

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



Març 2019

Quadern d'infraestructures i mobilitat

37

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	Caracterització dels accidents frontals.....	9
2.1	ESTADÍSTIQUES GENERALS.....	9
2.2	LOCALITZACIÓ TERRITORIAL.....	16
3	Metodologia.....	20
3.1	DADES BASE.....	20
3.2	DETERMINACIÓ DE LA UNITAT D'ANÀLISI.....	21
3.2.1	<i>Metodologia de la finestra flotant per a la identificació de TCAF i IAAF.....</i>	<i>21</i>
3.2.2	<i>Longitud de la finestra flotant per a l'actual estudi.....</i>	<i>24</i>
3.3	PARÀMETRES DE CÀLCUL.....	24
3.3.1	<i>Model estadístic.....</i>	<i>24</i>
3.3.2	<i>Anàlisi estadística.....</i>	<i>25</i>
3.4	DEFINICIÓ DELS IAAF I TCAF.....	28
3.5	PRIORITZACIÓ A PARTIR DE L'ÍNDEX DE GRAVETAT (IG).....	29
3.6	RESUM DE PARÀMETRES D'ESTUDI.....	29
4	Identificació i anàlisi dels IAAF i TCAF.....	32
4.1	IDENTIFICACIÓ DELS IAAF I TCAF.....	32
4.1.1	<i>Caracterització dels IAAF i TCAF.....</i>	<i>33</i>
4.1.2	<i>Coincidències entre els TCAF 12-16 amb els TCAF 11-15.....</i>	<i>33</i>
4.1.3	<i>Localització territorial general.....</i>	<i>34</i>
5	Conclusions.....	38

Índex de taules

<i>Taula 1. Evolució dels accidents frontals i frontolaterals per àmbit territorial</i>	<i>10</i>
<i>Taula 2. Evolució dels accidents frontals i frontolaterals mortals i greus per àmbit territorial</i>	<i>10</i>
<i>Taula 3. Accidents segons el tipus de col·lisió per àmbit territorial</i>	<i>15</i>
<i>Taula 4. Validació de l'ajust a una distribució teòrica</i>	<i>27</i>
<i>Taula 5. Paràmetres d'ajust a una distribució binomial negativa</i>	<i>27</i>
<i>Taula 6. Llindar per determinar els TCAF</i>	<i>28</i>
<i>Taula 7. Criteris d'identificació d'IAAF i TCAF</i>	<i>29</i>
<i>Taula 8. Bases de càlcul dels TCAF i IAAF</i>	<i>30</i>
<i>Taula 9. Resum dels IAAF identificats</i>	<i>32</i>
<i>Taula 10. Resum dels TCAF identificats</i>	<i>32</i>
<i>Taula 11. Classificació dels IAAF i TCAF identificats per àmbit territorial</i>	<i>33</i>
<i>Taula 12. Classificació dels IAAF i TCAF identificats per tipus de xarxa</i>	<i>33</i>
<i>Taula 13. Coincidències entre els TCAF de gravetat i freqüència del 12-16 respecte dels TPCAF del període 11-15</i>	<i>34</i>

Índex de figures

<i>Figura 1. Distribució dels accidents amb víctimes segons el tipus d'accident.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2. Distribució dels accidents mortals i greus segons el tipus d'accident</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3. Distribució de la gravetat dels accidents frontals i frontolaterals en comparació amb la resta d'accidents</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4. Evolució dels accidents segons el tipus de col·lisió</i>	<i>11</i>
<i>Figura 5. Distribució de la gravetat segons el tipus de col·lisió</i>	<i>12</i>
<i>Figura 6. Evolució dels accidents mortals i greus segons el tipus d'accident</i>	<i>12</i>
<i>Figura 7. Evolució dels accidents mortals segons el tipus d'accident</i>	<i>13</i>
<i>Figura 8. Evolució dels accidents amb víctimes segons el tipus de col·lisió</i>	<i>14</i>
<i>Figura 9. Distribució territorial segons tipus de col·lisió.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 10. Localització dels accidents frontals a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya</i>	<i>16</i>
<i>Figura 11. Localització dels accidents frontals a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de Barcelona</i>	<i>17</i>
<i>Figura 12. Localització dels accidents frontals a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de Girona</i>	<i>17</i>
<i>Figura 13. Localització dels accidents frontals a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de Lleida.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 14. Localització dels accidents frontals a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de Tarragona.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 15. Localització dels accidents frontals a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de les Terres de l'Ebre</i>	<i>19</i>
<i>Figura 16. Esquema dels accidents considerats.....</i>	<i>21</i>

<i>Figura 17. Segmentació directa d'una carretera</i>	<i>22</i>
<i>Figura 18. Segmentació directa d'una carretera a partir dels hectòmetres +700</i>	<i>22</i>
<i>Figura 19. Exemple de finestra flotant.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 20. Procés d'identificació de TCA a partir de la finestra flotant</i>	<i>23</i>
<i>Figura 21. Model estadístic de concentració.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 22. Histograma de freqüències d'accidents frontals a la xarxa de carreteres</i>	<i>25</i>
<i>Figura 23. Semblança de valors reals d'accidents amb distribucions teòriques</i>	<i>25</i>
<i>Figura 24. Comparativa de l'ajust a una distribució de Poisson i binomial negativa</i>	<i>26</i>
<i>Figura 25. Localització dels IAAF de gravetat a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 26. Localització dels IAAF de freqüència a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 27. Localització dels TCAF de gravetat a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 28. Localització dels TCAF de freqüència a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya.....</i>	<i>37</i>

1 Introducció

1.1 PRESENTACIÓ

L'estudi de trams de concentració d'accidents (TCA) 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, que requereix una anàlisi diferenciada. És el cas dels separadors de fluxos de sentits de circulació.

Amb l'objectiu de determinar els trams de carretera on una actuació d'instal·lació d'elements de separació de sentits sigui més eficaç, es calculen els **trams de concentració d'accidents frontals (TCAF)** i els **itineraris d'acumulació d'accidents frontals (IAAF)**.

Per a assolir aquest objectiu, en aquest estudi s'analitza l'accidentalitat específica succeïda en carreteres de calçada única en què els vehicles participants portaven trajectòria frontal abans de la col·lisió. Aquest fet es defineix als fitxers d'accidentalitat mitjançant l'especificació de "col·lisió frontal" al camp de "tipologia d'accident". No obstant això, s'ha observat que hi ha vegades en què accidents amb vehicles que portaven trajectòria frontal es cataloguen com a "envestida frontolateral" en aquells casos en què un dels vehicles perd la seva alineació i acaba impactant amb el seu lateral contra l'altre vehicle.

És per aquest motiu que en aquest estudi es consideraran els dos tipus d'accidents: col·lisions frontals i envestides frontolaterals. D'aquests últims, per distingir-los d'aquells casos en què els dos cotxes no portaven trajectòria frontal, s'exclouran aquells accidents que han succeït en interseccions. Així, en endavant, en aquest document es podrà fer referència a l'accidentalitat de forma diferenciada (col·lisions frontals i accidents frontolaterals), o de forma genèrica – accidents frontals. En aquest últim cas s'entendrà que inclou ambdós tipus d'accidents: col·lisions frontals i envestides frontolaterals fora d'intersecció.

Les dades utilitzades són els accidents amb resultat de víctimes mortals, greus o lleus registrats en el període estudiat 2012-2016.

Els IAAF tenen com a objectiu localitzar itineraris complets o carreteres amb problemes d'accidentalitat de caràcter generalitzat i constants al llarg de la carretera. Els IAAF són itineraris d'entre 5 i 20 quilòmetres de carretera aproximadament. Paral·lelament, es calculen els TCAF que fan referència a aquelles zones de caràcter més local on es detecta un problema puntual de seguretat viària. Els TCAF estan en molts casos dins d'IAAF, fet que serveix per localitzar les zones més crítiques d'una carretera o itinerari ja problemàtic en termes d'accidentalitat frontal i frontolateral. Els TCAF solen ser trams d'entre 1 i 3 quilòmetres.

En aquest estudi s'avalua la problemàtica dels accidents frontals i frontolaterals respecte dels accidents en general i s'exposa la metodologia definida per a la identificació dels trams amb més accidentalitat d'aquesta tipologia d'accidents.

1.2 OBJECTIUS

L'objectiu principal de l'estudi és definir una metodologia estadísticament robusta i tècnicament efectiva per identificar tant els trams de concentració d'accidents frontals (TCAF) com els itineraris d'acumulació d'accidents frontals (IAAF) de la xarxa de carreteres gestionada per la Generalitat de Catalunya.

Per assolir aquest objectiu s'han treballat els continguts següents:

- Caracterització de l'accidentalitat de tipologia frontal i frontolateral.
- Revisió de la metodologia utilitzada anteriorment i propostes de millora.
- Introducció de millores metodològiques justificades.
- Anàlisi i definició dels paràmetres dels models de detecció dels TCAF i IAAF.
- Estudi estadístic per a la correcta definició del model de distribució d'accidents, així com el llindar a partir del qual es considerarà un tram amb excés d'accidentalitat.
- Càlcul d'indicadors que actuïn com a eines per a la prioritització dels TCAF identificats.

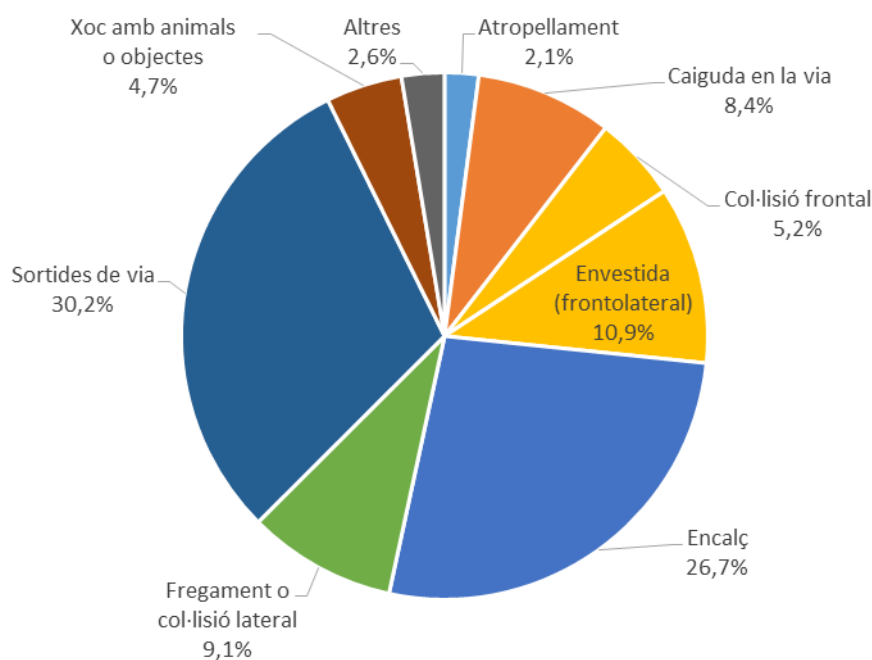
2 Caracterització dels accidents frontals

L'accident frontal no és la tipologia més freqüent pel que fa a accidents amb víctimes ja que suposen un 16,1% del total d'accidents amb víctimes. En termes absoluts, entre el 2012 i el 2016 s'han registrat 3.608 accidents frontals i frontolaterals i 22.342 accidents totals amb víctimes. Però, si es consideren només els accidents mortals i greus, són la tipologia més destacada amb un 28,2% (715 sobre 2.532 accidents mortals i greus). Es presenta a continuació l'impacte d'aquesta tipologia d'accidents sobre el total d'accidents de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya, amb dades entre els anys 2012 i 2016.

La lesivitat dels accidents frontals i frontolaterals és notablement més gran que a la resta d'accidents. El percentatge d'accidents mortals i greus és tres vegades superior en accidents frontals i frontolaterals que en la resta d'accidents.

2.1 ESTADÍSTIQUES GENERALS

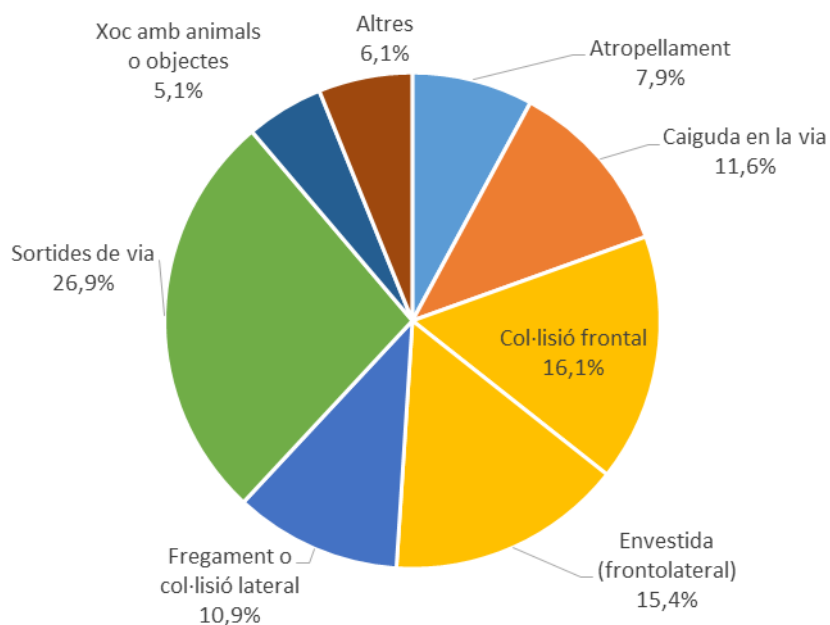
Figura 1. Distribució dels accidents amb víctimes segons el tipus d'accident



Taula 1. Evolució dels accidents frontals i frontolaterals per àmbit territorial

Any	Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona	Terres de l'Ebre	Total
2012	415	160	62	54	32	723
2013	401	124	62	43	22	652
2014	408	141	64	63	34	710
2015	451	148	63	66	24	752
2016	439	175	70	58	28	770
Total	2.114	748	321	284	140	3.607

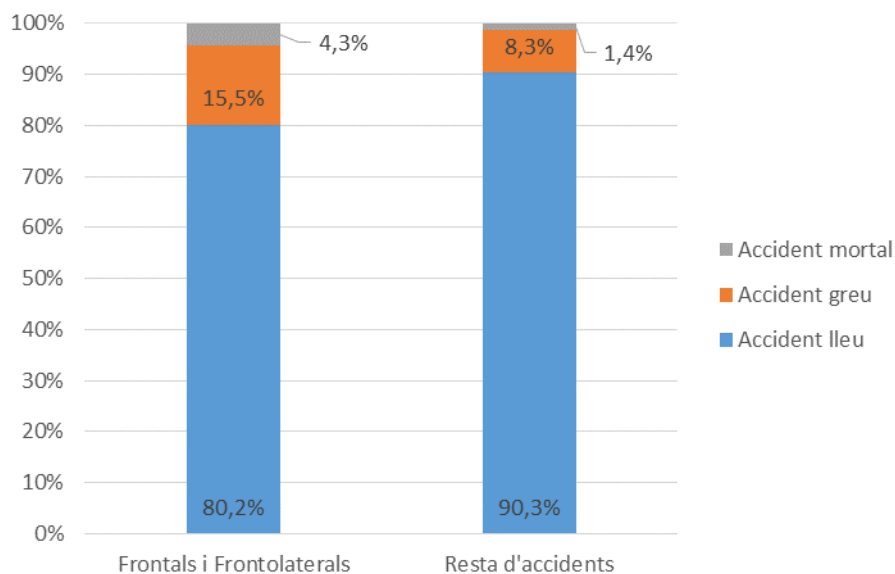
Figura 2. Distribució dels accidents mortals i greus segons el tipus d'accident



Taula 2. Evolució dels accidents frontals i frontolaterals mortals i greus per àmbit territorial

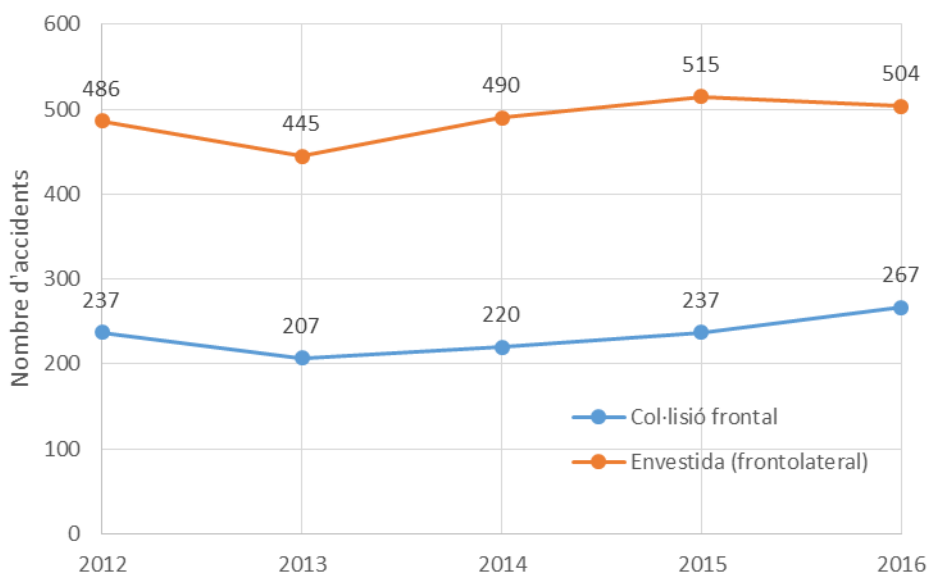
Any	Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona	Terres de l'Ebre	Total
2012	78	26	20	9	5	138
2013	73	22	18	7	8	128
2014	72	28	27	13	9	149
2015	91	15	16	11	7	140
2016	73	51	17	13	6	160
Total	387	142	98	53	35	715

Figura 3. Distribució de la gravetat dels accidents frontals i frontolaterals en comparació amb la resta d'accidents



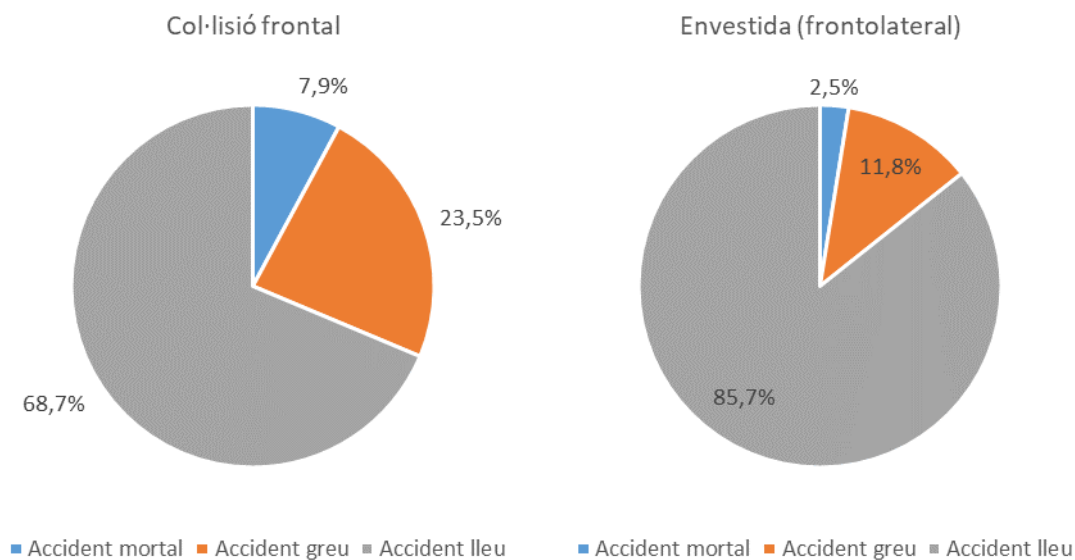
L'evolució dels accidents segons el tipus de col·lisió és semblant. Les col·lisions frontals han augmentat un 13% des de 2012 i un 4% les col·lisions frontolaterals.

Figura 4. Evolució dels accidents segons el tipus de col·lisió



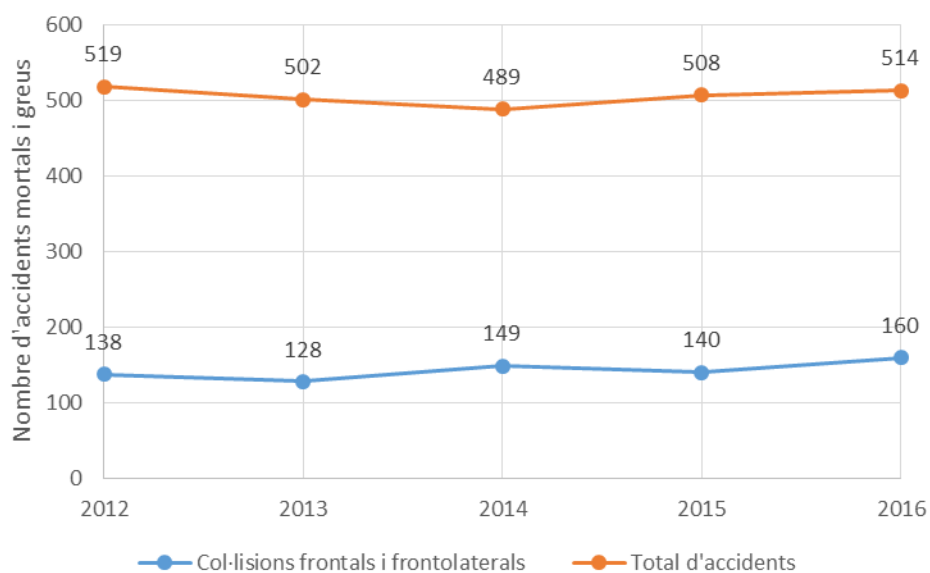
La lesivitat més gran es dona en els accidents per col·lisió frontal, ja que quasi el 8% dels accidents són amb morts i el 23,5% amb víctimes greus.

Figura 5. Distribució de la gravetat segons el tipus de col·lisió



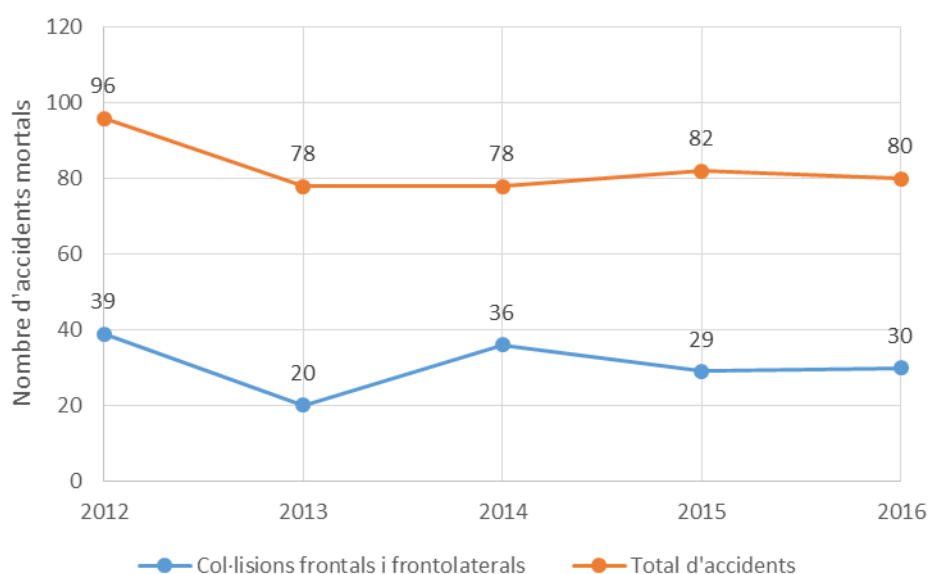
Els accidents mortals i greus de tipologia col·lisió frontal i frontolateral han augmentat un 15,9% entre el 2012 i el 2016, mentre que la suma de tots els accidents mortals i greus mostra una tendència diferent, amb una reducció de l'1% en el mateix període.

Figura 6. Evolució dels accidents mortals i greus segons el tipus d'accident



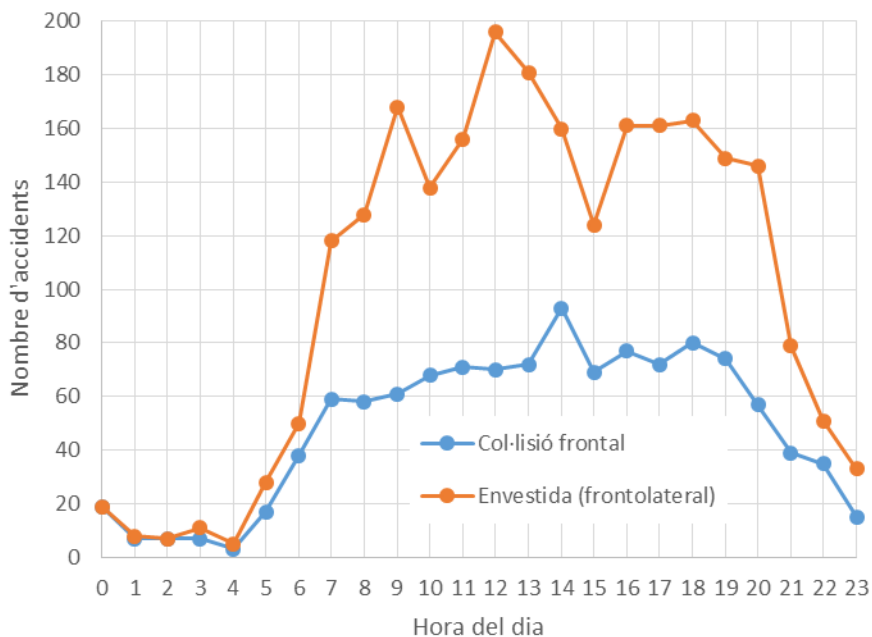
En canvi, si tenim en compte només els accidents mortals, les xifres mostren una reducció del 23,1% entre el 2012 i el 2016 en la tipologia de frontals i frontolaterals. El total d'accidents mortals de qualsevol tipologia s'ha reduït un 16,7% en el mateix període. Aquestes evolucions dels accidents mortals segueixen la tendència mostrada en estudis anteriors, on s'observava una reducció del 20% en accidents mortals frontals i un 41% en accidents mortals totals entre el 2009 i 2014. En el mateix estudi s'extreien altres conclusions referents als accidents mortals de tipologia frontal: el 70,1% dels accidents mortals frontals es donen a la xarxa bàsica, el 24,8% a la xarxa comarcal i el 5,1% a la xarxa local. En el període d'estudi actual 12-16 els accidents frontals mortals es reparteixen de manera que el 73,4% es donen a la xarxa bàsica, el 25,3% a la xarxa comarcal i l'1,3% a la xarxa local.

Figura 7. Evolució dels accidents mortals segons el tipus d'accident



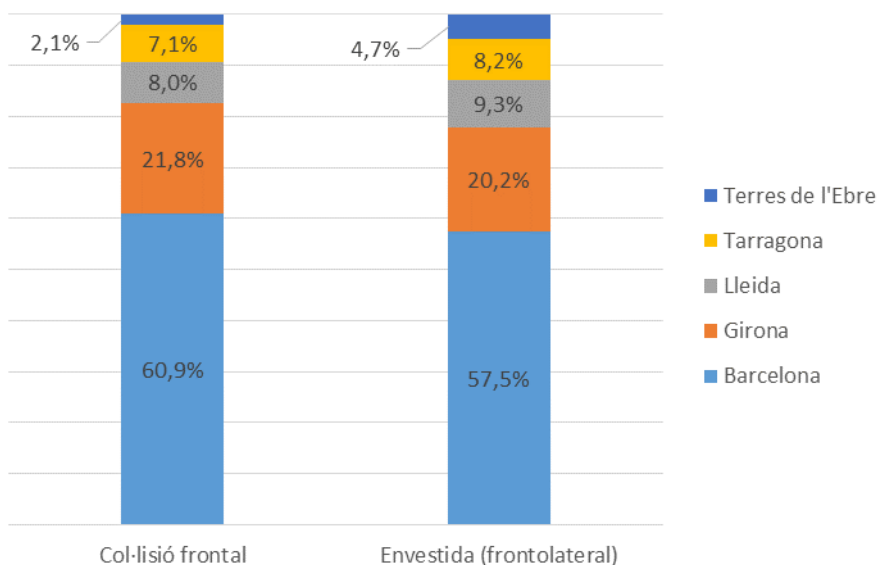
La distribució dels accidents al llarg del dia mostra que els accidents frontals i frontolaterals s'acumulen en franges de migdia, entre les 12.00 h i les 14.00 h.

Figura 8. Evolució dels accidents amb víctimes segons el tipus de col·lisió



En les carreteres de Barcelona es concentren prop del 60% dels accidents frontals i frontolaterals, tot i concentrar el 65% dels vehicles-quilòmetre. En canvi, els altres àmbits territorials presenten un percentatge més elevat d'accidents frontals i frontolaterals que de mobilitat.

Figura 9. Distribució territorial segons tipus de col·lisió



Taula 3. Accidents segons el tipus de col·lisió per àmbit territorial

Àmbit territorial	Col·lisió frontal	Envestida (frontolateral)	Total
Barcelona	711	1404	2.115
Girona	255	493	748
Lleida	94	227	321
Tarragona	83	201	284
Terres de l'Ebre	25	115	140
Total	1.168	2.440	3.608

2.2 LOCALITZACIÓ TERRITORIAL

Figura 10. Localització dels accidents frontals a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya

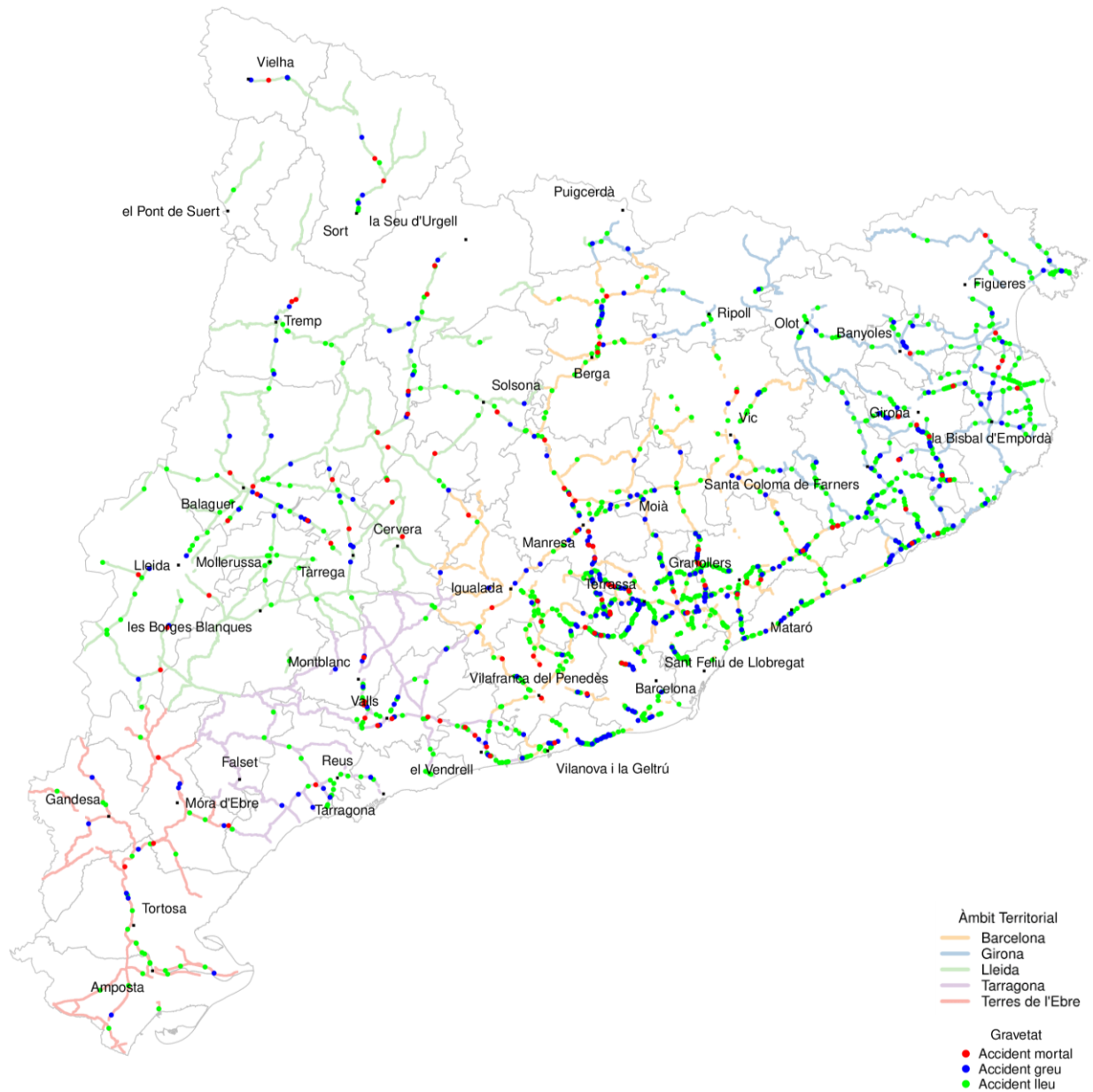


Figura 11. Localització dels accidents frontals a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de Barcelona

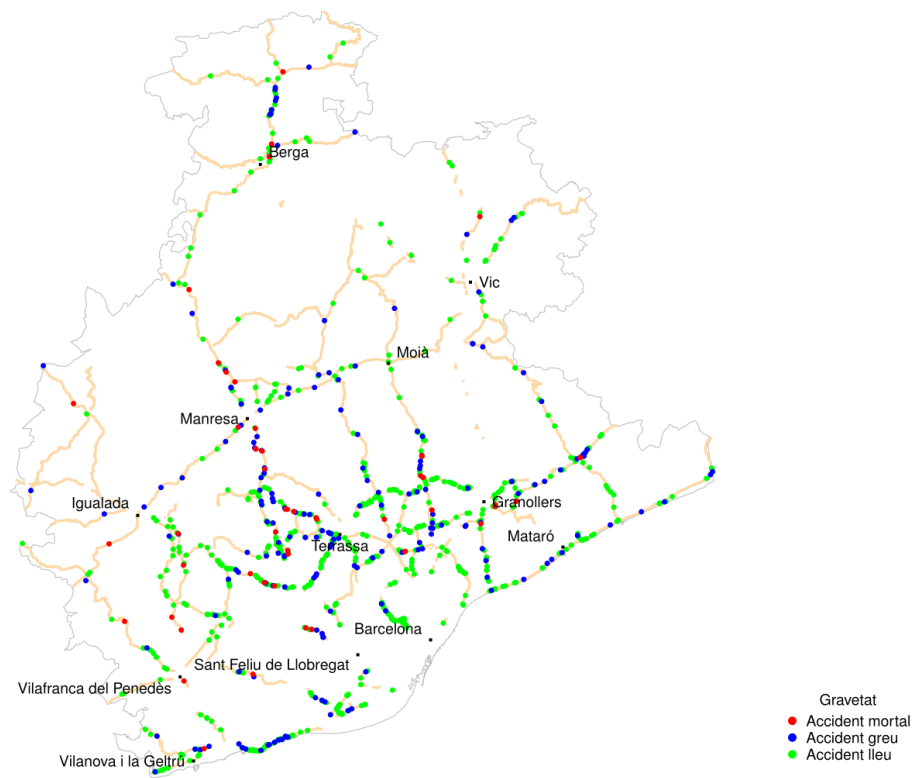


Figura 12. Localització dels accidents frontals a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de Girona

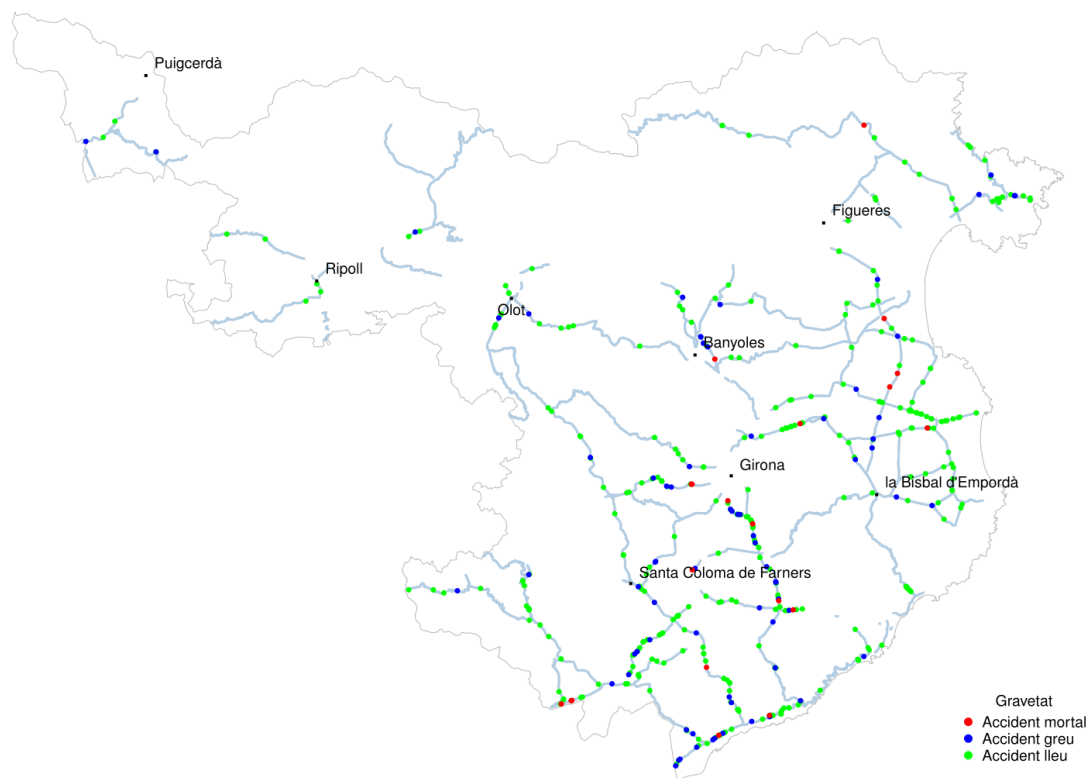


Figura 13. Localització dels accidents frontals a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de Lleida

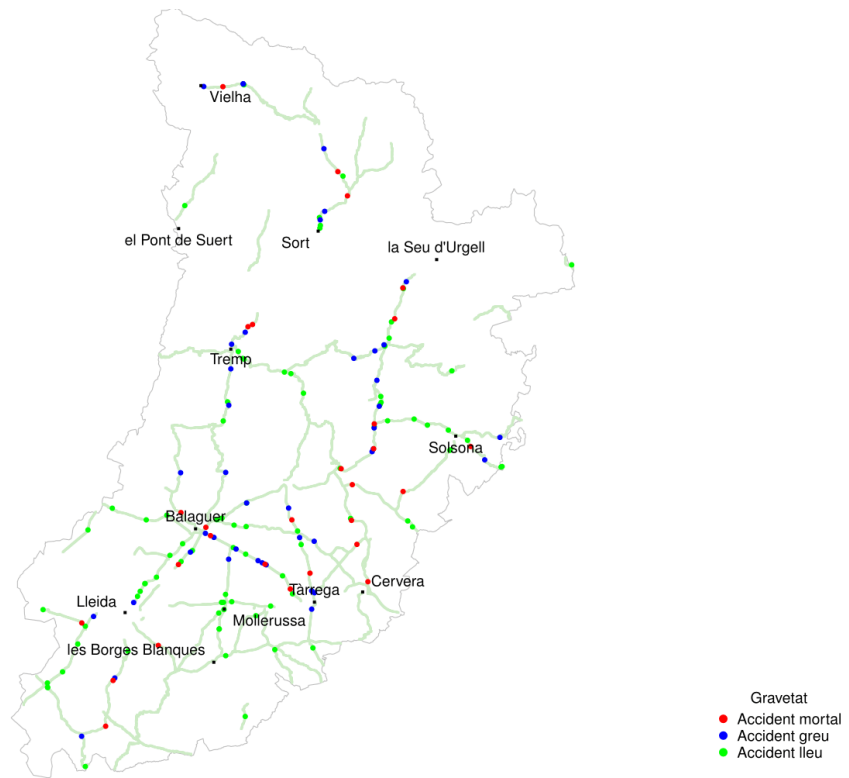


Figura 14. Localització dels accidents frontals a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de Tarragona

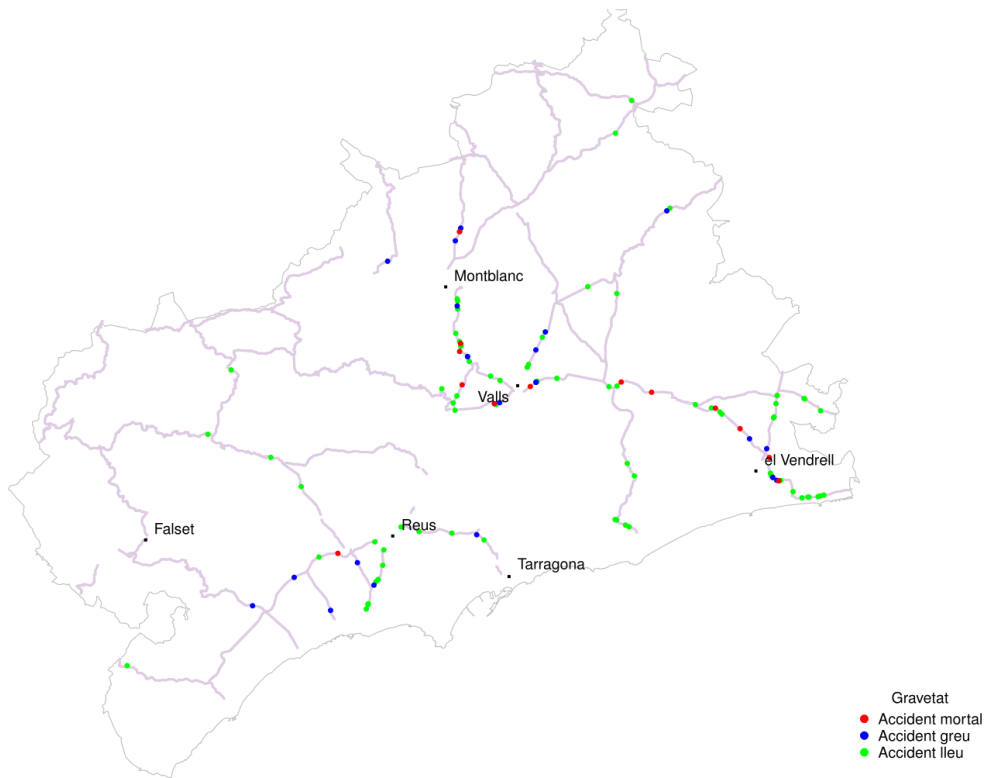
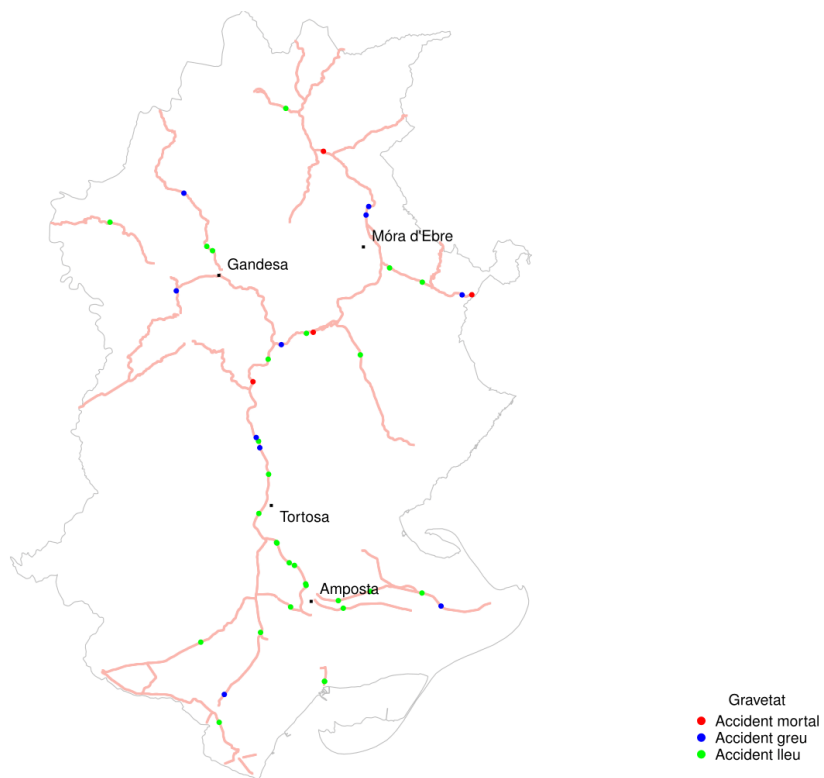


Figura 15. Localització dels accidents frontals a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de les Terres de l'Ebre



3 Metodologia

El procés d'identificació dels trams de concentració d'accidents frontals i frontolaterals (TCAF) i dels itineraris d'acumulació d'accidents frontals (IAAF) consisteix en l'aplicació d'una finestra flotant als trams estudiats per detectar amb més precisió els trams conflictius i la implementació de criteris amb base estadística que serveixin per establir un llindar a partir del qual es considera que un tram té una accidentalitat excessiva.

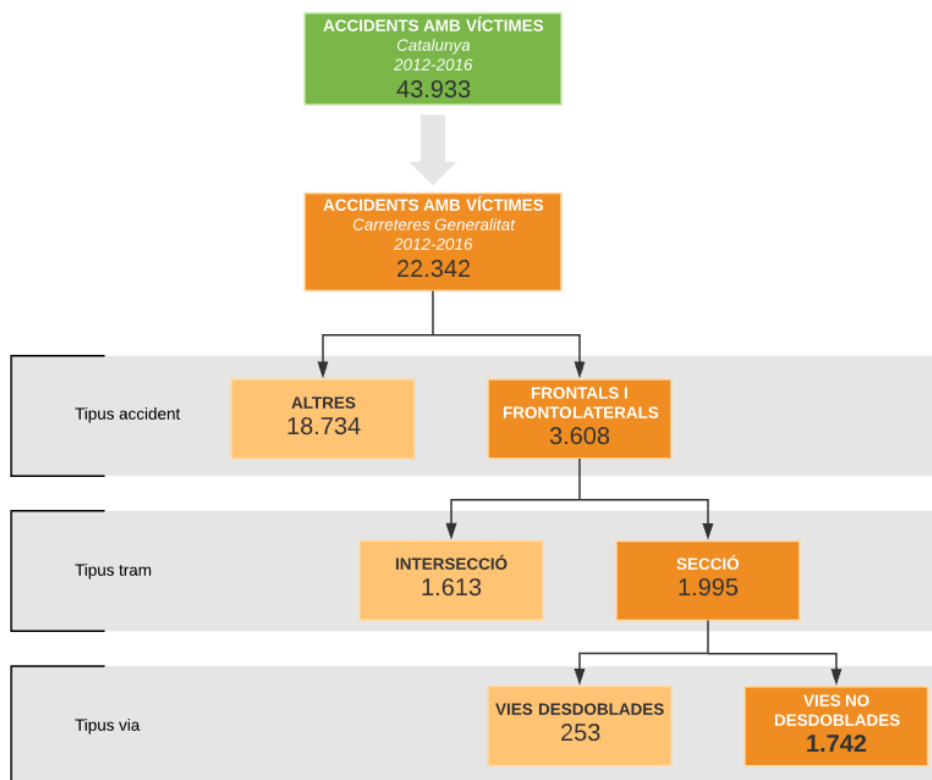
Els criteris per detectar trams conflictius de TCAF i IAAF s'estableixen des de la perspectiva de la concentració dels accidents tenint en compte la seva **frequència** i **gravetat**. Per tenir en compte la gravetat en els IAAF i en els TCAF, es ponderen els accidents amb un pes relatiu diferent per als accidents frontals de cada tram de carretera en funció de la seva gravetat donant més importància als accidents de més gravetat.

3.1 DADES BASE

Les dades utilitzades per identificar els TCAF i els IAAF són els accidents amb víctimes de tipologia frontal i frontolateral registrats entre els anys 2012 i 2016 en els trams de carretera situats fora d'interseccions de les carreteres de calçada única.

S'exclouen de les anàlisis els accidents frontals i frontolaterals que es produeixen en carreteres de doble calçada ja que les mesures de seguretat viària s'apliquen en vies de calçada única (generalment separadors de fluxos) i els que succeeixen en carreteres de calçada única quan la col·lisió es situa propera a una intersecció, ja que en aquests casos l'accident normalment està relacionat amb els moviments de la mateixa intersecció.

Figura 16. Esquema dels accidents considerats



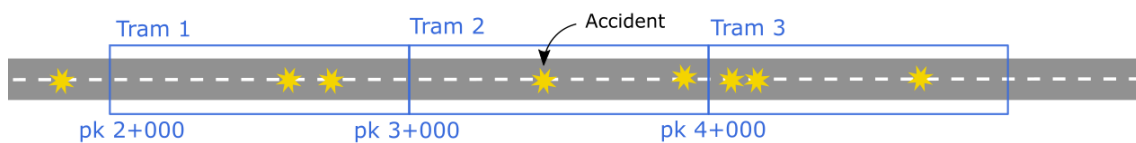
3.2 DETERMINACIÓ DE LA UNITAT D'ANÀLISI

3.2.1 Metodologia de la finestra flotant per a la identificació de TCAF i IAAF

Per determinar els punts d'especial accidentalitat d'una carretera s'ha de fer l'anàlisi dividint la carretera en segments parcials. En aquest apartat s'expliquen diversos mètodes de segmentació de la carretera aplicables als estudis de TCA en general, per concretar, després, el cas particular d'aquest estudi de TCAF i IAAF.

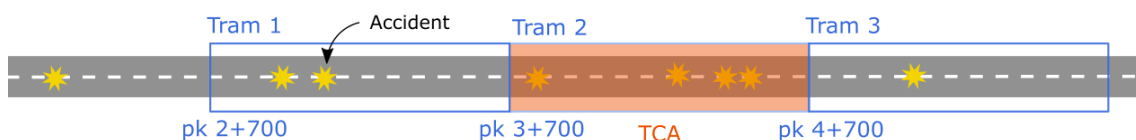
La segmentació de la xarxa de carreteres és un tema clau per a la correcta identificació dels trams de concentració d'accidents. La metodologia més senzilla utilitzada en diversos estudis de TCA és la segmentació directa de la xarxa per trams homogenis. Aquest procediment té els seus avantatges però també presenta una alta probabilitat de perdre informació important i passar per alt zones amb alta concentració d'accidents. Per exemple, la següent figura representa una segmentació directa d'una carretera en tres trams homogenis. Si el criteri per definir un tram com a TCA és que es registrin un mínim de 4 accidents, en aquest exemple no s'identificaria cap TCA.

Figura 17. Segmentació directa d'una carretera



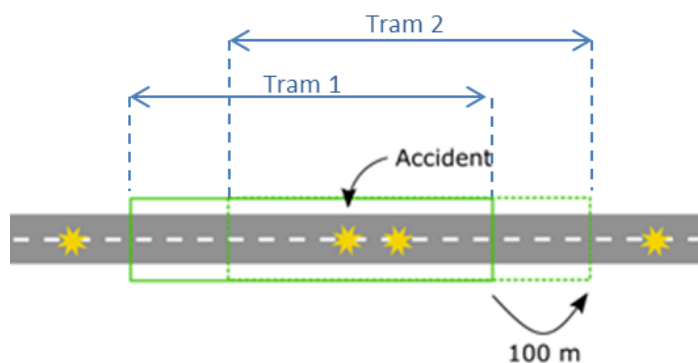
En els darrers estudis de TCA realitzats en la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya s'ha introduït millores en la segmentació de la xarxa per reduir les probabilitats de perdre informació. En el seu moment, es va estudiar que si es dividia la xarxa prenent com a referència els hectòmetres +700 de cada quilòmetre de xarxa, es minimitzaven les probabilitats de perdre informació d'accidents. Això és així perquè hi ha un gran error a l'hora de situar els accidents en el moment del seu registre i amb gran probabilitat es situen prop dels quilòmetres enters. En l'exemple anterior, si es segmenta la xarxa entre els hectòmetres +700 trobem un TCA, ja que se supera el criteri de concentració de mínim 4 accidents establert.

Figura 18. Segmentació directa d'una carretera a partir dels hectòmetres +700



Una alternativa a la segmentació fixa de la carretera és **la segmentació dinàmica en forma de finestra flotant**. Una finestra és, com en l'anterior cas, un tram de carretera d'una determinada longitud, que serveix com a unitat bàsica d'anàlisi. La diferència, però, és que per passar d'un tram al següent el que es fa és un petit decalatge, de 100 metres (el tram "flota", per això se'n diu "finestra flotant"), tal com es mostra a la figura següent:

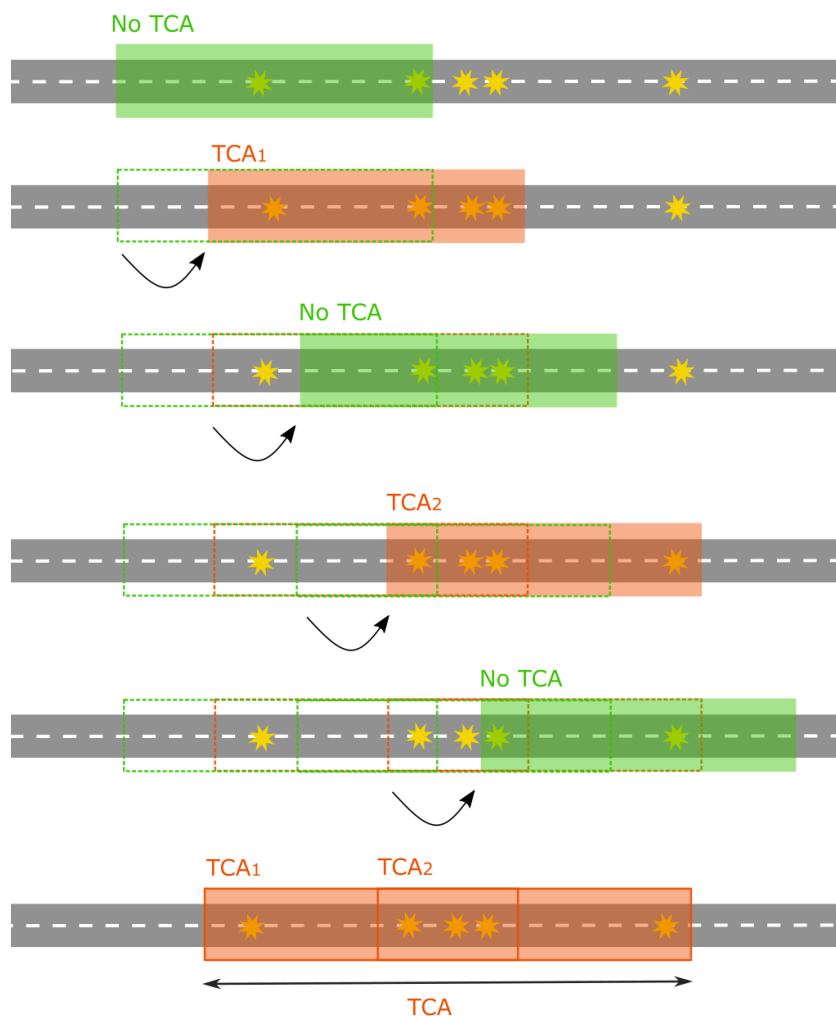
Figura 19. Exemple de finestra flotant



La finestra flotant és un procediment que incrementa la precisió a l'hora d'identificar trams amb problemes d'accidentalitat.

En cada finestra es comprova si es compleixen els criteris definits per identificar el tram com a TCA. Es mostra el procediment per identificar TCA a partir de finestra flotant seguint l'exemple anterior en què el criteri és que dins la finestra s'han d'haver registrat un mínim de 4 accidents.

Figura 20. Procés d'identificació de TCA a partir de la finestra flotant



Aplicant el procediment de la finestra flotant s'identifiquen amb més exactitud els trams de carretera amb alta accidentalitat. Seguint l'exemple, amb la finestra flotant s'identifiquen dos trams d'1 km de longitud on es supera el criteri de 4 accidents.

Tanmateix, hi ha la possibilitat d'identificar trams TCA que estiguin superposats. En aquest cas, es defineix un sol tram TCA general a partir d'agrupar les diferents finestres on s'han superat els criteris establerts. D'aquesta manera, es poden tenir TCA superiors a la longitud de la finestra (que als exemples anteriors és d'1 km de longitud).

Com a conclusió, es pot afirmar que la finestra flotant és un procediment de segmentació de la xarxa molt eficaç quan la mostra d'accidents és baixa, com és el cas de l'estudi de TCA d'accidents frontals.

3.2.2 Longitud de la finestra flotant per a l'actual estudi

La longitud adequada de la finestra flotant per a la redacció d'un estudi de TCA depèn de la distribució real dels accidents a la xarxa de carreteres, i del tipus de problemes que es volen detectar.

En general, longituds curtes (prop d'1 quilòmetre o menys) permeten identificar trams amb problemes locals d'accidentalitat (per exemple el cas d'una intersecció amb accidentalitat, o un pas de fauna amb accidents amb animals), però no són tan bons per identificar itineraris llargs amb problemes generals d'accidentalitat (per exemple, un itinerari amb característiques de traçat que provoquen accidents dispersos no concentrats).

Així, succeeix a vegades que per determinats estudis s'han de fer dues anàlisis amb longituds de finestra diferent per poder identificar els dos tipus de problemes (locals i generals).

És el cas del present estudi d'accidentalitat de tipologia frontal, on aquest doble anàlisi permet identificar trams amb problemes d'accidentalitat locals (longitud de finestra baixa) i trams o itineraris amb problemes generalitzats d'accidentalitat (longitud de finestra més gran).

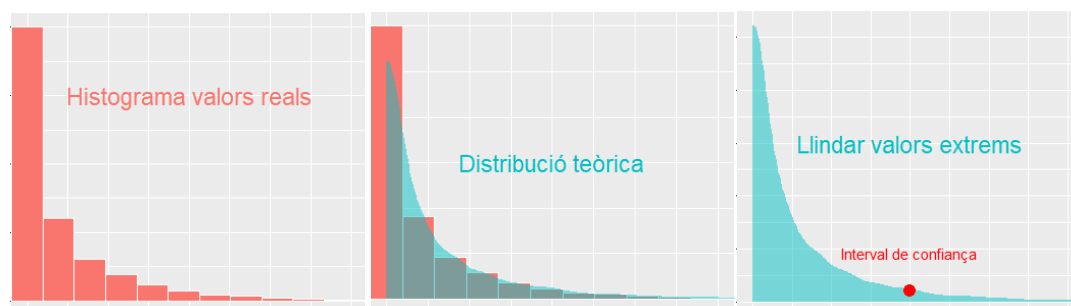
Així, per a aquest estudi d'identificació de TCAF i IAAF la unitat d'anàlisi ha estat **una finestra flotant de 5.000 m de longitud per als IAAF i de 1.000 m de longitud per als TCAF**.

3.3 PARÀMETRES DE CàLCUL

3.3.1 Model estadístic

El present estudi d'identificació dels IAAF i TCAF es basa en la detecció d'una elevada concentració d'accidents a la xarxa de carreteres. Aquest model de concentració té com a objectiu identificar els trams de la xarxa de carreteres amb un registre d'accidents frontals extrem en comparació amb la globalitat de la xarxa. Per determinar el llindar a partir del qual es considerarà que un tram ha registrat una accidentalitat extrema s'ajusten les dades d'accidentalitat a una distribució teòrica que prèviament s'ha de definir. La freqüència i gravetat dels accidents frontals s'ajusta perfectament a una distribució binomial negativa, sobre la base de l'anàlisi estadística realitzada prèviament. El llindar correspon a l'interval de confiança de la funció teòrica ajustada.

Figura 21. Model estadístic de concentració

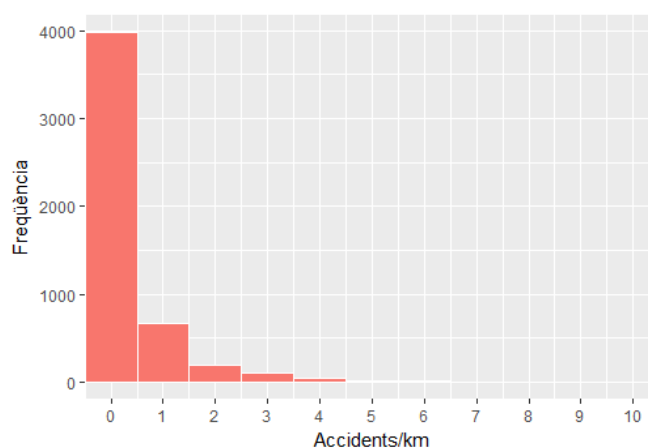


3.3.2 Anàlisi estadística

3.3.2.1 Anàlisi descriptiva de les dades d'accidents

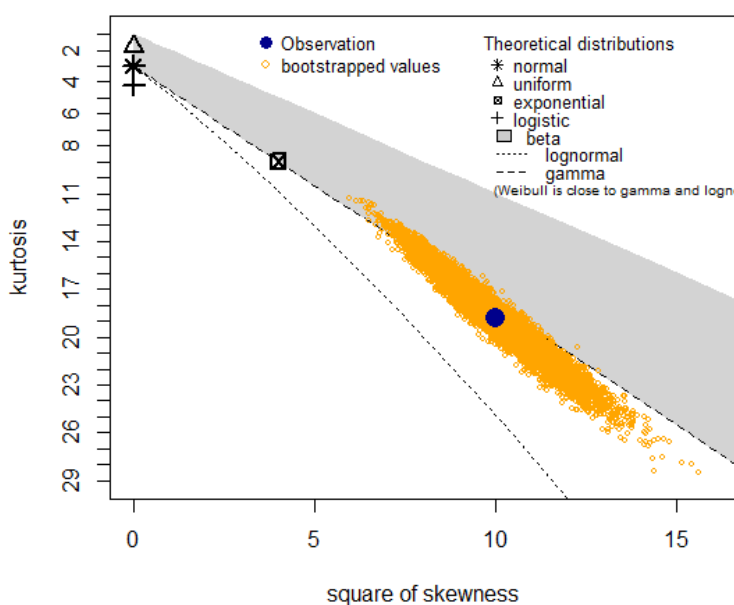
Els accidents frontals es distribueixen per la xarxa de carreteres seguint una distribució de freqüències que segueix una funció de la família exponencial.

Figura 22. Histograma de freqüències d'accidents frontals a la xarxa de carreteres



La figura següent mostra el gràfic skewness-kurtosis que determina la semblança de la distribució real vers diferents distribucions teòriques a partir dels paràmetres descriptius d'una distribució empírica. Les distribucions teòriques exponencial i gamma són les més adequades per ajustar les dades. Ateses les característiques de la variable accidents (variable discreta amb forta presència de valors nuls) s'estudia l'ajust d'aquesta distribució a una funció teòrica de Poisson i binomial negativa, ambdues de la família exponencial i gamma.

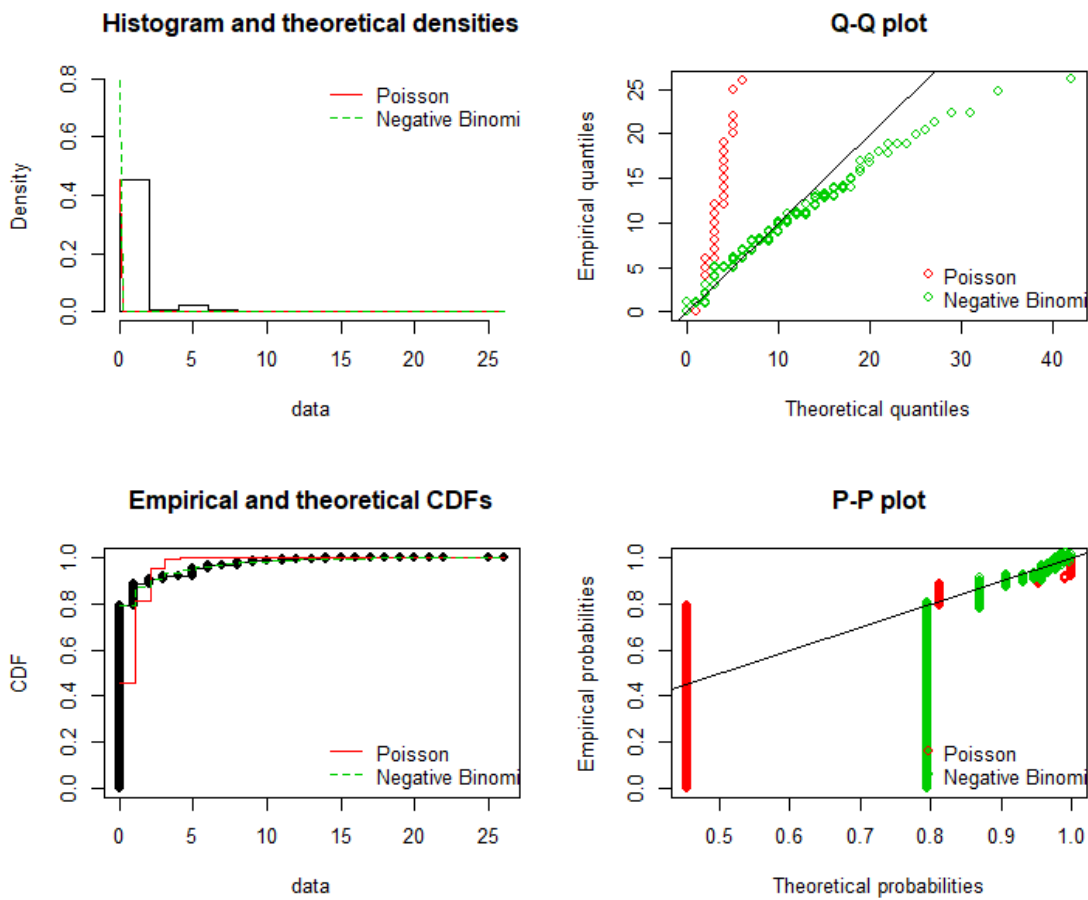
Figura 23. Semblança de valors reals d'accidents amb distribucions teòriques



3.3.2.2 Ajust a una distribució teòrica

L'anàlisi d'ajust a una distribució teòrica mostra com el nombre d'accidents no s'ajusta a una funció de Poisson (Figura 24.), però sí s'ajusta amb molt bona qualitat a una funció binomial negativa (BN). Per validar l'ajust a una distribució BN s'observa gràficament com la mostra de dades reals segueix la distribució teòrica de manera molt ajustada. Es constata que els quantils empírics (Q-Q *plot*) segueixen la tendència dels quantils teòrics d'una BN.

Figura 24. Comparativa de l'ajust a una distribució de Poisson i binomial negativa



Tot i que les anàlisis gràfiques mostren com les dades s'ajusten a una distribució BN i no s'ajusten bé a una distribució de Poisson, es realitza el test de Chi-quadrat per confirmar amb termes estadístics aquesta conclusió. La prova de Chi-quadrat és una prova no paramètrica que mesura la discrepància entre una distribució observada i una altra de teòrica amb un test d'hipòtesis. Com més gran sigui el valor de Chi-quadrat menys probable serà que les dues distribucions siguin iguals, i com més petit sigui el valor voldrà dir que hi ha més probabilitat de que les dues distribucions siguin iguals.

Els valors de Chi-quadrat per ambdues distribucions són:

Taula 4. Validació de l'ajust a una distribució teòrica

Distribució	Chi-quadrat	p-valor
Poisson	93933,2	0
Binomial Negativa	51,5	1,33e-05

Per tant, es confirma que la distribució d'accidents frontals ponderats s'ajusta millor a una distribució BN que de Poisson. Això és atès que el valor de Chi-quadrat és menor per a l'ajust a una distribució BN. Val a dir, que el p-valor de l'ajust a una BN no és del tot favorable, ja que no supera el llindar de 0,05 i, per tant, no es pot assegurar amb una probabilitat molt alta que les dades s'ajustin perfectament a una BN. De totes maneres, la prova del Chi-quadrat és força restrictiva i serveix per comparar les dues distribucions estudiades.

3.3.2.3 Determinació del llindar d'elevada concentració d'accidents

S'utilitzen els paràmetres d'ajust de la distribució binomial negativa per calcular el quantil amb una probabilitat determinada. La funció binomial negativa té la funció de densitat següent:

$$\Gamma(x+n)/(\Gamma(n)x!)p^n(1-p)^n$$

Els paràmetres d'ajust són el paràmetre d'escala (n) i la mitjana (μ), que es relaciona amb la probabilitat (p) amb l'expressió següent:

$$p = \frac{n}{n + \mu}$$

Els paràmetres d'ajust per al nombre d'accidents ponderats frontals en general són els següents:

Taula 5. Paràmetres d'ajust a una distribució binomial negativa

Paràmetre	Valors per model gravetat	Valors per model freqüència
escala	$n=0.1095807$	$n=0.2921713$
mitjana	$\mu=0.7873402$	$\mu=0.3472374$

Utilitzem els paràmetres d'ajust per calcular els quantils amb diferents valors de probabilitat:

Taula 6. Llindar per determinar els TCAF

Interval (p)	Quantil del nombre d'accidents ponderats (Gravetat)	Quantil del nombre d'accidents (Freqüència)
95%	5	3
97,5%	8	4
99%	13	6

S'utilitza el nivell de confiança del 99% com a llindar per determinar els trams amb excés de concentració d'accidents frontals. En conseqüència, segons la taula anterior, un tram a les nostres carreteres **serà identificat com a TCAF de gravetat si supera els 13 accidents frontals ponderats ocorreguts en un tram de 1.000 metres, en el període de 5 anys analitzats, i de freqüència si supera els 6 accidents frontals.**

3.4 DEFINICIÓ DELS IAAF I TCAF

Resumint tot l'explicat als punts anteriors, els elements essencials per a la determinació dels IAAF i els TCAF són la finestra flotant i el llindar d'accidents que defineix els trams amb problemes d'accidentalitat. A més, tenint en compte la complexitat d'anàlisi dels accidents frontals i amb l'objectiu de no perdre informació rellevant, s'estudien els IAAF i els TCAF des de dues perspectives; analitzant la **freqüència** dels accidents i analitzant la **gravetat**.

El càlcul per freqüència estableix un llindar en termes de nombre d'accidents amb víctimes absolut. En canvi, el càlcul per gravetat, estableix un llindar en termes d'accidents ponderats, donant un pes més elevat als accidents de més gravetat.

La ponderació dels accidents segons la seva gravetat consisteix en aplicar un pes específic diferent al nombre d'accidents en un tram segons la seva gravetat. Es pondera utilitzant diferents pesos per a calcular els IAAF i els TCAF. En els IAAF interessa englobar tots aquells trams de carretera on s'hagi registrat algun accident frontal mortal. És per això que se li dona molta més importància als accidents mortals, però sense descartar els accidents lleus del càlcul. Els pesos específics per a la ponderació dels accidents en el càlcul dels IAAF:

Accidents mortals: 100

Accidents greus: 25

Accidents lleus: 1

En la determinació dels TCAF s'utilitza una ponderació menys estricta ja que la gran majoria dels accidents mortals i greus quedaran englobats en els IAAF. Els pesos específics per a la ponderació dels accidents en el càlcul dels TCAF són:

Accidents mortals: 8

Accidents greus: 5

Accidents lleus: 1

Per tant, els criteris de definició dels IAAF i els TCAF són:

Taula 7. Criteris d'identificació d'IAAF i TCAF

Criteri	IAAF	TCAF
Longitud de finestra flotant	5 km	1 km
Llindar del càlcul per freqüència	2 accidents frontals/km	6 accidents frontals/km
Llindar del càlcul per gravetat	35 accidents frontals ponderats/km	13 accidents frontals ponderats/km

3.5 PRIORITZACIÓ A PARTIR DE L'ÍNDEX DE GRAVETAT (IG)

El procediment d'identificació dels trams de concentració d'accidents frontals (TCAF) i dels itineraris d'acumulació d'accidents frontals (IAAF) té l'objectiu d'inventariar els trams de carretera que presenten registres d'accidentalitat elevats en comparació amb la resta d'infraestructura, identificar tant problemes locals com globals i donar importància a la freqüència i a la gravetat dels accidents. Aquestes definicions es formulen des d'una perspectiva de màxims que pretén considerar tots els trams de carretera amb problemes d'accidentalitat amb accidents frontals. Tot i així, hi ha trams que presenten problemes més greus i trams on l'accidentalitat és menor.

Per jerarquitzar els IAAF i els TCAF i així obtenir llistes ordenades per prioritat, es calcula l'índex de gravetat (IG) amb una ponderació exponencial donant més pes específic als accidents mortals en funció del nombre d'accidents mortals registrat en el tram, d'acord amb l'expressió següent:

$$IG = 8M^2 + 5G + 0,5LL$$

en què, M fa referència als accidents mortals, G als accidents greus i LL als lleus. Aquesta priorització exponencial dona especial importància als accidents mortals. L'IG es presenta normalitzat entre els valors 0 i 10.

3.6 RESUM DE PARÀMETRES D'ESTUDI

El present estudi analitza la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya des de dues perspectives. En primer lloc, identifica els itineraris d'acumulació d'accidents frontals (IAAF), amb l'objectiu de definir aquelles carreteres o itineraris amb un problema generalitzat quant a accidents frontals. Per altra banda, s'identifiquen els trams de concentració d'accidents Frontals (TCAF) amb l'objectiu de trobar els trams de menys longitud on la concentració d'accidents és elevada en relació amb el conjunt de la xarxa.

La principal problemàtica dels accidents frontals i frontolaterals és l'elevada gravetat i és per això que per als IAAF i els TCAF es realitza tant un càlcul per freqüència (tenint en compte la concentració dels accident amb víctimes) com per gravetat (ponderant els accidents en funció de si s'han registrat víctimes mortals, greus o lleus).

Taula 8. Bases de càlcul dels TCAF i IAAF

Bases de càlcul	Descripció	Valor
Longitud del tram	Finestra flotant	Finestra de 5 km en el cas dels IAAF i d'1km de longitud en el cas dels TCAF.
Període d'anàlisi	Es consideren els accidents registrats del període estudiat	2012-2016
Xarxa	Trams de carretera on s'estudia la perillositat	Carreteres de calçada única de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya
Unitat d'anàlisi	Dades d'accidents frontals i frontolaterals registrats en trams fora d'intersecció en carreteres de calçada única provinents de la base de dades del SIDAT	Accidents amb resultat de víctimes mortals, greus i/o lleus
Tipologia de TCA	Es calculen els IAAF i TCAF per tenir en compte diversos aspectes que afecten l'accidentalitat	Els IAAF inclouen trams llargs amb problemes generalitzats i els TCAF fan referència a trams puntuals de concentració d'accidents.
Metodologies de càlcul	Es basa en la concentració d'accidents frontals i frontolaterals, tenint en compte la freqüència i la gravetat dels accidents	Tant els IAAF com els TCAF es calculen a partir d'un llindar de freqüència i un de gravetat
Ponderació dels accidents	Coeficients aplicats en els accidents en funció del resultat de les víctimes de l'accident a utilitzar en la metodologia del càlcul per gravetat.	Per als IAAF la ponderació utilitzada és de 100-25-1 pels accidents mortals, greus i lleus respectivament. Per als TCAF s'utilitza una ponderació de 8-5-1.
Model estadístic	Tècnica matemàtica per determinar el llindar d'accidents a partir del qual la concentració és excessiva en un tram determinat. Aquest llindar es determina ajustant les dades a una distribució de probabilitat binomial negativa i extraient el quantil equivalent a l'interval de confiança del 99%.	En els IAAF el llindar se situa en 35 accidents ponderats/km per al càlcul de gravetat i de 2 accidents per quilòmetre en el cas del càlcul per freqüència. En els TCAF el llindar se situa en 13 accidents ponderats per quilòmetre per al càlcul de gravetat i de 6 accidents/km per al càlcul de freqüència.

Bases de càlcul	Descripció	Valor
Priorització dels IAAF i TCAF	Eina per establir un ordre d'actuació en els IAAF i TCAF identificats	<p>S'utilitza l'índex de gravetat exponencial, que es defineix com:</p> $IG=8M^2+5G+0,5LL$ <p>en què M són el nombre d'accidents mortals, el nombre d'accidents greus i LL el nombre d'accidents lleus dins els IAAF i els TCAF.</p>

4 Identificació i anàlisi dels IAAF i TCAF

4.1 IDENTIFICACIÓ DELS IAAF I TCAF

La identificació dels trams de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya, pel que fa a accidents frontals, es determina segons un llinar de concentració de freqüència i de gravetat:

- IAAF de freqüència: llinar de 2 accidents/km (finestra flotant de 5 km).
- IAAF de gravetat: llinar de 35 accidents ponderats/km (finestra flotant de 5 km).
- TCAF de freqüència: llinar de 6 accidents/km (finestra flotant d'1 km).
- TCAF de gravetat: llinar de 13 accidents ponderats/km (finestra flotant d'1 km).

Aplicant els criteris definits anteriorment s'identifiquen els IAAF i TCAF següents a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya:

Taula 9. Resum dels IAAF identificats

	Càlcul per gravetat	Càlcul per freqüència
Nombre de IAAF	27	27
Quilòmetres de xarxa que és IAAF	222,6	260
Percentatge de xarxa que és IAAF	4,2%	4,9%
Accidents frontals en IAAF	346	591
Percentatge d'accidents en IAAF respecte el total	19,9%	33,9%

Taula 10. Resum dels TCAF identificats

	Càlcul per gravetat	Càlcul per freqüència
Nombre de TCAF	48	26
Quilòmetres de xarxa que és TCAF	80,0	46,5
Percentatge de xarxa que és TCAF	1,5%	0,9%
Accidents frontals en TCAF	273	258
Percentatge d'accidents en TCAF respecte del total	15,7%	14,8%

4.1.1 Caracterització dels IAAF i TCAF

L'àmbit territorial de Barcelona és el que concentra el nombre més gran de quilòmetres de trams i itineraris de concentració d'accidents frontals. A les carreteres de les Terres de l'Ebre no s'identifica cap itinerari ni tram de concentració d'accidents frontals, ni pel càlcul de gravetat ni pel càlcul de freqüència.

Taula 11. Classificació dels IAAF i TCAF identificats per àmbit territorial

Àmbit Territorial	TCAF de gravetat		TCAF de freqüència		IAAF de Ggravetat		IAAF de freqüència	
	Nombre	Longitud (km)	Nombre	Longitud (km)	Nombre	Longitud (km)	Nombre	Longitud (km)
Barcelona	29	52,7	21	39,2	15	125,0	18	189,1
Girona	9	13,9	5	7,3	7	55,3	9	70,8
Lleida	5	6,9	0	0,0	2	15,8	0	0,0
Tarragona	5	6,5	0	0,0	3	26,5	0	0,0
Terres de l'Ebre	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Total	48	80,0	26	46,4	27	222,6	27	259,9

Les carreteres de la xarxa bàsica concentren el nombre més gran d'itineraris i trams de concentració d'accidents frontals per al càlcul de gravetat. El 69,4% dels TCAF de gravetat i el 85,2% dels IAAF de gravetat s'identifiquen en carreteres de xarxa bàsica. En el càlcul per freqüència, és a les carreteres de la xarxa comarcal on s'identifiquen el nombre més gran d'itineraris i trams. El 52,7% dels TCAF de freqüència i el 42,5% dels IAAF de freqüència s'identifiquen en carreteres de xarxa comarcal.

Taula 12. Classificació dels IAAF i TCAF identificats per tipus de xarxa

Tipus de xarxa	TCAF de gravetat		TCAF de freqüència		IAAF de gravetat		IAAF de freqüència	
	Nombre	Longitud (km)	Nombre	Longitud (km)	Nombre	Longitud (km)	Nombre	Longitud (km)
Bàsica	31	55,5	9	17,4	23	201,6	10	110,4
Comarcal	15	21,7	14	24,5	4	21,0	12	110,5
Local	2	2,8	3	4,6	0	0,0	5	39,1
Total	48	80,0	26	46,4	27	222,6	27	259,9

4.1.2 Coincidències entre els TCAF 12-16 amb els TCAF 11-15

Dels 48 trams identificats com a TCAF de gravetat en el període 12-16, n'hi ha 29 que es van identificar en l'estudi anterior (període 11-15), això suposa el 60,4% dels trams. En termes de longitud, hi ha 22,5 km coincidents en els dos estudis, que suposen el 28,2% dels quilòmetres identificats com a TCAF de gravetat en el període 12-16.

Dels 26 trams identificats com a TCAF de freqüència en el període 12-16, n'hi ha 23 que es van identificar en l'estudi anterior (període 11-15), això suposa el 48% dels trams. En termes de longitud, hi ha 18 km coincidents en els dos estudis, que suposen el 38,9% dels quilòmetres identificats com a TCAF de freqüència en el període 12-16.

Taula 13. Coincidències entre els TCAF de gravetat i freqüència del 12-16 respecte dels TPCAF del període 11-15

	TCAF gravetat 12-16 respecte de TPCAF 11-15	TCAF freqüència 12-16 respecte de TPCAF 11-15
Nombre de TCAF	29	23
Percentatge de trams	60,4%	48%
Longitud (km)	22,5	18
Percentatge de longitud	28,2%	38,9%

4.1.3 Localització territorial general

Figura 25. Localització dels IAAF de gravetat a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya



Figura 26. Localització dels IAAF de freqüència a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya

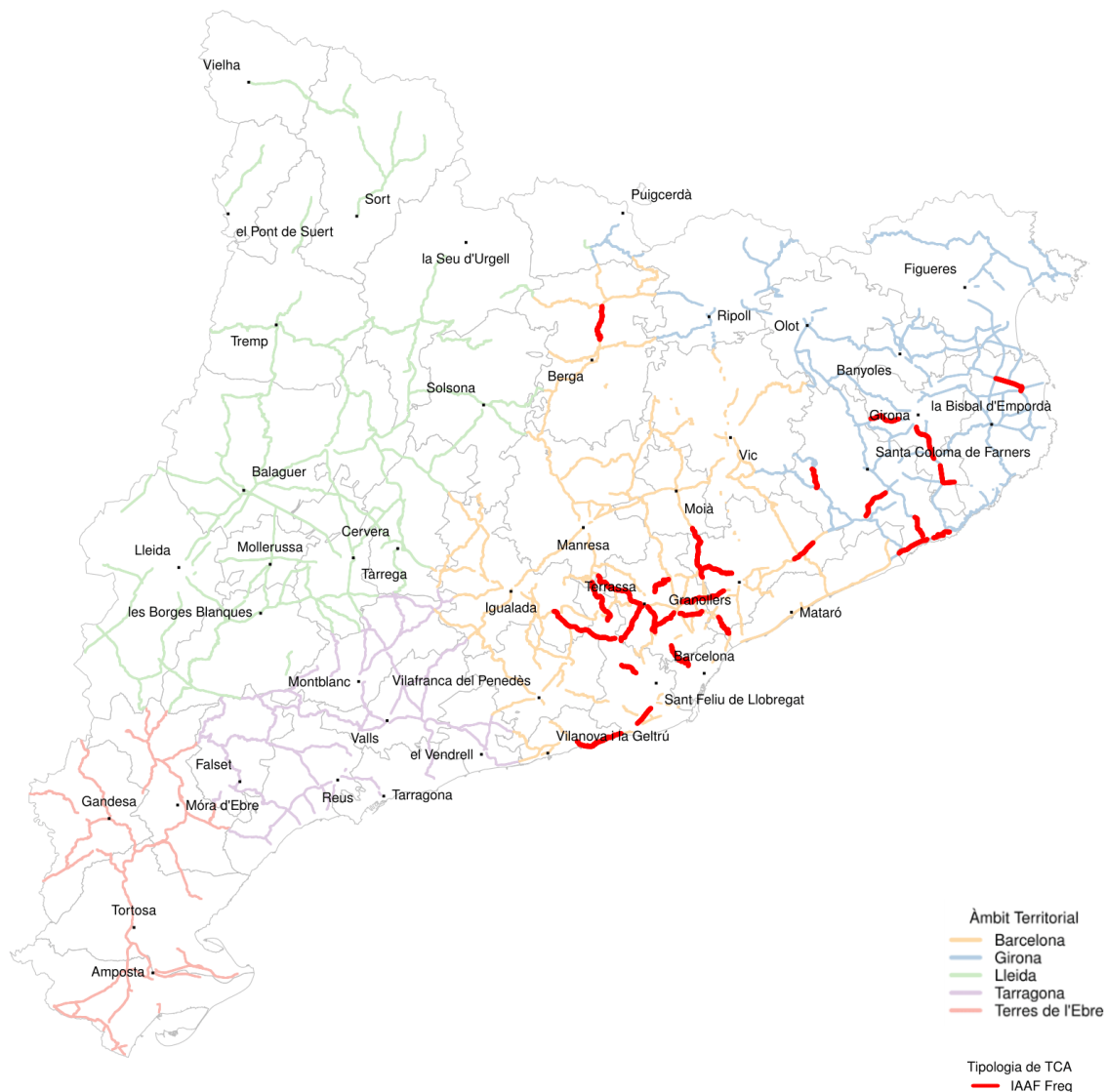


Figura 27. Localització dels TCAF de gravetat a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya

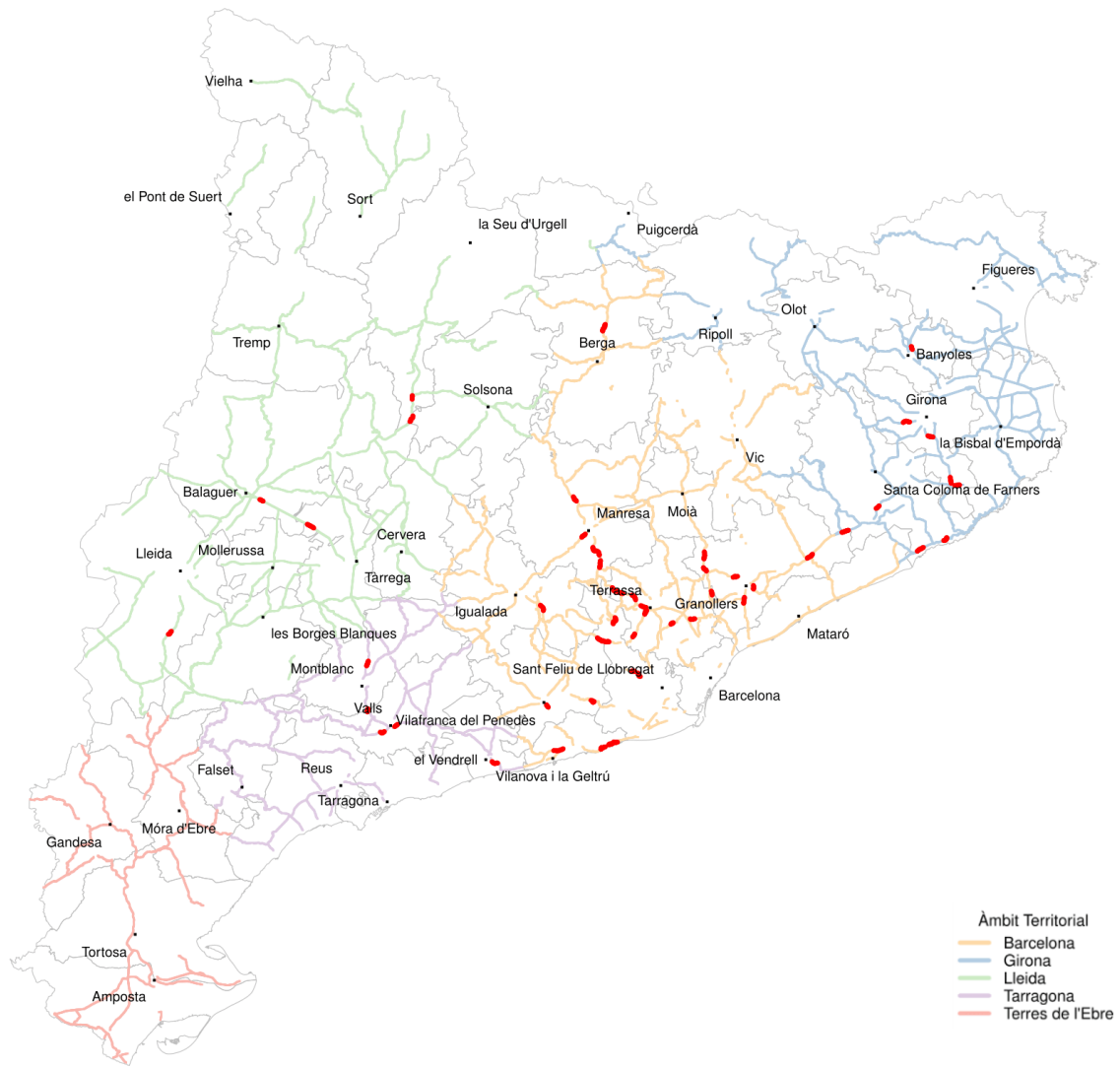
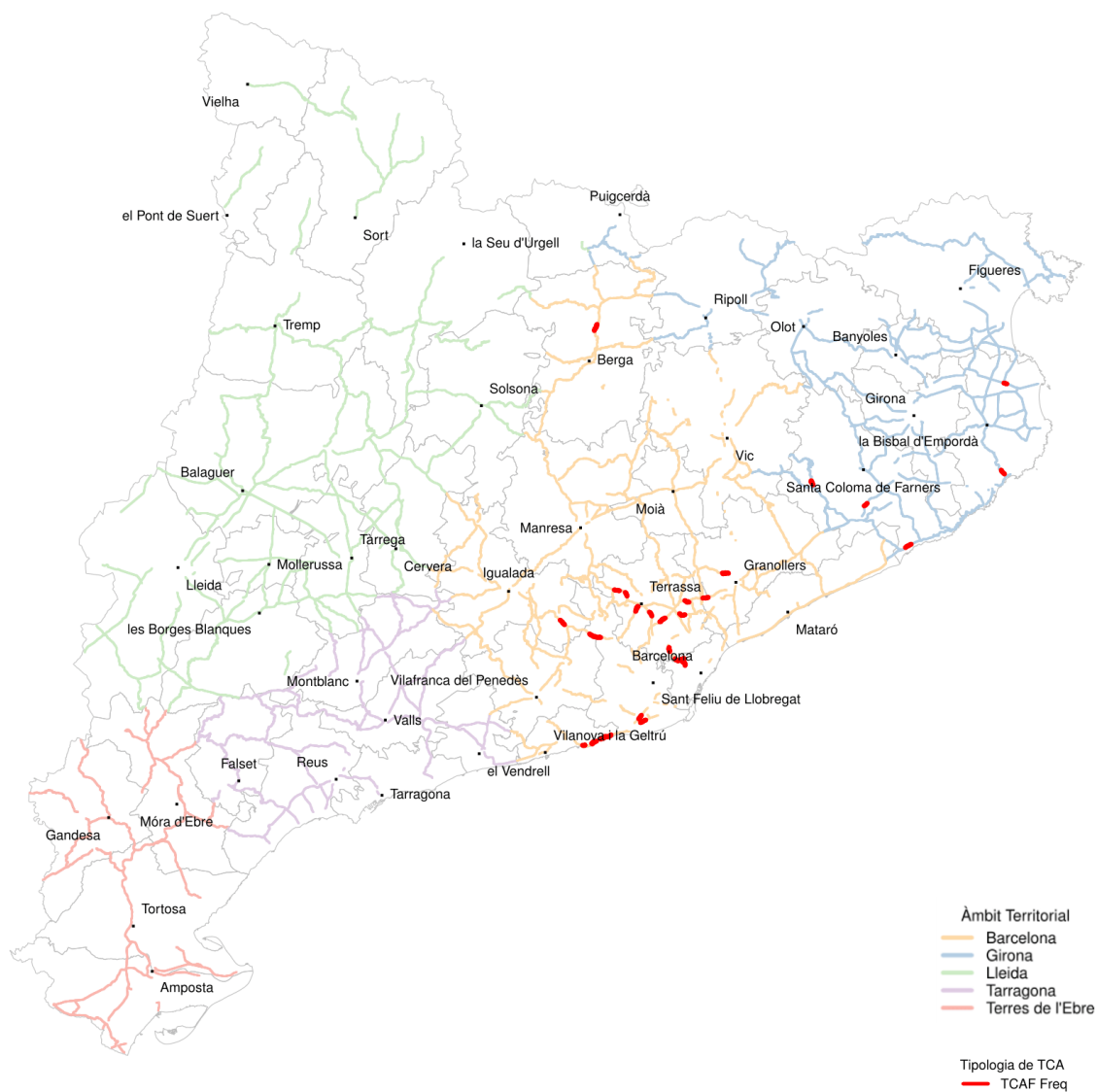


Figura 28. Localització dels TCAF de freqüència a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya



5

Conclusions

Per a aquest estudi d'identificació de trams de concentració d'accidents frontals (TCAF) i Itineraris d'acumulació d'accidents frontals (IAAF) de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya s'ha treballat amb una mostra de 3.608 accidents amb víctimes de tipologia frontal o frontolateral entre els anys 2012 i 2016. D'aquests accidents, s'han escollit els que s'han localitzat en vies no desdoblades fora d'interseccions, que sumen un total de 1.742.

Tant els TCAF com els IAAF s'estudien des de la perspectiva de la freqüència com de la gravetat. A partir d'un model estadístic de concentració d'accidents basat en una distribució binomial negativa s'estableix un llindar de 6 accidents frontals per quilòmetre que serveix com a criteri per identificar els TCAF de freqüència i un llindar de 13 accidents ponderats per quilòmetre per identificar els de gravetat. Els criteris s'apliquen a través d'una finestra flotant de 1.000 metres de longitud. En el cas dels IAAF, el criteri de freqüència s'estableix en 2 accidents frontals per quilòmetre i pel de gravetat en 35 accidents ponderats per quilòmetre amb una finestra flotant de 5 km.

Aplicant aquesta metodologia s'identifiquen 48 TCAF de gravetat i 26 de freqüència. Quant als IAAF, s'identifiquen 26 IAAF de gravetat i 27 de freqüència en el període 2012-2016. Els TCAF de gravetat suposen el 1,5% de la xarxa i concentren el 15,7% dels accidents, i en el cas dels valors de freqüència són 0,9% i 14,8%, respectivament. Els IAAF de gravetat suposen el 4,1% de la xarxa i concentren el 19,3% dels accidents, i en el cas dels valors de freqüència són el 4,9% i 33,9% respectivament.

