

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



Desembre 2018

Quadern d'infraestructures i mobilitat

38

**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  
Desembre de 2018

# Índex de continguts

1	Introducció .....	7
1.1	PRESENTACIÓ .....	7
1.2	OBJECTIUS .....	8
2	Caracterització dels accidents amb motocicletes i ciclomotors implicats .....	9
2.1	ESTADÍSTIQUES GENERALS .....	9
2.2	ANÀLISI TEMPORAL .....	15
2.3	ANÀLISI PER TIPOLOGIA DE VIA .....	16
2.4	TIPOLOGIA D'ACCIDENTS .....	17
2.5	FACTORS DE L'ENTORN .....	19
2.6	FACTOR HUMÀ .....	22
2.7	ANÀLISI TERRITORIAL .....	24
3	Metodologia .....	30
3.1	DETERMINACIÓ DE LA UNITAT D'ANÀLISI .....	30
3.1.1	<i>Metodologia de la finestra flotant per a la identificació de TCAM i ICAM.....</i>	<i>30</i>
3.1.2	<i>Longitud de la finestra flotant per a l'actual estudi .....</i>	<i>32</i>
3.2	PARÀMETRES DE CÀLCUL .....	33
3.2.1	<i>Model estadístic de concentració .....</i>	<i>33</i>
3.2.2	<i>Model estadístic de risc .....</i>	<i>37</i>
3.3	DEFINICIÓ DELS TCAM I ICAM.....	39
3.4	PRIORITZACIÓ A PARTIR DE L'ÍNDEX DE GRAVETAT (IG) .....	39
3.5	RESUM DE PARÀMETRES D'ESTUDI.....	40
4	Identificació i anàlisi dels TCAM i ICAM .....	42
4.1	IDENTIFICACIÓ DELS TCAM I ICAM .....	42
4.1.1	<i>Caracterització dels TCAM i ICAM .....</i>	<i>43</i>
4.1.2	<i>Coincidències entre els TCAM 12-16 amb els TCAM 10-14.....</i>	<i>45</i>
4.1.3	<i>Descripció territorial general .....</i>	<i>46</i>
5	Conclusions .....	48

## Índex de taules

Taula 1. Accidents amb VM2R implicats segons àmbit territorial. ....	13
Taula 2. Accidents mortals i greus amb VM2R implicats segons àmbit territorial. ....	13
Taula 3. Tipologia d'accidents per tipus de vehicles implicats. ....	18
Taula 4. Validació de l'ajust a una distribució teòrica. ....	35
Taula 5. Paràmetres d'ajust a una distribució binomial negativa. ....	36
Taula 6. Llindar per determinar els TCAM. ....	36
Taula 7. Paràmetres d'ajust a una distribució exponencial. ....	38
Taula 8. Llindar per a determinar els TCAM per risc. ....	38
Taula 9. Criteris d'identificació dels TCAM i els ICAM. ....	39
Taula 10. Bases de càlcul dels TCAM i ICAM. ....	40
Taula 11. Resum dels TCAM identificats. ....	42
Taula 12. Resum dels ICAM identificats. ....	42
Taula 13. Classificació dels TCAM identificats per àmbit territorial. ....	43
Taula 14. Classificació dels ICAM identificats per àmbit territorial. ....	43
Taula 15. Classificació dels TCAM identificats per tipus de xarxa. ....	44
Taula 16. Classificació dels ICAM identificats per tipus de xarxa. ....	45
Taula 17. Coincidències entre els TCAM del 12-16 respecte els TCAM del període 10-14. ....	45

## Índex de figures

<i>Figura 1. Evolució dels accidents amb víctimes segons els vehicles implicats.</i>	10
<i>Figura 2. Evolució dels accidents mortals i greus segons els vehicles implicats.</i>	10
<i>Figura 3. Evolució dels accidents mortals i greus en VM2R.</i>	11
<i>Figura 4. Evolució dels accidents mortals i greus en la resta de vehicles.</i>	11
<i>Figura 5. Distribució dels accidents segons la gravetat.</i>	12
<i>Figura 6. Evolució dels accidents amb VM2R implicats segons l'àmbit territorial.</i>	12
<i>Figura 7. Evolució dels accidents mortals i greus amb VM2R implicats segons l'àmbit territorial.</i>	13
<i>Figura 8. Distribució dels VM2R implicats en accidents segons l'àmbit territorial.</i>	14
<i>Figura 9. Evolució dels accidents amb VM2R implicats.</i>	14
<i>Figura 10. Evolució dels accidents mortals i greus amb VM2R implicats.</i>	15
<i>Figura 11. Distribució dels accidents de VM2R segons l'hora del dia.</i>	15
<i>Figura 12. Distribució dels accidents de VM2R segons el mes de l'any.</i>	16
<i>Figura 13. Distribució dels VM2R implicats en accidents segons el dia de l'any.</i>	16
<i>Figura 14. Distribució dels accidents de VM2R segons la zona.</i>	17
<i>Figura 15. Distribució dels accidents segons tipologia en VM2R.</i>	17
<i>Figura 16. Distribució dels accidents segons tipologia en la resta de vehicles.</i>	18
<i>Figura 17. Distribució dels accidents amb VM2R implicats segons les combinacions entre unitats.</i>	19
<i>Figura 18. Distribució dels accidents amb VM2R implicats segons la climatologia.</i>	19
<i>Figura 19. Distribució dels accidents amb VM2R implicats segons la condició del ferm.</i>	20
<i>Figura 20. Distribució dels accidents amb VM2R implicats segons la lluminositat.</i>	20
<i>Figura 21. Distribució dels accidents amb VM2R implicats segons la visibilitat.</i>	21
<i>Figura 22. Distribució dels accidents amb VM2R implicats segons les condicions de circulació.</i>	21
<i>Figura 23. Influència del factor d'atenció en els accidents amb víctimes amb VM2R implicats.</i>	22
<i>Figura 24. Errades del conductor en accidents amb víctimes amb VM2R implicats.</i>	22
<i>Figura 25. Infracció de velocitat en accidents amb víctimes amb VM2R implicats.</i>	23
<i>Figura 26. Nombre total d'accidents amb víctimes per comarca que impliquen motoristes a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya.</i>	24

Figura 27. Nombre total d'accidents mortals i greus per comarca que impliquen motoristes a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya .....	25
Figura 28. Percentatge d'accidents de VM2R amb víctimes sobre els accidents totals de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya per comarca .....	26
Figura 29. Localització dels accidents mortals i greus de VM2R a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de Barcelona. ....	27
Figura 30. Localització dels accidents mortals i greus de VM2R a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de Girona. ....	27
Figura 31. Localització dels accidents mortals i greus de VM2R a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de Lleida. ....	28
Figura 32. Localització dels accidents mortals i greus de VM2R a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de Tarragona. ....	28
Figura 33. Localització dels accidents mortals i greus de VM2R a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de les Terres de l'Ebre. ....	29
Figura 34. Segmentació directa d'una carretera .....	30
Figura 35. Segmentació directa d'una carretera a partir dels hectòmetres +700. ....	31
Figura 36. Exemple de finestra flotant. ....	31
Figura 37. Procés d'identificació de TCA a partir de la finestra flotant. ....	32
Figura 38. Model estadístic de concentració .....	33
Figura 39. Histograma de freqüències d'accidents frontals a la xarxa de carreteres. ....	34
Figura 40. Semblança de valors reals d'accidents amb distribucions teòriques. ....	34
Figura 41. Comparativa de l'ajust a una distribució de Poisson i binomial negativa. ....	35
Figura 42. Histograma de distribució dels IP de la xarxa de carreteres. ....	37
Figura 43. Resultats de l'ajust a una distribució exponencial. ....	38
Figura 44. Distribució dels TCAM per àmbit territorial. ....	43
Figura 45. Distribució dels TCAM per àmbit territorial. ....	44
Figura 46. Distribució dels TCAM per tipus de xarxa. ....	44
Figura 47. Distribució dels ICAM per àmbit territorial. ....	45
Figura 48. Localització dels TCAM a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya. ....	46
Figura 49. Localització dels ICAM a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya. ....	47

# 1 Introducció

## 1.1 PRESENTACIÓ

En la darrera dècada s'ha aconseguit en tots els àmbits i per a gairebé tots els tipus de vehicles una reducció en l'accidentalitat i en el nombre de víctimes. Tanmateix, les xifres cada cop més baixes d'accidentalitat fan cada cop més difícil aconseguir noves reduccions. S'observa, per aquest motiu, que l'evolució descendent de la sinistralitat mortal i greu s'ha estancat els darrers anys. Amb l'objectiu de reconduir la tendència cap a una reducció significativa dels accidents, cal seguir treballant en els diferents àmbits; un dels quals és el dirigit a adaptar les carreteres interurbanes i urbanes en llocs segurs per a tots els tipus d'usuaris.

Una de les estratègies principals de la Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat (DGIM) és la redacció d'estudis de trams de concentració d'accidents (TCA), amb la finalitat de treballar en la reducció de l'accidentalitat. Els estudis de TCA es basen en la identificació dels trams de carretera on s'hi registra una accidentalitat superior a l'esperada per les característiques viàries i de mobilitat de la carretera.

Els estudis de TCA es poden particularitzar per tipus d'accidents o tipus d'usuari. En el present document, l'anàlisi se centra en els accidents amb motoristes implicats (conductors de ciclomotors i de motocicletes). Aquesta tipologia d'accidents és d'especial interès donat que entre els anys 2012 i 2016 (període d'anàlisi) a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya els accidents amb víctimes amb motoristes implicats han augmentat un 30,5%. Des d'un punt de vista analític, les principals característiques de l'accidentalitat dels vehicles motoritzats de dues rodes (VM2R) es desglossa en motocicletes i ciclomotors, agafant també els valors conjunts i comparant-ho, quan es considera útil, amb l'accidentalitat global o de referència (tots els tipus de vehicles).

Per identificar els punts de la nostra xarxa amb més accidentalitat amb vehicles motoritzats de dues rodes, es calculen els **trams de concentració d'accidents amb motoristes** (TCAM) i els **itineraris de concentració d'accidents amb motoristes** (ICAM). Per assolir aquest objectiu, en el present estudi s'analitza l'accidentalitat específica per accidents amb motoristes implicats, sense tenir en compte els accidents d'altres modes de transport. Les dades utilitzades són els accidents amb resultat de víctimes mortals, greus o lleus registrats en el període estudiat 2012-2016.

Els TCAM fan referència a aquelles zones on es detecta un problema puntual de seguretat viària. Solen ser trams d'entre 1 i 5 km, tot i que en casos puntuals de carreteres amb problemes d'accidentalitat molt continuada poden tenir una longitud superior pel fet de concatenar diversos trams.

Paral·lelament, es calculen els ICAM, que tenen com a objectiu localitzar els itineraris complets o carreteres amb problemes d'accidentalitat de caràcter generalitzat i constant al llarg de la carretera. Els ICAM són itineraris de més de 5 km i poden adoptar longituds de fins a 20 km. Els TCAM estan en molts casos dins dels ICAM, fet que serveix per localitzar les zones més crítiques d'una carretera o itinerari ja problemàtic quant a accidents amb motoristes implicats.

La problemàtica dels accidents amb motoristes implicats es pretén resoldre des de diferents punts de vista. És per això que l'anàlisi d'identificació dels TCAM i dels ICAM es basa en la concentració dels accidents, però també en el risc. Per tenir en compte la concentració en els TCAM i en els ICAM s'estableix un llindar d'accidents per quilòmetre determinat per un model estadístic. En el cas del risc, s'estableix un llindar d'Índex de perillositat (IP), que relaciona els accidents amb la intensitat de vehicles (IMD).

En aquest document s'avalua la problemàtica dels accidents amb motoristes implicats respecte dels accidents en general i s'exposa la metodologia definida per a la identificació dels trams amb més accidentalitat d'aquesta tipologia de vehicles a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya.

## 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 amb motoristes (TCAM) com els Itineraris de concentració d'accidents amb motoristes (ICAM) 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 amb vehicles de dues rodes implicats.
- 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 TCAM i ICAM.
- 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 elevada accidentalitat.
- Càlcul d'indicadors que actuïn com a eines per a la prioritització dels TCAM identificats.



# 2

## Caracterització dels accidents amb motocicletes i ciclomotors implicats

Els accidents amb vehicles de dues rodes (VM2R) implicats suposen el 25,2% dels accidents a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya en el període 2012-2016. Aquesta tipologia d'accidents és d'especial interès donat que la gravetat dels accidents és més gran que en la resta d'accidents amb altres vehicles implicats. Concretament, 19% dels accidents amb vehicles de dues rodes implicats són accidents mortals i/o greus, mentre que en la resta de vehicles és el 8,7%. La diferència més significativa es dona en els accidents greus, ja que el accidents d'aquesta gravetat amb VM2R implicats suposen el 17% del total, mentre que en la resta de vehicles és el 6,9%.

### 2.1 ESTADÍSTIQUES GENERALS

La tendència dels accidents amb motoristes implicats ha estat d'un augment del 30,5% entre el 2012 i el 2016. En el mateix període, els accidents de la resta de vehicles han augmentat un 18,9%. Quant als accidents mortals i greus, els vehicles de dues rodes estan implicats en el 42,3% dels accidents amb resultat de víctimes mortals i/o greus. Entre el 2012 i el 2016, els accidents mortals i greus de VM2R han augmentat un 20,6%, mentre que en la resta de vehicles, els accidents de més gravetat s'han reduït un 13,8%.

Figura 1. Evolució dels accidents amb víctimes segons els vehicles implicats.

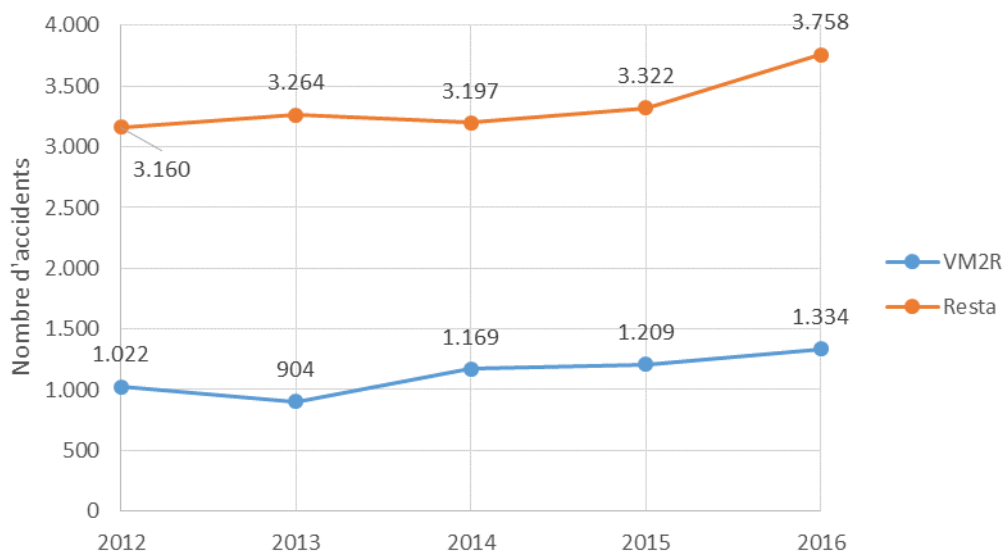


Figura 2. Evolució dels accidents mortals i greus segons els vehicles implicats.

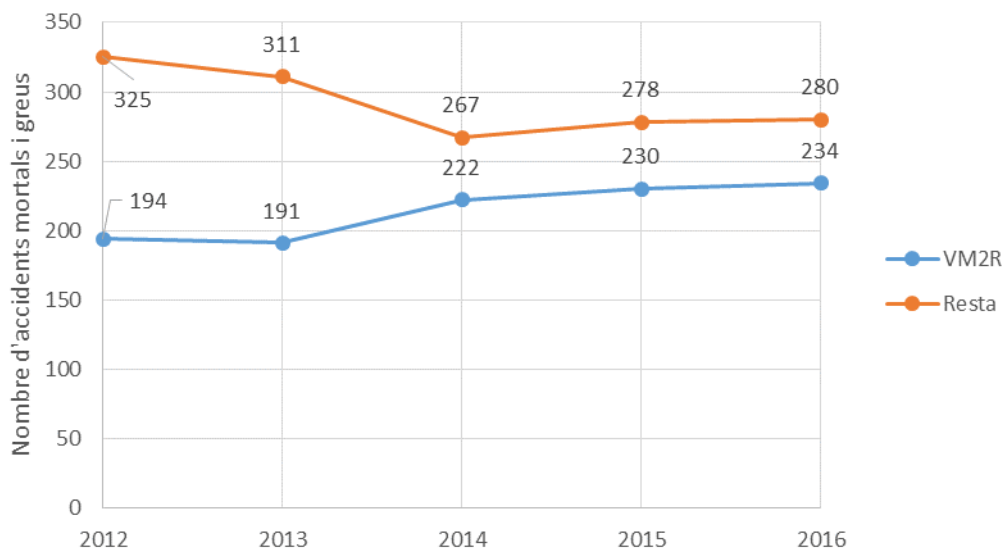


Figura 3. Evolució dels accidents mortals i greus en VM2R.

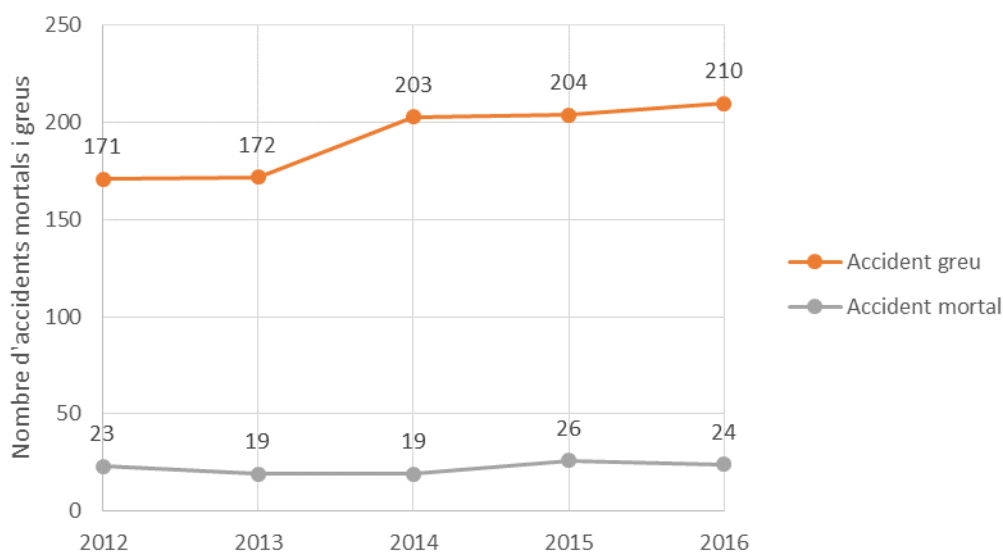


Figura 4. Evolució dels accidents mortals i greus en la resta de vehicles.

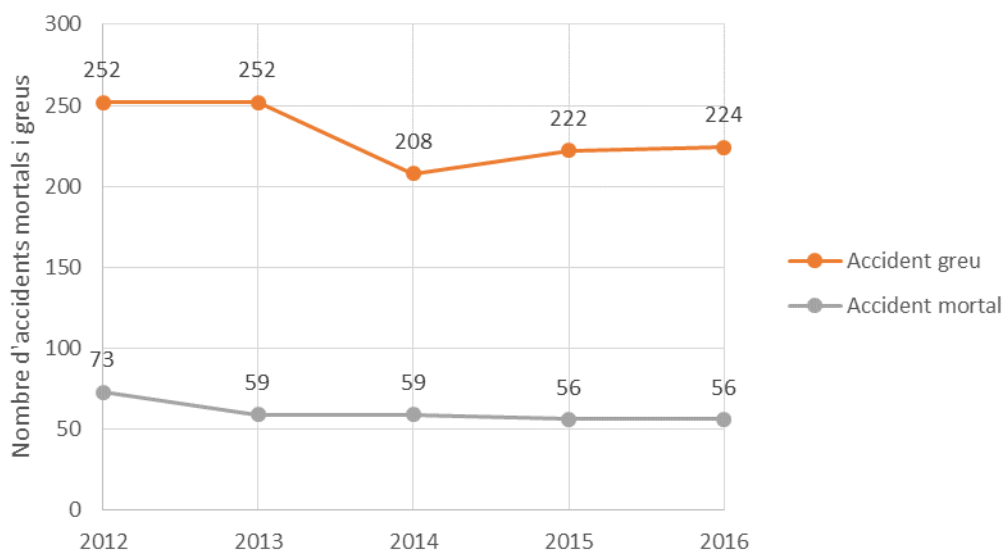


Figura 5. Distribució dels accidents segons la gravetat.

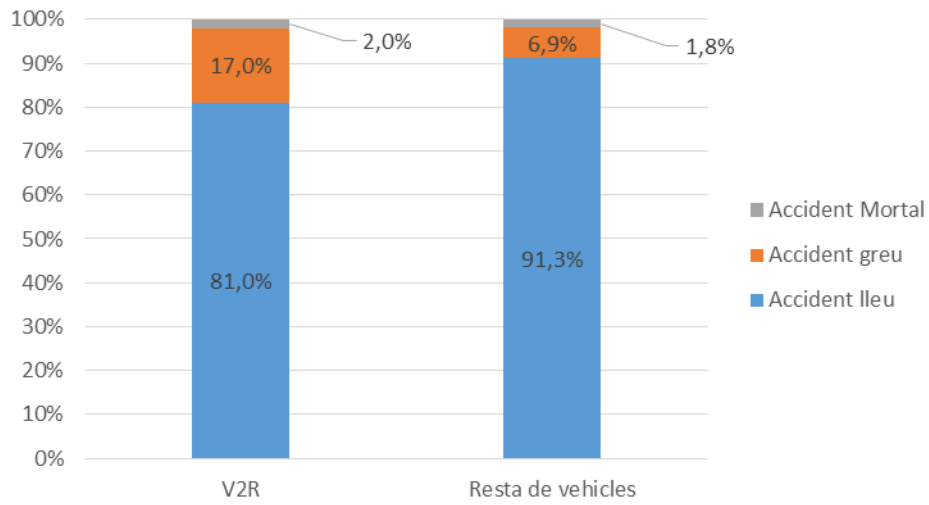
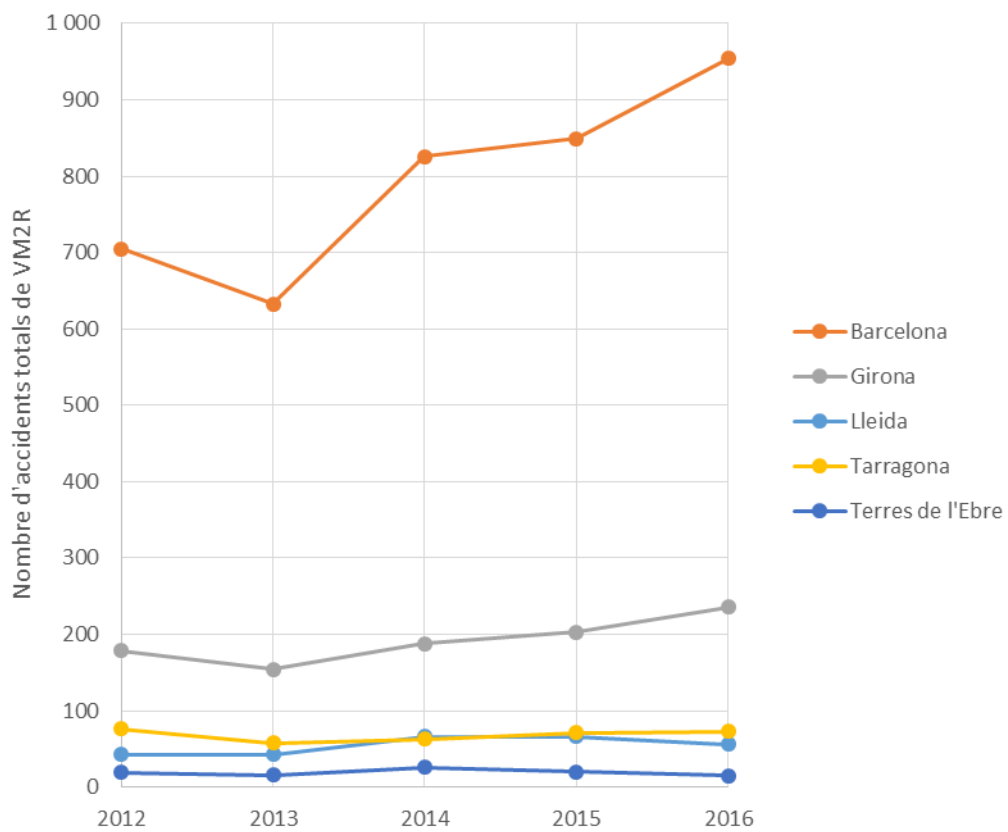


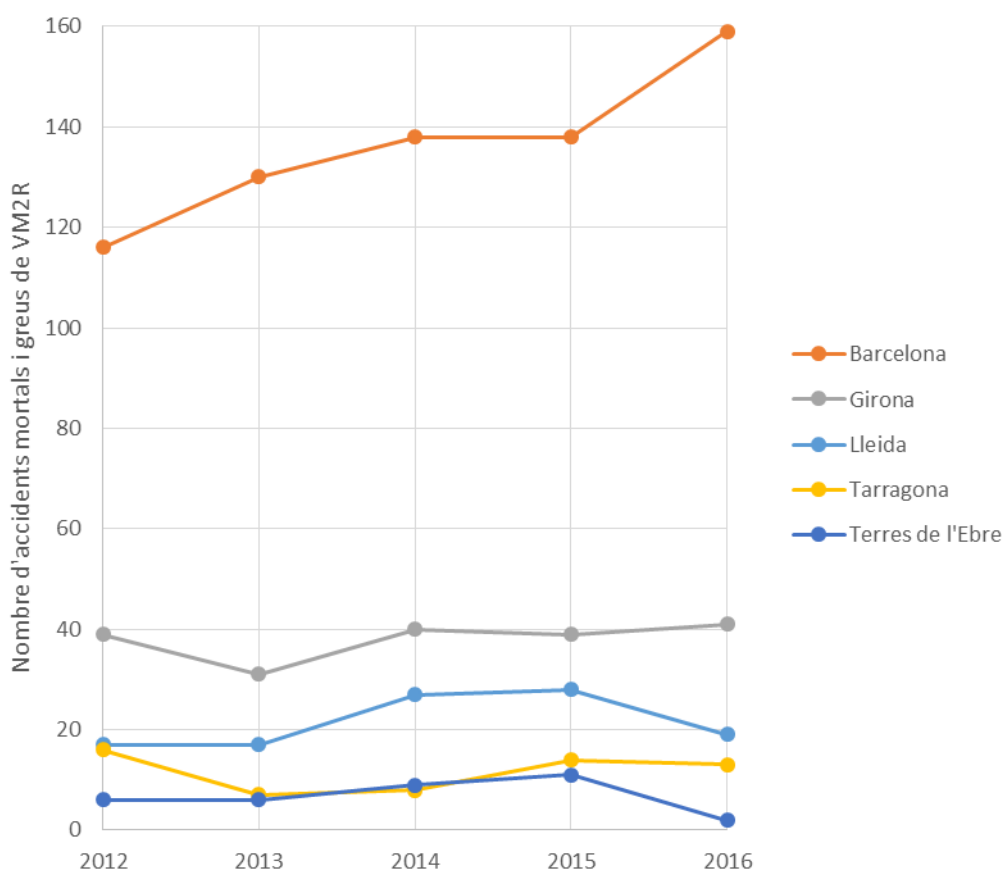
Figura 6. Evolució dels accidents amb VM2R implicats segons l'àmbit territorial.



Taula 1. Accidents amb VM2R implicats segons àmbit territorial.

Any	Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona	Terres de l'Ebre
2012	705	179	43	76	19
2013	633	154	43	58	16
2014	826	188	66	63	26
2015	849	203	66	71	20
2016	954	236	56	73	15

Figura 7. Evolució dels accidents mortals i greus amb VM2R implicats segons l'àmbit territorial

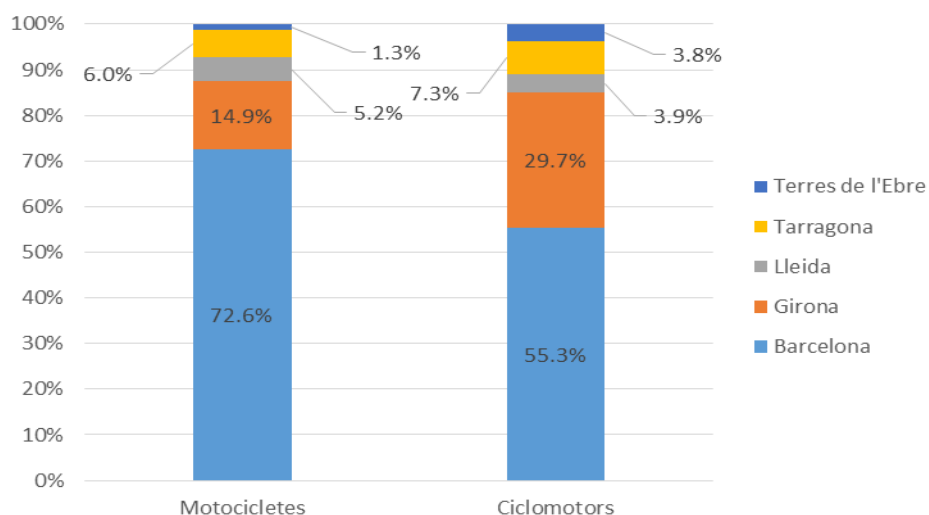


Taula 2. Accidents mortals i greus amb VM2R implicats segons àmbit territorial.

Any	Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona	Terres de l'Ebre
2012	116	39	17	16	6
2013	130	31	17	7	6
2014	138	40	27	8	9
2015	138	39	28	14	11
2016	159	41	19	13	2

Per àmbit territorial, Barcelona i Girona són els territoris amb més concentració de VM2R implicats en accidents. En l'àmbit territorial de Barcelona les motocicletes (72,6%) tenen més presència en els accidents (72,6%) que els ciclomotors (55,3%). En l'àmbit territorial de Girona són els ciclomotors (29,7%) que tenen més presència que les motocicletes (14,9%) en els accidents amb víctimes.

Figura 8. Distribució dels VM2R implicats en accidents segons l'àmbit territorial.



Entre els vehicles de dues rodes, l'evolució de l'accidentalitat mostra diferències. Entre el 2012 i el 2016 el nombre de ciclomotors implicats en accidents totals amb víctimes es va reduir un 11,6%, mentre que les motocicletes implicades van augmentar un 41%. Tenint en compte només els accidents mortals i greus, el ciclomotors que s'han vist implicats s'han reduït el 24%, però les motocicletes han augmentat un 27%.

Figura 9. Evolució dels accidents amb VM2R implicats.

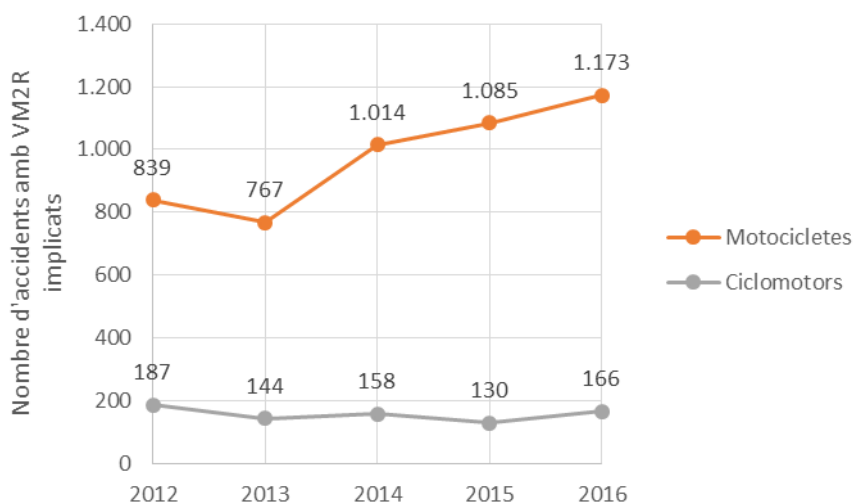
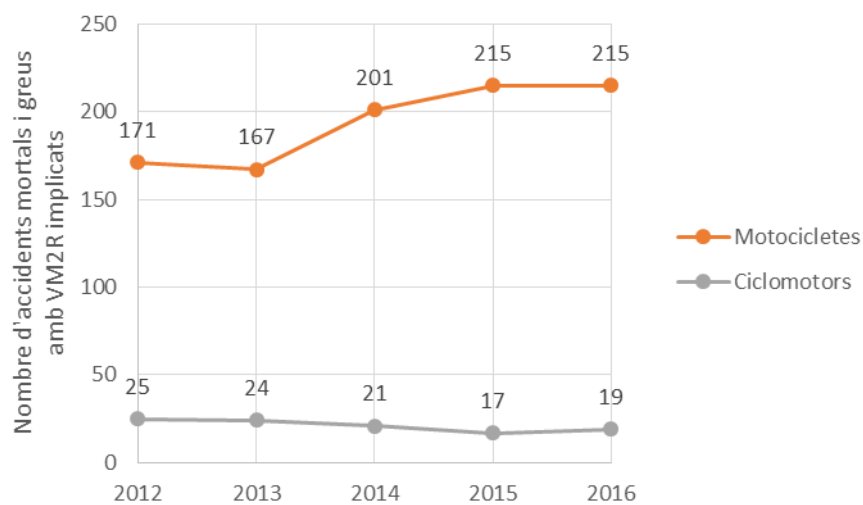


Figura 10. Evolució dels accidents mortals i greus amb VM2R implicats.



## 2.2 ANÀLISI TEMPORAL

Figura 11. Distribució dels accidents de VM2R segons l'hora del dia.

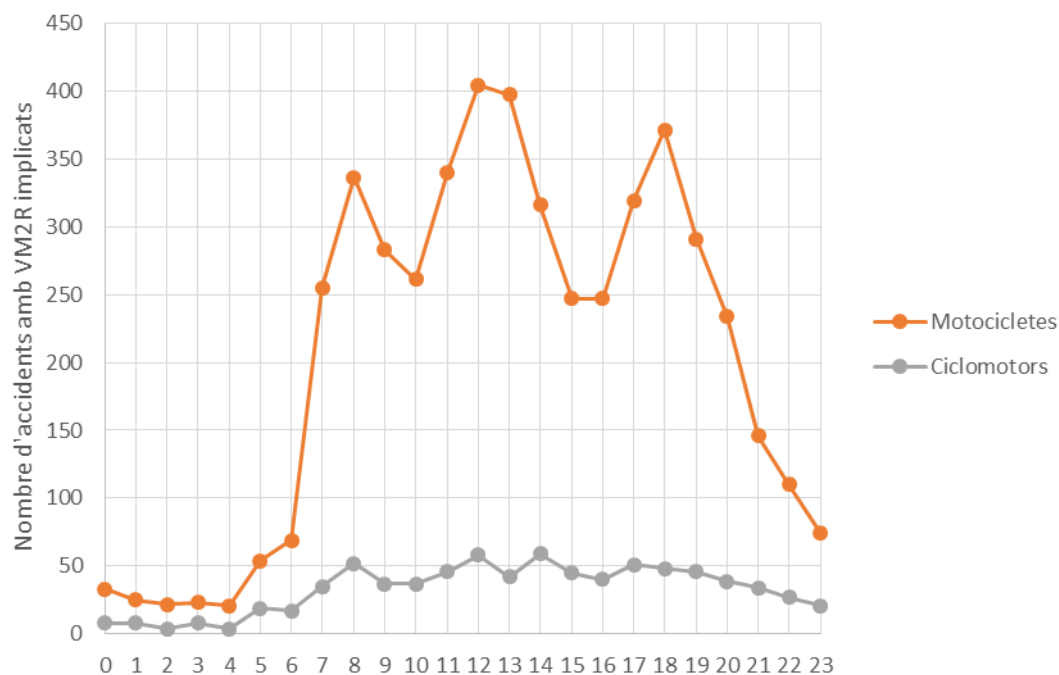
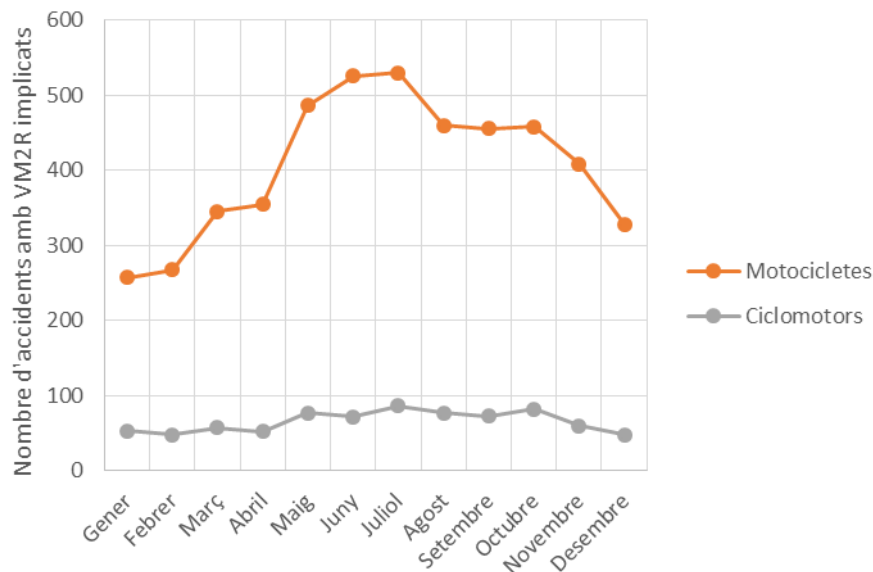
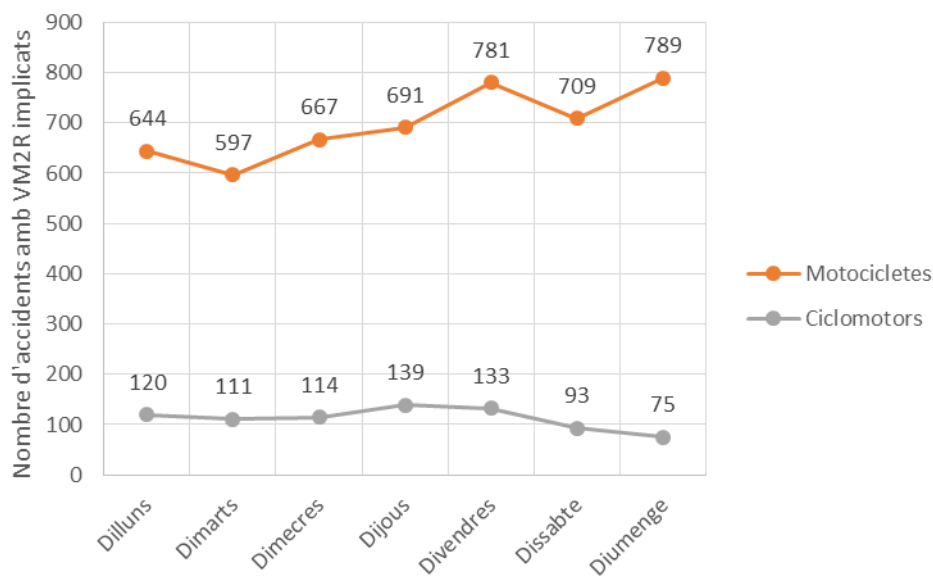


Figura 12. Distribució dels accidents de VM2R segons el mes de l'any.



El diumenge és el dia de la setmana amb més motocicletes implicades en accidents, mentre que els ciclomotors mostren més concentració en els dies entre setmana.

Figura 13. Distribució dels VM2R implicats en accidents segons el dia de l'any.

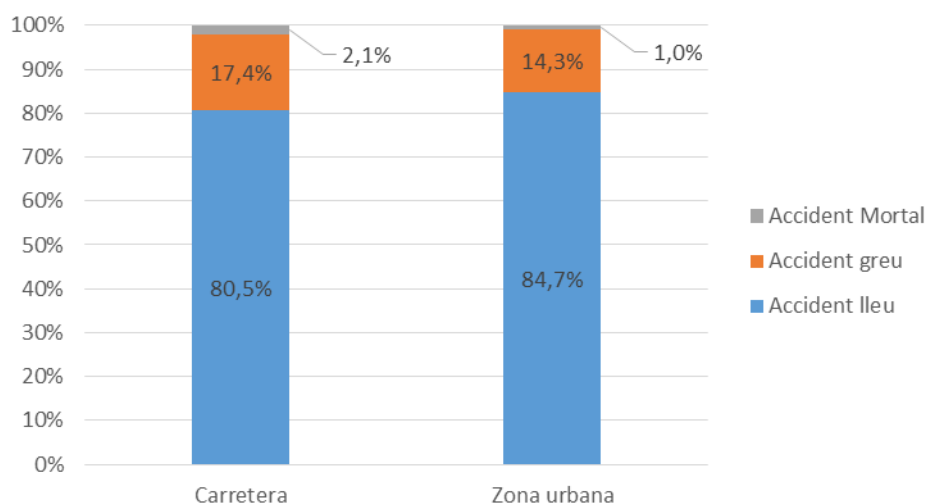


### 2.3 ANÀLISI PER TIPOLOGIA DE VIA

En zona interurbana, el 19,5% dels accidents amb VM2R implicats són mortals i/o greus, mentre que en zona urbana el percentatge és del 15,3%.



Figura 14. Distribució dels accidents de VM2R segons la zona.



## 2.4 TIPOLOGIA D'ACCIDENTS

La caiguda en la via és la tipologia d'accident més freqüent entre els vehicles de dues rodes (29% dels accidents), mentre que en la resta de vehicles són les sortides de via la tipologia més freqüent (35%).

Figura 15. Distribució dels accidents segons tipologia en VM2R.

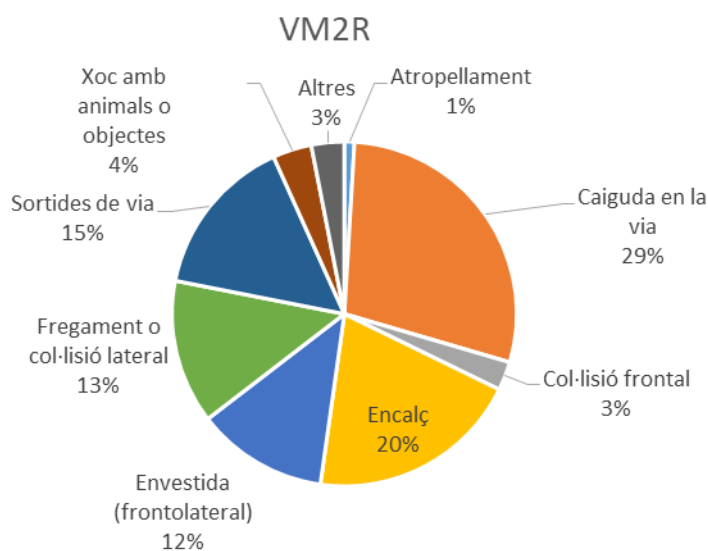
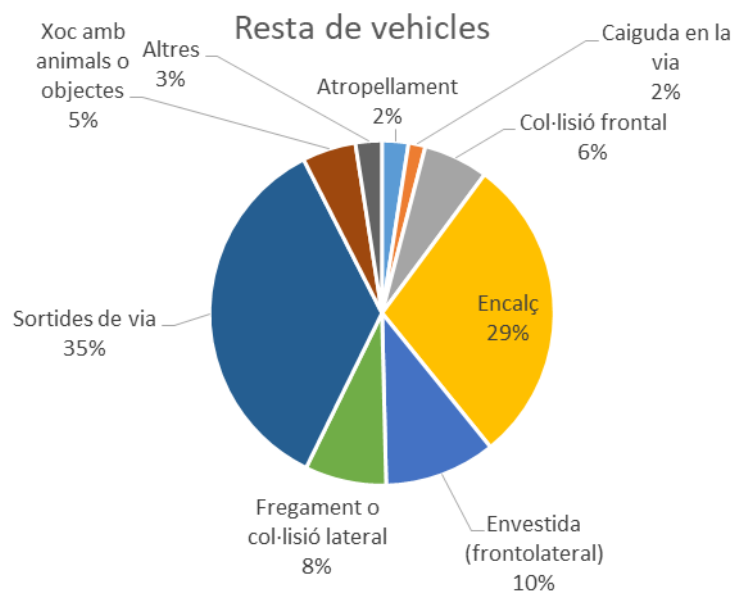


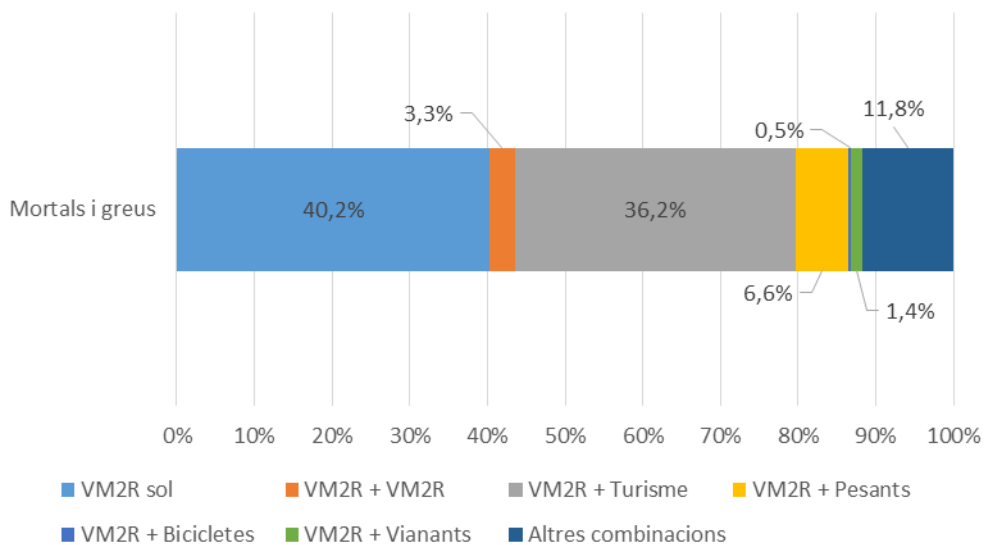
Figura 16. Distribució dels accidents segons tipologia en la resta de vehicles.



Taula 3. Tipologia d'accidents per tipus de vehicles implicats.

Tipologia d'accident	VM2R	Resta de vehicles
Atropellament	53	413
Caiguda en la via	1.612	265
Col·lisió frontal	152	1.016
Encaç	1.128	4.848
Envestida (frontolateral)	695	1.744
Fregament o col·lisió lateral	763	1.277
Sortides de via	855	5.883
Xoc amb animals o objectes	206	841
Altres	174	414
<b>Total</b>	<b>5.638</b>	<b>16.701</b>

Figura 17. Distribució dels accidents amb VM2R implicats segons les combinacions entre unitats.



## 2.5 FACTORS DE L'ENTORN

Figura 18. Distribució dels accidents amb VM2R implicats segons la climatologia.

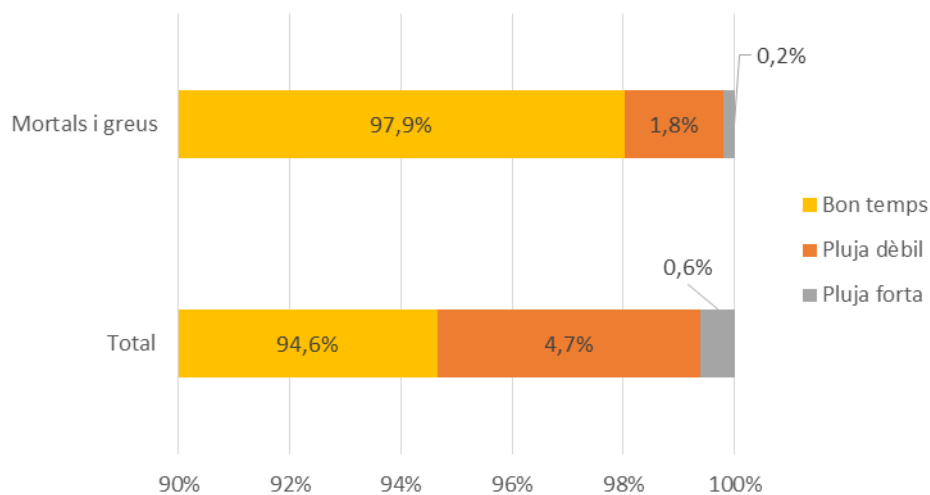


Figura 19. Distribució dels accidents amb VM2R implicats segons la condició del ferm.

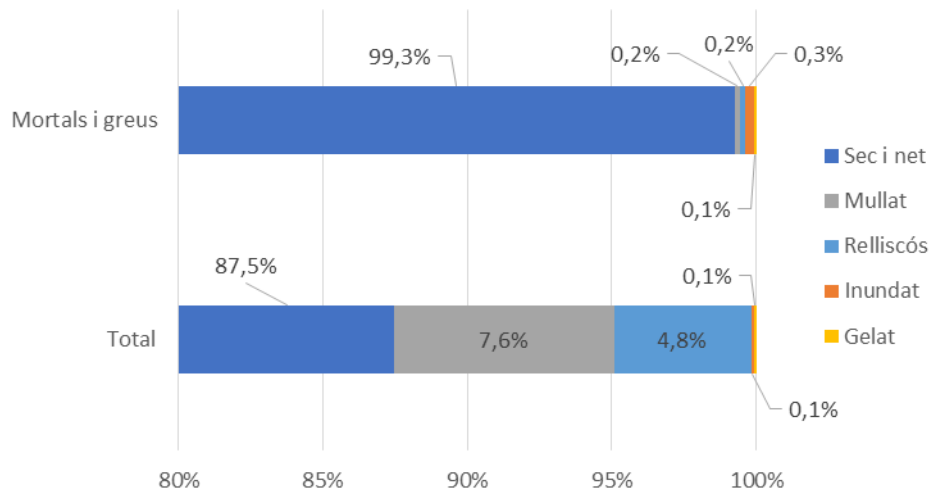


Figura 20. Distribució dels accidents amb VM2R implicats segons la lluminositat.

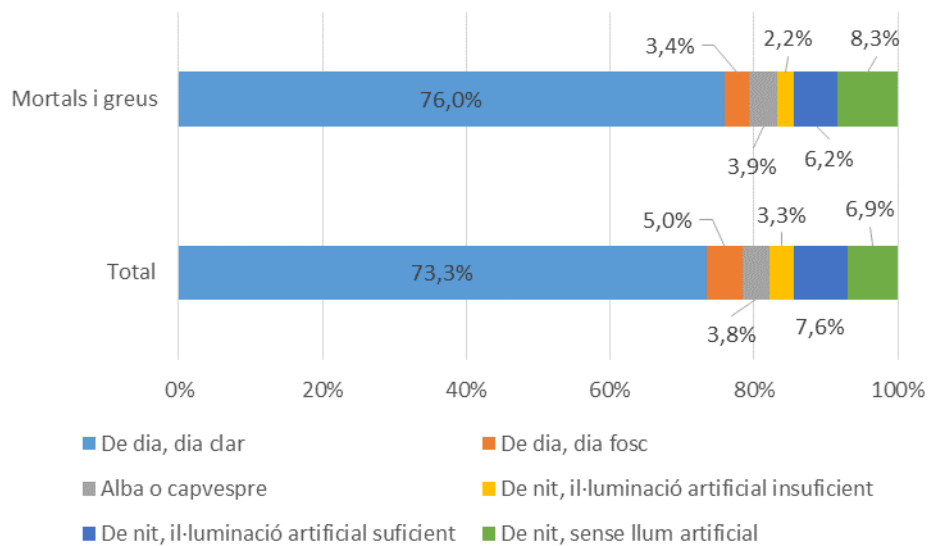


Figura 21. Distribució dels accidents amb VM2R implicats segons la visibilitat.

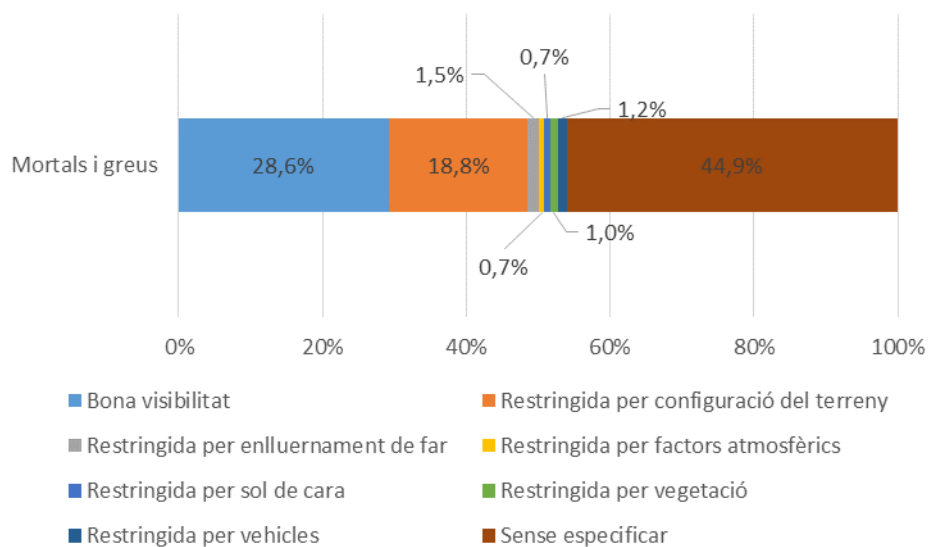
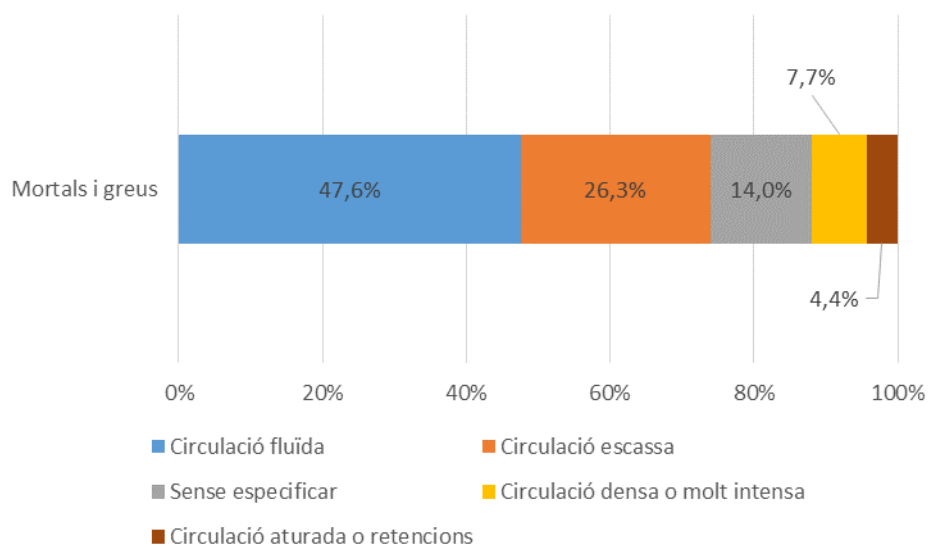


Figura 22. Distribució dels accidents amb VM2R implicats segons les condicions de circulació.



## 2.6 FACTOR HUMÀ

Figura 23. Influència del factor d'atenció en els accidents amb víctimes amb VM2R implicats.

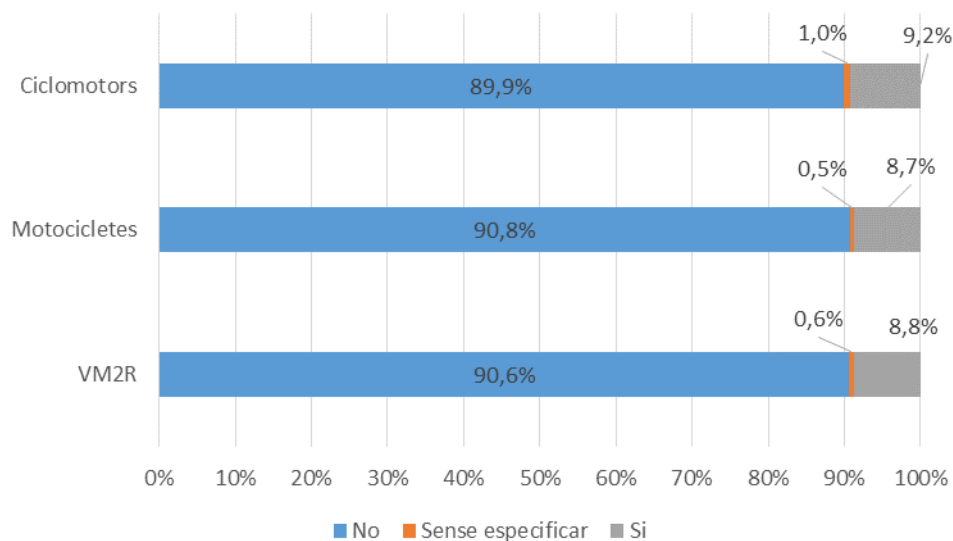


Figura 24. Errades del conductor en accidents amb víctimes amb VM2R implicats.

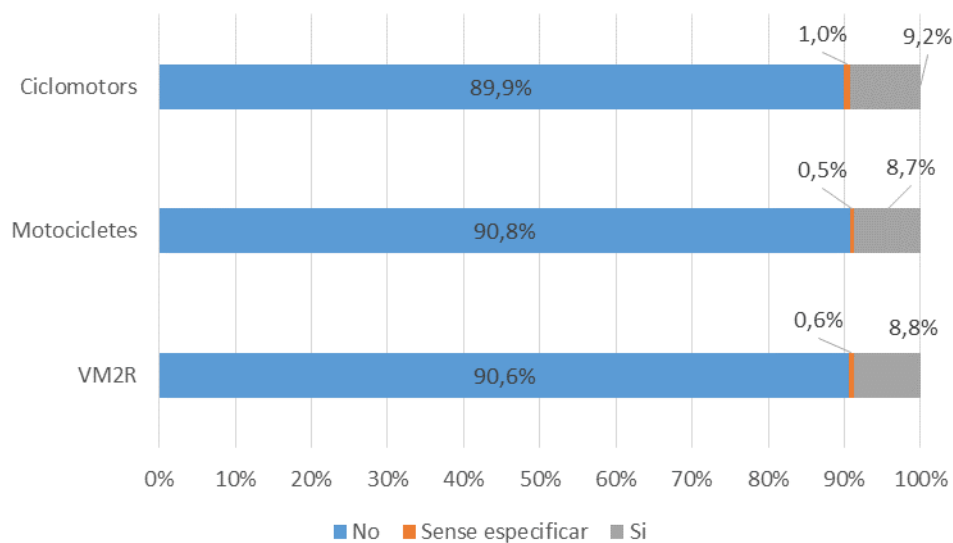
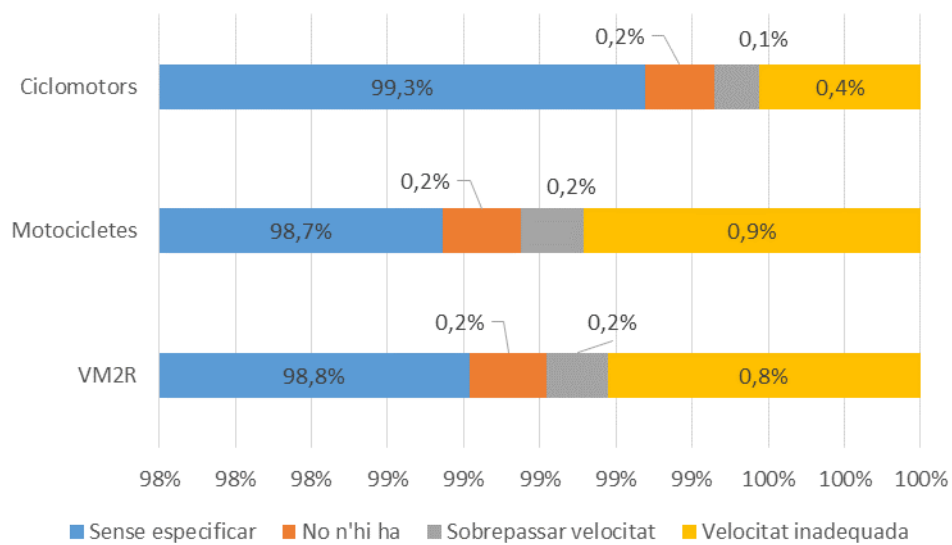


Figura 25. Infracció de velocitat en accidents amb víctimes amb VM2R implicats.



## 2.7 ANÀLISI TERRITORIAL

Figura 26. Nombre total d'accidents amb víctimes per comarca que impliquen motoristes a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya.

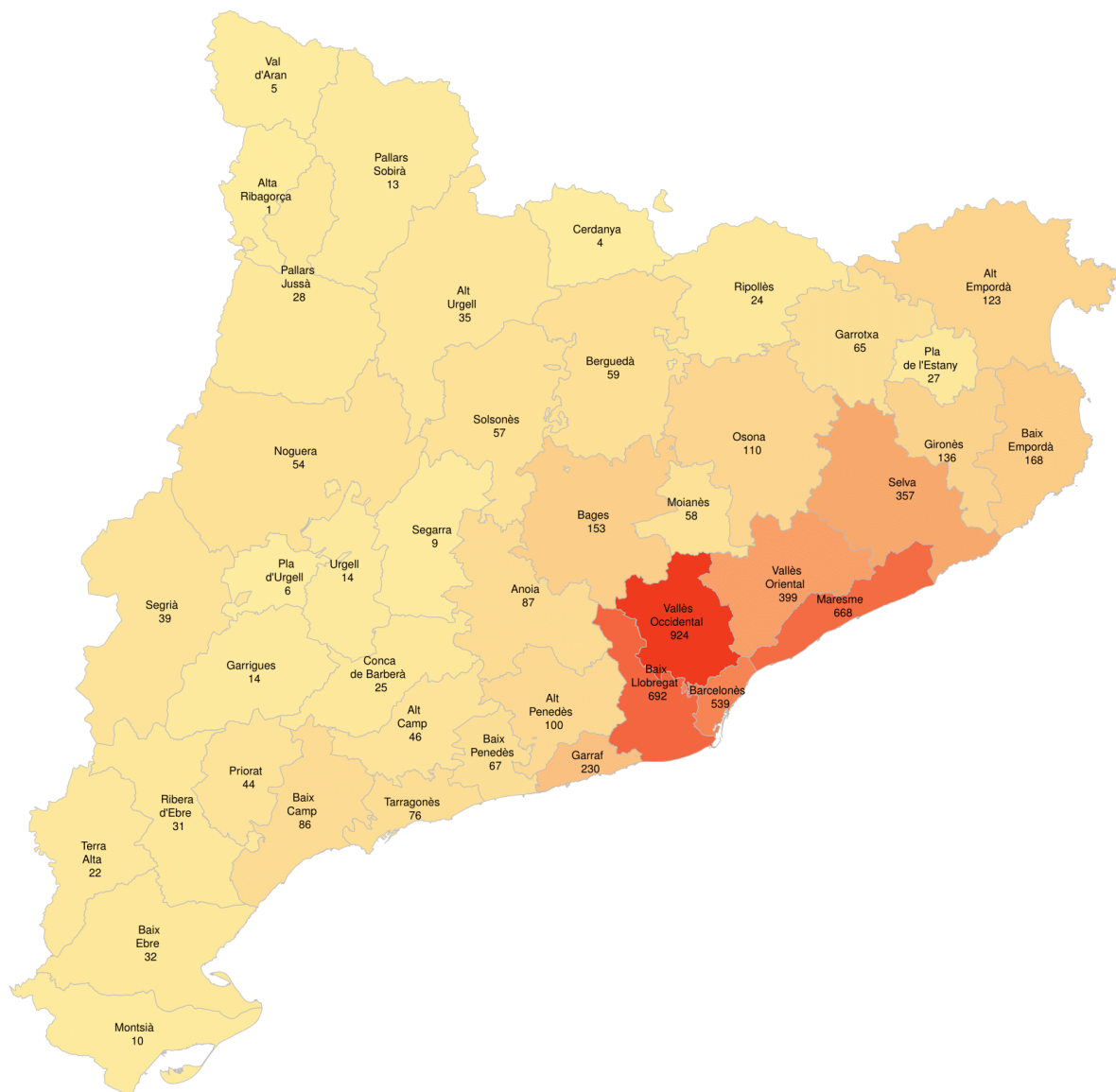




Figura 27. Nombre total d'accidents mortals i greus per comarca que impliquen motoristes a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya .

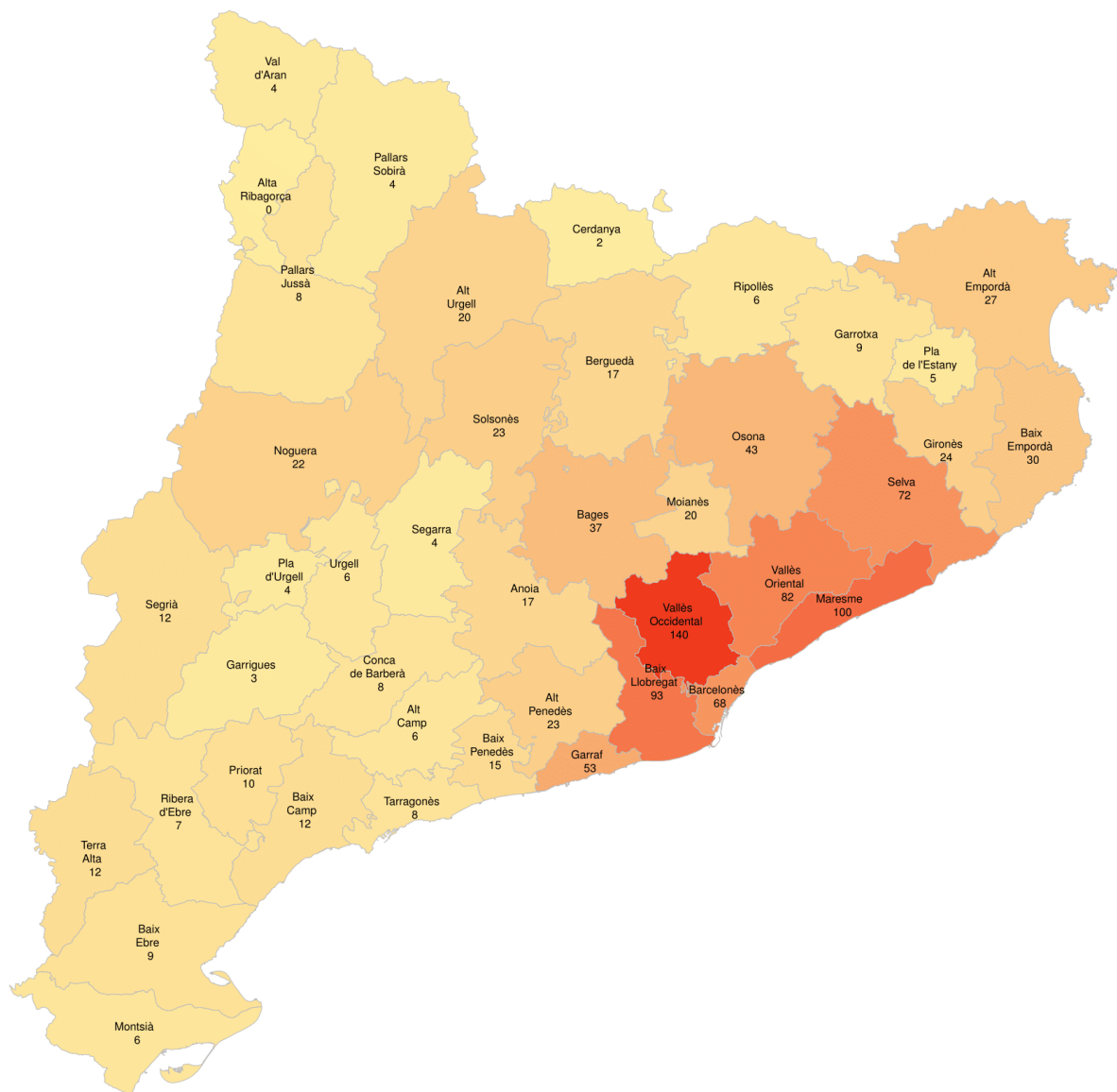


Figura 28. Percentatge d'accidents de VM2R amb víctimes sobre els accidents totals de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya per comarca.

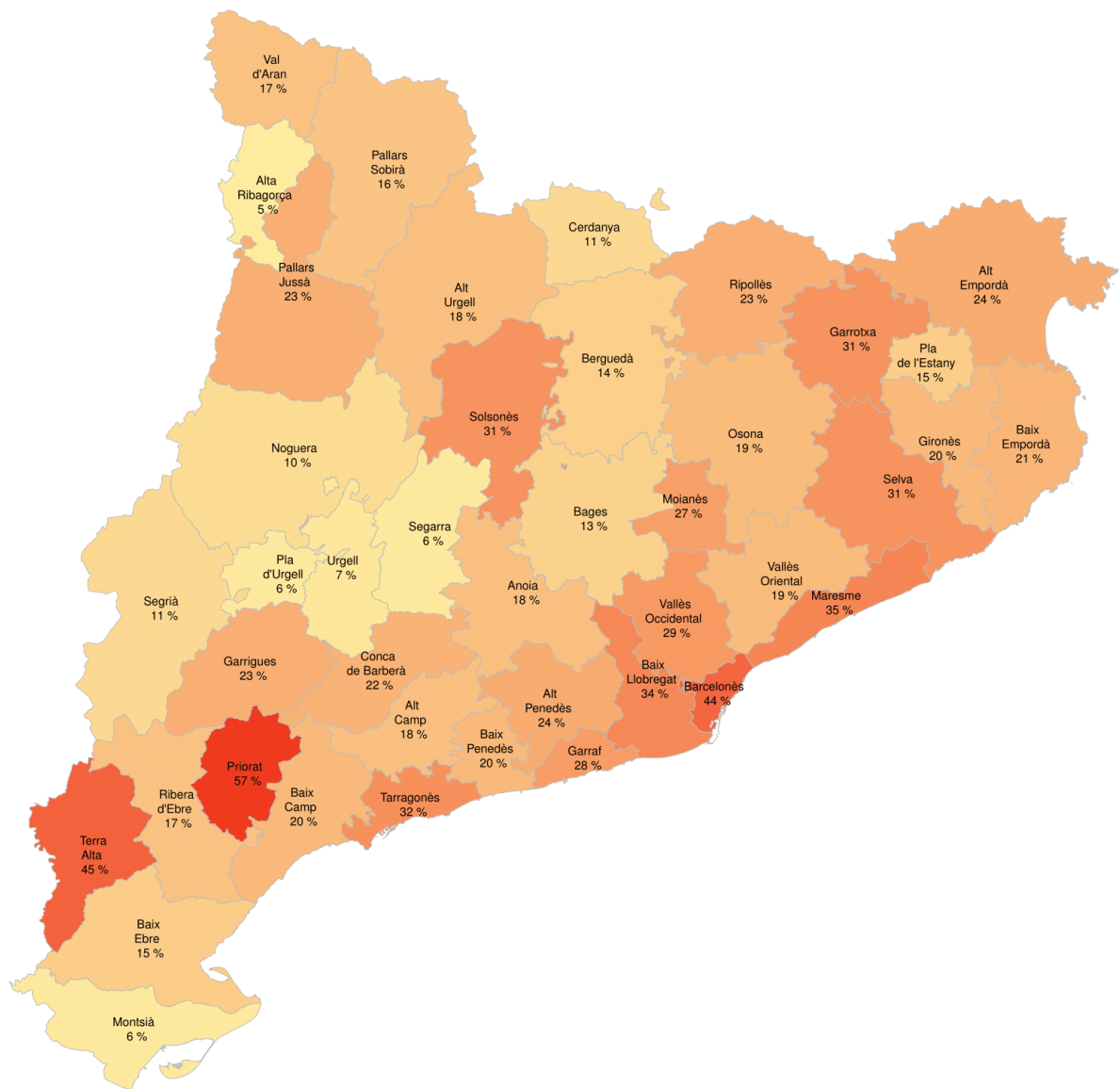


Figura 29. Localització dels accidents mortals i greus de VM2R a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de Barcelona.

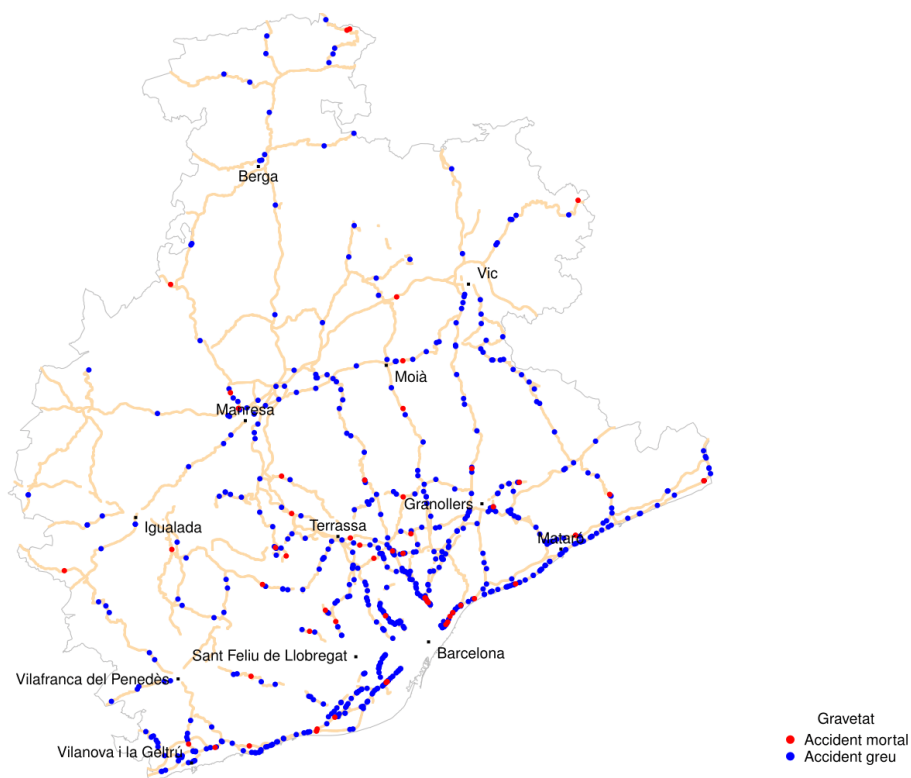


Figura 30. Localització dels accidents mortals i greus de VM2R a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de Girona.

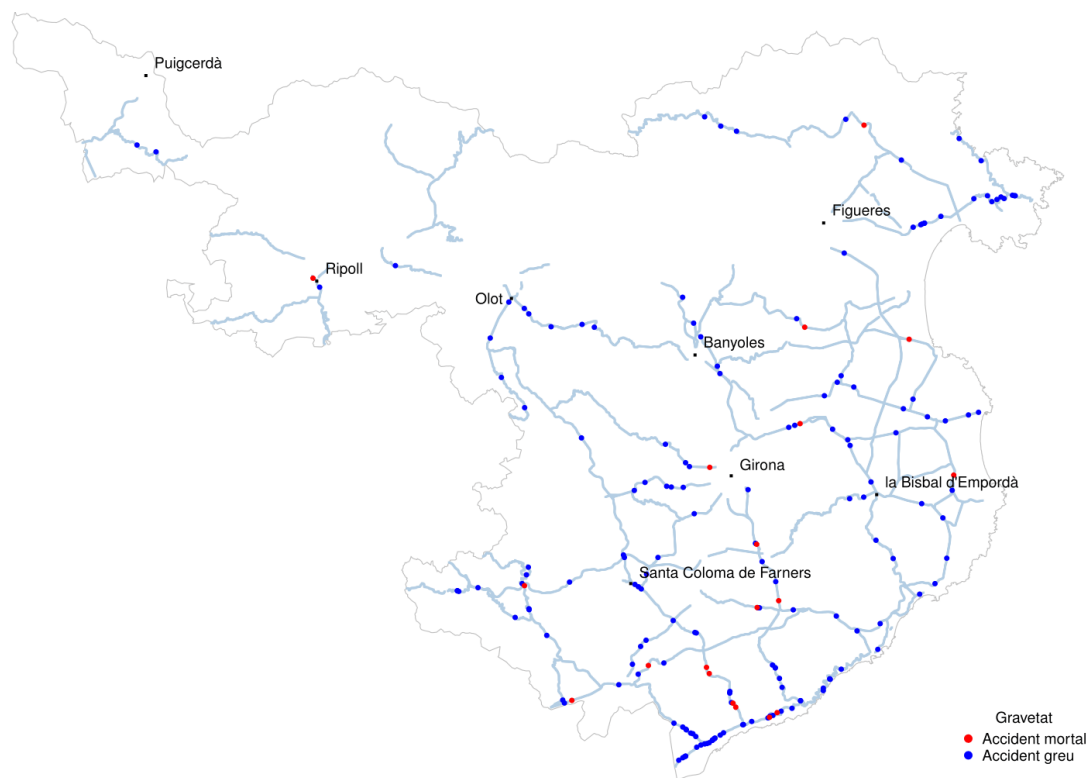


Figura 31. Localització dels accidents mortals i greus de VM2R a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de Lleida.

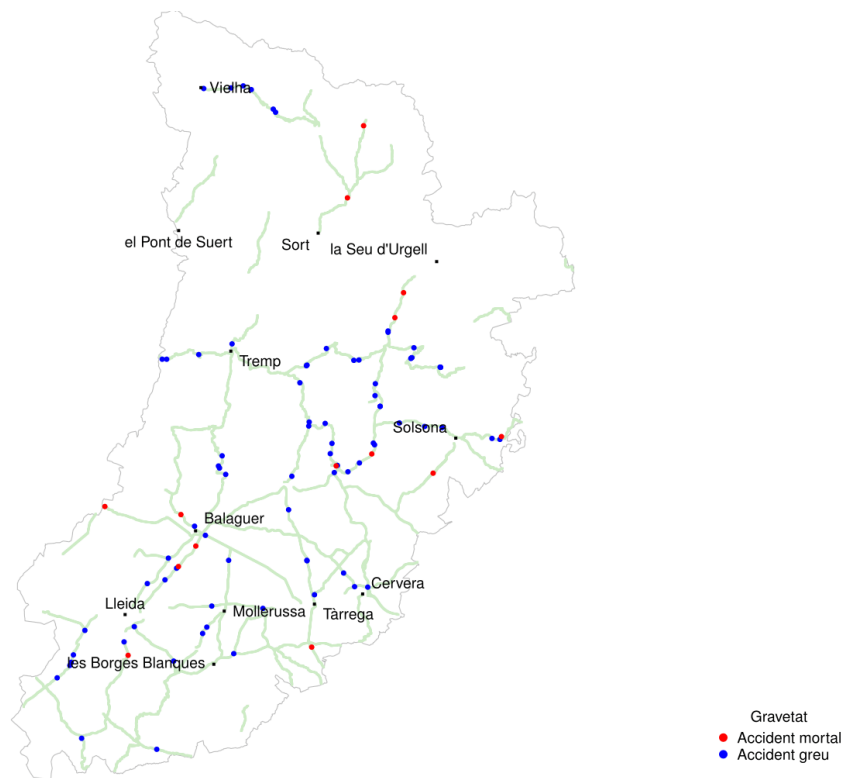


Figura 32. Localització dels accidents mortals i greus de VM2R a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de Tarragona.

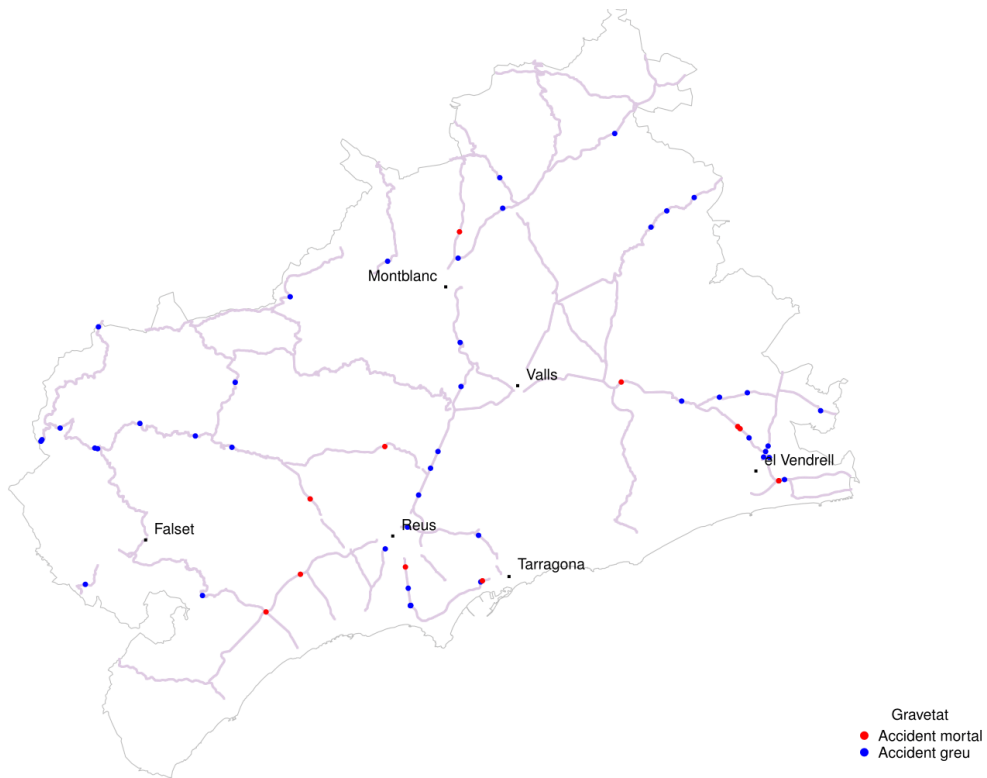
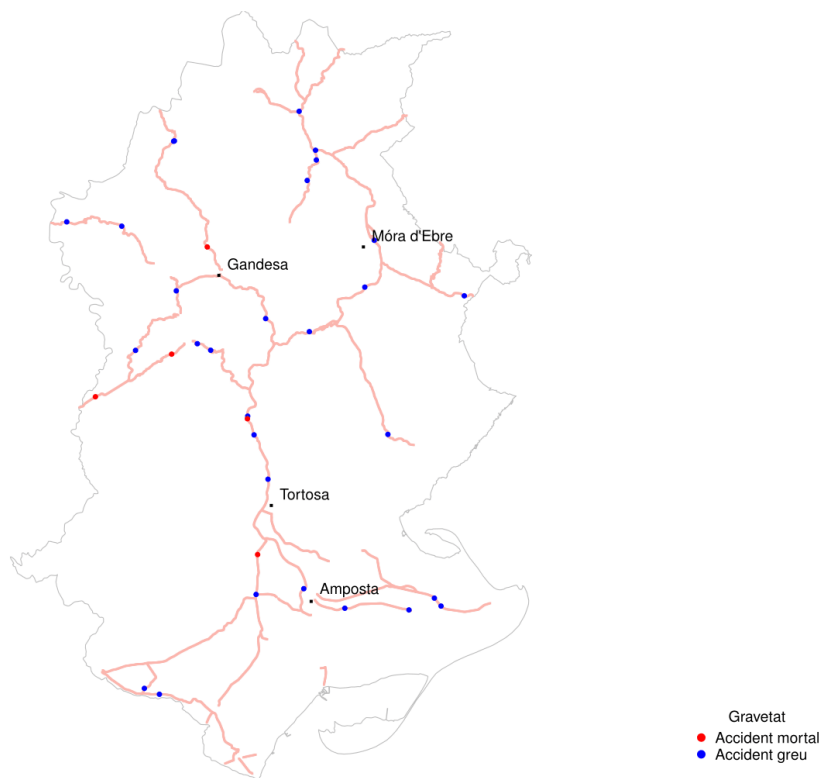


Figura 33. Localització dels accidents mortals i greus de VM2R a la xarxa de carreteres de l'àmbit territorial de les Terres de l'Ebre.



# 3 Metodologia

El procés d'identificació dels trams de concentració d'accidents amb motoristes (TCAM) i dels itineraris de concentració d'accidents amb motoristes (ICAM) 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 uns llindars a partir dels quals es considera que un tram té una accidentalitat excessiva. Els criteris per detectar trams conflictius s'estableixen des de la perspectiva de la concentració dels accidents, així com des de la perspectiva del risc.

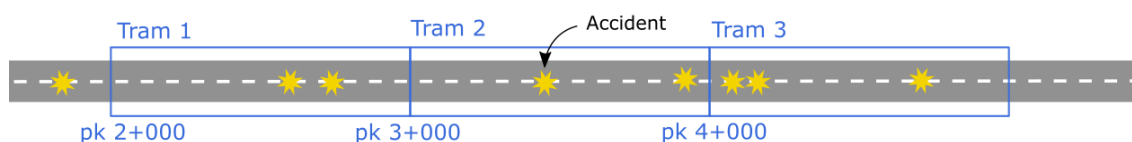
## 3.1 DETERMINACIÓ DE LA UNITAT D'ANÀLISI

### 3.1.1 Metodologia de la finestra flotant per a la identificació de TCAM i ICAM

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, particularitzant després el cas particular d'aquest estudi de TCAM i ICAM.

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.

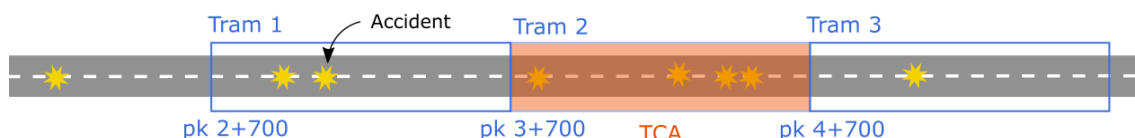
Figura 34. Segmentació directa d'una carretera



En els darrers estudis de TCA realitzats a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya s'han 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 una desviació a l'hora de situar els

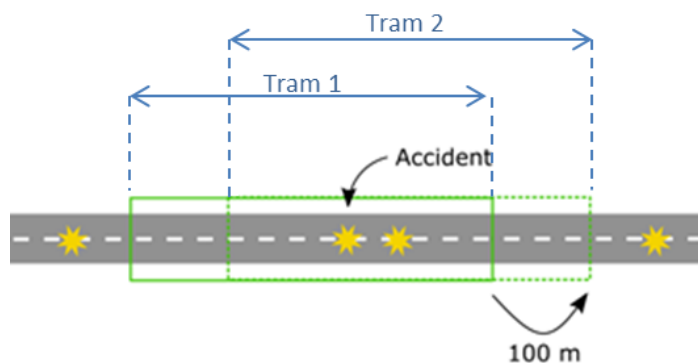
accidents en el moment del seu registre i amb gran probabilitat se situen al voltant dels quilòmetres enters. En l'exemple anterior, si es segmenta la xarxa entre els hectòmetres +700 trobem un TCA, ja que se supera el criteri de concentració establert de 4 accidents, com a mínim.

Figura 35. 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 següent figura:

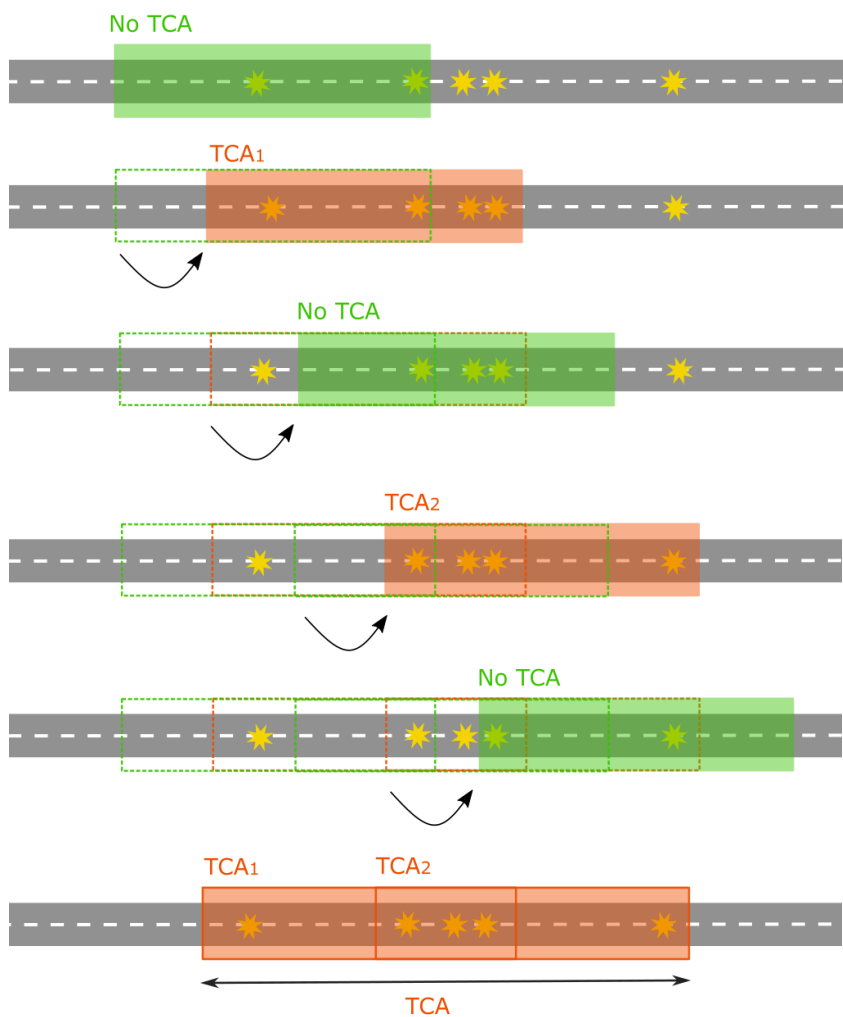
Figura 36. Exemple de finestra flotant.



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 d'acord amb la 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 37. 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 través 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 amb motoristes.

### 3.1.2 Longitud de la finestra flotant per a l'actual estudi

La longitud adequada de la finestra flotant per a la realització 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 a 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 amb motoristes implicats, on aquesta 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 TCAM i ICAM la unitat d'anàlisi ha estat **una finestra flotant de 5.000 m de longitud per als ICAM i de 1.000 m de longitud per als TCAM**.

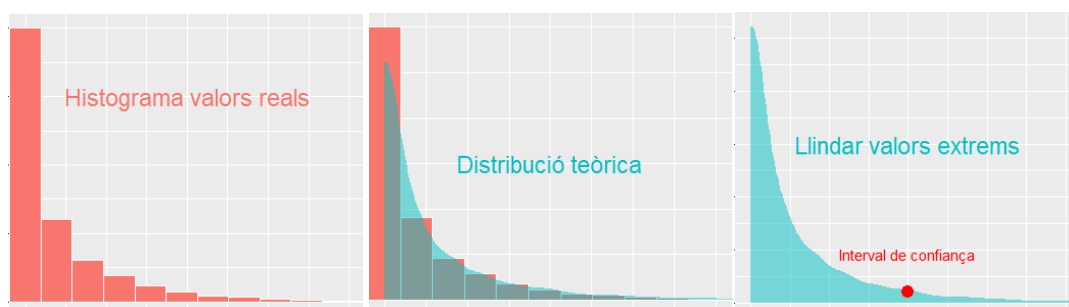
## 3.2 PARÀMETRES DE CàLCUL

El present estudi d'identificació dels ICAM i TCAM es basa en la detecció d'elevada concentració o risc d'accidents a la xarxa de carreteres. La concentració d'accidents es mesura amb la freqüència d'accidents registrats en un tram determinat, mentre que el risc té en compte també la intensitat de vehicles (IMD). A continuació es detallen els models de concentració i risc. El model de concentració s'aplicarà per calcular tant els TCAM com els ICAM. El model de risc servirà per calcular únicament els TCAM.

### 3.2.1 Model estadístic de concentració

El model de concentració té com a objectiu identificar els trams de la xarxa de carreteres amb un registre d'accidents amb motoristes elevat 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 dels accidents amb motoristes implicats s'ajusta 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.

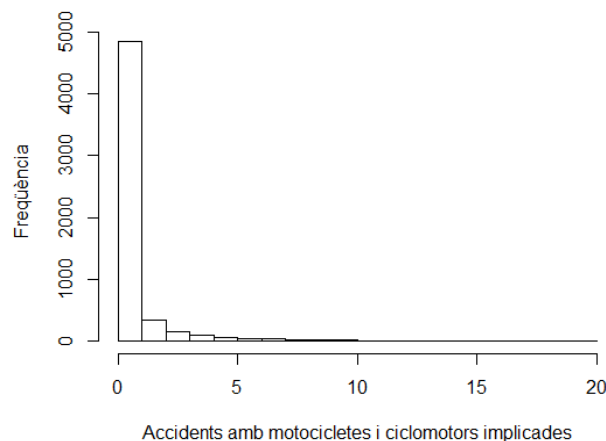
Figura 38. Model estadístic de concentració



### 3.2.1.1 Anàlisi descriptiva de les dades d'accidents

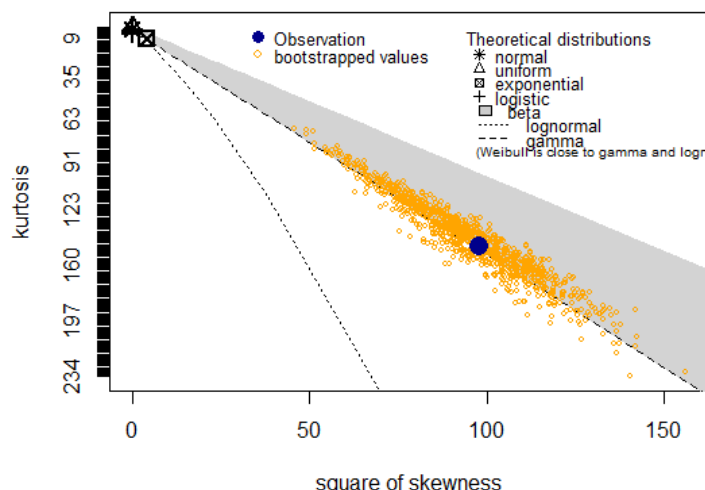
Els accidents amb motoristes es distribueixen per la xarxa de carreteres seguint una distribució de freqüències que segueix una funció de la família exponencial.

Figura 39. Histograma de freqüències d'accidents amb motos 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 40. Semblança de valors reals d'accidents amb distribucions teòriques.

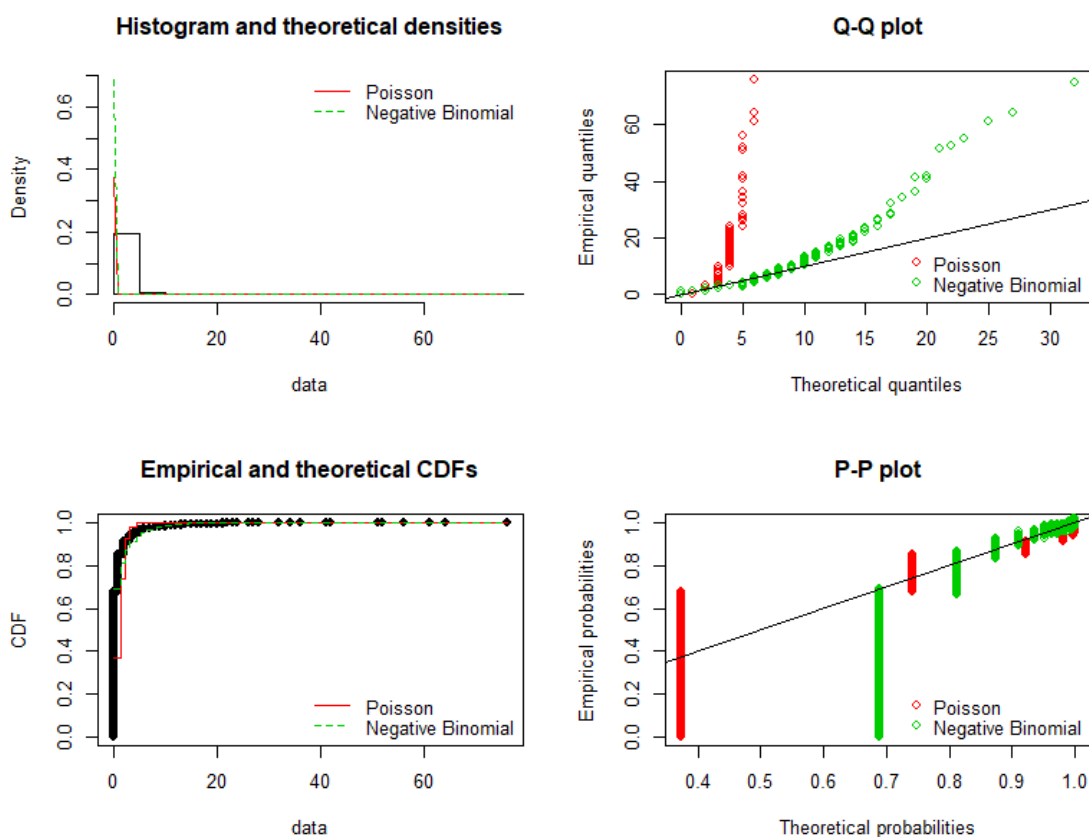


### 3.2.1.2 Ajust a una distribució teòrica

L'anàlisi d'ajust a una distribució teòrica mostra com el nombre d'accidents no s'ajusta a una funció de Poisson (Figura 41. ), 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 41. 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 a ambdues distribucions són:

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

Distribució	Chi-quadrat	p-valor
Poisson	1,065e14	0
Binomial Negativa	600,14	2,22e-06

Per tant, es confirma que la distribució d'accidents amb motoristes s'ajusta millor a una distribució BN que de Poisson. Això és així donat que el valor de Chi-quadrat és més petit 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.

### 3.2.1.3 Determinació del llindar d'elevada de 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 següent funció de densitat:

$$\frac{\Gamma(x+n)}{\Gamma(n)\Gamma(x)!} p^n (1-p)^n$$

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

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

Els paràmetres d'ajust per al nombre d'accidents amb motoristes implicats en general són els següents:

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

Paràmetre	Valors del model
escala	$n = 0.2180669$
mitjana	$\mu = 0.9864799$

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

Taula 6. Llindar per determinar els TCAM.

Interval (p)	Quantil del nombre d'accidents
95%	5
97,5%	8
<b>99%</b>	<b>11</b>

S'utilitza el nivell de confiança del 99% com a llindar per determinar els trams amb excés de concentració d'accidents amb motoristes. En conseqüència, segons la taula anterior, un tram **serà identificat com a TCAM si supera els 11 accidents amb motoristes implicats ocorreguts en un tram de 1.000 metres en el període de 5 anys analitzats.**

### 3.2.2 Model estadístic de risc

El model de risc té com a objectiu identificar els trams de la xarxa de carreteres amb un Índex de perillositat (IP) elevat en comparació amb la globalitat de la xarxa. Per determinar el llindar a partir del qual es considerarà que un tram té un risc elevat amb base a l'accidentalitat i a les pròpies característiques de la carretera, s'ajusten els IP de la xarxa a una distribució teòrica que prèviament s'ha de definir i validar. L'índex de perillositat IP es defineix com:

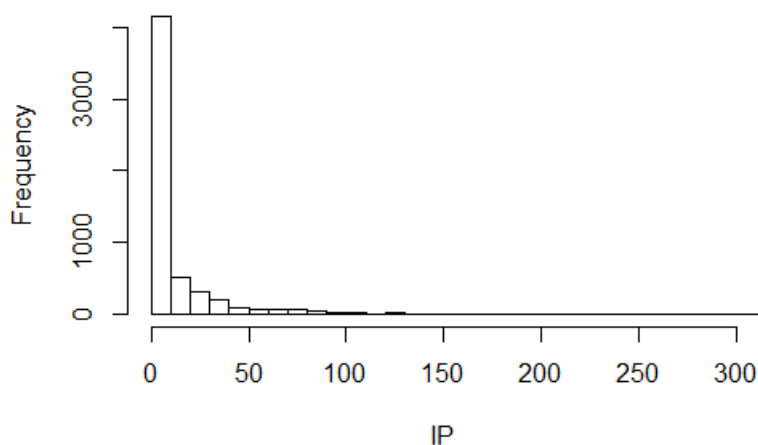
$$IP = \frac{\text{Accidents amb motocicletes} \cdot 10^9}{\text{longitud} \cdot IMD \cdot 365 \cdot \text{anys}}$$

Els *accidents* fan referència al nombre d'accidents amb víctimes amb vehicles motoritzats de dues rodes implicats dins del període estudiat. La *longitud* es refereix als quilòmetres de cada tram en què s'ha segmentat la xarxa. La *IMD* és la intensitat mitjana diària que fa referència al nombre de vehicles que circula per cada tram en termes de mitjana anual. Els *anys* és el nombre d'anys del període estudiat.

#### 3.2.2.1 Anàlisi descriptiva de les dades de risc

Per considerar que un tram de la xarxa registra una elevada accidentalitat, en primer lloc es calculen els IP de la xarxa segmentada en trams aproximadament d'1km de longitud i s'obté la distribució de freqüències en forma d'histograma.

Figura 42. Histograma de distribució dels IP de la xarxa de carreteres.

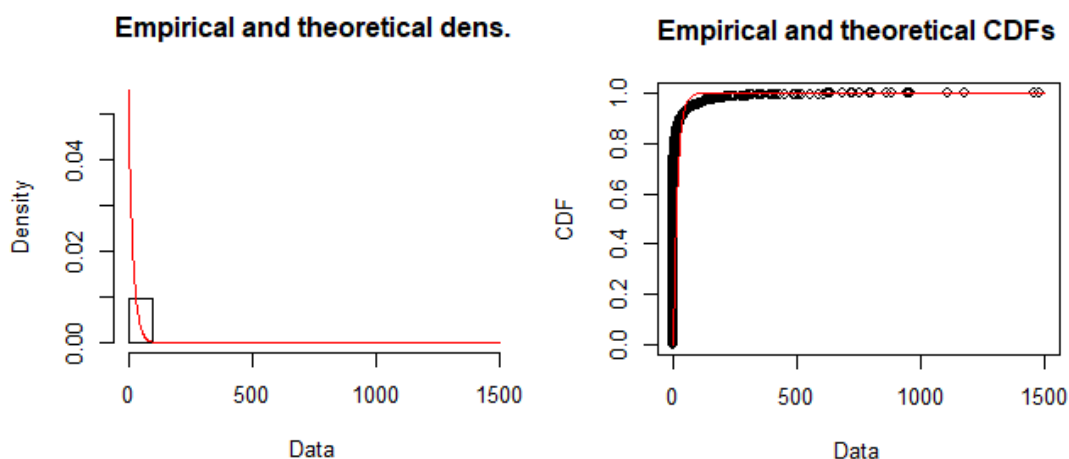


La forma de l'histograma dels IP de la xarxa sembla seguir una distribució de la família exponencial. Donat que la variable IP és numèrica, contínua i amb valors positius, la funció teòrica més adequada per ajustar els valors de IP és la funció exponencial.

### 3.2.2.2 Ajust a una distribució teòrica

S'ajusta la distribució dels índex IP a una funció exponencial i s'obtenen bons resultats. La funció teòrica és capaç de reproduir la distribució dels IP de manera acceptable com s'observa a la figura següent:

Figura 43. Resultats de l'ajust a una distribució exponencial.



### 3.2.2.3 Determinació del llindar d'elevat de risc

Els llindars que determinen el risc elevat d'accidentalitat amb vehicles motoritzats de dues rodes es regeixen per la funció exponencial següent:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$$

en què el paràmetre  $\lambda$  és el que s'ha ajustat i pren el següent valor:

Taula 7. Paràmetres d'ajust a una distribució exponencial

Paràmetre	Valor
lambda	$\lambda = 0.05512245$

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

Taula 8. Llindar per a determinar els TCAM per risc.

Interval (p)	Quantil del IP
95%	54
97,5%	67
<b>99%</b>	<b>125</b>

S'utilitza el nivell de confiança del 99% com a llindar per determinar els trams amb elevat risc d'accidents amb motoristes implicats.

### 3.3 DEFINICIÓ DELS TCAM I ICAM

Resumint tot l'explicat als punts anteriors, els elements essencials per a la determinació dels TCAM i els ICAM 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 amb motoristes i amb l'objectiu de no perdre informació rellevant, s'estudien els TCAM des de dues perspectives; analitzant la **concentració** dels accidents i analitzant el **risc**. En els cas dels ICAM, l'accidentalitat s'estudia analitzant la **concentració**.

El càlcul per freqüència estableix un llindar en termes de nombre d'accidents amb víctimes absolut amb motoristes implicats. En canvi, el model de risc, estableix un llindar en termes d'índex de perillositat (IP), tenint en compte la mobilitat de la via en termes de vehicles-quilòmetre.

En el cas dels TCAM, el tram identificat ha de complir un dels dos criteris definits pel llindar de concentració i/o risc.

Per tant, els criteris de definició dels TCAM i els ICAM són:

Taula 9. Criteris d'identificació dels TCAM i els ICAM

Criteri	TCAM	ICAM
Longitud de finestra flotant	1 km	5 km
Llindar de concentració	11 accidents amb motoristes/km	5 accidents amb motoristes/km
Llindar de risc	IP igual o superior a 125 ( $acc_{motos} \cdot 10^8 / veh \cdot km$ ). Tanmateix, s'estableix un llindar mínim de 5 accidents amb motoristes/km.	

*Nota. Per a la identificació dels ICAM no s'aplica el criteri de risc donat que es pretén detectar problemes de caràcter general de les vies i les condicions de trànsit tenen un comportament més local.*

### 3.4 PRIORITZACIÓ A PARTIR DE L'ÍNDEX DE GRAVETAT (IG)

El procediment d'identificació dels trams de concentració d'accidents amb motoristes (TCAM) i dels itineraris de concentració d'accidents amb motoristes (ICAM) té l'objectiu d'inventariar els trams de carretera que presenten registres d'accidentalitat elevats en comparació amb la resta d'infraestructura, identificant tant problemes locals com globals i donant importància a la concentració i al risc de patir 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 amb motoristes. Tot i així, hi ha trams que presenten problemes més greus i trams on l'accidentalitat és més petita.

Per a jerarquitzar els TCAM i els ICAM 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, segons 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.

### 3.5 RESUM DE PARÀMETRES D'ESTUDI

El present estudi analitza la perillositat de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya des de dues perspectives. En primer lloc, identifica els Itineraris de concentració d'accidents amb motoristes (ICAM), amb l'objectiu de definir aquelles carreteres o itineraris amb un problema generalitzat quant als accidents amb motoristes implicats. Per altra banda, s'identifiquen els trams de concentració d'accidents amb motoristes (TCAM) amb l'objectiu de trobar els trams de menys longitud on la concentració d'accidents és elevada amb relació amb el conjunt de la xarxa.

La principal problemàtica dels accidents amb motoristes és l'elevada gravetat i el risc individual i és per això que per als TCAM es realitza tant un càlcul aplicant un model de concentració (tenint en compte la freqüència dels accidents amb víctimes) com un model de risc (calculant l'índex de perillositat IP dels trams de carretera).

Taula 10. Bases de càlcul dels TCAM i ICAM.

Bases de càlcul	Descripció	Valor
Longitud del tram	Finestra flotant	Finestra de 5 km en el cas dels ICAM i d'1km de longitud en el cas dels TCAM.
Període d'anàlisi	Es consideren els accidents registrats del període estudiat	2012-2016
Xarxa	Trams de carretera on s'estudia la perillositat	Xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya
Unitat d'anàlisi	Dades d'accidents amb motoristes implicats provinents de la base de dades del SIDAT	Accidents amb resultat de víctimes mortals, greus i/o lleus
Tipologia de TCA	Es calculen els ICAM i TCAM i per tenir en compte diversos aspectes que afecten l'accidentalitat	ICAM preveuen trams llargs amb problemes generalitzats i els TCAM fan referència a trams puntuals de concentració d'accidents



Bases de càlcul	Descripció	Valor
Metodologies de càlcul	Estratègies per calcular els trams de carretera més conflictius sobre la base de la naturalesa dels accidents amb motoristes implicats.	Els TCAM es calculen a partir d'un llindar de concentració i un llindar de risc. Els ICAM es calculen sobre la base d'un llindar de concentració.
Model estadístic	Tècnica matemàtica per determinar el llindar de nombre d'accidents a partir del qual la concentració i el risc són elevats en un tram determinat. Aquest llindar es determina ajustant les dades a una distribució de probabilitat teòrica i extraient el quantil equivalent a l'interval de confiança del 99%.	En els TCAM el llindar se situa en 11 accidents per quilòmetre per al càlcul de concentració i d'un IP de 125 per al càlcul de risc.  En els ICAM el llindar es situa en 5 accidents/km.

# 4 Identificació i anàlisi dels TCAM i ICAM

## 4.1 IDENTIFICACIÓ DELS TCAM I ICAM

La identificació dels trams de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya on s'identifica una problemàtica d'accidents amb motocicletes i ciclomotors implicats es determina a partir d'un llindar de concentració de freqüència, en els cas dels TCAM i els ICAM, i un llindar de risc, només en el cas dels TCAM:

- TCAM de concentració: llindar d'11 accidents/km (finestra flotant d'1 km).
- TCAM de risc: llindar de 125 accidents·10<sup>8</sup>/veh-km i un mínim de 5 accidents/km (finestra flotant d'1km).
- ICAM: llindar de 5 accidents/km (finestra flotant de 5 km).

Aplicant els criteris definits anteriorment, s'identifiquen els TCAM i ICAM següents a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya:

Taula 11. Resum dels TCAM identificats.

	Càlcul per concentració	Càlcul per risc	TCAM
Nombre de TCAM	54	13	59
Quilòmetres de xarxa que és TCAM	136,3	21,7	143,9
Percentatge de xarxa que és TCAM	2,54%	0,4%	2,7%
Accidents amb VM2R implicats en TCAM	2.179	145	2.210
Percentatge d'accidents en TCAM respecte del total	38,7%	2,6%	39,2%

Taula 12. Resum dels ICAM identificats.

Nombre d'ICAM	21
Quilòmetres de xarxa que és ICAM	209,6
Percentatge de xarxa que és ICAM	3,9%
Accidents amb VM2R implicats en ICAM	2.072
Percentatge d'accidents en ICAM respecte del total	36,8%

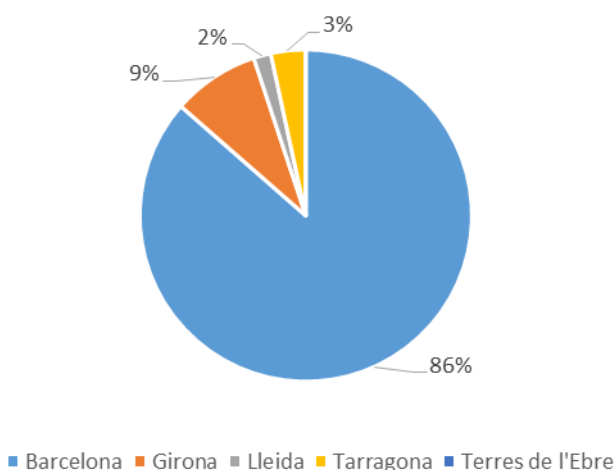
#### 4.1.1 Caracterització dels TCAM i ICAM

La major part dels TCAM i ICAM es concentren a l'àmbit territorial de Barcelona (86% dels TCAM i dels ICAM).

Taula 13. Classificació dels TCAM identificats per àmbit territorial.

Àmbit Territorial	Concentració		Risc		Totals	
	Nombre	Longitud (km)	Nombre	Longitud (km)	Nombre	Longitud (km)
Barcelona	46	103,9	13	21,4	51	120,0
Girona	5	14,7	0	0,0	5	14,7
Lleida	1	6,2	0	0,0	1	6,2
Tarragona	2	3,0	0	0,0	2	3,0
Terres de l'Ebre	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Total	54	127,8	13	21,4	59	143,9

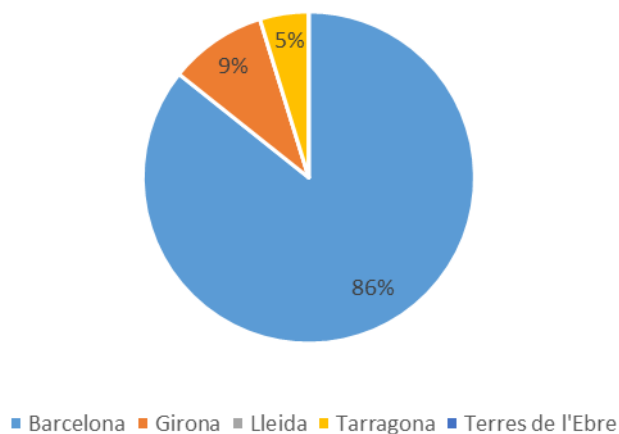
Figura 44. Distribució dels TCAM per àmbit territorial.



Taula 14. Classificació dels ICAM identificats per àmbit territorial.

Àmbit territorial	Nombre	Longitud (km)
Barcelona	18	180,5
Girona	2	24,1
Lleida	0	0,0
Tarragona	1	5,0
Terres de l'Ebre	0	0,0
Total	21	209,6

Figura 45. Distribució dels TCAM per àmbit territorial.

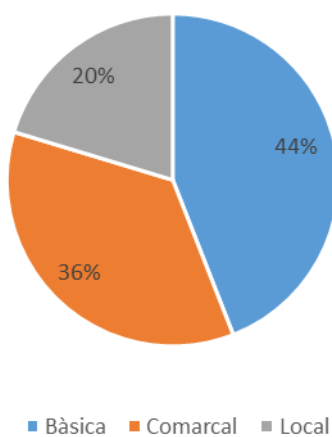


Segons el tipus de xarxa, el nombre més gran de TCAM estan en la xarxa bàsica.

Taula 15. Classificació dels TCAM identificats per tipus de xarxa.

Tipus de xarxa	Concentració		Risc		Totals	
	Nombre	Longitud (km)	Nombre	Longitud (km)	Nombre	Longitud (km)
Bàsica	24	66,3	2	2,9	26	69,2
Comarcal	18	33,6	10	17,3	21	38,3
Local	12	36,4	1	1,2	12	36,4
<b>Total</b>	<b>54</b>	<b>136,3</b>	<b>13</b>	<b>21,4</b>	<b>59</b>	<b>143,9</b>

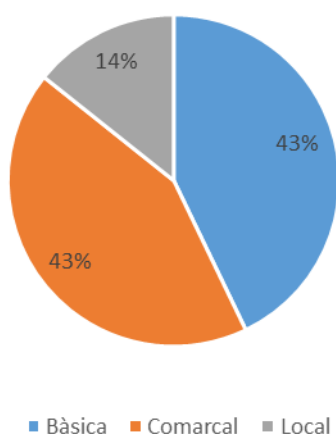
Figura 46. Distribució dels TCAM per tipus de xarxa.



Taula 16. Classificació dels ICAM identificats per tipus de xarxa.

Tipus de xarxa	Nombre	Longitud (km)
Bàsica	9	97,9
Comarcal	9	73,1
Local	3	38,6
Total	21	209,6

Figura 47. Distribució dels ICAM per àmbit territorial.



#### 4.1.2 Coincidències entre els TCAM 12-16 amb els TCAM 10-14

Dels 59 trams identificats com a TCAM en el període 12-16, hi ha 41 que es van identificar en l'estudi anterior (període 10-14), això suposa el 69,5% dels trams. En termes de longitud, hi ha 113 km identificats com a TCAM en els dos estudis, que suposen el 78,6% dels quilòmetres identificats com a TCAM en el període 12-16.

Taula 17. Coincidències entre els TCAM del 12-16 respecte els TCAM del període 10-14.

	TCAM 12-16 respecte de TCAM 10-14
Nombre de TCAM	41
Percentatge de trams	69,5%
Longitud (km)	113
Percentatge de longitud	78,6%

### 4.1.3 Descripció territorial general

Figura 48. Localització dels TCAM a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya.

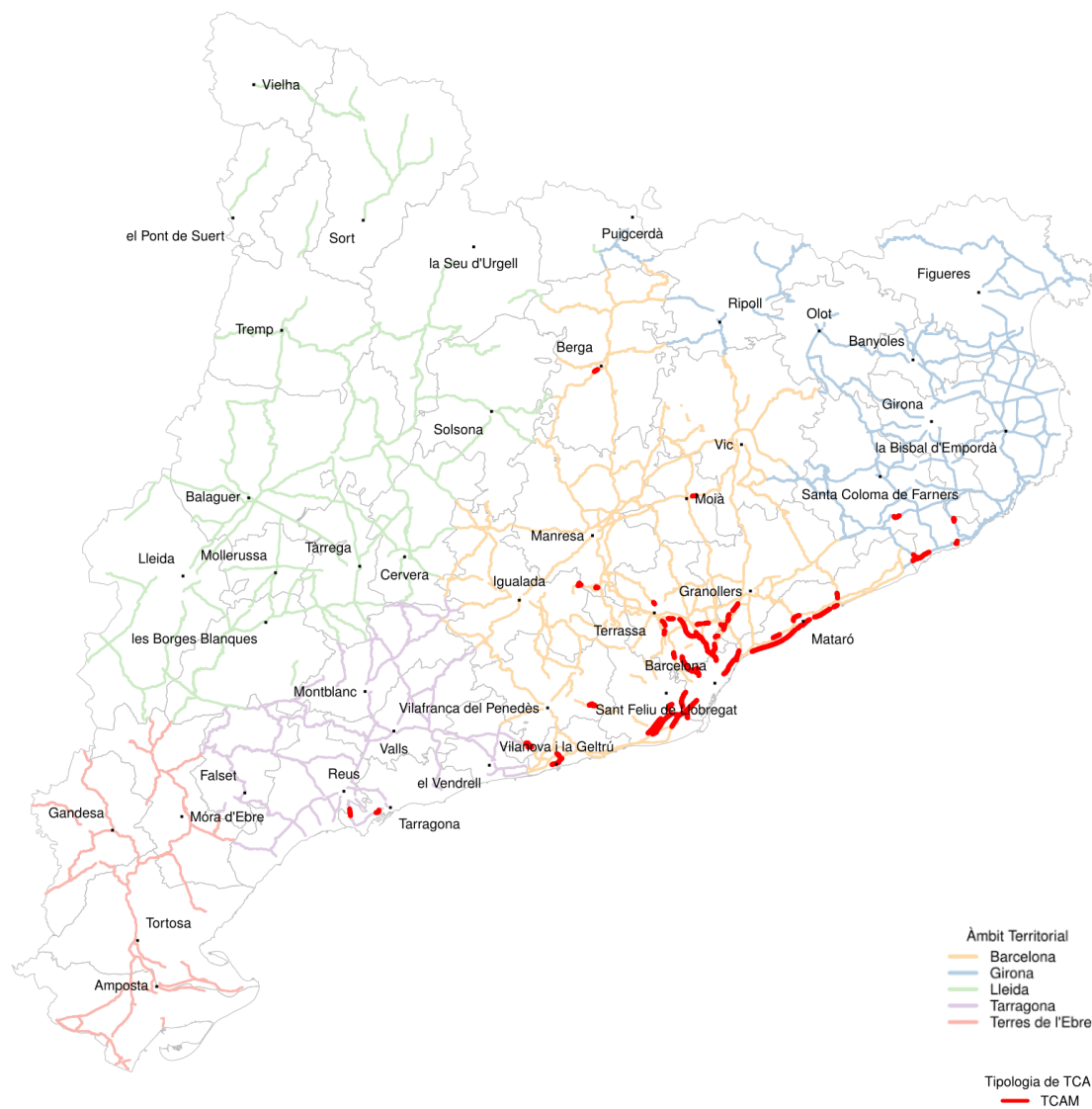
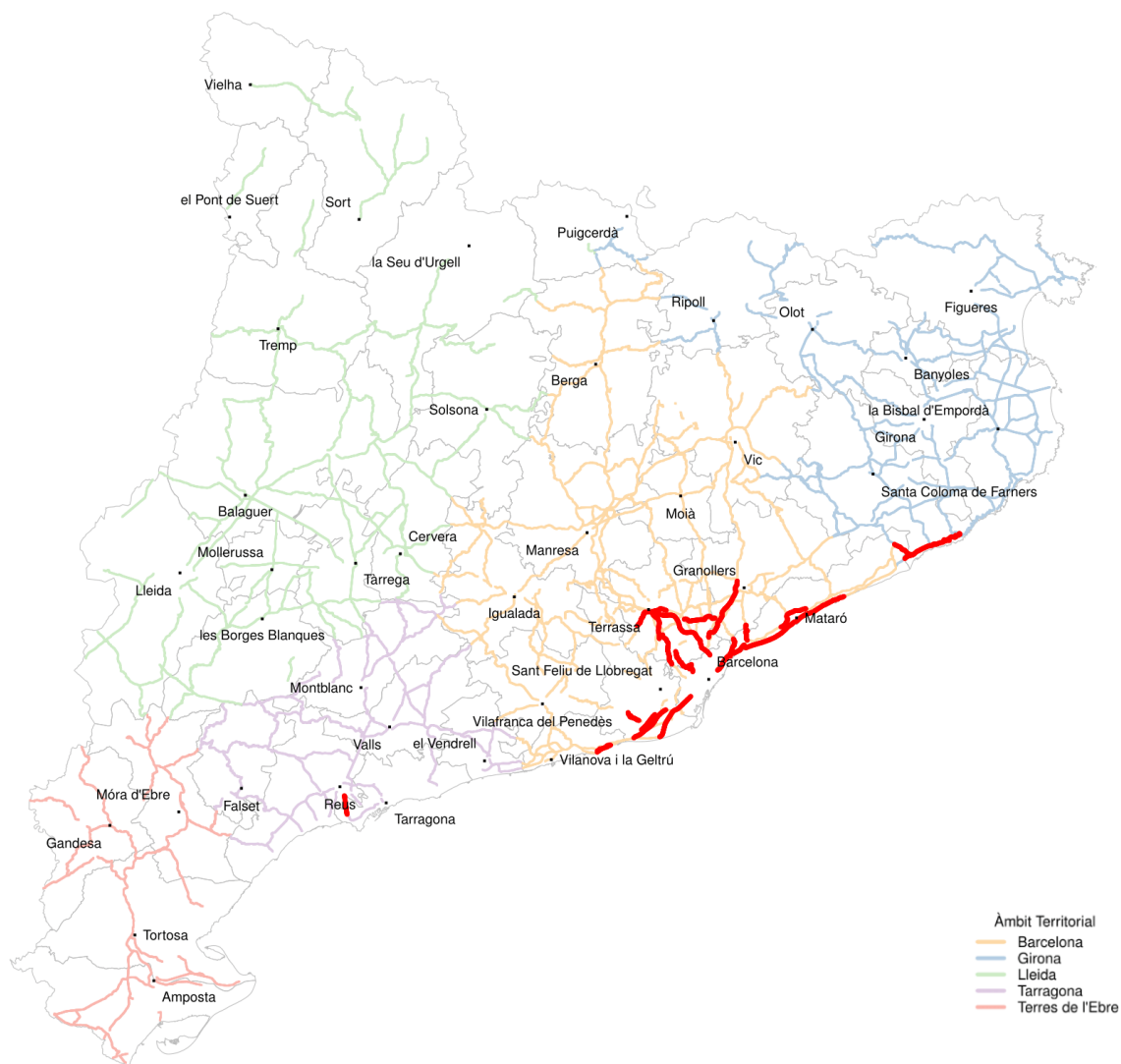


Figura 49. Localització dels ICAM a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya.



# 5 Conclusions

Per al present estudi d'identificació de trams de concentració d'accidents amb motoristes (TCAM) i itineraris de concentracions d'accidents amb motoristes (ICAM) de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya s'ha considerat una mostra de 5.638 accidents amb motoristes i ciclomotors implicats entre els anys 2012 i 2016.

A partir d'un model estadístic de concentració d'accidents basat en una distribució binomial negativa s'estableix un llindar d'11 accidents amb motoristes per quilòmetre que serveix com a criteri per identificar els TCAM i un llindar de 5 accidents per quilòmetre per identificar els ICAM. En el primer cas, el criteri s'aplica a través d'una finestra flotant de 1.000 metres de longitud a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya i en el segon cas una finestra de 5 km de longitud. Addicionalment, s'introdueix un criteri de risc a la identificació dels TCAM que es defineix amb un llindar d'Índex de perillositat de 125.

Aplicant aquesta metodologia s'identifiquen 59 TCAM i 21 ICAM en el període 2012-2016.

Els 59 TCAM identificats suposen el 2,7% de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya i engloben el 39,2% dels accidents amb motoristes i ciclomotors implicats. En el cas dels ICAM, els 21 trams identificats suposen el 3,9% del total de la xarxa i abasten el 36,8% dels accidents d'aquesta tipologia.





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