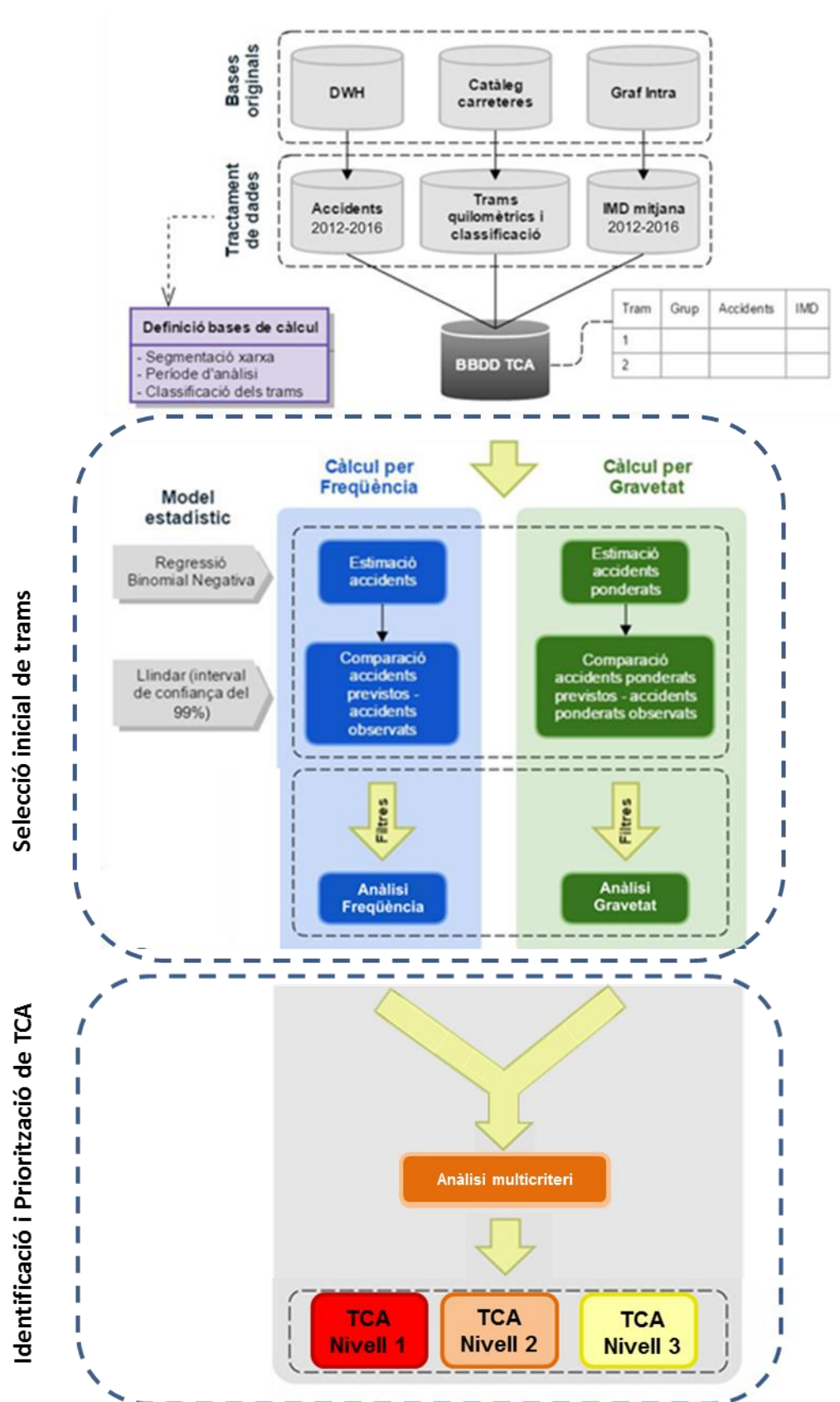
Per identificar de manera fiable els TCA cal definir unes bases de càlcul en forma de paràmetres. En estudis previs s'ha estudiat en profunditat la definició dels paràmetres que intervenen en el procés d'identificació dels TCA, analitzant i contrastant diversos escenaris per determinar-los de manera justificada. Aquest estudi aplica els paràmetres definits prèviament.

Taula 1. Bases de càlcul dels TCA

Bases de càlcul	Descripció	Valor
Longitud del tram	Discretització de la xarxa en trams per analitzar-ne la perillositat	Trams d'1 km aproximadament
Segmentació dels trams	Referència per a la definició dels trams quilomètrics	Hectòmetre +700
Període d'anàlisi	Es consideren els accidents registrats entre els anys definits en el període d'anàlisi	5 anys
Unitat d'anàlisi	Dades d'accidentalitat considerades en l'estudi	Accidents amb resultat de víctimes mortals, greus i/o lleus
Metodologies de càlcul de TCA	S'apliquen 2 metodologies diferents per a considerar tant la freqüència com la gravetat de l'accidentalitat.	TCA de Freqüència (accidents amb víctimes) i TCA de Gravat (accidents ponderats)
Ponderació	Coeficients aplicats en els accidents en funció del resultat de les víctimes de l'accident a utilitzar en la metodologia del càlcul per gravetat.	Accidents mortals → 8 Accidents greus → 5 Accidents lleus → 1
Filtratge	Condicions imposades en els trams amb l'objectiu de reduir l'efecte negatiu de la naturalesa aleatòria dels accidents en la definició dels TCA	Els TCA de freqüència han d'haver registrat un mínim de 15 accidents en els últims 5 anys. Els TCA de gravetat han d'haver registrat un mínim de 3 accidents mortals i/o greus en els últims 5 anys.
Classificació dels trams	Agrupació dels trams de la xarxa amb patrons de comportament similars en funció de les característiques de la via	<u>NDZI</u> : Vies convencionals no desdoblades en zona interurbana <u>ZU</u> : Travesseres <u>D</u> : Vies desdoblades
Model estadístic	Tècnica matemàtica per a relacionar els accidents amb la intensitat del trànsit de la via (IMD)	Model lineal generalitzat amb distribució binomial negativa per a la variable dependent i relació funcional identitat
Llindar d'identificació trams elevada accidentalitat	Estratègia per identificar aquells trams on l'accidentalitat és significativament superior a la prevista sobre la base del model	Interval superior de confiança del 99% extret del model
Identificació i prioritització de TCA	Procediments per identificar i jerarquitzar els TCA obtinguts de cara a futures actuacions	Anàlisi multicriteri per a l'identificació i prioritització dels TCA 2012-2016

En l'esquema següent es mostra l'estratègia seguida per a l'obtenció dels TCA, des de les bases de dades d'origen fins a les llistes dels trams classificats per ordre de prioritat.

Figura 1. Esquema resum de l'anàlisi d'identificació i priorització dels TCA



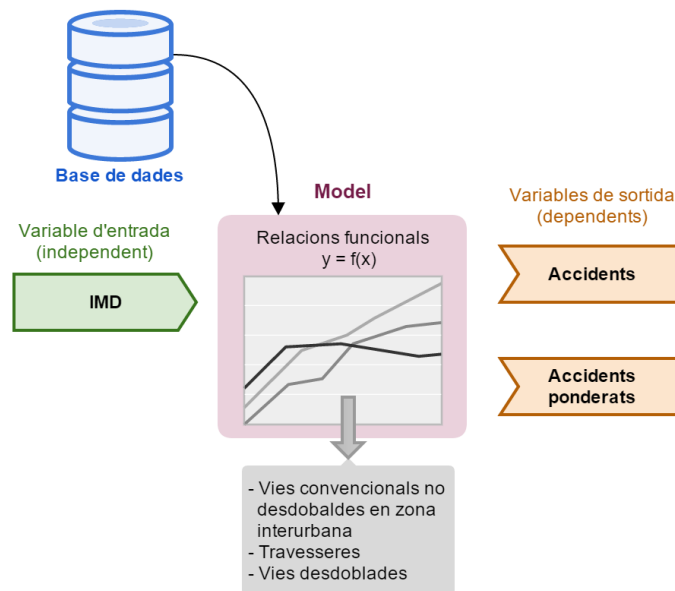
2.2 MODEL ESTADÍSTIC DE PREVISIÓ D'ACCIDENTS

En el present estudi la identificació dels TCA es basa en la comparativa entre els accidents registrats en un tram de carretera i els accidents que es poden esperar que es registrin en funció de les característiques viàries i de mobilitat del tram en qüestió. Per determinar la tendència de l'accidentalitat en cada un dels trams analitzats s'elabora un model estadístic de previsió d'accidents.

2.2.1 Hipòtesi de partida

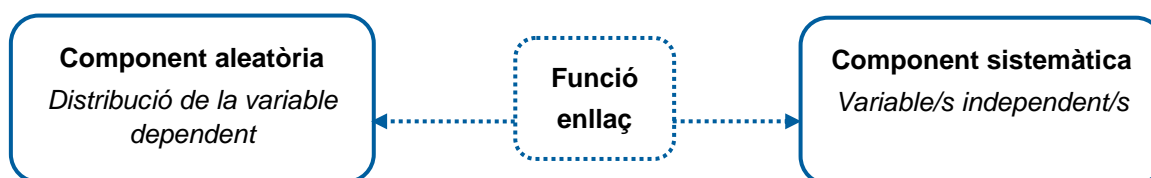
El model estadístic de previsió d'accidents ens servirà per conèixer quin és el comportament de l'accidentalitat ateses certes característiques de la via. El model es basa en la hipòtesi, que posteriorment haurà de ser verificada, que l'accidentalitat depèn directament de la intensitat de vehicles que circulen per la via, és a dir, la intensitat mitjana diària (IMD). Com és lògic, l'accidentalitat depèn de molts més factors de la infraestructura i per això el model s'elaborarà per a diferents grups de trams de característiques semblants (vies convencionals no desdoblades en zona interurbana, travesseres i vies desdoblades). D'aquesta manera, estem incloent indirectament en el model dues variables més: si el tram està desdoblado o no, la zona en què es localitza el tram (urbana o interurbana). Donat que no només ens interessa modelitzar la freqüència en la que es produeixen els accidents sinó que també s'analitza la gravetat dels mateixos, s'elaboraran dos models paral·lels per a cada un dels grups de trams, un per modelitzar els accidents amb víctimes i l'altre per modelitzar els accidents ponderats.

Figura 2. Esquema del model estadístic de previsió d'accidents



2.2.2 Model lineal generalitzat

Generalment és complicat complir amb les condicions dels models de regressió lineal, ja que les dades que necessitem analitzar difícilment es comporten seguint una distribució normal, entre altres requisits. És per això que sorgeix la necessitat d'aplicar una altra tipologia de model estadístic i així poder estimar de manera estadísticament vàlida els accidents succeïts en una xarxa de carreteres. Aquests models alternatius a la regressió lineal són els models lineals generalitzats (GLM). Són models desenvolupats per unificar diversos models estadístics, entre els quals el model de regressió lineal, i es basen en la relació de la **distribució aleatòria** de la variable dependent del model (accidentalitat) amb la **component sistemàtica** (variable/s independent/s). El mètode utilitzat per calcular els paràmetres dels models lineals generalitzats és l'estimació per **màxima versemblança**, basat en l'estudi de la distribució que defineix la mostra de dades de la variable dependent.



El principal avantatge que presenten els models lineals generalitzats és la assumpció que la variable dependent, y , està generada per una funció de **distribució de la família exponencial**. En el cas de l'anàlisi de l'accidentalitat es compleix aquesta hipòtesi i és per això que els models lineals generalitzats resulten adequats.

Per relacionar el component aleatori (distribució de la variable dependent) amb el component sistemàtic (variable independent), els models lineals generalitzats utilitzen una **funció enllaç**. Aquesta relació funcional pot ser la funció identitat, que dona lloc al model de regressió lineal clàssic, però també poden ser altres funcions com la funció logarítmica, la funció arrel quadrada, la funció lògit, etc. La funció enllaç dependrà de les característiques de les dades analitzades i de la distribució de la variable dependent.

Les distribucions de la variable dependent més utilitzades per definir el component aleatori del model que expliqui el fenomen de l'accidentalitat, atesa la característica de variable discreta dels accidents, són:

- Poisson

Distribució que s'utilitza per a dades que defineixen un comptatge, és a dir, valors enters i positius.

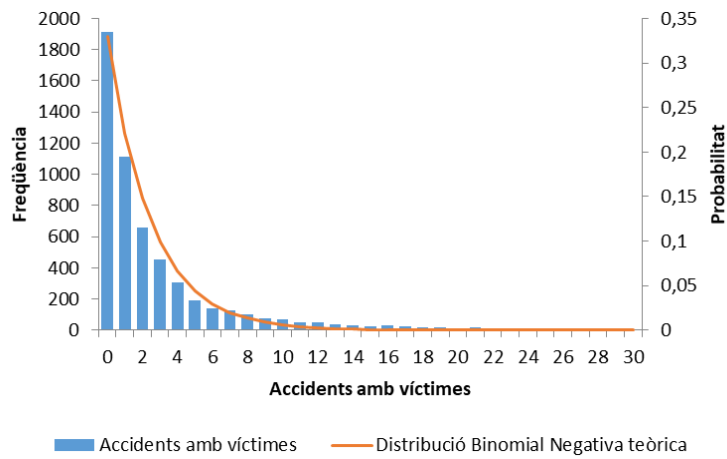
Apareixen dues problemàtiques en l'ajust de les dades a la distribució de Poisson i és que aquesta distribució suposa que la mitjana i la variància són iguals i no accepta una alta freqüència de zeros, fets que es donen en nombroses ocasions.

- Binomial negativa

És una distribució de probabilitat discreta que s'utilitza com a alternativa a la distribució de Poisson en els casos que les dades mostrin una gran heterogeneïtat atès que no es compleixi la condició de mitjana i variància iguals, i en casos amb una alta freqüència de zeros dins la mostra de dades a analitzar.

S'avalua l'adequació de la distribució dels accidents ponderats del quinquenni comprès entre els anys 2012 i 2016 a una distribució binomial negativa.

Figura 3. Histograma de freqüència d'accidents amb víctimes en trams d'1km



S'exposen les diferents opcions dels models lineals generalitzats i es ressalta l'opció escollida en el present anàlisi. Per una banda, s'escull la regressió binomial negativa donat que l'accidentalitat mostra un comportament que s'ajusta perfectament a la distribució de probabilitat binomial negativa. A més, l'accidentalitat és una variable discreta i amb forta presència de valors nuls, aspectes que preveu aquesta tipologia de distribució. Per altra banda, la relació funcional escollida per relacionar l'accidentalitat amb la variable independent del model (IMD) és la identitat. Amb aquesta elecció es considera que l'accidentalitat i la IMD es relacionen linealment. Aquesta hipòtesi simplifica el model i la seva interpretació. Serà vàlida si la interpretació dels resultats del model així ho indiquen.

Taula 2. Resum dels models lineals generalitzats (GLM)

Component aleatori <i>Identifica la variable resposta (accidentalitat) i la seva distribució de probabilitat</i>	Component sistemàtic <i>Especifica les variables explicatives</i>	Funció enllaç <i>Funció del valor esperat de la variable resposta (accidentalitat)</i>	
Distribució de Poisson (recomptes)	Variable/s independent/s (IMD)	Identitat: $f(x) = y$	Dades contínues amb errors normals
Distribució binomial negativa (recomptes amb alta freqüència de zeros i/o sobredispersió)		Logit: $f(x) = \log\left(\frac{y}{n-y}\right)$	Proporcions amb errors binomials
Distribució Gamma (dades contínues amb coeficient de variació constant i sense valors nuls)		Logarítmica: $f(x) = \log(y)$	Recomptes amb errors de tipus Poisson
Distribució exponencial (dades contínues i no nul·les)		Recíproca: $f(x) = \frac{1}{y}$	Dades contínues amb errors gamma
		Arrel quadrada: $f(x) = \sqrt{y}$	Recomptes
		Exponencial: $f(x) = y^n$	Funcions de potencia

2.2.3 Validació i qualitat del model

El procés de validació dels models lineals generalitzats és semblant al dels models de regressió lineal, en el sentit que s'han de contrastar les tres hipòtesis que es formulen sobre els residus de la regressió que, com a recordatori, són la diferència entre el valor real i el valor pronosticat pel model. En primer lloc, el test d'hipòtesi és un test de variància que ens indica la probabilitat que es compleixi la hipòtesi que les dues variables del model no estan relacionades, si la probabilitat és baixa determinarem que les dues variables estan relacionades. Seguidament, s'analitza la distància de Cook, que identifica comportaments extrems de les dades i que estarien perjudicant la interpretació dels resultats. Finalment, s'analitza la distribució, els residus no han de mostrar patrons de comportament i, per tant, distribuir-se de manera dispersa, el que denota independència.

L'anàlisi de la qualitat predictiva del model respecte de les dades és particular i es realitza analitzant dos factors; els **tests de significació per als estimadors del model** (variable independent) i la **quantitat de variància explicada pel model**. En els models lineals generalitzats s'avalua la quantitat de variabilitat de la variable dependent que explica el model generat mitjançant la **desviació** (D^2) que, com més gran sigui més ajustat serà el model a l'hora de realitzar previsions. Hi ha un altre criteri per avaluar el model anomenat "Criteri d'Informació d'Akaike (AIC)". Aquest model analitza tant l'ajust del model a les dades com la complexitat del model. Com més petit és el valor AIC millor és el model.

3

Identificació dels TCA

En aquest apartat es desenvoluparan les anàlisis estadístiques adients per identificar els trams de la xarxa de carreteres que han tingut una accidentalitat superior a l'esperada durant el quinquenni 2012-2016. Un cop identificats aquests trams d'elevada accidentalitat, s'efectuarà una anàlisi addicional que servirà per incloure al model nous paràmetres que ajudaran, d'una banda, a millorar la robustesa dels resultats, i d'altra, a prioritzar els resultats obtinguts. En definitiva, es treballarà en dues fases:

- Anàlisi de les relacions funcionals extretes dels diferents models de previsió d'accidents, així com els valors llindar d'accidentalitat que determinaran els trams on s'ha observat que l'accidentalitat és significativament superior a la prevista pel model. Es realitzarà també la validació dels models generats des del punt de vista estrictament estadístic.
- Anàlisi de variables addicionals, que serviran per complementar la robustesa dels resultats de l'anterior punt, i que permetran, per una banda, identificar la llista definitiva dels TCA 2012-2016 i, per altra, establir la seva prioritització.

3.1 DETERMINACIÓ DELS TRAMS D'ELEVADA ACCIDENTALITAT

3.1.1 *Model lineal generalitzat amb distribució binomial negativa*

La relació funcional utilitzada per relacionar els accidents amb la IMD de cada tram és una equació lineal, tal i com es comenta en l'apartat anterior:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x$$

En què y fa referència al valor de l'accidentalitat predit, ja siguin accidents amb víctimes o accidents ponderats, x és la variable independent del model, és a dir, la IMD mitjana dels anys considerats en l'anàlisi i els β_0 i β_1 són els coeficients de la regressió.

Els coeficients del model elaborat per modelitzar l'accidentalitat en funció de la tipologia de via, de la IMD i de l'entorn, per a cada procés de càlcul (freqüència i gravetat) són:

Taula 3. Paràmetres dels models de regressió

Anàlisi	Accidentalitat	Coefficient	Vies convencionals no desdoblades en zona interurbana	Travesseres	Vies desdoblades
Freqüència	Esperada	β_0	0,31	0,20	-0,83
		β_1	6,32E-04	7,02E-04	3,61E-04
	Límit	β_0	0,37	0,41	-0,35
		β_1	6,74E-04	8,06E-04	4,05E-04
Gravetat	Esperada	β_0	0,64	0,48	-0,41
		β_1	1,02E-03	1,03E-03	4,62E-04
	Límit	β_0	0,75	0,82	0,45
		β_1	1,10E-03	1,20E-03	5,30E-04

3.1.2 Validació, interpretació i anàlisi gràfica dels models GLM

Per validar estadísticament els models s'analitzen els paràmetres següents:

- Test d'hipòtesi

El p-value ha de ser més petit pel que fa al nivell de significació (5%) establert per al càlcul dels models GLM i dels intervals de confiança. En tots els models de previsió d'accidents s'observa com en el camp "Pr (>|z|)" la probabilitat de que el p-value sigui més gran que el nivell de significació és més petit que 2e-16 (és a dir 0). Per tant, hi ha dependència lineal de les variables relacionades.

- Distància de Cook

La distància de Cook no ha de superar la unitat, sinó s'han de revisar els valors que tinguin una distància de Cook superior a 1. En cap dels gràfics dels diferents models calculats s'observen distàncies superiors a la unitat.

- Independència

El model és vàlid si en el gràfic que es relacionen els residus amb la variable independent (IMD) no s'observen patrons de comportament (en els diferents gràfics s'observa dispersió i per tant independència). Tot i això, s'observa també una certa tendència negativa. Aquesta tendència negativa denota sobredispersió en les dades però aquest fet no influeix negativament en la validació del model ja que amb la distribució binomial negativa suporten gran sobredispersió de les dades. Es comprova observant que el valor del paràmetre de dispersió "Theta" és pròxim a 1. Podríem tenir sobredispersió si aquest valor fos significativament superior o inferior a 1.

En la fase **d'interpretació**, bàsicament s'analitza la desviació (D2). Aquest paràmetre pren valors entre 0 i 1. Com més gran és, millor qualitat predictiva proporcionarà el model. Els valors de les D2 dels models es mouen prop de 0,32 i 0,46. Per tant, tenint present que el model dista

de poder predir amb exactitud l'accidentalitat, es considera que el percentatge de variació de la variable dependent explicat pel model és acceptable i, per això, és correcte utilitzar-lo per a detectar valors d'accidentalitat extrems.

3.2 IDENTIFICACIÓ I PRIORITZACIÓ DELS TCA 2012-2016

Aplicant la metodologia explicada al punt anterior s'obté un conjunt de trams que han registrat una accidentalitat superior a l'esperada segons les seves característiques tècniques i la mobilitat que suporten.

A partir d'aquesta llista de trams s'elabora una anàlisi multicriteri, que permet:

- Identificar els TCA 2012-2016 definitius, eliminant aquells trams d'elevada accidentalitat, obtinguts al punt anterior, que no compleixin uns llindars mínims en aquesta anàlisi multicriteri.
- Establir una priorització dels TCA 2012-2016 identificats.

Per a la realització de l'anàlisi multicriteri, s'han definit sis criteris que participaran en la definició i priorització dels TCA 2012-2016:

1. Criteri de reincidència: es refereix al nombre de vegades que el tram analitzat ha estat identificat en períodes anteriors. El valor màxim de repeticions és 5 i el mínim és 0.
2. Criteri de tendència: es refereix a la pendent de la recta de regressió de l'evolució dels accidents al llarg dels 5 anys del període estudiat. El valor de la tendència pot ser positiva o negativa.
3. Criteri de potencial de millora de freqüència: és la diferència entre el nombre d'accidents registrats entre els anys d'estudi i el valor de l'accidentalitat límit determinada pel models de previsió d'accidents segons el càlcul per freqüència. El potencial de millora pretén identificar l'oportunitat de reducció de l'accidentalitat en cada un dels trams, com més sigui el potencial de millora més serà l'oportunitat del tram. Aquesta variable s'anomenarà en endavant "Dif Acc (Freq)".
4. Criteri de potencial de millora de gravetat: és la diferència entre el nombre d'accidents registrats ponderats per gravetat entre els anys d'estudi i el valor de l'accidentalitat límit determinada pel models de previsió d'accidents segons el càlcul per gravetat. El potencial de millora pretén identificar l'oportunitat de reducció de l'accidentalitat en cada un dels trams, com més sigui el potencial de millora més gran serà l'oportunitat del tram. Aquesta variable s'anomenarà en endavant "Dif Acc (Grav)".
5. Criteri d'Ordre: si el tram s'ha classificat com a primer o segon ordre.
6. Criteri de cost social: fa referència en termes de reducció de cost social que tindria una actuació en els trams identificats. Per valorar el cost social dels accidents als trams identificats s'utilitzarà la valoració del cost de les víctimes que es defineix al sistema

d'avaluació d'inversions en transport (SAIT), de la Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat.

3.2.1 El cost social de les víctimes de trànsit

Dels criteris esmentats a la llista anterior, es fa una explicació particularitzada del “cost social de les víctimes de trànsit”, atesa la importància que té, ja que és, en definitiva, el que es vol reduir, tant com sigui possible, mitjançant la reducció de la sinistralitat.

La Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DGIM) va publicar, el 2015, el sistema d'avaluació d'inversions en transport (SAIT), que és el document que defineix la metodologia per a les avaluacions socioeconòmiques que s'han de realitzar per a la prioritització i execució de les principals actuacions viàries i ferroviàries.

La metodologia pretén avaluar, des d'un punt de vista socioeconòmic, tots els beneficis i costos que té qualsevol actuació viària i ferroviària. En funció dels resultats que s'obtenen arran de l'aplicació d'aquesta metodologia, es poden comparar i prioritzar les diverses actuacions viàries o ferroviàries possibles.

En l'àmbit de les obres viàries, un dels principals beneficis que es persegueix amb qualsevol actuació és la reducció de les víctimes de trànsit. És bàsic, per tant, tenir una adequada valoració del benefici social que implica una disminució de les víctimes (valoració de estalvi de cost social gràcies a una eventual disminució de les víctimes).

Per valorar el cost social de les víctimes de trànsit, el SAIT ha considerat diversos tipus de costos, tal com es defineix al document publicat. Es consideren costos econòmics directes, com els d'administració ocasionats per l'accident, o els costos econòmics indirectes com la pèrdua de capacitat productiva de les víctimes. D'altra banda, es considera al valor intangible (seguretat i vida), relacionat amb el valor subjectiu d'una vida i amb les conseqüències negatives personals de la víctima. A la taula següent es poden veure els valors de referència del manual per a les víctimes de trànsit:

Taula 4. Costos unitaris segons tipus de víctima

Costos unitaris	Morts (30 dies)	Ferits greus	Ferits lleus
Directes	516	2.902	399
Indirectes	732.510	6.481	537
Intangibles	1.980.435	218.910	18.899
Totals	2.713.462	228.294	19.835

A la taula anterior es pot veure que els costos socials de les víctimes de trànsit són deguts, principalment, a aspectes intangibles.

El document també té previst un cost per accident, calculat segons proporcions estimades de víctimes (per gravetat) per a cada tipus d'accident (per gravetat):

Taula 5. Relació entre tipus de víctimes i graveta de l'accident

Relació víctimes/accident	Ràtio morts/accident	Ràtio greus/accident	Ràtio lleus/accidents	Cost total
Accident mortal	1,17	0,54	0,65	3.300.356
Accident greu	0	1,21	0,64	288.501
Accident lleu	0	0	1,46	28.886

A la taula anterior es pot veure que un accident mortal té el cost social aproximat de 114 accidents lleus, i un accident greu té el cost social aproximat de 10 accidents lleus.

Segons les dades anteriors, i considerant que les dades de víctimes d'accidents poden fluctuar segons les dades particulars analitzades (i, per tant, poden variar lleugerament les proporcions de víctimes per a cada tipus d'accident), per a aquest estudi s'ha adoptat la funció següent de cost social dels accidents:

$$\text{Cost social d'accidents} = 100 * \text{Acc mortals} + 10 * \text{Acc greus} + \text{Acc lleus}$$

El resultat d'aquesta expressió s'hauria d'interpretar com a cost social expressat en termes de "nombre accidents lleus equivalents".

3.2.2 Anàlisi multicriteri

En aquest apartat es donarà un valor a cadascun dels trams d'elevada accidentalitat obtinguts a l'apartat 3.1. Des d'un punt de vista de la societat, sens dubte el que interessa és tractar aquells trams que presenten un cost social més elevat, ja que la seva solució permetrà els millors beneficis socials.

El problema d'aquest plantejament és que no és fàcil adoptar-lo tenint en compte que els accidents mortals es presenten, en termes relatius, en molt poques ocasions comparant-los amb la resta d'accidents (greus i lleus). Aquestes baixes xifres de l'accidentalitat mortal fa que l'existència o no d'aquest tipus d'accidents tinguin un elevat component aleatori.

Si consideréssim únicament aquest factor (cost social), com a factor per identificar i prioritzar els TCA, els resultats es concentrarien molt en els trams on hi ha hagut algun accident mortal, independentment de la presència o no d'altre tipus d'accidentalitat, i això implicaria que els resultats de tota la tasca d'identificació de TCA dependria molt de l'aleatorietat.

És per aquest motiu que, a més del cost social, per a la identificació i priorització dels TCA es consideraran els altres 5 factors enumerats a la introducció de l'apartat 3.2.

S'han calculat els valors de les sis variables per a tots els trams d'elevada accidentalitat detectats i s'han obtingut els rangs de valors presentats detallats en la taula següent:

Taula 6. Puntuació dels criteris de priorització de TCA

Criteri	Variable	Valors
Reincidència	Discreta	0 a 5
Tendència	Contínua	-5,1 a 4,1
Dif Acc (Freq)	Contínua	-12,9 a 150,9
Dif Acc (Grav)	Contínua	-9,4 a 157,2
Ordre	Discreta	1r o 2n
Cost Social	Contínua	15 a 809

Atès que les variables són de diferent naturalesa, per considerar-les conjuntament es fa una anàlisi multicriteri. Els valors originals de cadascuna de les variables es transformen linealment, de forma que els valors transformats impliquin una ponderació de cada variable que sigui coherent amb la seva importància. S'han considerat els punts següents:

- Hi ha variables amb valors negatius. Quan aquestes variables prenen valors negatius, el tram és menys greu. Per exemple, els valors negatius de tendència han de promoure que el tram sigui menys prioritari (ha de prendre valors negatius també en el valor transformat final).

- Els valors transformats màxims i mínims de cada variable no seran iguals, ja que les distribucions de valors de cadascuna no són homogènies, i han estat calibrades per tal que la participació individual de cada variable sigui proporcional a la seva importància.

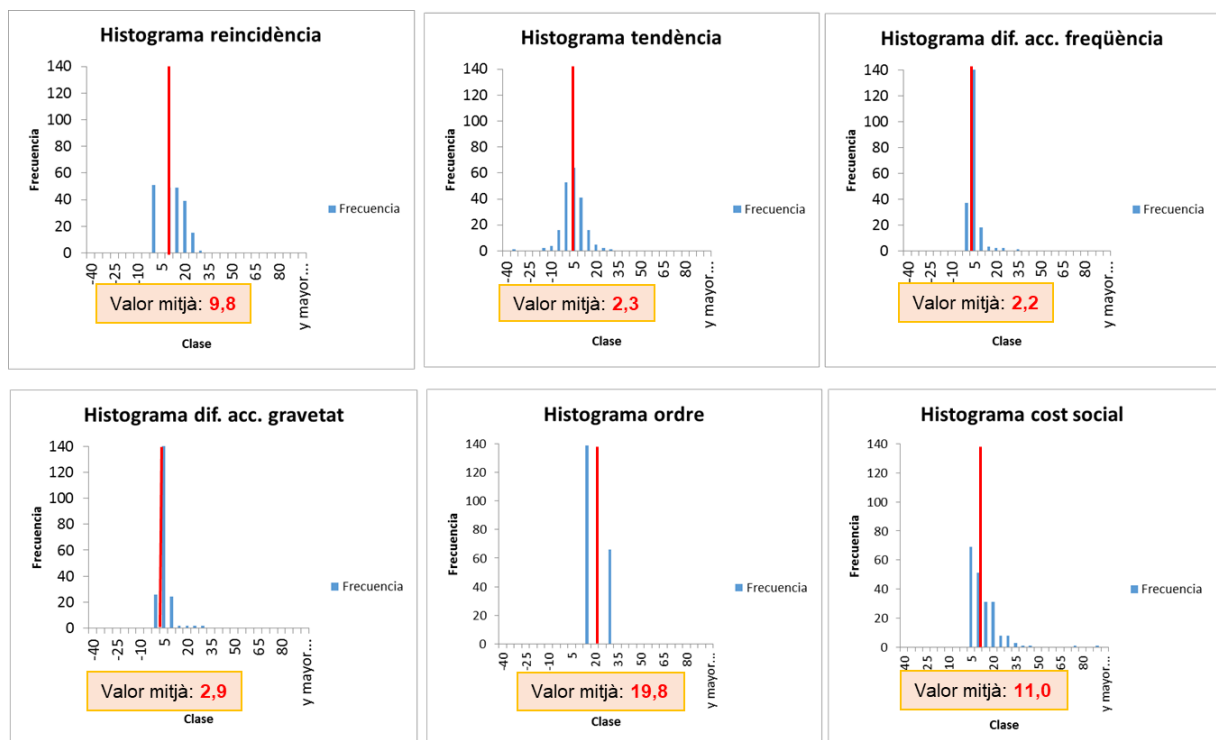
Fent els càlculs de calibratge, s'obtenen les funcions de transformació següents, i els següents valors transformats (mínims i màxims) de cada variable:

Taula 7. Funcions de transformació per a cada criteri

Paràmetre	Valor mínim real	Valor màxim real	Funció de transformació	Valors mínims transformats	Valors màxims transformats
Reincidència	0	5	$y = 6 * x$	0	30
Tendència	-5,1	4,1	$y = 7,137 * x$	-37,3	30
Dif Acc (Freq)	-12,9	150,9	$y = 0,1988 * x$	-2,57	30
Dif Acc (Grav)	-9,4	157,2	$y = 0,1908 * x$	-1,8	30
Ordre	1	2	$y = 45 - 15 * x$	15	30
Cost Social	15	809	$y = 0,1112 * x$	1,67	90

Aplicant aquestes transformacions s'obtenen uns valors de cada variable que es poden representar mitjançant histogrames:

Figura 4. Histogrames resultants de les variables transformades



Es pot observar en la figura anterior que, tot i que la variable cost social pot prendre valors transformats fins a 90, en realitat únicament 4 dels trams d'elevada accidentalitat analitzats superen el valor 35, i la mitjana de tots és 11,02 (valor semblant a la variable reincidència, i clarament per sota de la variable ordre).

Considerant la distribució real de totes les variables transformades, es pot fer el quadre següent:

Taula 8. Participació de cada criteri sobre la combinació de criteris

	Reincidència	Tendència	Dif Acc. Freq.	Dif Acc. Grav	Ordre	Cost social
Valor màxim	30	30	30	30	30	90
Valor mínim	0	-37,3	-2,6	-1,8	15	1,7
Valor mitjà	9,8	2,3	2,2	3,0	19,8	11,0
% participació	20,3%	4,8%	4,5%	6,2%	41,2%	22,9%

Considerant que el valor final per identificar i prioritzar els TCA serà la suma de les sis variables i d'acord amb la distribució real de cadascuna de les variables transformades, es pot concloure que :

- La variable que té més pes és l'ordre (prop del 40%).
- Les dues variables següents més importants són la Reincidència i el Cost social (prop del 20%).
- Per acabar, les tres variables amb menys pes – prop del 5%-, són la Tendència, Dif Acc. Freq (potencial de millora de freqüència) i Dif Acc. Grav (potencial de millora de gravetat).

3.2.3 Resultats: identificació i priorització dels TCA 2012-2016

La suma de les 6 variables transformades explicades al punt anterior permeten jerarquitzar els trams d'elevada accidentalitat observats. El conjunt de les variables representen els factors que es volen considerar per identificar de forma fiable els TCA 2012-2016. Així:

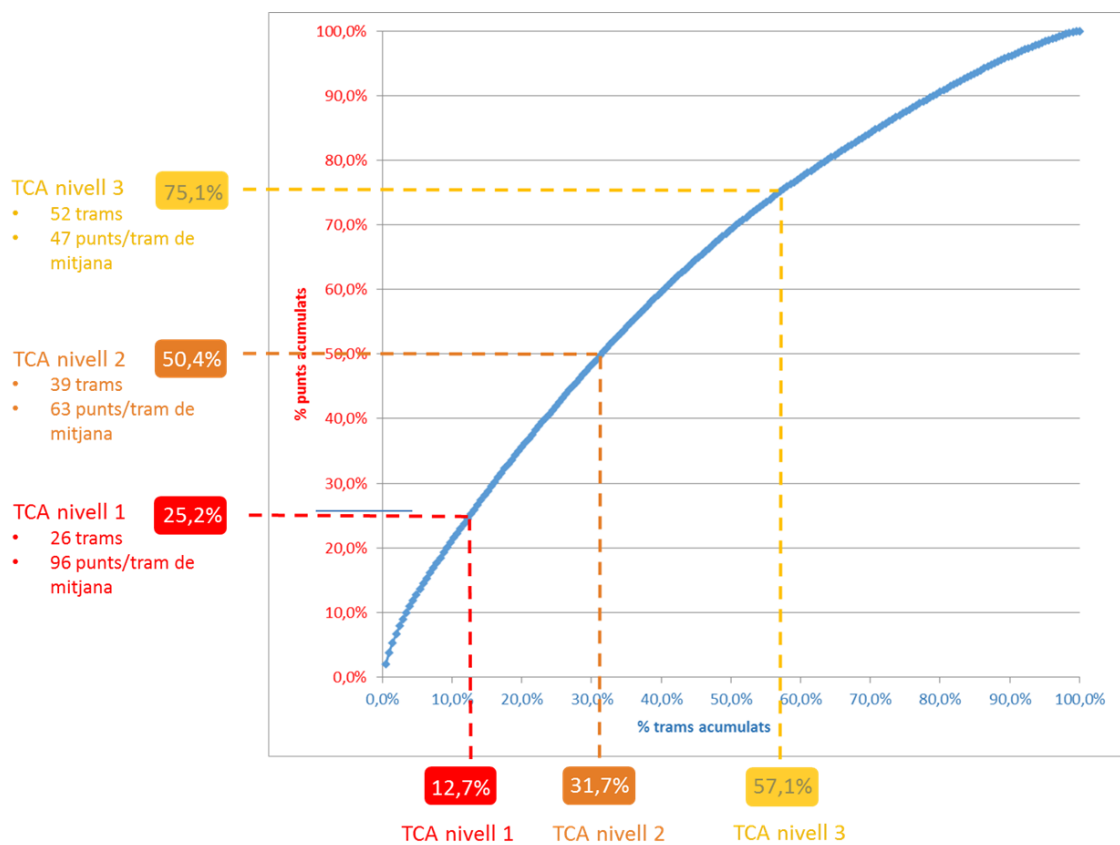
- Les variables reincidència i ordre ens indiquen com de robusta és la identificació del TCA
- Les variables Dif Acc. Freq (potencial de millora de freqüència), Dif Acc. Grav (potencial de millora de gravetat), i sobretot, la variable Cost social, ens indiquen com de beneficiós serà tractar amb èxit els TCA identificats
- La variable tendència disminueix la gravetat d'aquells TCA que tenen evolució favorable, i penalitzen aquells amb evolució desfavorable.

En conseqüència, es pot dir que com més alta és la suma de les sis variables més important serà el TCA, en termes de gravetat de l'accidentalitat que registra i robustesa de la seva identificació.

Aplicant la metodologia descrita, s'obté una llista en què, per a cada tram avaluat, s'obté una puntuació (suma de les sis variables transformades). Com més gran és aquest valor, més importància tindrà el tram per ser considerat TCA (en termes d'accidentalitat i robustesa dels seus registres). Així, per exemple, el primer tram, amb un valor de 200, és més greu que el tram desè, amb un valor de 86, i molt més greu que el darrer tram analitzat, amb un valor de 2.

Ordenant els trams de més importants a menys importants, es pot obtenir el gràfic següent en què es representa com van evolucionant els punts acumulats (els obtinguts per suma de les sis variables) conforme es van agregant trams:

Figura 5. Agrupació dels TCA en nivells, segons el % de trams acumulats



Al gràfic es pot observar que els primers **26 trams** tenen una mitjana de 96 punts/tram. Aquests trams representen un 12,7% del total de trams analitzats, i acumulen un 25% dels punts totals. Aquests trams, els de més gravetat, es defineixen com a **TCA de nivell 1**.

Els següents **39 trams** tenen una mitjana de 63 punts/tram. Aquests trams representen un 19% del total de trams analitzats (31,7% si es consideren conjuntament amb el grup anterior), i acumulen un 25% dels punts totals (50% si s'agreguen al grup anterior). Aquests trams, de menys gravetat que el grup anterior, es defineixen com a **TCA de nivell 2**.

Els següents **52 trams** tenen una mitjana de 47 punts/tram. Aquests trams representen un 25% del total de trams analitzats (57,1% si es consideren conjuntament amb els dos grups anteriors), i acumulen un 25% dels punts totals(75% si es consideren conjuntament amb els dos grups anteriors). Aquests trams, de menys gravetat, es defineixen com a **TCA de nivell 3**.

La resta de trams que s'han utilitzat per fer aquesta anàlisi d'identificació/priorització no es defineixen com a TCA, ja que la puntuació obtinguda és clarament inferior a la dels grups anteriors (27 punts/tram de mitjana). Això implica que o bé la identificació es faria amb menys robustesa que als casos anteriors, o els seus registres, en termes d'accidentalitat, són clarament inferiors.

A la taula següent se sintetitzen aquests resultats.

Taula 9. Nombre de trams per nivell de TCA

	Trams
TCA nivell 1	26
TCA nivell 2	39
TCA nivell 3	52
Total	117

4 Anàlisi dels TCA

4.1 Anàlisi i caracterització general de seguretat viària dels TCA

En total s'obtenen 117 TCA. D'aquests trams, s'identifiquen 65 de primer ordre (identificats en el càlcul per freqüència i per gravetat) i 52 de segon ordre (identificats en el càlcul per freqüència o per gravetat). Els 117 TCA identificats representen el 2,1% del total de trams de la xarxa, però s'hi produeix el 21,2 % del total d'accidents amb víctimes.

En la fase de priorització, s'han classificat els 117 TCA en tres grups segons el nivell d'importància. En el nivell 1 hi ha classificats 26 TCA (22,22%), en el nivell 2 n'hi ha 39 (33,33%) i en el nivell 3 n'hi ha 52 (44,44%).

El 45,3% del total de TCA es concentren en vies convencionals no desdoblades en zona interurbana. Les vies desdoblades concentren el 34,2% dels TCA, mentre que el grup de travesseres inclou el 20,5% dels TCA totals.

Taula 10. Trams segons el tipus de via

Tipus de via	Descripció
NDZI	Vies convencionals no desdoblades en zona interurbana
ZU	Travesseres (vies convencionals en zona urbana)
D	Vies desdoblades

Taula 11. Resum dels TCA identificats del nivell 1

TCA de Nivell 1									
Tipus via	TCA		Trams		Trams que són TCA	Trams que superen el llindar de la regressió	Trams exclosos pel filtre	Accidents en TCA	
NDZI	9	34,6%	4297	77,1%	0,2%	847	98,9%	396	3,4%
ZU	5	19,2%	629	11,3%	0,8%	97	94,8%	291	7,5%
D	12	46,2%	644	11,6%	1,9%	81	85,2%	1352	19,2%
Total	26	100%	5570	100%	0,5%	1025	97,5%	2039	9,1%

Taula 12. Resum dels TCA identificats del nivell 2

TCA de Nivell 2									
Tipus via	TCA		Trams		Trams que són TCA	Trams que superen el llindar de la regressió	Trams exclosos pel filtre	Accidents en TCA	
	Nº	%	Nº	%				Nº	%
NDZI	20	51,28%	4297	77,15%	0,47%	847	97,6%	511	4,45%
ZU	6	15,38%	629	11,29%	0,95%	97	93,8%	237	6,08%
D	13	33,33%	644	11,56%	2,02%	81	84,0%	522	7,41%
Total	39	100%	5570	100%	0,70%	1025	96,2%	1270	5,66%

Taula 13. Resum dels TCA identificats del nivell 3

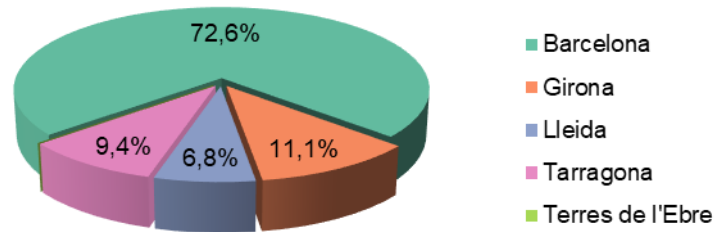
TCA de Nivell 3									
Tipus via	TCA		Trams		Trams que són TCA	Trams que superen el llindar de la regressió	Trams exclosos pel filtre	Accidents en TCA	
	Nº	%	Nº	%				Nº	%
NDZI	24	46,15%	4297	77,15%	0,56%	847	97,2%	450	3,92%
ZU	13	25,00%	629	11,29%	2,07%	97	86,6%	426	10,94%
D	15	28,85%	644	11,56%	2,33%	81	81,5%	565	8,02%
Total	52	100%	5570	100%	0,93%	1025	94,9%	1441	6,43%

Taula 14. Resum dels TCA identificats totals

TCA Totals									
Tipus via	TCA		Trams		Trams que són TCA	Trams que superen el llindar de la regressió	Trams exclosos pel filtre	Accidents en TCA	
	Nº	%	Nº	%				Nº	%
NDZI	53	45,30%	4297	77,15%	1,23%	847	93,7%	1357	11,81%
ZU	24	20,51%	629	11,29%	3,82%	97	75,3%	954	24,49%
D	40	34,19%	644	11,56%	6,21%	81	50,6%	2439	34,64%
Total	117	100%	5570	100%	2,10%	1025	88,6%	4750	21,18%

En l'àmbit territorial de Barcelona és on s'hi concentren major nombre de TCA, concretament el 64,9%. En l'àmbit territorial de Lleida s'identifica l'11,7% dels TCA, en canvi les carreteres concentren el 8,7% dels vehicles-quilòmetre del total de la xarxa. En aquesta mateixa línia, en l'àmbit territorial de Tarragona s'hi concentra el 7,8% dels TCA però el 5,9% dels vehicles-quilòmetre.

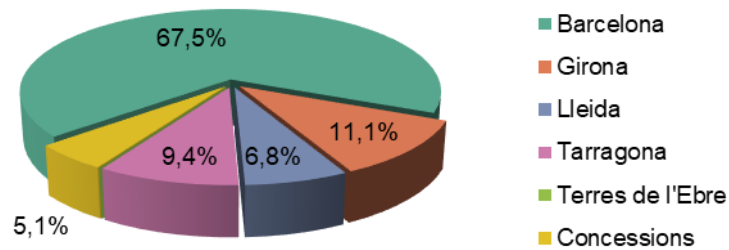
Figura 6. Distribució dels TCA per àmbit territorial



Taula 15. Distribució dels TCA per àmbit territorial

Àmbit territorial	TCA nivell 1	TCA nivell 2	TCA nivell 3	TCA Total
Barcelona	24	27	34	85
Girona	1	9	3	13
Lleida	0	0	8	8
Tarragona	1	3	7	11
Terres de l'Ebre	0	0	0	0
Total	26	39	52	117

Figura 7. Distribució dels TCA per àmbit de gestió



Taula 16. Distribució dels TCA per àmbit de gestió

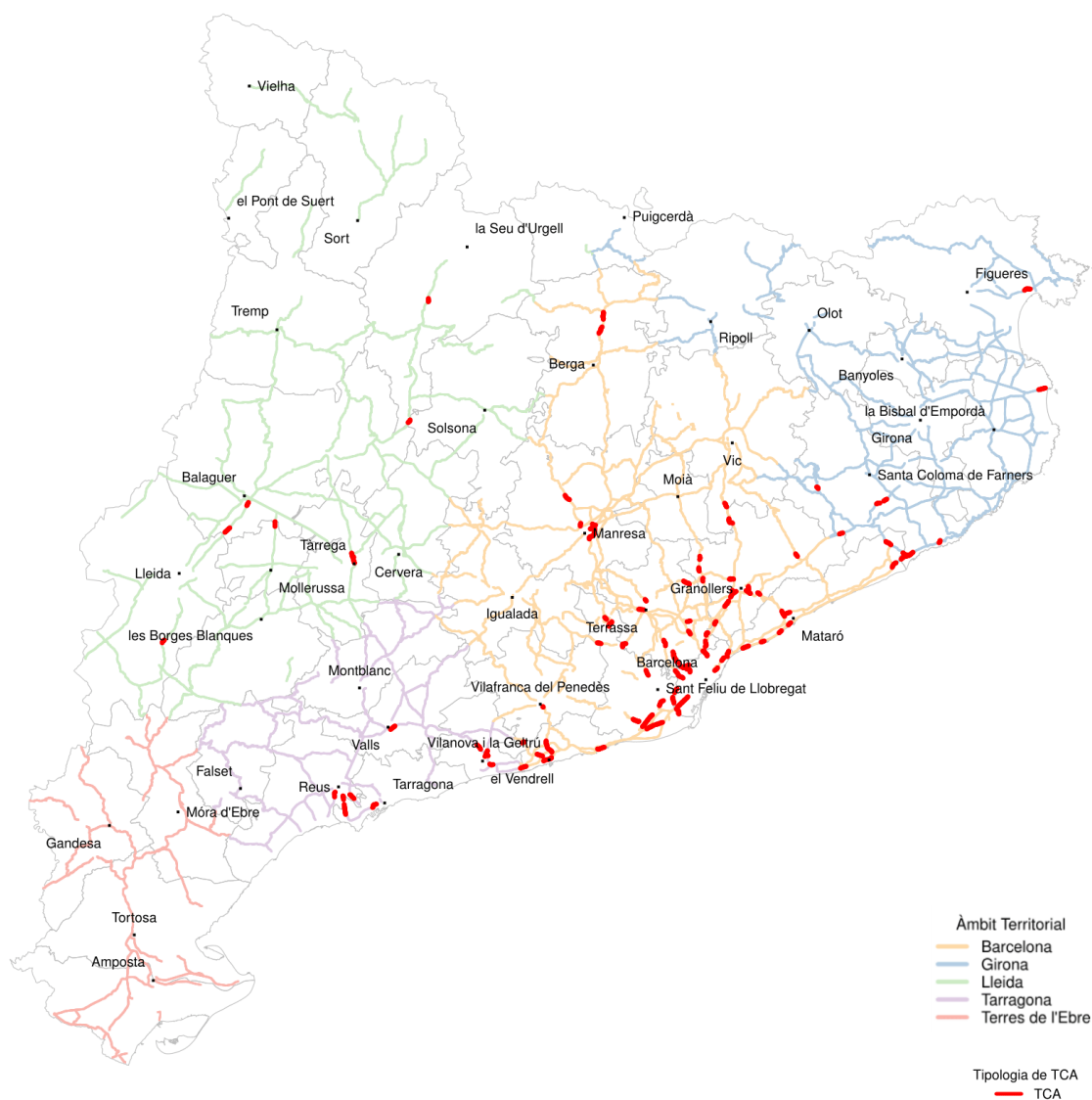
Àmbit de gestió	TCA nivell 1	TCA nivell 2	TCA nivell 3	TCA Total
Barcelona	24	25	30	79
Girona	1	9	3	13
Lleida	0	0	8	8
Tarragona	1	3	7	11
Terres de l'Ebre	0	0	0	0
Concessions	0	2	4	6
Total	26	39	52	117

Taula 17. Distribució dels TCA per concessions

Concessions	TCA nivell 1	TCA nivell 2	TCA nivell 3	TCA Total
Eix Diagonal concessionària de la Generalitat de Catalunya (EIX)	0	0	2	2
INVICAT Infraestructures Viàries de Catalunya S.A. (INV)	0	1	0	1
Túnels Barcelona Cadí S.A. (TBC)	0	1	2	3
Total	0	2	4	6

4.1.1 Localització dels TCA en el territori

Figura 8. Localització dels TCA a les carreteres de la Generalitat de Catalunya



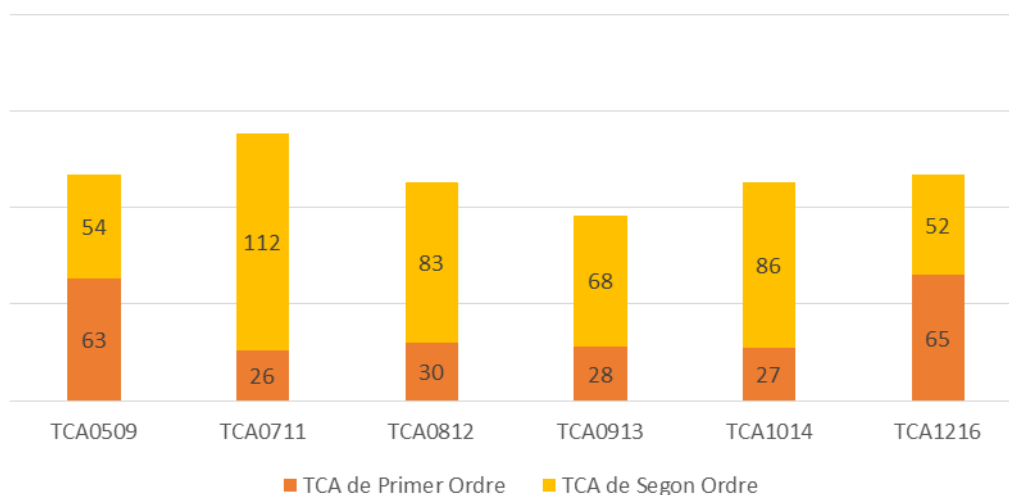
4.2 Anàlisi històrica de l'evolució dels TCA

En l'anàlisi històrica de l'evolució dels TCA es comparen les llistes dels TCA identificats històricament en cada un dels estudis realitzats des dels TCA del període 2005-2009 fins al període actual 2012-2016. S'han identificat els TCA dels períodes històrics coincidents amb la llista actual dels TCA 2012-2016. Atès que en els diferents estudis de TCA històrics la tramificació de la xarxa ha anat variant, s'ha determinat un tram TCA històric com a coincident si està superposat encara que sigui parcialment amb els TCA 2012-2016. Seguint aquest procediment s'elabora la taula següent, que determina els TCA identificats històricament que es superposen amb els TCA actuals.

Taula 18. TCA històrics coincidents amb TCA 12-16

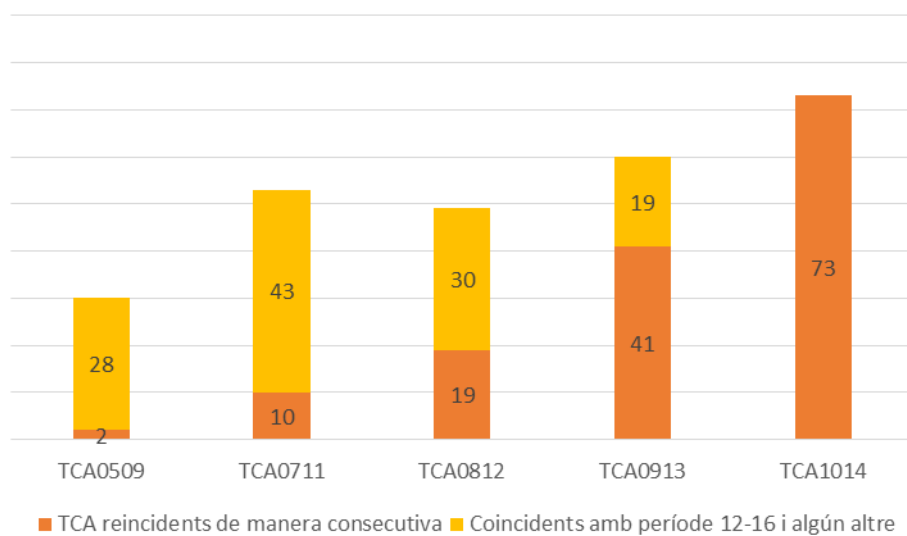
	TCA 05-09	TCA 07-11	TCA 08-12	TCA 09-13	TCA 10-14	TCA 12-16
TCA Total	117	138	113	96	113	117
TCA de primer ordre	63	26	30	28	27	65
TCA de segon ordre	54	112	83	68	86	52
TCA coincidents amb els TCA 12-16	30	53	49	60	73	
TCA reincidents de manera consecutiva	2	10	19	41	73	

Figura 9. TCA identificats en períodes històrics



El gràfic següent mostra la relació dels trams identificats TCA en períodes anteriors amb els TCA del període actual 12-16. Hi ha 30 TCA coincidents entre els períodes 05-09 i 12-16, i 53 TCA coincidents des de l'estudi de 07-11.

Figura 10. TCA coincidents



5

Identificació dels TCA específics per a nusos

5.1 INTRODUCCIÓ

L'estudi de trams de concentració d'accidents es basa en la identificació dels trams de carretera on s'hi registra una accidentalitat (expressada en freqüència o gravetat) superior a l'esperada per les característiques viàries i de mobilitat de la carretera. Hi ha però un altre element de la infraestructura d'especial interès per a les administracions gestores de carreteres i que, per tant, demana una anàlisi diferenciat. És el cas dels nusos viaris, que fan referència als elements de tipus **intersecció, enllaços i rotondes**. Són zones de creuament i d'intercanvi de moviments que permeten als vehicles modificar la seva trajectòria. És habitual classificar les interseccions viàries com a zones de conflicte donat que s'interseccionen els traçats de diferents vehicles. Per tant, el correcte disseny i dimensionament de les interseccions pot evitar conflictes entre vehicles que en ocasions deriven en accidents amb víctimes.

L'accidentalitat en els nusos viaris mostra un comportament diferenciat respecte dels trams de carretera i, per tant, demana una anàlisi particular. El present capítol elabora una metodologia per a la identificació dels nusos viaris on s'observa una accidentalitat superior a l'esperada en funció d'una sèrie de variables que les defineixen. Es construeix un model estadístic de previsió d'accidents específic per a nusos que posteriorment s'aplica als nusos localitzats en les carreteres de la Generalitat de Catalunya per identificar-ne els que amb una actuació de millora es pot esperar una reducció més gran de l'accidentalitat. L'estudi es basa en la relació dels nusos amb els accidents amb víctimes registrats entre els anys 2012 i 2016.

A continuació s'exposa la metodologia per a la definició dels nusos, l'estudi de les variables que els caracteritzen, el model de previsió d'accidents i la identificació dels nusos definits com a TCA amb l'aplicació de l'estratègia de determinació de trams TCA.

La metodologia aplicada es va incorporar en l'estudi d'identificació de TCA del període 2010-2014. En el present estudi, s'utilitza la mateixa metodologia per al període 2012-2016 adaptant els paràmetres de càlcul a les noves condicions d'accidentalitat i de xarxa.

5.2 METODOLOGIA

El procés d'identificació dels TCA específics per a nusos consisteix en la correcta definició dels trams de carretera a estudiar, la implementació d'un model estadístic de previsió d'accidents que permeti estimar la tendència de l'accidentalitat en nusos i la comparació dels valors d'accidentalitat estimats pel model amb l'accidentalitat registrada en els nusos.

5.2.1 Origen i tractament de dades

L'anàlisi dels TCA específics a nusos exigeix una base de dades singular que relacioni els accidents amb els nusos de la xarxa de carreteres, entenent per nusos el creuament de dos o més trams de carretera en un mateix punt espacial.

En primer lloc cal identificar els creuaments de la xarxa de carreteres per seguidament definir els nusos com a entitats amb via i PK per a relacionar-les posteriorment amb els accidents. La informació referent a la xarxa s'extreu del graf de carreteres del DTES i, com a anàlisi preliminar, s'ha estudiat la possibilitat d'utilitzar la capa "Pols_Nusos" del mateix graf per identificar les zones d'intersecció. Atès que hi ha massa incoherències, s'ha descartat l'opció de bolcar els accidents utilitzant aquesta capa mitjançant la referenciació lineal. A més, l'àmplia dimensió que prenen els pols a l'àrea metropolitana, degut als enllaços de vies d'alta capacitat, fan que en aquests nusos es concentrin massa accidents, molts dels quals registrats realment en trams de secció. És per això que s'ha optat per treballar directament amb els nusos dels creuaments de carreteres i definint com a intersecció els trams de carretera ubicats a una distància de ± 250 metres del nus. L'elecció de la distància de 250 metres està determinada per les anàlisis que s'han realitzat del camp "inter_seccio" del DWH d'accidents, ja que s'ha conclòs que els accidents ubicats entre aquest marge des del nus han estat influïts amb una alta probabilitat per l'existència del creuament de vies.

Una vegada definits els trams de carretera per via i PK que estan en l'àrea d'influència del creuament de vies, s'assignen les variables necessàries per al càlcul dels TCA, és a dir: accidents (del DWH del SCT), IMD (graf d'Intra), característiques de la via (catàlegs niv2 i niv4 de la Generalitat). Seguidament es fusiona la base d'interseccions agrupant els diferents trams de carretera per node. D'aquesta manera, el nus viari estarà definit per la via i els PK del tram de carretera amb més IMD de tots els tram que conflueixen en una mateixa intersecció. Finalment, s'elabora la base de dades d'interseccions amb 2.127 registres en què els accidents fan referència a la suma dels accidents ubicats en els diferents ramals. S'han calculat diferents paràmetres de la IMD, com la IMD màxima, la mitjana de les IMD i la desviació típica de les IMD dels diferents ramals.

5.2.2 Model

El model de previsió d'accidents en nusos té com a objectiu determinar la tendència de l'accidentalitat sobre la base de certes característiques viàries que defineixen els nusos. L'elaboració del model requereix un procés d'anàlisi i avaluació de les variables influents en l'accidentalitat.

En primer lloc, s'han determinat les possibles característiques viàries influents de l'accidentalitat en nusos. En aquest pas s'han analitzat totes les variables que defineixen les característiques dels nusos disponibles en les bases de dades de les que es disposa.

Seguidament, s'ha dut a terme l'anàlisi de les variables influents en l'accidentalitat en nusos. Relacionant individualment cada variable escollida per definir les característiques viàries dels nusos amb els accidents podem determinar si estadísticament hi ha relació de dependència i en quin sentit afecta a l'accidentalitat, és a dir, si fa augmentar-la o disminuir-la.

A continuació es relacionen totes les variables escollides prèviament amb l'accidentalitat mitjançant una anàlisi multivariant i s'observen les afectacions en forma de distorsió que es produeixen. D'acord amb això, es descarten variables fins identificar les més significatives per trobar el model òptim que mostra més capacitat predictiva.

Per determinar la relació entre les variables que defineixen les característiques dels nusos i els accidents s'utilitza un model lineal generalitzat que realitza una previsió de l'accidentalitat en usos mitjançant una regressió binomial negativa. L'elecció del model de regressió binomial negativa està condicionat per la distribució de la variable que es pretén modelitzar, és a dir, l'accidentalitat. Com s'observa en el capítol 2.2. els accidents són una variable discreta amb forta presència de valors nuls i la seva distribució obeeix a una funció de probabilitat binomial negativa.

5.3 ANÀLISI ESTADÍSTICA

L'anàlisi estadística consisteix en l'estudi de la influència de les diferents variables previstes vers l'accidentalitat. En primer lloc, es determina l'afectació individual mitjançant una anàlisi bivariant i posteriorment s'analitza la influència del conjunt de variables seleccionades sobre l'accidentalitat.

Es realitzen els càlculs utilitzant l'entorn de programació i anàlisi estadística R.

5.3.1 Anàlisi bivariant

En l'anàlisi bivariant es relaciona cada variable independent de manera individual amb l'accidentalitat per analitzar el grau d'independència. S'observa el p-valor per valorar la incorporació de la variable en el model de regressió. Per defecte es pren com a referència la hipòtesi de si el p-valor és més petit a 0,05 hi ha suficient significació estadística per refusar la hipòtesi d'independència entre les variables i , per tant, es pot incloure la variable en qüestió en el model.

Les variables que caracteritzen els trams d'intersecció incloses en l'estudi són:

- *imd*: IMD original del tram d'intersecció, sense tenir en compte la IMD dels ramals que comparteixen node.
- *imd_avg*: mitjana de les IMD dels ramals que conflueixen en un mateix node.
- *imd_sd*: desviació típica de les IMD dels ramals que conflueixen en un mateix node.

- *vk_avg*: vehicles-quilòmetre de la intersecció calculat com $(imd_avg * 365 * long) / 10^6$.
- *perc_secun*: percentatge de IMD de la carretera secundària respecte a la IMD de la carretera principal de la intersecció.
- *ramals*: nombre d'arcs que conflueixen en un mateix node.
- *zona*: entorn en el que es troba la intersecció (1 = Zona Interurbana, 0 = Zona Urbana). A partir de entUrb del Niv4 i tipTrm de la base de travesseres del Servei Català de Trànsit.
- *des*: classificació del tram principal de la intersecció (1 = Desdoblada, 0 = No desdoblada). A partir de ClaTec del Niv2.

La variable dependent utilitzada en l'anàlisi estadística són els accidents amb víctimes registrats entre els anys 2012 i 2016.

Les proves estadístiques aplicades per calcular el p-valor són l'anàlisi de regressió lineal per a les variables independents numèriques, la prova t-Student per a les variables independents categòriques i l'anàlisi de la variància (Anova) per a les variables independents categòriques de més de 2 categories:

Taula 19. Anàlisi bivariant del model de TCA específic per a nusos

Variable dependent	Variables independents	Tipus de variable	Tipus d'anàlisi	Significació estadística (p-value)
Nombre d'accidents	imd	Numèrica	Correlació Pearson	0
Nombre d'accidents	imd_avg	Numèrica	Correlació Pearson	0
Nombre d'accidents	imd_sd	Numèrica	Correlació Pearson	0
Nombre d'accidents	vk_avg	Numèrica	Correlació Pearson	0
Nombre d'accidents	perc_secun	Numèrica	Correlació Pearson	0
Nombre d'accidents	ramals	Categòrica (>2)	ANOVA	0
Nombre d'accidents	zona	Categòrica (2)	t-Test	0,005
Nombre d'accidents	des	Categòrica (2)	t-Test	0
Nombre d'accidents	interLong	Numèrica	Correlació Pearson	0

L'anàlisi bivariant mostra com totes les variables independents denoten dependència (p-value < 0,05) amb la variable dependent (accidents amb víctimes).

5.3.2 Anàlisi multivariant

En l'anàlisi multivariant s'estudia la capacitat predictiva de diverses variables independents per estimar la tendència de l'accidentalitat en els nusos de les carreteres de la Generalitat de Catalunya.

En primera instància s'introdueixen totes les variables de les que es disposa i s'observa el valor de significació estadística de cada variable. Hi ha variables que no mostren significació estadística i que en l'anàlisi bivariant sí que en mostren. Aquest fet s'explica per la inclusió d'excessives variables en el model que es poden estar afectant negativament entre aquestes variables. Es comprova que diverses variables independents tenen el mateix efecte sobre la variable dependent, i això pot distorsionar el model.

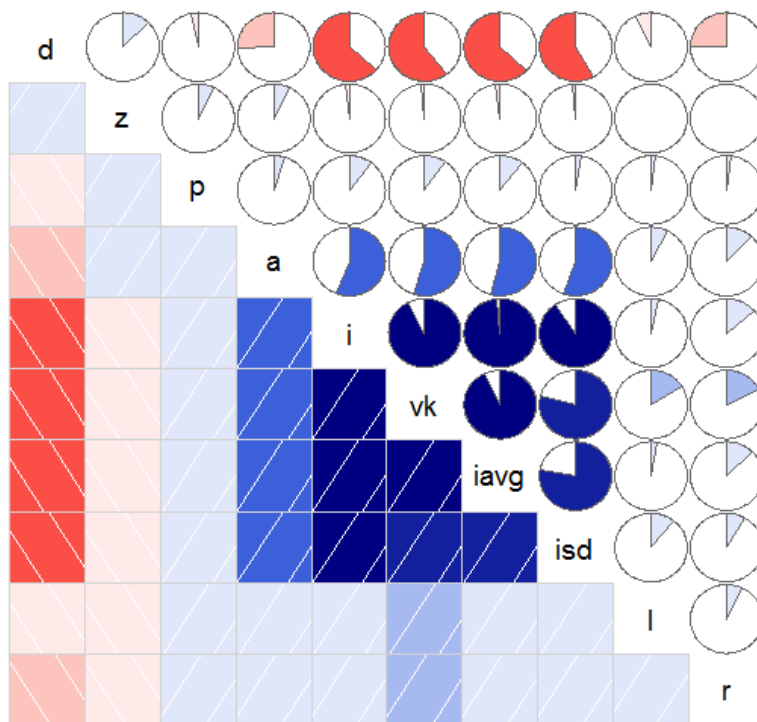
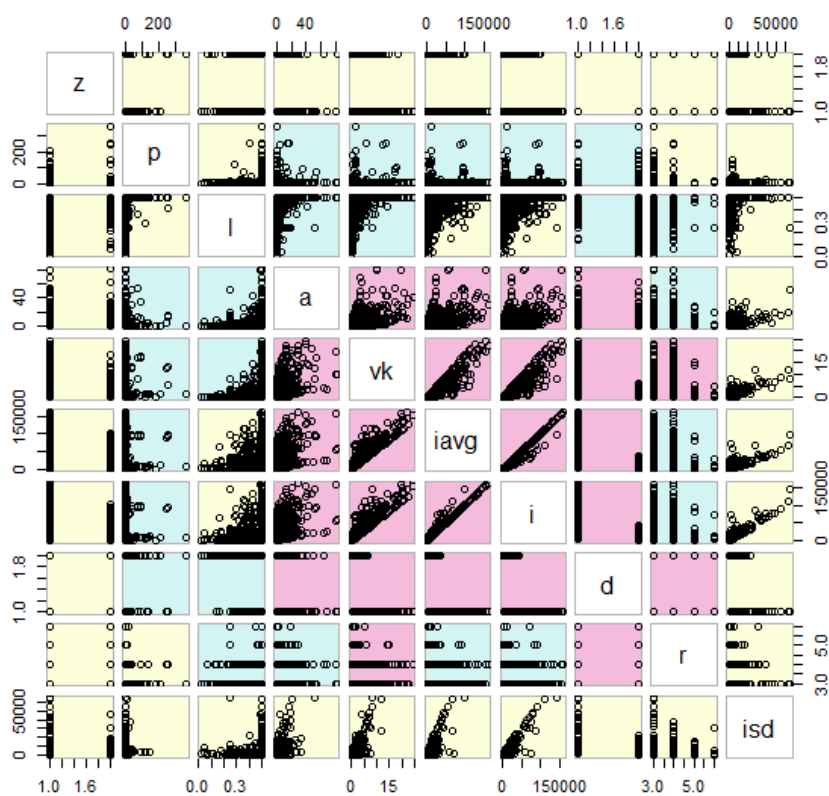
Taula 20. Anàlisi multivariant del model de TCA específic per a nusos

Variable	Coefficient	Interval superior de confiança del 95%	p-valor
(terme independent)	1,19	2,413	0,056
[des=1]	-0,42	-0,254	0
[des=0]	0a	.	.
[ramals=3]	-1,225	-0,068	0,038
[ramals=4]	-0,854	0,304	0,148
[ramals=5]	-0,356	0,891	0,576
[ramals=6]	0a	.	.
[zona=1]	-0,316	-0,174	0
[zona=0]	0a	.	.
vk_avg	0,118	0,183	0
perc_secun	-0,005	-0,001	0,02
interLong	1,093	1,939	0,011
imd	-5,69E-05	2,57E-05	0,177
imd_avg	8,28E-05	0	0,05
imd_sd	9,46E-05	0	0,004

Com és d'esperar, hi ha variables que en l'anàlisi bivariant mostren dependència amb l'accidentalitat de manera individual però en incloure-les en una anàlisi multivariant figuren com a no significatives. Com s'ha comentat, aquesta situació es produeix pel fet de que les variables independents poden estar relacionades entre elles. Per exemple, hi ha 3 variables que es basen en la IMD dels trams que formen la intersecció i poden estar creant interferències en el model. Per tant, a continuació se segueix un procediment iteratiu d'exclusió de variables no significatives s'arriba a un model vàlid i robust amb les variables independents més significatives que no mostren interferències.

Les correlacions entre variables es mostren de manera gràfica en la figura següent mitjançant regresions lineals. Tot i que no es correcte relacionar variables categòriques, les gràfiques mostren si la relació entre variables és positiva o negativa, així com el seu grau de correlació .

Figura 11. Correlacions entre variables de càlcul pels TCA de nusos



5.3.3 Models per a la predicció d'accidents en interseccions

Per raons estadístiques, atès que el model és multivariant i es relacionen diverses variables amb l'accidentalitat, s'utilitza una funció logarítmica com a relació funcional per vincular els accidents amb les característiques viàries de les interseccions:

$$\ln(y) = \beta_0 + \beta_n x_n$$

en què y fa referència al valor de l'accidentalitat previst, ja siguin accidents amb víctimes o accidents ponderats, x_n és el valor de les variables independents del model i els β_n són els coeficients de la regressió per a cada variable.

Per tant, per a l'estimació dels accidents en nusos caldrà aplicar la següent fórmula:

$$y = e^{\beta_0 + \beta_n x_n}$$

Seguint un procediment iteratiu d'exclusió de variables no significatives s'arriba a un model vàlid i robust amb les variables independents més significatives. Els coeficients del model elaborat per modelitzar l'accidentalitat en nusos en funció de les característiques viàries i de mobilitat dels nusos per a cada procés de càlcul (freqüència i gravetat) són:

Taula 21. Model de predicció dels accidents amb víctimes per al càlcul per freqüència

Variable (x)	Coefficient (β)	Interval de confiança superior 95%	p-valor
(Terme independent)	0,576	0,724	0,000
[des=1]	-0,237	-0,076	0,004
[zona=1]	-0,305	-0,16	0,000
imd_sd	4,83E-05	6,34E-05	0,000
vk_avg	0,292	0,325	0,000

Taula 22. Model de predicció dels accidents ponderats per al càlcul per gravetat

Variable (x)	Coefficient (β)	Interval de confiança superior 95%	p-valor
(Terme independent)	0,874	1,038	0,000
[des=1]	-0,391	-0,214	0,000
[zona=1]	-0,2	-0,041	0,014
imd_sd	5,72E-05	7,46E-05	0,000
vk_avg	0,299	0,337	0,000

5.4 CÀLCUL DELS TCA ESPECÍFICS PER A NUSOS

Aplicant la metodologia clàssica dels TCA, és a dir, els mateixos filtres de freqüència i gravetat, i amb les regressions binomials negatives de l'apartat anterior s'identifiquen 117 nusos que mostren un comportament excessivament perillós d'acord amb la IMD registrada en els diferents ramals del nus viari, la classificació tècnica de la via, la zona en la que està i la longitud de la intersecció. D'aquests nusos, 69 han estat calculats a partir del criteri per Freqüència i 88 a partir del criteri per Gravat, i s'obtenen finalment 40 nusos de 1r ordre de prioritat i 77 de 2n ordre de prioritat.

5.4.1 Bases

Les bases de càlcul dels TCA en nusos obeeixen a la metodologia clàssica d'identificació dels trams TCA. En el cas del càlcul dels TCA en nusos no es classifiquen les entitats en grups segons les característiques de la via, sinó que aquestes característiques s'inclouen en el model com a variables independents.

Taula 23. Bases de càlcul dels TCA específics per a nusos

Bases de càlcul	Descripció	Valor
Entitat d'anàlisi	Definició de les entitats d'anàlisi a partir dels nodes de la xarxa. És considera una longitud de 250 m des del centre de la intersecció.	Nusos viaris
Període d'anàlisi	Es consideren els accidents registrats entre els anys definits en el període d'anàlisi	2012-2016
Unitat d'anàlisi	Dades d'accidentalitat considerades en l'estudi	Accidents amb resultat de víctimes mortals, greus i/o lleus
Metodologies de càlcul de TCA	S'apliquen 2 metodologies diferents per considerar tant la freqüència com la gravetat de l'accidentalitat.	TCA de freqüència (accidents amb víctimes) i TCA de gravetat (accidents ponderats)
Ponderació	Coeficients aplicats en els accidents en funció del resultat de les víctimes de l'accident a utilitzar en la metodologia del càlcul per gravetat.	Accidents mortals → 8 Accidents greus → 5 Accidents lleus → 1
Filtratge	Condicions imposades en les interseccions amb l'objectiu de reduir l'efecte negatiu de la naturalesa aleatòria dels accidents en la definició dels TCA	Els TCA de freqüència han d'haver registrat un mínim de 15 accidents en els últims 5 anys. Els TCA de gravetat han d'haver registrat un mínim de 3 accidents mortals i/o greus en els últims 5 anys.
Model estadístic	Tècnica matemàtica per a relacionar els accidents amb les característiques dels nusos	Model lineal generalitzat amb distribució binomial negativa per a la variable dependent i relació funcional logarítmica
Llindar d'identificació dels TCA	Estratègia per a identificar aquells nusos on l'accidentalitat és significativament superior a la prevista en base al model	Interval superior de confiança del 95% extret del model

Bases de càlcul	Descripció	Valor
Priorització de TCA	Procediments per a jerarquitzar els TCA obtinguts de cara a futures actuacions	Es defineixen els TCA de primer ordre els TCA que han estat identificats a partir de les dues metodologies de càlcul utilitzades, freqüència i gravetat, i TCA de segon ordre els TCA que només han estat identificats per una de les dues metodologies.

5.4.2 Resum dels TCA específics per a nusos identificats

En total s'obtenen 117 TCA de nusos. D'aquests nusos, s'identifiquen 40 de primer ordre (identificats en el càlcul per freqüència i per gravetat) i 77 de segon ordre (identificats en el càlcul per freqüència o per gravetat). Els 117 TCA de nusos identificats representen el 5,5% del total de d'interseccions de la xarxa, però s'hi produeix el 27,9% del total d'accidents amb víctimes.

Taula 24. Resum dels TCA específics per a nusos 2012-2016

TCA totals								
Desdoblada	Zona	IMD_avg	IMD_sd	TCA	Nusos	Nusos TCA	Accidents en TCA	
1	1	35.237,7	9.044,9	21	479	4,4%	405	14,1%
1	0	42.121,8	13.827,2	11	58	19,0%	251	38,7%
0	1	6.404,8	2.387,5	50	1.235	4,0%	763	27,9%
0	0	8.010,2	2.831,7	35	355	9,9%	657	55,0%
Total				117	2.127	5,5%	2.076	27,9%

TCA 1r ordre								
Desdoblada	Zona	IMD_avg	IMD_sd	TCA	Nusos	Nusos TCA	Accidents en TCA	
1	1	31.246,2	6.689,6	9	479	1,9%	300	10,5%
1	0	29.890,9	5.628,8	6	58	10,3%	181	27,9%
0	1	20.909,1	5.800,0	11	1.235	0,9%	252	9,2%
0	0	20.441,1	8.443,9	14	355	3,9%	352	29,5%
Total				40	2.127	1,9%	1.085	14,6%

TCA 2n ordre per freqüència								
Desdoblada	Zona	IMD_avg	IMD_sd	TCA	Nusos	Nusos TCA	Accidents en TCA	
1	1	14.580,7	6.819,3	11	479	2,3%	337	11,7%
1	0	50.020,0	7.860,2	7	58	12,1%	214	33,0%
0	1	14.491,9	4.627,4	26	1.235	2,1%	568	20,8%
0	0	14.666,8	3.369,2	25	355	7,0%	563	47,2%
Total				69	2.127	3,2%	1.682	22,6%

TCA 2n ordre per gravetat								
Desdoblada	Zona	IMD_avg	IMD_sd	TCA	Nusos	Nusos TCA	Accidents en TCA	
1	1	20.290,3	6.764,4	19	479	4,0%	368	12,8%
1	0	28.184,0	7.376,2	10	58	17,2%	218	33,6%
0	1	15.484,7	5.262,5	35	1.235	2,8%	451	16,5%
0	0	17.435,5	3.999,0	24	355	6,8%	446	37,4%
Total				88	2.127	4,1%	1.483	19,9%

5.4.3 Localització dels TCA específics per a nusos

Figura 12. Localització dels TCA específics per a nusos a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya



6 Conclusions

Per al present estudi d'identificació de trams de concentració d'accidents (TCA) i trams de concentració d'accidents en nusos (TCA Nusos) de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya s'ha contemplat una mostra de 22.426 accidents amb víctimes entre els anys 2012 i 2016.

Per a la identificació dels possibles trams de concentració d'accidents s'han realitzat dos càlculs, el primer considerant la **freqüència** i el segon tenint en compte la **gravetat** dels accidents. En tots dos casos els paràmetres bàsics de càlcul són els accidents dels darrers cinc anys, la intensitat mitjana diària (IMD) i la segmentació de la xarxa en intervals d'un quilòmetre de longitud

S'elabora un model estadístic de previsió d'accidents basat en una regressió amb model lineal generalitzat (funció lineal i distribució binomial negativa) i s'estableix un llindar límit d'accidents amb víctimes a partir de l'interval de confiança del 99%. En el cas dels TCA de nusos es tracten els nusos de manera unitària i s'aplica un model multivariant, incloent altres variables que s'ha observat que influeixen en l'accidentalitat, com són la zona (urbana/interurbana), el tipus de via (desdoblada/no desdoblada), la desviació típica de la IMD dels diferents ramals i la mitjana de vehicles-km dels diferents ramals. Addicionalment, s'introdueixen filtres de concentració d'accidents per evitar identificar trams on el nombre d'accidents pugui estar afectat per la naturalesa aleatòria dels accidents.

En el present estudi s'elabora una metodologia per a prioritzar els TCA en què una actuació de millora de la carretera és prioritària d'acord amb sis criteris: reincidència d'identificació, tendència d'accidentalitat, diferència entre accidents reals i esperats pel model, diferència entre accidents ponderats reals i esperats pel model, ordre de TCA i cost social (vegeu l'apartat 3.2).

Aplicant aquesta metodologia s'identifiquen 117 TCA (26 de nivell 1, 39 de nivell 2 i 52 de nivell 3) en el període 2012-2016. Els 117 TCA identificats suposen el 2,6% de la xarxa i inclouen el 21,18% dels accidents amb víctimes.

En aquest estudi també s'ha dut a terme la identificació de les interseccions que han tingut una accidentalitat superior a l'esperada. La identificació s'ha fet mitjançant l'elaboració d'una anàlisi multivariant en què s'han determinat com a variables significatives el tipus de zona on s'ubica la intersecció, el tipus de via de la carretera principal, i la mitjana i desviació típica de les IMD de les carreteres que hi conflueixen. Segons aquest estudi s'identifiquen 40 TCA específics per a nusos de primer ordre (identificats en el càlcul per freqüència i per gravetat) i 77 de segon ordre (identificats en el càlcul per freqüència o per gravetat).



 Generalitat de Catalunya
Departament de Territori i Sostenibilitat
**Direcció General d'Infraestructures
de Mobilitat**