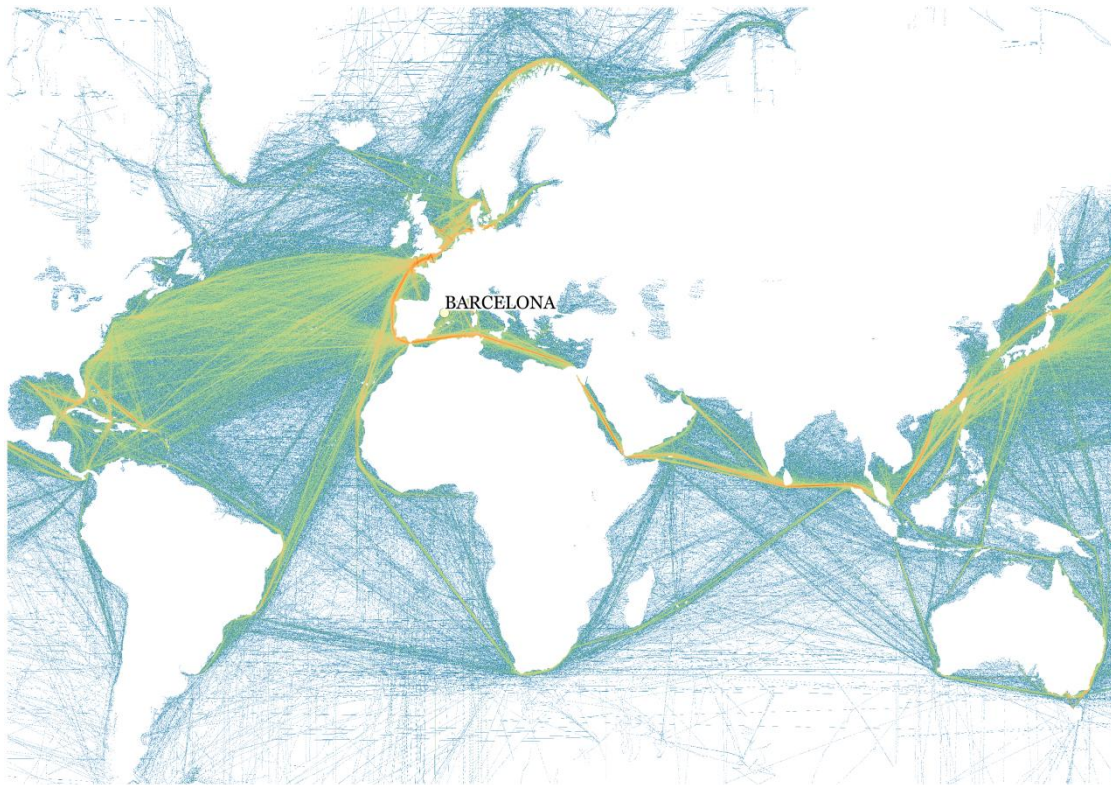


Estudi d'avaluació de l'impacte sanitari de la contaminació atmosfèrica vinculada al port a Barcelona



Natalie Mueller¹⁻³, Marta Cirach¹⁻³, Albert Ambros¹⁻³, Antònia Valentín¹⁻³, Carolyn Daher¹⁻³, Xavier Basagaña¹⁻³, Mark Nieuwenhuijsen¹⁻³

¹ISGlobal, Barcelona, Espanya

²Universitat Pompeu Fabra (UPF), Barcelona, Espanya

³CIBER Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP), Madrid, Espanya

Abstract

Context: A les ciutats europees, la principal causa de contaminació ambiental acostuma a ser el trànsit rodat. Normalment, no es tenen en compte d'altres fonts de contaminació atmosfèrica antropogènica, però en certs contextos la seva contribució pot ser important. En aquest informe, hem dut a terme una avaluació de l'impacte sanitari de la contaminació relacionada amb el port a Barcelona, Espanya.

Mètodes: Barcelona, situada a la costa del mar Mediterrani, al nord-est de la Península Ibèrica, tenia l'any 2017 un total de 1.349.570 residents de 20 anys d'edat o més grans, distribuïts en 73 barris. Disposàvem de les dades sobre els valors mitjans totals anuals, per a cada barri, de les concentracions d'NO₂ i de PM₁₀, així com de les concentracions d'NO₂, PM₁₀ i PM_{2.5} vinculades al port, a través del model ADMS-URBAN. Es van obtenir les taxes d'incidència de mortalitat, cardiopatia isquèmica, hipertensió, diabetis de tipus 2 i accident cerebrovascular (ictus) i es va calcular el nombre total de casos esperats per al 2017 per a cada barri. Les funcions d'exposició-resposta que quantificaven l'associació entre les concentracions d'NO₂ i PM₁₀ i els resultats de salut corresponents es van obtenir de la literatura científica. Vam seguir les metodologies HIA (Health Impact Assessment o avaluació de l'impacte en salut) i vam calcular els riscos relatius i les fraccions atribuïbles poblacionals.

Resultats: L'any 2017, la concentració mitjana total d'NO₂ a tota la ciutat va ser de 37,88 µg/m³ (rang: 19,61-52,17 µg/m³), dels quals 2,81 µg/m³ (rang: 0,76-15,29 µg/m³) eren atribuïbles al port, que en conseqüència va contribuir amb un 7% (rang: 2-36%) a la concentració total d'NO₂. La concentració mitjana total de PM₁₀ a tota la ciutat va ser de 21,68 µg/m³ (rang: 17,33-26,69 µg/m³), dels quals 0,22 µg/m³ (rang: 0,07-1,59 µg/m³) eren atribuïbles al port, que en conseqüència va contribuir amb un 1% (rang: 0-7%) a la concentració total de PM₁₀. La concentració de PM_{2.5} atribuïble al port va ser de 0,19 µg/m³ (rang: 0,06-1,38 µg/m³). Segons les nostres estimacions, l'any 2017 un total de 1.123 (IP: 0-3.060) morts prematures van ser atribuïbles a les concentracions totals d'NO₂ a la ciutat de Barcelona, de les quals 91 (IP:0-264) eren atribuïbles a les concentracions d'NO₂ vinculades al port. Segons les nostres estimacions, 1.230 (95% IC: 0-2.566) morts prematures van ser atribuïbles a les concentracions totals de PM₁₀, de les quals 13 (95% IC:0-29) eren atribuïbles a les concentracions de PM₁₀ vinculades al port. Vam estimar que 20 (95% IC:15-26) de les morts prematures eren atribuïbles a

les concentracions de $PM_{2.5}$ vinculades al port. A més a més, es va observar l'existència d'una associació entre una càrrega de morbiditat considerable i les concentracions de contaminació atmosfèrica procedent del port.

Conclusions: Es va estimar que, per a l'any 2017, es podia atribuir una càrrega sanitària considerable a les concentracions d' NO_2 , PM_{10} i $PM_{2.5}$ vinculades al port a la ciutat de Barcelona. Els esforços per reduir els nivells de contaminació atmosfèrica, incloent-hi els que provenen del port, poden traduir-se en beneficis considerables per a la salut.

1. Context

L'estudi es va dur a terme a Barcelona, situada al nord-est de la Península Ibèrica, a la costa del mar Mediterrani. L'any 2017, Barcelona tenia una població de 1.349.004 residents adults, de 20 anys d'edat o més (**Taula 1**), distribuïts pels 73 barris administratius de la ciutat (**Figures 1a i 1b**).

Taula 1. Població de Barcelona segons edat i sexe (2017)

Població de Barcelona	Homes	Dones	Total
≥ 20 anys	627.286	722.284	1.349.570
≥ 35 anys	476.189	565.477	1.041.666
≥ 65 anys	139.201	209.546	348.747

S'ha identificat que una font important de contaminació atmosfèrica a Barcelona és el trànsit rodat, especialment al centre de la ciutat, una zona amb una elevada densitat de tràfic (Mueller et al. 2017; Nieuwenhuijsen et al. 2018). Tot i això, es creu que d'altres fonts, com ara les concentracions regionals, la indústria, la construcció, les emissions domèstiques i les activitats vinculades al port i als transports contribueixen de manera rellevant als nivells globals de contaminació ambiental de la ciutat (Barcelona Regional 2015; Pérez et al. 2016), però no estan tan ben estudiades.

Figura 1a. Els 73 barris administratius de Barcelona.

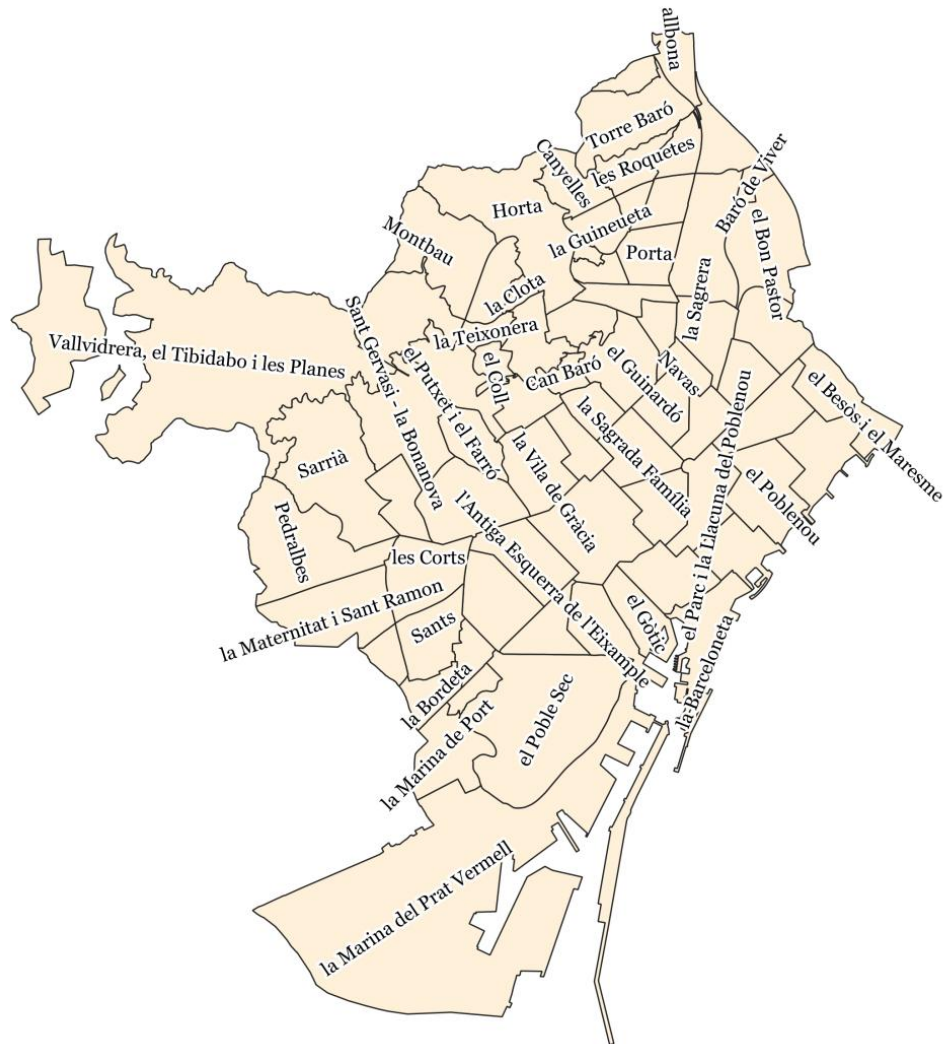
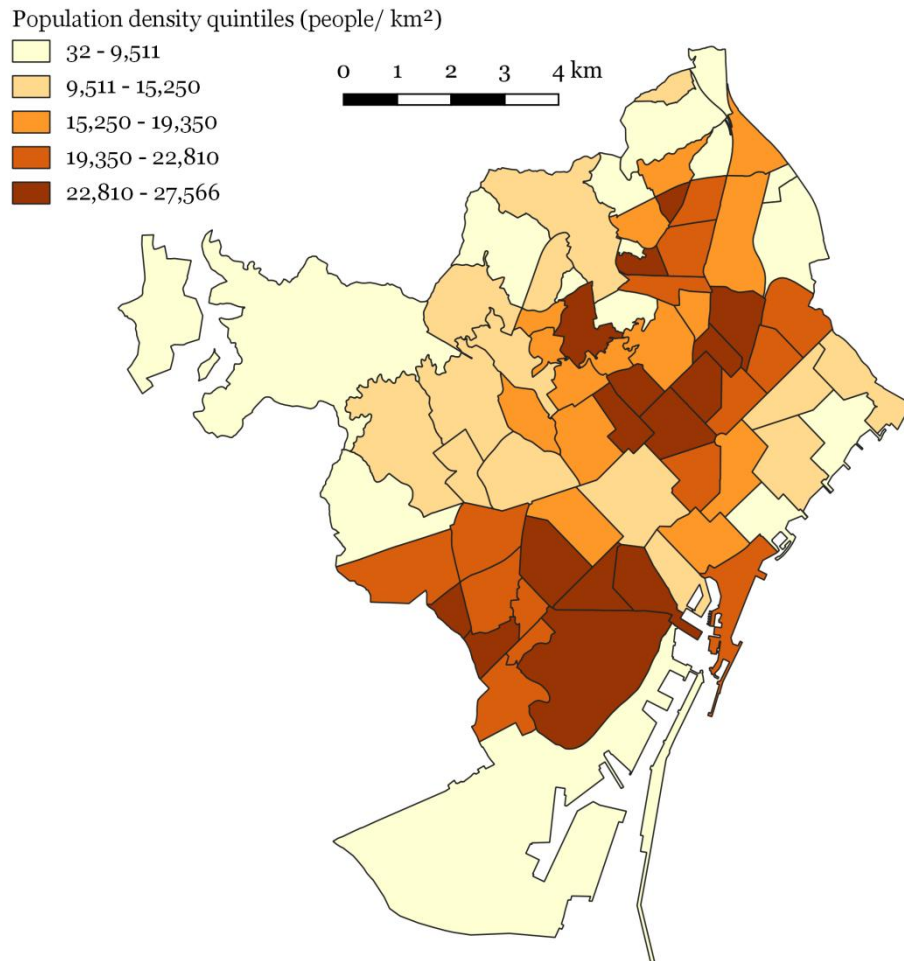


Figura 1b. Densitat de població (en persones per km²) dels 73 barris de Barcelona.



2. Objectiu

Vam dur a terme un estudi d'avaluació de l'impacte en salut (HIA) sobre els residents adults de Barcelona per tal de determinar la càrrega sanitària relacionada amb les concentracions de contaminació atmosfèrica total i vinculada al port durant l'any 2017.

3. Mètodes

3.1 Concentracions de contaminació atmosfèrica procedents de totes les fonts i concentracions vinculades al port

Disposàvem de les dades sobre les concentracions mitjanes anuals de contaminació atmosfèrica total (NO_2 i PM_{10}) i vinculada al port de Barcelona (NO_2 , PM_{10} i $\text{PM}_{2.5}$) per a l'any 2017, a través del model ADMS-URBAN. El model ADMS-URBAN és un model de dispersió de contaminants que permet treballar en entorns urbans i metropolitans, així com a nivell de carrer; està basat en un model Gaussià avançat per a la modelització de concentracions de contaminants, i incorpora l'efecte “*street canyon*”, basat en el model *Danish OSPM*, que permet la modelització de les reaccions químiques presents a l'aire segons el mecanisme CBM IV. Aquest model calcula la dispersió i concentració de contaminants de qualsevol font d'emissió. En el cas del port, les fonts d'emissió introduïdes han estat els vaixells (de trànsit i auxiliars), la maquinària de terra auxiliar i el trànsit viari. En el cas de la ciutat de Barcelona, l'inventari d'emissions i model ha estat cedit per l'Ajuntament de Barcelona i les fonts d'emissió incorporades, a més del Port, inclouen el trànsit viari, els sectors comercial, industrial i domèstic, l'aeroport, les emissions fugitives, les extractives i la contaminació regional de fons. Per obtenir més detalls sobre el model de Barcelona es pot consultar el PMQA (Pla per a la Millora de la Qualitat de l'Aire de Barcelona 2015-2018). A partir d'aquestes dades, es van obtenir els valors mitjans de les dades per als barris de Barcelona ($n=73$).

3.2 Avaluació de l'impacte en salut

Per tal d'avaluar l'impacte en salut atribuïble a les concentracions de contaminació atmosfèrica total i vinculada al port per a la ciutat de Barcelona l'any 2017, vam dur a terme un estudi espacial d'avaluació de l'impacte en salut (HIA) seguint les metodologies estàndard (Murray et al. 2004). Es va dur a terme el següent:

- definició de les mesures d'exposició (és a dir, NO₂, PM₁₀ and PM_{2.5});
- identificació de les estadístiques d'incidència de referència per als resultats de salut d'interès (mortalitat per causes naturals, malaltia cardiovascular, hipertensió, diabetis de tipus 2 i accident cerebrovascular (ictus)) (**Taula 2**);
- selecció de les funcions d'exposició-resposta obtingudes de la literatura científica per tal de quantificar la força de l'associació entre les concentracions de contaminants atmosfèrics (NO₂, PM₁₀ i PM_{2.5}) i l'evolució dels resultats de salut d'interès (**Taula 3**, **Taula 4** i **Taula 5**);
- combinació de les dades d'exposició (contaminació total i contaminació vinculada al port) amb la població dels barris de Barcelona (n=73) (Figura 1b), les funcions d'exposició-resposta i les estadístiques d'incidència per tal de quantificar la proporció atribuïble de càrrega en salut.

Les funcions d'exposició-resposta són bàsiques per conèixer com els augments o disminucions dels nivells de contaminació es tradueixen en efectes en la salut. Aquestes s'obtenen de grans estudis de cohorts en els que participen milers de persones. Se'ls mesuren els nivells de contaminació als que estan exposats juntament amb altres factors (hàbits, malalties prèvies, nivell socioeconòmic) i se'ls fa un seguiment durant diversos anys per veure si els que viuen en zones més contaminades acaben tenint més problemes de salut o moren abans (controlant per altres factors). Les funcions d'exposició-resposta que es fan servir en aquest estudi es basen en la més recent i completa síntesi de l'evidència dels estudis de cohort existents. Així doncs, algunes de les funcions d'exposició-resposta estan basades en dades de més d'un milió de participants.

Cal apuntar també que malgrat que els resultats dels efectes en salut s'han agregat a nivell barri (hi ha 73 barris a Barcelona), els càlculs s'ha realitzat partint de la contaminació i la població a nivell de secció censal. Aquestes, molt més petites (hi ha

1.068 seccions censals a Barcelona) permeten una millor assignació de l'exposició a contaminació als diferents punts de la ciutat.

Taula 2. Taxes d'incidència per als resultats de salut seleccionats

Resultat de salut	Sexe	Ubicació	Edat	Any	Incidència / 100.000	Casos esperats	Referència
Mortalitat per causes naturals	Tots dos	Barcelona	≥20	2016	1.093	14.751	(ASPB, 2016)
MCV (Codis ICD-10: I20-I25)	H	Barcelona	≥35	2015	642	3.057	(SIDIAP 2016)
	D	Barcelona	≥35	2015	278	1.572	
Hipertensió (Codis ICD-10: I10-I15)	H	Barcelona	≥35	2015	1.595	7.595	(SIDIAP 2016)
	D	Barcelona	≥35	2015	1.602	9.059	
Diabetis de tipus 2 (Codi ICD-10: E11)	H	Barcelona	≥35	2015	774	3.686	(SIDIAP 2016)
	D	Barcelona	≥35	2015	560	3.167	
Accident cerebrovascular (ictus)	H	Espanya	≥65	2010	690	961	(Martínez-Salio et al. 2010)
	D	Espanya	≥65	2010	370	775	

AdSP=Agència de Salut Pública; MCV=malaltia cardiovascular; ICD-10=Classificació internacional de malalties, versió 2010; D=dona; H=home; SIDIAP=Sistema d'Informació per al Desenvolupament de la Investigació en Atenció Primària

Taula 3. Funcions d'exposició-resposta per a NO₂ i resultats de salut seleccionats

Resultat de salut	Estimació de risc	Exposició	Disseny de l'estudi	Referència
Mortalitat per qualsevol causa	HR=1,02 (IP 0,99-1,06)	10 µg/m ³	Metaanàlisi	(Atkinson et al. 2018)
MCV	RR=1,01 (95% IC 1,01-1,02)	10 µg/m ³	Metaanàlisi	(Mustafic et al. 2012)
Hipertensió	OR=1,03 (95% IC 1,01-1,06)	10 µg/m ³	Metaanàlisi	(Cai et al. 2016)
Diabetis mellitus de tipus 2	RR=1,08 (95% IC 1,00-1,17)	10 µg/m ³	Metaanàlisi	(Eze et al. 2015)
Accident cerebrovascular	RR=1,04 (95% IC 0,91-1,19)	10 µg/m ³	Metaanàlisi	(Stafoggia et al. 2014)

MCV=malaltia cardiovascular; HR=taxa de perill (*hazard rate*); OR=oportunitat relativa (*odds ratio*); IP=interval de predicció; RR=risc relatiu; 95% IC=interval de confiança del 95%

Taula 4. Funcions d'exposició-resposta per a PM₁₀ i resultats de salut seleccionats

Resultat de salut	Estimació de risc	Exposició	Disseny de l'estudi	Referència
Mortalitat per qualsevol causa	RR=1,04 (95% IC 1,00-1,09)	10 µg/m ³	Metaanàlisi	(Beelen et al. 2014)
MCV	RR=1,12 (95% IC 1,01-1,25)	10 µg/m ³	Metaanàlisi	(Cesaroni et al. 2014)
Hipertensió	OR=1,05 (95% IC 1,04-1,07)	10 µg/m ³	Metaanàlisi	(Cai et al. 2016)

MCV=malaltia cardiovascular; OR=oportunitat relativa (*odds ratio*); RR=risc relatiu; 95% IC=interval de confiança del 95%

Taula 5. Funcions d'exposició-resposta per a PM_{2,5} i resultats de salut seleccionats

Resultat de salut	Estimació de risc	Exposició	Disseny de l'estudi	Referència
Mortalitat per qualsevol causa	RR=1,07 (95% IC 1,04-1,09)	10 µg/m ³	Metaanàlisi	(OMS 2014)
MCV	RR=1,13 (95% IC 0,98-1,30)	5 µg/m ³	Metaanàlisi	(Cesaroni et al. 2014)
Diabetis mellitus de tipus 2	RR=1,10 (95% IC 1,02-1,18)	10 µg/m ³	Metaanàlisi	(Eze et al. 2015)
Accident cerebrovascular (ictus)	RR=1,19 (95% IC 0,88-1,62)	5 µg/m ³	Metaanàlisi	(Stafoggia et al. 2014)

3.3 Anàlisi de les taules de vida

Vam estimar els valors mitjans dels canvis en l'esperança de vida atribuïbles a la contaminació atmosfèrica total i a la contaminació atmosfèrica vinculada al port, emprant taules de vida per a Catalunya (2013-2017) (IDESCAT 2019) i aplicant els mètodes de taules de vida, l'aplicació dels quals a la contaminació atmosfèrica va ser descrita per primer cop per Brunekreef (1997). Vam estimar el valor mitjà dels canvis en l'esperança de vida per a la població de Barcelona ≥ 20 anys canviant les probabilitats de defunció com a conseqüència de l'exposició a la contaminació atmosfèrica total i vinculada al port a nivell de tota la ciutat.

4. Resultats

4.1 Contaminació atmosfèrica total i vinculada al port

L'any 2017, les concentracions mitjanes totals d'NO₂ al conjunt de la ciutat van ser de 37,88 µg/m³, amb un rang de valors comprès entre 19,61 µg/m³ i 52,17 µg/m³, en funció del barri. Les concentracions totals de PM₁₀ a nivell de ciutat van ser de 21,68 µg/m³, amb un rang de valors comprès entre 17,33 µg/m³ i 26,69 µg/m³, en funció del barri (**Taula 6 i Figura 2**).

Taula 6. Concentracions totals d'NO₂ i de PM₁₀ per al conjunt de la ciutat i concentracions d'NO₂, PM₁₀ i PM_{2,5} vinculades al port, 2017

Contaminant	Total (µg/m ³)	Port (µg/m ³)	Contribució del port al total (%)
Mitjana anual NO ₂ (rang)	37,88 (19,61-52,17)	2,81 (0,76-15,29)	7,08 (1,97-36,22)
Mitjana anual PM ₁₀ (rang)	21,68 (17,33-26,69)	0,22 (0,07-1,59)	0,99 (0,31-7,17)
Mitjana anual PM _{2,5} (rang)	-	0,19 (0,06-1,38)	-

L'any 2017, per al conjunt de la ciutat, les concentracions mitjanes d'NO₂ vinculades al port van ser de 2,81 µg/m³ amb un rang de valors comprès entre 0,76 µg/m³ i 15,29 µg/m³, en funció del barri. Les concentracions mitjanes de PM₁₀ vinculades al port van assolir, a nivell de tota la ciutat, un valor de 0,22 µg/m³, amb un rang de valors comprès entre 0,07 µg/m³ i 1,59 µg/m³, en funció del barri (**Figura 3**). Les concentracions de PM_{2,5} vinculades al port van assolir, a nivell de tota la ciutat, un valor de 0,19 µg/m³, amb un rang comprès entre 0,06 µg/m³ i 1,38 µg/m³, en funció del barri (**Figura 4**).

L'any 2017, la contribució del port a les concentracions totals d'NO₂ va ser del 7%, amb un rang de valors comprès entre el 2% i el 36%, en funció del barri, i la contribució portuària a les concentracions totals de PM₁₀ va ser de l'1%, amb un rang de valors comprès entre el 0% i el 7%, en funció del barri.

Figura 2. Concentracions d' NO₂ (µg/m³) totals i vinculades al port per a l'any 2017 a nivell de barri a Barcelona

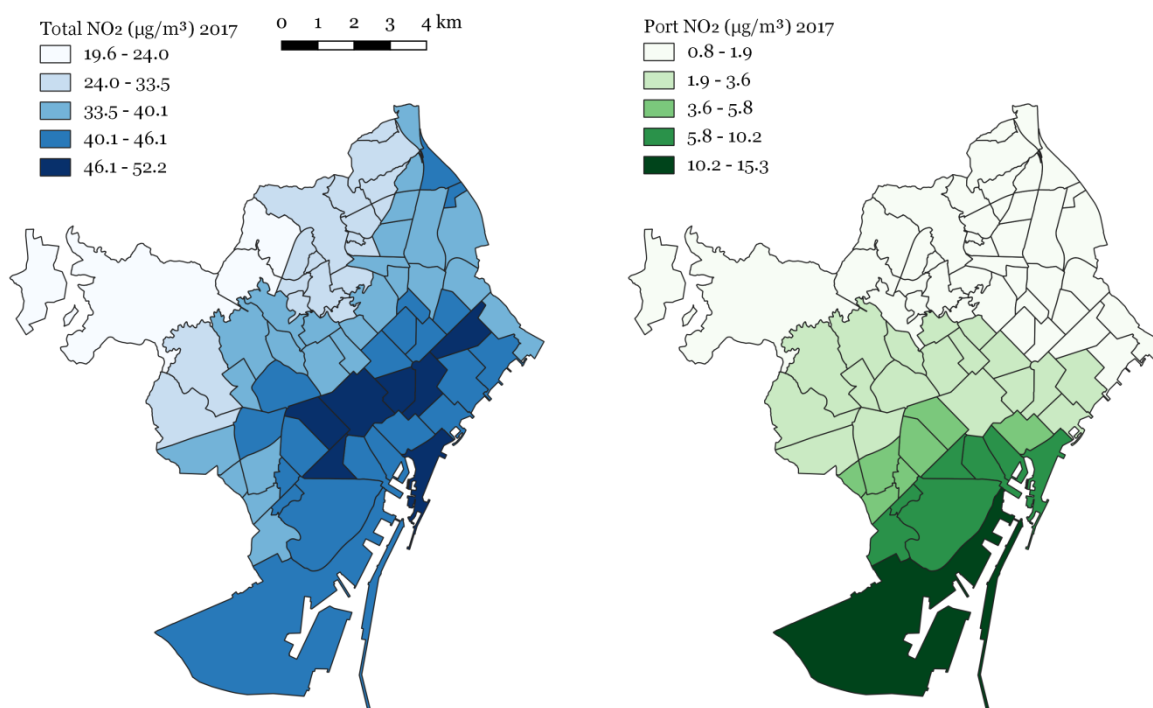


Figura 3. Concentracions de PM₁₀ (µg/m³) totals i vinculades al port per a l'any 2017 a nivell de barri a Barcelona

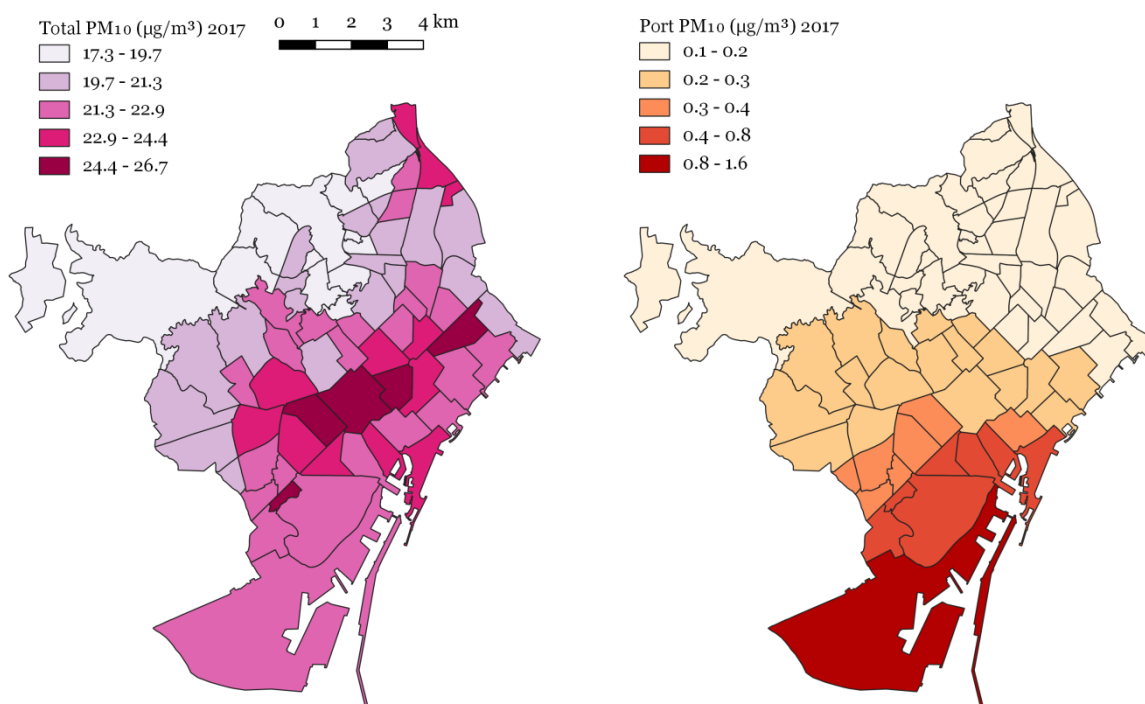
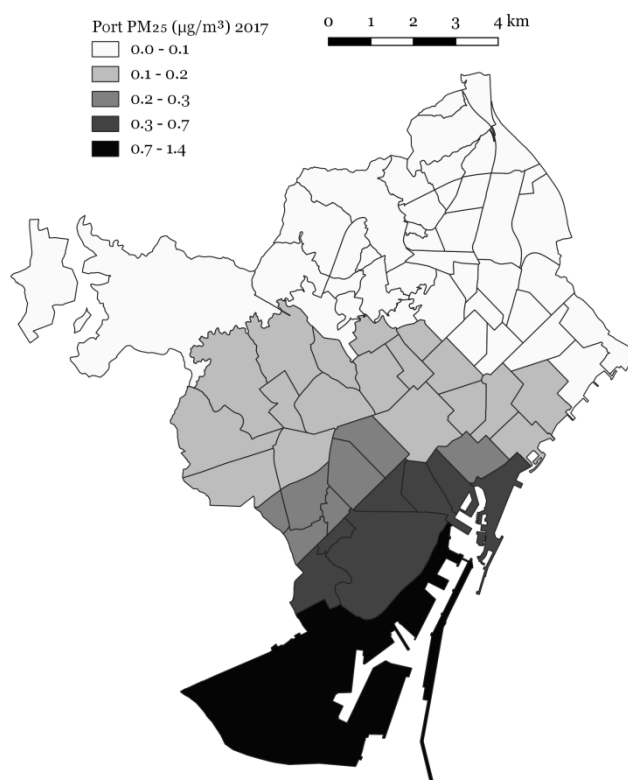


Figura 4. Concentracions de PM_{2.5} (µg/m³) totals i vinculades al port per a l'any 2017 a nivell de barri a Barcelona



4.2 Impactes en salut estimats

NO₂

Segons les nostres estimacions, l'any 2017 un total de 1.123 (IP 0-3.060) morts prematures van ser atribuïbles a les concentracions totals d'NO₂ a la ciutat de Barcelona, de les quals 91 (IP 0-264) eren atribuïbles a les concentracions d'NO₂ vinculades al port (**Taula 7**). A nivell dels barris, la mortalitat estandarditzada atribuïble a les concentracions d'NO₂ vinculades al port pot observar-se a la **Figura 5**.

Taula 7. Casos estimats atribuïbles a les concentracions d'NO₂ total i vinculada al port

Resultat de salut	Casos atribuïbles	
	NO ₂ total	NO ₂ vinculat al port
Mortalitat per causes naturals (IP)	1.123 (0-3.060)	91 (0-264)
MCV H (95% IC)	131 (72-188)	10 (6-15)
MCV D (95% IC)	67 (37-96)	5 (3-7)
Hipertensió H (95% IC)	947 (150-1.639)	78 (12-141)
Hipertensió D (95% IC)	1.128 (178-1.952)	90 (14-164)
Diabetis mellitus de tipus 2 H (95% IC)	971 (0-1.705)	86 (0-172)
Diabetis mellitus de tipus 2 D (95% IC)	833 (0-1.463)	72 (0-144)
Accident cerebrovascular (ictus) H (95% IC)	138 (0-475)	11 (0-47)
Accident cerebrovascular D (95% IC)	112 (0-384)	9 (0-38)

MCV=malaltia cardiovascular; D=dona; H=home; IP=interval de predicció; 95% IC=interval de confiança del 95%

Segons les nostres estimacions, 131 (95% IC 72-188) casos de MCV en homes i 67 (95% IC 37-96) casos en dones van ser atribuïbles a les concentracions totals d'NO₂, dels quals 10 (95% IC 6-15) casos en homes i 5 (95% IC 3-7) casos en dones eren atribuïbles a les concentracions d'NO₂ vinculades al port.

Vam estimar que 947 (95% IC 150-1.639) casos d'hipertensió en homes i 1.128 (95% IC 178-1.952) casos en dones van ser atribuïbles a les concentracions totals d'NO₂, dels quals 78 (95% IC 12-141) casos en homes i 90 (95% IC 14-164) casos en dones eren atribuïbles a les concentracions d'NO₂ vinculades al port.

PM₁₀

Segons les nostres estimacions, l'any 2017 un total de 1.230 (95% IC 0-2.566) morts prematures van ser atribuïbles a les concentracions de PM₁₀ totals a la ciutat de Barcelona, de les quals 13 (95% IC 0-29) eren atribuïbles a les concentracions de PM₁₀ vinculades al port (**Taula 8**). A nivell dels barris, la mortalitat estandarditzada atribuïble a les concentracions de PM₁₀ vinculades al port es pot observar a la **Figura 6**.

Segons les nostres estimacions, 678 (95% IC 67-1.190) casos de MCV en homes i 349 (95% IC 34-612) casos en dones van ser atribuïbles a les concentracions totals de PM₁₀, dels quals 8 (95% IC 1-16) casos en homes i 4 (95% IC 0-8) casos en dones eren atribuïbles a les concentracions de PM₁₀ vinculades al port.

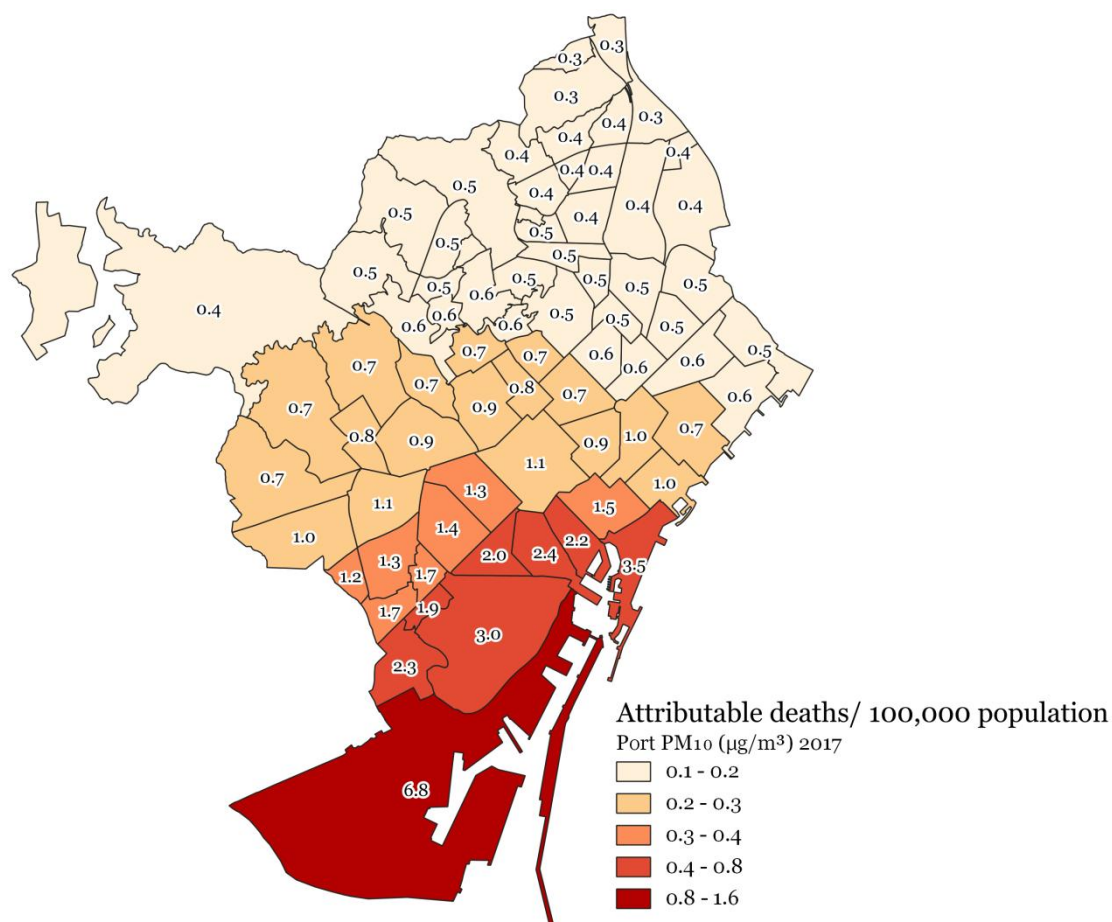
Vam estimar que 835 (95% IC 572-1.084) casos d'hipertensió en homes i 997 (95% IC 683-1.293) casos en dones eren atribuïbles a les concentracions totals de PM₁₀, dels quals 9 (95% IC 6-12) casos en homes i 11 (95% IC 7-14) casos en dones eren atribuïbles a les concentracions de PM₁₀ vinculades al port.

Taula 8. Casos estimats atribuïbles a la concentració de PM₁₀ total i vinculada al port

Resultat de salut	Casos atribuïbles	
	PM ₁₀ Total	PM ₁₀ Port
Mortalitat per causes naturals (95% IC)	1.230 (0-2.566)	13 (0-29)
MCV H (95% IC)	678 (67-1.190)	8 (1-16)
MCV D (95% IC)	349 (34-612)	4 (0-8)
Hipertensió H (95% IC)	835 (572-1.084)	9 (6-12)
Hipertensió D (95% IC)	997 (683-1.293)	11 (7-14)

MCV= malaltia cardiovascular; D=dona; H=home; 95% IC=interval de confiança del 95%

Figura 6. Nombre de morts / 100.000 habitants atribuïbles a la concentració de PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vinculada al port, per a l'any 2017 a nivell dels barris a Barcelona.



$PM_{2.5}$

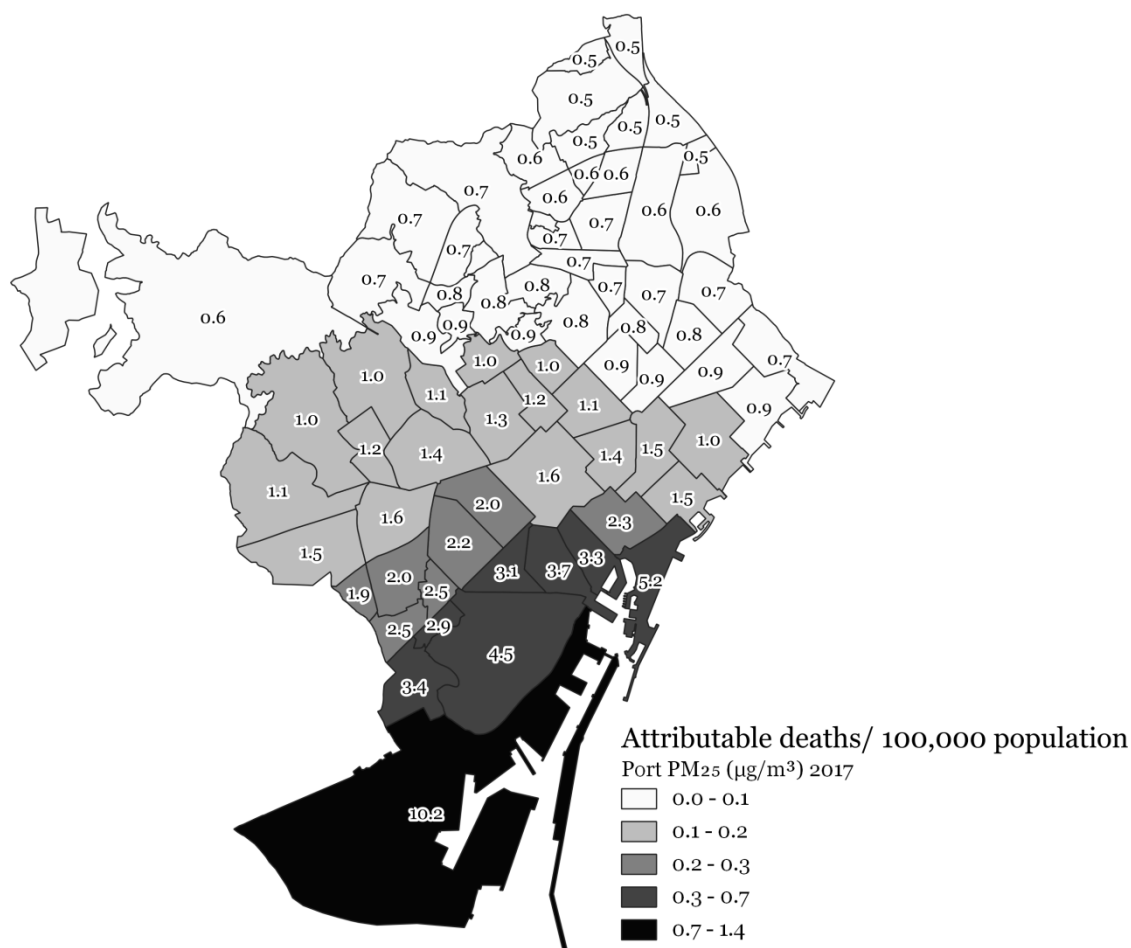
Segons les nostres estimacions, l'any 2017 un total de 20 (95% IC 14-26) morts prematures van ser atribuïbles a les concentracions de $PM_{2.5}$ vinculades al port (**Taula 9**). A nivell dels barris, la mortalitat estandarditzada atribuïble a les concentracions de $PM_{2.5}$ es pot observar a la **Figura 7**.

Taula 9. Casos estimats atribuïbles a la concentració de PM_{2.5} total i vinculada al port

Resultat de salut	Casos atribuïbles	
	PM _{2.5} total	PM _{2.5} Port
Mortalitat per causes naturals (95% IC)	-	20 (14-26)
MCV H (95% IC)	-	15 (0-32)
MCV D (95% IC)	-	7 (0-16)
Diabetis mellitus de tipus 2 H (95% IC)	-	7 (1-12)
Diabetis mellitus de tipus 2 D (95% IC)	-	6 (1-10)
Accident cerebrovascular (ictus) H (95% IC)	-	6 (0-17)
Accident cerebrovascular (ictus) D (95% IC)	-	5 (0-14)

Segons les nostres estimacions, 15 (95% IC 0-32) casos de MCV en homes i 7 (95% CI 0-16) casos en dones van ser atribuïbles a les concentracions de PM_{2.5} vinculades al port. Vam estimar que 7 (95% IC 1-12) casos de diabetis tipus 2 en homes i 6 (95% IC 1-10) casos en dones eren atribuïbles a les concentracions de PM_{2.5} vinculades al port. Segons les nostres estimacions, 6 (95% IC 0-17) casos d'accident cerebrovascular (ictus) en homes i 5 (95% IC 0-14) casos en dones van ser atribuïbles a les concentracions de PM_{2.5} vinculades al port.

Figura 7. Nombre de morts / 100.000 habitants atribuïbles a la concentració de PM_{2.5} (µg/m³) vinculada al port, per a l'any 2017 a nivell dels barris a Barcelona.



4.3 Taules de vida

Segons les nostres estimacions, els residents de Barcelona d'una edat ≥ 20 anys perden de mitjana 271 dies d'esperança de vida com a conseqüència de l'exposició, al conjunt de la ciutat, als nivells mitjans d'NO₂ (37,88 µg/m³); de mitjana, 19 d'aquests dies es perden com a conseqüència de l'exposició, al conjunt de la ciutat, als nivells d'NO₂ vinculats al port (2,81 µg/m³) (**Taula 10**).

Segons les nostres estimacions, els residents de Barcelona d'una edat ≥ 20 anys perden de mitjana 310 dies d'esperança de vida com a conseqüència de l'exposició, al conjunt de la ciutat, als nivells mitjans de PM₁₀ (21,68 µg/m³); de mitjana, 3 d'aquests dies es perden com a conseqüència de l'exposició, al conjunt de la ciutat, als nivells de PM₁₀ vinculats al port (**Taula 10**).

Segons les nostres estimacions, els residents de Barcelona d'una edat ≥ 20 anys perden de mitjana 4 dies d'esperança de vida com a conseqüència de l'exposició, al conjunt de la ciutat, als nivells mitjans de $PM_{2.5}$ vinculats al port ($0.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Per tal de calcular l'esperança de vida mitjana per a la població ≥ 20 anys, es va calcular el nombre total d'anys viscuts entre les edats de 20 anys i de ≥ 95 anys, multiplicant el nombre de supervivents en cadascun dels intervals de 5 anys (representats per l_x) per 5. El resultat obtingut és el nombre d'anys viscuts entre les edats de 20 anys i de ≥ 95 anys per a la població de Barcelona. L'esperança de vida mitjana (és a dir, el valor de referència) per a la població ≥ 20 anys es defineix com el nombre total d'anys viscuts (6.574,420) dividit entre el nombre total d'individus que estiguessin vius a l'edat de 20 anys (99.537 individus de cada 100.000) (**Taula 10**).

Les altres columnes representen el canvi mitjà en l'esperança de vida que podria esperar-se si les concentracions de contaminació atmosfèrica total i vinculada al port detectades es fixessin a un valor zero en comparació amb el valor de referència (és a dir, pèrdua evitada en termes d'esperança de vida).

Taula 10. Taula de vida Catalunya 2013-2017

Taula de vida IDESCAT							Anys viscuts					
Edat	nP_x	nD_x	nM_x	nq_x	l_x	nd_x	Valor de referència	NO ₂ total	NO ₂ port	PM ₁₀ total	PM ₁₀ port	PM _{2.5} port
0	71.270	176	0,00247	0,00247	100.000	247	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
1 a 4	311.494	38	0,00012	0,00049	99.753	49	399.013	399.090	399.019	399.101	399.014	399.015
5 a 9	419.067	32	0,00008	0,00038	99.705	38	498.523	498.638	498.532	498.654	498.525	498.525
10 a 14	384.532	33	0,00009	0,00043	99.667	43	498.333	498.463	498.342	498.481	498.335	498.335
15 a 19	348.782	61	0,00017	0,00087	99.624	87	498.119	498.266	498.130	498.286	498.121	498.122
20 a 24	361.333	94	0,00026	0,00130	99.537	129	497.684	497.864	497.697	497.889	497.686	497.687
25 a 29	415.662	123	0,00030	0,00148	99.407	147	497.037	497.268	497.054	497.299	497.040	497.041
30 a 34	517.074	193	0,00037	0,00186	99.260	185	496.302	496.590	496.323	496.629	496.305	496.307
35 a 39	642.111	328	0,00051	0,00255	99.075	253	495.377	495.736	495.403	495.786	495.381	495.383
40 a 44	643.537	560	0,00087	0,00434	98.823	429	494.113	494.570	494.146	494.633	494.118	494.121
45 a 49	585.149	930	0,00159	0,00792	98.394	779	491.968	492.590	492.013	492.676	491.975	491.978
50 a 54	527.757	1.453	0,00275	0,01367	97.615	1.335	488.074	488.994	488.140	489.121	488.084	488.089
55 a 59	468.678	2.068	0,00441	0,02182	96.280	2.101	481.401	482.827	481.503	483.024	481.417	481.425
60 a 64	410.144	2.686	0,00655	0,03222	94.179	3.034	470.896	473.104	471.054	473.410	470.921	470.933
65 a 69	379.604	3.662	0,00965	0,04710	91.45	4.293	455.725	459.033	455.962	459.493	455.762	455.780
70 a 74	308.648	4.555	0,01476	0,07116	86.852	6.181	434.261	439.063	434.604	439.732	434.314	434.340
75 a 79	252.258	6.567	0,02603	0,12221	80.672	9.859	403.358	410.175	403.842	411.127	403.432	403.469
80 a 84	233.586	11.020	0,04718	0,21100	70.813	14.942	354.063	363.736	354.748	365.094	354.168	354.220
85 a 89	153.833	13.460	0,08750	0,35897	55.871	20.056	279.355	292.386	280.270	294.235	279.495	279.565
90 a 94	70.871	10.575	0,14921	0,54337	35.815	19.461	179.076	194.242	180.124	196.434	179.237	179.317
95 i més	15.934	4.676	0,29346	1,00000	16.354	16.354	55.729	70.090	56.643	72.377	55.868	55.937
Total d'anys viscuts per la població ≥ 20 anys							6.574.420	6.648.267	6.579.524	6.658.959	6.575.201	6.575.591
Esperança de vida mitjana per a la població ≥ 20 anys							66,05	66,79	66,10	66,90	66,06	66,06

nP_x =nombre de persones a la població; nD_x =nombre de morts observades; nM_x =taxes de mortalitat específiques per a l'edat; nq_x =probabilitat de mort;

l_x =nombre de persones vives a l'inici de l'interval; nd_x =nombre de persones que moren durant l'interval d'edat

5. Discussió

Aquest estudi proporciona una visió de conjunt inicial de la càrrega sanitària associada a la contaminació atmosfèrica vinculada al port a Barcelona. Hem estimat que el 7% del total de la càrrega de mortalitat relativa a les concentracions d'NO₂ i l'1% del total de la càrrega de mortalitat relativa a les concentracions de PM₁₀ a Barcelona l'any 2017 pot atribuir-se a les activitats portuàries. A més a més, es va detectar una associació entre una càrrega de morbiditat considerable i les concentracions de contaminació atmosfèrica originades al port.

5.1 Consideracions metodològiques i implicacions per a la salut pública

Totes les xifres presentades són indicadors d'efectes potencials sobre la salut (és a dir, estimacions), i per aquest motiu s'han d'interpretar amb cura, ja que els estudis d'impacte en salut (HIA) habitualment es basen en diverses assumpcions i estimacions quan no es disposa de dades concloents. Totes les mesures s'han presentat amb els seus corresponents intervals de confiança per tenir en compte aquestes incerteses.

El nombre de casos (en termes de mortalitat i morbiditat) i de pèrdues en l'esperança de vida atribuïbles a cadascun dels contaminants *no* han de sumar-se, donat que pot existir una superposició de l'impacte potencial de dos o més contaminants, i encara no pot afirmar-se quin dels contaminants (o la combinació de diversos d'ells) és el suposat agent causant. A més a més, els casos estimats atribuïbles a les concentracions totals de contaminació atmosfèrica provocada per NO₂ i PM₁₀ s'han d'interpretar amb una cura especial: els casos presentats reflecteixen la càrrega total atribuïble en comparació amb uns valors de concentracions de contaminació atmosfèrica iguals a *zero*. No obstant, és impossible assolir un valor *zero* en termes de contaminació atmosfèrica, ja que les fonts naturals de contaminació atmosfèrica hi contribuiran constantment. Donat que es té constància del fet que els efectes de la contaminació atmosfèrica tenen lloc sota llindars de salut establerts (Health Effects Institute 2010), les fonts antropogèniques de contaminació atmosfèrica (incloent-hi les activitats portuàries i de transport) haurien de reduir-se tant com fos possible per tal de preservar la salut.

També cal tenir en compte que els aerosols secundaris es poden haver subestimat i que la veritable contribució del port als nivells de contaminació atmosfèrica de la ciutat sigui més elevada, sobretot en el cas de les partícules (Pérez et al. 2016). Per tal

d'obtenir una idea més acurada de l'impacte real de la contaminació atmosfèrica vinculada al port a Barcelona i complementar les dades modelitzades, recomanem la instal·lació d'estacions de monitorització als barris situats molt a prop del port, i la mesura de les concentracions de contaminació atmosfèrica en temps real i durant un període de temps sostingut, així com la repetició d'aquest estudi HIA amb dades mesurades en comptes de modelitzades.

Malgrat que l'estudi epidemiològic dels efectes de la contaminació atmosfèrica en la salut s'està duent a terme des de fa molt de temps, continuen mancants resultats concloents que demostrin una relació causal entre l'exposició a llarg termini a l'NO₂ i la mortalitat, en part com a conseqüència de la possible existència de factors de confusió provocats pels co-contaminants, en especial les partícules fines (PM_{2.5}); també com a conseqüència de l'heterogeneïtat dels resultats obtinguts a partir d'estudis individuals (Atkinson et al. 2018). En canvi, els resultats que permeten inferir un efecte causal de les PM_{2.5} sobre la mortalitat són més robustos (U.S. Environmental Protection Agency 2009), però les concentracions totals de PM_{2.5} no es van modelitzar, i tal i com s'ha esmentat al paràgraf anterior, és possible que en especial la contribució de les PM vinculades al port s'hagi subestimat i que la càrrega sanitària atribuïble a aquestes sigui més elevada.

Una altra limitació de l'estudi és fet de fer servir els nivells de contaminació del barri on es viu sense tenir en compte la mobilitat de les persones. Igualment, els càlculs a nivell de secció censal també comporten petites imprecisions en comparació al punt exacte on la gent viu dins de la secció censal.

En conclusió, segons les nostres estimacions, es pot atribuir una càrrega sanitària considerable a les concentracions d'NO₂, PM₁₀ i PM_{2.5} vinculades al port per a l'any 2017 a Barcelona. Els esforços per reduir els nivells de contaminació atmosfèrica, incloent-hi els procedents del port i de les activitats de transport, podrien traduir-se en beneficis tangibles per a la salut.

Referències

- Agència de Salut Pública. 2013. Llibre Mortalitat Anual. Barcelona 2013, ambdós sexes. Mortalitat segons grup d'edat i causes de defunció. Available: http://www.aspb.cat/docs/sisalut/SISalutLlibresIndicadors/LlibreMortalitat_2013.html [accessed 11 December 2018].
- Atkinson RW, Butland BK, Anderson HR, Maynard RL. 2018. Long-term concentrations of nitrogen dioxide and mortality. *Epidemiology* 29:460–472; doi:10.1097/EDE.0000000000000847.
- Barcelona Regional. 2015. Anàlisi de la contribució en emissions i immissions del port de Barcelona l'any 2013.
- Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, Andersen ZJ, Weinmayr G, Hoffmann B, et al. 2014. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: An analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet* 383:785–795; doi:10.1016/S0140-6736(13)62158-3.
- Brunekreef B. 1997. Air pollution and life expectancy: is there a relation? *Occup Environ Med* 54: 781–784.
- Cai Y, Zhang B, Ke W, Feng B, Lin H, Xiao J, et al. 2016. Associations of Short-Term and Long-Term Exposure to Ambient Air Pollutants With Hypertension: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Hypertension* 68:62–70; doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.116.07218.
- Cesaroni G, Forastiere F, Stafoggia M, Andersen ZJ, Badaloni C, Beelen R, et al. 2014. 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. *BMJ* 348:1–16; doi:10.1136/bmj.f7412.
- Eze IC, Hemkens LG, Bucher HC, Hoffmann B, Schindler C, Kunzli N, et al. 2015. Association between ambient air pollution and diabetes mellitus in Europe and North America: systematic review and meta-analysis. *Environ Health Perspect* 123:381–389; doi:10.1289/ehp.1307823.
- Health Effects Institute. 2010. Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects. HEI Spec Rep 17.
- IDESCAT. 2019. Taula de vida abreujada. Tots dos sexes Catalunya. 2013-2017. Available: <https://www.idescat.cat/pub/?id=iev&n=8641>.
- Martínez-Salio A, Benito-León J, Díaz-Guzmán J, Bermejo-Pareja F. 2010. Cerebrovascular disease incidence in central Spain (NEDICES): a population-based prospective study. *J Neurol Sci* 298:85–90; doi:10.1016/j.jns.2010.08.003.
- Mueller N, Rojas-Rueda D, Basagaña X, Cirach M, Cole-Hunter T, Dadvand P, et al. 2017. Urban and Transport Planning Related Exposures and Mortality: A Health Impact Assessment for Cities. *Environ Health Perspect* 125:89–96; doi:10.1289/EHP220.

- Murray C, Ezzati M, Lopez A, Rodgers A, Vander Hoorn S. 2004. Comparative Quantification of Health Risks: Conceptual Framework and Methodological Issues. In: *Comparative Quantification of Health Risks. Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors* (M. Ezzati, A. Lopez, A. Rogers, and C. Murray, eds). World Health Organization: Geneva. 1–38.
- Mustafic H, Jabre P, Caussin C, Murad M h, Escolano S, Tafflet M, et al. 2012. Main air pollutants and myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis. *JAMA* 307: 713–721.
- Nieuwenhuijsen MJ, Gascon M, Martinez D, Ponjoan A, Mueller N, Espinosa A, et al. 2018. Air Pollution, Noise, Blue Space, and Green Space and Premature Mortality in Barcelona: A Mega Cohort. *Int J Environ Res Public Health* 15:1–12; doi:10.3390/ijerph15112405.
- Pérez N, Pey J, Reche C, Cortés J, Alastuey A, Querol X. 2016. Impact of harbour emissions on ambient PM10 and PM2.5 in Barcelona (Spain): Evidences of secondary aerosol formation within the urban area. *Sci Total Environ* 571:237–250; doi:10.1016/j.scitotenv.2016.07.025.
- SIDIAP. 2016. Sistema de Información para el desarrollo de la Investigación en Atención Primaria. Morbidity incidence rates Barcelona 2015.
- Stafoggia M, Cesaroni G, Peters A, Andersen ZJ, Badaloni C, Beelen R, et al. 2014. Long-Term Exposure to Ambient Air Pollution and Incidence of Cerebrovascular Events: Results from 11 European Cohorts within the ESCAPE Project. *Environ Health Perspect* 122: 919–925.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2009. Integrated Science Assessment for Particulate Matter. EPA/600/R-08/139F Final Report.
- WHO. 2014. WHO Expert Meeting: Methods and tools for assessing the health risks of air pollution at local, national and international level.