

AVALUACIÓ DELS EFECTES DE LA MOBILITAT EN LA SALUT I EL BENESTAR DE LA POBLACIÓ **A L'ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA**

Actuació. 5.1.2

Projecte finançat per: Àrea Metropolitana de Barcelona



Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona



DIRECCIÓ
Maite Pérez

COORDINACIÓ
Elena Domene

AUTORES
Elena Domene
Marta Garcia

SUPORT TÈCNIC
Francesc Coll (Servei de Cartografia)
Manel Pons (Servei d'Estadística)
Ramón Puig (Servei d'Estadística)

COL·LABORADORS EXTERNS
IsGlobal
Institut Cerdà
MCRIT

Bellaterra, desembre 2017

ÍNDEX DE CONTINGUTS

1	INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS.....	7
2	CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA, SALUT PÚBLICA I DESIGUALTAT	10
	2.1. LA CONTRIBUCIÓ DEL TRANSPORT A LA CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA	10
	2.2. CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA I SALUT PÚBLICA	13
	2.3. PERFILS SOCIALS D'EMISSIONS	15
	2.4. ANÀLISI DE LA DESIGUALTAT	18
3	METODOLOGIA I FONTS DE DADES.....	21
	3.1. IDENTIFICACIÓ DELS PERFILS SOCIALS DELS 'EMISSORS'	21
	3.1.1. Càlcul d'emissions de la mobilitat generada a l'àmbit metropolità	22
	3.1.2. Anàlisi clúster.....	26
	3.2. CÀLCUL DE LA CONCENTRACIÓ DE CONTAMINANTS, MESURA DE L'EXPOSICIÓ I DELS EFECTES A LA SALUT	28
	3.2.1. Model integrat de trànsit 2014.....	28
	3.2.2. Model d'estimació de la concentració de contaminants 'Land Use Regression' (LUR) i avaluació dels impactes a la salut.....	29
	3.3. DESAGREGACIÓ POBLACIONAL PER PARCEL·LES CADASTRALS ...	35
4	LA QUALITAT DE L'AIRE A L'ÀMBIT DE L'AMB	36
	4.1. CONCENTRACIÓ DE CONTAMINANTS ATMOSFÈRICS LOCALS.....	36
	4.2. CONTRIBUCIÓ DEL TRANSPORT A LA QUALITAT DE L'AIRE	45
5	PERFIL SOCIAL DELS 'EMISSORS'	49
	5.1. ANÀLISI DE COMPONENTS PRINCIPALS	50
	5.2. ANÀLISI CLÚSTER.....	54
	5.3. LOCALITZACIÓ DELS DIFERENTS PERFILS EN EL TERRITORI	64
6	ELS 'RECEPTORS': POBLACIÓ EXPOSADA I EFECTES SOBRE LA SALUT	76
	6.1. MESURA DE L'EXPOSICIÓ.....	76
	6.2. POBLACIÓ EXPOSADA A LA CONTAMINACIÓ	79
	6.3. EFECTES EN LA SALUT DE LA POBLACIÓ EXPOSADA.....	82
7	ANÀLISI DE LA DESIGUALTAT	83
	7.1. RELACIÓ ENTRE L'EXPOSICIÓ I EL NIVELL DE RENDA.....	83
	7.2. COMPARAR LA DISTRIBUCIÓ DELS PERFILS EMISSORS AMB ELS RECEPTORS EN EL TERRITORI.....	87
8	CONCLUSIONS	91
9	APÈNDIX.....	95

1 INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

La contaminació de l'aire derivada del trànsit s'ha convertit en un problema de salut pública a les ciutats, on es concentra la població. S'estima que és la principal causa de mortalitat ambiental produint tres milions de morts prematures mundialment l'any 2012; 6.860 morts a l'estat espanyol¹. Així doncs, la contaminació de l'aire és un dels principals indicadors de qualitat ambiental a les ciutats. Les partícules en suspensió (PM) i els òxids de nitrogen (NOx) són dos dels contaminants atmosfèrics més problemàtics en aglomeracions urbanes, coneguts com els principals contaminants amb efectes en la salut. És per aquest motiu que la Unió Europea (UE) va fixar un límit de: 25 µg PM_{2,5}/m³ (mitjana anual), 40 µg PM₁₀/m³ (mitjana anual) i 40 µg NO₂/m³ (mitjana anual).

Actualment existeix una àmplia base d'evidència epidemiològica sobre els impactes a la salut de les PM. En particular, els estudis epidemiològics han associat les PM amb impactes a la salut, com la mortalitat prematura, les malalties cardiovasculars, les malalties cerebrovasculars, la diabetis mellitus tipus 2 i els parts prematurs i de baix pes en néixer. Es considera, però, que les PM_{2,5} suposen un risc més gran per a la salut, perquè per la seva mida més petita poden travessar la barrera entre els alvèols i la sang. Les partícules ultrafines s'estan estudiant intensament en l'actualitat, però de moment no es disposa de suficient evidència per a ser utilitzades en una estimació de risc poblacional.

El cas de l'NO₂ és l'estudiat més extensament en estudis epidemiològics. Encara que l'NO₂ s'ha associat a diversos efectes en la salut per les seves propietats proinflamatòries, en l'actualitat només existeix evidència robusta per estimar el seu impacte en la mortalitat dels adults.

A l'àmbit de l'AMB el trànsit és el principal responsable de la contaminació de l'aire a les ciutats i a prop de les grans infraestructures metropolitanes², amb efectes en la salut i el benestar de la població. Algunes de les dades més recents mostren que a Barcelona, l'any 2016, se superaren a les estacions de trànsit els nivells recomanats (mitjanes anuals) per l'Organització Mundial de la Salut (OMS) de cinc contaminants, entre els quals l'NO₂ i les partícules en suspensió (PM₁₀ i PM_{2,5}), i de partícules en suspensió a les estacions de fons urbà³. Al mateix informe es calculava que la reducció de les PM_{2,5} fins a la mitjana anual proposada per l'OMS evitaria anualment prop de 650 morts a la ciutat.

Vista la necessitat d'incidir en la millora de la qualitat de l'aire metropolità, i que la mobilitat i el transport són els principals responsables de la seva degradació, l'AMB vol conèixer específicament els impactes de la contaminació del trànsit sobre la salut dels habitants de l'àrea metropolitana de Barcelona, particularment entorn de la xarxa viària. El present estudi té com a objectiu principal quantificar i localitzar al territori els impactes a la salut dels habitants associats amb l'exposició als contaminants de l'aire PM_{2,5} i NO₂. A aquest efecte es posen en relació les dades territorialitzades del trànsit amb les concentracions de PM_{2,5} i NO₂ i la incidència d'afeccions a la salut. Addicionalment, s'analitzen el perfil socioeconòmic de la població exposada i la distribució de la contaminació.

A més, per la seva contribució a la qualitat de l'aire, es planteja un segon objectiu consistent a identificar la població 'emissora' basant-se en les emissions derivades de la mobilitat personal i en els factors que

¹ WHO. 2016. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. World Health Organization, Switzerland. Disponible a: <http://who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>.

² IERMB. 2016. Contaminació atmosfèrica i acústica a les proximitats de la xarxa viària metropolitana: incidència sobre la població resident. Disponible a: <https://iermb.uab.cat/ca/iermb/estudi/contaminacio-atmosferica-i-acustica-a-les-proximitats-de-la-xarxa-viaria-metropolitana-incidencia-sobre-la-poblacio-resident>.

³ ASPB. 2017. Informe d'avaluació de la qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona 2016. Disponible a: <http://www.aspb.cat/wp-content/uploads/2016/07/Avaluacio-de-la-qualitat-aire-a-la-ciutat-de-barcelona-2016-PRV.pdf>.

hi incideixen, com ara el comportament de viatge, la forma urbana, l'accessibilitat a alternatives de transport i el perfil socioeconòmic dels viatgers. Això es fa a través de la identificació, mitjançant tècniques d'anàlisi clúster, dels 'perfils socials d'emissió' que es donen al territori que gestiona l'AMB. El propòsit de l'exercici és obtenir informació rellevant per al disseny de polítiques de canvi dels hàbits de mobilitat de la població cap a una mobilitat més sostenible.

Per acabar, els estudis en justícia ambiental urbana posen de manifest que els beneficis i les càrregues de la mobilitat poden no distribuir-se equitativament entre la població⁴. És per aquest motiu que es planteja fer una anàlisi territorial de les desigualtats socioeconòmiques entre 'emissors' i 'receptors' de la contaminació.

Objectius

En resum, l'objectiu general de l'estudi és conèixer en detall els efectes del trànsit que discorre per la xarxa viària metropolitana (alta capacitat, secundària i local) en la qualitat de l'aire i la salut de la població, i com aquestes afectacions es distribueixen (de forma desigual) al territori de l'àrea metropolitana de Barcelona.

Els objectius específics són:

- i. Identificar els perfils socials de la població 'emissora' i derivar-ne les implicacions per al disseny de polítiques de gestió de la mobilitat.
- ii. Estimar les concentracions de contaminants ($PM_{2.5}$ i NO_2) degudes al trànsit a l'àrea metropolitana de Barcelona i mesurar l'exposició i els efectes a la salut en termes de casos de mort prematura i de malaltia.
- iii. Analitzar les desigualtats territorials i socials quant a l'exposició a concentracions de contaminants ($PM_{2.5}$ i NO_2) superiors als valors límit i objectiu establerts per la UE i l'OMS.
- iv. Aprofundir en la perspectiva socioambiental 'qui contamina i qui rep la contaminació' dins del discurs de les polítiques de mobilitat sostenible que desenvolupa l'AMB.

La identificació dels 'perfils socials d'emissió' es realitza a través de tècniques de segmentació de mercat. Les tècniques de segmentació permeten aïllar grups de població *target*, que es considera poden ser susceptibles de canviar el seu 'estil de mobilitat'. En l'aplicació s'usa l'anàlisi clúster per a agrupar els individus segons les seves similituds quant a comportament de viatge, preferències, perfil socioeconòmic i d'altres variables d'entorn, cosa que proporciona informació valuosa sobre com es poden dissenyar polítiques per atreure diferents grups d'usuaris cap a modes de transport sostenibles.

Per a estimar les concentracions de $PM_{2.5}$ i NO_2 s'utilitzen models de predicció anomenats *Land Use Regression* (LUR), d'extensa aplicació als estudis epidemiològics. Aquests models són específics per a zones urbanes, i tenen en compte els mesuraments directes de la contaminació al lloc de residència de la població, la intensitat del trànsit a la xarxa viària, així com altres variables d'entorn que incideixen en la qualitat de l'aire. A continuació, es realitza una avaluació quantitativa dels impactes a la salut per

⁴ Barnes, J. and Chatterton, T. (2017) An environmental justice analysis of exposure to traffic-related pollutants in England and Wales. *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 210(12):431–442.

Havard, S., Deguen, S., Zmirou-Navier, D., Schillinger, C., Bard, D., 2009. Traffic-related air pollution and socioeconomic status: a spatial autocorrelation study to assess environmental equity on a small-area scale. *Epidemiology* 20:223–230.

Mitchell, G., Dorling, D., 2003. An environmental justice analysis of British air quality. *Environment and Planning A* 35:909–929.

Morello-Frosch, R., Pastor Jr., M., Porras, C., Sadd, J., 2002. Environmental Justice and Regional Inequality in Southern California: implications for Future Research. *Environmental Health Perspectives* 110(2):149–154.

Wier, M., Sciammas, C., Seto, E., Bhatia, R., Rivard, T., 2009. Health, traffic, and environmental justice: collaborative research and community action in San Francisco, California. *American Journal of Public Health* S3(99): 499–504.

l'exposició a NO₂ i a PM_{2,5} seguint els passos de l'anàlisi de risc: identificació del risc, mesura de l'exposició, selecció de funcions dosi resposta i caracterització del risc.

Finalment, es posen en relació la composició demogràfica dels segments d'emissors i de la població exposada a la contaminació per tal de provar o refutar la hipòtesi que existeixen diferències socioeconòmiques entre qui contamina i qui rep la contaminació, i que les càrregues de la mobilitat no recauen sobre la població més vulnerable.

Els resultats obtinguts tenen implicacions per al disseny de polítiques de mobilitat i planificació territorial dintre del marc de les ciutats saludables i inclusives, connectades amb el principi del desenvolupament sostenible: responsabilitats i capacitats diferenciades de la població.

2 CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA, SALUT PÚBLICA I DESIGUALTAT

2.1. La contribució del transport a la contaminació atmosfèrica

A l'àmbit de l'AMB, com a altres aglomeracions urbanes europees (com París, Londres, Berlín o Rotterdam), s'han anat superant els límits de concentració mitjana anual d'NO₂ i de PM₁₀ establerts per la UE per a la protecció de la salut humana. Els principals focus emissors d'aquests contaminants són el transport i alguns processos industrials, així com la construcció, i els efectes d'aquests contaminants són de caràcter local, és a dir, es produeixen al costat dels focus emissors.

En concret, els gasos derivats de la combustió d'hidrocarburs (gasolina, gasoil, gasos liquats del petroli i gas natural, entre d'altres) reaccionen amb l'oxigen i el nitrogen de l'aire provocant, a més de l'emissió de gasos d'efecte hivernacle (CO₂, CH₄ i N₂O), la de gasos contaminants d'efecte local com els NO_x (que inclouen els NO₂), les partícules en suspensió (PM), el monòxid de carboni (CO), els compostos orgànics volàtils (COV), el diòxid de sofre (SO₂), etc., que en altes concentracions poden arribar a provocar una mala qualitat de l'aire. A banda de la combustió d'hidrocarburs, les partícules en suspensió (PM₁₀ i PM_{2,5}) també es poden trobar a l'aire per l'efecte de factors físics relacionats amb el transport com, per exemple, el rodament dels vehicles amb l'asfalt, per la mateixa abrasió de l'asfalt, per la utilització dels frens dels vehicles i per la resuspensió de pols en els vials.

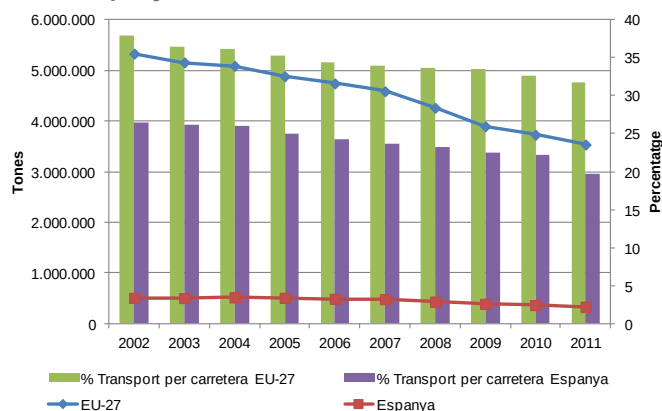
En aquest punt cal aclarir que, les emissions són la quantitat de contaminant que va a parar a l'atmosfera des d'una font emissora, mentre que les immissions són la concentració del contaminant en un punt del territori. És a dir, el que respiraria una persona en aquell punt determinat. La relació entre emissió i immissió no és directa, ja que una vegada el contaminant ha estat emès a l'atmosfera, aquest pateix transformacions físiques i químiques (especialment transport i dispersió, però també reaccions químiques, deposició, agregació, etc.) que depenen de l'estat de l'atmosfera i que canvien amb el temps.

En relació a les emissions d'òxids de nitrogen (NO_x), el trànsit rodat és el responsable del 31,7% i del 19,7% a la UE-27 i a Espanya, respectivament (Gràfic 2.1.1). En els darrers anys s'ha vist un clar descens de les emissions de NO_x procedents del transport en l'àmbit de la Unió Europea, però no tant a l'àmbit de l'Estat Espanyol. A escala local, el principal causant de les emissions de NO_x en les Zones de Protecció Especial (ZPE) de l'ambient atmosfèric és el transport per carretera (Gràfic 2.1.2).

El sector del transport també és un contribuent molt important a les emissions de PM₁₀ a Europa i Espanya, i un altre cop les reduccions que s'han donat els darrers anys són molt més significatives a Europa que a Espanya (Gràfic 2.1.3).

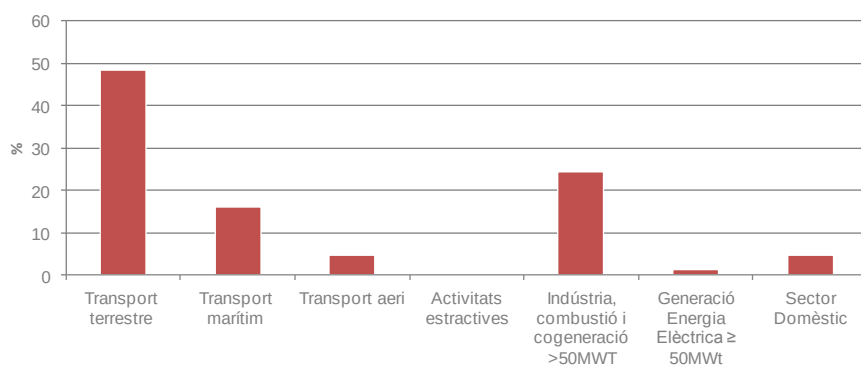
Encara que les emissions de partícules en suspensió (PM) degudes al transport no tinguin uns valors molt més elevats que les que aporten altres sectors, sí que és rellevant que bona part d'aquestes emissions de substàncies tòxiques es produeixen en entorns urbans i metropolitans, on viu la major part de la població. Això explica que la incidència real del trànsit sobre la salut sigui molt més gran del que indiquen aquestes xifres globals.

Gràfic 2.1.1. Emissions de NOx procedents del transport rodat (valor absolut i relatiu respecte al total d'emissions a tot el territori d'Espanya i la UE-27. 2002-2011.



Font: IERMB a partir d'Eurostat

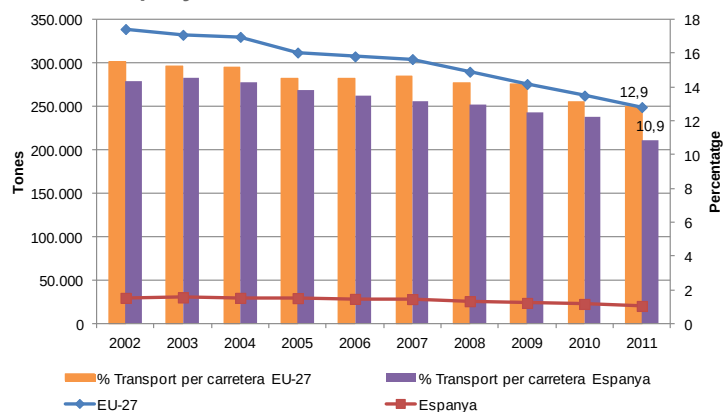
Gràfic 2.1.2. Pes de les emissions de NOx per sector a la Zona de Protecció Especial de la contaminació atmosfèrica (en %), 2008



Nota: Les ZPE no es corresponen al 100% amb l'àmbit de l'AMB

Font: IERMB a partir d'Inventari d'emissions atmosfèriques i el seu impacte en la qualitat de l'aire. Pla d'Actuació de millorar de la qualitat de l'aire

Gràfic 2.1.3. Emissions de PM₁₀ procedents del transport rodat (valor absolut i relatiu respecte al total d'emissions a tot el territori d'Espanya i la UE-27. 2002-2011.

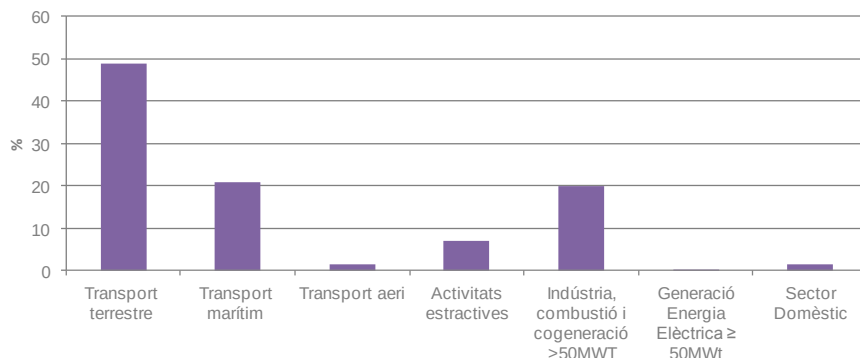


Font: IERMB a partir d'Eurostat

Així doncs, a les ZPE la contaminació atmosfèrica del sector del transport terrestre és el principal responsable de les emissions de PM₁₀, seguit del transport marítim i del sector industrial (Gràfic 2.1.4). Altres estudis realitzats a l'àmbit d'influència de Barcelona ciutat també apunten cap aquestes xifres: s'ha calculat que entre un 40% i un 45% de les concentracions de PM₁₀ i PM_{2,5}, respectivament, podrien

estar generades pel trànsit⁵⁻⁶. Més endavant es presenten les dades d'emissions de PM₁₀ desagregades per tipus de transport (urbà o interurbà) i per municipi.

Gràfic 2.1.4. Pes de les emissions PM₁₀ per sector a la Zona de Protecció Especial (ZPE) de la contaminació atmosfèrica (en %), 2008



Nota: Les ZPE no es corresponen al 100% amb l'àmbit de l'AMB

Font: IERMB a partir d'Inventari d'emissions atmosfèriques i el seu impacte en la qualitat de l'aire. Pla d'Actuació de millorar de la qualitat de l'aire

L'any 2016 des de l'IERMB es va dur a terme un estudi, l'objectiu del qual era conèixer en detall la incidència que té el trànsit que discorre per la xarxa viària metropolitana en la qualitat ambiental, particularment en termes de contaminació atmosfèrica i acústica⁷. Es va realitzar un seguiment dels nivells de concentració de contaminants atmosfèrics (NO₂, PM₁₀ i PM_{2,5}) a les estacions de la Xarxa de Vigilància de la Contaminació Atmosfèrica (XVCA) situades a l'àmbit de l'AMB.

Es va analitzar la contribució del trànsit a la contaminació atmosfèrica, i després, a través de diverses metodologies, es van cartografiar la població exposada i els equipaments vulnerables (escoles, hospitals) a les emissions del trànsit (NO_x, NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}) en els voltants de la xarxa viària, les quals es van calcular a partir d'un model integrat de mobilitat i emissions. Aquest exercici es va realitzar per a l'any d'estudi 2014, escenari base del Pla Metropolità de Mobilitat Urbana (PMMU). Addicionalment, es va fer una anàlisi descriptiva del perfil social de la població emissora incloent-hi els patrons de mobilitat personal de la població, les característiques socioeconòmiques i del lloc de residència.

En síntesi, dels resultats obtinguts a l'estudi del 2016 es destaquen l'augment dels nivells de contaminants atmosfèrics (NO₂, PM₁₀ i PM_{2,5}), durant l'any 2015, principalment en el continu urbà de Barcelona i en les estacions properes a l'eix de l'A-2. El transport és el principal contribuent a les emissions d'NO₂ (66%) i de PM₁₀ (75%) davant d'altres fonts com l'industrial o el domèstic. El parc de turismes és el responsable del 50% de les emissions d'NO₂, el contaminant que més ha augmentat darrerament. La dieselització del parc n'és el primer determinant. Els fluxos intermunicipals són els principals contribuents a la mobilitat en vehicle privat.

⁵ Querol, X., et al., *PM₁₀ and PM_{2.5} source apportionment in the Barcelona Metropolitan Area, Catalonia, Spain*. Atmospheric Environment, 2001. 35: p. 6407-6419.

⁶ Querol, X., et al., *Speciation and origin of PM₁₀ and PM_{2.5} in selected European cities*. Atmospheric environment 38:6547-6555, 2004.

⁷ IERMB. 2016. Contaminació atmosfèrica i acústica a les proximitats de la xarxa viària metropolitana: incidència sobre la població resident. Disponible a: <https://iermb.uab.cat/ca/iermb/estudi/contaminacio-atmosferica-i-acustica-a-les-proximitats-de-la-xarxa-viaria-metropolitana-incidencia-sobre-la-poblacio-resident>.

A més dels turismes, l'altre sector *target* és el de la distribució de mercaderies. Pràcticament el 100% de les tones de mercaderies mogudes internament a l'àrea metropolitana ho fan per carretera. Així, malgrat suposar únicament el 27% del trànsit viari al territori metropolità, els vehicles de mercaderies (lleugers i pesants) són els responsables del 46% de les emissions d'NO₂.

2.2. Contaminació atmosfèrica i salut pública

Els ciutadans europeus sovint respiren aire amb nivells de contaminació que no compleixen amb les normes de la UE i l'OMS. Els nivells de contaminació actuals, especialment pel que fa a l'NO₂ i a les partícules (PM₁₀ i PM_{2,5}), tenen un clar impacte sobre la salut de la població urbana. A la Taula 2.2.1 es dóna una visió general de la proporció de la població urbana europea exposada a concentracions de contaminants superiors als valors límit i objectiu establerts per la UE i l'OMS en els últims anys.

Taula 2.2.1. Percentatge de la població urbana en la Unió Europea (UE-28) exposada a nivells de concentració de contaminants locals per sobre dels límits de referència de la UE i l'OMS (2010-2012)

Contaminant	Valor límit EU 40µg/m ³	Estimació de la població exposada (%)	Valor límit OMS µg/m ³	Estimació de la població exposada
NO ₂	Any (40)	8-13	Any (40)	8-13
PM ₁₀	Dia (50)	21-30	Any (20)	64-83
PM _{2,5}	Any (25)	10-14	Any (10)	91-93

Font: Air quality in Europe — 2014 report: European Environmental Agency. ISSN 1725-9177

En la darrera dècada, nombrosos estudis han confirmat que l'exposició a nivells de contaminació atmosfèrica per sobre de la normativa origina una àmplia gamma d'efectes perjudicials per a la salut, des de malalties respiratòries, fins a la disminució de l'esperança de vida i la mort. L'últim Informe de la Qualitat de l'Aire a Europa (2014) xifra en 25.046 les morts anuals prematures a l'Estat Espanyol per aquesta causa. Investigacions recents confirmen que els contaminants emesos pels automòbils i els camions, com ara NO_x i PM, són un motiu de preocupació especial pel que fa a la salut humana. Altres estudis fins i tot posen de manifest que la morbiditat i la mortalitat han baixat de seguida a les zones on la qualitat de l'aire ha millorat⁸.

Un informe realitzat per l'OMS, "WHO Air Quality Guidelines", estima que reduir el valor mitjà anual de concentració de PM₁₀ de nivells de 70 µg/m³ als 20 µg/m³ recomanats per l'OMS podria reduir les morts relacionades amb la contaminació de l'aire al voltant d'un 15%.

La literatura científica en l'àmbit internacional⁹, mostra un augment del nombre de publicacions que, bé a través de models, o a partir d'estudis epidemiològics de seguiment de grups de població, relacionen

⁸ Künzli, N. i Perez, L., 2007. Els beneficis per a la salut pública de la reducció de la contaminació atmosfèrica a l'àrea metropolitana de Barcelona. Departament de Salut de la Generalitat de Catalunya i Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya

⁹ Pope CA, Ezzati M, Dockey DW. Fine-Particulate air pollution and life expectancy in the United States. N Eng J Med. 2009;360:376-86.

Samet JM, Dominici F, Currier FC, Coursac I, Zeger SL. Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities, 1987-1994. N Eng J Med. 2000;343:1798-9.

Medina S. Et al. Apheis: public health impact of PM10 in 19 European cities. J Epidemiol Community Health 2004;58:831-6

Alonso E, Martinez T, Cambra K, et al. Evaluación en cinco ciudades españolas del impacto en salud de la contaminación atmosférica por partículas. Proyecto Europeo APHEIS. Rev Esp Salud Pública 2005;79:

Mailing BJ, Ostro BD. Coarse particles and mortality: evidence from a multicity study in California. Occup Environ Med 2009;66:832-839

la contaminació atmosfèrica amb els efectes sobre la salut humana. En aquests es mostren els diversos beneficis de reduir el nivell de contaminació atmosfèrica de partícules en suspensió (PM) (Taula 2.2.2).

Taula 2.2.2. Beneficis en salut de la millora de la contaminació atmosfèrica per PM₁₀ de la població exposada

Autor, àmbit territorial i any	Nivell objectiu µg/m ³	Beneficis en la salut
Beneficis en salut a llarg termini		
CREAL, RMB, 2009	20	Augments de l'esperança de vida en 14 mesos
Pope, EUA, 2009	10	Augments de l'esperança de vida en 7,3 mesos
Medina, APHEIS, ciutats Europa, 2004	20	Descensos de la mortalitat prematura evitable en 43/100.000
Alonso, APHEIS, 5 ciutats Espanya, 2005	20	Descensos de la mortalitat prematura evitable en 68/100.000
Beneficis en salut a curt termini		
Samet, EUA, 2000	10	Descensos de la mortalitat general en 0,51%
		Descensos de la mortalitat cardiovascular en 0,68%
Mailing, EUA, 15 ciutats, 2009	10	Descensos de la mortalitat general en 0,70%
		Descensos de la mortalitat cardiovascular en 1,30%

Font: IERMB a partir de: Josep Martí Valls, Josep (Coord.) El medi ambient i la salut. Qualitat de l'aire, contaminació química, soroll i radiacions. Anàlisi de legislació i experiències de bones pràctiques de millora del medi i la salut. Propostes per Catalunya. Centre d'Anàlisi i Programes Sanitaris (CAPS)

A l'àmbit metropolità de Barcelona s'han realitzat diversos estudis que tracten d'avaluar els efectes de la contaminació atmosfèrica en la salut humana, i la disminució dels efectes perjudicials per a la salut derivats de la reducció de la contaminació. En un d'ells, es constaten els beneficis per a la salut que es podrien aconseguir si la mitjana de PM₁₀ en la conurbació de Barcelona es reduís a 20 µg/m³ i a 40 µg/m³, respectivament (Taula 2.2.3)¹⁰.

A més, en la darrera dècada s'han publicat diversos articles científics d'impacte en l'àmbit de Barcelona que relacionen els efectes de la contaminació atmosfèrica derivada del transport amb els problemes de salut de la població exposada¹¹. En el darrer estudi del qual tenim coneixement (l'any 2015) es

¹⁰ Künzli, N. i Perez, L., 2007. Els beneficis per a la salut pública de la reducció de la contaminació atmosfèrica a l'àrea metropolitana de Barcelona. CREAL. Departament de Salut de la Generalitat de Catalunya i Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya

¹¹ Sunyer J, Esnaola M, Alvarez-Pedrerol M, Forn J, Rivas I, López-Vicente M, et al. (2015) Association between Traffic-Related Air Pollution in Schools and Cognitive Development in Primary School Children: A Prospective Cohort Study. PLoS Med 12(3). Schembari, A., Nieuwenhuijsen, M. J., Salvador, J., de Nazelle, A., Cirach, M., Dadvand, P., Beelen, R., Hoek, G., Basagana, X., Vrijheid, M.. Traffic-Related Air Pollution and Congenital Anomalies in Barcelona. Environ.Health Perspect. 2014; 122 (3): 317-23.

Rojas-Rueda, D., de Nazelle, A., Teixido, O., Nieuwenhuijsen, M.. Health impact assessment of increasing public transport and cycling use in Barcelona: A morbidity and burden of disease approach. Prev.Med. 2013; 57 (5): 573-9.

de Nazelle, A., Fruin, S., Westerdahl, D., Martinez, D., Ripoll, A., Kubesch, N., Nieuwenhuijsen, M.. A travel mode comparison of commuters' exposures to air pollutants in Barcelona. Atmospheric Environment 2012; 59: 151-159.

Rojas-Rueda, D., de Nazelle, A., Teixido, O., Nieuwenhuijsen, M. J.. Replacing car trips by increasing bike and public transport in the greater Barcelona metropolitan area: A health impact assessment study. Environ.Int. 2012; 49C: 100-109.

Ostro, B., Tobias, A., Querol, X., Alastuey, A., Amato, F., Pey, J., Perez, N., Sunyer, J.. The Effects of Particulate Matter Sources on Daily Mortality: A Case-Crossover Study of Barcelona, Spain. Environ.Health Perspect. 2011; 119 (12): 1781-7.

Perez, L., Sunyer, J., Künzli, N.. Estimating the health and economic benefits associated with reducing air pollution in the Barcelona metropolitan area (Spain). Gac.Sanit. 2009; 23 (4): 287-294.

Perez, L., Medina-Ramon, M., Künzli, N., Alastuey, A., Pey, J., Perez, N., Garcia, R., Tobias, A., Querol, X., Sunyer, J.. Size fractionate particulate matter, vehicle traffic, and case-specific daily mortality in Barcelona, Spain. Environ Sci Technol 2009; 43 (13): 4707-4714.

Künzli, N. i Perez, L., 2007. Els beneficis per a la salut pública de la reducció de la contaminació atmosfèrica a l'àrea metropolitana de Barcelona. Departament de Salut i Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya.

relacionen estadísticament els nivells de contaminants atmosfèrics amb el desenvolupament de les capacitats cognitives dels alumnes de diferents escoles a Barcelona.

Totes aquestes dades que demostren cada cop amb més contundència els efectes de la contaminació atmosfèrica sobre la salut pública i el benestar de les persones són esfereïdores i exigeixen mesures urgents que conduïxin a una planificació més sostenible de la mobilitat.

Taula 2.2.3. Possibles beneficis anuals per a la salut si la mitjana anual de PM₁₀ es reduís (en nombre de casos evitats i percentatge respecte del total). Conurbació de Barcelona, 2007

Efectes en la salut			Beneficis per a la salut (IC del 95%)			
			Reducció de la concentració mitjana anual fins a 20µg/m³		Reducció de la concentració mitjana anual fins a 40µg/m³	
			Edat	Nombre de casos evitats	% del total de casos	Nombre de casos evitats
Mortalitat						
Mort infantil	Tots	<1	15 (7-22)	13 (6-19)	5 (2-7)	4 (2-26)
Mort deguda a exposició a curt termini (aguda)	Totes les causes	Totes	520 (350-690)	2 (1-2)	180 (120-230)	0,6 (0,4-0,8)
	Causas cardiovasculars	Totes	250 (140-360)	3 (2-4)	90 (20-120)	0,9 (0,5-1,3)
	Causas respiratòries	Totes	120 (50-190)	4 (2-6)	40 (20-60)	1,3 (0,5-2,1)
Total de morts (exposició a llarg termini; s'inclouen els efectes a curt termini)	Tots	≥30	3000 (2200-4800)	12 (7-16)	1200 (760-1700)	4 (3-6)
Ingressos hospitalaris						
	Causas respiratòries	Totes	1150 (630-1670)	3 (2-5)	390 (210-570)	1,1 (0,6-2)
	Causas cardiovasculars	Totes	620 (310-930)	2 (1-3)	210 (110-310)	0,6 (0,3-0,9)
Morbiditat						
Malalties cròniques	Bronquitis crònica en adults	≥25	5100 (550-8500)	25 (3-41)	1900 (190-3400)	9 (1-17)
	Bronquitis agudes en nens	<15	31100 (17500-40500)	49 (28-64)	12100 (6100-17000)	19 (10-27)
Síntomes relacionats amb l'asma	Crisis d'asma en adults	≥15	41500 (21000-605000)	11 (6-16)	14700 (7300-21800)	4 (2-6)
	Crisis d'asma en nens	<15	12400 (6400-15200)	11 (6-14)	4000 (2100-5000)	4 (12-5)

Nota: L'àmbit d'estudi no coincideix al 100% amb l'àmbit de l'AMB

Font: Künzli, N. i Perez, L., 2007. Els beneficis per a la salut pública de la reducció de la contaminació atmosfèrica a l'àrea metropolitana de Barcelona. CREAL. Departament de Salut de la Generalitat de Catalunya i Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya

2.3. Perfils socials d'emissió

Tothom no contribueix igual al problema de la contaminació atmosfèrica local. Si es vol corregir la situació, aleshores, s'ha d'aconseguir una reducció de l'ús del vehicle privat. Múltiples factors afecten el comportament de viatge de la població, el qual inclou l'elecció del mode de transport. Per a promoure un canvi de comportament és necessari conèixer-los i incidir en aquells que facilitin els canvis cap a mitjans de transport més sostenibles. El comportament de viatge, però, és un comportament dels denominats complexos. Les persones poden o no utilitzar diferents alternatives de transport per motius diversos. Una forma de reduir la complexitat i l'heterogeneïtat de tota una població és dividir-la en subgrups segons la seva semblança donat un conjunt de variables.

Diversos estudis s'ocupen de la identificació, a través de tècniques de segmentació de mercat com l'anàlisi clúster, de tipologies de viatgers. En fer-ho, els estudis tenen en compte les teories tradicionals i psicològiques sobre l'ús del cotxe per a incloure els factors rellevants als models de classificació.

L'anàlisi clúster serveix per agrupar els individus segons les seves similituds quant a patrons de mobilitat, preferències, perfil socioeconòmic i d'altres variables d'entorn¹². Aquest enfocament ajuda a contrastar el pes relatiu dels diversos factors o variables en les decisions individuals d'elecció modal, i proporciona informació valuosa sobre com es poden dissenyar polítiques per atreure diferents grups d'usuaris.

En aquest context podem trobar estudis que usen segmentacions conductuals. A les segmentacions conductuals els individus es classifiquen segons els seus patrons de mobilitat¹³. Un subgrup d'estudis classifiquen els individus segons el seu nivell d'ús dels diferents modes de transport, fent èmfasi en la 'multimodalitat'¹⁴. La multimodalitat es considera un comportament desitjable des d'una perspectiva de sostenibilitat en contrast amb la dependència del cotxe i l'hàbit d'usar el cotxe per a tot; exemples d'unimodalitat.

Els estudis més recents, que s'ocupen específicament de l'elecció modal, se centren en la segmentació actitudinal. Aquests estudis agrupen els viatgers segons els motius per escollir el seu mode transport diari, és a dir, les seves actituds envers diferents modes de transport¹⁵. La segmentació actitudinal s'utilitza principalment per examinar el potencial de canvi cap a mitjans de transport públic –identificació de mercats potencials–, i per dissenyar estratègies a mida per atreure els diferents grups d'usuaris. Estudis com ara Beirão i Sarsfield-Cabral¹⁶ se centren, a més, en les diferències d'actituds, de preferències i de comportaments entre homes i dones.

Finalment, alguns estudis realitzen segmentacions aplicades a una mostra de ciutats o de països¹⁷.

Amb el temps la complexitat de les segmentacions ha augmentat. Es posa èmfasi en la necessitat de construir perfils complets que permetin copsar tots els angles del comportament del viatge. Darrerament, els estudis han incorporat tot l'esmentat anteriorment en línia amb l'anomenat concepte

¹² Per a una revisió, vegeu Haustein, S., Hunecke, M., 2013. Identifying target groups for environmentally sustainable transport: assessment of different segmentation approaches. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5(2):197–204.

¹³ Bayarma, A., Kitamura, R., Susilo, Y.O., 2007. Recurrence of daily travel patterns: stochastic process approach to multiday travel behavior. *Transportation Research Record* No. 2021, pp. 55–63.

Gärling, T., Axhausen, K.W., 2003. Introduction: Habitual travel choice. *Transportation* 30:1–11.

Krizek, K.J., 2006. Lifestyles, residential location decisions, and pedestrian and transit activity. *Transportation Research Record* No. 1981, pp. 171–178.

Krizek, K.J., El-Geneidy, A., 2007. Segmenting preferences and habits of transit users and non-users. *Journal of Public Transportation*, 10(3):71–94.

¹⁴ Diana, M., Mokhtarian, P.L., 2009. Desire to change one's multimodality and its relationship to the use of different transport means. *Transportation Research Part F* 12:107–119.

Nobis, C., 2007. Multimodality: Facets and causes of sustainable mobility behavior. *Transportation Research Record* No. 2010, pp. 35–44.

¹⁵ Anable, J., 2005. 'Complacent Car Addicts' or 'Aspiring Environmentalists'? Identifying travel behaviour segments using attitude theory. *Transport Policy* 12:65–78.

Beirão, G., Sarsfield-Cabral, J.A., 2007. Understanding attitudes towards public transport and private car: A qualitative study. *Transport Policy* 14(6):478–489.

Hunecke, M., Haustein, S., Böhrer, S., Grischkat, S., 2010. Attitude-based target groups to reduce the ecological impact of daily mobility behavior. *Environment and Behavior* 42(1):3–43.

Outwater, M.L., Castleberry, S., Shiftan, Y., Ben-Akiva, M., Shuang Zhou, Y., Kuppam, A., 2003. Attitudinal market segmentation approach to mode choice and ridership forecasting: Structural equation modeling. *Transportation Research Record* No. 1854(03-4481), pp. 32–42.

Schlich, R., Axhausen, K.W., 2003. Habitual travel behaviour: Evidence from a six-week travel diary. *Transportation* 30:13–36.

Shiftan, Y., Outwater, M.L., Zhou, Y., 2008. Transit market research using structural equation modeling and attitudinal market segmentation. *Transport Policy* 15:186–195.

¹⁶ Beirão, G., Sarsfield-Cabral, J., 2008. Market segmentation analysis using attitudes toward transportation: exploring the differences between men and women. *Transportation Research Record* No. 2067, pp. 56–64.

¹⁷ Klinger, T., Kenworthy, J.R., Lanzendorf, M., 2013. Dimensions of urban mobility cultures – a comparison of German cities. *Journal of Transport Geography* 31:18–29.

Haustein, S., Sick Nielsen, T.A., 2016. European mobility cultures: a survey-based cluster analysis across 28 European countries. *Journal of Transport Geography* 54:173–180.

de 'cultures de mobilitat urbana', que engloba el comportament de viatge, l'entorn construït i la dimensió cultural, entesa com el coneixement i les creences compartides pels usuaris sobre el sistema i els modes de transport¹⁸.

Prillwitz i Barr realitzen dues segmentacions, una de conductual i una d'actitudinal, i comparen els resultats. D'aquesta manera donen compte de la diversitat d'actituds en diferents entorns contextuais. Els autors desenvolupen la noció d'«estils de mobilitat», que integra aquestes dues diferents dimensions del comportament del viatge per tal de produir perfils més complexos i realistes. Al 'Clúster I – Conductual' s'inclouen les variables: mode de transport més utilitzat per a fins a set motius de desplaçament. Al 'Clúster II – Actitudinal' s'inclouen (el nivell d'acord amb) diverses opinions sobre: el transport públic (15 preguntes), l'ús d'automòbils (15), el fet d'anar a peu o en bicicleta (15), els viatges de vacances (10), les polítiques de transport (13) i la sostenibilitat i el medi ambient (10). Les variables d'entorn i els factors sociodemogràfics i econòmics s'utilitzen per acabar de perfilar els segments.

D'altra banda, Klinger et al realitzen una segmentació aplicada a una mostra de 44 ciutats alemanyes basades en el concepte multidimensional de 'cultures de mobilitat urbana'. L'anàlisi clúster inclou indicadors a escala de ciutat que capturen el comportament de viatge dels habitants d'una ciutat, les actituds subjacents, les característiques socioeconòmiques, la forma urbana i l'aprovisionament d'infraestructures de transport de manera específica per als diferents modes. Els resultats evidencien que la prioritització a les ciutats d'un cert mitjà de transport a través de l'oferta d'infraestructures, el repartiment modal i les actituds influeix enormement les tipologies de mobilitat urbana obtingudes. Es van extreure sis clústers de ciutats: *Transit Cities*, *Walking Cities with Multimodal Potential*, *Transit Cities with Multimodal Potential*, *Auto-oriented Cities*, *Transit Metropolises*, *Cycling Cities*¹⁹.

En aquest sentit, Haustein i Sick Nielsen també realitzen una segmentació de dos passos amb dades de l'Eurobaròmetre basada en el mateix concepte. Primer, agrupen la població de la UE en vuit grups o 'estils de mobilitat', que van des dels *Green Cyclists* fins als *Convenience drivers* (malauradament, el grup amb més representació). Les variables incloses a l'anàlisi clúster són: el mode de transport més utilitzat, els motius d'elecció modal i diverses variables que capturaven la consciència dels impactes ambientals causats pels diversos mitjans de transport. Després s'utilitzen altres variables socioeconòmiques per a concretar el perfil social dels segments. Els grups d'usuaris del cotxe tenen el nivell més elevat de recursos socioeconòmics, però també el grup anomenat *Green Cyclists*. En segon lloc, s'agrupen els 28 països membres de la UE en sis grups basats en la seva representació dels 'estils de mobilitat'.

El present estudi se centra en l'anàlisi, mitjançant procediments de segmentació, del perfil social de la població 'emissora' de contaminants derivats de la mobilitat personal en el context de l'àrea metropolitana de Barcelona. Es consideren el total de desplaçaments realitzats en dia feiner per la població resident a l'RMB que efectua emissions dins de l'àmbit de l'AMB. Les variables que serveixen per crear els grups de població amb trets similars són diverses variables d'emissions de PM₁₀, de mobilitat, socioeconòmiques i d'entorn, del municipi de residència. La metodologia resulta adient, ja que no tots els usuaris del vehicle privat (o del transport públic) fan la mateixa petjada. A més, per l'objectiu

¹⁸ Haustein, S., Sick Nielsen, T.A., 2016. European mobility cultures: a survey-based cluster analysis across 28 European countries. *Journal of Transport Geography* 54:173–180.

Klinger, T., Kenworthy, J.R., Lanzendorf, M., 2013. Dimensions of urban mobility cultures – a comparison of German cities. *Journal of Transport Geography* 31:18–29.

Prillwitz, J., Barr, S., 2011. Moving towards sustainability? Mobility styles, attitudes and individual travel behavior. *Journal of Transport Geography* 19(6):1590–1600.

¹⁹ Aquí el mot 'Transit' es refereix al transport públic, ja que s'utilitza l'expressió americana i no la britànica.

de l'estudi resulta important identificar, per exemple, els qui fan una part important de les emissions de PM₁₀ a la trama urbana.

Només uns pocs estudis han desenvolupat 'perfils socials d'emissió' o 'estils d'emissió'. Hunecke et al²⁰ i Mattioli i Anable²¹ s'ocupen de les emissions associades amb la mobilitat per fer les compres i les analitzen mitjançant tècniques de segmentació clúster. No obstant això, aquests estudis no inclouen les variables d'emissions en l'anàlisi clúster (anàlisi principal), sinó que s'analitzen *a posteriori*. D'altra banda, l'estudi de Mattioli i Anable és un estudi sectorial, que se centra en el comportament de viatge per a la compra d'aliments.

Amb tot, el present estudi pretén profunditzar en aquest nou concepte d'"estils d'emissió", per a disposar d'una eina d'anàlisi que permeti simular escenaris futurs aplicant canvis en els perfils d'emissió que es derivin de les polítiques de transport metropolitanas.

2.4. Anàlisi de la desigualtat

Els estudis en justícia ambiental urbana posen de manifest que els beneficis i les càrregues de la mobilitat poden no distribuir-se equitativament entre la població. És a dir, que la càrrega de les externalitats ambientals de la mobilitat recauria sobre la població més desafavorida i vulnerable que, a més, no contribueix en la mateixa mesura a generar el problema de la (baixa) qualitat de l'aire.

A la pràctica, el concepte de justícia ambiental es tradueix en anàlisis empíriques qualitatives i quantitatives que investiguen si la posició socioeconòmica o la condició racial/ètnica estan vinculades amb l'exposició a contaminants ambientals i altres fonts d'efectes en la salut, com l'estrès psicosocial²². Els estudis sobre justícia ambiental se centren, principalment, en la ubicació de fonts puntuals de contaminació a prop de poblacions vulnerables, o bé en la contaminació de l'aire procedent de fonts mòbils (cotxes). La disponibilitat de dades espacials de qualitat de l'aire, d'una banda, i d'indicadors d'emissions derivades de la mobilitat, d'altra banda, han permès desenvolupar aquesta darrera qüestió.

La investigació en justícia ambiental té aquesta dimensió política que implica que els pobres i les minories no només han quedat enrere per compartir els beneficis del desenvolupament econòmic, sinó que a més han de suportar una càrrega desproporcionada dels costos externs del desenvolupament. D'aquesta manera, la justícia ambiental engloba qüestions d'equitat i de justícia en la regulació i la planificació territorials, així com en la implementació de mesures econòmiques de protecció ambiental.

En el context europeu la principal preocupació per la justícia social es refereix a la desigualtat ambiental i la pobresa, i no tant a les diferències ètniques o racials, com és el cas als EEUU²³. Un altre camp d'estudi que se centra en aquests temes és el de l'epidemiologia social i la contaminació de l'aire²⁴.

²⁰ Hunecke, M., Haustein, S., Böhlér, S., Grischkat, S., 2010. Attitude-based target groups to reduce the ecological impact of daily mobility behavior. *Environment and Behavior* 42(1):3–43.

²¹ Mattioli, G., Anable, J., 2017. Gross polluters for food shopping travel: an activity-based typology. *Travel Behaviour and Society* 6:19–31.

²² Per a una revisió, vegeu Bowen, W., 2002. An analytical review of environmental justice research: what do we really know? *Environmental Management* 29:3–15.

²³ Mitchell, G., Dorling, D., 2003. An environmental justice analysis of British air quality. *Environment and Planning A* 35:909–929.

²⁴ Bateson, T.F., Schwartz, J., 2004. Who is sensitive to the effects of particulate air pollution on mortality? A case-crossover analysis of effect modifiers. *Epidemiology* 15(2):143–149.

Forastiere, F., Stafoggia, M., Berti, G., Bisanti, L., Cernigliaro, A., Chiusolo, M., Mallone, S., Miglio, R., Pandolfi, P., Rognoni, M., Serinelli, M., Tessari, R., Vigotti, M., Perucci, C.A.; SISTI Group. 2008. Particulate Matter and Daily Mortality: A Case-Crossover Analysis of Individual Effect Modifiers. *Epidemiology* 19(4):571–580.

Alguns estudis d'aquest camp combinen l'anàlisi de la pobresa amb la dels grups de població més vulnerables (nens, persones grans i aquells amb problemes preexistents de salut). Aquests grups socials estarien patint un doble impacte, primer, per la sobreexposició a la contaminació, i segon, perquè ja són més susceptibles que els altres. De fet, la contaminació atmosfèrica i els factors socioeconòmics poden interactuar de diverses maneres per a influir en la salut a causa de la combinació d'una major exposició i susceptibilitat²⁵.

Pel que fa específicament a l'exposició a la contaminació atmosfèrica relacionada amb el trànsit i als impactes en la salut humana, els estudis en el context europeu se centren, majoritàriament, en els nivells de diòxid de nitrogen (NO₂) procedents del trànsit rodat²⁶. Tanmateix, hi ha estudis que analitzen els nivells de monòxid de carboni (CO)²⁷ o l'exposició a partícules fines en suspensió (PM)²⁸. Aquests darrers són sobretot estudis epidemiològics.

Quant als resultats dels estudis que se centren en les desigualtats socioeconòmiques en l'exposició a l'NO₂ del trànsit, Barnes i Chatterton, al igual que Mitchell i Dorling anteriorment, troben evidències, a través d'anàlisis espacials, de desigualtats basades en l'edat, el nivell de pobresa i la tinença d'automòbils a Gran Bretanya. Les anàlisis es van realitzar a nivell de secció censal (Barnes i Chatterton) i de districte electoral (*wards*) (Mitchell i Dorling). En concret, es va trobar que en les seccions censals on la població resident tenia menys cotxes la concentració mitjana anual de NO₂ era més elevada (pateixen nivells més alts de contaminació de l'aire), i *viceversa*. A més a més, els autors troben una forta relació positiva entre el nivell de pobresa de la població (% de llars en situació de pobresa) i les concentracions mitjanes d'NO₂.

Tanmateix, els resultats de Havard et al mostren que, per a un àrea reduïda a Estrasburg (França), l'associació entre l'índex de privació i els nivells d'NO₂ és positiva, però no lineal. De manera que les àrees amb un nivell intermedi de privació són les més exposades a l'NO₂ del trànsit. L'anàlisi de regressió es va realitzar amb variables estimades a nivell de parcel·la cadastral. Les concentracions mitjanes d'NO₂ es van estimar mitjançant un model de dispersió de contaminants.

Samet, J.M., Dominici, F., Curriero, F.C., Coursac, I., Zeger, S.L., 2000. Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities, 1987–1994. *The New England Journal of Medicine* 343:1742–1749.

Zanobetti, A., Schwartz, J., 2000. Race, gender, and social status as modifiers of the effects of PM10 on mortality. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 42(5):469–474.

Zanobetti, A., Schwartz, J., Dockery, D.W., 2000. Airborne particles are a risk factor for hospital admissions for heart and lung disease. *Environmental Health Perspectives* 108(11):1071–1077.

Zeka A., Zanobetti A., Schwartz, J., 2006. Individual-level modifiers of the effects of particulate matter on daily mortality. *American Journal of Epidemiology* 163(9):849–859.

²⁵ O'Neill MS, Jerrett M, Kawachi L, et al., 2003. Health, wealth, and air pollution: advancing theory and methods. *Environ Health Perspect* 111:1861–1870.

²⁶ Barnes, J., Chatterton, T., 2017. An environmental justice analysis of exposure to traffic-related pollutants in England and Wales. *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 210(12):431–442.

Havard, S., Deguen, S., Zmirou-Navier, D., Schillinger, C., Bard, D., 2009. Traffic-related air pollution and socioeconomic status: a spatial autocorrelation study to assess environmental equity on a small-area scale. *Epidemiology* 20:223–230.

Mitchell, G., Dorling, D., 2003. An environmental justice analysis of British air quality. *Environment and Planning A* 35:909–929.

²⁷ Brainard, J.S., Jones A.P., Bateman, I.J., Lovett, A.A., Fallon, P.J., 2002. Modelling environmental equity: access to air quality in Birmingham, England. *Environment and Planning A* 34:695–716.

²⁸ Buzzelli, M., Jerrett, M., Burnett, R., Finklestein, N., 2003. Spatiotemporal perspectives on air pollution and environmental justice in Hamilton, Canada, 1985–1996. *Annals of the Association of American Geographers* 93(3):557–573.

Forastiere, F., Stafoggia, M., Berti, G., Bisanti, L., Cernigliaro, A., Chiusolo, M., Mallone, S., Miglio, R., Pandolfi, P., Rognoni, M., Serinelli, M., Tessari, R., Vigotti, M., Perucci, C.A.; SISTI Group. 2008. Particulate Matter and Daily Mortality: A Case-Crossover Analysis of Individual Effect Modifiers. *Epidemiology* 19(4):571–580.

Samet, J.M., Dominici, F., Curriero, F.C., Coursac, I., Zeger, S.L., 2000. Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities, 1987–1994. *The New England Journal of Medicine* 343:1742–1749.

Wier, M., Sciammas, C., Seto, E., Bhatia, R., Rivard, T., 2009. Health, traffic, and environmental justice: collaborative research and community action in San Francisco, California. *American Journal of Public Health* S3(99): 499–504.

Zanobetti, A., Schwartz, J., 2000. Race, gender, and social status as modifiers of the effects of PM10 on mortality. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 42(5):469–474.

Quant als resultats dels estudis que investiguen les associacions entre el nivell d'exposició a PM i la posició socioeconòmica, Buzzelli et al utilitzen diversos models de regressió i anàlisis espacials per a investigar les correlacions entre les mitjanes anuals de PM (és a dir, el total de partícules en suspensió) i diverses variables socioeconòmiques (baixos ingressos, baixos estudis, mitjana d'ingressos, taxa d'atur, preu de l'habitatge i famílies monoparentals), en diversos anys a Hamilton (Canadà). Els autors troben que el preu de l'habitatge és la variable que millor captura les variacions. De manera que els que viuen en barris d'alt nivell socioeconòmic no estarien tan exposats a les PM. Als models es controla la presència de fonts industrials de contaminació (no significativa en cap cas).

Adicionalment, tant Zanobetti i Schwartz com Zeka et al investiguen per a diverses ciutats dels EE.UU. si l'associació entre les PM₁₀ i la mortalitat es modifica per l'efecte de factors sociodemogràfics personals. Zeka et al evidencien diferents patrons d'associació entre mortalitat i PM₁₀ per sexe i per edat, però no observen diferències per la raça. Ara bé, el nivell d'estudis estava inversament relacionat amb el risc de mortalitat associat a les PM₁₀. En línia amb l'anterior, Forastiere et al informen sobre un efecte més feble de les PM₁₀ en la mortalitat entre les persones més riques.

En consonància amb el que plantegen els estudis en justícia ambiental urbana, al present estudi es contrasta la hipòtesi que els beneficis i les càrregues de la mobilitat poden no distribuir-se de forma justa entre la població de l'àrea metropolitana de Barcelona. És a dir, que la càrrega de les externalitats ambientals pugui recaure sobre la població més desafavorida i vulnerable que, a més, no contribueix en la mateixa mesura a generar el problema de la contaminació. Aquesta anàlisi de la desigualtat es realitza a dos nivells: a escala territorial (on s'ubiquen els 'emissors' i on els 'receptors') i en l'àmbit socioeconòmic, tenint en compte la relació entre el nivell d'exposició als contaminants locals del trànsit (NO₂ i PM_{2,5}) i els ingressos de la població.

3 METODOLOGIA I FONTS DE DADES

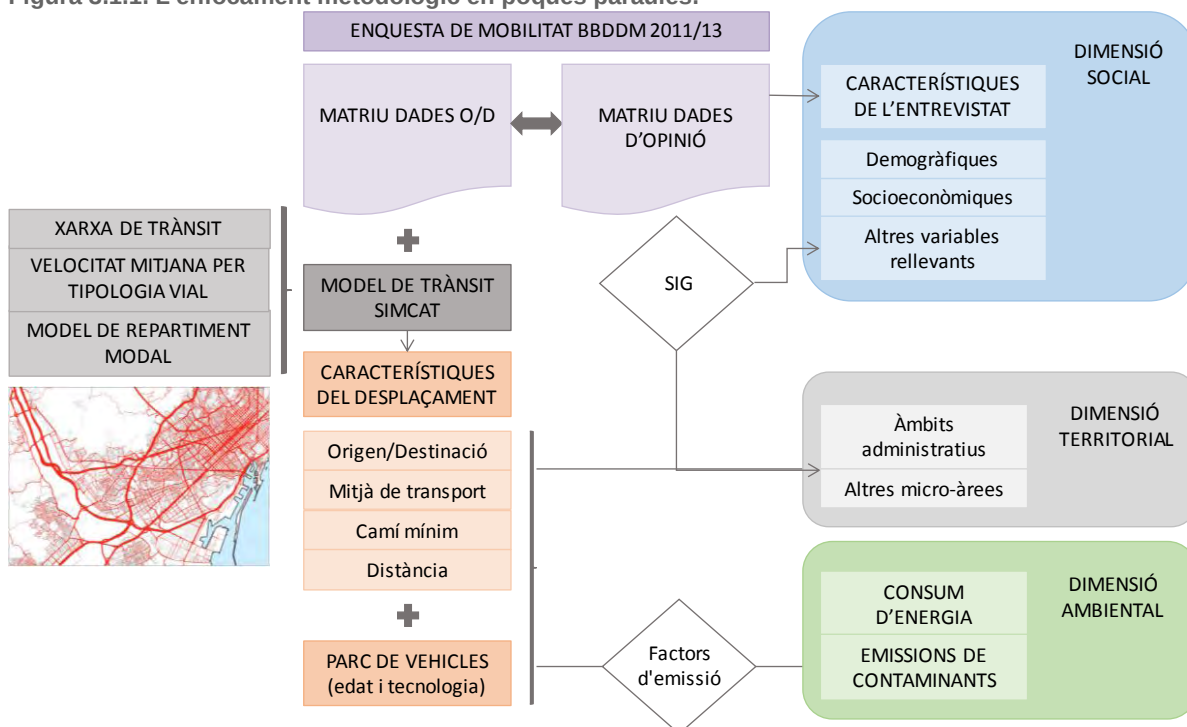
La metodologia utilitzada en aquest treball contempla, d'una banda, la identificació dels perfils socials d'emissió de l'àrea metropolitana de Barcelona, i de l'altra, el càlcul de la població exposada a la contaminació de l'aire en aquest àmbit i els efectes que això comporta en la salut de la població.

3.1. Identificació dels perfils socials dels 'emissors'

L'objectiu de la creació de 'perfils socials d'emissió' és agrupar o classificar la població que es mou dins l'àmbit metropolità en funció de les emissions que realitza com a resultat de la seva mobilitat personal quotidiana, de manera que existeixi la màxima homogeneïtat entre els individus dins un mateix grup i la diferència més gran entre grups. Per a classificar la població i formar els grups s'utilitzen tècniques de segmentació de mercat basades en l'aplicació de l'anàlisi clúster.

Per a la identificació del perfil social dels 'emissors' es parteix de la informació recollida a l'enquesta BBDDM 2011/13 sobre les emissions de PM₁₀ associades a la mobilitat personal dels habitants de l'RMB que es desplacen dins l'àmbit de l'AMB. Aquesta informació s'obté a partir del model de trànsit SIMCAT, que serveix per estimar la distància del desplaçament donat un parell O/D ('camí mínim'). A continuació, se li aplica un factor d'emissió que varia en funció del mitjà de transport i de la velocitat a cada arc de la xarxa de trànsit per on es passa. A banda de les variables d'emissions també es consideren les característiques socioeconòmiques de la població entrevistada i una sèrie de variables urbanístiques i d'oferta de transport públic al municipi de residència. A la Figura 3.1.1 es mostra de forma esquemàtica com s'utilitzen les diverses fonts d'informació per obtenir les variables *input*.

Figura 3.1.1. L'enfocament metodològic en poques paraules.



Font: IERMB

Filtres de població i de desplaçaments

La població i els desplaçaments objecte d'estudi són:

- La població resident a l'RMB de més de 15 anys
- Els seus desplaçaments en dia feiner amb origen o destí dins l'àmbit de l'AMB

Modes de transport considerats

Els modes de transport considerats s'agrupen de la següent manera:

- Peu i bicicleta (no procedeix el càlcul de les emissions per als desplaçaments realitzats amb aquests modes de transport)
- Vehicle privat (inclou cotxe com a acompanyant i com a conductor, moto com a acompanyant i com a conductor, furgoneta/camió, taxi i d'altres vehicles privats)
- Autobús (inclou autobús urbà, interurbà, escolar, d'empresa i autocars)
- Modes ferroviaris (inclou metro, tramvia, FGC, RENFE Rodalies, RENFE regional i llarg recorregut i altres mitjans de transport públic comunitari)

Contaminants considerats

El contaminant utilitzat per aquesta anàlisi són les partícules fines de diàmetre més petit que 10 micres o PM₁₀. D'aquesta manera s'eviten els problemes amb els factors d'emissió dels contaminants alterats al 'frau dièsel', que va afectar principalment a les emissions d'òxids de nitrogen (NO_x).

3.1.1. Càlcul d'emissions de la mobilitat generada a l'àmbit metropolità

A continuació es presenta la metodologia utilitzada per estimar les emissions dels desplaçaments de la població objecte d'estudi a partir de les dades de l'enquesta BBDDM 2011/13.

Informació de base

La base de dades de mobilitat utilitzada és la següent:

- BBDDM 2011/13: Base de Dades de la Mobilitat Metropolitana formada en la seva major part per les dades recollides a l'Enquesta Metropolitana realitzada en dos anys, el 2011 i el 2013, i enriquida amb dades de l'EMEF dels mateixos anys.

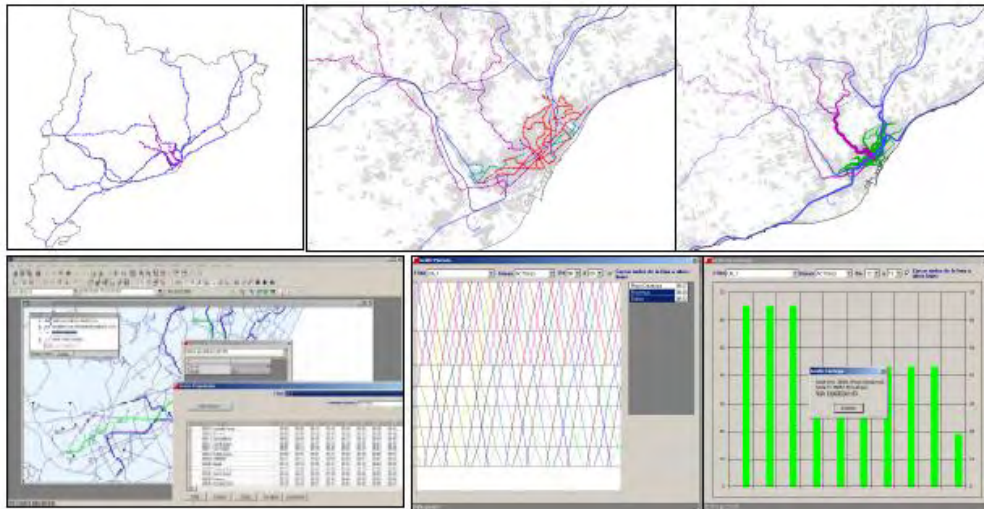
Cada fila de la matriu de la BBDDM 2011/13 conté la cadena d'un desplaçament, i es calculen per a cada fila les següents variables:

1. Distància del desplaçament (km)
2. Temps de viatge (minuts)
3. Consum energètic (g o gep)
4. Emissions de CO₂, NO_x, NO₂, PM₁₀, i PM_{2,5} (en funció de la disponibilitat de les corbes d'emissió)

Sistema de modelització

Es disposa, com a punt de partida, d'un sistema d'informació i modelització de la xarxa de transports de Catalunya, propietat del Departament de Territori i Sostenibilitat i desenvolupat i mantingut per MCRIT: el SIMCAT. Pel càlcul dels costos de cada desplaçament –distància recorreguda o longitud (km), temps de viatge (minuts), consum de combustible (g o gep), emissions i d'altres costos econòmics– s'aplicarà, aleshores, el sistema SIMCAT en l'última versió disponible (anys 2012-2013).

Figura 3.1.2. Imatges del sistema SIMCAT

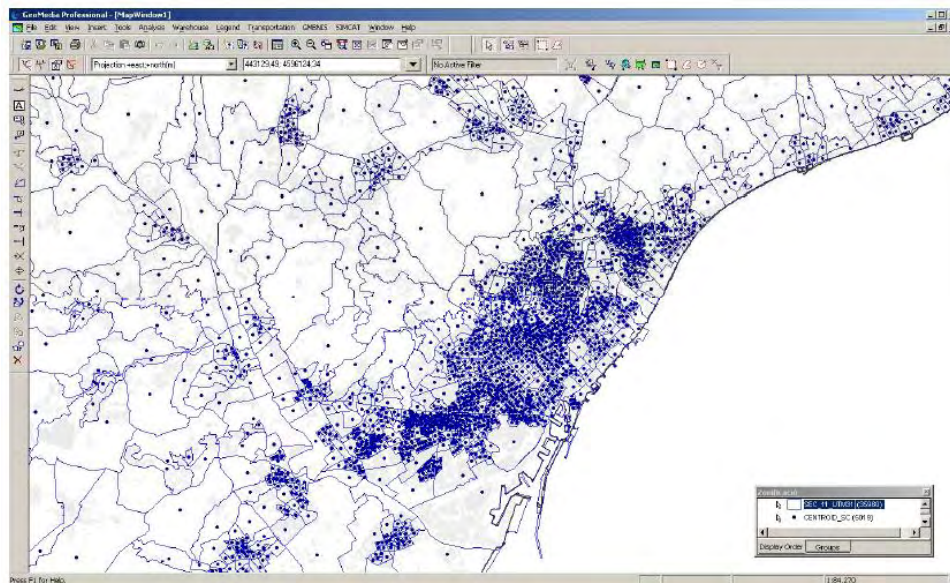


Font: MCRIT

Àmbit del model i zonificació

L'àmbit d'estudi inclou tota l'RMB i treballa amb una zonificació corresponent a municipi i a secció censal.

Figura 3.1.3. Zones corresponents a seccions censals 2011



Font: MCRIT

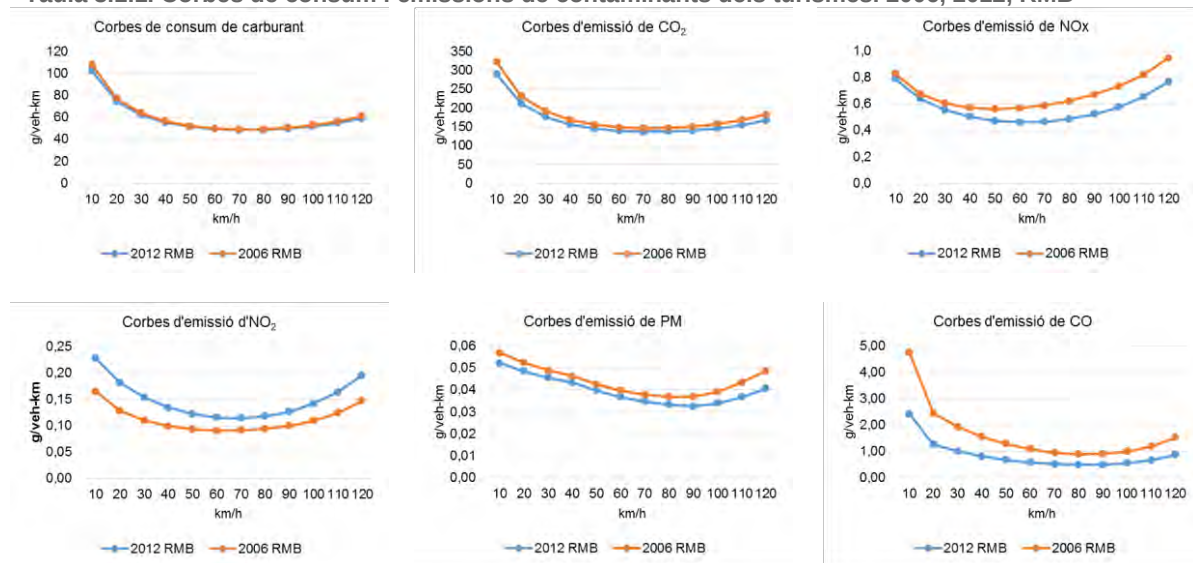
Xarxa d'infraestructures i serveis de transport públic

La xarxa modelitzada inclou totes les infraestructures viàries i els serveis de transport públic actuals (Metro, FGC, RENFE, Tram i autobusos de TMB i d'EMT).

Corbes de consum d'energia i d'emissions

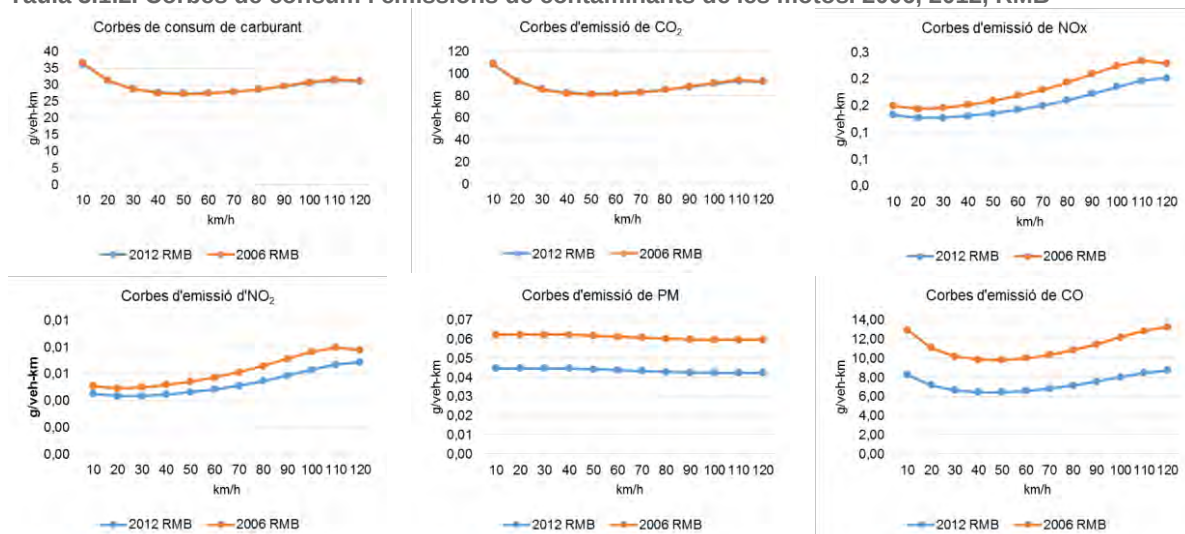
Les corbes de consum d'energia i d'emissions de CO₂, NO_x, NO₂, PM₁₀ i PM_{2,5} per al vehicle privat diferenciant entre turisme, moto i furgoneta s'utilitzen per al càlcul de l'impacte del vehicle privat corresponent a mitjanes elaborades a partir de les corbes CORINAIR ponderades pel parc de vehicles de 2006 i de 2012 a l'àmbit de l'RMB, i són proveïdes per l'Institut Cerdà (Taula 3.1.1, Taula 3.1.2 i Taula 3.1.3).

Taula 3.1.1. Corbes de consum i emissions de contaminants dels turismes. 2006, 2012, RMB



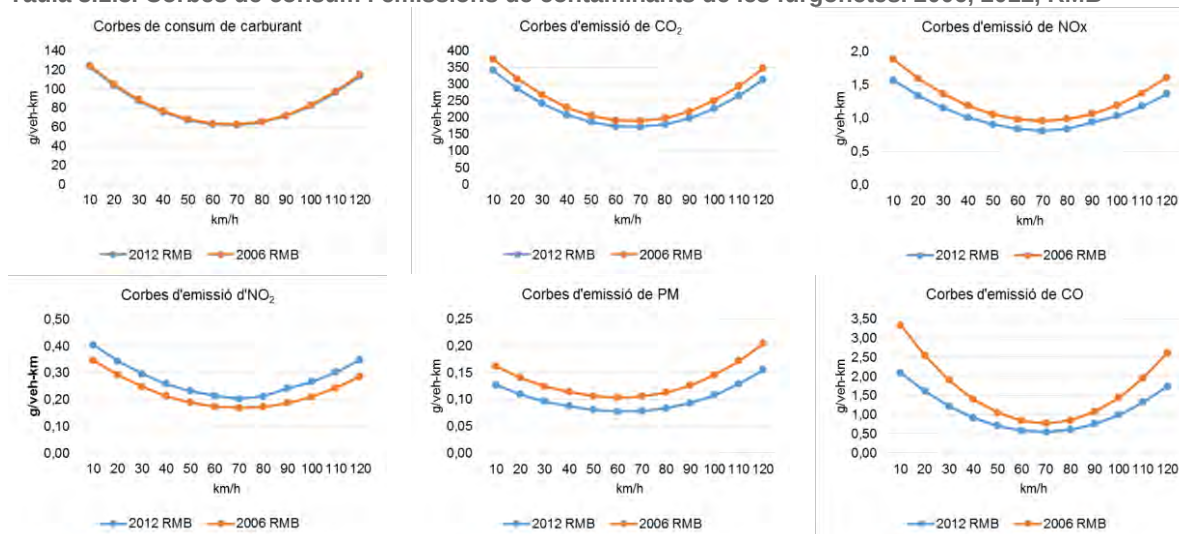
Font: Institut Cerdà

Taula 3.1.2. Corbes de consum i emissions de contaminants de les motos. 2006, 2012, RMB



Font: Institut Cerdà

Taula 3.1.3. Corbes de consum i emissions de contaminants de les furgonetes. 2006, 2012, RMB



Font: Institut Cerdà

El consum d'energia i les emissions del transport públic es calculen segons l'oferta i no a la demanda, ja que depenen dels veh·km en circulació. Es disposa dels factors de consum i d'emissions per viatger·km calculats en l'estudi "Càlcul dels impactes ambientals de la mobilitat generada a partir de l'EMQ 2006" a partir de les dades de consum, d'emissions i de veh·km per tot Catalunya i aplicant-hi els factors d'ocupació mitjana del Pla de Transports de Viatgers Catalunya.

Càlcul de la matriu de costos

Vehicle privat: S'han calculat per a cada parella O/D la longitud del desplaçament (km), el temps de viatge (minuts), el consum de combustible (g o gep) i les emissions de CO₂, CO, NO_x, NO₂, PM₁₀ i PM_{2,5} (g) per al 'camí mínim' calculat mitjançant la següent funció de cost:

$$\text{Cost} = L \cdot \text{CO} + \text{Peatge} \cdot L + T \cdot \text{VT}$$

On:

L: Longitud del viatge (km); CO: Costos operatius (0,09 €/km); Peatge: Peatge quilomètric (€/km); T: Temps de viatge (h); VT: Valor del temps (9,85 €/h).

El càlcul del consum i de les emissions considera la velocitat a cada arc pel qual passa el 'camí mínim'. Es realitza el càlcul en dos períodes: hora vall i hora punta, amb la velocitat en flux lliure i hora punta que conté el SIMCAT, respectivament. Es realitza el càlcul del consum i de les emissions separant el corresponent a les zones urbanes (en 'trama urbana').

Autobús: S'aplica la mateixa metodologia que en l'estudi "Càlcul dels impactes ambientals de la mobilitat generada a partir de l'EMQ 2006", de manera que es calculen les matrius de costos pels municipis de la 1a corona amb els autobusos de TMB i de l'AMB incorporats al SIMCAT. Per a la resta de relacions de l'àmbit es fan els camins mínims per temps per carretera, amb velocitat de flux lliure i corregint el temps aplicant-hi un factor que considera la menor velocitat de recorregut dels autobusos (0,7) i afegint 9 minuts de temps d'espera.

Modes ferroviaris: El càlcul de la matriu de costos considera tots els serveis ferroviaris que incorpora el SIMCAT per a l'any 2013.

3.1.2. Anàlisi clúster

En aquest apartat es presenta la metodologia utilitzada per a la identificació dels 'perfils socials d'emissió' a partir de les dades de la BBDDM 2011/13, que es realitza mitjançant l'anàlisi clúster. Per a la creació dels clústers o grups de viatgers se segueix un procés estadístic seqüencial, que consisteix en els següents passos:

- *Anàlisi de components principals (ACP)*. Amb aquesta tècnica es busca obtenir el nombre mínim de components o factors (grups de variables correlacionades) capaces d'explicar el màxim d'informació continguda en les dades. A partir d'aquesta anàlisi es pot explorar com es relacionen les diferents variables entre elles.
- *Anàlisi clúster*. Amb aquesta anàlisi es pot tenir una idea de com s'agrupa la població en funció de les variables seleccionades, i quin és el pes de cadascuna de les variables a l'hora de formar els diferents grups o clústers de viatgers. Això permet estudiar la mobilitat i els impactes ambientals associats als municipis metropolitans.
- *Anàlisi discriminant (validació de l'anàlisi clúster)*. Amb aquesta anàlisi es busca validar el resultat del pas anterior (l'anàlisi clúster). L'anàlisi discriminant és aplicable en situacions en què la mostra total es pot dividir en grups a partir d'una variable dependent no-mètrica que caracteritza diversos grups o classes coneguts²⁹. Els objectius principals de l'anàlisi discriminant múltiple són comprendre les diferències grupals i predir la probabilitat que una entitat (un individu o un objecte) pertanyi a un grup o classe determinat en funció de diverses variables independents mètriques.
- *Descripció del perfil social d'emissió dels grups*. Les anàlisis es duen a terme per separat per a variables mètriques i categòriques. Les diferències entre grups de viatgers per a les variables mètriques s'analitzen mitjançant tests paramètrics per a distribucions normals. Per a les variables categòriques es fan anàlisis bivariades, taules de contingència (amb proves Chi-quadrats i tests residuals) per analitzar les diferències entre els grups i atorgar-los un perfil.

Variables incloses a l'anàlisi

Les variables incloses a l'ACP comprenen variables relatives a les emissions de partícules fines (PM) dels desplaçaments realitzats pels viatgers residents a l'RMB dins de l'àmbit de l'AMB, altres de mobilitat, d'urbanisme i d'accessibilitat al transport públic col·lectiu i socioeconòmiques. Aquestes es resumeixen a continuació a la Taula 3.1.4.

²⁹ Hair JF, Black WC, Babin BJ, Anderson RE (Eds.) (2009) Multivariate data analysis (7th Ed.), Englewood Cliffs (NJ), Prentice Hall.

Taula 3.1.4. Variables incloses a les anàlisis.

Nom variable	Descripció variable
VARIABLES D'EMISSIONS DE PM	
<i>Emissions totals de PM</i>	
EMPM_TOT_AMB_sum2	Emissions totals de PM dels desplaçaments dins l'AMB
<i>Mode de transport</i>	
PM_PERC_TPUB	% d'emissions totals de PM dels desplaçaments en Transport públic comunitari (ferroviari i autobús)
PM_PERC_COTXE	% d'emissions totals de PM dels desplaçaments en Vehicle privat (cotxe i furgoneta)
PM_PERC_MOTO	% d'emissions totals de PM dels desplaçaments en Vehicle privat (moto)
<i>Motiu del desplaçament</i>	
TREBALL_P	% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Treball
ESTUDIS_P	% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Estudis
COMPRES_P	% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Compres
ESPORT_OCI_P	% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Esports i oci
ACOMPANY_PERS_P	% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Acompanyar persones
ALT_PERS_P	% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Altres motius personals
<i>Emissions en trama urbana</i>	
PER_TRAMA_COTXE	% d'emissions de PM dels desplaçaments en Vehicle privat (cotxe i furgoneta) fora la trama urbana
<i>Desplaçaments de connexió</i>	
PER_DESPLAÇ_EXTERIOR3	% d'emissions de PM dels desplaçaments de connexió (entre municipis de l'AMB i entre districtes del municipi de Barcelona)
VARIABLES DE MOBILITAT	
<i>Longitud del desplaçament</i>	
km_COTXE_FURGO_sum	Distància total recorreguda en desplaçaments amb Vehicle privat (cotxe i furgoneta)
km_MOTO_sum	Distància total recorreguda en desplaçaments amb Vehicle privat (moto)
km_FERRO_sum	Distància total recorreguda en desplaçaments amb Ferroviaris
km_BUS_sum	Distància total recorreguda en desplaçaments amb Autobús
<i>Desplaçaments a peu i en bicicleta</i>	
PEU_BICI	% de desplaçaments fets a Peu + Bicicleta
VARIABLES D'URBANISME I D'ACCESSIBILITAT AL TRANSPORT PÚBLIC COL·LECTIU	
DEN11	Densitat de població l'any 2011
DURRES11	Densitat de població en sòl residencial l'any 2011
URBCOMP_PERCENT	% de sòl residencial compacte
IATPC	Índex d'Accessibilitat al Transport Públic Col·lectiu
VARIABLES SOCIOECONÒMIQUES	
<i>Sexe</i>	
SEXE_H	Home
SEXE_D	Dona
<i>Edat</i>	
EDAT1	Entre 16 i 29 anys
EDAT2	Entre 30 i 64 anys
EDAT3	65 anys i més
<i>Situació professional</i>	
OCUP1	Ocupat/da
OCUP2	No ocupat/da
<i>Nivell d'estudis oficials acabat</i>	
EST1	Sense estudis
EST2	Estudis primaris acabats (EGB, comerç, batxiller elemental, ESO)
EST3	Estudis secundaris acabats (FP, BUP, COU, Preu, batxillerat actual)
EST4	Estudis superiors acabats (estudis universitaris, cicles formatius)
EST5	Altres

Font: IERMB

Algunes variables, però, necessiten una explicació addicional. Aquest és el cas de l'Índex d'Accessibilitat al Transport Públic Col·lectiu (IATPC), que es presenta a l'Apèndix de manera detallada.

3.2. Càlcul de la concentració de contaminants, mesura de l'exposició i dels efectes a la salut

L'objectiu és estimar els impactes a la salut dels habitants de l'àrea metropolitana de Barcelona associats amb l'exposició als contaminants de l'aire PM_{2,5} i NO₂.

Se segueixen els passos següents:

1. Càlcul de les concentracions de PM_{2,5} i d'NO₂ derivades del trànsit a la xarxa viària.
2. Mesura de l'exposició.
3. Avaluació quantitativa dels impactes a la salut seguint els passos de l'anàlisi de risc.

La metodologia pel càlcul de les concentracions de PM_{2,5} i NO₂ inclou el càlcul de la intensitat de trànsit a la xarxa viària, cosa que es fa mitjançant el model integrat de trànsit i emissions 'AMB 2014' desenvolupat conjuntament per l'IERMB, i les consultores MCRIT i Institut Cerdà en el marc dels treballs del Pla Metropolità de Mobilitat Urbana (PMMU).

D'altra banda, es realitza una avaluació quantitativa dels impactes a la salut seguint els passos de l'anàlisi de risc: identificació del risc, mesura de l'exposició, selecció de funcions dosi resposta i caracterització del risc. D'aquesta part s'han encarregat els experts de l'ISGlobal.

L'àmbit d'estudi són els 36 municipis que conformen el territori sobre el qual l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) té competències.

3.2.1. Model integrat de trànsit 2014

El punt de partida són les dades de trànsit d'un dia mitjà laborable del 2014 disponibles al graf de l'AMB. S'han validat les dades en els trams viaris corresponents la xarxa de carreteres, i en algun cas, com en les vies A-2 i B-23 entre les rondes i Martorell, s'han modificat les dades de trànsit.

Les dades de trànsit no diferencien els vehicles lleugers dels pesants, de manera que s'ha procedit a la segmentació aplicant els següents criteris:

- A la xarxa de carreteres, s'aplica el % de vehicles pesants dels aforaments disponibles i es fa la hipòtesi que el 15% dels vehicles pesants són autobusos (discrecionals i regulars) i que el 85% restant són camions.
- A la xarxa local (carrers) s'ha realitzat una hipòtesi sobre el % de vehicles pesants en els arcs viaris:
 - o Si aquests formen part d'un itinerari de sortida i d'entrada de camions, principalment accessos a polígons industrials, es considera que el percentatge de vehicles pesants és 3,3% en vies amb un volum de trànsit important i 6,7% en la resta de vies. Es mantenen aquests percentatges als polígons industrials excepte a la zona portuària de Barcelona (35,7%), la ZAL I i la ZAL II (25,5%) i el polígon Pedrosa (15,3%).

- o A la resta de carrers que no formen part d'itineraris de vehicles pesants, el percentatge considerat és l'1,0%.
- o S'han importat al sistema els itineraris dels autobusos regulars de gestió directa (TMB) i indirecta (AMB), i mitjançant l'encreuament dels arcs viaris i els itineraris de cada servei, s'ha traspasat el nombre d'expedicions als arcs.

3.2.2. Model d'estimació de la concentració de contaminants 'Land Use Regression' (LUR) i avaluació dels impactes a la salut

Es realitza una avaluació quantitativa dels impactes a la salut per l'exposició a diòxid de nitrogen (NO₂) i a partícules en suspensió de menys de 2,5 micròmetres de diàmetre (PM_{2,5}) seguint els passos de l'anàlisi de risc: identificació del risc, mesura de l'exposició, selecció de funcions dosi-resposta i caracterització del risc.

L'àmbit d'estudi són els 36 municipis que conformen el territori sobre el qual l'AMB té competències. L'estimació de la població exposada a NO₂ i a PM_{2,5} i els impactes a la salut es realitza per a l'any d'estudi 2014 (escenari base del Pla Metropolità de Mobilitat Urbana, PMMU).

Identificació del risc

S'estimen els impactes a la salut relacionats amb la contaminació de l'aire per NO₂ i PM_{2,5}. S'escullen aquests dos contaminants per la disponibilitat d'evidència epidemiològica per a realitzar una estimació del risc poblacional. En concret s'inclouen les malalties relacionades amb l'exposició a PM_{2,5}: mortalitat, malalties cardiovasculars, malalties cerebrovasculars, diabetis mellitus tipus 2, parts prematurs i baix pes en néixer (Taula 3.2.1). Per l'NO₂ s'inclou la mortalitat.

Taula 3.2.1. Taxes de mortalitat i malaltia associades amb l'exposició a PM_{2,5} utilitzades a l'anàlisi.

Diagnòstic	Sexe	Incidència (per 100.000 pers.)	Població	Edat	Any	Referència
Mortalitat	Tots dos	1.108	Barcelona	≥20 anys	2012	[30]
Malaltia cardiovascular	H	642	Barcelona	≥35 anys	2015	[31]
Malaltia cardiovascular	F	278	Barcelona	≥35 anys	2015	[32]
Malaltia cerebrovascular	H	690	Espanya	>65 anys	2010	[33]
Malaltia cerebrovascular	F	370	Espanya	>65 anys	2010	[34]
Diabetis mellitus tipus 2	H	774	Barcelona	≥35 anys	2015	[35]

³⁰ Catalunya G de. Observatorio del Sistema de Salud de Cataluña [Internet]. Tasa de mortalidad. 2012. Disponible a: http://observatorisalut.gencat.cat/es/detalls/article/10_IND_Taxa_mortalitat_bruta_estandarditzada_edat.

³¹ SIDIAP. Morbidity incidence rates Barcelona 2015. Barcelona: Sistema de Información para el desarrollo de la Investigación en Atención Primaria; 2016.

³² SIDIAP. Morbidity incidence rates Barcelona 2015. Barcelona: Sistema de Información para el desarrollo de la Investigación en Atención Primaria; 2016.

³³ Martínez-salio A, Benito-león J, Díaz-guzmán J, Bermejo-pareja F. Cerebrovascular disease incidence in central Spain (NEDICES): A population-based prospective study. J Neurol Sci [Internet]. 2010;298(1-2):85–90. Disponible a: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jns.2010.08.003>.

³⁴ Martínez-salio A, Benito-león J, Díaz-guzmán J, Bermejo-pareja F. Cerebrovascular disease incidence in central Spain (NEDICES): A population-based prospective study. J Neurol Sci [Internet]. 2010;298(1-2):85–90. Disponible a: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jns.2010.08.003>.

³⁵ SIDIAP. Morbidity incidence rates Barcelona 2015. Barcelona: Sistema de Información para el desarrollo de la Investigación en Atención Primaria; 2016.

Taula 3.2.1. Taxes de mortalitat i malaltia associades amb l'exposició a PM_{2,5} utilitzades a l'anàlisi.

Diagnòstic	Sexe	Incidència (per 100.000 pers.)	Població	Edat	Any	Referència
Diabetis mellitus tipus 2	F	560	Barcelona	≥35 anys	2015	[36]
Fecunditat	F	3.662	Barcelona	15-49 anys	2014	[37]
Parts prematurs	Tots dos	7.400**	Espanya	-	2010	[38]
Baix pes en néixer	Tots dos	7.700**	Espanya	-	2012	[39]

Notes: (*) H: homes; M: dones. (**) Per 100.000 embarassos

Font: ISGlobal a partir de diverses fonts

Mesura de l'exposició

S'estimen les concentracions mitjanes d'NO₂ i de PM_{2,5} utilitzant els models "Land Use Regression" (LUR) desenvolupats per l'ISGlobal l'any d'estudi 2009 dins el marc del projecte europeu ESCAPE (2008-2012). Es disposa d'un model LUR per a cada contaminant i regió (Catalunya i un més d'específic per Barcelona), que serveixen per a estimar els nivells de contaminació en un punt concret. Els models utilitzen com a dades *input* les mesures de mostreig de la contaminació (mitjana a cada punt de mostreig) i d'altres variables d'entorn creades amb SIG, com intensitat del trànsit, altitud, població, usos del sòl, distància a fonts emissores, etc., i que serveixen per explicar la distribució geogràfica dels contaminants. Els models de 2009 s'ajusten per obtenir estimacions anuals mitjanes d'NO₂ i de PM_{2,5} per a l'any 2014 (any d'estudi) a l'àmbit de l'AMB. En concret, es consideren un total de 2.145 seccions censals dels 36 municipis que fan part de l'àrea metropolitana de Barcelona.

Els models LUR Catalunya i LUR Barcelona del 2009 es mostren a la Taula 3.2.2. Els dos models són similars quant a robustesa i variables explicatives. Les més significatives són les variables de trànsit, i secundàriament les variables del tipus àrees verdes o població. Amb l'objectiu d'estimar concentracions més recents es van escalar les dades mitjançant l'ús de la xarxa de trànsit del 2014, que comprèn la intensitat mitjana de trànsit per a cada tram de carrer, ajustant d'aquesta manera els models per obtenir estimacions anuals mitjanes d'NO₂ i de PM_{2,5} per a l'any 2014 (vegeu la Taula 3.2.3).

³⁶ SIDIAP. Morbidity incidence rates Barcelona 2015. Barcelona: Sistema de Información para el desarrollo de la Investigación en Atención Primaria; 2016.

³⁷ ASPB. Naixements i taxa de fecunditat per 1.000 dones segons grup d'edat, 2014. Barcelona; 2014.

³⁸ WHO. Born Too Soon: The Global Action Report on Preterm Birth. Geneve; 2012.

³⁹ OCDE. Health at a Glance Europe 2010. 2012.

Taula 3.2.2. Variables utilitzades als models LUR; 2009.

	Models LUR		Model		Validació creuada	
	Model	Variables predictores	R ² ajustada	RSME	R ²	RSME
Barcelona						
NO₂	3.1646 + 0,0062563* intinvdist1 + 0,0001183* hdres_300 + 992,0893* distinvmajor2 + 0,0003512* roadlenght_1000	Distància inversa al carrer més proper*intensitat de trànsit al carrer més proper, àrea residencial densa en 300m circulars, distància inversa al quadrat al carrer principal més proper, longitud de carrers en 1000m circulars.	0.75	10.74	0.68	11.59
PM_{2,5}	16,2083 - 4,08e-06* green_1000 + 2,04e-07* trafload_100 + 6,82e-03* intinvdist2	Àrea verda en 1000m circulars, intensitat de trànsit en 100m circulars, distància inversa al quadrat al carrer més proper*intensitat de tràfic al carrer més proper	0.80	1.71	0.71	2.10
Catalunya						
NO₂	13,517 + 0,0006087* roadlenght_1000 + 9,97e-06* trafmajorload_25 - 5,54e-07* natural_5000	Longitud de carrers en 1000m circulars, intensitat de trànsit al carrer principal en 25m circulars, àrea natural en 5000m circulars.	0.70	1.160	0.69	11.97
PM_{2,5}	14,87836 + 0,0009906* intmajorinvdist1 - 3,27e-06* green_1000 + 5,36e-07* port_5000	Distància inversa al carrer principal més proper*intensitat de trànsit al carrer principal més proper, àrea verda en 1000m circulars, àrea portuària en 5000m circulars.	0.59	2.11	0.51	2.36

Font: ISGlobal

Taula 3.2.3. Bondat d'ajust dels models LUR 2009 escalats per a l'any d'estudi 2014.

R ² corregida	RSME	Cross-validation	
		R ²	RSME
0,75	10,74	0,68	11,59

Font: ISGlobal

Ambdós han sigut testats per a dur a terme la part de la mesura de l'exposició a l'àrea d'estudi. Es mostra una bona correlació entre les estimacions dels dos models (Taula 3.2.4a) per als dos contaminants. Els valors escalats al 2014 presenten una correlació molt alta en relació a l'escenari basal (0,96 i 0,99 per a NO₂ i 0,96 i 0,97 per a PM_{2,5}) i una correlació alta entre l'aplicació dels models Barcelona i Catalunya (0,80 i 0,82 per a NO₂ i 0,85 i 0,86 per a PM_{2,5}) (Taula 3.2.4b).

Taula 3.2.4. a) Mitjana dels valors obtinguts per a cada secció censal per contaminant (NO₂ o PM_{2,5}), model utilitzat (BCN o CAT) i any (2009 o 2014) (dades en µg/m³). b) Correlacions entre les estimacions obtingudes per a cada secció censal i contaminant (NO₂ o PM_{2,5}) segons l'aplicació del model (BCN o CAT) i de l'any (2009 o 2014).

a)	NO ₂			
	BCN 2009	CAT 2009	BCN 2014	CAT 2014
N	2.145	2.145	2.145	2.145
min	16,02	2,53	16,02	2,51
p10	32,65	26,96	33,27	27,29
p25	51,85	39,27	51,80	39,38
p50	58,86	46,84	59,20	47,41
p75	66,07	52,74	65,77	53,20
p90	74,66	56,28	73,50	56,74
max	99,71	79,67	101,17	73,35
mitjana	57,02	44,23	56,84	44,60

b)	NO ₂			
	BCN 2009	CAT 2009	BCN 2014	CAT 2014
BCN 2009	1			
CAT 2009	0,80	1		
BCN 2014	0,96	0,80	1	
CAT 2014	0,8	0,99	0,82	1

Font: ISGlobal

a)	PM _{2,5}			
	BCN 2009	CAT 2009	BCN 2014	CAT 2014
N	2.145	2.145	2.145	2.145
min	7,35	8,39	7,36	8,40
p10	13,05	12,60	13,18	12,62
p25	15,38	14,29	15,53	14,33
p50	16,43	15,19	16,57	15,21
p75	17,88	16,59	17,61	16,62
p90	19,35	18,00	18,77	18,03
max	27,05	20,81	23,32	20,80
mitjana	16,36	15,26	16,27	15,27

b)	PM _{2,5}			
	BCN 2009	CAT 2009	BCN 2014	CAT 2014
BCN 2009	1			
CAT 2009	0,85	1		
BCN 2014	0,96	0,85	1	
CAT 2014	0,83	0,97	0,86	1

En aquest estudi s'ha emprat una combinació de les estimacions escalades per a l'any 2014: les estimacions per al municipi de Barcelona (n=1.061) s'han realitzat amb el model específic per a Barcelona (LUR Barcelona), i les estimacions per a la resta de seccions censals dels municipis de l'AMB s'han realitzat amb el model LUR Catalunya, prèviament descrits, tal com mostra la Taula 3.2.5.

Taula 3.2.5. Valors obtinguts pel model LUR combinat per a NO₂ i PM_{2,5} escalats per a l'any 2014, en µg/m³.

	2014	
	NO ₂	PM _{2,5}
n	2145	2145
min	2,51	7,91
p10	28,13	12,62
p25	41,2	14,62
p50	54,06	15,69
p75	63,49	17,35
p90	72,63	18,63

Taula 3.2.5. Valors obtinguts pel model LUR combinat per a NO₂ i PM_{2,5} escalats per a l'any 2014, en µg/m³.

	2014	
	NO ₂	PM _{2,5}
max	101,17	23,32
mean	51,66	15,69

Font: ISGlobal

Cal destacar que existeixen diferències metodològiques i entre les dades de base dels models LUR que es presenten aquí (anys 2009 i 2014) i les dels models de dispersió de contaminants publicats pel Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya per als anys 2008 i 2015 (els més propers als anys disponibles en aquest estudi). Els models de dispersió es basen en dades meteorològiques i d'emissions del trànsit, mentre que els models LUR es basen en mesures de la contaminació (immissions) i en dades SIG. En conseqüència les estimacions de la població exposada a contaminants locals (NO₂ i PM_{2,5}) sempre seran diferents. No obstant això, per estimar els impactes en salut, els models LUR poden proveir una estimació més robusta, ja que és el mateix mètode d'exposició que s'usa als estudis epidemiològics.

Selecció de funcions dosi resposta

Les funcions dosi resposta es deriven d'estudis epidemiològics poblacionals on es fa un seguiment a la població durant un temps, tot mesurant el nivell d'exposició (dosi) i els cavis en la salut de la població (resposta). La majoria d'aquestes funcions dosi resposta s'expressen en unitats de risc epidemiològic, com els riscos relatius (RR), el quocient de riscos instantanis (o *hazard ratio*, HR) o les raons de momis (o *odds ratio*, OR). La diferència entre les unitats de risc es basa en el tipus de disseny d'estudi epidemiològic d'on es deriven. En tots els casos les unitats de risc expressen la probabilitat de patir una malaltia en incrementar l'exposició.

La selecció de les funcions dosi resposta es basa en una revisió de la literatura que identifica els estudis epidemiològics rellevants tenint en compte la força i la qualitat de l'evidència. La selecció de funcions dosi resposta es mostra a la Taula 3.2.6.

Taula 3.2.6. Funcions dosi resposta utilitzades.

	Funció dosi resposta	Unitat d'exposició	Grup d'edat	Tipus d'estudi	Referència
Mortalitat	RR = 1.07 (95% CI: 1.04-1.09)	per 10 µg/m³ PM _{2,5}	≥ 20 anys	Meta-anàlisi	[40]
Malaltia cardiovascular	HR=1.13 (95% CI: 0.98-1.30)	per 5 µg/m³ PM _{2,5}	≥25 anys	Meta-anàlisi	[41]
Malaltia cerebrovascular	HR=1.19 (95% CI: 0.88-1.62)	per 5 µg/m³ PM _{2,5}	≥65 anys	Meta-anàlisi	[42]
Diabetis mellitus tipus 2	RR=1.10 (95% CI: 1.02-1.18)	per 10 µg/m³ PM _{2,5}	≥20 anys	Meta-anàlisi	[43]

⁴⁰ World Health Organization. WHO Expert Meeting : Methods and tools for assessing the health risks of air pollution at local , national and international level. 2014;(May):12–3.

⁴¹ Cesaroni G, Forastiere F, Stafoggia M, Andersen ZJ, Badaloni C, Beelen R, et al. Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project. Br Med J. 2014;7412(January):1–16.

⁴² Stafoggia M, Cesaroni G, Peters A, Andersen ZJ, Badaloni C, Beelen R, et al. Long-Term Exposure to Ambient Air Pollution and Incidence of Cerebrovascular Events : Results from 11 European Cohorts within the ESCAPE Project. Environ Health Perspect. 2014;122(9):919–25.

⁴³ Eze IC, Hemkens LG, Bucher HC, Hoffmann B, Schindler C, Künzli N, et al. Association between Ambient Air Pollution and Diabetes Mellitus in Europe and North America: Systematic Review and Meta-Analysis. Environ Health Perspect. 2015;(October 2013).

Taula 3.2.6. Funcions dosi resposta utilitzades.

	Funció dosi resposta	Unitat d'exposició	Grup d'edat	Tipus d'estudi	Referència
Parts prematurs	RR=1.15 (95% CI: 1.14–1.16)	per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{PM}_{2.5}$	20-49 anys	Meta-anàlisi	[44]
Baix pes en néixer	OR=1.18 (95% CI: 1.06-1.33)	per 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{PM}_{2.5}$	20-49 anys	Meta-anàlisi	[45]

Notes: RR: risc relatiu; HR: quocient de riscos instantanis; OR: oportunitat relativa.

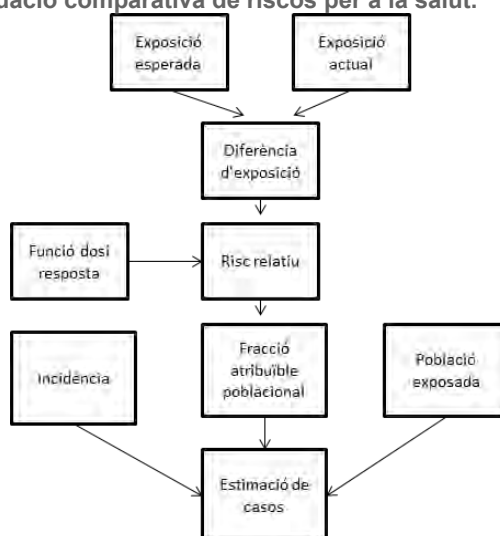
Font: ISGlobal a partir de diverses fonts

Caracterització del risc

La caracterització del risc es realitza seguint la metodologia “Avaluació comparativa de riscos per a la salut” proposada per l’Organització Mundial de la Salut (OMS), i s’aplica a l’estimació de casos de mort i/o malaltia associats amb l’exposició a NO_2 o a $\text{PM}_{2.5}$. Aquesta metodologia identifica quins són els factors més rellevants d’exposició associats amb un canvi o una intervenció a la població, caracteritza l’estadi de salut de la població i integra les funcions dosi resposta a la població estudiada, per tal d’estimar el nombre de casos de malaltia o mort que es presenten a la població estudiada i que es poden atribuir al canvi en el nivell d’exposició.

Els passos de la caracterització del risc són: (1) estimació dels riscos relatius (RR) ajustats pel nivell d’exposició de cada àrea censal de l’AMB utilitzant les funcions dosi resposta per a cada contaminant i malaltia o mort; (2) estimar el nombre de casos esperats de mort o de malaltia segons el grup d’edat i el sexe a cada àrea censal de l’AMB; (3) estimar la fracció atribuïble poblacional de cada malaltia o cas de mort associada al nivell d’exposició d’acord amb els RR; (4) estimar el nombre de morts o de casos de malaltia a cada àrea censal d’acord amb la incidència i mort esperades (Figura 3.2.1).

Figura 3.2.1. Passos de l’avaluació comparativa de riscos per a la salut.



Font: ISGlobal

⁴⁴ Sapkota A, Chelikowsky AP, Nachman KE, Cohen AJ, Ritz B. Exposure to particulate matter and adverse birth outcomes: a comprehensive review and meta-analysis. *Air Qual Atmos Heal* [Internet]. 2010 Nov 23 [cited 2014 Dec 17];5(4):369–81.

⁴⁵ Pedersen M, Giorgis-allemmand L, Bernard C, Aguilera I, Andersen AN, Ballester F, et al. Articles Ambient air pollution and low birthweight : a European cohort study (ESCAPE). 2013;2600(13).

3.3. Desagregació poblacional per parcel·les cadastrals

En qualsevol anàlisi és necessari disposar de dades precises sobre la distribució de la població al territori. La unitat espacial d'anàlisi de més detall quant a població és la de les seccions censals. Aquesta unitat en moltes ocasions és massa gran per conèixer amb exactitud la ubicació exacta de la població. Des de l'IERMB s'ha desenvolupat una metodologia basada en l'article publicat per l'AGE el 2015 'Desagregación poblacional a partir de datos catastrales', on s'extrapola la informació poblacional disponible per secció censal a escala de parcel·la cadastral (vegeu el Mapa 2.2.1).

El resultat que s'obté és la capa d'informació cadastral (vectorial i poligonal) amb la informació associada de la població. Això ens permet fer estimacions i agrupacions de població per a qualsevol zonificació.

Mapa 3.3.1. Mapa metodologia desagregació poblacional per parcel·les cadastrals



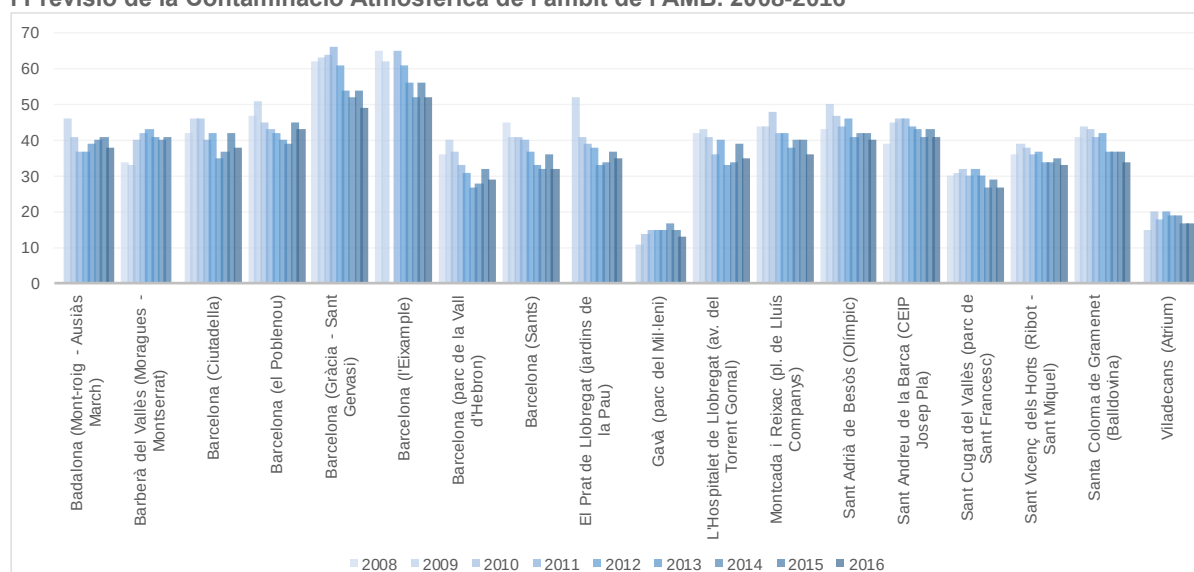
Font: IERMB

4 LA QUALITAT DE L'AIRE A L'ÀMBIT DE L'AMB

4.1. Concentració de contaminants atmosfèrics locals

La Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA) gestionada pel Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya aporta dades sobre la contaminació de l'aire, nivell d'immissió a diferents emplaçaments de l'àmbit metropolità. Tot seguit es mostra l'evolució de les concentracions (mitjana anual) dels contaminants NO₂, PM₁₀ i PM_{2,5} mesurades a les estacions de la XVPCA els darrers anys (període 2008-2016) (Gràfic 4.1.1, Gràfic 4.1.2 i Gràfic 4.1.3, respectivament).

Gràfic 4.1.1. Mitjana anual del nivell d'immissió de NO₂ a les diferents estacions de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica de l'àmbit de l'AMB. 2008-2016



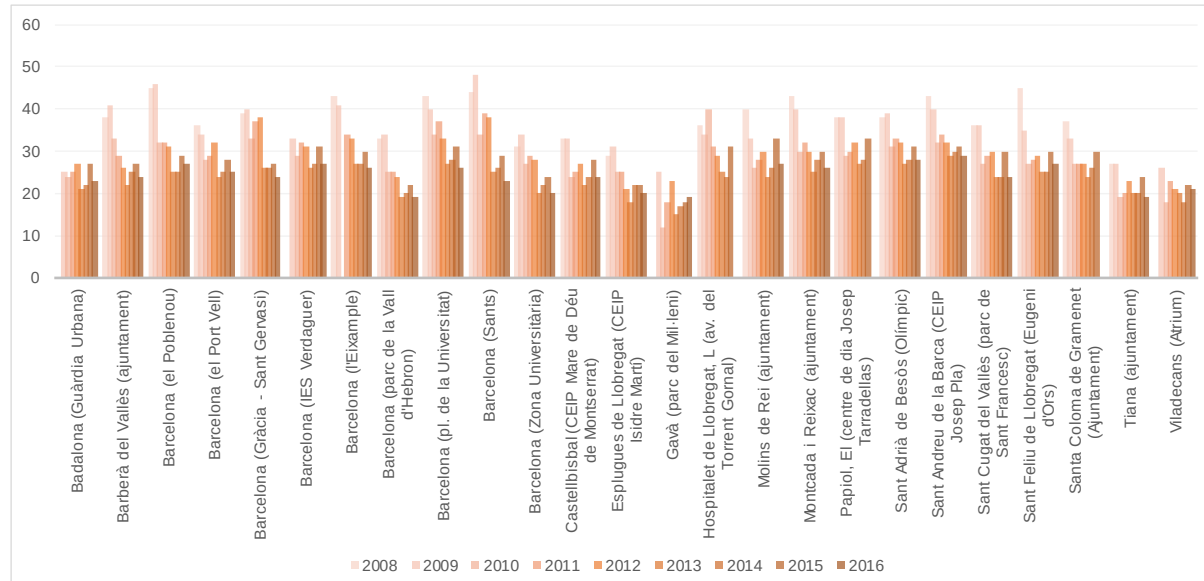
Nota: Mitjana anual. Valor límit segons la normativa UE (RD 102/2011): 40 µg/m³. Valor límit segons l'OMS: 40 µg/m³.
Font: IERMB a partir de Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya

Els nivells de concentració dels contaminants locals (mitjana anual) com l'NO₂ han experimentat una evolució paral·lela al cicle econòmic, amb nivells molt elevats els anys de bonança, una disminució durant la crisi, i un cert augment l'any 2015. No obstant això, l'any 2016 s'observa de nou una millora, amb nivells més semblants als del 2014, que als de l'any precedent.

Quant als valors de les diferents estacions de control de la contaminació, les dades mostren una tendència semblant. Durant l'any 2009 (amb dada a totes les estacions) un 67% de les estacions superaven els límits establerts per la legislació europea (40 µg/m³). L'any d'estudi, el 2014, ho feien un 28%, i durant el 2015 es va donar un augment fins a arribar al 44% de les estacions amb nivells per sobre dels 40 µg/m³ de mitjana anual. Finalment, l'any 2016 la situació millora, i només a 4 de les 18 estacions que s'han considerat per a l'avaluació de la qualitat de l'aire se superaven els 40 µg/m³ de mitjana anual.

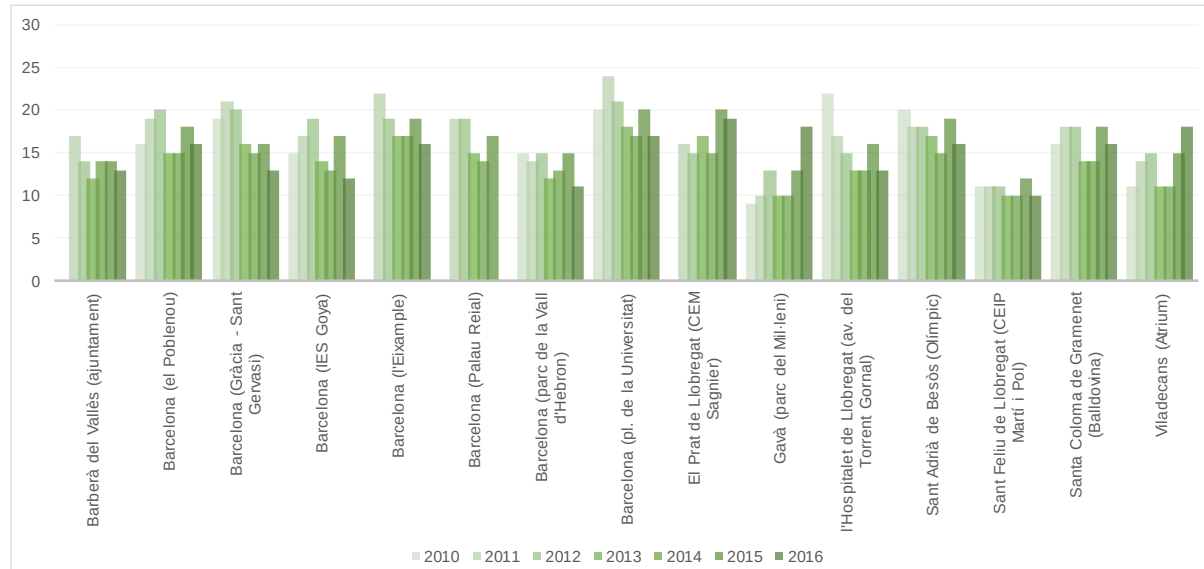
Les estacions que registren valors més elevats, per sobre dels 60 µg/m³, són les de Barcelona: Gràcia-Sant Gervasi i l'Eixample, que presenten nivells de trànsit molt intens.

Gràfic 4.1.2. Mitjana anual del nivell d'immissió de PM₁₀ a les diferents estacions de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica de l'àmbit de l'AMB. 2008-2016



Nota: Mitjana anual. Valor límit segons la normativa UE (RD 102/2011): 40 µg/m³. Valor límit segons l'OMS: 20 µg/m³.
Font: IERMB a partir de Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya

Gràfic 4.1.3. Mitjana anual del nivell d'immissió de PM_{2,5} a les diferents estacions de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica de l'àmbit de l'AMB. 2008-2016



Nota: Mitjana anual. Valor límit segons la normativa UE (RD 102/2011): 25 µg/m³. Valor límit segons l'OMS: 10 µg/m³.
Font: IERMB a partir de Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya

Les concentracions mitjanes anuals de partícules en suspensió de diàmetre inferior a 10 micres (PM₁₀) de l'any 2015 trenquen la tendència de disminució progressiva i mostren un repunt. Tanmateix, el 2016 s'observa una lleugera millora de la situació. En aquest cas es partia de valors propers als 40 µg/m³ (límit establert per la normativa europea) i, actualment, es donen valors que no superen en cap cas aquest llindar, però que sí que superen els nivells de referència de l'OMS (20 µg/m³).

Pel que fa a les diferents estacions de control, l'any 2009 (amb dada a totes les estacions) se sobrepassava el límit establert per la legislació europea ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en el 16% de les estacions de l'AMB analitzades. A partir d'aquest any no se supera el lílindar de referència de la UE en cap estació, però sí que se supera el fixat per l'OMS en la majoria d'elles. En concret, se supera en el 84% de les estacions l'any 2014 (any d'estudi) i en el 96% l'any 2015. Finalment, l'any 2016 millora la situació i se supera el lílindar de l'OMS al 68% de les estacions.

Durant el període analitzat, les concentracions de $\text{PM}_{2,5}$ no han superat en cap de les estacions el valor límit de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establert per la UE, però sí que s'ha superat a totes les estacions el límit de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establert per l'OMS.

Les concentracions mitjanes anuals de partícules en suspensió de diàmetre inferior a 2,5 micres ($\text{PM}_{2,5}$), les més perjudicials per a la salut humana, mesurades a partir de les estacions de la XVPCA, mostren una tendència a la baixa al període 2010-2013, i d'augment en el període 2013-2015. Milloren una mica el 2016 per situar-se, en molts casos, en nivells més semblants als del 2014.

Les estacions amb uns nivells d'immissions de $\text{PM}_{2,5}$ més elevats són Barcelona-Eixample, Barcelona-Plaça Universitat, l'estació del Prat de Llobregat i la de Sant Adrià del Besòs.

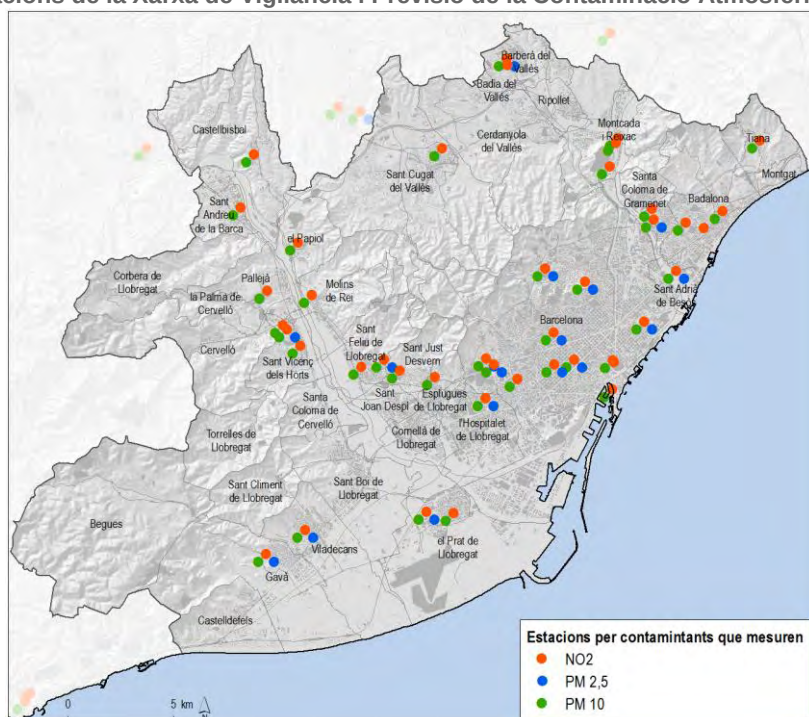
La recessió econòmica ha demostrat que es poden assolir reduccions importants en els nivells de contaminants atmosfèrics (derivats del transport, però també de la construcció o l'indústria). El repte actual és evitar que es torni als valors d' NO_2 i de PM que hi havia abans de la crisi. Per tant, en l'actual context de reactivació de l'economia la planificació de la mobilitat esdevé clau.

A més, es fa una anàlisi més detallada de la situació l'any d'estudi, l'escenari 2014, per al qual s'estimen les concentracions dels contaminants NO_2 i $\text{PM}_{2,5}$ amb els models LUR creats per l'ISGlobal, i els impactes a la salut de la població exposada.

A l'àmbit de l'AMB les concentracions d' NO_2 encara assoleixen valors per sobre dels legalment establerts en l'àmbit europeu i per l'OMS. Això és degut principalment al fort caràcter urbà i a les elevades densitats de trànsit, cosa que exigeix una planificació i gestió més sostenible de la mobilitat.

Tot seguit es fa un repàs més exhaustiu de la situació a l'àmbit de l'AMB l'any d'estudi, el 2014. Al Mapa 4.1.1 es mostra la localització de les estacions de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA) per als diversos contaminants locals de l'aire: NO_2 , PM_{10} i $\text{PM}_{2,5}$.

Mapa 4.1.1. Estacions de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA)

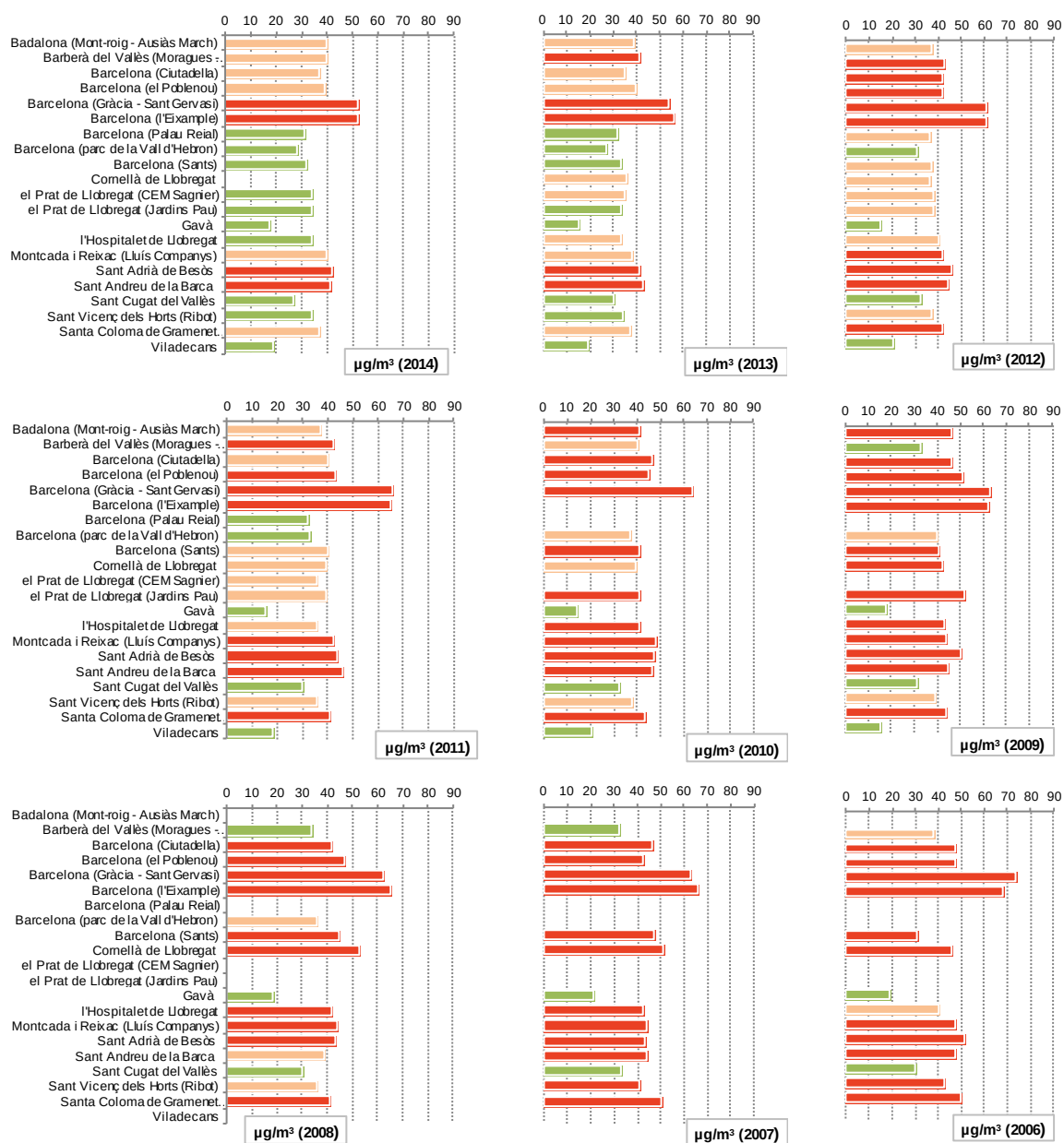


Font: IERMB Comprovar que són els mateixos que el PSAMB. Fer el mapa com el PSAMB

En relació amb l' NO_2 , l'any 2014, el nombre d'estacions en les quals es va superar el valor límit anual per a la protecció de la salut humana establert per la UE va ser de 4 de les 21 estacions considerades per a l'avaluació d'aquesta zona (el 19%) (Gràfic 4.1.4 i Mapa 4.1.2). Les superacions es van produir a les estacions de Barcelona (Gràcia-Sant Gervasi), Barcelona (Eixample), Sant Adrià del Besòs (Olímpic) i Sant Andreu de la Barca. Durant l'any 2013 es van registrar 5 superacions del valor límit anual, que representaven el 25%. L'evolució respecte dels anys anteriors és d'un descens progressiu de les superacions del valor límit anual.

D'altra banda, cal destacar aquelles estacions de control on, tot i no sobrepassar-se els límits establerts per la normativa europea, es va estar a punt de fer-ho (valors entre 35 i $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Aquestes es van mantenir en una proporció del 33% en els anys 2013 i 2012. El 2014, un 48% de les estacions no superaven els valors límit establerts per la UE ni estaven a prop de fer-ho. Tampoc es va sobrepassar el nombre de superacions permeses del valor horari per a la protecció de la salut humana en cap punt de la Xarxa a l'àmbit de l'AMB.

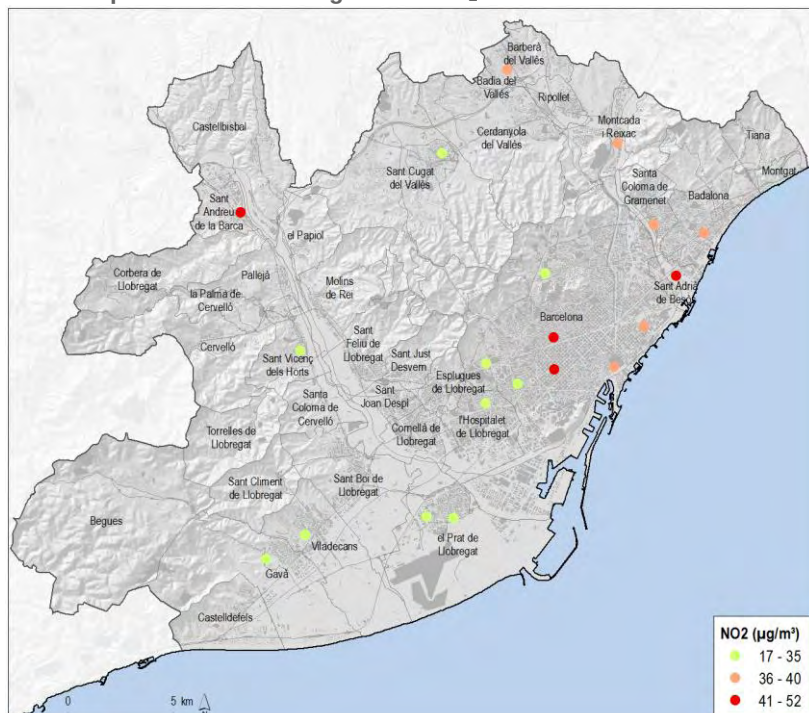
Gràfic 4.1.4. Mitjana anual del nivell d'immissió de NO₂ a les diferents estacions de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica de l'àmbit de l'AMB. 2014-2006



Nota: En verd clar, valors inferiors a 35 µg/m³, en taronja, valors entre 35 i 40 µg/m³, en vermell, superior a 40µg/m³ (valor límit establert per la Unió Europea). Es presenten dades per les estacions que tenen més d'un 33% de representació de les dades (anys) i tenen dades pels darrers anys.

Font: IERMB a partir de Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya

Mapa 4.1.2. Estacions de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica a l'àmbit de l'AMB, que el 2014 van superar els llindars legiscats d'NO₂

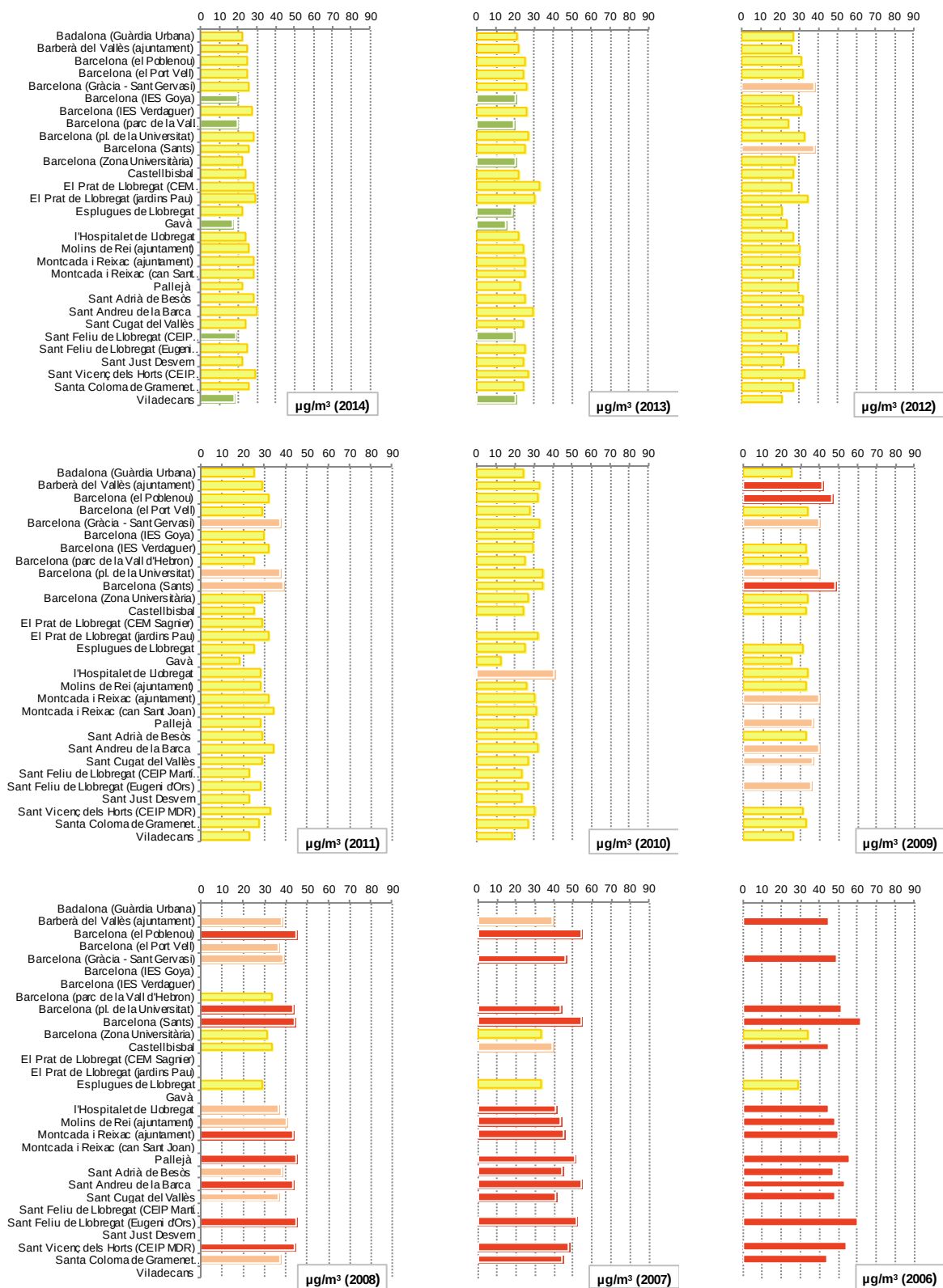


Font: IERMB a partir de Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya

Pel que fa als nivells de PM₁₀, l'any 2014, en cap de les 30 estacions es va superar el valor límit anual establert per la UE, que és de 40 µg/m³, però sí que es va superar, en un 83% de les estacions, el límit establert per l'OMS, que és de 20 µg/m³ (Gràfic 4.1.5 i Mapa 4.1.3). D'altra banda, tampoc es va sobrepassar el nombre de superacions permeses del valor horari per a la protecció de la salut humana en cap punt de la Xarxa a l'àmbit de l'AMB.

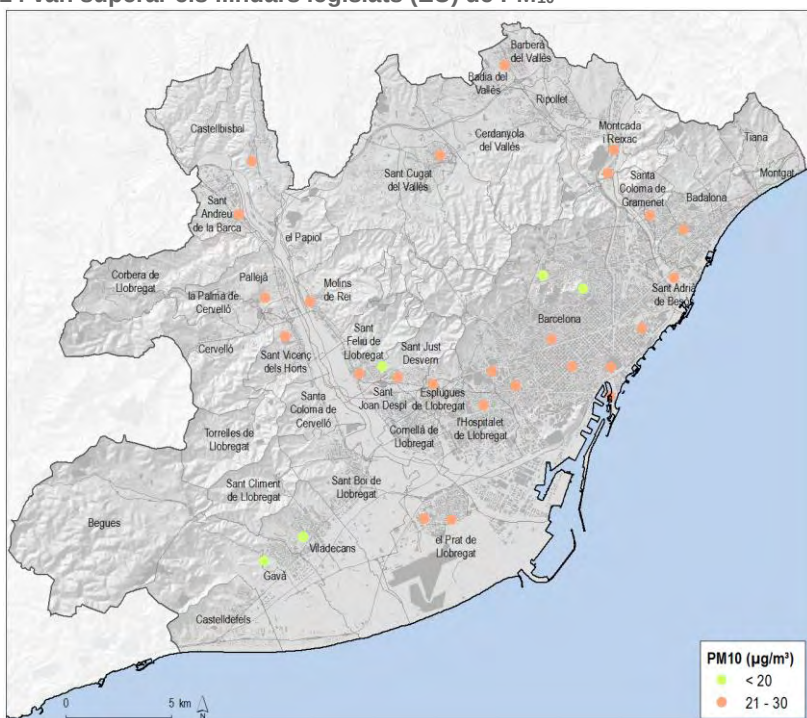
Quant als nivells de PM_{2,5}, durant l'any 2014 la XVPCA disposava de 16 punts de mesurament als municipis que fan part de l'AMB (Mapa 4.1.3 i Gràfic 4.1.5). En aquest cas tampoc es va superar en cap de les estacions el valor límit anual establert per la UE, que és de 25µg/m³, però sí que es va superar el límit establert per l'OMS, que és de 10µg/m³ (en un 88% dels casos). L'evolució respecte de l'any anterior és d'un manteniment dels valors d'immissió en les estacions dels municipis l'AMB.

Gràfic 4.1.5. Mitjana anual d'immissió de PM₁₀ a les estacions de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica de l'àmbit de l'AMB. 2014-2006



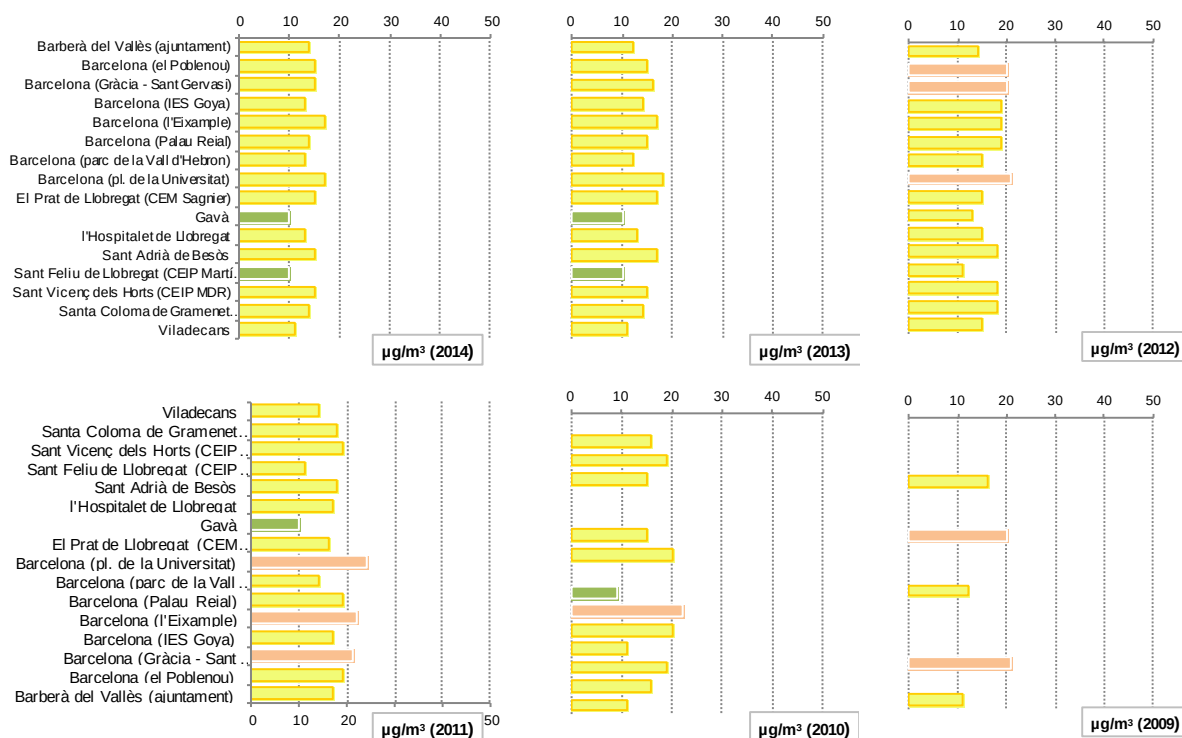
Nota: En verd valors inferiors a 20 µg/m³ (valor límit establert per l'OMS); en groc, valors entre 20 i 35 µg/m³; en taronja, valors entre 35 i 40 µg/m³; en vermell, superior a 40 µg/m³ (valor límit establert per la Unió Europea).
Font: IERMB a partir de Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya

Mapa 4.1.3. Estacions de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica a l'àmbit de l'AMB, que el 2014 van superar els llindars legistats (EU) de PM₁₀



Font: IERMB a partir de Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya

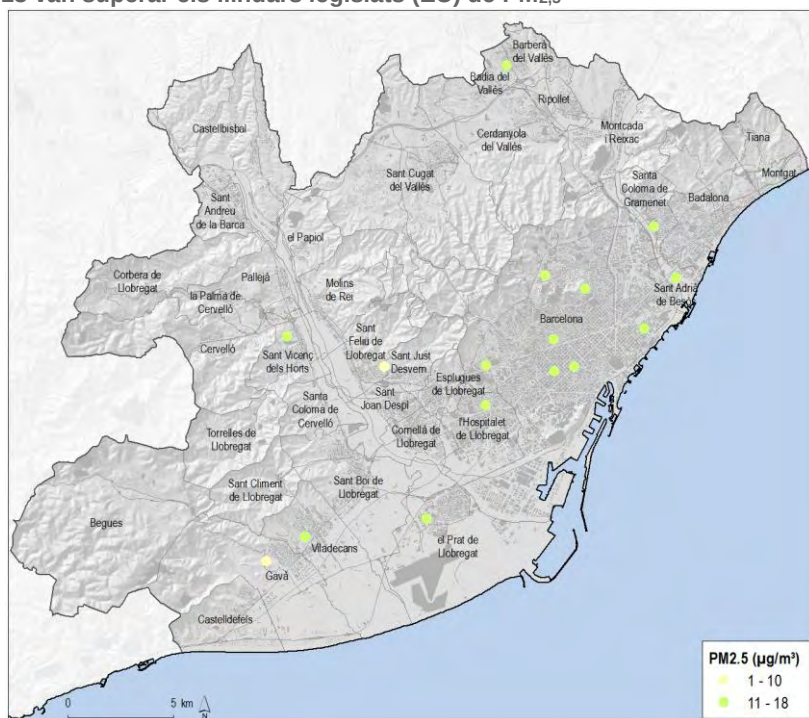
Gràfic 4.1.6. Mitjana anual d'immissió de PM_{2,5} a les estacions de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica de l'àmbit de l'AMB. 2014-2009



Nota: En verd clar, valors inferiors a 10 µg/m³ (valors límit, establerts per l'OMS); en verd fosc, valors entre 10 i 20 µg/m³; en taronja, valors entre 20 i 25 µg/m³; en gris, superior a 25 µg/m³ (valor límit establert per la Unió Europea).

Font: IERMB a partir de Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya

Mapa 4.1.4. Estacions de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica a l'àmbit de l'AMB, que el 2013 van superar els llindars legistats (EU) de PM_{2,5}



Font: IERMB a partir de Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya

En termes generals, els nivells de superació en els anys precedents a l'any d'estudi (període 2009-2013) s'han donat en estacions ubicades a l'aglomeració central de l'àmbit metropolità, especialment a la ciutat de Barcelona i als municipis del continu urbà. Aquí és on es concentra la major part de la població i de l'activitat de la zona. A més, hi ha algunes estacions properes a l'eix de l'A-2, com Sant Andreu de la Barca, que també presenten nivells alts d'NO₂ o de PM₁₀ (Mapa 4.1.5).

En resum, segons les dades registrades a la XVPCA, la qualitat de l'aire ha millorat en els anys fins al 2014, principalment com a conseqüència del descens de la mobilitat derivat de la crisi econòmica, tot i que en el cas de l'NO₂ i les PM₁₀ a un ritme inferior al que seria desitjable per a assolir els nivells màxims establerts per la UE i l'OMS. Si es consideren els nivells d'NO₂, encara estem lluny d'arribar a assolir els nivells europeus i caldrà continuar esforçant-se, especialment incidint sobre la principal font d'emissió (el trànsit), per tal de reduir les concentracions als nivells segurs per a la salut de les persones.

D'altra banda, en les estacions de mesura de les PM₁₀ sí que s'han assolit nivells de mitjana anual per sota dels límits europeus, tot i que s'ha de continuar treballant per assolir valors per sota dels recomanats per l'OMS, tal com ja fan altres metròpolis europees. Quant a les PM_{2,5}, les més preocupants des del punt de vista dels impactes en la salut, es mantenen dins els límits legals europeus, però no dels de l'OMS.

Superació del límit en els darrers 5 anys

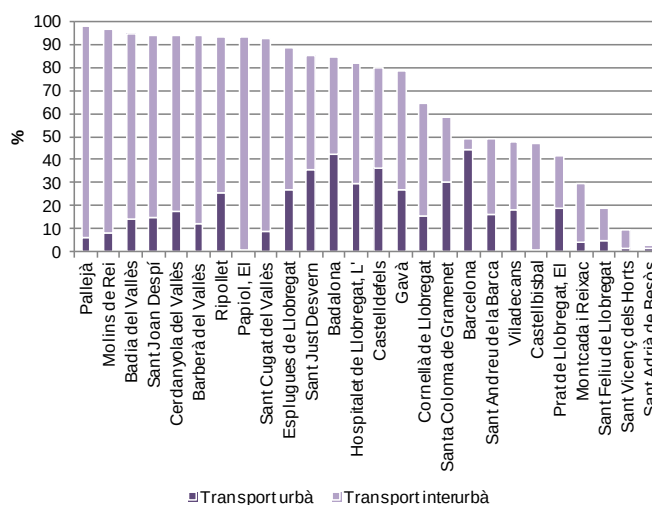
NO ₂	PM ₁₀
● No	● No
● Si	● Si

4.2. Contribució del transport a la qualitat de l'aire

El principal causant de les emissions de NOx en les ZPE és el transport per carretera, amb prop de la meitat de les emissions generades per aquest sector (Gràfic 4.2.1). El segueixen el sector industrial i del transport marítim. Pel que fa a les emissions de PM₁₀, el sector del transport terrestre també és el principal contribuent, al voltant del 50% (Gràfic 4.2.2).

⁴⁶ Models d'emissió de contaminants (NOx i PM₁₀) elaborats per l'Inventari d'emissions atmosfèriques i el seu impacte en la qualitat de l'aire en el marc del Pla d'actuació de millorar de la de la qualitat de l'aire.

Gràfic 4.2.1. Contribució relativa del sector del transport (urbà i interurbà) a les emissions totals de NOx als municipis de l'àmbit de l'AMB, 2008.

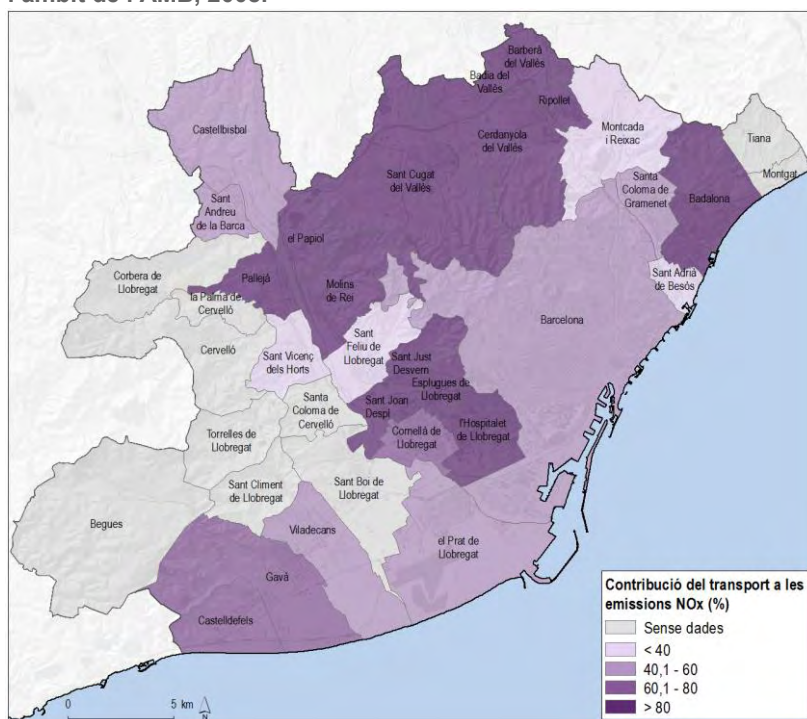


Nota: Les emissions totals inclouen el sector del transport (urbà i interurbà), el port i l'aeroport de Barcelona i els sectors domèstic i industrial.

Font: IERMB a partir de Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya

En dues tercers parts dels municipis de l'àmbit d'estudi, el transport és el principal contribuent a les emissions de NOx en més del 50% (Gràfic 4.2.1 i Mapa 4.2.1). Els municipis on el transport no és el principal contribuent són majoritàriament aquells amb un pes molt important del sòl industrial en el total de la superfície urbana.

Mapa 4.2.1. Contribució relativa del sector del transport (urbà i interurbà) a les emissions totals de PM₁₀ als municipis de l'àmbit de l'AMB, 2008.



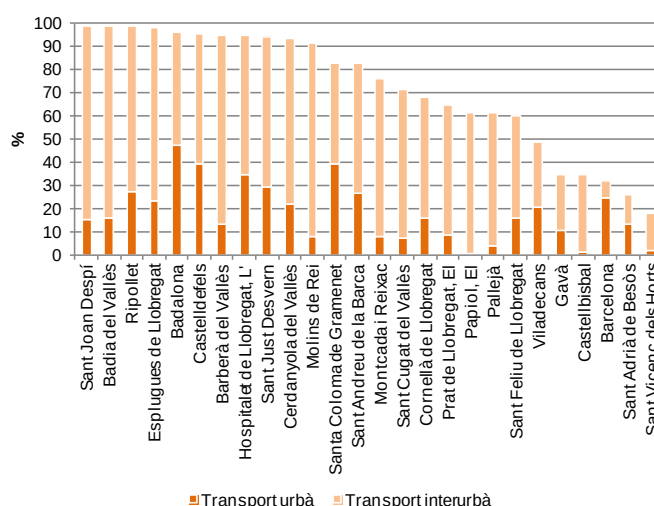
Font: IERMB a partir de Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya

En la majoria de municipis on el transport és principal contribuent a les emissions de NO_x, el transport interurbà és el major responsable. Són municipis com ara: Sant Joan Despí, Badia del Vallès, Barberà del Vallès. A l'altre extrem, els municipis on el transport urbà és el principal contribuent a les emissions d'NO₂ són: Barcelona, Badalona, Santa Coloma de Gramenet, El Prat de Llobregat, Sant Adrià del Besòs i Sant Just Desvern (amb una quota de més de 40% del transport urbà en tots els casos).

El pes relatiu del sector del transport en les emissions de PM₁₀ en els dels municipis de l'AMB que pertanyen a les ZPE l'any 2008 era del 49,7%. Un altre cop, en la majoria de municipis (més del 75%) el sector del transport és el principal contribuent (tres quartes parts del total), excepte en uns quants municipis que tenen un fort caràcter industrial i en el que les emissions d'aquest sector tenen una quota més important (Gràfic 4.2.2 i Mapa 4.2.2).

D'altra banda, en municipis com Barcelona, Sant Adrià del Besòs, Badalona, Santa Coloma de Gramenet i Viladecans la contribució del transport interurbà a les emissions totals del transport supera el 40%. En canvi, en municipis com Molins de Rei, El Papiol, Pallegà, Castellbisbal, Badia del Vallès i Barberà del Vallès la contribució del transport urbà no supera el 10%.

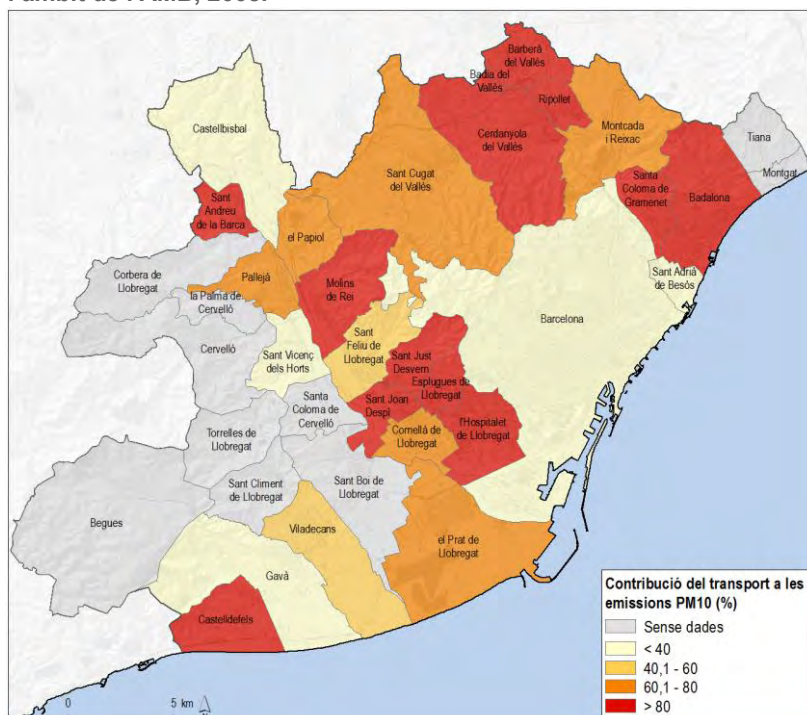
Gràfic 4.2.2. Contribució relativa del sector del transport (urbà i interurbà) a les emissions totals de PM₁₀ als municipis de l'àmbit de l'AMB, 2008.



Nota: Les emissions totals inclouen el sector del transport (urbà i interurbà), el port i l'aeroport de Barcelona i els sectors domèstic i industrial

Font: IERMB a partir de Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya

Mapa 4.2.2. Contribució relativa del sector del transport (urbà i interurbà) a les emissions totals de PM₁₀ als municipis de l'àmbit de l'AMB, 2008.



Font: IERMB a partir de Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya

5 PERFIL SOCIAL DELS 'EMISSORS'

Els procediments de classificació en general, i l'anàlisi en clúster en particular, s'utilitzen cada vegada més per a estudiar la mobilitat quotidiana i per a ajudar a dissenyar polítiques de transport. El corol·lari és la creença que persones amb diferents motivacions i limitacions s'han d'abordar de diferent manera perquè les polítiques siguin més efectives.

L'objectiu del present estudi és classificar en grups la població que es mou dins l'àmbit metropolità de Barcelona en funció de les emissions associades amb la seva mobilitat personal i d'altres característiques ('perfil social d'emissió'), de manera que existeixi la màxima homogeneïtat entre els individus dins un mateix grup i la màxima diferència entre grups. És a dir, les persones que pertanyen a un mateix grup comparteixen característiques similars, sigui quant a les seves emissions o a altres trets personals, que ajuden a visualitzar la complexitat dels perfils dels 'viatgers' i, per tant, a dissenyar intervencions més adaptades i efectives.

Per a la identificació dels perfils socials d'emissió es parteix de la informació sobre les emissions associades amb la mobilitat personal dels viatgers i les seves característiques socioeconòmiques recollides a l'enquesta de mobilitat metropolitana, endavant la BBDDM 2011/13. Aquesta base de dades recull la mobilitat personal a l'àmbit metropolità realitzada en tots els mitjans de transport (motoritzats i no motoritzats).

Per a realitzar aquesta anàlisi s'agafa la submostra de població de 16 anys i més resident a l'RMB que realitza algun desplaçament (i emissions) dins l'àrea metropolitana de Barcelona. El contaminant utilitzat per a aquesta anàlisi són les partícules fines de diàmetre més petit que 10 micres o PM₁₀. D'aquesta manera s'eviten els problemes amb els factors d'emissió dels contaminants alterats al 'frau dièsel', que van afectar principalment les emissions d'òxids de nitrogen (NO_x).

En analitzar les dades, se segueix un procés estadístic seqüencial que consisteix en els següents passos:

1. *Anàlisi de components principals (ACP)*. Amb aquesta anàlisi es busca obtenir el nombre mínim de components o factors (grups de variables correlacionades) capaces d'explicar el màxim d'informació continguda a les dades.
2. *Anàlisi clúster*: Amb aquesta anàlisi es busca agrupar o classificar la població en funció de les emissions associades a la seva mobilitat personal i d'altres característiques ('perfil d'emissió' dels viatgers) de manera que existeixi la màxima homogeneïtat entre els individus dins un mateix grup i la diferència més gran entre grups.
3. *Validació de l'anàlisi clúster (anàlisi discriminant)*. Amb aquesta anàlisi es busca validar el resultat del pas anterior (l'anàlisi clúster). L'anàlisi discriminant múltiple serveix per avaluar les diferències grupals en termes de comportament i validar els resultats de la classificació⁴⁷.
4. *Descripció del perfil dels grups*. Aquestes anàlisis es duen a terme per separat per a les variables mètriques i les categòriques. Les diferències entre els grups quant a les variables mètriques s'analitzen mitjançant tests paramètrics de comparació de mitjanes, tot aplicant-hi la

⁴⁷ Hair JF, Black WC, Babin BJ, Anderson RE (Eds.) (2009) Multivariate data analysis (7th Ed.), Englewood Cliffs (NJ), Prentice Hall.

correcció de Bonferroni per múltiples grups (tres o més). Les proves s'ajusten per a totes les comparacions per parells possibles. Les diferències entre grups pel que fa a les variables categories s'analitzen a partir de taules de contingència amb test de residus (residus tipificats).

5.1. Anàlisi de components principals

A continuació es presenten els resultats de les anàlisis estadístiques realitzades corresponents a la situació l'any d'estudi 2011-13. En primer lloc es presenten les anàlisis descriptives que precedeixen l'anàlisi ACP i clúster.

Les anàlisis descriptives, mitjana i desviació típica per a cadascuna de les variables d'estudi es mostren a la Taula 5.1.1. La mida de la mostra és N=24.670 casos. Les variables socioeconòmiques són categòriques i han estat transformades en *dummies* amb valor 0 o 1 ('No' i 'Sí', respectivament).

Taula 5.1.1. Anàlisi descriptiva. T2 (c.2011-13)

	Mitjana	Desv. típica
Emissions totals de PM dels desplaçaments dins l'AMB	0,56	1,15
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments en Transport públic comunitari (ferroviari i autobús)	32,78	46,07
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments en Vehicle privat (cotxe i furgoneta)	29,58	44,59
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments en Vehicle privat (moto)	4,67	20,44
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Treball	28,12	42,80
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Estudis	6,76	23,62
% d'emissions de PM dels desplaçaments en Vehicle privat (cotxe i furgoneta) fora la trama urbana	11,84	24,66
% d'emissions de PM dels desplaçaments de connexió (entre municipis de l'AMB i entre districte del municipi de Barcelona)	55,86	48,47
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Vehicle privat (moto)	1,09	6,78
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Ferroviaris	7,03	18,63
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Autobús	1,74	8,72
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Vehicle privat (cotxe i furgoneta)	10,68	26,28
% de desplaçaments a Peu + Bicicleta	38,23	42,34
Densitat de població l'any 2011	22.384,48	16.723,95
Densitat de població per sòl residencial l'any 2011	32.717,72	15.518,81
% de sòl residencial compacte	94,75	14,49
Índex d'Accessibilitat al Transport Públic Col·lectiu (IATPC)	3.394,54	2.933,22
Sexe Home	0,47	0,50
Edat 16-29 anys	0,16	0,37
Edat 65 anys i més	0,21	0,41
Situació professional No ocupat/da	0,55	0,50
Estudis superiors acabats (estudis universitaris, cicles formatius)	0,35	0,48

Notes: Les variables socioeconòmiques són categòriques i han estat transformades en *dummies* amb valor 0 o 1 ('No' i 'Sí', respectivament). N=24.670.

Font: IERMB

Aquestes dades mostren que la mitjana d'emissions dels residents de l'RMB que es desplacen per l'àmbit de l'AMB l'any 2011-2013 era de 0,56 g PM/dia. Aproximadament el 32% d'aquestes emissions, com a mitjana, es realitzen en transport públic, el 29,6% es realitzen en vehicle privat (cotxe i furgoneta) i el 4,6% es fan en motocicletes. La majoria d'aquestes emissions es fan en desplaçaments que tenen

per objectiu anar a la feina, i un 55,8% són de desplaçaments de connexió entre diferents municipis o entre diferents districtes de Barcelona.

En aquest apartat es presenten els resultats de l'anàlisi de components principals (ACP), que ha servit per reduir la dimensió de la nostra base de dades l'any d'estudi 2011-2013 amb una sèrie de factors capaços de relacionar totes les variables, i que expliquen la màxima variabilitat possible.

L'ACP pertany a un grup de tècniques estadístiques multivariants, eminentment descriptives. Aquesta tècnica permet reduir la dimensionalitat de les dades, tot transformant el conjunt de p variables originals en un altre conjunt de q variables que no estan correlacionades entre elles ($q \leq p$) anomenades components principals (o factors). Les p variables són mesures sobre cadascun dels n individus, obtenint-se una matriu de dades d'ordre p ($p < n$). Les q noves variables (factors) són obtingudes com combinacions lineals de les variables originals.

Els components o factors s'ordenen en funció del percentatge de variància explicada. En aquest sentit, el primer factor serà el més important per ser el que explica un percentatge més gran de la variància en les dades, i queda a criteri de l'investigador decidir quants factors o components se seleccionaran pel seu estudi.

Les variables incloses a l'anàlisi i que donaran lloc als factors o components són les recollides a la Taula 5.1.1. Tot seguit es presenten els resultats de les proves prèvies a l'anàlisi (Taula 5.1.2), i després els propis de l'anàlisi ACP: nombre de factors o components extretes i descripció dels factors.

Els estadístics de l'estudi de l'adequació de la mostra al model ACP, estadístic de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), és superior 0,6 i per tant el resultat es pot considerar adequat. D'altra banda, la prova d'esfericitat de Bartlett ens indica que refusem la independència de les nostres variables amb un error menor de 0,001. Amb els resultats per a aquests dos estadístics acceptem fer l'anàlisi de components principals.

Taula 5.1.2. Estadístic de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) i prova d'esfericitat de Bartlett. (c.2011-13)

Mesura d'adequació mostral de Kaiser-Meyer-Olkin.		0,661
Prova d'esfericitat de Bartlett	χ^2 aproximat	296.376,267
	gl	231
	sig.	0,000

Nota: Mètode d'extracció: anàlisi de components principals.

Font: IERMB

A continuació es presenten els valors propis i la variància explicada per cadascun dels factors, pel període temporal 2011-2013. Basant-se en els resultats obtinguts s'ha decidit que el nombre idoni de components o factors que s'han d'extreure és igual a set, i entre tots expliquen un màxim del 70,62% de la variabilitat continguda en les dades (Taula 5.1.3).

Taula 5.1.3. Variància total explicada pels factors o components. (c.2011-13)

Component	Autovalors inicials		
	Total	% de la variància	% acumulat
1	4,699	21,357	21,357
2	2,654	12,063	33,420
3	2,562	11,648	45,067
4	1,781	8,095	53,163
5	1,622	7,372	60,535
6	1,239	5,632	66,167
7	0,979	4,451	70,618
8	0,949	4,312	74,930
9	0,845	3,843	78,772
10	0,720	3,274	82,047
11	0,621	2,822	84,868
12	0,511	2,324	87,192
13	0,473	2,150	89,342
14	0,443	2,015	91,357
15	0,428	1,944	93,300
16	0,406	1,843	95,144
17	0,312	1,419	96,562
18	0,268	1,218	97,781
19	0,261	1,184	98,965
20	0,109	0,496	99,461
21	0,070	0,319	99,780
22	0,048	0,220	100,000

Nota: Mètode d'extracció: anàlisi de components principals.

Font: IERMB

Per últim, a la Taula 5.1.4 (matriu de components rotades) es mostren les correlacions de les variables amb cadascun dels set factors o components. A mesura que les coordenades són més elevades, vol dir que la correlació entre la variable i el factor és més elevada. El signe de les coordenades indica si la correlació entre la variable i el factor és positiva o negativa.

Taula 5.1.4. Matriu de les components rotades. (c.2011-13)

	Component						
	1	2	3	4	5	6	7
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	0,910						
Emissions totals de PM dels desplaçaments dins l'AMB	0,868						
% d'emissions de PM fora la trama urbana (desplaçaments amb cotxe i furgoneta)	0,839						
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	0,775						
Densitat de població 2011		0,931					
Densitat urbana 2011		0,887					
IATPC		0,799					
% de sòl residencial compacte		0,658					
Situació professional No ocupat/da			-0,841				
Edat -65 anys o més			-0,709			-0,411	
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament			0,702	0,308		-0,253	
Treball			0,549				
Estudis superiors acabats							
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments en	-0,327			0,788			

Taula 5.1.4. Matriu de les components rotades. (c.2011-13)

	Component						
	1	2	3	4	5	6	7
Transport públic comunitari (ferroviari i autobús)							
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Ferroviaris				0,716			
% d'emissions de PM en desplaçaments de connexió (entre municipis i districtes de Barcelona)	0,450		0,290	0,668			
% de desplaçaments a Peu + Bicicleta	-0,380			-0,569			
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Moto					0,911		
% d'emissions de PM dels desplaçaments amb Moto					0,903		
Edat 16-29 anys						0,857	
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament						0,798	
Estudis							
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Autobús							0,869
Sexe Home							-0,451

Notes: Mètode d'extracció: anàlisi de components principals. Mètode de rotació: normalització Varimax amb Kaiser. S'han eliminat els valors que estan per sota del 0,3 (valor absolut).

Font: IERMB

El Factor 1 (F1) – **Emissions del cotxe i la furgoneta**: explica el 21,36% de la variància en les dades i està associat principalment amb variables que informen de la distància recorreguda i les emissions de partícules fines (PM) degudes a l'ús del cotxe (com a conductor o acompanyant) o la furgoneta. Les emissions totals de PM dels viatgers s'inclouen en aquest factor amb signe positiu, és a dir, molt relacionades amb l'ús del cotxe i la furgoneta.

El Factor 2 (F2) – **Model urbà i accessibilitat al transport públic**: explica el 12,06% de la variància i dóna compte del model urbà i l'accessibilitat al transport públic comunitari, incloent-hi variables com ara la densitat de població i la densitat urbana, però també l'IATPC i el percentatge de sòl residencial compacte (variables molt relacionades amb l'anterior).

El Factor 3 (F3) – **Socioeconòmic**: explica l'11,65% de la variància i està integrat principalment per variables socioeconòmiques que fan referència a les característiques de l'entrevistat, tals com la situació professional, l'edat i el nivell d'estudis acabats. A més s'inclou la variable '% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Treball', molt relacionada amb el moment vital que indiquen les variables socioeconòmiques.

El Factor 4 (F4) – **Emissions del transport públic**: explica el 8,10% de la variància i està associat principalment amb variables que informen de les emissions de partícules fines (PM) degudes a l'ús del transport públic comunitari (ferroviari i autobús), dels desplaçaments de connexió i, amb signe negatiu, dels desplaçaments realitzats a peu i/o en bicicleta.

El Factor 5 (F5) – **Emissions de la motocicleta**: explica el 7,37% de la variància i està relacionat amb l'ús de la motocicleta i les emissions de PM associades.

El Factor 6 (F6) – **Joves i estudis**: explica el 5,63% de la variància i captura la relació entre el percentatge d'emissions de PM en desplaçaments per motiu d'estudi i l'edat dels viatgers: joves d'entre 16 i 29 anys.

Per últim, el Factor 7 (F7) – **Emissions de l'autobús**: explica el 4,45% de la variància i està associat principalment amb l'ús de l'autobús, més connectat amb les dones (la variable de sexe 'home' es presenta amb signe negatiu).

5.2. Anàlisi clúster

En aquest apartat es presenten els resultats de l'anàlisi clúster (c.2011-13). En primer lloc es va analitzar el resultat de l'anàlisi clúster jerarquitzat (el dendrograma), i després es van realitzar proves de l'anàlisi clúster no jeràrquiques per a $3 < k < 11$ (k = nombre de clústers). Finalment, es va seleccionar la solució de nou clústers perquè proporcionava el millor resultat discriminatiu. Per tal de validar els resultats, es va dur a terme una anàlisi discriminant, que serveix per predir la probabilitat que una entitat (un individu) pertanyi a un grup determinat en funció de les variables de segmentació emprades a l'anàlisi clúster (vegeu la Taula 5.2.1). El 90,3% dels casos agrupats originals van ser classificats satisfactòriament (22.276 casos que representen al voltant de 4 milions de persones de la població total de la BMR). D'aquesta manera es valida el resultat de l'anàlisi clúster.

Taula 5.2.1. Resultats de la classificació obtinguda amb l'anàlisi discriminant. (c.2011/13)

Grup actual	N	Grup de pertinença pronosticat								
		Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5	Grup 6	Grup 7	Grup 8	Grup 9
Grup 1	3.327	2.998 (90,11%)	102 (3,06%)	0 (0,00%)	52 (1,57%)	1 (0,02%)	3 (0,08%)	74 (2,22%)	0 (0,00%)	98 (2,94%)
Grup 2	1.026	61 (5,96%)	880 (85,75%)	0 (0,00%)	76 (7,46%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	9 (0,83%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)
Grup 3	1.138	1 (0,07%)	0 (0,01%)	1.118 (98,22%)	19 (1,70%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)
Grup 4	5.343	40 (0,075%)	78 (0,13%)	35 (0,65%)	4.886 (91,43%)	1 (0,03%)	73 (1,73%)	30 (0,56%)	227 (4,25%)	44 (0,82%)
Grup 5	197	4 (1,96%)	0 (0,00%)	0 (0,05%)	5 (2,47%)	179 (91,21%)	3 (1,56%)	2 (1,23%)	0 (0,00%)	3 (1,52%)
Grup 6	1.420	26 (1,81%)	0 (0,00%)	0 (0,03%)	36 (2,56%)	3 (0,22%)	1.316 (92,68%)	10 (0,70%)	0 (0,00%)	28 (2,00%)
Grup 7	1.656	16 (0,97%)	0 (0,00%)	9 (0,57%)	96 (5,78%)	1 (0,04%)	61 (3,65%)	1.470 (88,79%)	0 (0,00%)	3 (0,19%)
Grup 8	6.285	11 (0,17%)	0 (0,00%)	5 (0,08%)	803 (12,77%)	0 (0,00%)	1 (0,01%)	10 (0,16%)	5.305 (84,41%)	151 (2,41%)
Grup 9	4.277	80 (1,86%)	0 (0,00%)	6 (0,14%)	48 (1,11%)	0 (0,00%)	8 (0,20%)	9 (0,22%)	3 (0,08%)	4.123 (96,39%)

Nota: Classificats correctament el 90,3% dels casos agrupats originals.

Font: IERMB

L'anàlisi de classificació va concloure amb la solució de nou clústers que proporcionava el millor resultat discriminatiu, on els clústers que es van obtenir són relativament estables. A continuació, els nou clústers extrets es perfilen en segments sociodemogràfics i d'emissió de contaminants. El perfil dels segments es basa en els valors mitjans de les variables utilitzades per obtenir els clústers. Només es consideren els valors de les variables que són significativament diferents en comparació amb la distribució global de la mostra (variables més típiques del grup d'individus k). És a dir, es considera la diferència entre la mitjana d'una variable del grup k i la mitjana global. Com més gran sigui la diferència, millor la variable caracteritza el grup k .

A més de les variables de segmentació s'utilitzen d'altres, que també són d'interès a l'hora de captar els matisos i les subtileses de cada perfil social d'emissió. En particular, s'analitzen les variables que fan referència a l'àmbit territorial de residència i a l'accés al vehicle privat, inclosa la disponibilitat de permís de conduir cotxe i ciclomotor o motocicleta. La caracterització de les variables de segmentació als nou clústers es presenta a la Taula 5.2.2 (variables mètriques) i a la Taula 5.2.3 (variables categòriques), i també a l'Apèndix, on hi ha la taula amb les variables més característiques de cada grup per ordre d'importància. La caracterització de les altres variables d'interès es presenta a la Taula 5.2.4 (variables categòriques).

D'altra banda, a fi d'oferir una explicació de les emissions de cada segment, s'analitzen, seguint la mateixa metodologia, els motius d'ús dels diferents mitjans de transport (vegeu la Taula 5.2.5). En particular, s'analitzen les variables d'actitud cap als modes privats (cotxe o motocicleta) i el transport públic: és ràpid, és còmode, és barat i és fàcil o difícil aparcar a destí⁴⁸.

Els antecedents de les actituds són les creences que les persones tenen sobre els atributs dels diversos mitjans de transport. Aquestes creences es basen, tant en experiències passades, com en l'opinió i les creences dels altres, i només les que són rellevants per a la persona en qüestió determinen el seu comportament. Els atributs dels mitjans de transport es valoren positiva o negativament en funció dels beneficis i dels costos percebuts d'utilitzar les diverses alternatives. Els atributs que es valoren positivament contribueixen a la formació d'una actitud positiva. En general, es pressuposa que una actitud positiva cap a una determinada alternativa de transport té un impacte favorable en el seu ús. Els atributs instrumentals que fan referència a la conveniència d'utilitzar un determinat mitjà de transport per la seva funcionalitat, com ara la rapidesa, el cost, la comoditat, la flexibilitat, la fiabilitat o l'impacte ambiental, constitueixen el constructe abstracte d'"actitud"⁴⁹.

És important, però, entendre com es formulen aquestes preguntes d'opinió. En primer lloc, s'ha d'esmentar que aquesta informació només està disponible per als residents als municipis de la primera i de la segona corona metropolitanes, i no pel municipi de Barcelona. Això fa que, per als grups formats predominantment per residents de Barcelona, no sigui possible determinar els motius d'ús dels modes privats i del transport públic (de forma estadísticament significativa).

En segon lloc, al qüestionari es pregunta a l'enquestat per l'ús que fa dels diversos mitjans de transport "en una escala de 0 (no hi va mai) a 10 (hi va sempre)". Es consideren els següents mitjans de transport: (A) a peu, (B) en bicicleta, (C) en cotxe com a conductor, (D) en cotxe com a acompanyant, (E) en moto, (F) en transport públic en general i en particular en (G) metro, (H) bus TMB, (I) altres bus, (J) tramvia,

⁴⁸ Bamberg S, Schmidt P (1999) Regulating transport: Behavioural changes in the field. *Journal of Consumer Policy* 22:479–509.
Chen CF, Chao WH (2011) Habitual or reasoned? Using the theory of planned behavior, technology acceptance model, and habit to examine switching intentions toward public transit. *Transportation Research Part F* 14:128–137.

Heath Y, Gifford R (2002) Extending the theory of planned behaviour: Predicting the use of public transportation. *Journal of Applied Social Psychology* 32:2154–2185.

Johansson MV, Heldt T, Johansson P (2006) The effects of attitudes and personality traits on mode choice. *Transportation Research Part A* 40:507–525.

Popuri Y, Prousaloglou K, Ayvalik C, Koppelman F, Lee A (2011) A Importance of traveler attitudes in the choice of public transportation to work: findings from the Regional Transportation Authority Attitudinal Survey. *Transportation* 38:643–661.

Steg L (2005) Car use: Lust and must. Instrumental, symbolic and affective motives for car use. *Transportation Research Part A* 39:147–162.

⁴⁹ Anable J, Gatersleben B (2005) All work and no play? The role of instrumental and affective factors in work and leisure journeys by different travel modes. *Transportation Research Part A* 39:163–181.

Bamberg S, Schmidt P (1999) Regulating transport: Behavioural changes in the field. *Journal of Consumer Policy* 22:479–509.
Chen CF, Chao WH (2011) Habitual or reasoned? Using the theory of planned behavior, technology acceptance model, and habit to examine switching intentions toward public transit. *Transportation Research Part F* 14:128–137.

(K) Renfe Rodalies, (L) Renfe regional/mitja distància, (M) FGC i (N) taxi, que també es considera part de l'oferta de transport públic.

En tercer lloc, només si l'enquestat usa el transport públic (és a dir, a la pregunta anterior ha valorat el seu ús ≥ 5), se li pregunta "per quin motiu utilitza el [metro, bus,...] i no un altre mitjà de transport?". Se li pregunta per un únic mitjà, el que té un nivell d'ús més alt d'entre les opcions de transport públic G fins a N. En cas d'empat, per a l'elecció del mitjà de transport públic, s'utilitza el criteri d'assignació del mitjà principal de transport dels desplaçaments. L'ordre és el següent: Renfe regional, Renfe Rodalies, FGC, Tramvia, Metro, Altres bus, Bus de TMB i Taxi. Les respostes a aquesta pregunta són obertes, i es codifiquen posteriorment. Es recullen màxim tres motius o respostes (els motius principals).

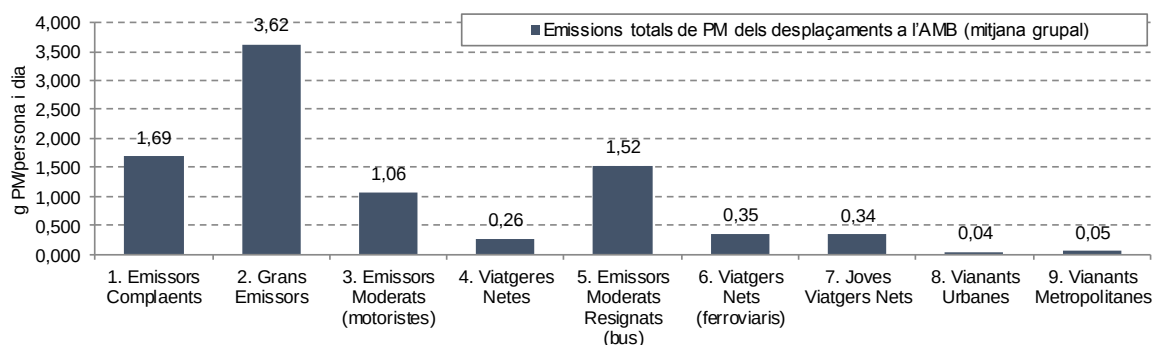
De la mateixa manera, només si l'enquestat usa el cotxe o la motocicleta (és a dir, ha valorat el seu ús ≥ 5) se li pregunta "per quina raó utilitza el [cotxe, moto] i no un altre mitjà de transport?". Se li pregunta per un únic mitjà, el que té un nivell d'ús més alt d'entre les opcions C fins a E. En cas d'empat, s'escull la motocicleta. Les respostes a aquesta pregunta també són obertes, i es codifiquen posteriorment. Igual que al cas anterior, es recullen màxim tres motius o respostes.

Cada individu de la mostra, només pot pertànyer a un dels perfils. A més, cadascun dels segments extrets té un perfil social d'emissió únic, amb trets que el diferencien de la resta de grups. Segons això, els nou clústers es defineixen com:

1. *Emissors Complaents (conductors suburbans)*
2. *Grans Emissors (conductors urbans de llarga distància)*
3. *Emissors Moderats (motoristes urbans)*
4. *Viatgeres Netes (captives urbanes del transport públic)*
5. *Emissors Moderats Resignats (usuaris suburbans del bus)*
6. *Viatgers Nets (usuaris/es suburbans dels modes ferroviaris)*
7. *Joves Viatgers Nets (captius/ives del transport públic)*
8. *Vianants Netes (dones grans urbanes)*
9. *Vianants Netes (dones metropolitanes)*

Al següent gràfic es mostren les emissions totals de PM dels desplaçaments realitzats a l'àmbit de l'AMB (mitjana grupal) (Gràfic 5.2.1):

Gràfic 5.2.1. Emissions totals de PM dels desplaçaments a l'AMB (mitjana grupal). (c. 2011/13)



Font: IERMB

El grup dels **Emissors Complaents (conductors suburbans)** té unes emissions totals de PM d'1,69 g/dia, molt per sobre de la mitjana mostral (0,56 g PM/dia), i està format per viatgers que utilitzen el vehicle privat, cotxe conductor i acompanyant i/o furgoneta. El 98% de les emissions d'aquest grup són per desplaçaments amb vehicle privat, el 55% per motius de treball, i més de la meitat de les emissions es realitzen fora de la trama urbana (el 51%). Es tracta d'homes en la seva majoria, amb estudis superiors acabats, que viuen en zones residencials suburbanes sense un bon accés al transport públic, i que viatgen presumiblement a la ciutat. Aquest grup està significativament format per residents de la segona corona metropolitana i de la resta de l'RMB. Disposen de permís de conduir i de vehicle propi o accés a un vehicle; gairebé tots tenen cotxe (el 94%), però el 59% també disposa de bicicleta, a més d'altres vehicles. Són conductors que prefereixen agafar el cotxe en compte del transport públic per la seva comoditat (24%) i rapidesa (20%). Aquest és el motiu pel qual se'ls ha anomenat 'complaents'. Aquest grup representa un 13,5% de la mostra.

Els **Grans Emissors (conductors urbans de llarga distància)** és de lluny el grup amb una petjada personal més gran, de 3,62 g PM/dia. El 99% de les seves emissions provenen de desplaçaments realitzats amb cotxe i/o furgoneta. Aquests viatgers fan desplaçaments de llarga distància (85,72 km/dia de mitjana), per motiu de treball (el 54%), desplaçaments de connexió que impliquen un canvi de municipi i/o de districte, en el cas del municipi de Barcelona, de fet el 65% de les emissions que fan són fora de la trama urbana. Els viatgers que integren aquest grup són homes en la seva majoria (el 71%), amb estudis superiors acabats (el 48%), i que resideixen en municipis d'elevades densitats de població amb un Índex d'Accessibilitat al Transport Públic Col·lectiu (IATPC) per sobre de la mitjana de la mostra; el 64% resideix a Barcelona ciutat. Gairebé tots tenen accés a cotxe (el 90%), encara que també disposen de bicicleta (el 52%) i d'altres vehicles. Els motius d'ús del cotxe tenen a veure amb la rapidesa i la comoditat, tot i que no seria de forma significativa. La falta d'alternatives per cobrir el trajecte apareix com el tercer motiu. Aquest grup representa un 4,2% de la mostra.

Els **Emissors Moderats (motoristes urbans)** tenen una petjada d'1,06 g PM/dia (per sobre de la mitjana mostral). El 95% d'aquestes emissions són de desplaçaments amb motocicleta (de 22,60 km/dia de mitjana); el 82% provenen de desplaçaments de connexió i el 62% són de desplaçaments al treball. Es tracta principalment d'homes (el 72%), amb estudis superiors acabats (el 56%), i que resideixen en municipis d'elevades densitats, amb un IATPC per sobre de la mitjana de la mostra; el 65% resideixen a Barcelona. El 95% d'ells té accés a ciclomotor o motocicleta. El 80% també disposa de cotxe i el 64% de bicicleta. No obstant això, utilitzen la motocicleta per als desplaçaments quotidians per la rapidesa i la facilitat d'aparcar a destí, i perquè és relativament barat. Noteu que fins ara els usuaris dels modes privat disposen d'una àmplia gamma de vehicles que, en principi, podrien utilitzar a conveniència. Aquest grup representa un 4,6% de la mostra.

Les **Viatgeres Netes (captives urbanes del transport públic)** tenen una petjada per sota de la mitjana mostral, que és de 0,26 g PM /dia, dels quals el 67% són de desplaçaments fets en transport públic comunitari (modes ferroviaris i autobús), el 84% de desplaçaments de connexió, i el 52% de desplaçaments de treball. Aquest grup el formen principalment dones (el 57%), amb estudis superiors acabats (el 54%), i que resideixen a municipis d'elevades densitats i elevat IATCP (el més alt). I és que el 79% resideixen a Barcelona ciutat. Aquestes viatgeres es consideren captives del transport públic, perquè, tot i que un 74% disposa de permís de conduir cotxe, l'accés al cotxe (o d'altres modes privats) no és significatiu. Per últim, la seva valoració dels atributs del transport públic no és concloent. Aquest grup representa un 21,7% de la mostra.

Els **Emissors Moderats Resignats (usuaris suburbans del bus)** tenen unes emissions totals elevades, d'1,52 g PM/dia (per sobre de la mitjana mostral), el 97% de les quals es realitzen en desplaçaments amb transport públic, desplaçaments que són de connexió (el 99% de les emissions de PM), en la seva majoria per motiu de treball (el 52%), però també per estudis (l'11%). Aquest grup de viatgers recorre distàncies molt llargues en autobús en un dia (77,55 km de mitjana). A més a més, es tracta de gent que viu en àrees residencials, no compactes, amb baixa accessibilitat al transport públic (IATCP molt per sota de la mitjana mostral); el 42% resideix a municipis de la resta de l'RMB. Aquest grup s'ha anomenat els 'resignats', perquè l'elecció de l'autobús no està significativament relacionada amb cap motiu instrumental que indiqui conveniència. Aquest grup representa un 0,8% de la mostra.

Els **Viatgers Nets (usuaris/les suburbans dels modes ferroviaris)**, amb una petjada de 0,35 g PM/dia, són també usuaris del transport públic, encara que utilitzen el transport ferroviari (tren de rodalies, ferrocarrils, metro o tramvia). Fan desplaçaments de connexió, que representen el 97% de les seves emissions, majoritàriament, per motiu de treball (el 60% de les emissions). El seu perfil sociodemogràfic és de gent amb estudis superiors acabats, i que viu en àrees residencials, no compactes, amb baixa accessibilitat al transport públic. Així doncs, gairebé tothom viu fora de Barcelona, notablement als municipis de la resta de l'RMB (el 42%). A aquests viatgers nets els modes ferroviaris els resulten ràpids (al 19%) i representen una alternativa relativament barata (el 9%), però també consideren la dificultat d'aparcar a destí (el 10%). Aquest grup representa un 5,8% de la mostra.

Els **Joves Viatgers Nets (captius/lives del transport públic)**, amb una petjada de 0,34 g PM/dia, aquest grup l'integren gent jove d'entre 16 i 29 anys, que es desplaça en modes ferroviaris i cobreix distàncies relativament llargues (uns 28,96 km/dia) en desplaçaments de connexió, i per motiu d'estudis (el 82% de les emissions). Aquest és aleshores un grup molt particular, que està format tant per homes com per dones, i que prové tant de zones urbanes com de zones suburbanes, amb millors i pitjors graus d'accessibilitat al transport públic. A més, és un grup de viatgers captius del transport públic, ja que l'accés a vehicles privats no és significatiu; la majoria podria no disposar de vehicle propi. La seva valoració del transport públic es basa, més significativament, en què troben que és una alternativa barata. Aquest grup representa un 6,7% de la mostra.

Les **Vianants Netes (dones grans urbanes)** i les **Vianants Netes (dones metropolitanes)** tenen una petjada molt petita (0,04 g PM/dia i 0,05 g PM/dia, respectivament). Aquests grups els integren gent que no treballa, més aviat gent gran (de 65 anys i més), que quan es desplaça ho fa a peu i/o en bicicleta, i que, per tant, no fan quasi emissions. Existeixen, però, diferències substancials entre els dos grups. El grup de les **Vianants Urbanes** està format per dones grans, majoritàriament residents a Barcelona (el 72%) o a altres zones urbanes d'elevada densitat i accessibilitat al transport públic. En canvi, les **Vianants Metropolitanas** són les que viuen en municipis on no arriba el metro, principalment de la primera corona metropolitana (65%), i part en la segona (26%); i que, per tant, tenen un índex d'accessibilitat al transport públic relativament baix. Quant a les característiques socials, són un grup més heterogeni que l'anterior. La proporció de gent gran és menor i, en canvi, hi ha més persones d'entre 30 i 64 anys. D'altra banda, són majoritàriament dones (el 62%), i el 78% estan desocupades. Aquests grups representen un 25,5% i un 17,3% de la mostra, respectivament.

Taula 5.2.2. Caracterització de les variables d'emissions, de mobilitat i urbanístiques als 9 clústers. Variables mètriques. (c.2011-13)

	A. Emissors Complaents	B. Grans Emissors	C. Emissors Moderats (motoristes)	D. Viatgeres Netes	E. Emissors Moderats Resignats (bus)	F. Viatgers Nets (ferrov.)	G. Joves Viatgers Nets	H. Vianants Urbanes	I. Vianants Metropolita- nes
	(13,5%)	(4,2%)	(4,6%)	(21,7%)	(0,8%)	(5,8%)	(6,7%)	(25,5%)	(17,3%)
Emissions totals de PM desplaç. a l'AMB	C D F G H I 1,686 [0,018]	A C D E F G H I 3,619 [0,092]	D F G H I 1,058 [0,030]	H I 0,262 [0,004]	C D F G H I 1,524 [0,072]	D H I 0,352 [0,006]	H I 0,340 [0,009]	0,042 [0,002]	0,051 [0,002]
% d'emissions totals de PM desplaç. amb T.Públic (ferro. i bus)	1,396 [0,109]	0,550 [0,085]	1,028 [0,133]	A B C H I 66,746 [0,621]	A B C D G H I 97,172 [0,734]	A B C D G H I 98,953 [0,178]	A B C D H I 85,142 [0,810]	A B C I 19,019 [0,491]	A B C 5,970 [0,354]
% d'emissions totals de PM desplaç. amb Cotxe i furgoneta	C D E F G H I 98,451 [0,118]	C D E F G H I 98,983 [0,127]	4,012 [0,379]	C E F G H I 29,072 [0,594]	2,803 [0,730]	1,019 [0,175]	14,106 [0,793]	C F 7,654 [0,329]	C E F H 15,714 [0,550]
% d'emissions totals de PM desplaç. amb Moto	0,153 [0,036]	0,467 [0,098]	A B D E F G H I 94,959 [0,395]	A F H I 0,600 [0,073]	0,026 [0,084]	0,028 [0,030]	A F H I 0,753 [0,168]	0,105 [0,037]	0,220 [0,060]
% d'emissions de PM desplaç. per motiu Treball	D G H I 55,286 [0,797]	G H I 53,910 [1,435]	A B D E G H I 62,057 [1,237]	G H I 51,621 [0,637]	G H I 51,776 [3,473]	A B D G H I 60,201 [1,234]	1,901 [0,224]	0,166 [0,050]	1,880 [0,197]
% d'emissions de PM desplaç. per motiu Estudis	B D F H I 3,156 [0,263]	1,454 [0,330]	A B D F H I 5,877 [0,570]	H 1,005 [0,099]	A B C D F H I 11,126 [2,207]	1,269 [0,239]	A B C D E F H I 82,197 [0,745]	0,187 [0,048]	0,323 [0,075]
% d'emissions de PM desplaç. per motiu Compres	B C F G 6,332 [0,373]	1,290 [0,249]	2,774 [0,356]	B C F G 6,458 [0,295]	2,153 [0,990]	3,830 [0,466]	0,632 [0,148]	5,179 [0,259]	5,183 [0,322]
% d'emissions de PM desplaç. per motiu Esports i Oci	H I 8,320 [0,428]	A C D F G H I 20,165 [1,201]	A G H I 11,896 [0,780]	H I 9,950 [0,369]	H I 13,874 [2,375]	H I 8,573 [0,683]	H I 7,956 [0,526]	I 5,324 [0,272]	I 3,158 [0,253]
% d'emissions de PM desplaç. per motiu Acompanyar pers.	C D E F G H I 8,456 [0,418]	E F G H I 6,534 [0,617]	F G 4,870 [0,484]	E F G H I 6,252 [0,283]	0,709 [0,587]	2,132 [0,325]	1,161 [0,241]	G 3,017 [0,200]	G 3,783 [0,275]
% d'emissions de PM desplaç. per Altres motius pers.	C G H I 18,450 [0,617]	G I 16,647 [1,063]	G I 12,527 [0,826]	A B C G H I 21,131 [0,520]	G I 20,362 [2,719]	A B C G H I 23,995 [1,085]	G I 6,152 [0,491]	G I 12,905 [0,409]	G I 7,578 [0,387]
% d'emissions de PM fora la trama urbana (desplaç. cotxe i furgó.)	C D E F G H I 50,655 [0,458]	A C D E F G H I 64,901 [0,736]	D E F G H I 13,361 [0,717]	F H I 3,458 [0,142]	D F H I 8,623 [1,814]	1,649 [0,272]	D F H I 7,031 [0,467]	I 0,563 [0,051]	I 0,943 [0,082]
	C D G H I 94,348	A C D G H I 99,426	H I 81,998	H I 84,088	C D G H I 98,798	C D G H I 97,018	C D H I 90,841	I 14,051	I 5,478

% d'emissions de PM en desplaç. de connexió (entre municipis i districtes de BCN)	[0,325]	[0,064]	[1,006]	[0,461]	[0,345]	[0,368]	[0,649]	[0,431]	[0,338]
Distància total recorreguda en desplaç. amb Cotxe i furgoneta	C D E F G H I 41,712 [0,458]	A C D E F G H I 85,716 [1,824]	1,458 [0,169]	C F H I 3,912 [0,105]	1,755 [0,655]	0,120 [0,024]	F H I 2,915 [0,212]	0,676 [0,039]	1,058 [0,049]
Distància total recorreguda en desplaç. amb Moto	0,060 [0,016]	0,364 [0,080]	A B D E F G H I 22,597 [0,663]	0,077 [0,010]	0,005 [0,018]	0,005 [0,005]	0,073 [0,017]	0,005 [0,002]	0,015 [0,004]
Distància total recorreguda en desplaç. amb Ferroviaris	I 1,426 [0,126]	1,334 [0,308]	0,673 [0,112]	A B C E H I 8,290 [0,164]	3,584 [1,202]	A B C D E G H I 48,563 [0,966]	A B C D E H I 28,956 [0,764]	0,655 [0,037]	0,141 [0,021]
Distància total recorreguda en desplaç. amb Autobús	0,353 [0,050]	0,393 [0,075]	0,168 [0,035]	A B C F G H I 2,730 [0,073]	A B C D F G H I 77,545 [3,157]	A B C H I 1,692 [0,150]	A B C H I 2,159 [0,149]	0,658 [0,027]	0,291 [0,025]
% de desplaçaments a Peu + Bicicleta	7,291 [0,312]	A F 14,589 [0,725]	A F 14,287 [0,664]	A B C E F G 24,528 [0,379]	8,944 [1,429]	8,852 [0,515]	A F 15,929 [0,613]	A B C D E F G 68,733 [0,528]	A B C D E F G 66,346 [0,677]
Densitat de població 2011	4.582,270 [85,047]	A C E F G I 30.230,493 [442,401]	A E F G I 26.758,504 [480,590]	A B C E F G I 33.859,218 [158,983]	A F I 12.605,613 [1.075,986]	A 5.933,333 [190,906]	A E F I 18.916,929 [399,858]	A B C D E F G I 34.875,912 [136,326]	A F 7.751,433 [87,633]
Densitat urbana 2011	14.945,637 [169,883]	A C E F G I 39.308,869 [386,672]	A E F G I 35.603,698 [424,405]	A B C E F G I 42.142,433 [130,239]	A F 22.460,900 [1.140,471]	A 17.985,288 [297,191]	A E F 29.391,358 [380,717]	A C E F G I 43.252,918 [129,861]	A E F 23.590,550 [161,145]
% sòl residencial compacte	81,236 [0,432]	A C E F G I 98,670 [0,224]	A E F G I 96,633 [0,339]	A C E F G I 99,968 [0,002]	A 85,802 [1,503]	A 85,141 [0,558]	A E F 93,543 [0,352]	A C E F G I 99,968 [0,002]	A E F 93,713 [0,204]
IATPC	383,047 [9,891]	A E F G I 4.695,326 [84,995]	A E F G I 4.457,558 [85,768]	A B C E F G H I 5.500,620 [29,829]	A F I 1.905,117 [195,012]	A 668,700 [27,926]	A E F I 3.003,964 [72,135]	A B C E F G I 5.306,084 [27,549]	A 827,208 [10,653]

Notes: La mida relativa dels clústers es dona entre parèntesis sota els títols. Mitjana del grup, error típic (entre claudàtors) i correccions de Bonferroni (cel·la superior). Els resultats es basen en proves bilaterals que assumeixen variàncies iguals amb un nivell de significació 0,01. Utilitzant la correcció de Bonferroni, s'han ajustat les proves per a totes les comparacions.

Font: IERMB

Taula 5.2.3. Caracterització de les variables socioeconòmiques als 9 clústers. Variables categòriques. (c.2011-13)

	Emissors Complaents (13,5%)	Grans Emissors (4,2%)	Emissors Moderats (motoristes) (4,6%)	Viatgeres Netes (21,7%)	Emissors Moderats Resignats (bus) (0,8%)	Viatgers Nets (ferroviaris) (5,8%)	Joves Viatgers Nets (6,7%)	Vianants Urbanes (25,5%)	Vianants Metropolitans (17,3%)	Mitjana mostral
Sexe (Home)	58,9%	71,2%	71,9%	42,7%	45,9%	45,9%	47,4%	40,3%	38,4%	46,6%
Edat										
16-29 anys	13,8%	8,2%	21,6%	11,9%	15,3%	11,7%	93,8%	7,7%	9,3%	16,4%
30-64 anys	79,3%	79,4%	76,4%	83,0%	58,7%	76,7%	5,9%	43,3%	59,9%	62,2%
65 anys i més	6,9%	12,4%	2,0%	5,1%	26,0%	11,6%	0,4%	49,0%	30,8%	21,4%
Situació prof. (Ocupat/da)	72,9%	65,9%	80,2%	73,4%	61,4%	67,7%	11,5%	15,2%	22,0%	45,0%
Estudis oficials acabats										
Sense estudis	1,2%	0,6%	0,3%	0,8%	3,1%	1,7%	0,4%	8,4%	7,2%	3,9%
Estudis primaris	18,2%	20,4%	13,4%	14,8%	27,0%	18,3%	16,7%	41,2%	45,2%	27,8%
Estudis secundaris	37,1%	30,2%	30,3%	30,3%	34,2%	33,5%	64,1%	29,6%	28,7%	33,2%
Estudis superiors	43,3%	48,4%	56,0%	54,0%	33,7%	46,1%	18,8%	20,1%	18,6%	34,7%
Altres	0,0%	0,3%	0,0%	0,1%	2,0%	0,3%	0,0%	0,4%	0,0%	0,2%

Notes: La mida relativa dels clústers es dona entre parèntesis sota els títols. Les xifres ressaltades en negreta i acolorides indiquen una diferència estadísticament significativa en comparació amb la distribució global de la mostra. Es tracta, aleshores, de les característiques més destacades del grup corresponent.

Font: IERMB

Taula 5.2.4. Caracterització d'altres variables d'interès. Variables categòriques. (c.2011-13)

	Emissors Complaents (13,5%)	Grans Emissors (4,2%)	Emissors Moderats (motoristes) (4,6%)	Viatgeres Netes (21,7%)	Emissors Moderats Resignats (bus) (0,8%)	Viatgers Nets (ferroviaris) (5,8%)	Joves Viatgers Nets (6,7%)	Vianants Urbanes (25,5%)	Vianants Metropolitans (17,3%)	Mitjana mostral
Àmbit de residència										
Barcelona	0,87%	64,00%	65,11%	79,30%	23,47%	4,79%	42,51%	71,98%	7,65%	45,94%
Rest a 1a corona	33,11%	28,49%	22,67%	20,23%	26,02%	38,21%	26,03%	27,86%	65,28%	33,65%
2a Corona	26,29%	4,68%	5,27%	0,47%	8,16%	14,57%	8,21%	0,16%	26,12%	10,11%
Rest a RMB	39,72%	2,83%	6,94%	0,00%	42,35%	42,43%	23,25%	0,00%	0,96%	10,30%
Permís de conduir (Sí)										
Cotxe	94,72%	91,76%	89,84%	73,85%	75,76%	68,93%	53,59%	46,53%	60,70%	68,33%
Ciclomotor o motocicleta	40,18%	39,41%	90,54%	29,39%	31,34%	27,60%	19,05%	16,58%	21,83%	27,99%
És propietari o pot fer ús (conduir) (Sí)										
Cotxe	94,11%	90,00%	80,00%	68,24%	76,12%	62,48%	48,31%	43,17%	58,78%	65,34%
Ciclomotor o motocicleta	16,80%	17,06%	94,95%	12,48%	10,45%	9,47%	7,95%	6,02%	8,27%	12,80%
Bicicleta	59,41%	52,49%	64,15%	40,20%	45,59%	44,67%	63,25%	20,27%	33,21%	40,58%
Furgoneta o altres	9,19%	12,32%	10,48%	5,88%	4,55%	3,07%	2,32%	2,95%	4,24%	5,40%

Notes: La mida relativa dels clústers es dona entre parèntesis sota els títols. Les xifres ressaltades en negreta indiquen una diferència estadísticament significativa en comparació amb la distribució global de la mostra; característiques més destacades del grup corresponent.

Font: IERMB

Taula 5.2.5. Caracterització de les variables d'opinió 'Motiu d'ús dels modes de transport'. Variables categòriques. (c.2011-13)

	Emissors Complaents (13,5%)	Grans Emissors (4,2%)	Emissors Moderats (motoristes) (4,6%)	Viatgeres Netes (21,7%)	Emissors Moderats Resignats (bus) (0,8%)	Viatgers Nets (ferroviaris) (5,8%)	Joves Viatgers Nets (6,7%)	Vianants Urbanes (25,5%)	Vianants Metropolitanes (17,3%)	Mitjana mostral
Motius perquè usa el vehicle privat (cotxe, furgoneta, motocicleta)										
Ràpid (Sí)	20,32%	8,78%	15,80%	NA	NA	NA	NA	NA	NA	7,86%
Còmode (Sí)	24,65%	11,60%	11,06%	NA	NA	NA	NA	NA	NA	11,28%
Barat (Sí)	2,71%	1,56%	5,27%	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1,35%
Fàcil aparcar a destí	3,31%	2,34%	8,34%	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2,07%
Motius perquè usa el transport públic										
Ràpid (Sí)	NA	NA	NA	7,97%	7,11%	18,73%	10,08%	8,77%	19,17%	10,89%
Còmode (Sí)	NA	NA	NA	3,14%	6,60%	7,67%	3,56%	3,36%	9,89%	4,89%
Barat (Sí)	NA	NA	NA	2,5%	5,1%	9,0%	7,4%	2,8%	7,6%	4,4%
Difícil aparcar a destí	NA	NA	NA	3,8%	6,6%	10,4%	5,7%	2,8%	9,8%	6,1%

Notes: La mida relativa dels clústers es dona entre parèntesis sota els títols. Les xifres ressaltades en negreta indiquen una diferència estadísticament significativa en comparació amb la distribució global de la mostra; característiques més destacades del grup corresponent.

Font: IERMB

5.3. Localització dels diferents perfils en el territori

Com ja s'ha explicat, en total s'han identificat nou segments sociodemogràfics i d'emissió de contaminants del trànsit a l'àmbit de l'AMB, cadascun amb un perfil únic. Això és coherent amb els resultats d'estudis similars que identifiquen entre quatre i vuit segments rellevants de viatgers⁵⁰. D'entre els segments identificats, els més desafiants des d'una perspectiva de política pública són els usuaris habituals del vehicle privat: els *Emissors Complaents* (13,5%), els *Grans Emissors* (4,2%) i els *Emissors Moderats (motoristes)* (4,6%). Els ***Emissors Complaents*** són un grup força nombrós d'usuaris del cotxe, amb unes emissions totals molt per sobre de la mitjana mostral (el 49% de les quals es realitzen en trama urbana). Aquests conductors prefereixen el cotxe per la seva comoditat i rapidesa. Els ***Grans Emissors (conductors urbans de llarga distància)*** són un grup petit, però la seva petjada personal és la més gran. No obstant això, el 65% de les emissions que fan són fora la trama urbana. Aquests viatgers agafen el cotxe o la furgoneta per la rapidesa, la comoditat, i la manca d'oferta o l'oferta inadequada de transport públic per cobrir el trajecte. Els ***Emissors Moderats (motoristes urbans)*** tenen una petjada per sobre de la mitjana mostral, i utilitzen la motocicleta per la rapidesa, la facilitat d'aparcar a destí i perquè és un mitjà relativament barat.

En general, els resultats del present estudi proporcionen una imatge més precisa del perfil d'emissió lligat a la mobilitat quotidiana dels residents de l'RMB que fan emissions a l'àmbit de l'AMB, les seves característiques socioeconòmiques i la seva ubicació territorial i d'accés a alternatives de transport públic. Aquesta informació és força útil per al disseny de polítiques públiques de restricció de les emissions derivades del transport. Més important encara, s'han analitzat els motius pels quals els segments es decideixen a usar els diferents mitjans de transport. És a dir, les actituds cap als modes privats (cotxe o motocicleta) i el transport públic. Aquesta informació és fonamental per dissenyar serveis de transport públic que satisfacin les necessitats dels segments *target*, tot captant els usuaris del vehicle privat. Per tant, finalitzem aquesta part de l'estudi reflexionant sobre com els resultats de les anàlisis de classificació poden ser útils per al disseny d'intervencions més personalitzades i efectives.

La mida de cada segment és el primer resultat rellevant per al disseny d'intervencions. Aquests resultats es poden cartografiar a diferents escales geogràfiques, des de la del conjunt de l'AMB, fins a la municipal o per zones de transport. La distribució al territori dels nou segments, juntament amb la comprensió de les preferències actitudinals i de les característiques socioeconòmiques, és una informació potent per als planificadors del transport, per tal de determinar el tipus de servei que cal comercialitzar a cada àrea geogràfica. D'altra banda, la informació geogràfica dels emissors es pot contrastar amb la dels receptors de la contaminació (la població exposada) i amb la incidència d'afeccions a la salut, per tal de contrastar la hipòtesi que els beneficis i les càrregues del transport no es distribueixen de manera justa a l'àrea metropolitana de Barcelona. Això s'explicarà a l'Apartat 7.

⁵⁰ Anable, J., 2005. 'Complacent Car Addicts' or 'Aspiring Environmentalists'? Identifying travel behaviour segments using attitude theory. *Transport Policy* 12:65–78.

Beirão, G., Sarsfield-Cabral, J., 2008. Market segmentation analysis using attitudes toward transportation: exploring the differences between men and women. *Transportation Research Record* No. 2067, pp. 56–64.

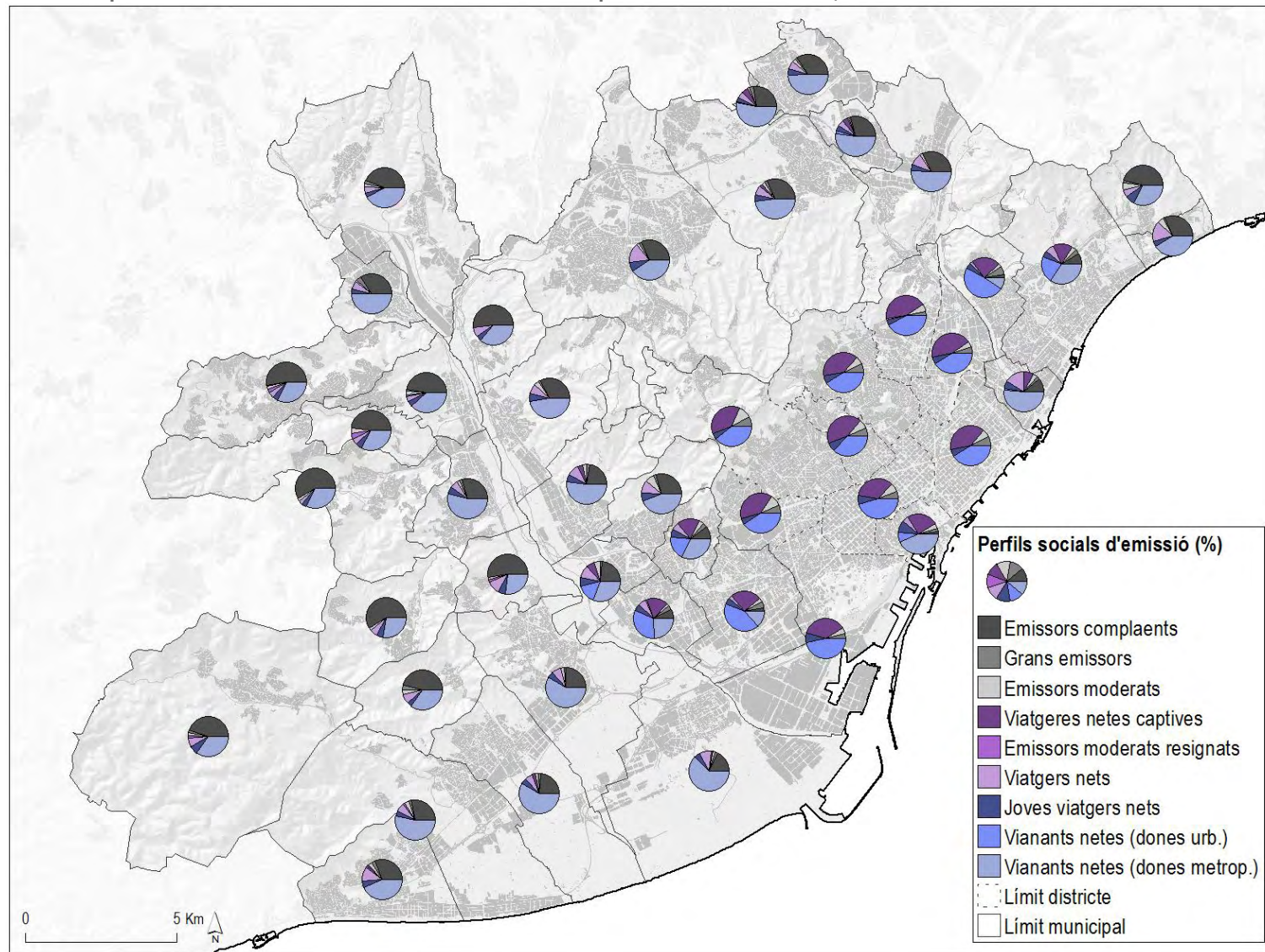
Diana, M., Mokhtarian, P.L., 2009. Desire to change one's multimodality and its relationship to the use of different transport means. *Transportation Research Part F* 12:107–119.

Krizek, K.J., 2006. Lifestyles, residential location decisions, and pedestrian and transit activity. *Transportation Research Record* No. 1981, pp. 171–178.

Shiftan, Y., Outwater, M.L., Zhou, Y., 2008. Transit market research using structural equation modeling and attitudinal market segmentation. *Transport Policy* 15:186–195.

Tot seguit es presenten els mapes amb la distribució als municipis de l'AMB i els districtes de Barcelona de cadascun dels nou segments d'emissors identificats (Mapa 5.3.1), i en específic dels *Emissors Complaents* (Mapa 5.3.2), dels *Grans Emissors* (Mapa 5.3.3) i dels *Emissors Moderats (motoristes)* (Mapa 5.3.4); els usuaris del vehicle privat. Tot i que les anàlisis s'han fet per tots els residents a l'RMB que es desplacen per l'AMB, a continuació només es presenten les dades dels diferents perfils per l'àmbit de l'AMB.

Mapa 5.3.1. Distribució als municipis de l'AMB i els districtes de Barcelona dels nou perfils socials d'emissió; 2011/13.



Font: IERMB

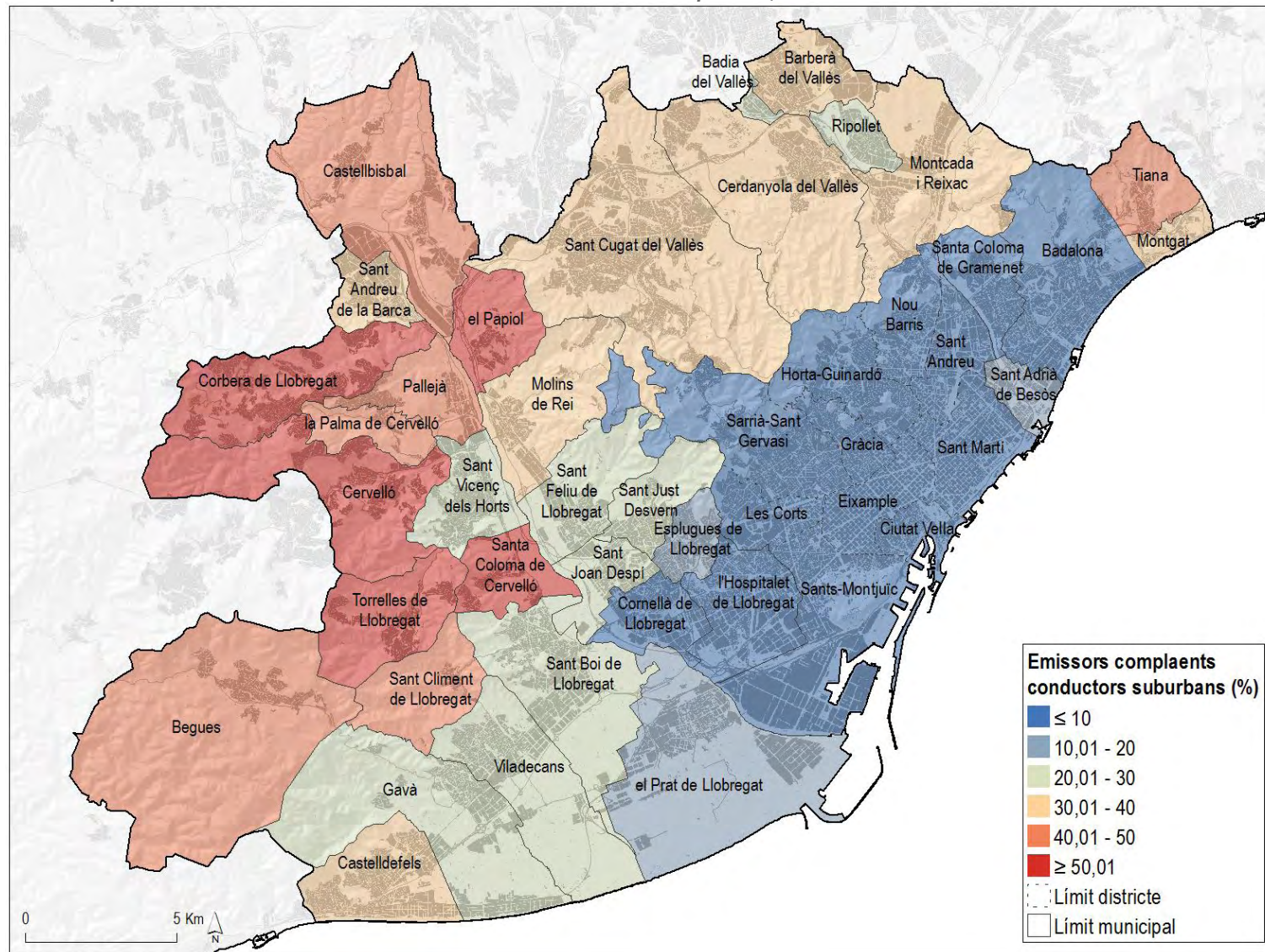
El Mapa 5.3.1 mostra clarament una distribució desigual dels diferents perfils en el territori quan es desagrega a escala municipal. Barcelona i els municipis més compactes del continu urbà són els que presenten un pes més elevat de les vianants netes i dels perfils que més utilitzen el transport públic, mentre que els municipis de la segona corona metropolitana, tot i tenir també un pes important dels perfils de les vianants, destaquen pel pes relatiu del grup dels **Emissors Complaents**.

Si es miren en més detall les dades, en particular dels usuaris del vehicle privat, els **Emissors Complaents** (Mapa 5.3.2) és un segment dominant als municipis de l'AMB de la primera, i especialment de la segona corona, amb l'excepció dels municipis que formen el continu urbà de Barcelona: Badalona, Barcelona, Cornellà de Llobregat, Esplugues de Llobregat, L'Hospitalet de Llobregat, Sant Adrià de Besòs i Santa Coloma de Gramenet. Així doncs, aquests usuaris es concentren en municipis de densitats relativament baixes i amb un baix índex d'accessibilitat al transport públic.

Els **Grans Emissors**, en canvi, es concentren als municipis de Santa Coloma de Gramenet i Barcelona, als districtes de L'Eixample, Sants-Montjuïc, Les Corts, Sarrià-Sant Gervasi, Gràcia, Horta-Guinardó, Nou Barris, Sant Andreu i Sant Martí, probablement perquè disposen de bones connexions per carretera (Mapa 5.3.3).

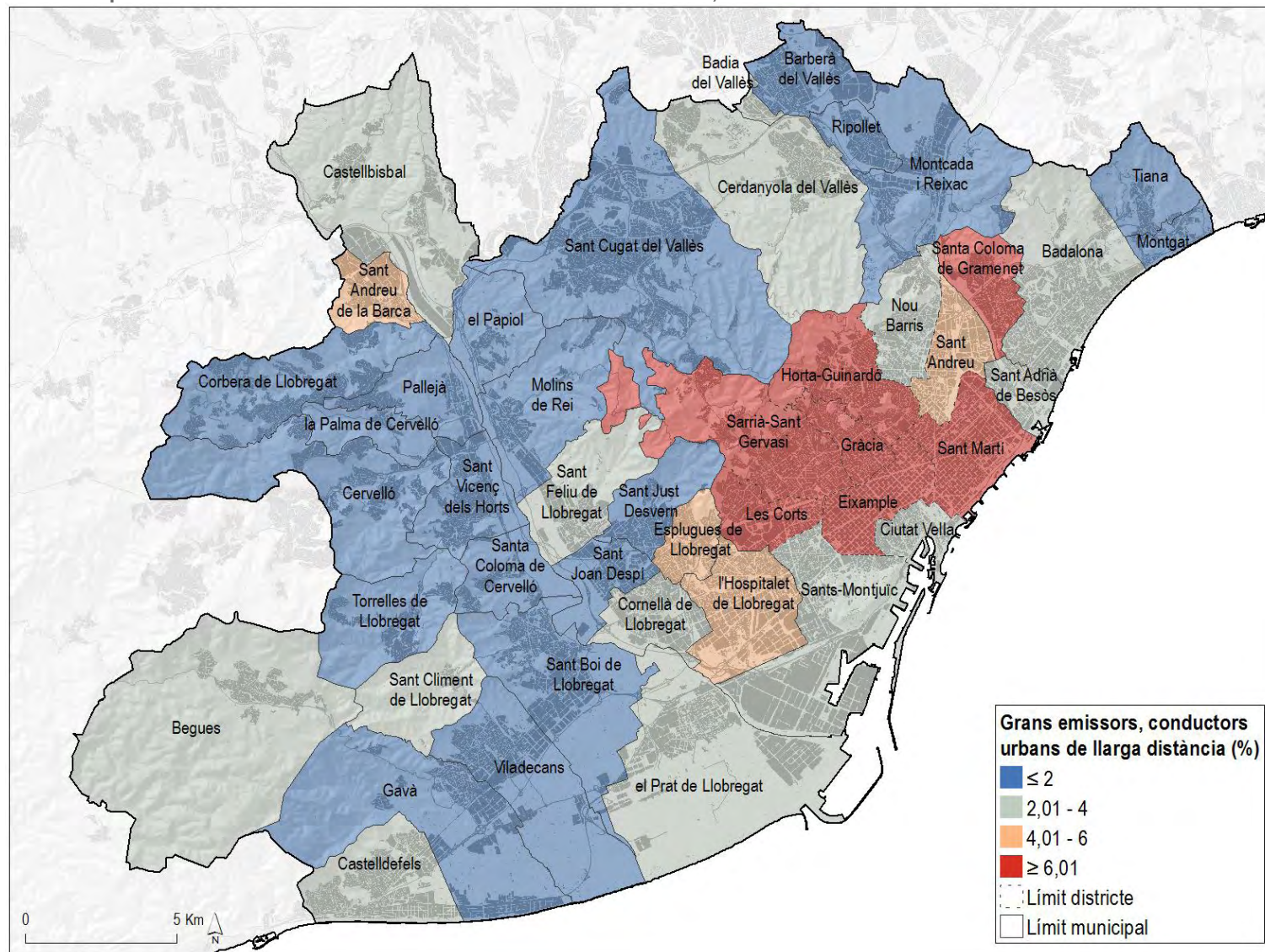
Finalment, els **Emissors Moderats (motoristes urbans)** es concentren de manera significativa al municipi de Barcelona, i coincideix que es tracta de residents als mateixos districtes que el grup anterior, però amb la diferència que els motoristes recorren distàncies molt més curtes (Mapa 5.3.4).

Mapa 5.3.2. Distribució als municipis de l'AMB i els districtes de Barcelona dels *Emissors Complaents*; 2011/13.



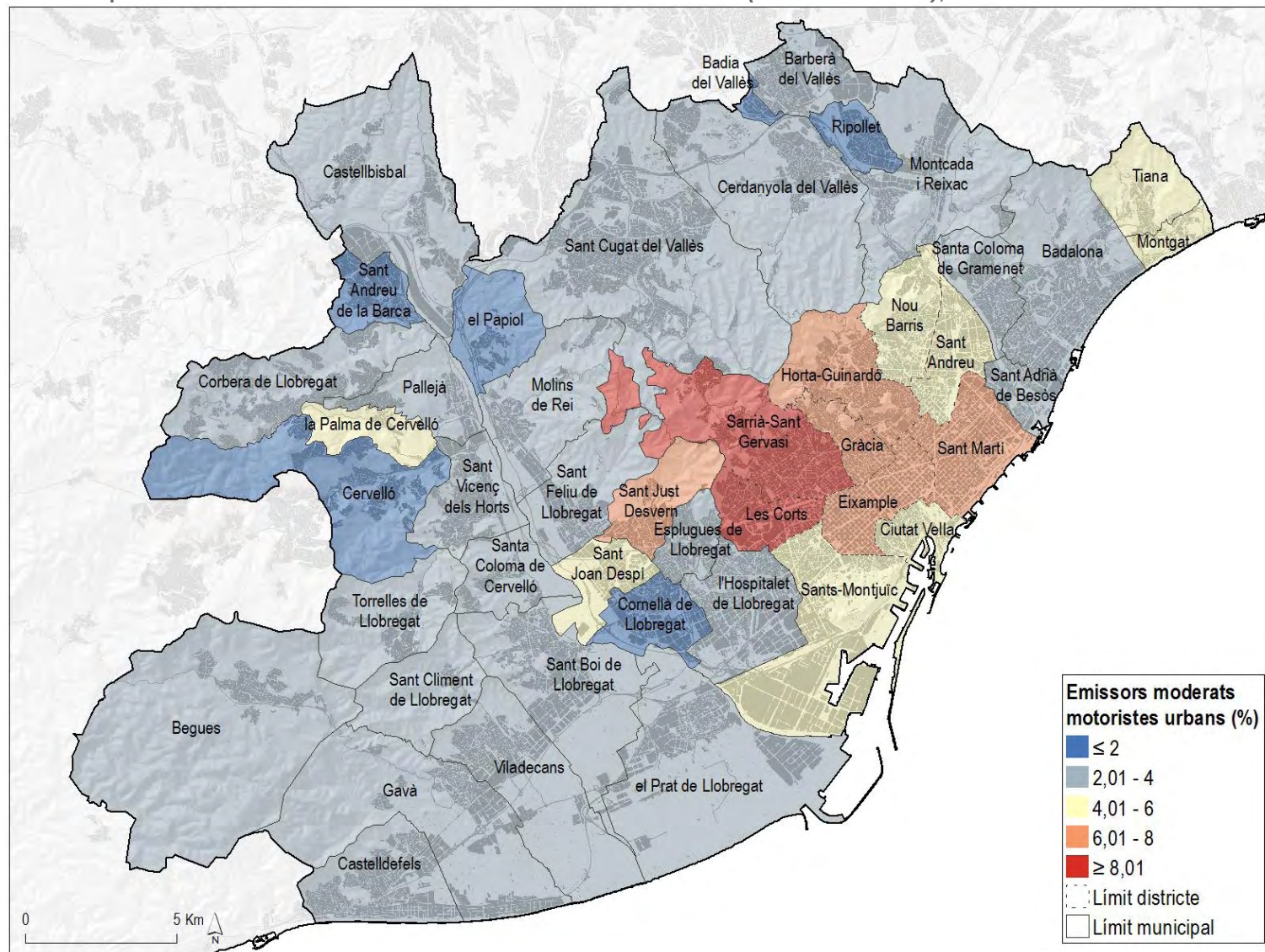
Font: IERMB

Mapa 5.3.3. Distribució als municipis de l'AMB i els districtes de Barcelona dels *Grans Emissors*; 2011/13.



Font: IERMB

Mapa 5.3.4. Distribució als municipis de l'AMB i els districtes de Barcelona dels *Emissors Moderats (motoristes urbans)*; 2011/13.



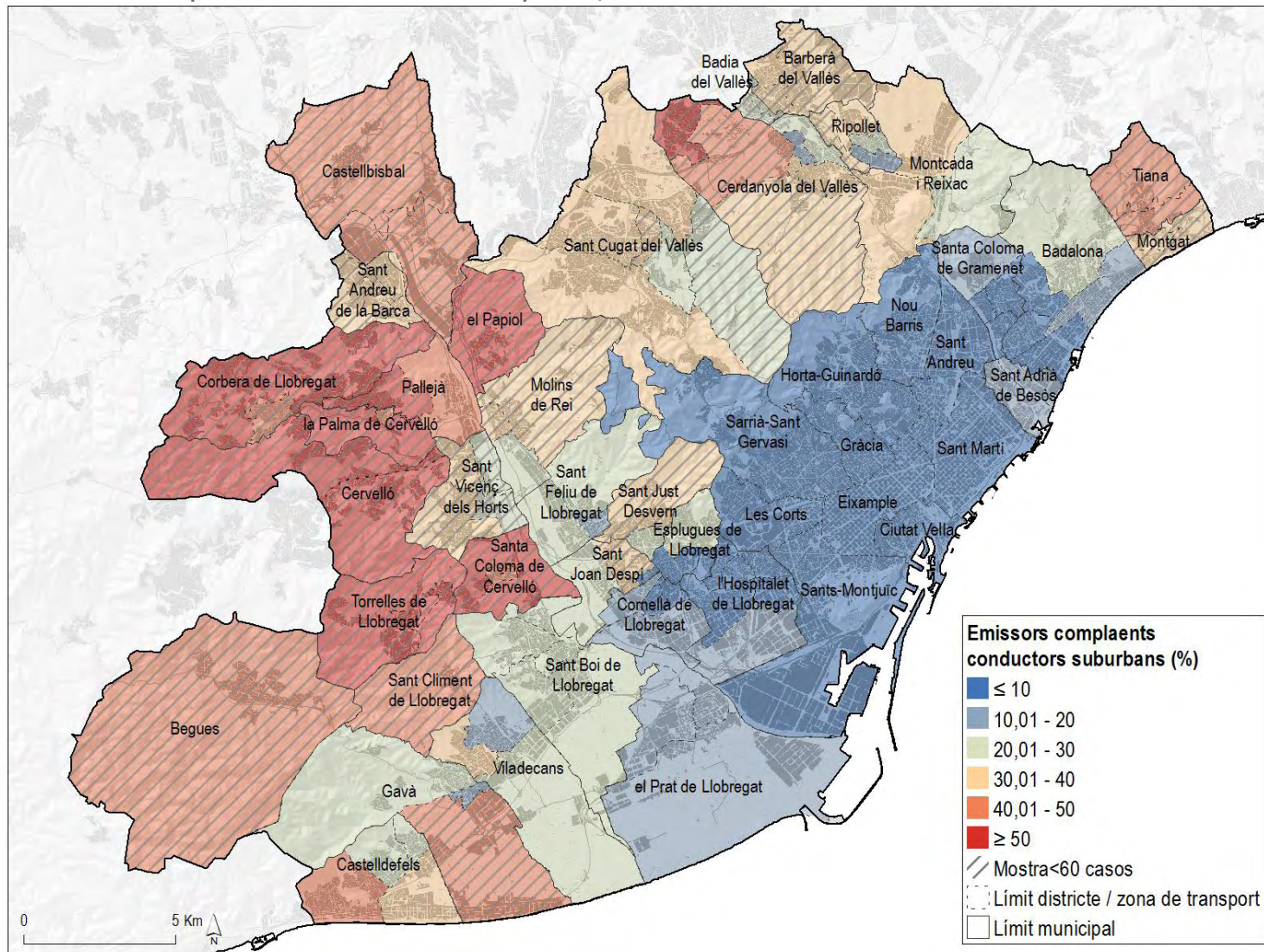
Font: IERMB

Els usuaris del transport públic es divideixen en quatre segments amb trets diferents. La distribució de cadascun d'aquests segments varia en funció del municipi i districte de residència (Mapa 5.3.2). Les **Viatgeres Netes (captives urbanes del transport públic)** són les residents a Barcelona ciutat. La seva presència és estadísticament significativa a tots els districtes de la ciutat, excepte a Ciutat Vella, on en canvi es localitzen els usuaris dels modes ferroviaris: els **Viatgers Nets (usuaris/es dels modes ferroviaris)** i els **Joves Viatgers Nets (captius/lives del transport públic)**. Aquest darrer grup també és present a L'Eixample i a Sants-Montjuïc, ambdós districtes amb connexió amb els trens de Renfe i de FGC. L'altre grup d'usuaris del transport públic, els **Emissors Moderats Resignats (usuaris suburbans del bus)**, també amb unes emissions personals totals per sobre de la mitjana mostrada, es localitzen significativament a uns pocs municipis de l'AMB: Castelldefels, Corbera de Llobregat, Gavà, i sobretot a La Palma de Cervelló.

Finalment, es troben els dos segments de vianants, que també presenten una distribució desigual en funció del municipi (Mapa 5.3.2). Les **Vianants Urbanes**, que es concentren a Barcelona, i les **Vianants Metropolitanas**, presents a la resta de municipis de l'AMB. Tot i la marcada divisió territorial, els grups no arriben a ser del tot purs, i es donen casos on l'alineació amb un dels dos segments té més a veure amb els trets demogràfics i socioeconòmics de les persones.

A més de la distribució dels segments als municipis de l'AMB i els districtes de Barcelona, també es proporciona informació sobre la distribució a cada zona de transport. Les zones de transport es defineixen d'acord amb la mida relativa dels municipis i les infraestructures de transport. Les dades de la BBDDM 2011/13 es divideixen en 116 zones de transport a l'àmbit de l'AMB. La ubicació dels segments a les 116 zones de transport a l'àmbit de l'AMB es mostra als Mapa 5.3.5 a Mapa 5.3.7.

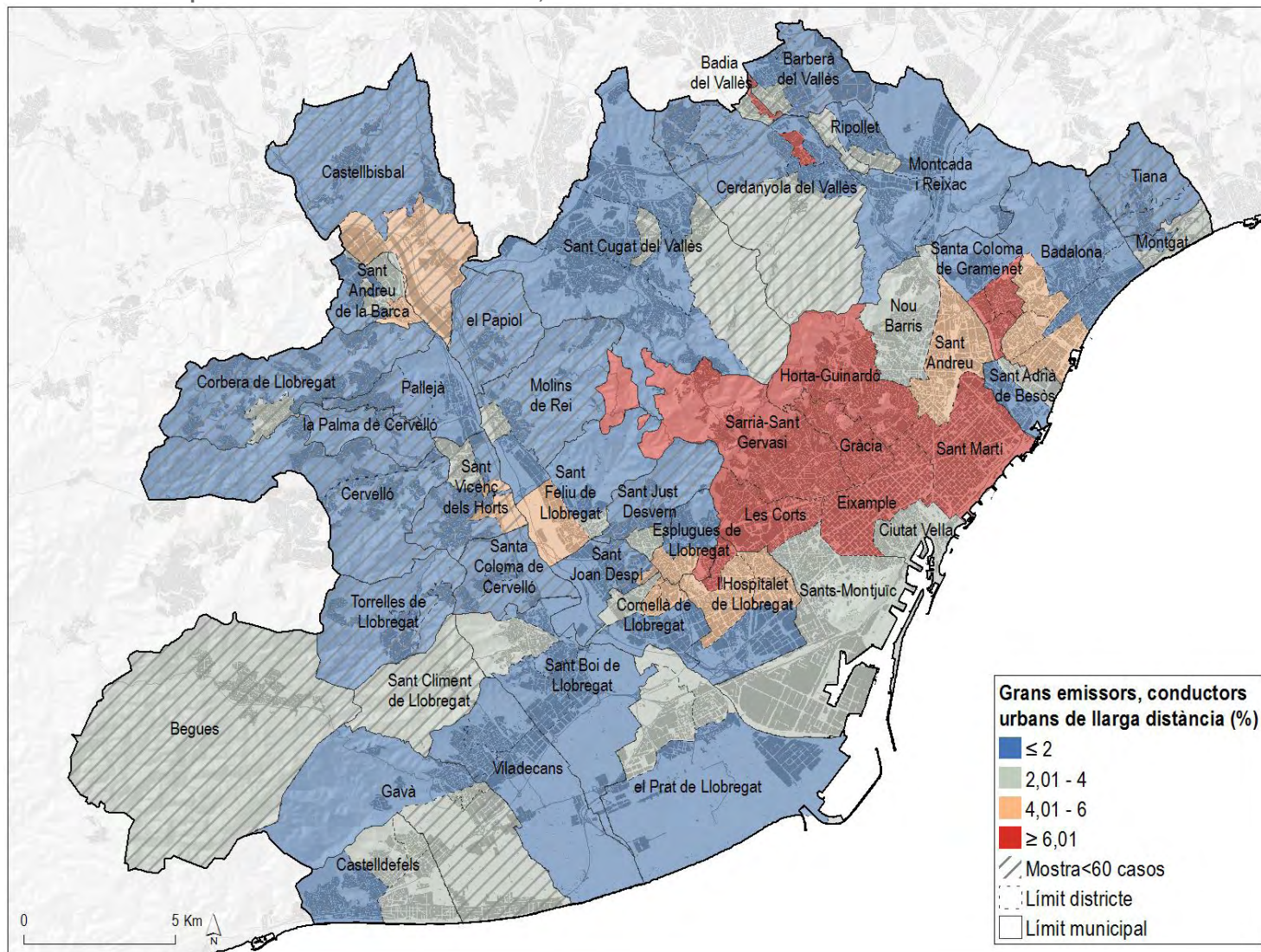
Mapa 5.3.5. Distribució a les zones de transport de l'AMB dels *Emissors Complaents*; 2011/13.



Nota: Quan la mostra és més petita de 60 casos es presenta amb una trama diferent

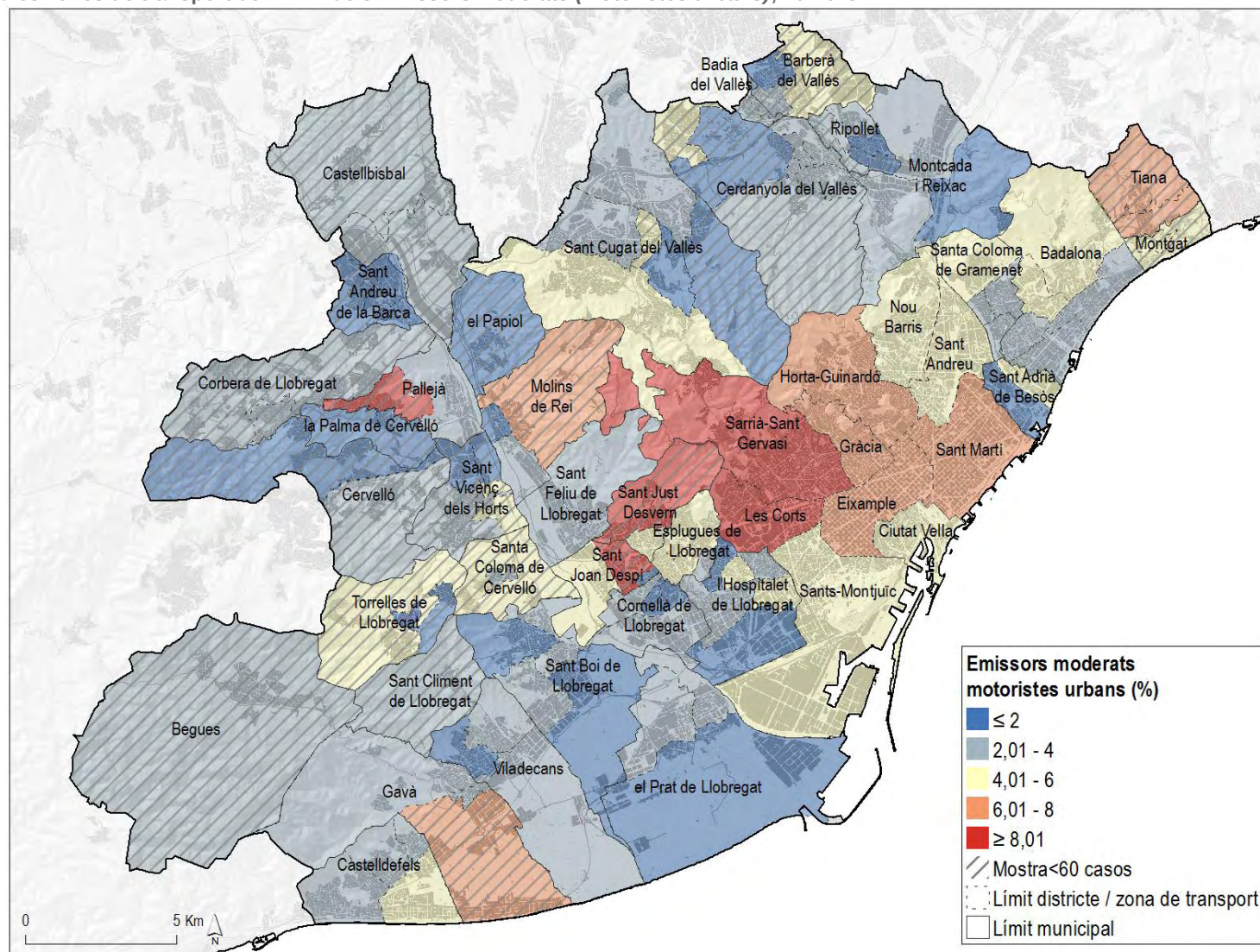
Font: IERMB

Mapa 5.3.6. Distribució a les zones de transport de l'AMB dels *Grans Emissors*; 2011/13.



Nota: Quan la mostra és més petita de 60 casos es presenta amb una trama diferent
 Font: IERMB

Mapa 5.3.7. Distribució a les zones de transport de l'AMB dels *Emissors Moderats (motoristes urbans)*; 2011/13.



Nota: Quan la mostra és més petita de 60 casos es presenta amb una trama diferent

Font: IERMB

La visualització de la distribució dels perfils d'usuaris del vehicle privat (els més contaminants) a escala inframunicipal (de zona de transport) ens permet copsar diferències dins un mateix municipi, de manera que s'obté una informació més precisa de les ubicacions on es necessiten focalitzar les intervencions. En aquests indrets és on caldria millorar la provisió d'alternatives al vehicle privat que siguin competitives, i adequar-les a les necessitats de mobilitat i les preferències de la població resident. D'altra forma resultaria més complicat, i probablement més costós, el disseny i la implementació d'estratègies de mobilitat sostenible.

Quant a les opcions de política pública per canviar el comportament modal i d'emissió dels grups més contaminants, a la Taula 5.3.1 s'esbossen les possibles intervencions a partir del que indiquen els resultats de les anàlisis. El valor real de les anàlisis de classificació rau en la possibilitat de traduir els resultats en estratègies assolibles, tot utilitzant la informació recollida per a orientar les decisions (Anable, 2005). La Taula 5.3.1 defineix cada segment en funció del seu potencial de canvi modal i d'emissions associades, i identifica alguns factors que es poden considerar indicatius de la susceptibilitat de reduir l'ús del vehicle privat o dels principals obstacles al canvi. Els dos segments de vianants, amb unes emissions gairebé nul·les, s'exclouen d'aquesta taula per raons òbvies.

Taula 5.3.1. Possibles intervencions per influir en el comportament modal i d'emissió de cada segment.

Segment	Emissions	Emissions en trama urbana	Mode actual	Accés a alternatives	Impulsors del comportament actual	Potencial de canvi	Següent millor opció	Possibles intervencions
Emissors Complaents	1,69 g PM/dia	49,40%	Cotxe i/o furgoneta	Molt baix	Comoditat i rapidesa	Molt baix	Modes ferroviaris	Es beneficiarien de millora de l'oferta de transport públic i d'opcions de P&R
Grans Emissors	3,62 g PM/dia	35,10%	Cotxe i/o furgoneta (llargues distàncies)	Elevat	Comoditat i rapidesa*	Baix	Autobús d'empresa o modes ferroviaris (trens mitja distància i FGC)	Es beneficiarien del desenvolupament de plans de mobilitat específics (i d'empresa) per a polígons industrials i zones d'activitat econòmica
Emissors Moderats (motoristes)	1,06 g PM/dia	86,60%	Motocicleta	Elevat	Rapidesa, facilitat d'aparcar a destí i barat	Molt baix	Metro i bicicleta	La regulació de l'aparcament de motocicletes a la via pública podria ésser determinant
Viatgeres Netes	0,26 g PM/dia	96,50%	Modes ferroviaris i autobús	Elevat	Ràpid i difícil aparcar a destí*	Moderat	Bicicleta	Es beneficiarien de millores dels serveis de transport públic i del reforç dels aspectes positius d'usar la bicicleta
Emissors Moderats Resignats (bus)	1,52 g PM/dia	91,40%	Autobús interurbà	Baix	Ràpid i difícil aparcar a destí*	Molt baix	Modes ferroviaris (trens de Rodalies i FGC)	Es beneficiarien d'una millor cobertura dels serveis de tren i FGC, i del desenvolupament de plans de mobilitat específics (i d'empresa) per a polígons industrials i zones d'activitat econòmica
Viatgers Nets (ferroviaris)	0,35 g PM/dia	98,30%	Modes ferroviaris	Molt baix	Rapidesa i barat	Molt baix	--	Es beneficiarien de millores dels serveis de trens de rodalies i FGC
Joves Viatgers Nets	0,34 g PM/dia	93,00%	Modes ferroviaris	Moderat	Barat	Molt baix	--	Es beneficiarien de millores dels serveis de trens de Renfe i FGC

Nota: (*) Diferències estadísticament no significatives respecte de la mitjana mostral pel que fa als motius d'ús dels modes privats i del transport públic
Font: IERMB inspirada per Anable (2005)

6 ELS 'RECEPTORS': POBLACIÓ EXPOSADA I EFECTES SOBRE LA SALUT

Es realitza per a l'àmbit de l'AMB una avaluació quantitativa dels impactes a la salut derivats de l'exposició a altes concentracions de diòxid de nitrogen (NO_2) i de partícules en suspensió de menys de 2,5 micròmetres de diàmetre ($\text{PM}_{2,5}$). L'àrea d'estudi compren un total de 2.145 seccions censals dels 36 municipis que conformen l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB). L'any d'estudi és el 2014 (escenari base del Pla Metropolità de Mobilitat Urbana, PMMU). Per més informació sobre la metodologia es pot consultar a l'Apartat 3.2.

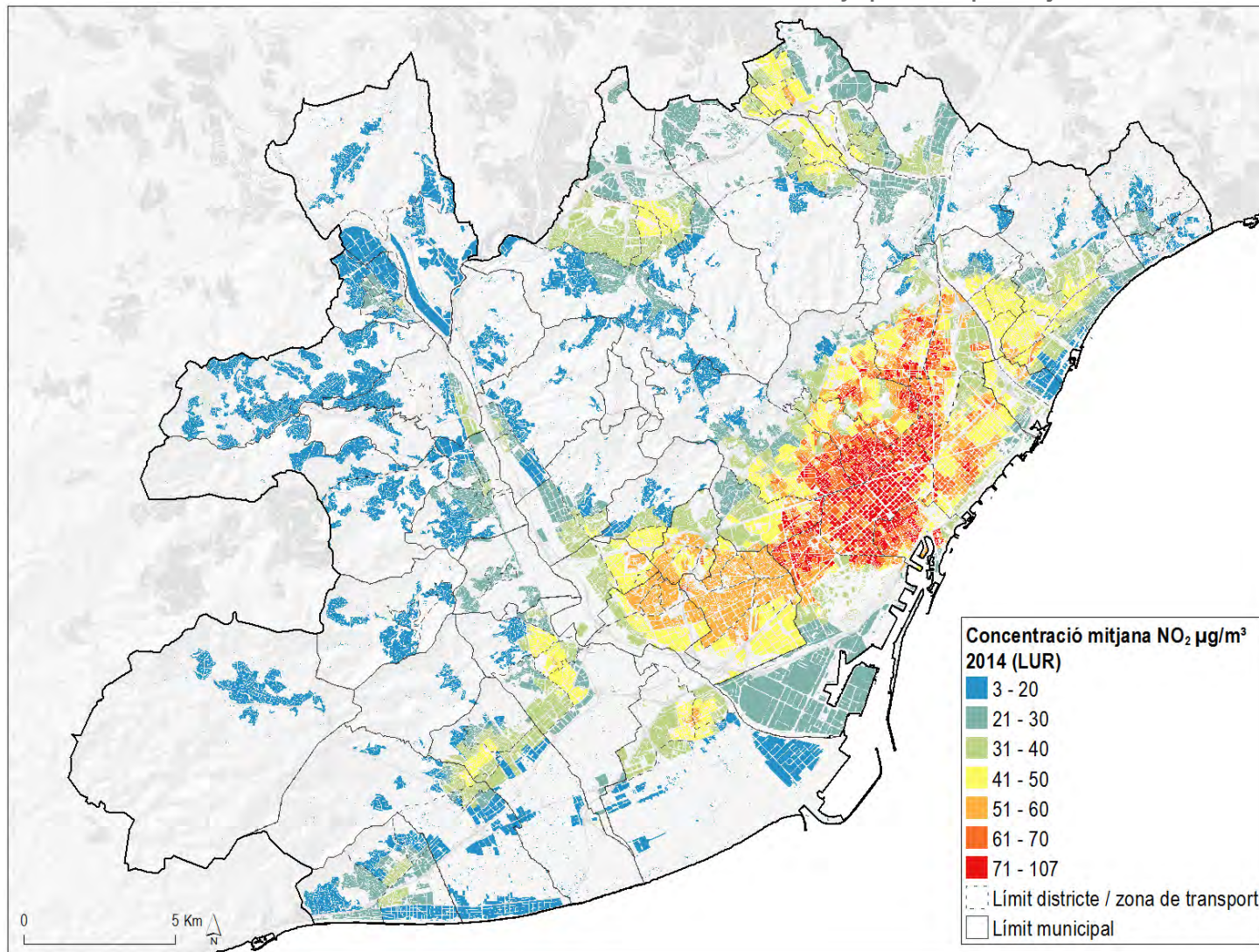
En primer lloc s'estimen els valors mitjans de concentració d' NO_2 i de $\text{PM}_{2,5}$ a cada secció censal utilitzant el model LUR combinat (LUR Catalunya + LUR Barcelona, escalats per a l'any 2014). A continuació s'avaluen els impactes en la salut de la població resident.

6.1. Mesura de l'exposició

Els valors obtinguts de l'aplicació per separat dels models LUR Barcelona i LUR Catalunya es mostren a la Taula 3.2.4 i al Mapa 6.1.1. El model Barcelona presenta valors més elevats tant d' NO_2 com de $\text{PM}_{2,5}$. Això és degut al fet que, en ser un model específic per a una ciutat densa, captura molt més l'efecte del trànsit i menys el de les zones amb àrees verdes o naturals, tal com demostren les variables incloses als models (vegeu la Taula 3.2.2). Així doncs, el model Barcelona permet representar millor els nivells més elevats de la ciutat, mentre que el model Catalunya permet captar millor les àrees menys influenciades pel trànsit a les zones suburbanes i més rurals de la resta de l'AMB.

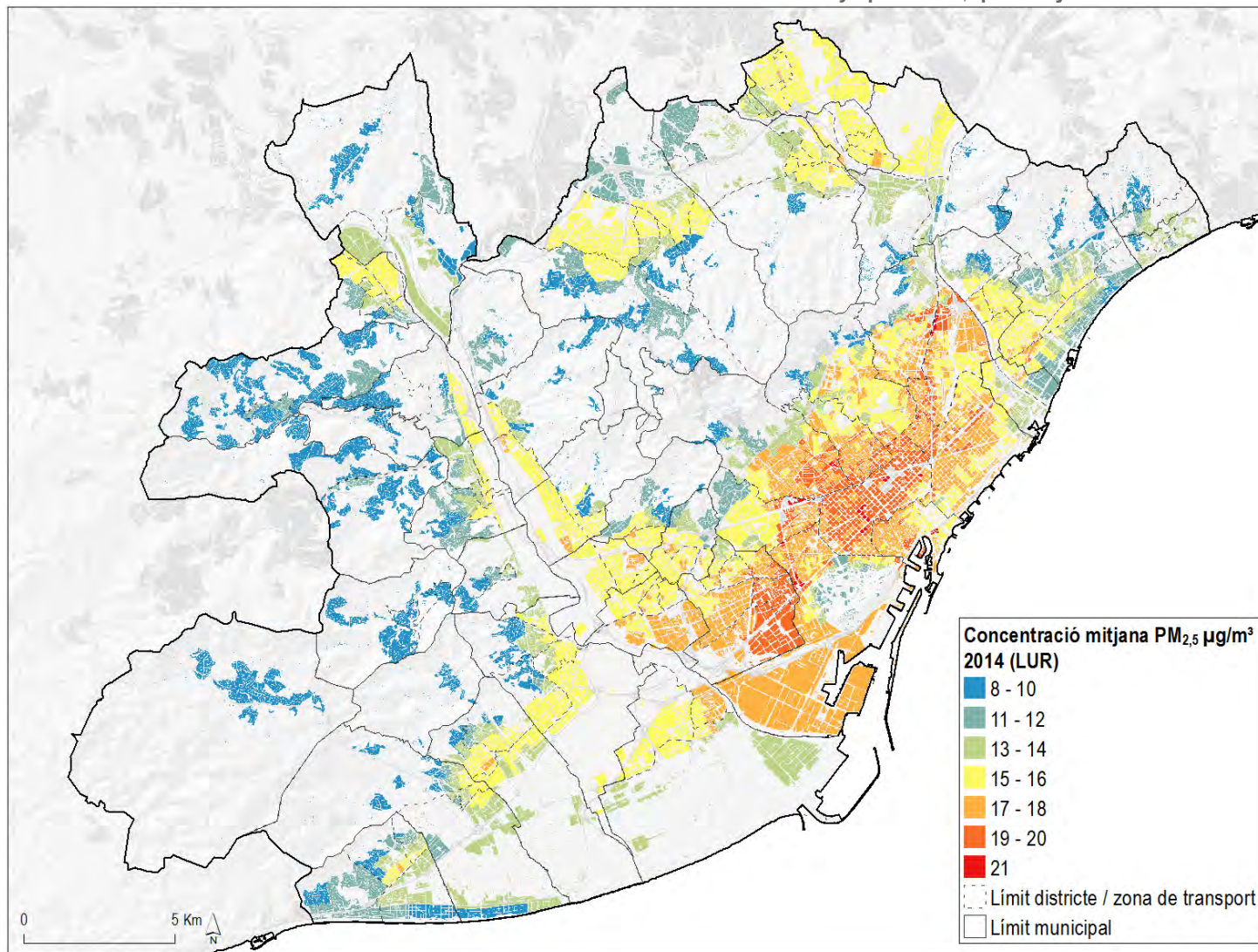
Per a aquest estudi s'ha emprat una combinació de les estimacions escalades per l'any 2014, que aplica a les seccions censals dins el municipi de Barcelona ($N=1.061$) el model específic per a Barcelona, mentre que les estimacions per les seccions censals de la resta dels municipis de l'AMB ($N=1.084$) s'obtenen amb el model específic LUR Catalunya, tal com mostra la Taula 3.2.3 i a la Taula 3.2.5. Tot seguit es mostren els mapes amb la distribució territorial de les concentracions d' NO_2 i de $\text{PM}_{2,5}$ estimades per l'any 2014 (Mapa 6.1.1 i Mapa 6.1.2, respectivament). Les concentracions de contaminants locals (NO_2 i $\text{PM}_{2,5}$) són màximes a Barcelona i als municipis del continu urbà, els municipis més densament poblats. També són elevades als voltants de les vies principals (per exemple, entorn de l'eix Llobregat).

Mapa 6.1.1. Concentracions de contaminants. Estimacions del model combinat LUR Barcelona i LUR Catalunya per a NO₂ per l'any 2014



Font: IERMB a partir de dades de l'ISGlobal

Mapa 6.1.2. Concentracions de contaminants. Estimacions del model combinat LUR Barcelona i LUR Catalunya per a $PM_{2,5}$ per l'any 2014

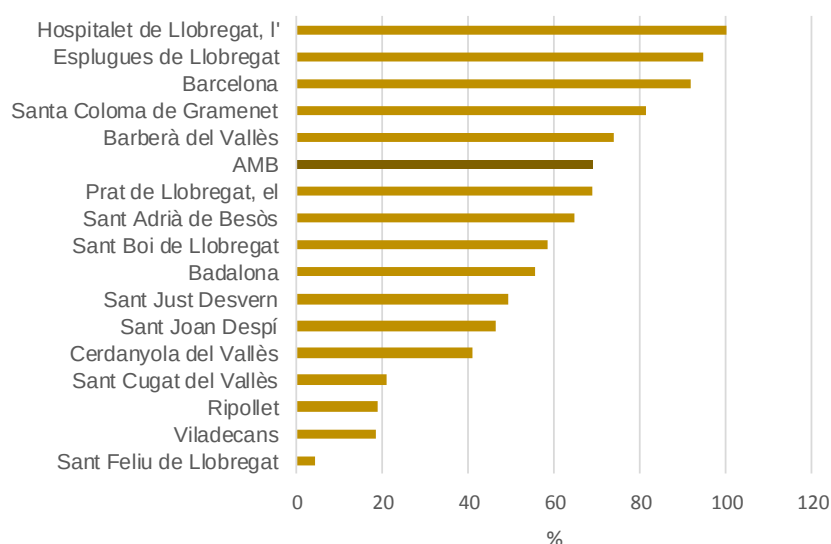


Font: IERMB a partir de dades de l'ISGlobal

6.2. Població exposada a la contaminació

En aquest apartat s'analitza la distribució territorial de la població exposada a nivells de contaminants (NO_2 i $\text{PM}_{2.5}$) nocius per a la salut (per sobre dels límits i objectius que fixa l'OMS). Els resultats d'aquesta comparativa es presenten en termes percentuals (grau d'afectació) i a escala municipal (Gràfic 6.2.1, Gràfic 6.2.2 i Gràfic 6.2.3). És a dir, el % dels habitants d'un municipi exposats a nivells nocius de contaminació. D'aquesta manera els resultats són comparables entre els diferents municipis de l'AMB. Els resultats obtinguts a partir dels models LUR d'estimació de les concentracions de contaminants evidencien les grans diferències entre els municipis de l'AMB. Diferències visibles al primer cop d'ull.

Gràfic 6.2.1. Població exposada a concentracions de NO_2 (mitjana anual) per sobre dels $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Valor límit establert per la UE) al conjunt de municipis de l'AMB. 2014.



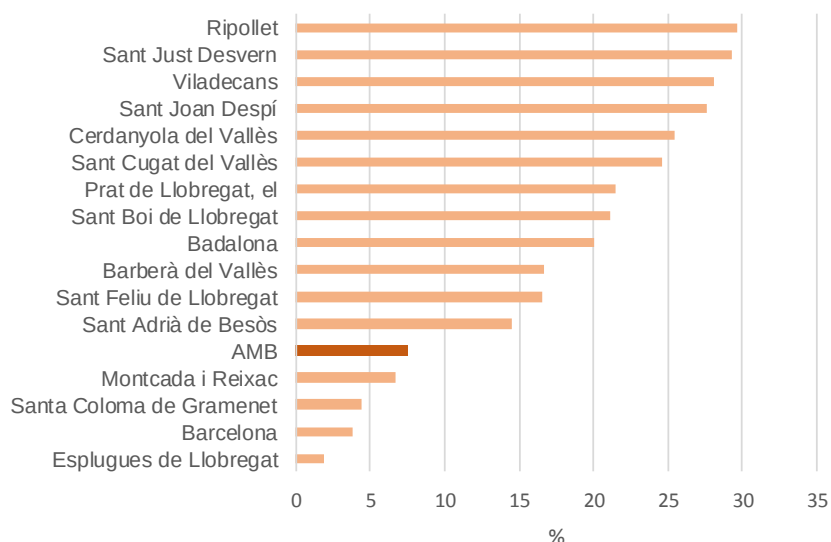
Font: IERMB a partir de ISGlobal. Model LUR

Quant a la distribució de la població exposada a NO_2 (Gràfic 6.2.1), els municipis de l'AMB amb un grau d'afectació més elevat són, de més a més, on es concentra la major part de la població. Es tracta dels municipis contigus a Barcelona i de Barcelona ciutat. Destaca el cas de L'Hospitalet de Llobregat, on el 100% de la població respira aire contaminat a uns nivells per sobre dels recomanats ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de mitjana anual). A més de L'Hospitalet, Esplugues de Llobregat, Barcelona (el gran pol d'atracció de la mobilitat), Santa Coloma de Gramenet i el municipi de Barberà de Vallès, el més densament poblat de la segona corona metropolitana, tots se situen per sobre de la mitjana de l'àrea metropolitana, que és prou elevada (aproximadament d'un 70% de la població metropolitana exposada a nivells per sobre dels $40 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$).

Fixar un límit (legal) de $40 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ de mitjana anual no exclou que en els territoris on la mitjana anual se situï a prop del límit de seguretat fixat (per exemple, $39,9 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$) no hi hagin afectacions. Per aquest motiu s'ha volgut mostrar també els municipis amb població exposada a valors de contaminació entre 35 i $40 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ (Gràfic 6.2.2). Els resultats obtinguts mostren un seguit de municipis metropolitans amb una proporció considerable (entre el 25% i el 30%) de la seva població exposada a valors d' NO_2 propers al límit de seguretat, entre els quals Ripollet, Sant Just Desvern, Viladecans, Sant Joan Despí o Cerdanyola del Vallès. A més, en municipis com Barcelona, Santa Coloma de Gramenet

o Esplugues de Llobregat, on més del 80% de la població ja està exposada a concentracions superiors als $40 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$, resulta que la resta pateix nivells de contaminació en aquest rang dels $35\text{-}40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

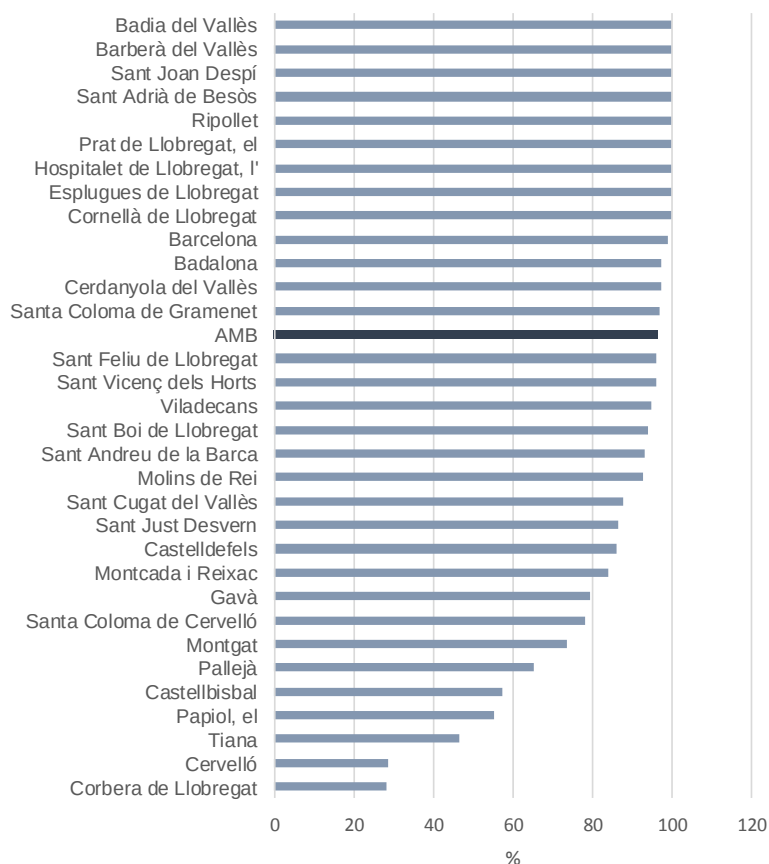
Gràfic 6.2.2. Població exposada a concentracions de NO_2 (mitjana anual) entre 35 i $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ al conjunt de municipis de l'AMB. 2014.



Font: IERMB a partir de ISGlobal. Model LUR

A continuació, s'analitza la distribució territorial de la població exposada a nivells de $\text{PM}_{2.5}$ superiors a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de mitjana anual (Gràfic 6.2.3). En aquest cas, la mitjana de l'àrea metropolitana és força elevada, gairebé del 100% de la població exposada a nivells nocius de $\text{PM}_{2.5}$. En part, això explica que la gamma de municipis amb un grau d'afectació per sobre de la mitjana metropolitana sigui tan variada i inclogui, tant municipis del continu urbà de Barcelona, com de la primera i de la segona corones metropolitanes. A més, s'ha de remarcar que ja de per si hi ha una concentració basal de partícules en suspensió. Tot i que, com s'ha evidenciat, a l'àrea metropolitana de Barcelona el transport contribueix a les emissions de PM en un 75% (vegeu també l'informe de l'IERMB, 2016).

Gràfic 6.2.3. Població exposada a concentracions de PM_{2,5} (mitjana anual) per sobre dels 10 µg/m³ (Valor límit establert per l'OMS) al conjunt de municipis de l'AMB. 2014.



Font: IERMB a partir de ISGlobal. Model LUR

Com a apunt final, remarcar de nou que les estimacions de la població exposada a concentracions superiors a 40µg NO₂/m³ i a 10 µg PM_{2,5}/m³ s'han obtingut a partir de models del tipus LUR, i no de models meteorològics de dispersió de contaminants com els que publica el Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya. En aquest sentit, s'espera que hi hagi diferències entre les estimacions d'uns i d'altres, perquè les metodologies i les dades d'entrada als models també són diferents (vegeu l'explicació a l'Apartat 3.2.2). Així doncs, s'ha fet l'exercici extra de comparar els resultats de població exposada per a l'àmbit de l'AMB del dos tipus de models, LUR *versus* el model de dispersió de la Generalitat de Catalunya, per als anys disponibles més propers entre ells (Taula 6.2.1). En termes de percentatge de població exposada a nivells superiors a 40 µg/m³, no hi ha molta diferència entre els dos models i anys: 71% LUR 2009 vs. 72% Gencat 2008. Altra cosa diferent són les ubicacions d'aquesta població, que això sí que variaria més. Les diferències entre els models i anys LUR 2014 vs. i Gencat 2015, en canvi, sí que són grans: 72% vs. 45%, respectivament.

Taula 6.2.1. Comparativa del percentatge de població exposada a concentracions d'NO₂ (mitjana anual) per sobre dels 40 µg/m³ amb els models LUR *versus* els models de dispersió de la Generalitat de Catalunya.

LUR 2009	Gencat 2008	LUR 2014	Gencat 2015
70,72%	71,57%	71,82%	45,27%

Font: ISGlobal i IERMB

6.3. Efectes en la salut de la població exposada

Les estimacions realitzades són que el nombre de casos anuals de mort associats amb els nivells de $PM_{2,5}$ l'any 2014 és de 1.879 al conjunt de municipis de l'AMB, dels quals 1.089 casos (el 70%) succeeixen al municipi de Barcelona. Quant a l' NO_2 , el nombre de casos de mort anuals associats a aquest contaminant el mateix any és de 2.667 a l'àmbit de l'AMB, amb un total de 1.867 casos al municipi de Barcelona.

Els resultats dels casos associats a cada malaltia, inclosa la mortalitat, es mostren a la Taula 6.3.1 per contaminant i àmbit territorial.

Taula 6.3.1. Casos anuals de mort i malaltia associats a l'exposició a $PM_{2,5}$ i a NO_2 a l'àmbit de l'AMB i al municipi de Barcelona. 2014

Impacte en salut	NO_2 - AMB	NO_2 - Barcelona	$PM_{2,5}$ - AMB	$PM_{2,5}$ - Barcelona
Mortalitat	2.667	1.867	1.879	1.089
Malaltia cardiovascular	NA	NA	2.415	1.392
Malaltia cerebrovascular	NA	NA	913	572
Diabetis mellitus tipus 2	NA	NA	1.571	909
Parts prematurs	NA	NA	254	141
Baix pes en néixer	NA	NA	568	313

Nota: NA = no aplica

Font: ISGlobal

Quant als casos de malaltia associats amb una exposició excessiva a les $PM_{2,5}$, les malalties cardiovasculars produirien un nombre més elevat de casos anuals, uns 2.415 casos, seguits pels casos de diabetis mellitus tipus 2 (1.571 casos anuals). A més, es produirien 913 casos anuals de malalties cerebrovasculars, 568 de baix pes en néixer i 254 de parts prematurs.

Dins de l'àmbit de l'AMB, Barcelona és el municipi que aporta una càrrega més gran de casos anuals de malaltia i mort al global de les estimacions. Això s'explica perquè els nivells de contaminació en aquest municipi són els més elevats, essent, de més a més, el municipi que concentra més població.

Aleshores, segons les estimacions realitzades, els impactes de la mortalitat són més grans per exposició excessiva a NO_2 que a $PM_{2,5}$. Això s'explica perquè les concentracions (i els nivells d'exposició) d' NO_2 són més elevades que les de $PM_{2,5}$ a l'àrea metropolitana de Barcelona. D'altra banda, donat que els impactes derivats d'una sobreexposició a $PM_{2,5}$ i a NO_2 no han estat diferenciats als estudis epidemiològics, no es pot realitzar una suma dels casos associats a $PM_{2,5}$ i a NO_2 . Això és molt important tenir-ho clar, perquè l'addició de casos de mort per NO_2 i per $PM_{2,5}$ podria produir una sobreestimació dels impactes en salut. És per aquest motiu que la interpretació dels resultats en termes de mortalitat s'ha de fer de manera separada.

A més, les estimacions dels efectes de la contaminació local de l'aire sobre la salut s'ha realitzat basant-se en la població censada en una determinada zona, i no tenint en compte els diferents usos de la ciutat (laboral, residencial, d'oci, etc.) i com es distribueix la població en funció dels mateixos.

Per acabar, els resultats mostrats són de gran rellevància per la presa de decisions i recalquen la necessitat d'implementar mesures de millora de la qualitat de l'aire a l'àmbit de l'àrea metropolitana de Barcelona. Es posa el focus en les mesures de reducció de les emissions de fonts mòbils, és a dir, dels vehicles motoritzats, que segueixen sent la principal font d'emissió a l'àmbit de l'AMB.

7 ANÀLISI DE LA DESIGUALTAT

Un cop realitzades les anàlisis sobre el perfil (socioeconòmic) de la població emissora i de la població exposada als contaminants del trànsit, en aquest apartat es posen en relació els resultats obtinguts. En línia amb el que plantegen els estudis en justícia ambiental urbana, d'aquí en endavant es contrasta la hipòtesi que els beneficis i les càrregues de la mobilitat podrien no distribuir-se de forma justa entre la població de l'àrea metropolitana de Barcelona. És a dir, que la càrrega de les externalitats ambientals podria recaure sobre la població més desafavorida i vulnerable que, a més, no contribueix en la mateixa mesura al problema de la baixa qualitat de l'aire. Aquesta anàlisi de la desigualtat es realitza a dos nivells: a escala territorial (on s'ubiquen els 'emissors' i on els 'receptors') i en l'àmbit socioeconòmic, tenint en compte la relació entre el nivell d'ingressos de la població resident a un territori i les concentracions de contaminants locals de l'aire (NO₂ i PM_{2,5}).

7.1. Relació entre l'exposició i el nivell de renda

Tal com s'ha explicat a l'Apartat 2.4, els estudis en justícia ambiental urbana en l'àmbit europeu se centren en la desigualtat ambiental i la pobresa. És a dir, s'estudia si la posició socioeconòmica està vinculada amb l'exposició a contaminants ambientals d'origen antròpic.

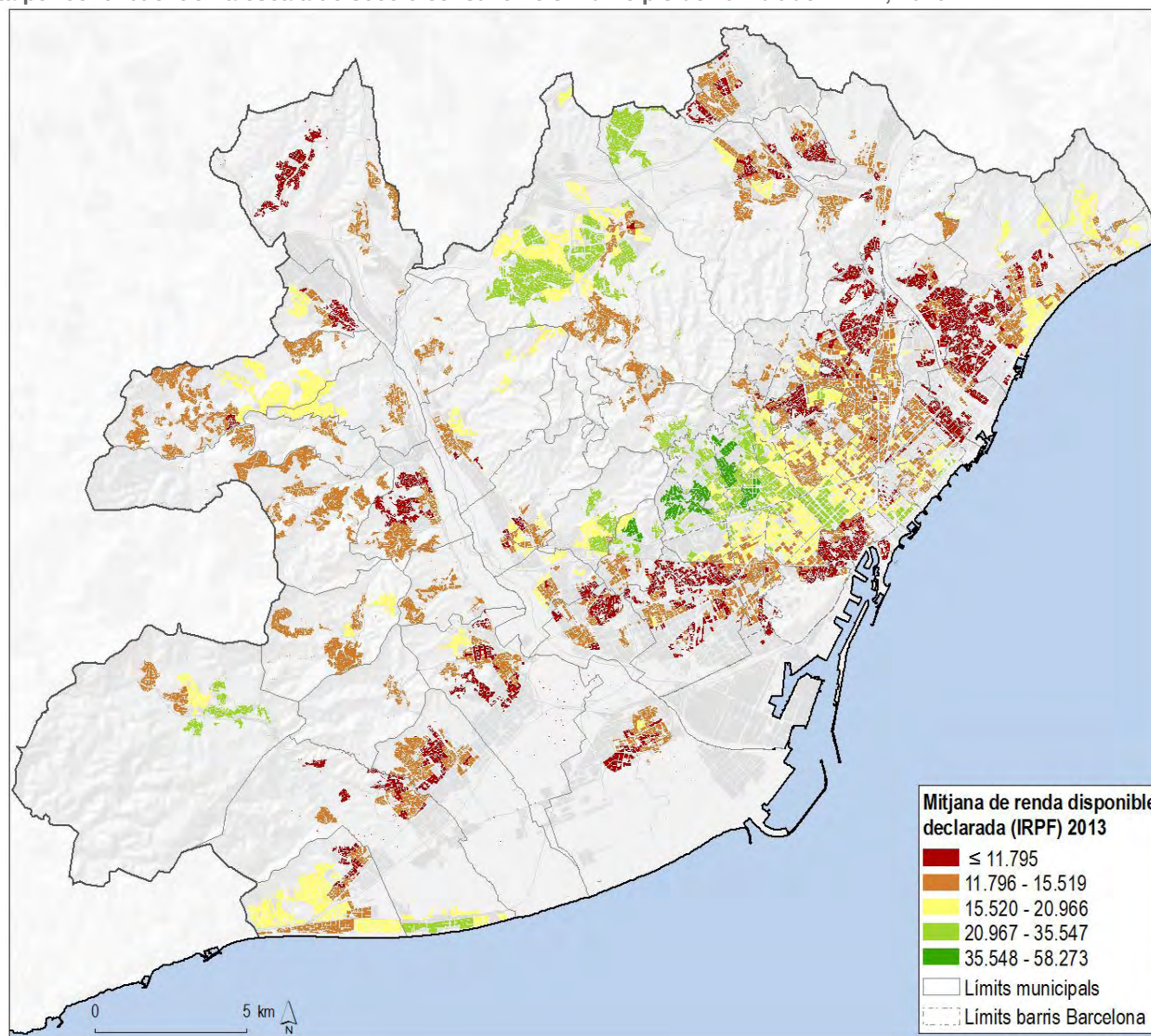
En aquests estudis la pobresa es mesura, bé en termes de manca de recursos, com ara d'ingressos, o bé en termes dels impactes directes de la manca de recursos, per exemple, mitjançant la taxa de privació material. La taxa de privació material, que es calcula a partir de dades de l'*Enquesta de Condicions de Vida*, captura la dificultat per pagar els béns de consum i les activitats que són pròpies d'una societat en un moment donat, sense considerar els estils de vida volgudament austers.

En l'àmbit de l'àrea metropolitana de Barcelona, les dades de la mitjana de renda disponible declarada (IRPF) estan disponibles a escala de secció censal, mentre que la taxa de privació material només es pot estimar per al global de l'AMB. Quant al perfil socioeconòmic dels segments d'emissors, s'ha definit d'acord amb la situació professional i el nivell d'estudis acabats (Taula 5.2.3). De més a més, es disposa de la proporció de cada perfil social d'emissió pel lloc de residència (Mapa 5.3.1), la qual cosa es pot comparar amb el perfil de renda disponible de la població que hi resideix en aquelles àrees.

Es decideix, aleshores, realitzar l'exercici comparatiu atenent a les diferències de renda entre emissors i receptors. Com a part fonamental de l'anàlisi s'estudia, en primer lloc, la relació entre la mitjana de renda disponible i el grau d'exposició als contaminants de l'aire NO₂ i PM_{2,5}. Això es fa a través de models de regressió lineal. L'anàlisi de regressió lineal s'utilitza per desenvolupar una equació lineal amb finalitat predictiva. D'aquesta manera s'explora i es quantifica la relació entre la variable dependent i la variable predictora o explicativa considerada.

Al Mapa 7.1.1 es mostra la distribució de la mitjana de renda disponible bruta per contribuent a l'escala de secció censal al territori de l'AMB. Les rendes més elevades s'ubiquen a la zona central de Barcelona ciutat, al voltant de Les Rambles i Plaça Catalunya i als districtes de L'Eixample, Sarrià-Sant Gervasi i Les Corts (barri de Pedralbes). També als municipis adjacents, com Sant Just Desvern, i a una part d'Esplugues de Llobregat, al municipi de Sant Cugat, a la zona més residencial de Cerdanyola del Vallès, a la costa de Gavà i a Begues.

Mapa 7.1.1. Renda disponible bruta per contribuent en a escala de secció censal en els municipis de l'àmbit de l'AMB, 2013.



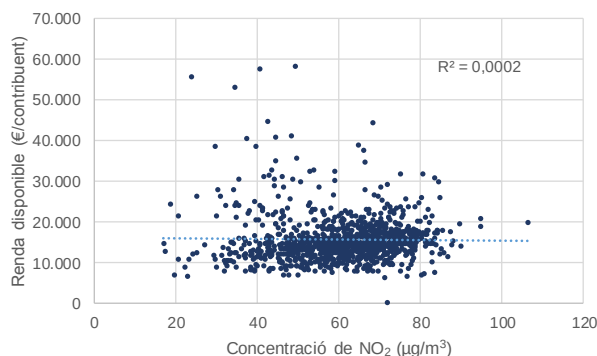
Font: IERMB a partir de dades de l'Agència Tributària

És en aquestes ubicacions, on el nivell de renda és més elevat, que es localitzen els perfils socials d'emissió més contaminants, els usuaris del cotxe *Emissors Complaents* (el grup més nombrós amb un 13,5% de la població) i *Grans Emissors* (vegeu la localització al Mapa 5.3.2 i al Mapa 5.3.3, respectivament).

Tot seguit es mostren els resultats dels models de regressió lineal per a les variables dependent 'concentració del contaminant (NO_2 o $\text{PM}_{2,5}$)' i explicativa 'mitjana de renda disponible per contribuent', disponibles a escala de secció censal per a tot el territori de l'AMB (Gràfic 7.1.1.a Gràfic 7.1.4). Es realitzen quatre models, dos per a cada contaminant (NO_2 o $\text{PM}_{2,5}$), que quantifiquen la relació entre les variables, primer, a les seccions censals del municipi de Barcelona, i després, a les seccions censals de la resta dels municipis de l'AMB.

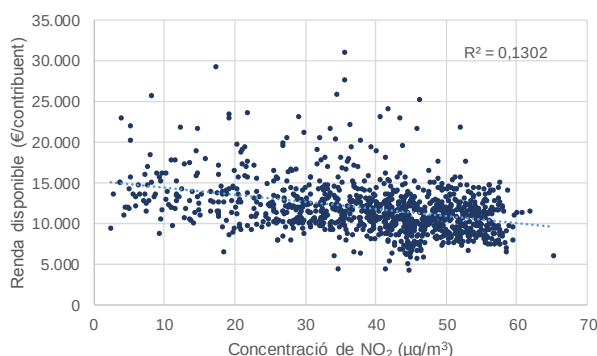
Per resumir els resultats dels models de regressió lineal es presenta una mesura d'ajust que ha rebut gran acceptació, com és el coeficient de determinació R^2 (el quadrat del coeficient de correlació múltiple R). Es tracta d'una mesura estandarditzada que pren valors entre 0 i 1 (0 quan les variables són independents i 1 quan entre elles existeix una relació perfecta), i que expressa la proporció de variància en la variable dependent que s'explica a través de la variable predictiva.

Gràfic 7.1.1. Relació entre el nivell de concentració del contaminant NO_2 (mitjana anual) i la renda disponible per contribuent a escala de secció censal. Seccions censals del municipi de Barcelona.



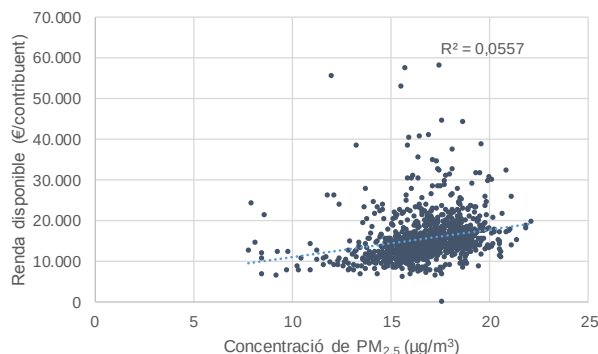
Font: IERMB

Gràfic 7.1.2. Relació entre el nivell de concentració del contaminant NO_2 (mitjana anual) i la renda disponible per contribuent a escala de secció censal. Seccions censals de la resta dels municipis de l'AMB.



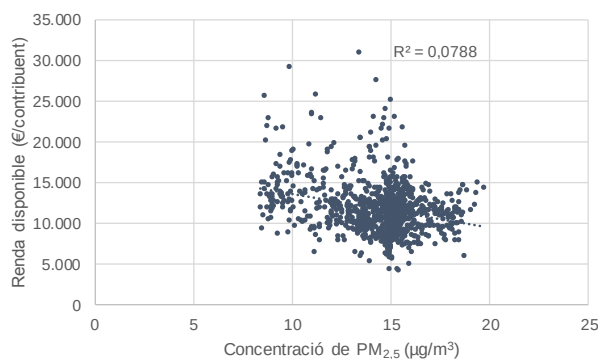
Font: IERMB

Gràfic 7.1.3. Relació entre el nivell de concentració del contaminant PM_{2,5} (mitjana anual) i la renda disponible per contribuent a escala de secció censal. Seccions censals del municipi de Barcelona.



Font: IERMB

Gràfic 7.1.4. Relació entre el nivell de concentració del contaminant PM_{2,5} (mitjana anual) i la renda disponible per contribuent a escala de secció censal. Seccions censals de la resta dels municipis de l'AMB.



Font: IERMB

En general, els resultats dels models no són bons. Segons les dades de què es disposa, les variables serien independents. És a dir, no hi ha relació entre el nivell de concentració dels contaminants NO₂ i PM_{2,5} (mitjanes anuals) i la renda disponible per contribuent a l'escala de secció censal. Per tant, des del punt de vista socioeconòmic, i per al territori que gestiona l'AMB, quedaria refutada la hipòtesi que les càrregues de la mobilitat recauen sobre la població més desafavorida i vulnerable. S'exploren, aleshores les raons més plausibles.

La major part de la literatura en justícia ambiental urbana que s'ocupa de la desigualtat en l'exposició a contaminants atmosfèrics locals des d'una perspectiva socioeconòmica (de pobresa) són estudis del món anglosaxó (EE.UU.; Regne Unit, Canadà, Nova Zelanda, etc.). Existeixen diverses diferències quant al model urbà entre les metròpolis anglosaxones i les mediterrànies. Per començar, una diferència fonamental és que, com a norma general, al *central business district* (pol d'atracció de la mobilitat en vehicle privat), no és on resideix la major part de la població. De fet, no és una zona especialment residencial al model urbà anglosaxó. El cas paradigmàtic d'excepció és la ciutat de Nova York, en concret el districte de Manhattan, on la densitat de població és la més elevada, a l'igual que el nivell de renda d'aquella població.

A les ciutats mediterrànies, en canvi, la població amb ingressos elevats no va abandonar, almenys en una proporció massa alta, els centres de les grans ciutats, que encara avui dia estan molt cotitzats. Així doncs, a les ciutats mediterrànies, molt densament poblades i amb alta mixticitat d'usos, les activitats econòmica, comercial, turística i residencial de la ciutat conviuen en el mateix espai. Això deriva en una concentració alta de població i de densitat de trànsit (conseqüència d'aquesta activitat) en un mateix espai. En el cas metropolità, en el continu urbà de la primera corona metropolitana.

Aquesta diferència amb el model de ciutat anglosaxó, explicaria per què els models de regressió realitzats per a les seccions censals del municipi de Barcelona donen correlacions tan baixes. Si es miren les dades de concentració de contaminants i quines seccions censals estan per sobre del límit establert per la Unió Europea (Mapa 6.1.1 i Mapa 6.1.2), tot el municipi de Barcelona és bastant homogeni respecte a aquesta variable, tot ell molt contaminat. En canvi, es dona molta heterogeneïtat en la variable renda, amb zones amb rendes molt elevades i d'altres amb rendes baixes (Mapa 7.1.1). Això explicaria la baixa correlació entre les dues variables.

Quedaria per explicar, aleshores, per què a la resta de les seccions censals del territori que gestiona l'AMB tampoc no hi ha relació entre el nivell d'exposició a la contaminació de l'aire i la renda de la població resident. Això s'explica a l'apartat següent, on es presenten els resultats de l'anàlisi de la desigualtat a escala territorial (on s'ubiquen els 'emissors' i on els 'receptors').

7.2. Comparar la distribució dels perfils emissors amb els receptors en el territori

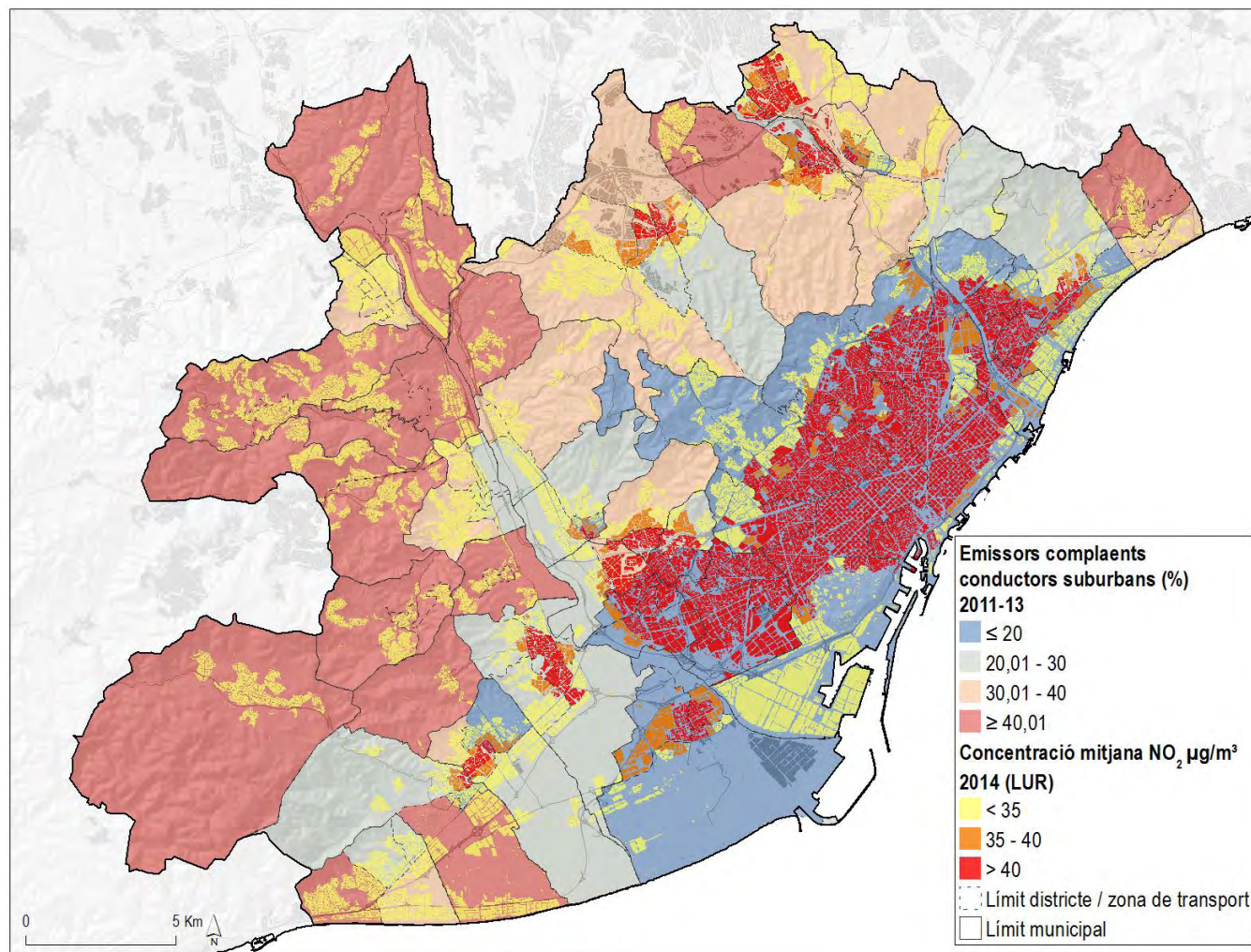
A continuació s'analitzen les diferències en la distribució territorial entre la població exposada a la contaminació (NO_2 i $\text{PM}_{2,5}$) i el perfil d'emissió *Emissors Complaents*, el grup més nombrós d'usuaris del vehicle privat, que també té un perfil socioeconòmic alt (72,9% amb feina, 43,3% amb estudis superiors i 37,1% amb estudis secundaris).

Els resultats mostren que aquest perfil d'emissió s'ubica a les zones de la perifèria de l'àrea metropolitana de Barcelona, on el nivell de contaminació d' NO_2 i de $\text{PM}_{2,5}$ és comparativament baix (Mapa 7.2.1 i Mapa 7.2.2, respectivament). Aquestes zones, però, tenen perfils de renda bastant variats, i aquesta pot ser la raó per la qual no s'aprecia cap relació entre el nivell de concentració de contaminants de l'aire (mitjana anual) i la renda disponible per contribuent a les seccions censals de la resta dels municipis de l'AMB. Sembla, doncs, que les diferències en l'exposició a contaminants locals de l'aire es podrien explicar millor sobre la base de diferències de model urbà: residencial de baixa densitat i alternatives de transport a la perifèria, i compacte i d'elevada mixticitat d'usos a la zona central, cosa que atreu la mobilitat.

Es podria concloure que, des d'un punt de vista territorial, sí que existeixen desigualtats entre 'emissors' i 'receptors', que es localitzen en punts diferents del territori, i es demostraria la hipòtesi que els beneficis i les càrregues de la mobilitat no es distribueixen de forma justa entre la població de l'àrea metropolitana de Barcelona; qui més contamina respira a casa seva l'aire més net. En canvi, aquestes desigualtats no tenen a veure amb el nivell socioeconòmic de la població. És a dir, la càrrega de la contaminació de l'aire no recauria sobre la població més pobre. En altres paraules, existeixen desigualtats territorials no vinculades amb el nivell socioeconòmic (d'ingressos) de la població. Aquestes són més notables en el cas de l' NO_2 que en el de les $\text{PM}_{2,5}$, on els límits de seguretat se sobrepassen gairebé a tot el territori metropolità.

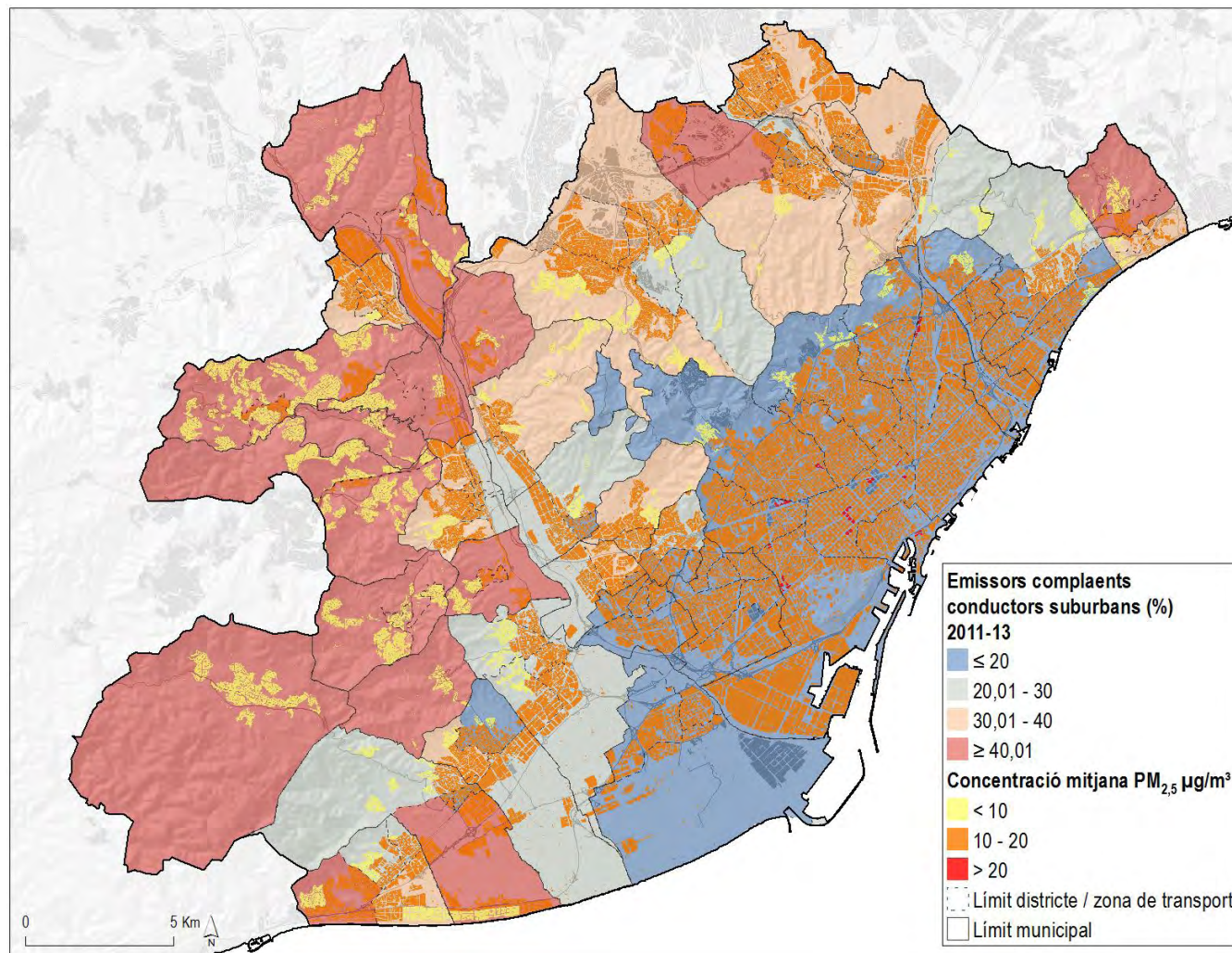
De totes maneres, com ja s'ha comentat, l'estudi de la població exposada i els seus efectes sobre la salut s'ha realitzat basant-se en la població censada en una determinada zona, i no tenint en compte els diferents usos de la ciutat (laboral, residencial, d'oci, etc.) i com es distribueix la població en funció dels mateixos. Aquesta anàlisi donaria una nova dimensió a l'anàlisi de la distribució desigual de la contribució i les càrregues de la contaminació.

Mapa 7.2.1. Comparació de la distribució del perfil d'emissió *Emissors complaents (conductors suburbans)* amb la concentració de contaminants de NO₂ (mitjana anual) en l'àmbit de l'AMB, 2014



Nota: Valor límit de concentració d'NO₂ establert per la Unió Europea i per l'OMS és de 40 µg/m³
 Font: ISGlobal i càlculs propis

Mapa 7.2.2. . Comparació de la distribució del perfil d'emissió *Emissors compleaents (conductors suburbans)* amb la concentració de contaminants de PM_{2,5} (mitjana anual) en l'àmbit de l'AMB, 2014



Nota: Valor límit de concentració de PM_{2,5} establert per la Unió Europea és de 20 µg/m³ (2020) i de 10 µg/m³ per l'OMS

Font: ISGlobal i càlculs propis

8 CONCLUSIONS

L'objectiu general de l'estudi és conèixer en detall els efectes del trànsit que discorre per la xarxa viària metropolitana (alta capacitat, secundària i local) en la qualitat de l'aire i la salut de la població, i com aquestes afectacions es distribueixen (de forma desigual) al territori de l'àrea metropolitana de Barcelona.

Els objectius específics són:

- v. Identificar els perfils socials de la població 'emissora' i derivar-ne les implicacions per al disseny de polítiques de gestió de la mobilitat.
- vi. Estimar les concentracions de contaminants ($PM_{2,5}$ i NO_2) degudes al trànsit a l'àrea metropolitana de Barcelona, i mesurar l'exposició i els efectes en la salut en termes de casos de mort prematura i de malaltia.
- vii. Analitzar les desigualtats territorials i socials quant a l'exposició a concentracions de contaminants ($PM_{2,5}$ i NO_2) superiors als valors límit i objectiu establerts per la UE i l'OMS.
- viii. Aprofundir en la perspectiva socioambiental 'qui contamina i qui rep la contaminació' dins del discurs de les polítiques de mobilitat sostenible que desenvolupa l'AMB.

Les principals conclusions de les anàlisis són:

Qualitat de l'aire

- Els nivells d' NO_2 (mitjana anual) descendeixen després de la recuperació observada l'any 2015. L'any 2016 en només 4 de les 18 estacions de mesura es registren nivells per sobre dels $40 \mu g NO_2/m^3$ de mitjana anual.
- Els nivells de PM_{10} (mitjana anual) mostren el mateix patró de fluctuació que l' NO_2 , augmenten el 2015 i després milloren el 2016. En cap estació se supera l'límit dels $40 \mu g PM_{10}/m^3$, però sí el nivell recomanat per l'OMS ($20 \mu g PM_{10}/m^3$).
- De la mateixa manera, els nivells de $PM_{2,5}$ augmenten el 2015, per millorar una mica el 2016. Durant el període analitzat, el valor límit de $25 \mu g PM_{2,5}/m^3$ no s'ha superat a cap estació. En canvi, sí que s'ha superat a totes les estacions el límit de $10 \mu g PM_{2,5}/m^3$ establert per l'OMS.
- Les estacions amb uns nivells d'immissions de $PM_{2,5}$ més elevats són Barcelona-Eixample, Barcelona-Plaça Universitat, l'estació del Prat de Llobregat i la de Sant Adrià del Besòs.

Emissions de contaminants locals

- En la majoria dels municipis de l'AMB que pertanyen a les Zones de Protecció Especial de l'ambient atmosfèric, el transport és el principal contribuent a les emissions d' NO_2 (66%) i de PM_{10} (75%), davant d'altres fonts com l'industrial o el domèstic.
- S'observa una tendència encara a l'alça de les emissions d' NO_2 , conseqüència de la dieselització del parc de vehicles i l'augment de la ràtio NO_2/NO_x en les emissions d'aquests motors. El dièsel és el combustible que més emissions de contaminants locals de l'aire genera; quota superior al 60% del total. En el cas de l' NO_2 , la seva quota arriba fins al 90%.
- Els turismes són els responsables del 50% del total de les emissions d' NO_2 generades pel transport terrestre a l'AMB. El transport de mercaderies, amb un pes al voltant del 27,4% del total de vehicles·km recorreguts, ho és del 46%. Només un 4% de les emissions d' NO_2 estarien generades pels desplaçaments en transport públic col·lectiu.

- Els fluxos intermunicipals (desplaçaments de connexió en dia feiner) són els principals contribuents a la mobilitat en vehicle privat. A Barcelona més d'un 40% (uns 800.000 desplaçaments intermunicipals) es fan en vehicle privat. Entre municipis de l'àrea metropolitana (sense considerar Barcelona) més del 60% (uns 506.300), i entre els municipis de la resta de l'RMB i els municipis metropolitans (sense Barcelona) un 75% (uns 372.500).
- I és que, fora del nucli central, les respostes a l'augment de la demanda s'han dirigit sobretot a millorar i a augmentar l'oferta d'infraestructures per al transport privat, i s'ha donat una manca de reordenació dels serveis ferroviaris, dels intercanviadors de transport públic, etc.

Perfils socials d'emissió

- S'identifiquen nou perfils socials d'emissió (és a dir, nou tipologies d'emissors) únics i diferenciats segons diverses variables d'emissions de PM₁₀ (total d'emissions, emissions en trama urbana, en desplaçaments de connexió, per mode de transport i per motiu del desplaçament), de mobilitat, socioeconòmiques i d'entorn, del municipi de residència.
- Quatre perfils tenen una petjada d'emissions de PM₁₀ per sobre de la mitjana poblacional. Tres són grups d'usuaris del vehicle privat –*Emissors Complaents (conductors suburbans)*, *Grans Emissors (conductors urbans de llarga distància)* i *Emissors Moderats (motoristes urbans)*– i el quart són usuaris de l'autobús suburbà. Aquest darrer grup té molt poc pes mostral.
- La distribució dels nou perfils socials d'emissió és desigual al territori de l'AMB. Les *Vianants Netes* i els perfils que més utilitzen el transport públic s'ubiquen als municipis més compactes del continu urbà de Barcelona, mentre que els *Emissors Complaents* (usuaris del cotxe) s'ubiquen als municipis de la segona corona metropolitana. Aquí també hi ha les *Vianants Metropolitanes*, un grup relativament nombrós.
- Els perfils més desafiants des d'una perspectiva de política pública són els usuaris habituals del vehicle privat: *Emissors Complaents* (representen el 13,5% de la població), *Grans Emissors* (4,2%) i *Emissors Moderats (motoristes)* (4,6%).
- El perfil d'emissió *Emissors Complaents* és el grup més nombrós d'usuaris del vehicle privat, que també té un perfil socioeconòmic alt (72,9% amb feina, 43,3% amb estudis superiors i 37,1% amb estudis secundaris) i una baixa accessibilitat al transport públic. Prefereixen el cotxe a altres alternatives per la seva comoditat i rapidesa.
- Quant a les opcions de política pública per canviar el comportament modal i d'emissió dels perfils més contaminants, s'han presentat possibles intervencions segons la informació recavada:

Segment	Emissions	Emissions en trama urbana	Mode actual	Accés a alternatives	Impulsors del comportament actual	Potencial de canvi	Següent millor opció	Possibles intervencions
Emissors Complaents	1,69 g PM/dia	50,60%	Cotxe i/o furgoneta	Molt baix	Comoditat i rapidesa	Molt baix	Modes ferroviaris	Es beneficiarien de millora de l'oferta de transport públic i d'opcions de P&R
Grans Emissors	3,62 g PM/dia	64,90%	Cotxe i/o furgoneta (llargues distàncies)	Elevat	Comoditat i rapidesa*	Baix	Autobús d'empresa o modes ferroviaris (trens mitja distància i FGC)	Es beneficiarien del desenvolupament de plans de mobilitat específics (i d'empresa) per a polígons industrials i zones d'activitat econòmica
Emissors Moderats (motoristes)	1,06 g PM/dia	13,40%	Motocicleta	Elevat	Rapidesa, facilitat d'aparcar a destí i barat	Molt baix	Metro	La regulació de l'aparcament de motocicletes a la via pública podria ésser determinant

Població exposada a la contaminació

- La distribució territorial de la població exposada a nivells de contaminants (NO₂ i PM_{2,5}) nocius per a la salut (per sobre dels límits i objectius que fixa l'OMS) és desigual a l'àmbit metropolità.
- La població exposada a concentracions d'NO₂ (mitjana anual) per sobre dels 40 µg/m³ es concentra a Barcelona i als municipis del continu urbà, on els nivells d'immissió són màxims i hi viu més població, i també a Barberà del Vallès.
- Al conjunt del territori de l'AMB hi ha aproximadament un 70% de la població exposada a nivells excessius d'NO₂.
- La població exposada a concentracions de PM_{2,5} (mitjana anual) per sobre dels 10 µg/m³ (nivell de seguretat fixat per l'OMS) es troba més distribuïda en el territori. Això és perquè la mitjana de l'àrea metropolitana de Barcelona és força elevada, gairebé del 100% de la població exposada.

Efectes en la salut de la població exposada

- Els resultats dels efectes a la salut associats amb una exposició excessiva a NO₂ i PM_{2,5} són molt preocupants i remarquen la necessitat d'implementar mesures de millora de la qualitat de l'aire a l'àmbit de l'AMB.
- El nombre de casos anuals de mort associats amb els nivells d'NO₂ l'any 2014 és de 2.667 al conjunt de municipis de l'AMB, dels quals 1.867 casos (el 70%) al municipi de Barcelona.
- El nombre de casos anuals de mort associats amb els nivells de PM_{2,5} el mateix any és de 1.879 al conjunt de municipis de l'AMB, dels quals 1.089 casos (el 70%) al municipi de Barcelona.
- Els casos de malaltia associats amb una exposició excessiva a les PM_{2,5} es comptabilitzen en: 2.415 casos anuals de malalties cardiovasculars, 1.571 casos anuals de diabetis mellitus tipus 2, 913 casos anuals de malalties cerebrovasculars, 568 casos anuals de baix pes en néixer i 254 casos anuals de parts prematurs.
- És molt important entendre que no es poden sumar els casos associats a PM_{2,5} i a NO₂, perquè no han estat diferenciats als estudis epidemiològics i la suma comportaria una sobreestimació dels impactes en salut.

Anàlisi de les desigualtats entre 'emissors' i 'receptors' de la contaminació

- En línia amb el que plantegen els estudis en justícia ambiental urbana, l'anàlisi de les desigualtats s'ha plantejat a dos nivells: a escala territorial (on s'ubiquen els 'emissors' i on els 'receptors') i en l'àmbit socioeconòmic, tenint en compte la relació entre el nivell d'exposició als contaminants locals del trànsit (NO₂ i PM_{2,5}) i els ingressos de la població.
- No hi ha relació entre el nivell de concentració dels contaminants NO₂ i PM_{2,5} (mitjanes anuals) i la renda disponible per contribuent a l'escala de secció censal. És a dir, la càrrega de la contaminació de l'aire no recauria sobre la població més pobre i això es deu a l'alta heterogeneïtat de la renda en les zones més contaminades (continu urbà de la primera corona metropolitana).
- En canvi, des d'un punt de vista territorial, sí que existeixen desigualtats entre 'emissors' i 'receptors' d'acord a on es localitzen els uns i els altres, i es demostra la hipòtesi que els beneficis i les càrregues de la mobilitat no es distribueixen de forma justa entre la població de l'AMB. En aquest cas, hi ha habitants de les zones més contaminades de l'àmbit metropolità que no estan contribuint en nivells molt baixos (o gens) a la contaminació, però que són els que en pateixen les conseqüències.
- En síntesi, existeixen desigualtats espacials no vinculades amb el nivell socioeconòmic (d'ingressos) de la població, i que estarien més vinculades al model territorial i cultural de baixa densitat ('estils de vida suburbans') i el que aquest comporta.

Amb aquest document s'han pogut quantificar els efectes que el funcionament del sistema de transport té en la salut de les persones, així com quins són els perfils socials dels emissors i dels receptors de la contaminació. La identificació de perfils socials d'emissió proporciona informació valuosa sobre com es poden dissenyar polítiques per atreure diferents grups d'usuaris cap a modes de transport sostenibles. L'evidència de les desigualtats tant socials com espacials entre els qui contribueixen a la contaminació i els qui la pateixen, també ha de servir per al disseny de polítiques de mobilitat més equitatives i justes.

9 APÈNDIX

ÍNDEX D'ACCESSIBILITAT AL TRANSPORT PÚBLIC COMUNITARI

L'Índex d'Accessibilitat al Transport Públic Comunitari (IATPC) es va definir en el marc dels estudis desenvolupats pel Pacte Industrial de la Regió Metropolitana de Barcelona. En concret, la metodologia emprada es troba publicada al Quadern 8 del Pacte Industrial 'Accessibilitat en transport públic col·lectiu als polígons d'activitat econòmica de la RMB'.

L'IATPC es calcula per a l'any 2012, i està basat en l'índex proposat per l'autoritat del transport de Londres a l'estudi 'Measuring public transport accessibility levels' (TfL, 2010). Es tracta d'una avaluació de l'accessibilitat que genera cada mode de transport en qualsevol punt del territori. L'índex no contempla l'accessibilitat a un punt a peu o amb bicicleta, sinó únicament en transport públic (autobús, metro, tramvia i tren). Per contra, sí que contempla el desplaçament a peu com a final d'una cadena intermodal de modes de transport. Es tracta d'un índex amb valor numèric, que considera l'accessibilitat a diversos punts del territori en contrast amb d'altres que només consideren el centroe (mitjana d'accessibilitat, mínima, màxima, desviació estàndard), i inclou l'avaluació diferenciada per a cada mode de transport públic, així com una gradació segons el nivell d'accessibilitat (es defineixen 6 nivells). Altres característiques generals de l'índex són:

- El nivell d'accessibilitat d'un punt es veu incrementat pel nombre d'expedicions de transport, i es veu disminuït amb la distància fins a les parades on circulen aquestes expedicions.
- El nivell d'accessibilitat en qualsevol punt del territori és la suma de l'accessibilitat generada pel servei d'autobusos, el tren i el metro (que inclou el tramvia).
- L'índex d'accessibilitat d'un indret per a un mitjà de transport determinat és la suma del nivell d'accessibilitat de tots els punts del polígon per a aquest mitjà de transport.
- Els modes ferroviaris (metro, tramvia i tren) generen més nivell d'accessibilitat que una línia d'autobús. D'igual forma, una línia d'autobús que enllaça amb el mode ferroviari genera més nivell d'accessibilitat que una que no ho fa.
- En igualtat de la resta de supòsits, una línia de transport públic (autobús, metro, tramvia o tren) amb més cobertura poblacional genera més nivell d'accessibilitat que una que només circula per indrets amb poca població.
- El factor de decreixement de l'accessibilitat té una forma exponencial, per tal de reflectir que la pèrdua d'accessibilitat amb la distància és cada cop menor a mesura que augmenta la distància a la parada. És a dir, que no es perd tanta accessibilitat passant de 900 m a 1000 m d'una parada que passant de 200 m a 300 m, encara que en els dos supòsits ens hi allunyem 100 m.

A la Taula 7.2.1 es mostra l'oferta de transport públic al conjunt de l'RMB per tipologies. Totes aquestes parades són les que s'han considerat per calcular l'IATPC (any de referència 2012), a excepció de les de Telefèrics, que per la seva naturalesa s'han descartat al model. Tampoc s'ha utilitzat per al càlcul les línies ferroviàries de mitjà i de llarg recorregut, ni les d'alta velocitat.

Taula 7.2.1. Oferta de TPC a l'RMB per tipologies. IATPC 2012

Tipologia TPC	Organisme dependent	Nombre de parades
Autobús Urbà	TMB, AMB i d'altres en funció de cada municipi	10.039
Interurbà		4.265
Ferrovians		5.774
Metro	L1, L2, L3, L4, L5, L9, L10 i L11 (8 línies)	352
Tramvia	T1, T2, T3, T4, T5 i T6 (6 línies)	116
Rodalies Catalunya	R1, R2, R3, R4, R7, R8 i R9 (7 línies)	61
FGC	L6, L7, L8, R5, R6, S1, S2, S33, S4, S5, S55, S8 (12 línies)	103
Funiculars i telefèrics	Funicular de Gelida, Funicular de Vallvidrera, Funicular de Montjuïc i Telefèrics	62
		10

Font: ALG (2013) al Quadern 8 del Pacte Industrial 'Accessibilitat en transport públic col·lectiu als polígons d'activitat econòmica de la RMB'.

Tot seguit es mostren els intervals de l'IATPC (Taula 7.2.2).

Taula 7.2.2. Graus d'accessibilitat segons l'IATPC 2012

Nivell d'accessibilitat	Grau d'accessibilitat en TPC	Valor índex (interval)
F	Sense accessibilitat	0
E	Accessibilitat deficient	(0 – 20)
D	Accessibilitat millorable	(20 – 50)
C	Accessibilitat acceptable	(50 – 200)
B	Accessibilitat bona	(200 – 1.000)
A	Accessibilitat molt bona	> 1.000

Font: ALG (2013) al Quadern 8 del Pacte Industrial 'Accessibilitat en transport públic col·lectiu als polígons d'activitat econòmica de la RMB'.

Algunes característiques de cadascun dels nivells d'accessibilitat que s'han utilitzat per a definir-los són:

- **F. Sense accessibilitat.** Es tracta d'indrets sense cap servei de transport públic a 1.300 metres de distància.
- **E. Deficient.** Es tracta d'indrets amb una presència molt reduïda del transport públic. Per exemple, un indret situat a 500 metres d'una parada d'autobús amb serveis cada hora en cada sentit.
- **D. Millorable.** Es tracta d'indrets amb una reduïda presència de transport públic, però amb més serveis que l'anterior. Per exemple, un indret situat a 500 metres d'una parada d'autobús amb serveis cada mitja hora en cada sentit.
- **C. Acceptable.** Es tracta d'indrets amb presència del transport públic, on aquest pot captar un nombre significatiu d'usuaris del vehicle privat. Per exemple, un indret situat a 500 metres d'una parada d'autobús amb serveis cada quart d'hora en cada sentit.
- **B. Bona.** Es tracta d'indrets amb una important presència del transport públic, i on aquest és una alternativa al vehicle privat. Per exemple, un indret situat a 500 metres d'una parada d'autobús amb 2 línies, amb una freqüència de 8 minuts cadascuna (i en els dos sentits).
- **A. Molt bona.** Es tracta d'indrets amb una presència molt important del transport públic. Aquest nivell es troba gairebé exclusivament a l'interior de ciutats amb moltes línies d'autobús, de metro, de tren, etc. El transport públic és molt atractiu per a l'usuari. Per exemple, un indret situat a 500 metres d'una parada d'autobús amb 8 línies, amb una freqüència de 8 minuts cadascuna (i en els dos sentits).

L'ESTADÍSTIC VALOR-TEST PER A INTERPRETAR ELS RESULTATS DE L'ANÀLISI CLÚSTER

Es considera la diferència entre la mitjana d'una variable del grup k i la seva mitjana global. Com més gran sigui la diferència, millor la variable caracteritza el grup k.

La probabilitat crítica associada a aquesta variable és, per tant, la probabilitat d'una distribució normal que excedeixi el valor numèric u calculat en la mostra per a la variable U.

Obtenim les variables més típiques del grup d'individus k mitjançant la selecció de les probabilitats crítiques més petites. És equivalent a seleccionar les variables corresponents als valors més grans que pren la variable normal.

Aquesta quantitat s'anomena valor-test. S'expressa com el nombre de desviacions estàndard a partir d'una distribució normal.

S'interpreta de la següent manera: la probabilitat d'una diferència tan gran entre les dues mitjanes és igual a les possibilitats d'arribar a aquesta quantitat de desviacions estàndard per a una distribució normal. La distància entre la mitjana general i la mitjana del grup k es calcula en funció del nombre de desviacions estàndard d'una distribució normal. És aquesta unitat comuna la que permet comparar les variables i ordenar-les per ordre d'importància.

S'assigna un signe al valor-test. Si el terme és positiu (negatiu), el grup es caracteritza pels valors forts (dèbils) de la variable. El mètode té l'avantatge de ser ràpid i econòmic quan el nombre de grups a caracteritzar i el nombre de variables utilitzades és gran.

CARACTERITZACIÓ DE LES VARIABLES ALS NOU CLÚSTERS

A la Taula 7.2.3 es mostren els resultats de l'anàlisi clúster, les variables característiques, el valor mitjà de la variable, la desviació estàndard i l'estadístic Valor-test, explicat anteriorment.

Taula 7.2.3. Caracterització de les variables als 9 clústers. T2 (c.2011-13)

Variables característiques	Mitjana	Desv. estandard	Valor-test
CLASSE 1 / 9			
% d'emissions de PM fora la trama urbana en desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	50,65	26,41	97,63 ↑
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	98,45	6,78	95,81 ↑
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	41,71	26,44	73,25 ↑
Emissions totals de PM dels desplaçaments dins l'AMB	1,69	1,05	60,79 ↑
% d'emissions de PM en desplaçaments de connexió (entre municipis de l'AMB i entre districtes de Barcelona)	94,35	18,77	49,27 ↑
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Treball	55,27	45,97	39,36 ↑
Sexe Home	0,59	0,49	15,30 ↑
Estudis superiors acabats (estudis universitaris, cicles formatius)	0,43	0,50	11,25 ↑
Edat 16-29 anys	0,14	0,34	-4,41 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Moto	0,06	0,95	-9,43 ↓
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Estudis	3,15	15,14	-9,46 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Autobús	0,35	2,86	-9,87 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Moto	0,15	2,07	-13,70 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Ferroviari	1,43	7,25	-18,67 ↓
Edat 65 anys i més	0,07	0,25	-21,85 ↓
Situació professional No ocupat/da	0,27	0,44	-34,78 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments en Transport públic comunitari (ferroviari i autobús)	1,40	6,28	-42,25 ↓
% de desplaçaments a Peu + Bicicleta	7,30	18,03	-45,31 ↓

Taula 7.2.3. Caracterització de les variables als 9 clústers. T2 (c.2011-13)

Variables característiques	Mitjana	Desv. estandard	Valor-test
% de sòl residencial compacte	81,24	24,91	-57,85 ↓
IATPC	382,96	570,40	-63,67 ↓
Densitat de població l'any 2011	4.581,06	4.904,71	-66,03 ↓
Densitat de població al sòl residencial l'any 2011	14.947,40	9.797,84	-71,02 ↓
CLASSE 2 / 9			
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	85,72	58,41	93,42 ↑
Emissions totals de PM dels desplaçaments dins l'AMB	3,62	2,95	87,01 ↑
% d'emissions de PM fora la trama urbana en desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	64,90	23,57	70,41 ↑
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	98,98	4,08	50,93 ↑
% d'emissions de PM en desplaçaments de connexió (entre municipis de l'AMB i entre districtes de Barcelona)	99,43	2,03	29,42 ↑
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Treball	53,91	45,93	19,72 ↑
Sexe Home	0,71	0,45	16,12 ↑
Densitat de població l'any 2011	30.230,50	14.162,70	15,35 ↑
IATPC	4.695,32	2.720,95	14,52 ↑
Densitat de població al sòl residencial l'any 2011	39.308,90	12.378,60	13,90 ↑
Estudis superiors acabats (estudis universitaris, cicles formatius)	0,48	0,50	9,48 ↑
% de sòl residencial compacte	98,67	7,17	8,85 ↑
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Moto	0,36	2,55	-3,51 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Autobús	0,39	2,40	-5,06 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Moto	0,47	3,13	-6,73 ↓
Edat 65 anys i més	0,12	0,33	-7,18 ↓
Edat 16-29 anys	0,08	0,27	-7,25 ↓
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Estudis	1,45	10,57	-7,34 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Ferroviari	1,33	9,86	-10,01 ↓
Situació professional No ocupat/da	0,34	0,47	-13,72 ↓
% de desplaçaments a Peu + Bicicleta	14,59	23,20	-18,26 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments en Transport públic comunitari (ferroviari i autobús)	0,55	2,71	-22,89 ↓
CLASSE 3 / 9			
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Moto	94,96	13,33	152,61 ↑
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Moto	22,59	22,36	109,52 ↑
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Treball	62,08	41,72	27,42 ↑
% d'emissions de PM en desplaçaments de connexió (entre municipis de l'AMB i entre districtes de Barcelona)	81,95	33,96	18,61 ↑
Sexe Home	0,72	0,45	17,50 ↑
Estudis superiors acabats (estudis universitaris, cicles formatius)	0,56	0,50	15,51 ↑
Emissions totals de PM dels desplaçaments dins l'AMB	1,06	1,01	15,00 ↑
IATPC	4456,16	2892,14	12,51 ↑
Densitat de població l'any 2011	26753,10	16204,00	9,03 ↑
Densitat de població al sòl residencial l'any 2011	35607,10	14309,00	6,43 ↑
Edat 16-29 anys	0,22	0,41	4,81 ↑
% de sòl residencial compacte	96,63	11,42	4,49 ↑
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Autobús	0,17	1,19	-6,23 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Ferroviari	0,67	3,79	-11,80 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	1,46	5,69	-12,12 ↓
Edat 65 anys i més	0,02	0,14	-16,32 ↓
% de desplaçaments a Peu + Bicicleta	14,28	22,38	-19,54 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	4,01	12,77	-19,81 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments en Transport públic comunitari (ferroviari i autobús)	1,03	4,50	-23,81 ↓
No ocupat/da	0,20	0,40	-24,45 ↓
CLASSE 4 / 9			
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments en Transport públic comunitari (ferroviari i autobús)	66,75	45,39	60,89 ↑
Índex d'Accessibilitat al Transport Públic Col·lectiu (IATPC)	5.500,61	2.180,29	59,32 ↑
Densitat de població l'any 2011	33.859,30	11.620,30	56,67 ↑
Densitat de població per sòl residencial l'any 2011	42.142,50	9.519,45	50,15 ↑
% d'emissions de PM en desplaçaments de connexió (entre municipis de l'AMB i entre districtes del municipi de Barcelona)	84,09	33,68	48,12 ↑
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Treball	51,62	46,55	45,36 ↑
Estudis superiors acabats (estudis universitaris, cicles formatius)	0,54	0,50	33,62 ↑
% de sòl residencial compacte	99,97	0,17	29,73 ↑
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Autobús	2,73	5,30	9,36 ↑
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Ferroviari	8,29	11,98	5,57 ↑
Sexe Home	0,43	0,49	-6,47 ↓

Taula 7.2.3. Caracterització de les variables als 9 clústers. T2 (c.2011-13)

Variables característiques	Mitjana	Desv. estandard	Valor-test
Edat 16-29 anys	0,12	0,32	-10,11 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Moto	0,08	0,70	-12,35 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Moto	0,60	5,33	-16,44 ↓
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Estudis	1,00	7,21	-20,11 ↓
Emissions totals de PM dels desplaçaments dins l'AMB	0,26	0,31	-21,23 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	3,91	7,64	-21,26 ↓
% de desplaçaments a Peu + Bicicleta	24,53	27,73	-26,72 ↓
% d'emissions de PM fora la trama urbana en desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	3,46	10,36	-28,06 ↓
Edat 65anys i més	0,05	0,22	-32,73 ↓
Situació professional No ocupat/da	0,27	0,44	-47,05 ↓
CLASSE 5 / 9			
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Autobús	77,50	44,14	122,33 ↑
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments en Transport públic comunitari (ferroviari i autobús)	97,18	10,26	19,69 ↑
% d'emissions de PM en desplaçaments de connexió (entre municipis de l'AMB i entre districtes de Barcelona)	98,80	4,82	12,48 ↑
Emissions totals de PM dels desplaçaments dins l'AMB	1,52	1,01	11,81 ↑
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Treball	51,71	48,57	7,77 ↑
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Estudis	11,11	30,85	2,60 ↑
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Ferroviari	3,58	16,80	-2,61 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Moto	0,03	1,18	-3,20 ↓
Situació professional No ocupat/da	0,38	0,49	-4,69 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	1,75	9,16	-4,78 ↓
IATPC	1.902,78	2.726,21	-7,16 ↓
Densitat de població l'any 2011	12.590,60	15.043,60	-8,25 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	2,80	10,20	-8,46 ↓
% de sòl residencial compacte	85,74	21,07	-8,76 ↓
Densitat de població per sòl residencial l'any 2011	22.435,00	15.955,80	-9,33 ↓
% de desplaçaments a Peu + Bicicleta	8,93	19,98	-9,74 ↓
CLASSE 6 / 9			
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Ferroviari	48,55	36,40	86,57 ↑
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Transport públic comunitari (ferroviari i autobús)	98,95	6,72	55,78 ↑
% d'emissions de PM en desplaçaments de connexió (entre municipis de l'AMB i entre districtes de Barcelona)	97,02	13,85	32,98 ↑
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Treball	60,18	46,49	29,09 ↑
Estudis superiors acabats (estudis universitaris, cicles formatius)	0,46	0,50	9,31 ↑
Edat 16-29 anys	0,12	0,32	-4,99 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Moto	0,00	0,21	-6,22 ↓
Emissions totals de PM dels desplaçaments dins l'AMB	0,35	0,24	-6,97 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Moto	0,03	1,12	-8,82 ↓
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Estudis	1,27	9,00	-9,02 ↓
Edat 65 anys i més	0,12	0,32	-9,26 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	0,12	0,90	-15,60 ↓
% d'emissions de PM fora la trama urbana en desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	1,65	10,24	-16,05 ↓
Situació professional No ocupat/da	0,32	0,47	-17,72 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	1,02	6,58	-24,87 ↓
% de sòl residencial compacte	85,15	21,02	-25,74 ↓
% de desplaçaments a Peu + Bicicleta	8,85	19,39	-26,94 ↓
IATPC	668,56	1.051,88	-36,08 ↓
Densitat de població per sòl residencial l'any 2011	17.985,90	11.194,80	-36,86 ↓
Densitat de població l'any 2011	5.936,03	7.194,10	-38,19 ↓
CLASSE 7 / 9			
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Estudis	82,20	30,33	134,57 ↑
Edat 16-29 anys	0,94	0,24	87,88 ↑
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Ferroviari	28,96	31,08	49,59 ↑
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Transport públic comunitari (ferroviari i autobús)	85,14	32,97	47,89 ↑
% d'emissions de PM en desplaçaments de connexió (entre municipis de l'AMB i entre districtes de Barcelona)	90,84	26,41	30,42 ↑
Situació professional No ocupat/da	0,88	0,32	28,37 ↑
% de sòl residencial compacte	93,54	14,34	-3,51 ↓
IATPC	3.003,97	2.934,62	-5,60 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Moto	0,07	0,68	-6,33 ↓
Emissions totals de PM dels desplaçaments dins l'AMB	0,34	0,37	-7,97 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Moto	0,75	6,85	-8,07 ↓

Taula 7.2.3. Caracterització de les variables als 9 clústers. T2 (c.2011-13)

Variables característiques	Mitjana	Desv. estandard	Valor-test
% d'emissions de PM fora la trama urbana en desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	7,03	19,00	-8,21 ↓
Densitat de població l'any 2011	18.916,90	16.267,20	-8,73 ↓
Densitat de població per sòl residencial l'any 2011	29.391,40	15.488,60	-9,03 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	2,92	8,62	-12,44 ↓
Estudis superiors acabats (estudis universitaris, cicles formatius)	0,19	0,39	-14,06 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	14,11	32,25	-14,62 ↓
Edat 65 anys i més	0,00	0,06	-21,59 ↓
% de desplaçaments a Peu + Bicicleta	15,93	24,95	-22,19 ↓
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Treball	1,90	9,12	-25,80 ↓
CLASSE 8 / 9			
Densitat de població l'any 2011	34.877,50	10.805,60	68,62 ↑
% de desplaçaments a Peu + Bicicleta	68,73	41,90	66,17 ↑
Densitat de població per sòl residencial l'any 2011	43.255,20	10.293,60	62,37 ↑
Edat 65 anys i més	0,49	0,50	61,96 ↑
IATPC	5.305,01	2.184,35	59,85 ↑
Situació professional No ocupat/da	0,85	0,36	55,04 ↑
% de sòl residencial compacte	99,97	0,13	33,07 ↑
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Autobús	0,66	2,16	-11,41 ↓
Sexe Home	0,40	0,49	-11,50 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Moto	0,01	0,17	-14,71 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Moto	0,11	2,95	-20,51 ↓
Edat 16-29 anys	0,08	0,27	-21,68 ↓
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Estudis	0,19	3,83	-25,55 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Transport públic comunitari (ferroviari i autobús)	19,01	38,91	-27,44 ↓
Estudis superiors acabats (estudis universitaris, cicles formatius)	0,20	0,40	-28,14 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Ferroviari	0,66	2,97	-31,45 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	0,68	3,07	-34,95 ↓
Emissions totals de PM dels desplaçaments dins l'AMB	0,04	0,14	-41,21 ↓
% d'emissions de PM fora la trama urbana en desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	0,56	4,01	-42,00 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	7,65	26,06	-45,16 ↓
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Treball	0,17	3,93	-59,98 ↓
% d'emissions de PM en desplaçaments de connexió (entre municipis de l'AMB i entre districtes de Barcelona)	14,05	34,15	-79,22 ↓
CLASSE 9 / 9			
% de desplaçaments a Peu + Bicicleta	66,34	44,25	47,77 ↑
Situació professional No ocupat/da	0,78	0,41	33,26 ↑
Edat 65 anys i més	0,31	0,46	16,44 ↑
% de sòl residencial compacte	93,71	13,33	-5,15 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Moto	0,01	0,27	-11,43 ↓
Sexe Home	0,38	0,49	-11,81 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Autobús	0,29	1,65	-11,96 ↓
Edat 16-29 anys	0,09	0,29	-13,82 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Moto	0,22	3,90	-15,66 ↓
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Estudis	0,32	4,92	-19,60 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	15,71	35,95	-22,38 ↓
Estudis superiors acabats (estudis universitaris, cicles formatius)	0,19	0,39	-24,31 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	1,06	3,20	-26,33 ↓
Distància total recorreguda en desplaçaments amb Ferroviari	0,14	1,40	-26,62 ↓
Emissions totals de PM dels desplaçaments dins l'AMB	0,05	0,14	-31,73 ↓
% d'emissions de PM fora la trama urbana en desplaçaments amb Cotxe i furgoneta	0,94	5,35	-31,79 ↓
% d'emissions totals de PM dels desplaçaments amb Transport públic comunitari (ferroviari i autobús)	5,97	23,16	-41,87 ↓
Densitat de població al sòl residencial l'any 2011	23.590,80	10.540,60	-42,31 ↓
% d'emissions de PM per motiu de desplaçament Treball	1,88	12,85	-44,10 ↓
Densitat de població l'any 2011	7.750,77	5.730,12	-62,95 ↓
IATPC	827,03	696,52	-62,97 ↓
% d'emissions de PM en desplaçaments de connexió (entre municipis de l'AMB i entre districtes de Barcelona)	5,47	22,09	-74,78 ↓

Font: IERMB